

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de génie de la construction
Département de génie civil



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master en génie civil

Option : STRUCTURE

Thème

Etude expérimentale de mortier à hautes performances armé de textiles

Proposé et dirigé par :

Mme BOUZEBoudja.F

Réalisé par :

SEGGAR Razika

GOUSSAADA Sylia

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Avant tout nous remercions le tout puissant "ALLAH" de nous avoir donné le courage, la sérénité et surtout la force et la volonté pour bien mener et achever ce travail.

Ensuite, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre promotrice Mme BOUZEBODJA.F de nous avoir confié un sujet de recherche prestigieux et passionnant, pour son aide et son suivi pour l'élaboration de notre travail, ainsi que pour ses conseils avisés, ses remarques pertinentes et la confiance qu'elle nous a prodiguée.

Nous remercions également les membres du jury qui nous feront l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Nous exprimons aussi, notre gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont apportées assistance et aide dans la réalisation de notre projet.

Enfin, nous ne saurions terminer nos remerciements sans les adresser à nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études dans les meilleures conditions.



Dédicaces

Je dédie mon travail a toutes ma famille, de loin ou de proche, spécialement mes parents, mes frères, mes sœurs qui m'ont fournis un soutien moral et matériel afin que je puisse terminer mon cursus et mon parcours universitaire avec succès. Ainsi que mes amis.

Razika





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Ceux qui se sont donné toutes les peines et les sacrifices, Pour me voir réussir dans la vie :

Les deux personnes les plus chères à mon cœur, mon père et ma mère.

Mes très chers frères et leurs femmes.

Mes très chères sœurs et leurs maris.

Mes adorables nièces et neveux,

Mes chères cousines et cousins.

Toute la famille GOUSSAADA.

Ma chère camarade Razika.

Tous mes amis (es) son exception.

Tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Sylia



RESUME

Le TRC est un matériau composite constitué d'un renfort textile multi ou uni-axial couplé avec une matrice cimentaire à granulométrie fine, largement utilisé dans la construction notamment dans la réhabilitation des structures. Le présent travail, à caractère expérimental, vise à approfondir la connaissance du comportement du mortier renforcé de textiles (TRC) à la flexion, en réalisant une étude comparative entre différentes compositions de la matrice et différentes configurations du renfort textile.

En effet, concernant la composition de la matrice (mortier), d'une part une substitution du sable alluvionnaire par le sable de dune de Touggourt à des pourcentages de 15,20 et 30%, ainsi que l'incorporation de fibres de verre courtes dans le mortier ont été testées. D'autre part, une étude de l'effet de la variation du type et du nombre couches du renfort en utilisant des textiles de fibres de verre et de carbone a été réalisée.

Les résultats obtenus ont montré que le textile de fibres de carbone améliore considérablement la résistance et la déformabilité du TRC et la grandeur des mailles améliore le comportement du TRC dans le domaine élastique.

Mots clé :

Mortier armé de textiles, sable de dune, flexion, fibre de verre, fibre de carