REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université YAHIA FARES De MEDEA
Faculté Technologie
Département De Génie Civil

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme MASTER en génie civil
Option: matériaux en génie civil

Thème

Etude expérimentale d'introduction des résines polymères dans les bétons

Etudié par :

ELHABIB Abdelkarim

TOUNSI Amel

Dirigé par :

Mr : BOUKSANI

Promotion : juin 2018

Remerciement

Nous remercie tout d'abord ALLAH tout-puissant de nous avoir donné le courage, la force, la volonté et la patience d'achever ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadrant Mr.Boukasani . D'avoir accepté de diriger ce travail. aussi, pour Ses remarques pertinentes, ses conseils instructifs et ses lectures intensives nous ont permis d'améliorer notre travail.

A tout le personnel de :

-Laboratoire de CTTP de ksar el Boukhari, Wilaya de Médea

-centre national d'etudes et de recherche intégrée du batiment (Souidania)

Notre gratitude aux personnes qui nous ont aidées à la réalisation de ce travail

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père, ma mère que dieu les garde et les préserve.

A mes chères sœurs
A mon très cher frère
A mes oncles et mes tantes.
A mes cousins et cousines
A mes amis intimes surtout chakib
A mon binôme Amel

ELHABIB ABD EL KARIM

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma mère qui m’a toujours soutenu sans limite pour pouvoir poursuivre des études sans sentir le moindre manque.

A mes très chères grandes mères ma Yamina et ma Rekeia .

Mes oncles à qui je souhaite la plus grande réussite dans leur vie.
Sur tous mon oncle Mourad

Mes chers cousins et cousines surtout Zineb et Zizou
A tous mes amis (Yasmin, hosna, rabab).

En fin, je remercie mon binôme Karim qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Tounsi Amel

ملخص

الخرسانة الراتينجية البوليمرية هي عبارة عن خرسانة مصفوفة عضوية "BMO" تعرف أيضاً بخرسانة الراتنج.

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 كبيرو الاخر صغير.

في هذا العمل تم دراسة السلوك الميكانيكي والفيزيائي لهذه المواد المصممة بالراتنج تحت نسبة 12.5% التي تعمل كمواد رابطة.
على ضوء النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها يمكن الاستنتاج أن إدخال راتنج البوليمر (راتنج الايبوكسي) في الخرسانة يضمن مقاومة جيدة خاصة في الانثناء و كذا يملك خصائص جيدة في ما يخص عدم النفاذية .

الكلمات المفتاحية: خرسانة راتينجية ، تركيبات ، إيبوكسي ، خواص فيزيائية وميكانيكية

Résumé

Le béton de résine est un béton à matrice organique “ BMO ” également connu sous l'appellation de Béton Résineux.

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

Dans ce travail consiste à étudier le comportement mécanique et physique de ces matériaux formulés 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’introduction de la résine polymère (résine époxy) dans le béton permet d’assurer une bonne résistance à la flexion et à la perméabilité.

Mots clés: béton résineux, Formulations, Epoxyde, Propriétés physiques et mécaniques.

Abstract

Resin concrete is an organic concrete matrix "OCM" also known as Resin Concrete.

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 thick the other is medium and the last is thin and also marble gravels, one is thin and the other is thick .

In this work we consist on studying the mechanical and physical behavior of these materials formulated with12.5% mass polymer fractions that act as a binder.

In the light of the experimental results we can conclude that the introduction of the polymer resin (epoxy resin) in the concrete ensures good flexural strengthand permeability.

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

Table des matières

Remerciements
Résumé
Abstract
ملخص
Table des matières
Table des figures
Liste des tableaux
Liste des notations
INTRODUCTION GÉNÉRALE

Chapitre I :
Les bétons de résine : Recherche bibliographique

Introduction…….1
I.1. Types des bétons résineux……...2
I.1.1. Béton additionné de résine…….…..2
I.1.3. Béton imprégné de résine……...…..3
I.1.4. Béton de résine…….....3
I.2. Les propriétés des types de béton de résine……....4
I.3. Le développement des bétons résineux……....4
I.4. Classification des bétons résineux……..…….5
I.5. Domaine d'application des bétons résineux……....6
I.6. Différents types de résines introduites dans les bétons……...9
I.7. Les propriétés des bétons résineux……...11
I.7.1. Propriétés des bétons résineux à l'état frais…….....11
I.7.2. Propriétés des bétons résineux à l'état durci…….....12
I.7.2.1 Résistance à la compression……....12
I.7.2.2 Résistance à la traction……..……..13
I.7.2.3 Module d'élasticité……..……15
I.7.2.4 Le retrait……..……16
I.7.3. Durabilité des bétons résineux……..……...17
I.7.3.1Comparaison de la durabilité entre béton époxy et polyester insaturé…….....18
I.7.3.2 Comparaison entre les propriétés les bétons de résine et le béton de ciment..19
Conclusion…….20

Chapitre II
Des matériaux utilisés, mode de préparation des micro-bétons de résine Epoxy et Techniques expérimentales.

Introduction…….…….21

II.1. Matériaux utilisés dans les formulations…….…….22

II.1.1Constituants des micro-bétons résineux…….…….……22

II.2. mode de préparation du béton de résine…….…..……..27

II.2.1 La procédure de formulation……..27

II.2.2 La procédure de malaxage……..28

II.3. Techniques expérimentale……..…32

II.3.1. Propriétés physiques des constituants……....33

II.3.1.1. Mesure de la masse volumique apparente……..…33

II.3.1.2. Mesure de la masse volumique absolue…….……...…33

II.3.1.3. La porosité…….33

II.3.1.4. Module de finesse……..……33

II.3.1.5. Propreté de sable (Essai d'équivalent de sable)…….34

II.3.1.6. Analyse granulométrique……34

II.4. Caractéristique des bétons…….35

II.4.1. Les essais à l'état frais……36

II.4.1.1. Essais de densité……..36

II.4.2. Essais à l'état durci…… …….36

II.4.2.1. Essais mécanique……...36

II.4.2.1.1. La masse volumique à l'état durci……..…….....36

II.4.2.1.2. Essai de traction par flexion 3 point……37

II.4.2.1.3. Essai de compression……...38

II.4.2.1.4. Essai d'adhérence par traction…….39

II.4.2.2. Essais de durabilité…….. …….41

II.4.2.2.1. Absorption capillaire……..41

Conclusion……...42

Chapitre III :

Introduction……42
III.1. Propriétés physiques des constituants……43
III.2. Analyse granulométrique……..43
III.3. Caractéristique des bétons à l'état frais……..46
III.3.1. densité……..46
III.4. Caractéristique des bétons à l'état durci……47
III.4.1. Essais mécaniques……..47
III.4.1.1. La masse volumique à l'état durci……..47
III.4.1.2. Résistance à la traction par flexion……48
III.4.1.3. Résistance à la compression……52
III.4.1.4. Adhérence……..54
III.4.2. Essais de durabilité……...56
III.4.2.1. Absorption capillaire……56
Conclusion……57

Liste des figures

Chapitre I :
Bétons de résine : Recherche bibliographique

Figure I.1 : Schéma du modèle simplifié expliquant la formation d'une matrice mixte polymère/ciment…….….2
Figure I.2 : Classification des bétons résineux…….....5
Figure I.3 : Exemples d'utilisation des bétons de résine dans les travaux…….....8
Figure I.4 : Exemples d'utilisation des bétons de résine dans les planchers…….....8
Figure I.5 : Comparaison des affaissements des bétons résineux…….....11
Figure I.6 : Effet du temps de maturation sur la résistance à la compression……..12
Figure I.7 : Courbes contrainte-flèche des mortiers à base de résine époxy de obtenus par essai de flexion après différentes températures de conservation…….....13
Figure I.8 : Courbe charge-déplacement d'un micro-béton de résine en flexion trois points…….……14
Figure I.9 : Résistances en Fonction de la quantité de polymère……...……..15
Figure I.10 : Retrait du micro-béton de PSE……..…….16
Figure I.11 : Retrait d'un béton résineux……..……..16
Figure I.12 : La résistance à la compression et le pourcentage de la perte en résistance du béton polymère après 1 mois d'immersion dans diverses solutions corrosives**(A)** et **(B)** à différentes durée d'immersion dans l'eau……. ……..…17
Figure I.13: La perte en résistance à la flexion (%) en fonction de la durée d'immersion dans les différentes solutions……..…..…..18

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

Figure II.1 : Matériaux utilisé dans le béton de résine époxy…….……22
Figure II.2 : Silice traité fin……...….23
Figure II.3 : Silice traité moyen……...23
Figure II.4 : Silice traité gros……...……23
Figure II.5 : Marbre fin……...……24
Figure II.6 : Marbre 3/8……...……24
Figure II.7 : Résine époxy……...……...……...25
Figure II.8 : Durcisseur ……...……....26
Figure II.9 : Séchage des matériaux…...……..28
Figure II.10 : Mélange de pré-polymère et du durcisseur……29

Figure II.11 : Mélange des granulats…….....29
Figure II.12 : Remplissage de moules et démoulage ……...……...…30
Figure II.13 : MR avec des seuls types des granulats …….....31
Figure II.14 : MR avec combinaison des granulats……...…..32
Figure II.15 : Mesure de la densité à l'état frais……..36
Figure II.16: Mesure de la masse volumique……...36
Figure II.17: Essai de traction par flexion trois points……....37
Figure II.18 : Essai de compression……....38
Figure II.19: L'Essai d'adhérence par traction Unité (cm)…….39
Figure II.20 : Etat de surface de support …….……...40
Figure II.21: Surface du MR sur le support……...…….…….40
Figure II.22 : Essais de l'absorption capillaire…….....41
Conclusion .....…….42

Chapitre III

Résultat et interprétation

Figure III.1 : Courbe granulométrique de sable de silice gros…….……...43
Figure III.2 : Courbe granulométrique de sable de silice moyen…….…...44
Figure III.3 : Courbe granulométrique de sable de silice fin……..……44
Figure III.4 : Courbe granulométrique de marbre3/8…….…….45
Figure III.5 : Courbe granulométrique de marbre fin ¼……..……..45
Figure III.6: Densité des différents bétons résineux …….……46
Figure III.7 : Variation de masse volumique ……..……...47
Figure III.8 : La contrainte de flexion en fonction du temps …….48
Figure III.9 : Variation de la résistance à la traction par flexion de déférent béton…….....49
Figure III.10 : Mode de rupture sur la résistance a la traction par flexion……..……..……..50
Figure III.11 : facies de rupture des MR avec combinaison des granulats……..……..50
Figure III.12 : facies de rupture des MR des seuls types des granulats…….... …….....51
Figure III.13 : La contrainte de flexion en fonction du temps ……...…….52
Figure III.14 : Variation de la résistance à la traction par flexion de déférent béton MR……...53

Figure III.15 : Mode de rupture sur la résistance a la compression……...……..54

Figure III.16.mode de rupture sur la résistance à l’adhérence…….54

Figure III.17 : Absorption capillaire……....56

Liste des tableaux

Chapitre 1 :
Bétons de résine : Recherche bibliographique

Tableau I.1 : Propriété des types des bétons résineux……...5

Tableau I.2 : Domaine d'application des bétons de résine……...….8

Tableau I.3 : Les déférant types des résines introduit dans le béton……..…….11

Tableau I.5 : Propriétés des types des bétons de résine courants et
du béton de ciment Portland…….……20

Chapitre 2
Matériaux utilisés, mode de préparation des micro-bétons de résine Epoxy et Techniques expérimentales.

Tableau II.1 : Caractéristiques du protop 1000 (résine+ durcisseur)……...……26

Tableau II.2 : Les dosages des bétons pour 14 éprouvette 4×4×16…….....27

Tableau II.3 : Procédure de malaxage.…….....28

Tableau II.4: Les Essais Réalisées Sur les Mortiers à l'état Frais et à l'Etat Durci…….35

Chapitre III

Résultat et interprétation

Tableau III.1 : Caractéristiques des fractions granulaires……...43

Tableau III.2. **:** Résistance a l'adhérence…...…….…55

Notation

BMO : béton à matrice organique

NA : normes Algérienne

NE: Normes Européenne

NF : Normes française

ESV : Equivalent de sables à vue

ES : équivalent de sable à piston

MR : mortier résineux

Introduction générale

En génie civil des nouveaux bétons peuvent être utilisés, notamment dans le domaine industriel et architectural. Le mortier de résine constitue un des nouveaux matériaux utilisé dans les revêtements de sols industriel et comme un marbre artificiel.

La fabrication dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, la qualité des matériaux et des produits utilisés. Elle doit satisfaire au besoins des utilisateurs au cours de sa durée de service.

Cette classe de matériaux est constituée d'un liant de polymère de nature organique qui remplace la matrice cimentaire, comme les résines thermoplastique ou thermodurcissable, et d'une charge minérale comme le gravier, la pierre concassée et le sable.

Les différents types de bétons polymère sont : le béton imprégné de polymère (Polymer Imprenate Concrete : PIC), le béton à matrice organique « BMO » (Polymer Concrete : PC)
et le béton modifié par adjonction de polymère (Polymer Modified Concrete : PMC).

En effet, les bétons résineux ont une plus grande résistance mécanique à la traction que le béton de ciment Portland, ils peuvent faire économiser jusqu'à 50 % de matériaux. ils Absorbent très peu l'eau.

Les applications les plus courantes des bétons polymériques sont la construction et la réparation des structures ainsi que la réalisation : d’escaliers, de plaques et panneaux de parements de diverses structures, d’appuis fenêtre, de canalisations des eaux usées, des ponts, des planchers.

Un des inconvénients des bétons de résine c’est le cout élevé car le polymère est cher Ainsi que la main-d’œuvre doit être qualifiée.

Objectif :

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 et durabilité (absorption d’eau).

Plan de travail :

- Le premier chapitre est une revue bibliographique sur les classes de béton de résine et son domaine d'application en suite l'étude des propriétés mécaniques et de la durabilité de ce béton.

- Le deuxième chapitre présente les méthodes et techniques expérimentales utilisées pour déterminer les propriétés physiques et mécaniques des différents matériaux utilisés et les bétons résineux à l'état frais et à l'état durci.

- Le troisième chapitre exprime les résultats trouvés et les explications du deuxième chapitre.

Chapitre I :

Bétons de résine : Recherche bibliographique

Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différentes classes des bétons polymériques, ainsi que leurs applications potentielles dans le domaine du génie civil .l'étude du comportement et de la durabilité des bétons et mortiers résineux.

I.1. Types des bétons résineux :

Le béton de résine est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère.

I.1.1Béton additionné de résine :

Ce béton connu sous le nom anglophone **Polymer-Cement Concrete (PCC)** ou aussi **Polymer-Latex Concrete (PLC)** est un composite où l'on ajoute un polymère non réactif (souvent du genre latex, ou un monomère réactif (résine) au mélange du béton hydraulique à l'état frais (avant la prise).

Dans les structures des bétons modifiés, les agrégats sont liés par une phase Co-matrice, conduisant à des bétons caractérisés par des propriétés meilleures que celles du béton conventionnel. En effet des études antérieures ont montré que l'incorporation de polymères dans un béton entraine souvent une amélioration de la maniabilité et des propriétés mécaniques, en particulier une plus grande résistance à la flexion et une diminution du module d'élasticité une imperméabilité améliorée conduisant à la diminution de la diffusion des ions chlorure, une plus grande résistance au gel , la réduction du taux de retrait , ainsi que l'amélioration de la durabilité des structures en béton.[Mirouzi,2017].

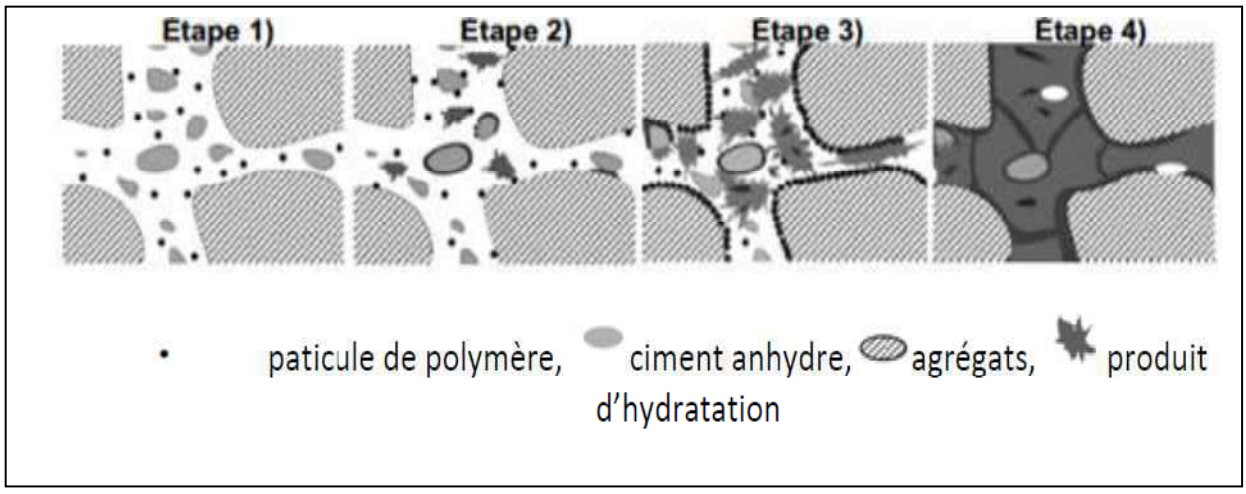


Figure I.1 : Schéma du modèle simplifié expliquant la formation d'une matrice mixte polymère/ciment [Ohama, 2016]

I.1.2 Béton imprégné de résine :

Le béton imprégné de résine dit sous l'appellation **(anglophone Polymer- impregnated concrete PIC)**, est obtenu en imprégnant des éléments préfabriqués en béton cimentaire avec un monomère La polymérisation se fait par la méthode la plus économique et la plus pratiquedit imprégnation. [Bourguiba, 2016]

L'imprégnation est un traitement très efficace lorsque les propriétés mécaniques des constructions après durcissement ou après un certain temps de service sont faibles. La résistance contre la corrosion chimique augmente, et la perméabilité (gaz, solutions) des constructions diminue de façon marquée après l'imprégnation. Le procédé d'imprégnation du béton avec différents types de matériaux polymère a permis d'améliorer les propriétés physico-mécaniques de tels composites.

En effet, il présente une résistance à la compression trois à quatre fois plus importante que celle du béton à partir duquel il a été fabriqué ainsi qu'une augmentation de la résistance. [Ohama,16].

I.1.3 Béton de résine

Il fait partie de la catégorie de matériaux à matrice organique d'où sa désignation de béton à matrice organique BMO. Il est connu aussi sous l'appellation de béton résine synthétique ou de béton de résine plastique ou tout simplement de béton de résine.

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

Le béton à matrice organique a permis la production d'une large gamme de produits préfabriqués y compris les égouts, les réservoirs pour acide, revêtement de tunnels, carrelage, des moulures architecturales, les barrières médianes d'autoroutes…ect.

Cette diversité de produits a été obtenue grâce : à la capacité de ce matériau à se mettre en œuvre sous des formes complexes, sa mouillabilité, son excellent amortissement des résistances à la traction et à la flexion. La durabilité est également améliorée en particulier celle au gel-dégel. [Elalaoui,12]

I.2. Les propriétés des types de béton de résine

Tableau I.1.propriété des types des bétons résineux [Blaga.86] [Kirlikovali.81]

matériau	Résistance la compression (MPa)	Résistance a la traction (MPa)	Résistance au cisaillement (MPa)	Module d'élasticité (MPa)
Béton imprégné de résine	144	10.3	26.3	42
Béton modifié de résine	41.4	4.1	13.8	26.2
Béton de résine	137.9	9.6	25.5	26.2
Béton de ciment portland	34.5	1.7	4.6	24.8

I.3 le développement des bétons résineux :

Le béton de polymère est devenu le matériau de construction dominant dans les pays développés dans les années 1970. Les bétons résineux se sont développés entre la fin des années 1950 et le début des années 1960 et deviennent les matériaux de construction majeurs au Japon et en Europe vers les années 1970 et aux Etats-Unis dans les années 1980. À présent, ils sont des matériaux de construction courants.

Le béton résineux se caractérise par une grande densité, une bonne résistance aux agents chimiques, une bonne adhésion aux granulats, par des résistances mécaniques notamment à la traction plus élevées que les bétons hydrauliques ainsi ils présentent le grand avantage d'une prise rapide de quelques minutes à 24 heures au maximum, ce qui est exigé pour les réparations d'urgence à effectuer, malgré sa faible consommation en liant polymérique par unité de masse. [Blaga**,** 86]

I.4. Classification des bétons résineux

Cette classification a été publiée pour la première fois par [Ohama, 86] qui a proposé de classer les bétons de résine en deux grandes catégories.

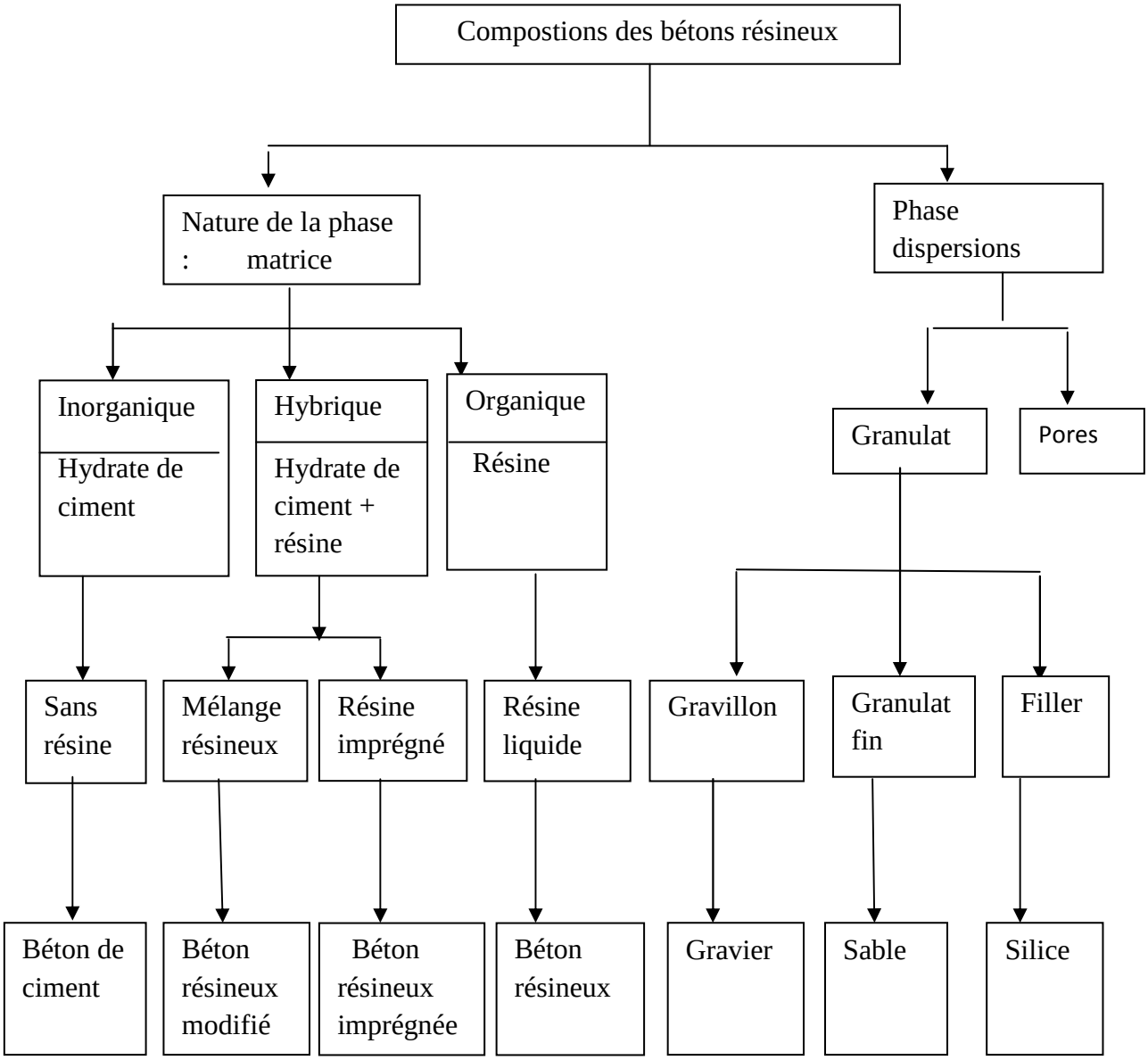


Figure I.2. Classification des bétons résineux [Ohama,86]

I.5. Domaine d'application des bétons résineux :

Aujourd'hui, le béton de résine a plusieurs domaines d'application dans le génie civil et il est utilisé comme un matériau de construction courant pour fabriquer un large éventail de produits.

Le béton de résine est utilisé essentiellement dans la production du marbre 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 béton 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].

Certes le prix de matière première du béton de résine est 8 fois plus cher que celui de béton hydraulique, mais une contre partie estimée 80% du prix initial est récupérable par la réduction des dimensions des éléments produites grâce aux résistances élevées du béton de résine, la réduction des frais pendant les opérations de production (décoffrage rapide), stockage, manutention et transport. En plus de ces dépenses considérablement diminuées, le béton de résine est une excellente alternative des roches naturelles pour la fabrication des éléments tels que les panneaux, appuis de fenêtres, marches d'escalier, table de travail, haut de table, équipements techniques sanitaires, le béton de résine peut être considéré comme un matériau ami à l'environnement. [**Vipulanandan**, 89].

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

Tableau I.2. Domaine d'application des bétons de résine. [Elhabib et Tounsi ,18]

Domaine d'application	**Exemple**
Domaine bâtiments	▪ production du marbre artificiel (à matrice polymérique) ▪ industrie de façades ▪ panneaux ▪ appuis de fenêtres ▪ marches d'escalier ▪ table de travail ▪ haut de table ▪ équipements techniques sanitaires.
travaux de drainage et hydrauliques	▪ systèmes de drainage ▪ le réseau de canalisation
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 béton de résine renforcés supportant les bains isolateurs, grâce à la qualité anti- vibrations meilleure : ▪ la fabrication des bases pour des tours, des rectifieuses, des fraiseuses et des perceuses
isolant phonique	▪ systèmes d'isolation phonique ▪ écrans phoniques en autoroute
le site d'enfouissement des déchets toxiques et radioactifs	▪ gestion de déchets dangereux ▪ Le risque résiduel des déchets non traités

- Les figures suivantes présentes les différentes utilisations des bétons de résine :



Cunettes Avenue Jean Jaurès – Chantier de Paris



Ovoïde T 230 – Hôpital la salpêtrière PARIS

Figure I.3. Exemples d'utilisation des bétons de résine dans les travaux hydrauliques [Mirouzi,17]



Figure I.4. Exemples d'utilisation des bétons de résine dans les planchers. [Mirouzi,17]

I.6. Différents types de résines introduites dans les bétons

Les époxydes et les polyesters insaturés sont les thermodurcissables les plus utilisés pour la fabrication des bétons et mortiers résineux. On retrouve dans la littérature quelques travaux sur des bétons résineux à base de furanes obtenues à partir de l'alcool furfurique dont le cycle aromatique comporte un atome d'oxygène.

L'alcool furfurique est un monomère qui polymérise dans un milieu acide organique pour conduire à un polymère réticulé de type thermodurcissable. Les polymères de furane sont d'une grande résistance mécanique et durable. [Blaga et al, 86.].

Des polyesters insaturés issus du recyclage du polyéthylène téréphtalate et réticulés avec du styrène sont employés en tant que liant pour la fabrication de bétons résineux. Parmi les thermoplastiques incorporés dans la formulation des mortiers résineux on retrouve essentiellement les polyméthacrylates de méthyle obtenus par polymérisation des monomères de méthyle méthacrylate. Ces mortiers résineux sont plus coûteux que ceux obtenus en utilisant les polyesters insaturés et les époxydes comme liant mais leur utilisation est recommandée pour la réalisation d'ouvrages exposés à des environnements très hostiles et nécessitants une prise rapide réparation de tabliers de ponts.

Le tableau suivant montre les différents types de résine et le domaine d'application ainsi la caractéristique.

Tableau I.3.les déférant types des résines introduit dans le béton [Blaga et al, 86.]

Type de résine		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 a la 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** (faible coût)	panneaux, pour les bâtiments publics et commerciaux, carrelage, les tuyaux, escaliers mise en œuvre de pièces préfabriquées coulés sur place dans des travaux de construction.	bonne adhérence Bonne résistance au gel-dégel Bonne aux attaques chimiques.
4	**Résine furanique**	fabrication des briques, planchers des revêtements résistant aux produits chimiques, aux températures élevées et aux chocs thermiques	haute résistance aux produits chimiques (milieu aqueux acide ou basique) ; forte résistance aux liquides organiques polaires .

I.7. Propriétés des bétons

I.7.1 Propriétés des bétons a l'état frais

L'ouvrabilité du béton polymère a un impact très important sur sa structure poreuse. Pour un béton polymère, elle est principalement influencée par la viscosité et par la quantité utilisée de liant. Aussi le type, la forme et la taille des granulats ont un effet important sur cette propriété.

[Rebeiz04] a formulé un béton à base de polyester insaturé. Il a remarqué que l'ajout de cendres volantes améliore considérablement la mise en œuvre du béton frais ainsi que sa cohésion. Il a constaté, de plus, qu'une meilleure distribution granulaire est obtenue conduisant à un matériau caractérisé par des propriétés mécaniques élevées.

[Muthukumar et al04] .ont introduit une teneur en résine de 9,4% dans un mortier polymère. Ils ont trouvé une bonne ouvrabilité adaptée à de nombreuses applications. Néanmoins, pour un dosage en résine de 12% de liant, ils ont constaté une ségrégation plus importante.

[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 béton résineux.la figure 1.4 montre la comparaison des affaissements des bétons résineux.

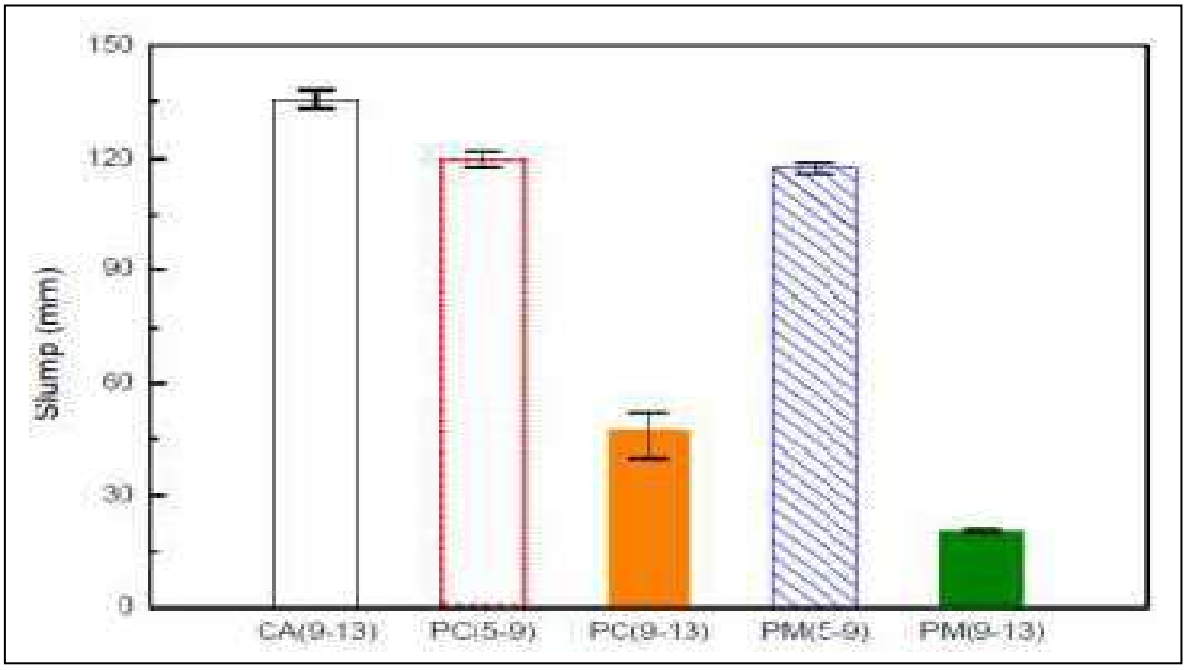


Figure I.5. Comparaison des affaissements des bétons résineux [Yeon, 10]

I.7.2 Propriétés des bétons résineux à l'état durci

I.7.2.1 Résistance à la compression

- **Effet de la résine polyester insaturé**

[Rebeiz, 04] a formulé un béton optimal à base de polyester insaturé issu avec 10% en masse de liant. Il a trouvé que la résistance à la compression est de 91%par rapport au béton hydraulique Aussi, **[Abdel-Fattah et al, 99]** ont trouvé qu'une fraction massique en liant de 12% de polyester insaturé a amélioré la résistance à la compression de 72% par rapport au béton hydraulique.

Gorninski et Wan Jo.ont utilisé des résine polyester dans le béton avec pourcentage de 13% ils ont remarqué que Les résistances à la compression obtenues est de 101 pour **Gorninski** et de 78% par rapport au béton hydraulique.

- **Effet de la résine époxy**

On peut également citer les travaux de [**Haidar et al.11]** qui avaient pour but l'optimisation de la formulation des micro-bétons de résine à base époxyde. Le pourcentage du liant (Résine + durcisseur) varie entre 5 et 13% en masse. Les résultats des essais de compression sont présentés dans la figure I.6.

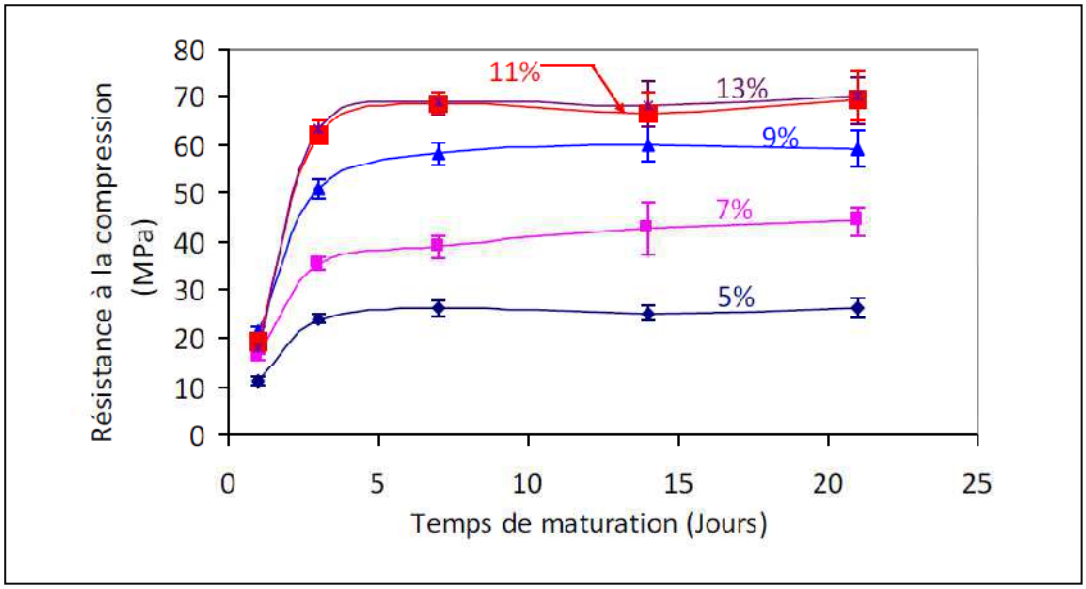


Figure I.6: Effet du temps de maturation sur la résistance à la compression [Haidar, 16].

D'autre part, [**Shokrieh et al.14]** ont travaillé avec des pourcentages 10%, 15% et 20%. Les résultats obtenus montrent que l'augmentation du pourcentage massique de résine jusqu'à 15% permet l'augmentation de la résistance à la compression.

Egalement, [**Jung et al, 14]** ont observé des résistances à la compression obtenues après 2h, 4h et 6h sont respectivement 22,25 MPa, 40,72 MPa et 55,71 MPa.

A partir des essais de compression réalisés, ils ont constaté que l'échantillon de béton de polymère avec 20% de résine représente la résistance maximale à la compression.

- **Effet de la résine furanique**

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

I.7.2.2Résistance à la traction

- **Effet de la résine époxy**

[Haidar et al.11] Se sont intéressés à des bétons de résine à matrice époxyde. Pour 9% les valeurs de la résistance à la flexion, obtenues 26 MPa à un âge de maturation de 21 jours.

Dans d'autres études de ces mêmes auteurs cités par [Ribeiro et al.04] Ils ont trouvé que la résistance à la flexion diminue en augmentant la température et le comportement devient ductile.

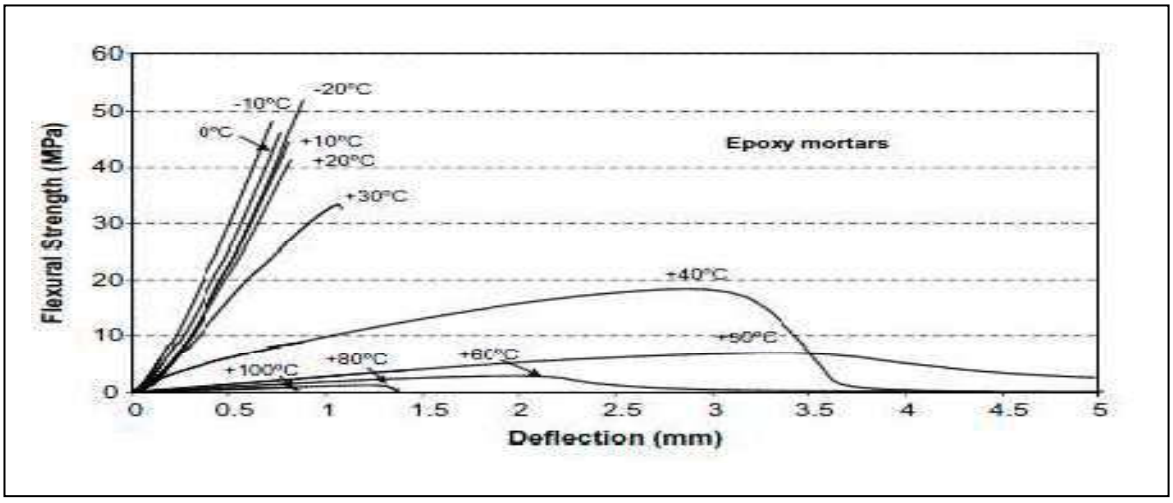


Figure I.7: Courbes contrainte-flèche des mortiers à base de résine époxyde obtenus par essai de flexion après différentes températures de conservation [Haidar 2016]

[Jung et al.14] Montre dans une étude avec 20% de résine époxy dans béton a une résistance à la flexion relativement élevée de 21,72 MPa.

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

[Elalaoui et al,12]. ont étudié l'optimisation de formulation d'un béton de résine époxy. A 7 jours, la résistance maximale à la flexion obtenue pour un pourcentage de polymère égal à 13% est de 26 MPa contre 2 à 8 MPa pour un béton hydraulique ordinaire (BHC).

- **Effet de la résine polyester insaturé**

[Maksimov et al.99] Rapportent que les utilisations des résines polyester dans le béton donne une résistance à la flexion sa valeur est 20.8MPA qui contiens 9.8% de liant.

[**Rebeiz, 04]** notent les propriétés mécaniques à la flexion est de 20MPA pour un pourcentage de **10%** du liant.

[Jo et al.08] Ils ont trouvé que la résistance à la flexion pour 13% de résine est de23MPa

[Mirouzi et al.17] Ont optimisé la formulation de micro-bétons 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 flexion 3 points.

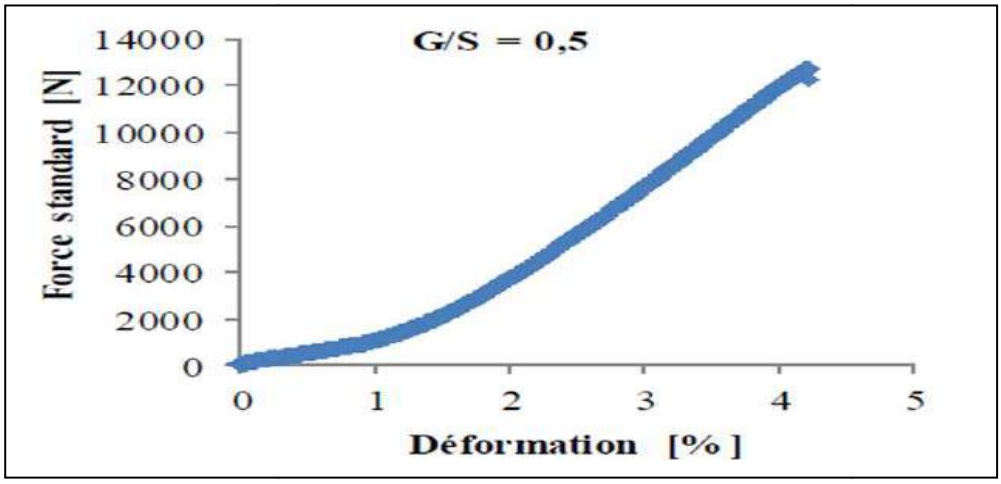


Figure1.8.Courbe charge-déplacement d'un micro-béton de résine, en flexion trois points [Mirouzi, 2017]

I.7.2.3 Module d'élasticité

- **Effet de résine polyester insaturé**

[Gorninski et al.07] Ont évalué et comparé le béton polymère avec le béton 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

[C. Vipulanandran el al.89] a trouvé En variant 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.

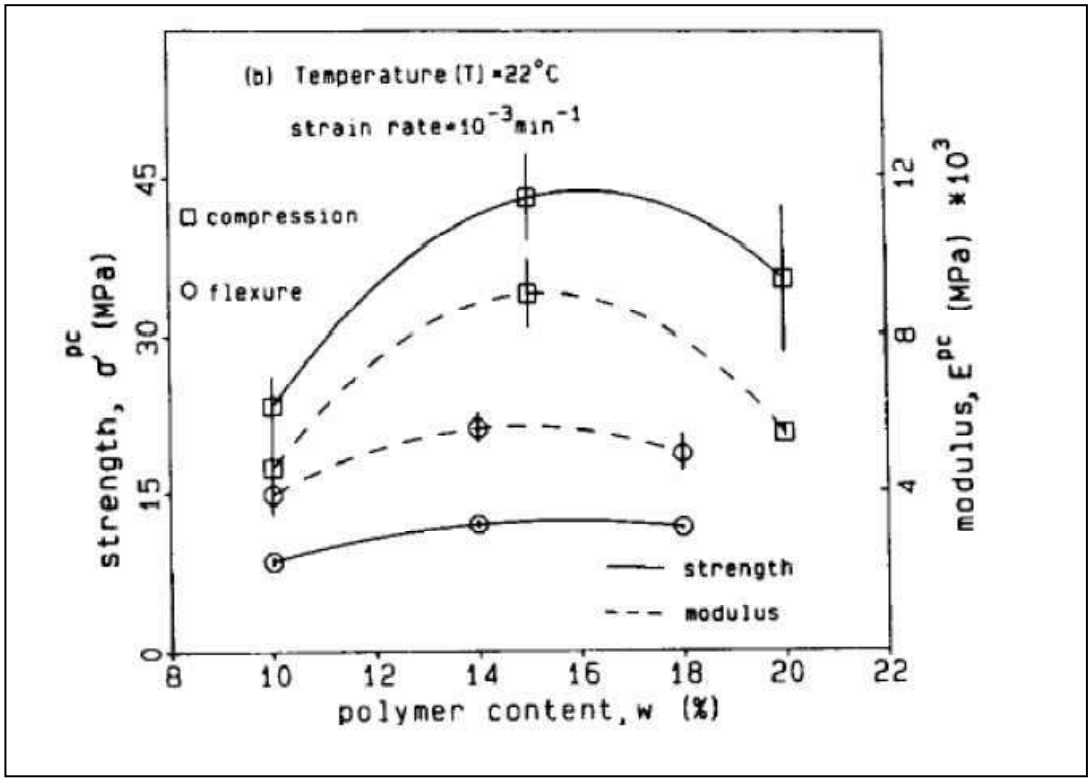


Figure I.9 Résistances en Fonction de la quantité de polymère **[Vipulanandran,89]**

I.7.2.4 Le retrait :

Pour les bétons résineux, les déformations différées dues au retrait ont été étudiées par **[Choi et al.04]** Ils montrent que pour les micro-bétons résineux y a un retrait plus important.

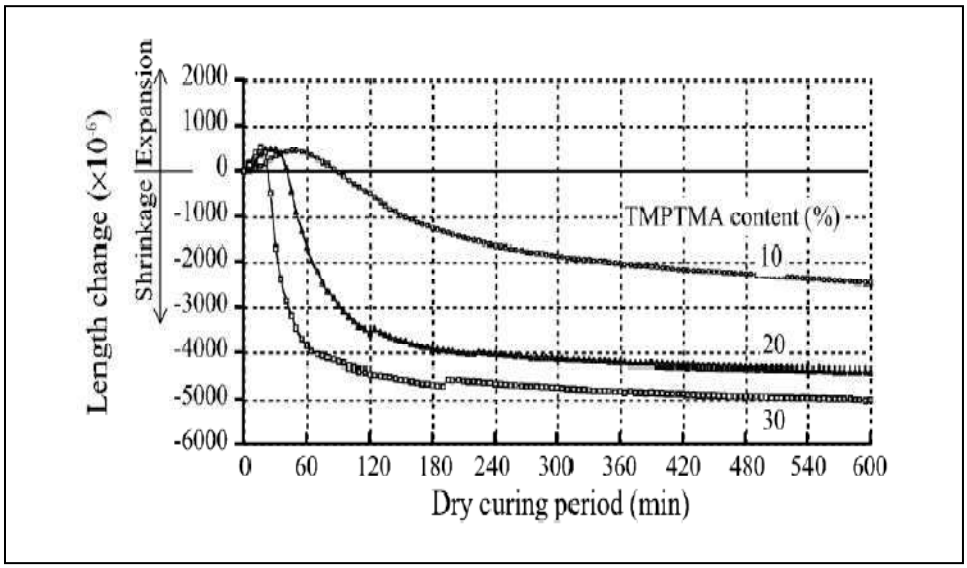


Figure I.10 Retrait du micro-béton de PSE [Choi ,04]

[Rebeiz, 04] a observé le même type d'évolution des déformations différées d'un béton optimal à base de polyester insaturé issu avec 10% en masse de liant et L'auteur met en évidence l'apparition d'un gonflement qui accompagne la période fortement exothermique de la réaction de réticulation suivi d'un retrait de béton résineux.

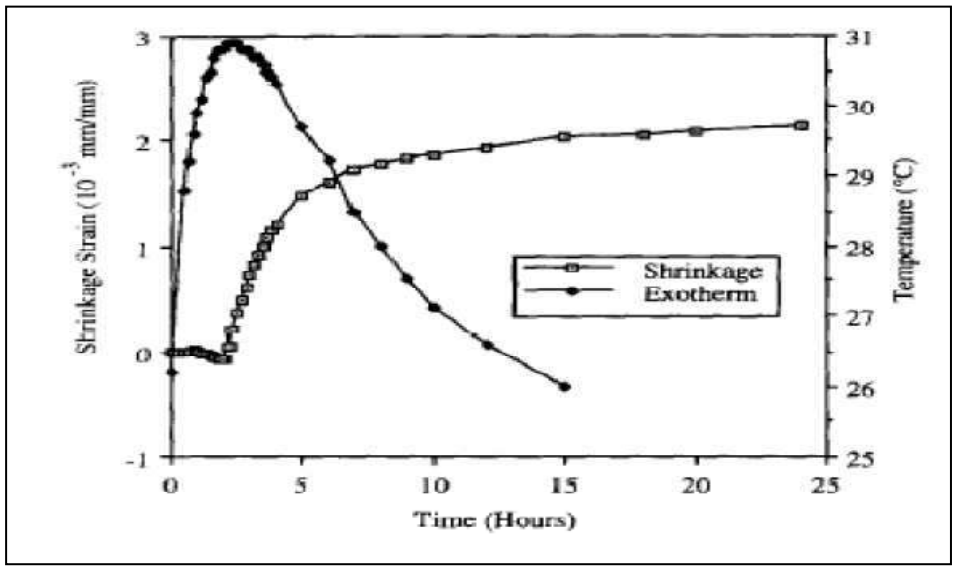


Figure I.11. Retrait d'un béton résineux [Rebeiz, 04]

I.7.3 Durabilité des bétons résineux

- **Effet de résine polyester**

Une étude faite par [**Mebarkia et al.95]** sur l'effet de l'exposition d'un béton 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 **Figure1.10**

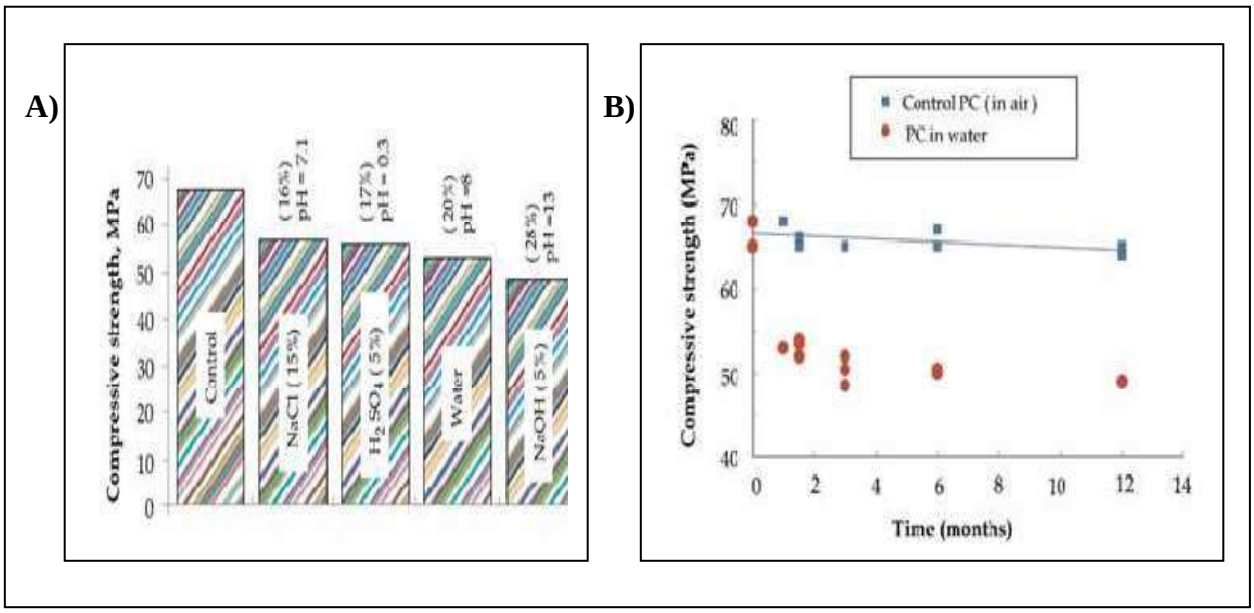


Figure I.12. La résistance à la compression et le pourcentage de la perte en résistance du béton polymère après 1 mois d'immersion dans diverses solutions corrosives **(A)** et **(B)** à différentes durée d'immersion dans l'eau [Mebarkia,14]

[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.

- **effet de la résine époxy**

[Agavriloaie et al.12] ont formulé Le béton 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 béton 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 béton 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.

I.7.3.1Comparaison de la durabilité entre béton époxy et polyester insaturé

Une étude comparative réalisée par [**Ribeiro,04]** sur des bétons 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 11).** On observe une meilleure résistance du béton époxy par rapport au béton polyester.

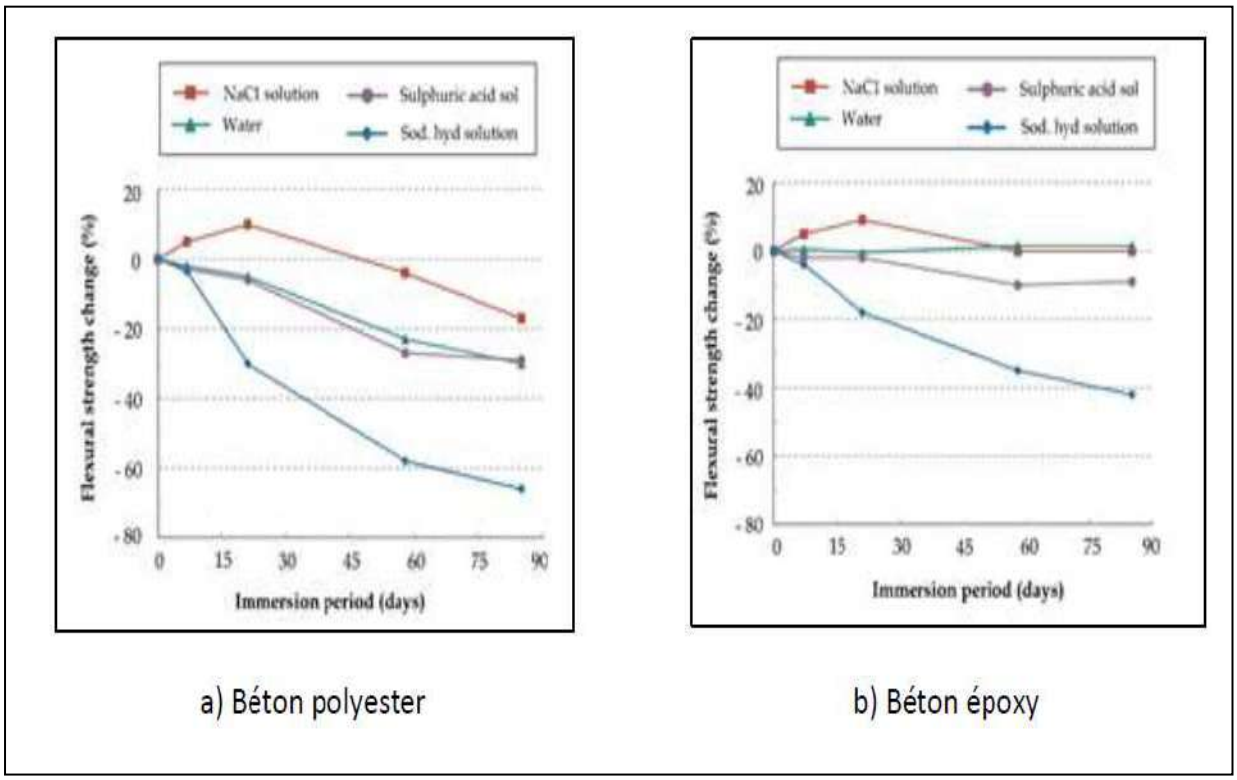


Figure I.13: La perte en résistance à la flexion (%) en fonction de la durée d'immersion dans les différentes solutions [Ribeiro, 04]

I.7.3.2 Comparaison entre les propriétés les bétons de résine et le béton de ciment

Le tableau 1.5à regroupes Quelques propriétés de bétons de résine courants sont comparées à celles du béton conventionnel.

Tableau I.4 Propriétés types des bétons de résine courants et du béton de ciment Portland [Bourguiba.16]

	Densité	Absorption d'eau (%)	Résistance en compression (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Résistance en flexion (MPa)	Modules d'élasticité
Poly(métha -crylate de méthyle)	**2.0-2.4**	**0.05-0.60**	**70-210**	**9-11**	**30-35**	**35-40**
Résine polyester	**2.0-2.4**	**0.30-1.0**	**50-150**	**8-25**	**15-45**	**20-40**
Résine époxy	**2.0-2.4**	**0.02-1.0**	**50-150**	**8-25**	**15-50**	**20-40**
Résine furanique	**1.6-1.7**	**48-64**	**7-8**	**-**	**-**	**-**
Béton de ciment Portland	**1.9-2.5**	**5-8**	**13-35**	**1.5-3.5**	**2-8**	**20-30**

Conclusion

Dans ce chapitre, les travaux précédents présentent des bétons résineux, qui dégagent des points importants qui sont à l'origine de certains choix fixés au cours de ce travail.

Ces bétons sont constitués d'un liant (polymère) et des granulats comme le gravier ou la pierre concassée et du sable.

Dans la littérature, les pourcentages massiques du liant varient généralement selon la nature de la matrice organique et du type des granulats ajoutés.

Les polymères les plus utilisés sont des résines polyester et en particulier la résine époxy.

Ces bétons résineux sont caractérisés par des résistances mécaniques beaucoup plus importantes que celles des hydrauliques. Des résistances à la compression atteintes varient de **20 à 120 MPa**.

La durabilité des bétons résineux sous les environnements agressifs dépend du type de polymère et du type d'environnement agressif.

La résistance aux acides des bétons de résine est supérieure à celle de béton cimentaires et peut être améliorée en augmentant la compacité du squelette granulaire.

La majorité des travaux effectués sur les bétons et mortiers résineux avait pour objectif d'optimiser leur formulation en diminuant le pourcentage du polymère et en ajoutant d'autres composants tout en gardant des propriétés physiques et des résistances mécaniques convenables. Les approches utilisées sont pour la plupart expérimentales.

Chapitre II

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

Introduction

Dans ce deuxième chapitre, On s'intéressera, aux procédures de fabrication, des différentes compositions des mortiers et des micro-bétons de résine et les différentes formulations adaptées. Et On décrira également les techniques d'élaboration utilisées pour la réalisation de ce béton de résine.

II.1. Matériaux utilisés dans les formulations

II.1.1Constituants des micro-bétons résineux

Trois fractions du sable de silice, l'un fin, l'autre moyen et le dernier est gros ont été utilisées. Ces sables ont été caractérisés par des essais physiques. et Trois fraction du gravier l'un est un marbre 3/8 l'autre est un marbre fin1/4.

La figure suivante présente les différents matériaux utilisés :

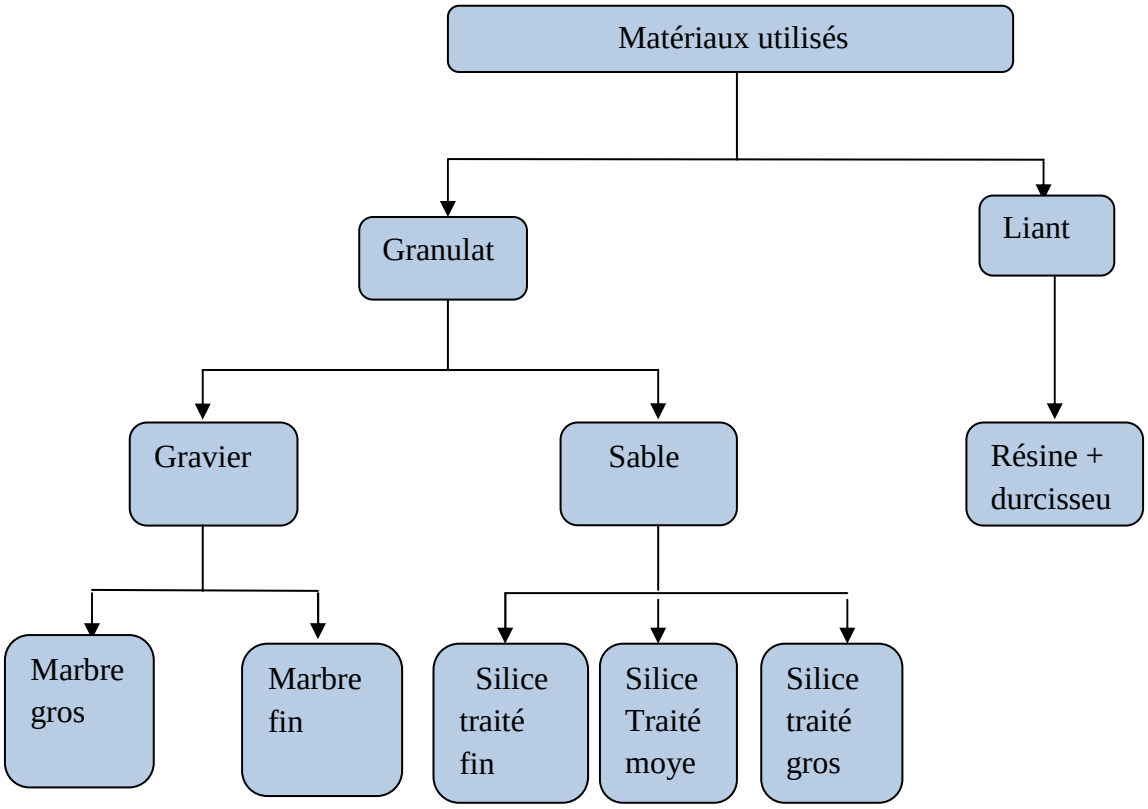


Figure II.1. Matériaux utilisés dans le béton de résine époxy

a)Sables :

Le sable fin est un sable de silice roulé qui provient de la localité de Tébessa de granulométrie varie de 0.08-1.25mm (figure II.2). Le deuxième est un sable de silice moyen, roulé qui provient de la localité Tébessa sa granulométrie varie entre 0.16-0.63mm (figure II.3) et le troisième est un sable de silices gros de Tébessa et sa granulométrie varie entre 0.063-0.63mm (figure II.4).



Figure II.2silice traité fin (0.063-0.63) mm



Figure II.3 silice traité moyen (0.16-0.63) mm



Figure II.4 Silice traité gros (0.08-1.25)

b) gravier :

Un gravillon de marbre roulé de classe granulaire 3/8 de la région de Tébessa (figure II.5) le deuxième est un marbre fin de classe granulaire 1/4 de Tébessa (figure II.6).



Figure II.5. Marbre fin (1/4)



Figure II.6. Marbre 3/8

c)Le liant (la résine + durcisseur) :

Dans cette étude le liant utilisé est à base d'une résine époxy (polyuréthanne). Cette résine est formée de deux composants, un pré-polymère et un durcisseur. Le polymère utilisé en tant que liant (Protop 1000).

L'époxy est un composé comprenant un atome d'oxygène relié à deux atomes de carbone en formant un pont. (EPI : sur ; OXY : oxygène).

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

Comme liant, il peut être utilisé pour la réalisation de primaire, tiré à zéro, coulis Mélangé à des graviers, il permet l'obtention de revêtement drainant.

Protop 1000 est sans solvant, sans nonyphénol et pratiquement sans odeur à l'application.



Figure II.7.résine époxy (polyamides)

- **le durcisseur**

L'ajout de durcisseur permet d'obtenir le système thermodurcissable en formant un réseau Tridimensionnel. 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.



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

- **Les caractéristiques du protop 1000 (résine+ durcisseur) :**

Tableau2.1. Caractéristiques du protop 1000(résine+ durcisseur)

Caractéristique	**résine**	**durcisseur**	**Mélange**
aspect	Liquide	Liquide	Liquide
couleur	Transparent	Transparent	transparent
Densité	1.13 kg/litre	1.05 kg/litre	

II.2. mode de préparation du béton de résine

II.2.1 La procédure de formulation

Le tableau suivant résume les compositions des différentes formulations des mortiers résineux avec un dosage de résine constant se situe de 12.5% en poids des granulats.

Tableau II.2 les dosages des bétons pour 21 éprouvette 4×4×16

MB à base de	Silice traité gros(g)	Silice traité moyen(g)	Silice traité fin(g)	Marbre 3/8(g)	Marbre 1/4(g)	durcisseur(g)	époxy(g)
100% Silices	**4000**	**2000**	**2000**	**-**	**-**	**713**	**286**
100% silices moyen	**-**	**4000**	**-**	**-**	**-**	**356.5**	**143**
100% silices fin	**-**	**-**	**4000**	**-**	**-**	**356.5**	**143**
100% Marbre	**-**	**-**	**-**	**4000**	**4000**	**713**	**286**
62.5% gravier de marbre	**1000**	**1000**	**1000**	**2500**	**2500**	**713**	**286**
62.5% silices traités	**2000**	**1500**	**1500**	**1500**	**1500**	**713**	**286**
Mix des silices fin et marbre fin	**-**	**-**	**2500**	**-**	**1500**	**356.5**	**143**

II.2.2 La procédure de malaxage :

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**

Le processus de fabrication des mortiers de résine est conduit en respectant la méthodologie développé dans les travaux antérieurs de [**Murhaf HAIDAR, 2011] et [Oussama EL ALAOUI, 2012].**

Des étapes préliminaires sont nécessaires pour l'obtention d'un produit identique à lui-même et pour minimiser l'effet des éléments liés à l'état et la qualité des matériaux entrant dans la composition du micro-béton de résine à fabriquer et aussi à la méthode de fabrication.

- **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.9. Séchage des matériaux à 105°C

- **Etape 2**

Mélange du pré-polymère et du durcisseur en respectant les proportions massiques étudiées. Le malaxage se fait à l'aide d'un agitateur.

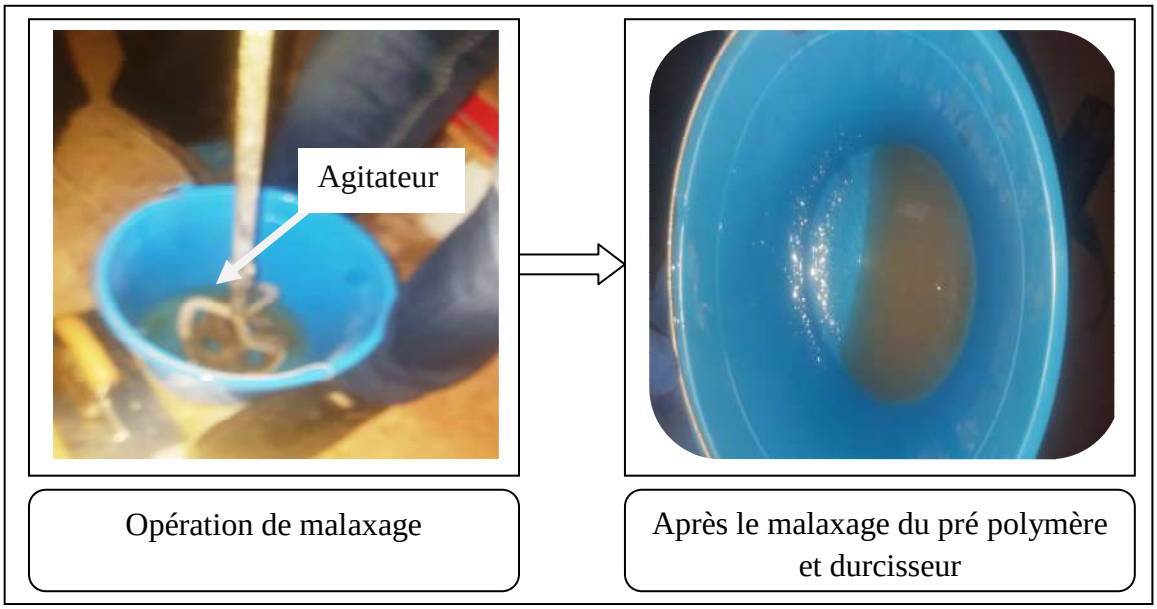


Figure II.10. Mélange du pré-polymère et du durcisseur

- **Etapes 3**

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

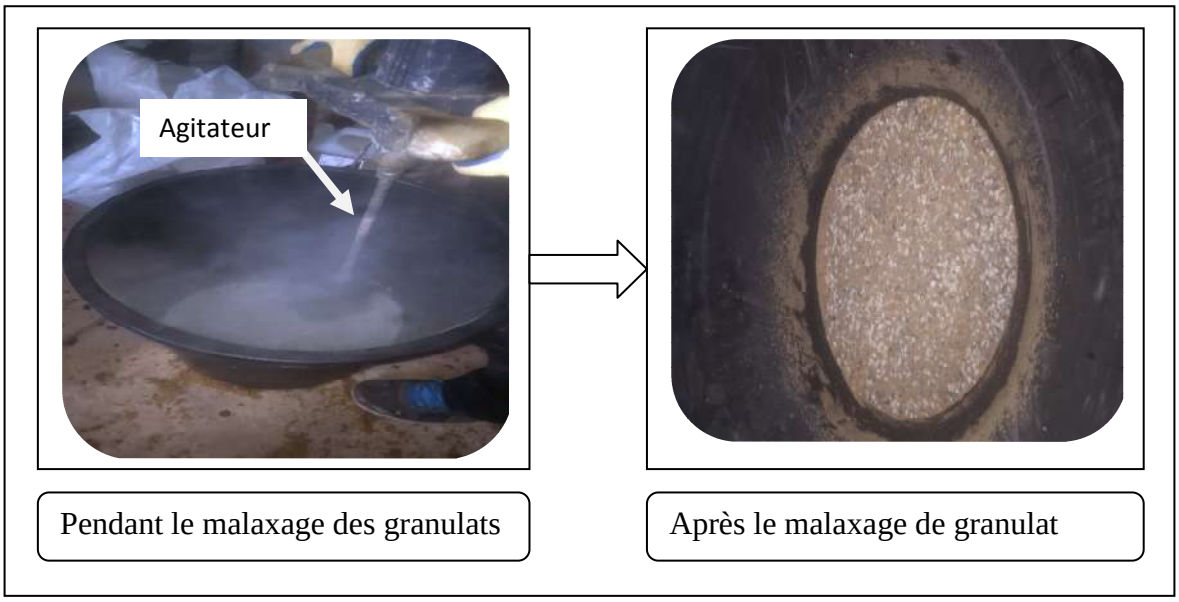


Figure II.11. Mélange des granulats

- **Etape 4**

✓ On ajoute le mélange du pré-polymère et le durcisseur avec les granulats. (sables de silices et gravier de marbre).

- **Etape 5**

✓ Le remplissage des 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 seconde.

✓ Une fois le remplissage est terminé, on arase la surface supérieure des éprouvettes avec une réglette.

✓ Après 4h, le mélange est arrivé à sa résistance maximale. Démoulage des échantillons et conservation dans une salle à température ambiante jusqu'à l'échéance des essais mécaniques



Remplissage de moules



Démoulage des échantillons

Figure II.12. Remplissage de moules et démoulage

N.B

Préparation des moules :

✓ L'application d'une couche séparatrice entre le béton de résine et les moules pour assurer un démoulage facile.

Nettoyage de matériel :

✓ après le travail terminé on doit nettoyer tout en utilisant un déliant.

- Les figuré suivante présente les différent type de mortier résineux formulés



a. à base de marbres



b. à base silices de (fin, moyen, gros)



c. à base de silice moyen



d. à base de silices fin

Figure II.13 MR avec des seuls types des granulats



a. à base de 62.5% marbres



b. à base de 62.5% silices



c. à base de silice fin et marbres fin

Figure II.14 : MR avec combinaison des granulats.

II.3. Techniques expérimentale :

II.3.1Propriétés physiques des constituants

II.3.1.1Mesure 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 :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V} \qquad \text{g/cm3}\text{……..[NF EN 1097-3]}$$

II.3.1.2Mesure 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 EN 1097-3].**

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

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(v1 - v2)} \qquad \text{g/cm3}\text{ ……[NF EN 1097-3]}$$

II.3.1.3La porosité

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

$$P = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right] \times 100\text{…….....[NF EN 1097-3]}$$

II.3.1.4Module 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.3.1.5Propreté 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 :

$$\mathbf{ES = \frac{h2}{h1} \times 100} \text{..} \mathbf{[NA455]}$$

II.3.1.6Analyse 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 .les figures suivantes représente la granulométrie des charges minérales.

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.

La caractérisation des bétons de résine à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les technique d'essai.

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

Tableau II.4: les Essais Réalisées Sur les Mortiers à l'état Frais et à l'Etat Durci.

	Essais	**Normes**
Etat frais	Densité	NF EN 12350-6
Etat durci	traction	EN 196-1
	Compression	EN 196-1
	Adhérence	NF EN 480-5
	Masse volumique	NA 435
	Absorption capillaire	NF EN 480-5

II.4.1 Les essais à l'état frais

II.4.1.1 Essais de densité

La masse volumique du béton a été mesurée selon la norme [**NF EN 12350-6]**



Figure II.15. Mesure de la densité

II.4.2 Essais à l'état durci

II.4.2.1Essais mécanique

II.4.2.1.1masse 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.



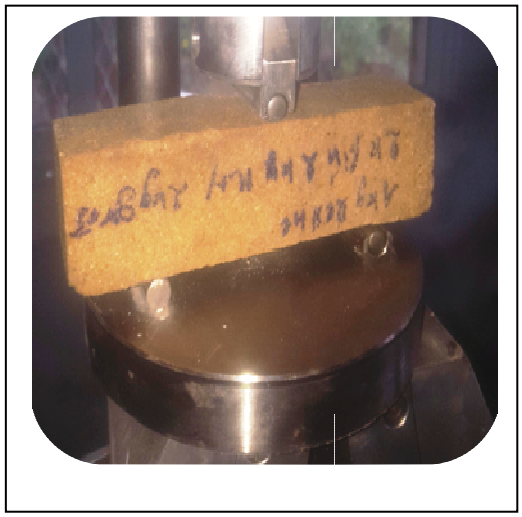
Figure II.16. Mesure de la masse

II.4.2.1.2Essai de traction par flexion 3 point

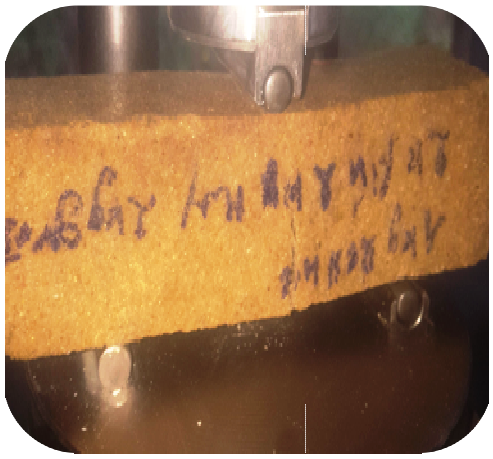
Selon la norme [**EN 196-1],** l'essai consiste à rompre en flexion (par trois points) une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L**.** Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm.

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

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



Eprouvette avant essais



Eprouvette après essais

Figure II.17. Essai de traction par flexion 3 points

II.4.2.1.3Essai de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [**EN 196-1]** par Compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) 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.



Eprouvette avant essais



Eprouvette avant essais

Figure II.18. Essai de compression

II.4.2.1.4 Essai d'adhérence par traction

L'essai caractérise l'adhérence entre la nouvelle couche de réparation avec celle de béton ordinaire. Cet essai est réalisé conformément à la norme [NF EN 1015-12]. Le protocole d'essai consiste à exécuter une entaille circulaire de 5 cm de diamètre jusqu'à une profondeur de 1 cm dans le béton support Ensuite, sur la surface découpée, un disque en acier de même diamètre (5 cm) est collé avec une résine (époxy) de haute résistance. Ce disque est muni d'une rotule mâle où vient se loger une rotule femelle située à la base de l'axe central de l'appareil d'essai d'adhérence pour exercer un effort de traction d'une capacité de 16kN.

Dans cet essai, l'adhérence de la couche de réparation sur le béton fibré est évaluée à partir de la résistance à la traction obtenue, en tirant sur la surface du disque en acier par une vitesse de 0.5 MPa/s.

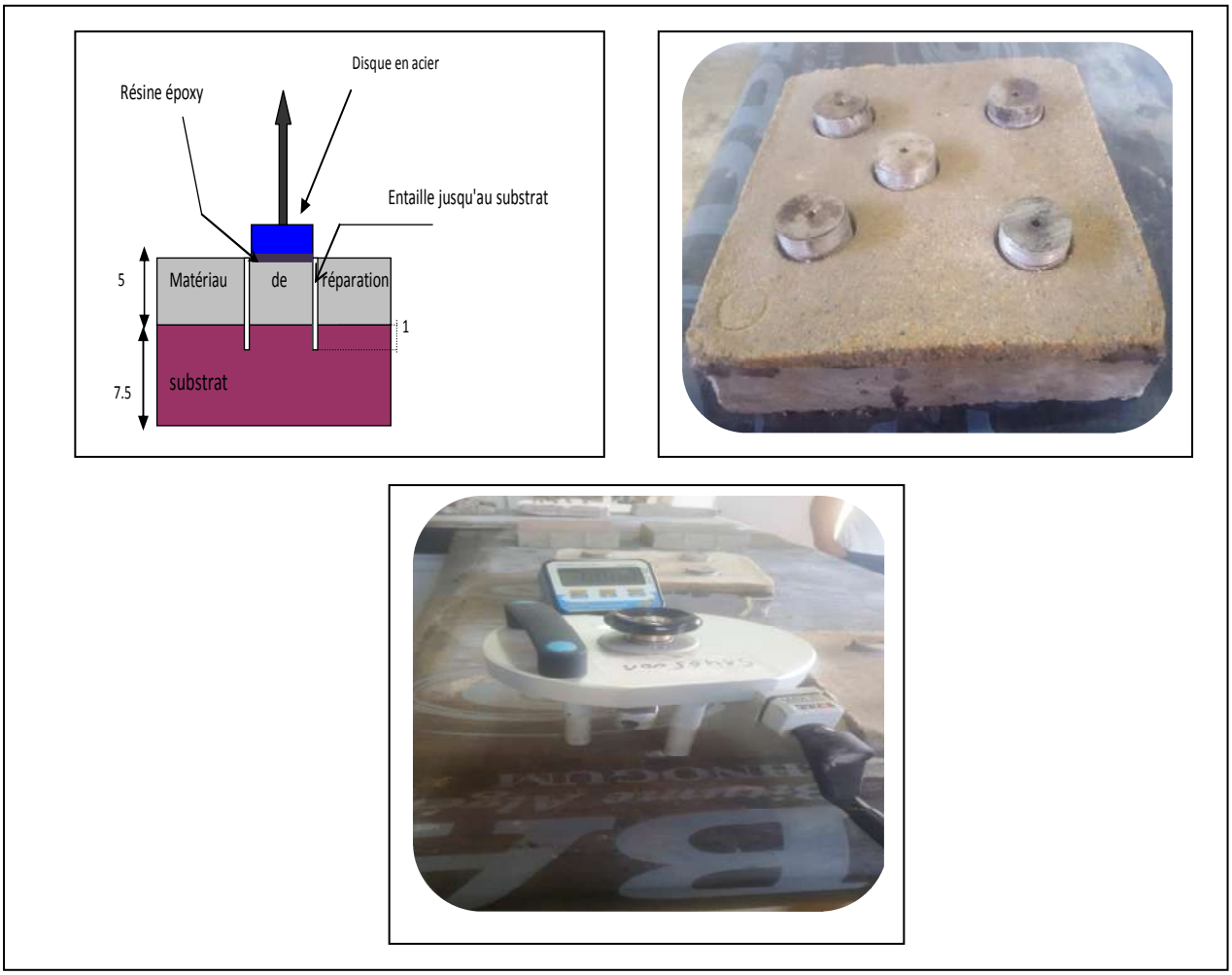


Figure II.19. Essai d'adhérence

- **surface du support pour essais d'adhérence**

La figure II.20 Présente les déférents états de support un est lisse l'autre est rugueux.



Surface de support rugueuse et sèche



Surface de support lisse et sèche

Figure II.20.état de surface de support



Figure II.21.surface du MR sur le support

II.4.2.1Essais de durabilité

II.4.2.1.1Absorption capillaire

D'après la norme [NF EN 480-5] L'essai consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de mortier 40×40×160 mm^3, dans des conditions spécifiées.

Les éprouvettes doivent être pesées après avoir une masse constante Les éprouvettes doivent reposer sur des barres ou des chevilles pour permettre à l'eau d'accéder librement à leur base. Le niveau d'eau doit être maintenu à 5 mm au-dessus de leur base. Chaque éprouvette doit être sortie du récipient, essuyée légèrement avec un papier ou un chiffon afin d'éliminer l'eau excédentaire. On mesure alors l'augmentation de la masse de l'éprouvette en fonction du temps.sa la formule :

$$Ac = \frac{M(t)-M_0}{M_0} \times 100 \quad \text{..... [NF EN 480-5]}$$

Où $M(t)$ est la masse du MBR après immersion pendant un temps et M_0 la masse initiale de l'échantillon à l'état sec.

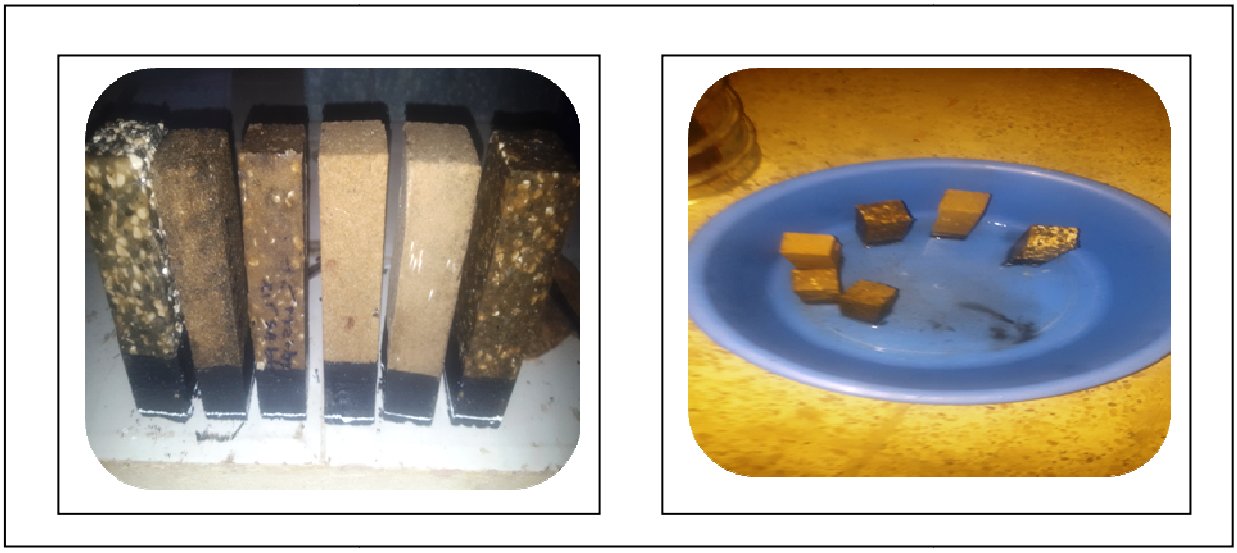


Figure II.22. Essais de l'absorption capillaire

Conclusion :

Ce chapitre regroupe l'ensemble des matériaux et des techniques expérimentales utilisées tout le long de ces travaux.

Chapitre III :
Résultat et interprétation

Introduction

Dans ce chapitre on présente les résultats obtenus pour les différents essais réalisés, sur le mortier frais et le mortier durci.

Les résultats sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d’essais.

III.1.Propriétés physiques des constituants :

Le tableau suivant regroupe les principales caractéristiques des fractions granulaires :

Tableau III.1. Caractéristiques des fractions granulaires

Matériaux	Module de finesse %	Masse volumique absolue g/cm3	Masse volumique apparente g/cm3	Porosité %	Propreté %
Silice traité fin	2.86	2.11	1.43	32.22	95.87
Silice traité moyen	2.98	2.14	1.47	31.30	63.39
Silice traité 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	-

III.2Analyse granulométrique

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

a) Silice traité gros

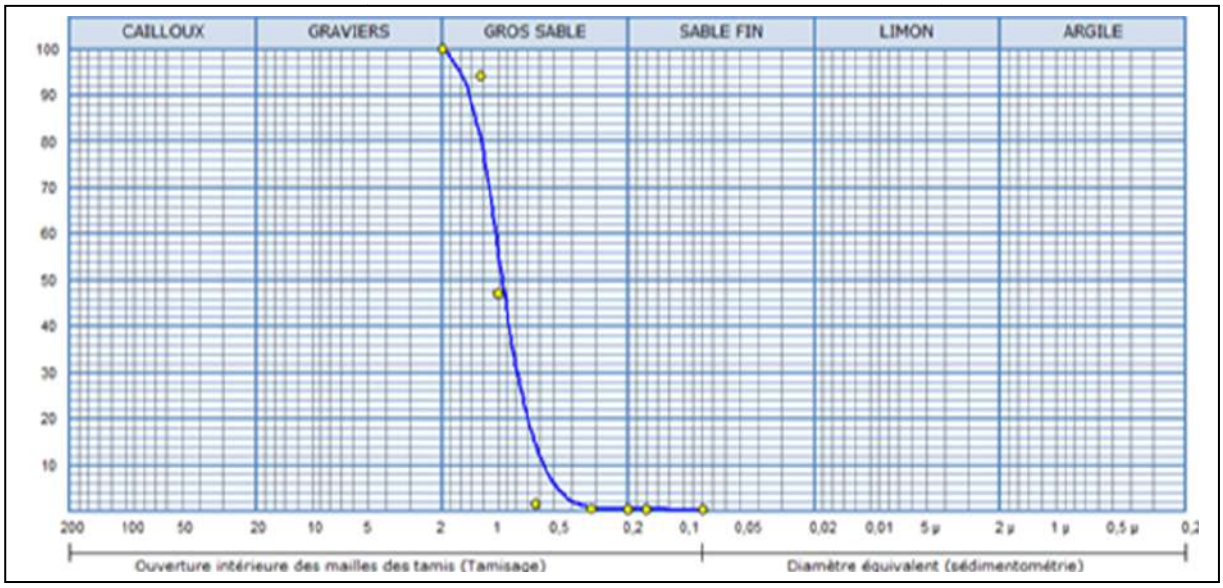


Figure III.1courbe granulométrique de sable de silice gros (0.08-1.25) mm

b) silice traité moyen

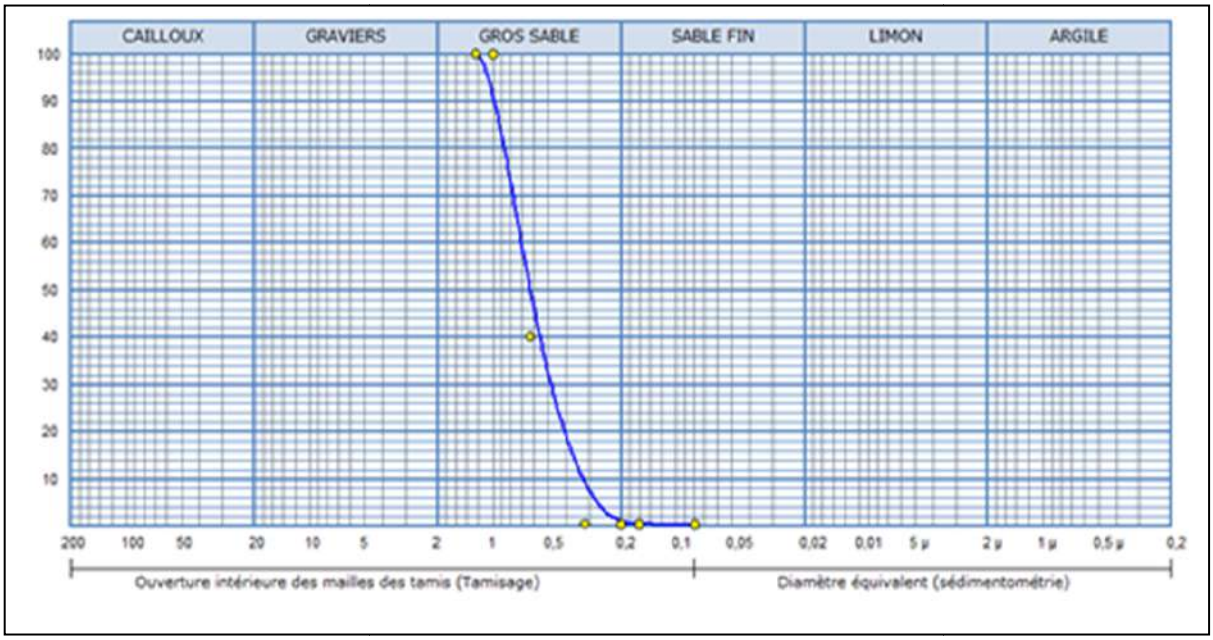


Figure III.2courbe granulométrique de sable de silice moyen (0.16-0.63) mm

c) silice traité fin

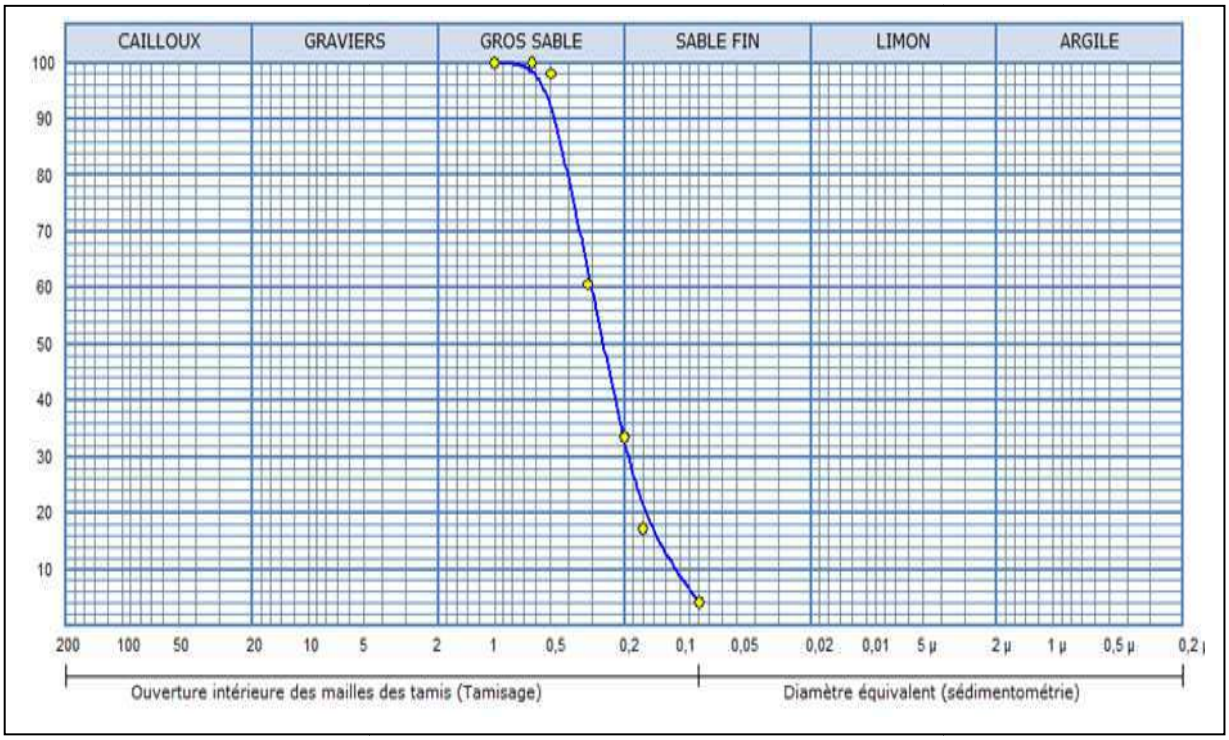


Figure III.3 .courbe granulométrique de sable de silice fin (0.063-0.63) mm

d) Gravier de marbres 3/8

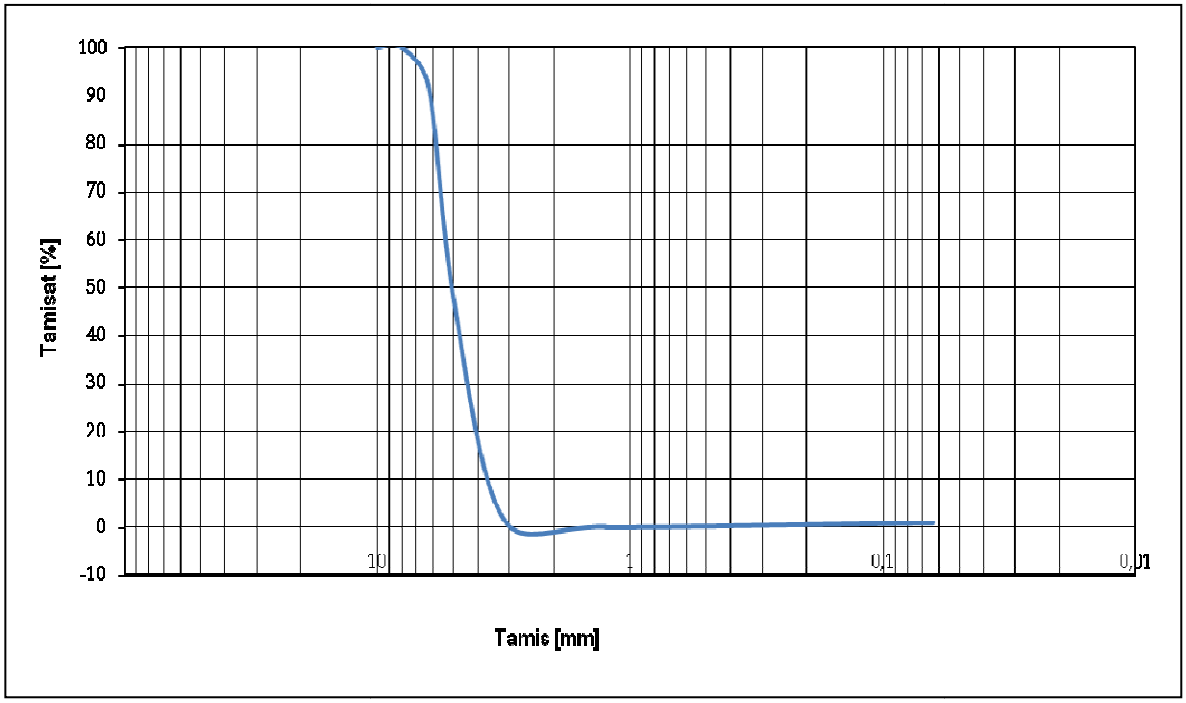


Figure III.4courbe granulométrique de marbre3/8

e) Gravier de marbres 1/4

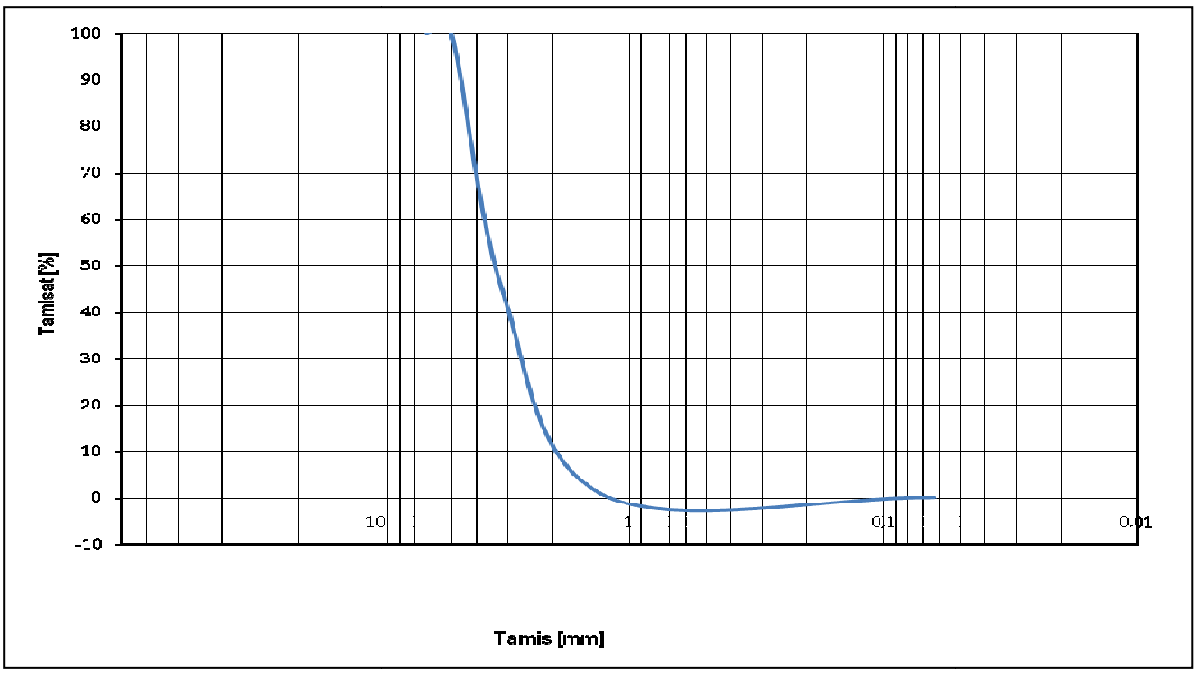
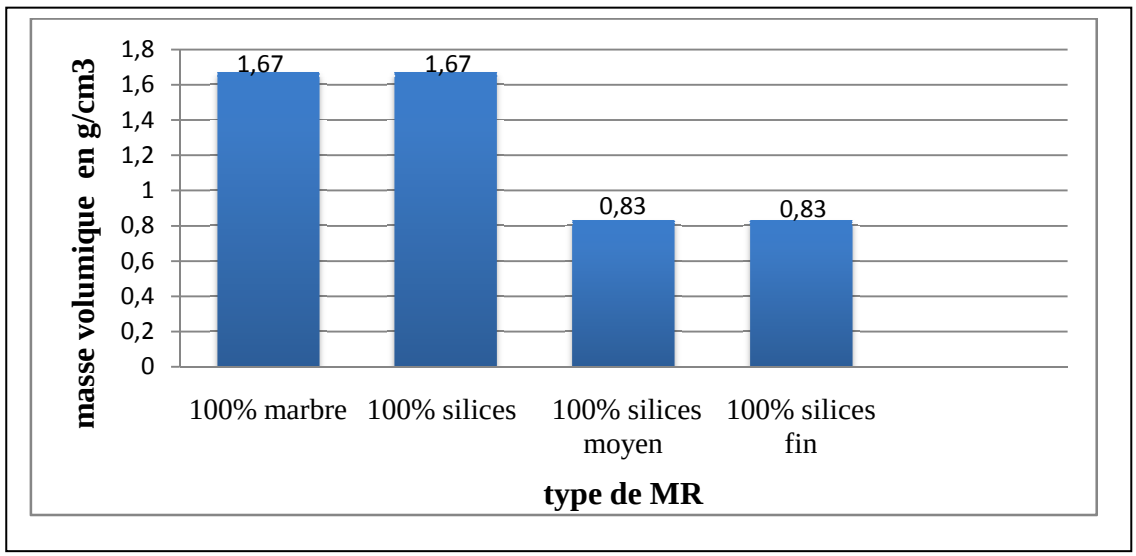


Figure III.5.courbe granulométrique de marbre fin 1/4

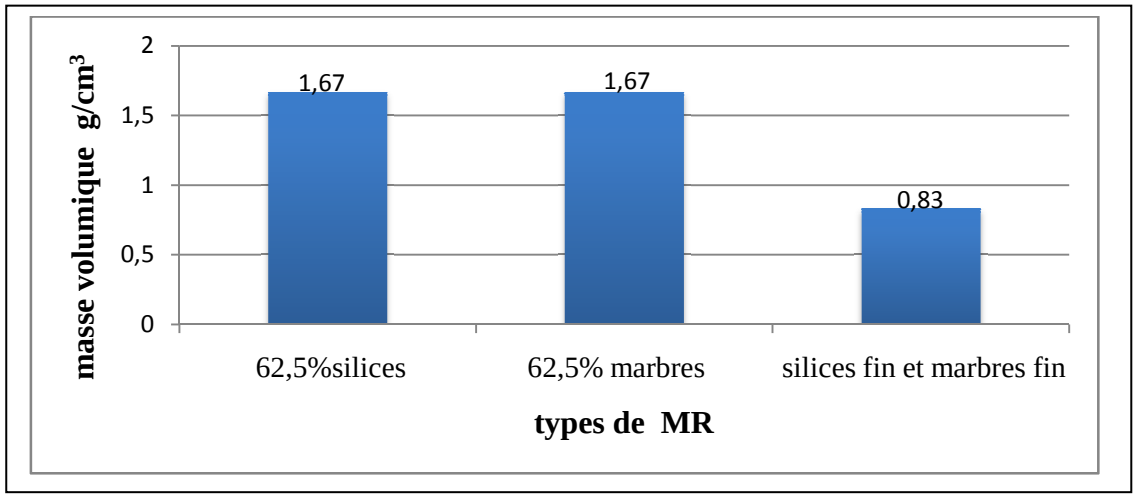
III.3. Caractéristique des bétons à l'état frais

III.3.1 masse volumique

D'après la lecture de ses histogrammes on remarque que la densité de béton de résine à base d'époxy est élevée pour toutes formulations à l'état frais.



a. Densité des MR avec des seuls types des granulats



b. Densité des MR avec des MR avec combinaison des granulats.

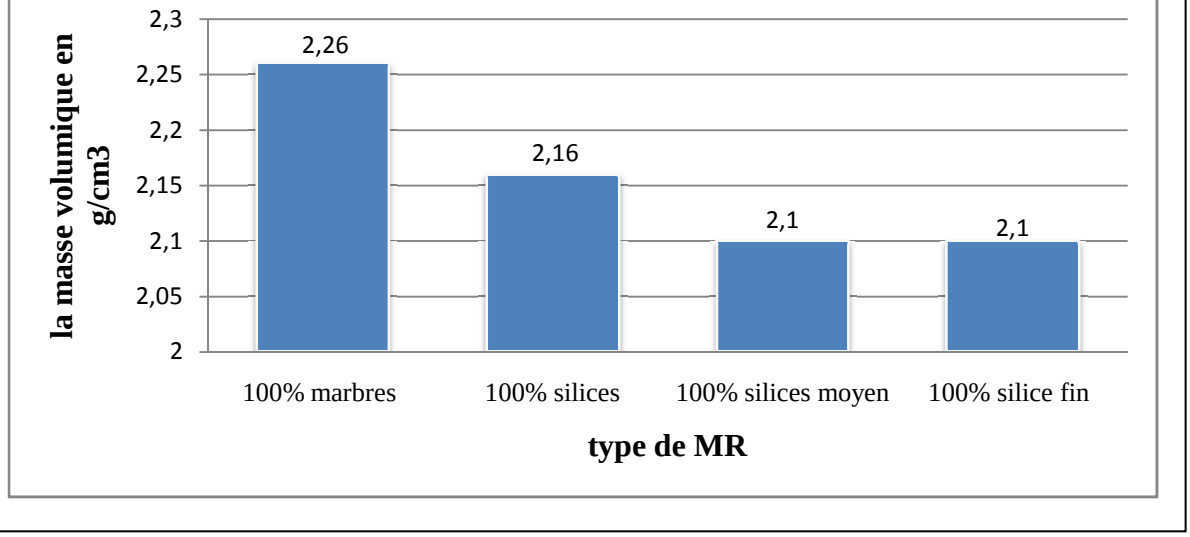
Figure III.6: Densité des MR avec des seuls types des granulats

III.4.Caractéristique des bétons à l'état durci :

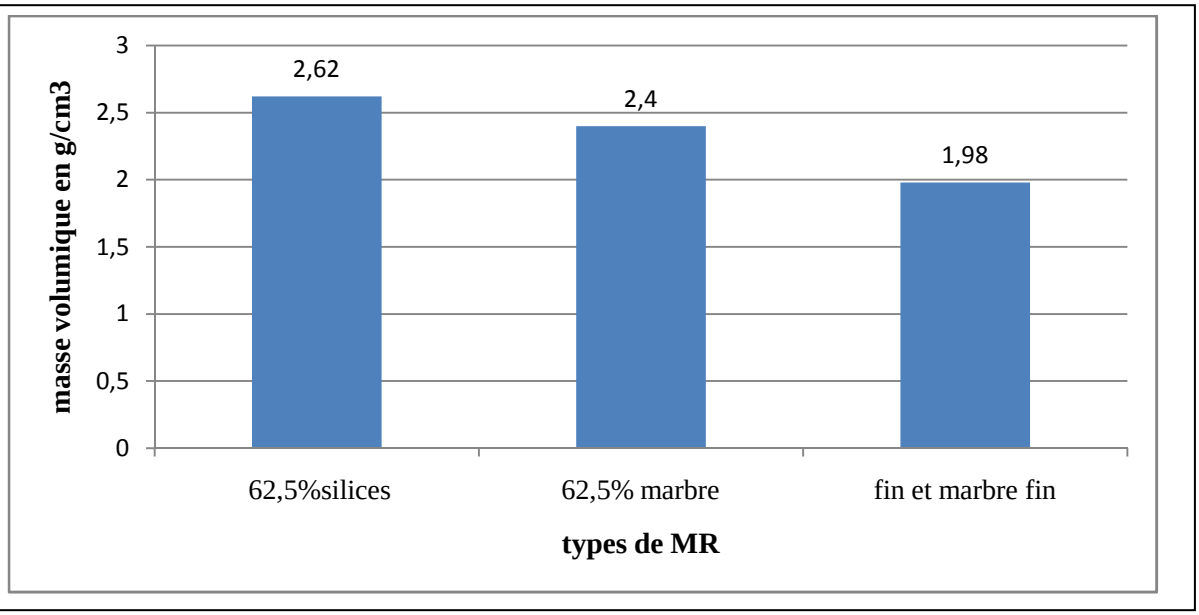
III.4.1Essais mécaniques

III.4.1.1 masse volumique à l'état durci

D'après La figure III.7On observe que les bétons de résine sont denses.



a. Densité des MR avec des seuls types des granulats



b. Densité des MR avec des MR avec combinaison des granulats.

Figure III.7 Variation de masse volumique

III.4.1.2Résistance à la traction par flexion :

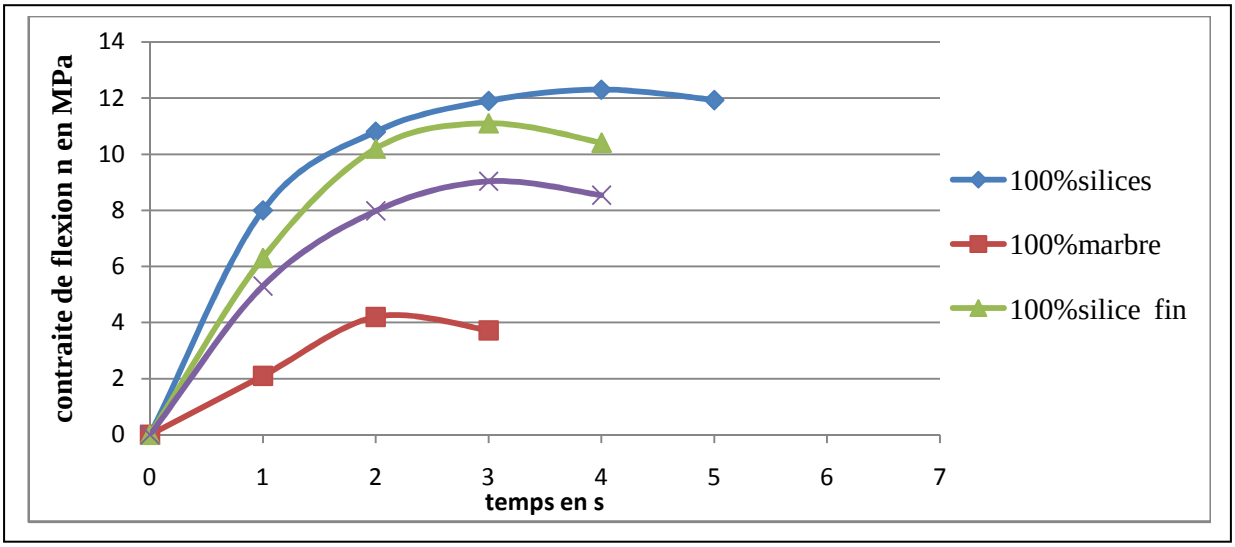
a) Contrainte de flexion

Les essais de flexion trois points ont été réalisés sur des échantillons prismatiques (4×4×16cm), La résistance à la flexion a été calculée à partir de la charge de rupture, F(KN), en utilisant la relation :

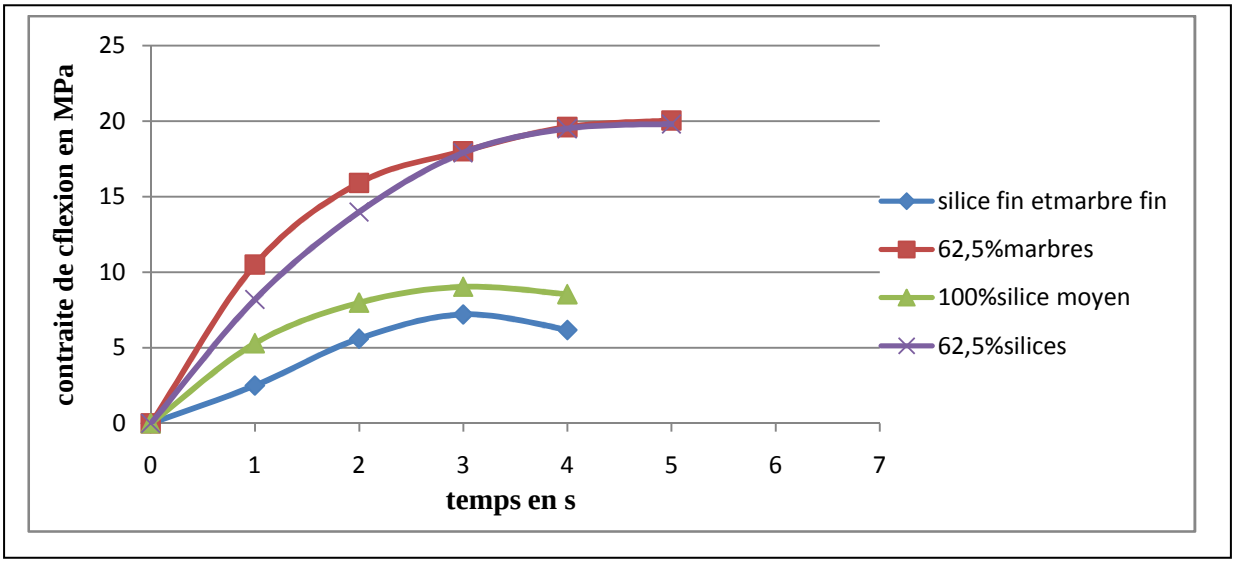
$$\sigma\,(\mathrm{MPA}) = 2.34 \times \mathrm{F(KN)} \quad \text{.....[EN 196-1 5]}$$

Compte tenu des dimensions des éprouvettes et de la distance entre appuis.

On remarque que tous les mortiers résineux ont des ruptures fragiles.



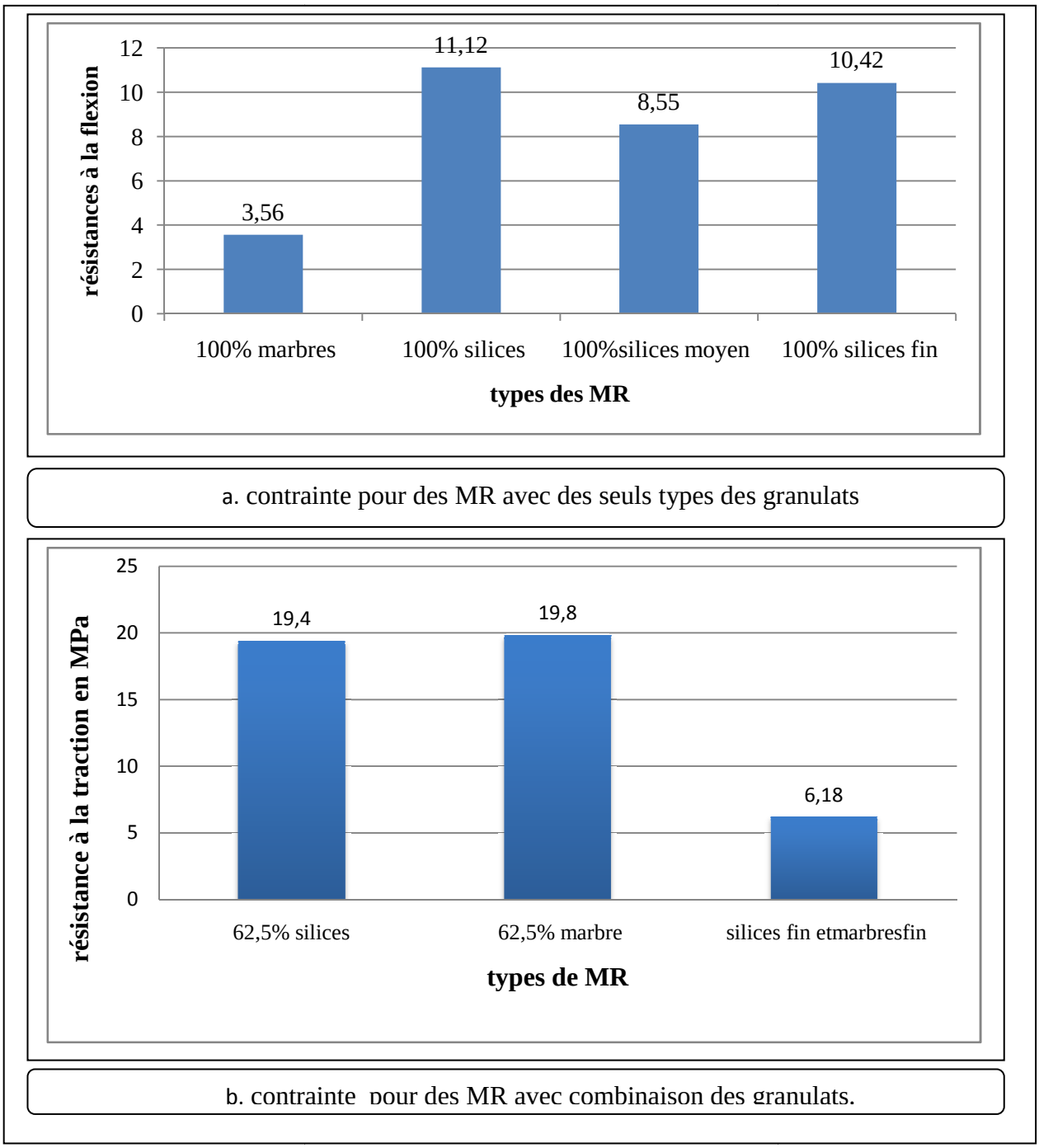
a. contrainte pour des MR avec des seuls types des granulats



b. contrainte pour des MR avec combinaison des granulats.

FigureIII.8.la contrainte de flexion en fonction du temps.

L'analyse des résultats (figure III.9), montre que les MR fabriqués avec des combinaisons des granulats ont des résistances plus importantes que les MR formulations aves des seuls types des granulats car la variation des diamètres et types de la granulométrie a un effet sur la résistance à la flexion trois points des bétons résineux et la continuité entre le liant et les granulats augmentent la résistance à la flexion aussi que le MR à base de 100% marbre est le plus faible parce que les marbres n'ont pas absorbé la résine et on résulte beaucoup de vides.



a. contrainte pour des MR avec des seuls types des granulats

b. contrainte pour des MR avec combinaison des granulats.

Figure III.9 Variation de la résistance à la traction par flexion de déférent béton

b) Mode de rupture

Le comportement du BR en flexion par traction pour toutes les formulations est légèrement ductile lors de la rupture, après fracture Les éprouvettes éclatent en deux morceaux manifestés.
La figure **III.10** montre des exemples de modes de rupture observés sur des éprouvettes rompues en flexion.

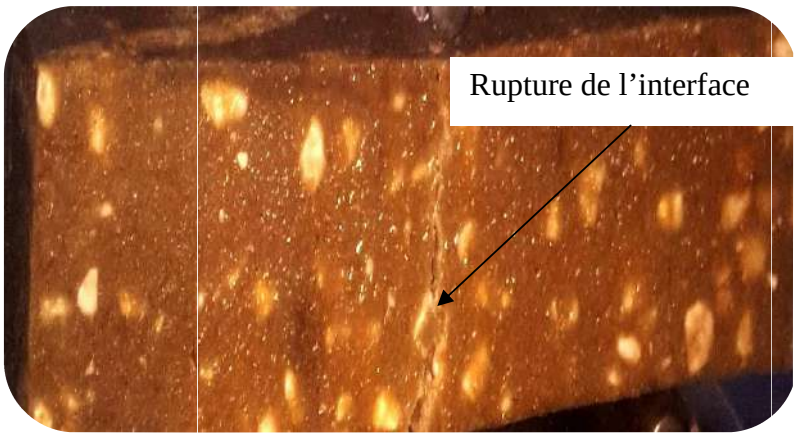
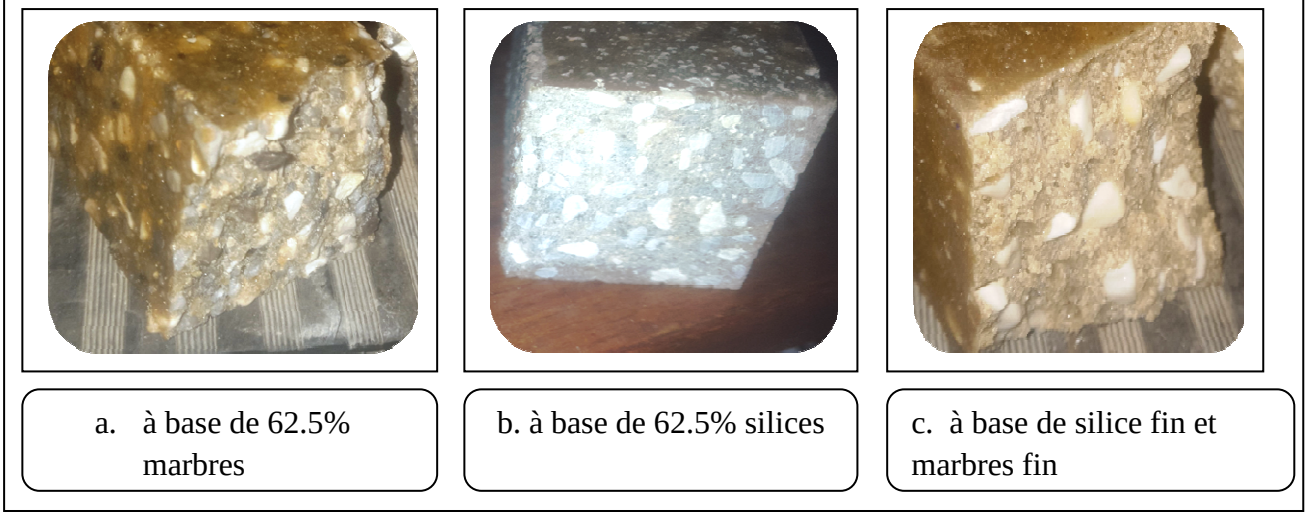


Figure III.10.mode de rupture sur la résistance à la traction

c) Faciès de rupture des micro-bétons de résine

Les faciès de rupture des demi-éprouvettes obtenues lors des essais flexion sur le micro-béton à base de résine sont montrés sur les figures suivantes :



a. à base de 62.5% marbres

b. à base de 62.5% silices

c. à base de silice fin et marbres fin

Figure II.11 : facies de rupture des MR avec combinaison des granulats.



a. à base de marbres



b. à base silices de (fin, moyen, gros)



d. à base de silice fine



c. à base de silice moyenne

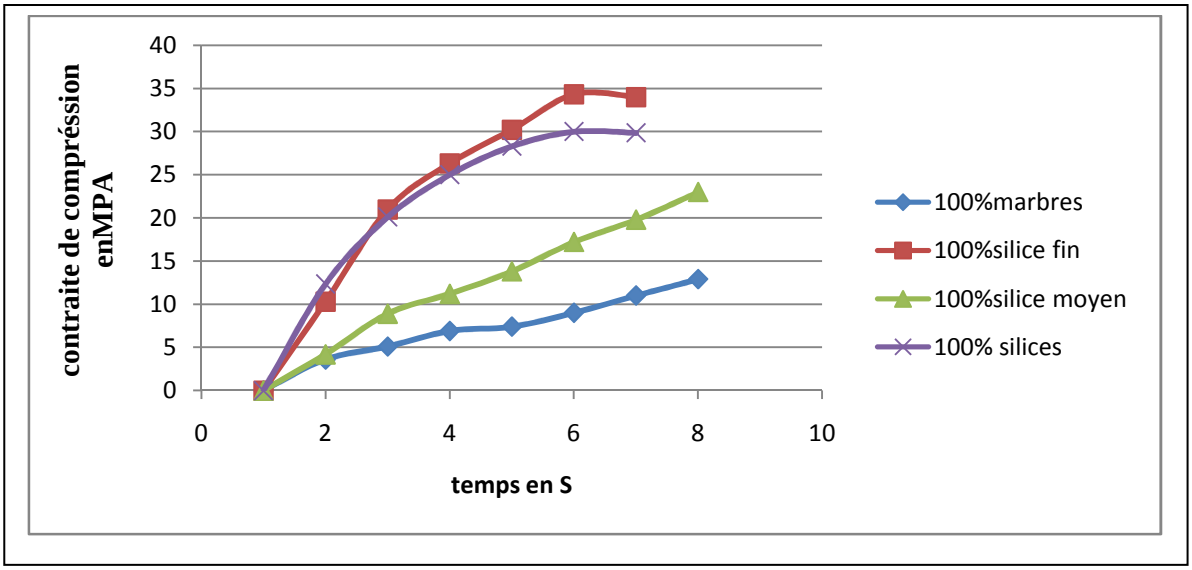
Figure II.12 : facies de rupture des MR des seuls types des granulats.

III.4.1.3Résistance à la compression :

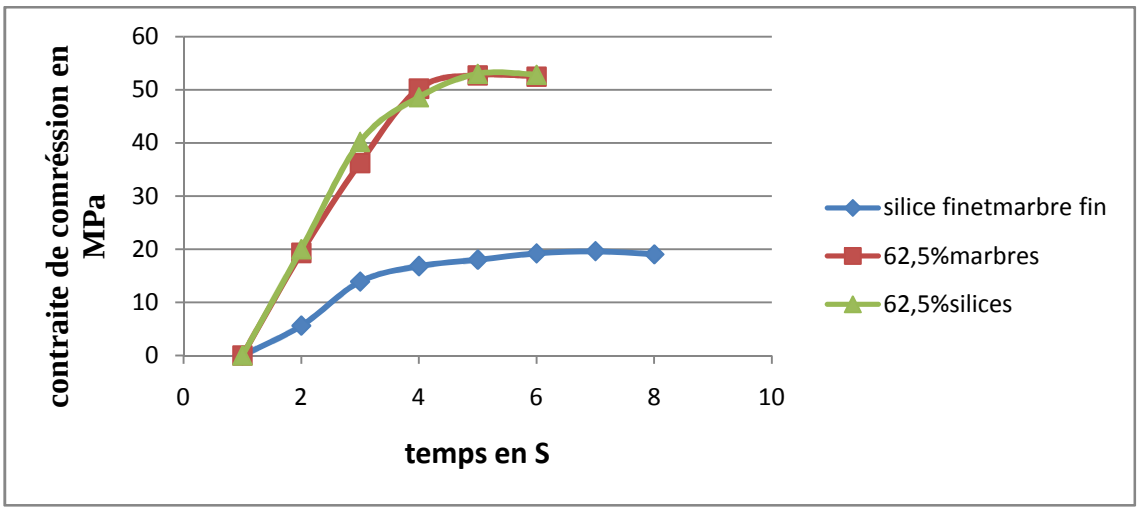
On a réalisé l'essai de compression sur les demi-échantillons prismatiques (4×4×16cm). La résistance à la compression a été calculée à partir de la charge à la rupture de l'échantillon(KN) en utilisant la relation compte tenu des dimensions des échantillons.

$$\sigma(\text{MPa}) = \frac{F(N)}{1600} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{[EN 196-1 5]}$$

La figure III.13. Présente les différentes contraintes des mortiers résineux fabriqués qui montre que les MR sont fragiles à la compression.



a. contrainte pour des MR avec des seuls types des granulats



b. contrainte de compression pour des MR avec combinaison des granulats.

FigureIII.13.la contrainte de compression en fonction du temps

L'analyse des résultats (figure III.14) montre que les résistances des MR formulées avec des seuls types des granulats sont très faibles car la variation des types des granulats et la continuité entre les granulats et le liant influent sur la résistance à la compression.

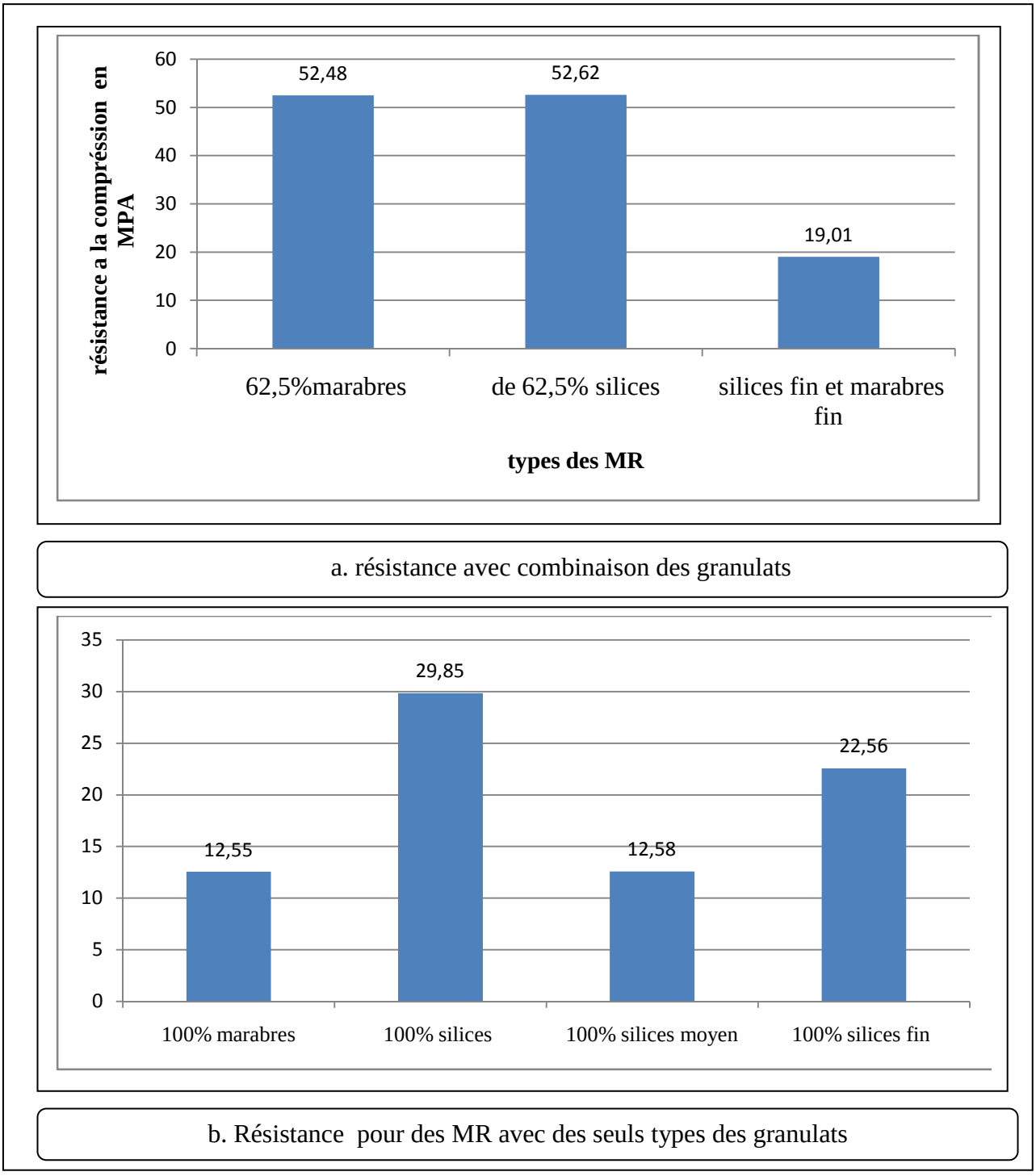


Figure III.14. Variation de la résistance de compression des déférents MR

- **Mode de rupture :**

Le mécanisme de fissurations observé semble beaucoup plus à des craquelures multiples éparpillées un peu partout dans le corps des éprouvettes.

La figure III.15 montre des illustrations du mode de rupture des éprouvettes en compression.

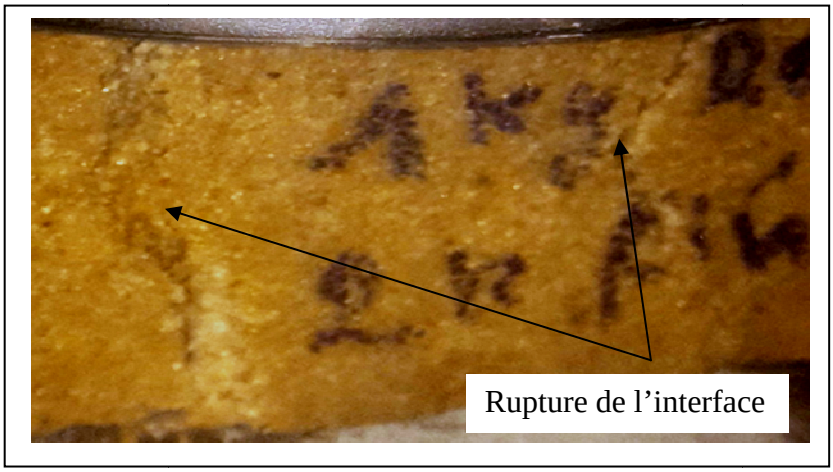


Figure III.15.mode de rupture sur la résistance à la compression

III.4.1.4 Adhérence :

L'adhérence par dynamomètre de traction a été testée sur des supports constitués d'un béton fibré avec différents états de surface (lisse sèche et rugueuse sèche).

La contrainte d'adhérence est donnée par la formule suivante

$$fu = \frac{Fu}{A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{[NF EN 1015-12]}$$

Avec

fu : Contrainte d'adhérence N/mm$^{2.}$

Fu : force de rupture en MPa.

A ; surface de l'essai en millimètre.

Nous remarquons que l'état de surface du support a beaucoup d'influence sur l'adhérence du mortier de réparation car La meilleure adhérence est obtenue pour un état de surface lisse et sec.

Tableau III.2. Résistance a l'adhérence

	Surface sèche et rugueuse		Surface sèche et lisse	
	Charge de rupture N	**Contrainte adhérence N/mm²**	**Charge de rupture N**	**Contrait adhérence N/mm²**
1	2498	1.27	2900	1.47
2	2271	1.15	3275	1.66
3	2425	1.35	2890	1.47
4	2248	1.23	3253	1.65
5	2523	1.28	2850	1.45
	moyen	1.25	**moyen**	1.54

- **Mode de rupture de l'adhérence :**

  Lors d'un essai d'adhérence, on peut distinguer plusieurs cas de rupture

✓ **Rupture cohésive** : lorsqu'elle ne se produit pas à l'interface dans ce cas la cohésion du matériau ou de l'interphase qui a cédé est plus faible que l'adhésion des deux partenaires. La rupture peut alors être cohésive dans le béton ou dans le polymère.

✓ **Rupture adhésive :** lorsqu'elle se produit à l'interface et la cohésion de chacun des matériaux est meilleure que leur adhésion.

✓ **Une rupture mixte :** lorsqu'elle est à la fois cohésive par endroits et adhésive à d'autres.

Pour notre cas on remarque que la rupture est mixte (adhésive +cohésive)

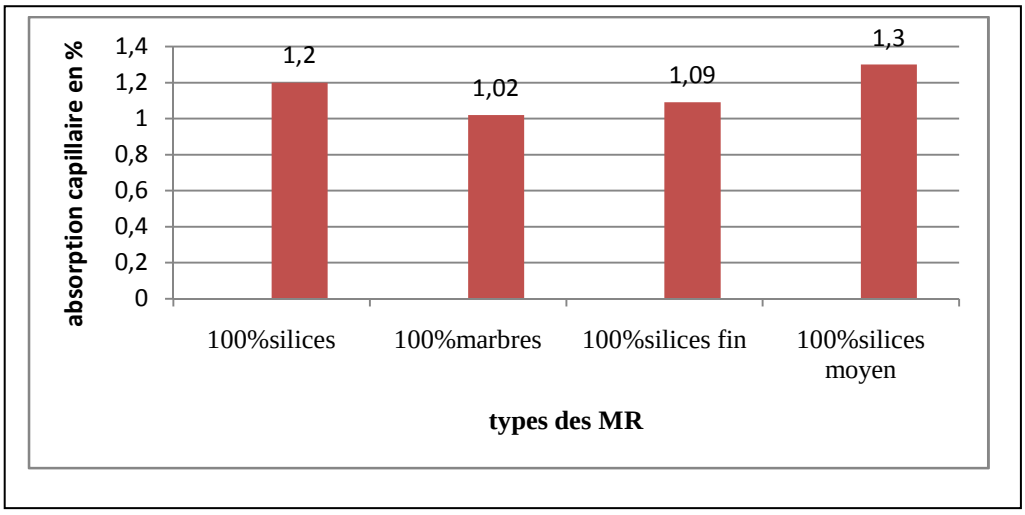


Figure III.17.mode de rupture sur la résistance à l'adhérence.

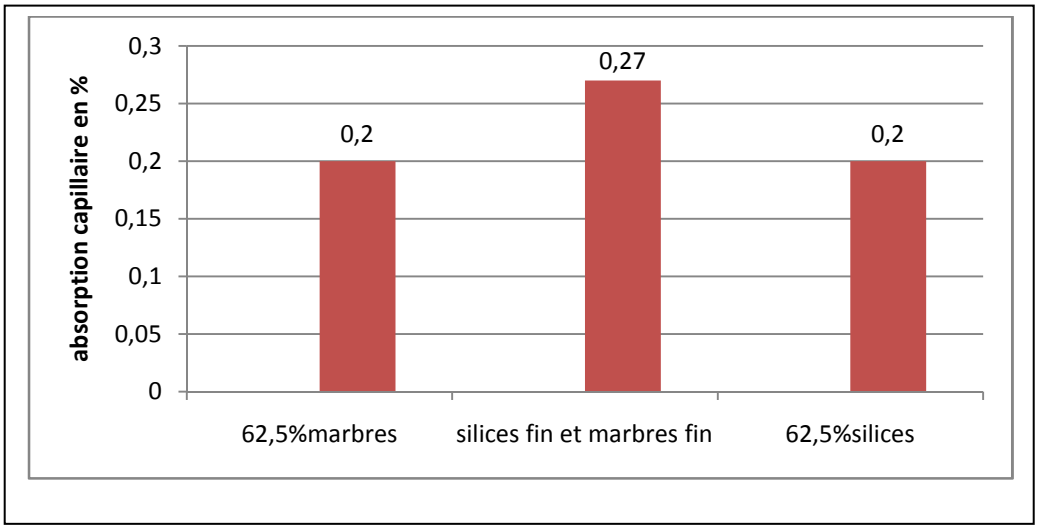
III.4.2Essais de durabilité

III.4.2.1Absorption capillaire

L'absorption est suivie au temps par simple mesure gravimétrique. La figure III.18 illustre l'évolution de la prise de masse (ou gain de masse) en fonction du temps (**6 jours**). On remarque que les MR formulés avec des combinaisons des granulats absorbent peu d'eau que les MR à base des MR formulés avec des seuls types des granulats car ces MR sont poreux.



a. Absorption pour des MR avec des seuls types des granulats



b. Absorption pour des MR avec combinaison des granulats.

Figure III.18.absorption capillaire

Conclusion

Les essais réalisés sur les formulations de MR se différencient uniquement par la variation des granulats avec un pourcentage constant du liant 12.5%.
Les résultats obtenus au cours de cette étude permettent de dégager les points suivants :

A l'état frais :

- ✓ Une croissance marquante dans la densité des MR pour toutes les formulations de cette étude

A l'état durci

- ✓ Les formulations de MR sont denses.
- ✓ Le mélange granulaire influence les propriétés physiques et les résistances mécaniques de MR car la variation des résistances varie en fonction de la variation des mélanges granulaires.
- ✓ Les MR formulés sont beaucoup plus résistants à la flexion par traction qu'à la compression.
- ✓ La résine qui joue le roule de liant empêche l'absorption d'eau dont la diversité des granulats influe sur ce dernier.
- ✓ Des tests d'adhérence du MR sur un support, constitué d'un béton fibré, ont été effectués en fonction de l'état de surface. Il a été démontré que la surface lisse et sèche du support présente une adhérence meilleure.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'Objectif principale de cette thèse expérimentale consiste à l'introduction des résines polymères dans le béton. Le polymère jouant le rôle de liant est un époxyde Protop 1000 son dosage est de 12.5% en poids des granulats. Les charges sont constituées de silices traité fin, moyen et gros de granulométrie variant entre de (0.063-0.63) mm, (0.1-0.63) mm et (0.08-1.25) mm, deux marbres des classe granulaire varie entre 3/8 et 1/4.

Une compagne d'essais mécaniques a été conduite sur différentes formulations de MR en faisant varier la continuité des granulats.

Parmi les conclusions qu'on a pu tirer de notre travail, on a :

A l'état fais :

Pour tout les cas la densité de ces MBR est hausse.

A l'état durci :

Pour toute les formulations dans ce travail, les propriétés mécaniques des MR son intéressante, la résistance a la flexion son meilleur que celle de compression.

Le polymère donne une très bonne adhérence qu'ont le support est sèche et lisse.

L'introduction des résines polymère améliore la durabilité des micro-bétons résineux sous l'effet de l'eau. Cette amélioration s'explique amplement par la baisse d'absorption d'eau.

Ainsi, le remplacement du ciment Portland par un polymère se justifie malgré le coût plus élevé du polymère ainsi que de celui de la main-d'œuvre dans le cas où la structure se trouve dans un environnement d'une agressivité importante.

Ce travail a donc permis de confirmer l'effet positif de la présence de résine polymères dans les bétons: ce qui est l'amélioration des propriétés mécaniques des bétons.

Référence bibliographique

[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.

[Bourguiba.16] Bourguiba,Amel. Comportement Rhéologique, Ouvrabilité et Durabilité des Mortiers à Base de Résine Epoxyde. Tunis : université de Tunis El MANAR, 2016, vol 168. pp 23.

[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.2016] 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).

[Elalaoui.12] Elalaoui,oussama. Optimisation de la formulation et de la tenue aux d'un béton à base d'époxyde. Tunis : université de Tunis El MANAR, 2012, vol 194, pp28-424.

[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] D. 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).

[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.

[Rebeiz et el.04] K. Rebeiz, S. P. Serhal et A. P. Craft. Mechanical Properties of Polymer Concrete :Journal of Materials in Civil Engineering, 2004, pp 15-124**.**

[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.

[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.

[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.

[choia et al.04] N.W. Choia, Y. Ohama, Development and testing of polystyrene mortars using waste EPS solution-based binders: Construction and Building Materials, 2004,pp 235–241.

[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] 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 2007] 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.2010] M. Golestaneh, G. Amini : World Applied Sciences Journal, 2010, vol 9, pp 216-222.

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

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

[NF EN 12350-6] Normes française : Essais pour béton frais - Partie 6 : masse volumique, Avril 2012.

[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.

[NF EN 1015-12] Norme française : Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 12 : détermination de l'adhérence des mortiers d'enduit durcis appliqués sur supports, Février, 2001.

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

[NF 1941] Norme Française Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Essais d'absorption capillaire NF P 18 354:1986.

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 113r02

09/2012

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

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

www.flowcrete.fr

Pro Top 1000

Liant époxy universel
Fiche Produit page 2/2

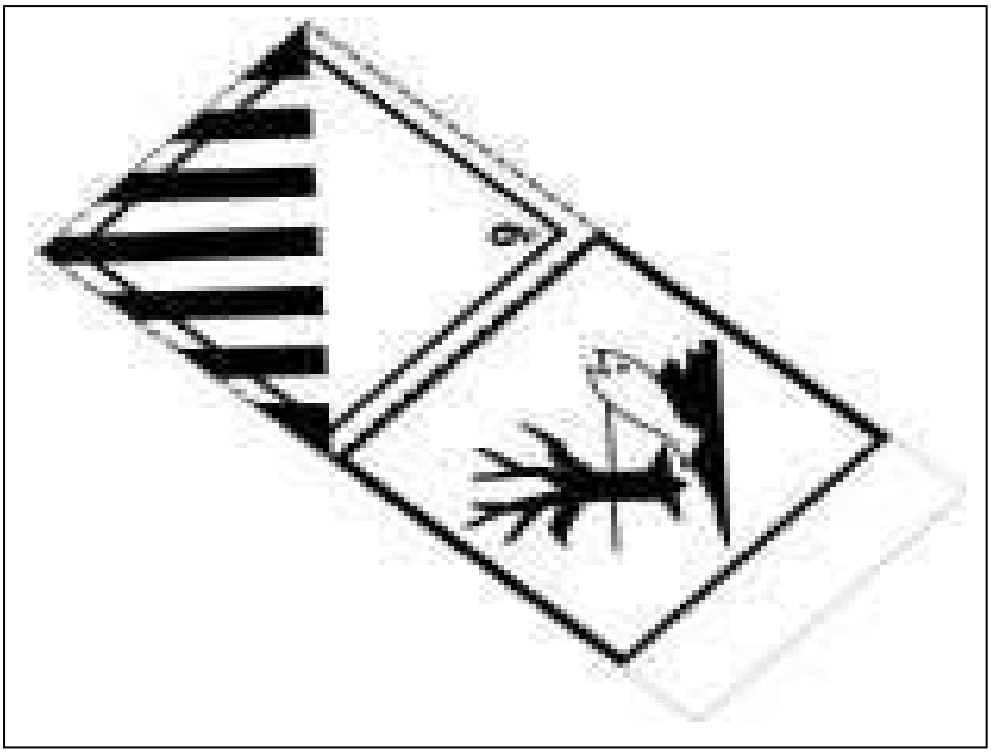
Destination	Rapport de mélange (en poids)	Application	Epaisseur (mm)
Couche d'égalisation ou titre à 0 avant pose d'un revêtement semi-épais.	1 part de Pro Top 1000 pour 1 à 2 parts de silice calibrée 0,1/0,3 mm.	Lisseuse ou peigne crantée.	1
Mortier de reprofilage de 3 à 15 mm.	1 part de Pro Top 1000 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

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

www.flowcrete.fr



Étiquette de danger spéciale UN 3082 / UN 3077

Étiquette de danger spéciale UN 3082 / UN 3077 : étiquette de danger combinée « classe 9 » + « Dangereux de l’environnement » + cartouche à personnaliser soit même ou à imprimer par nos soins avec pointillés.

Annexe 2 : 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.

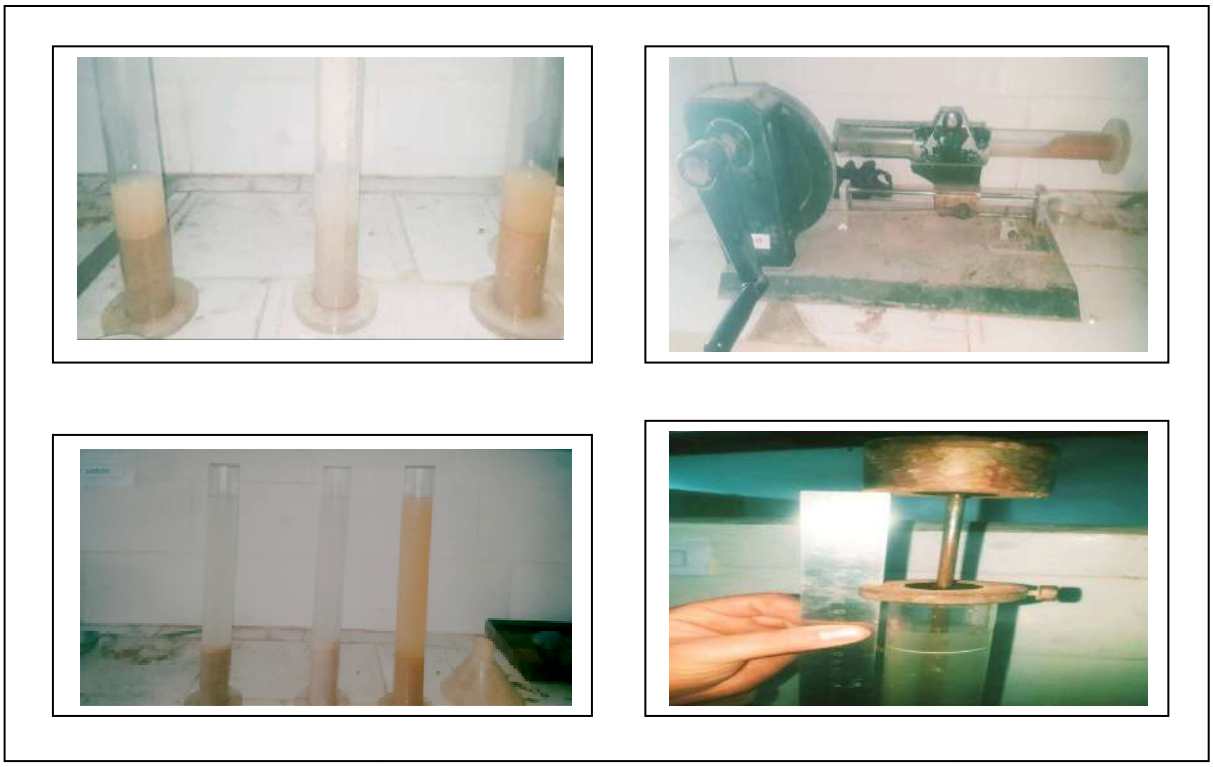
- **Expression des résultats :**

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 tableau suivant

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 très propre

Annexe 3 : 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 un récipient
- puis sécher la quantité de l'agrégat dans une étuve a 115°C pendant 2h
- laisser refroidir puis peser
- 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 de tamis
- agiter la colonne puis reprendre un à un les tamis
- peser le refus au tamis ayant la plus grande dimension de maile R1
- on trace le graphe

C.T.T.P	Formulaire	DMJ :5/09/2011
	ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS SELON LA NORME NA 2607/92	Réf : FO.EL.02
Page : 1/1		Révision : 04

Dossier n° : Code : Client :	Nature du matériau : Tbessa Provenance : silice fin	Date de l'essai : 19.mars 2018 Opérateur :Tounsi et Elhabib Séchage : 105°C

Masse sec totale (Ms1 = Mh / (1 +w) : M_{S1} = 1350 gr	

Ouverture de Tamis (mm)	Masse Refus Cumulés Ri (gr)	Refus cumulés ri = (100*Ri / Ms1) (%)	Tamisas Cumulés 100 – ri(%)	Tamisas Cumulés (arrondi) (%)
10				
8				
6.3				
5				
4				
3.15				
2.5				
2				
1.25	0	0	100	
1	0	0	100	
0.63	25	1.850	98.75	
0.315	531	39.304	60.69	
0.250	899	66.43	33.24	
0.16	1118	82.753	17.247	
0.08	1294	95.780	4.22	
0.063				

C.T.T.P	Formulaire	DMJ :5/09/2011
	ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS SELON LA NORME NA 2607/92	Réf : FO.EL.02
Page : 1/1		Révision : 04

Dossier n° : Code : Client :	Nature du matériau : Tbessa Provenance : silice moyen	Date de l'essai : 19mars2018 Opérateur : Tounsi et EL habib Séchage :105°C

Masse sec totale (Ms1 = Mh / (1 +w) : M_{S1} = 1484 gr	

Ouverture de Tamis (mm)	Masse Refus Cumulés Ri (gr)	Refus cumulés ri = (100*Ri / Ms1) (%)	Tamisas Cumulés 100 – ri(%)	Tamisas Cumulés (arrondi) (%)
10				
8				
6.3				
5				
4				
3.15				
2.5				
2				
1.25				
1	0	0	100	
0.63	888	0.059	99.94	
0.315	1475	99.39	0.61	
0.250	1477	99.52	0.48	
0.16	1478	99.59	0.41	
0.08				
0.063				

C.T.T.P	Formulaire	DMJ :5/09/2011
	ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS SELON LA NORME NA 2607/92	Réf : FO.EL.02
Page : 1/1		Révision : 04

Dossier n° : Code : Client :	Nature du matériau : Provenance : silice grand	Date de l'essai : 19mars2018 Opérateur : Tounsi et El habib Séchage :105°C

Masse sec totale (Ms1 = Mh / (1 +w) : M_{S1} = 1307 gr	

Ouverture de Tamis (mm)	Masse Refus Cumulés Ri (gr)	Refus cumulés ri = (100*Ri / Ms1) (%)	Tamisas Cumulés 100 – ri(%)	Tamisas Cumulés (arrondi) (%)
10				
8				
6.3				
5				
4				
3.15				
2.5				
2	0	0	100	
1.25	75	0	100	
1	690	5.73	94.27	
0.63	287	52.79	47.21	
0.315	1287	98.46	1.54	
0.250	1300	99.46	0.54	
0.16	1304	99.64	0.46	
0.08	1305	99.61	0.39	
0.063	1306	99.60	0.29	

C.T.T.P	Formulaire	DMJ :5/09/2011
	ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS SELON LA NORME NA 2607/92	Réf : FO.EL.02
Page : 1/1		Révision : 04

Dossier n° : Code : Client :	Nature du matériau : Tbessa Provenance : marbre gros	Date de l'essai : 20 mars 2018 Opérateur : Tounsi et ELhabib Séchage :105°C

Masse sec totale (Ms1 = Mh / (1 +w) : M_{S1} = 2238 gr	

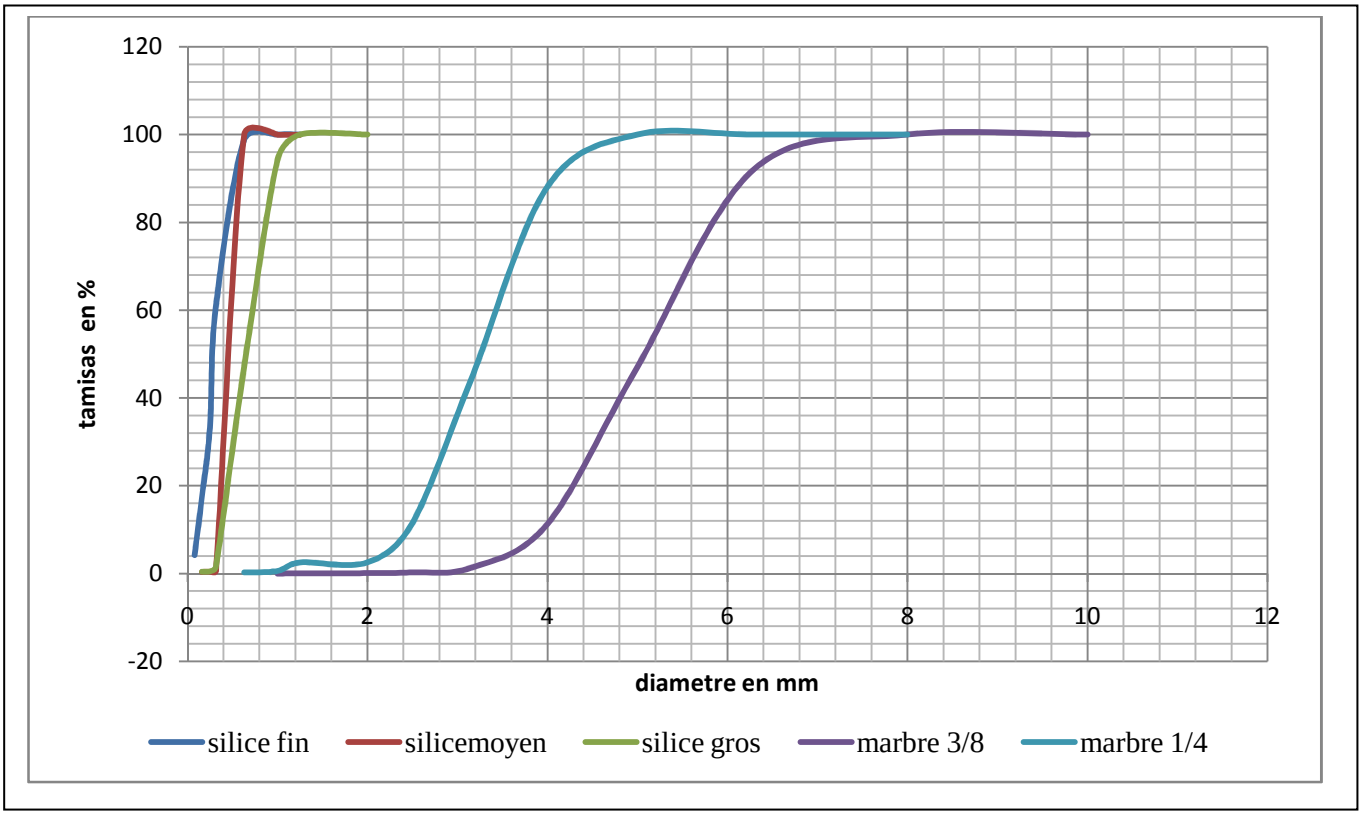
Ouverture de Tamis (mm)	Masse Refus Cumulés Ri (gr)	Refus cumulés ri = (100*Ri / Ms1) (%)	Tamisas Cumulés 100 – ri(%)	Tamisas Cumulés (arrondi) (%)
10	0	0	100	
8	0	0	100	
6.3	175	7.819	92.19	
5	1984	52.85	47.15	
4	2208	88.65	11.35	
3.15	2231	98.65	1.35	
2.5	2231	99.68	0.32	
2	2235	99.86	0.14	
1.25	2236	99.91	0.09	
1	2239	99.98	0.04	
0.63				
0.315				
0.250				
0.16				
0.08				
0.063				

C.T.T.P	Formulaire	DMJ :5/09/2011
	ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS SELON LA NORME NA 2607/92	Réf : FO.EL.02
Page : 1/1		Révision : 04

Dossier n° : Code : Client :	Nature du matériau : Tbessa Provenance : marbre fin	Date de l'essai : 20mars 2018 Opérateur : Tounsi et EL habib Séchage : 105°C

Masse sec totale (Ms1 = Mh / (1 +w) : M_{S1} = 1676 gr	

Ouverture de Tamis (mm)	Masse Refus Cumulés Ri (gr)	Refus cumulés ri = (100*Ri / Ms1) (%)	Tamisas Cumulés 100 – ri(%)	Tamisas Cumulés (arrondi) (%)
10				
8	0	0	100	
6.3	0	0	100	
5	0	0	100	
4	199	11.87	88.13	
3.15	936	55.84	44.16	
2.5	1482	88.42	11.58	
2	1633	97.43	2.57	
1.25	1666	99.40	0.60	
1	1670	99.64	0.3	
0.63				
0.315				
0.250				
0.16				
0.08				
0.063				



La granulométrique des silices et marbres

Annexe 4 : 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 :

$$\rho_{app} = \frac{M2-M1}{V}$$

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 pour chaque essais $\rho_{abs} = \frac{M}{V2-V1}$



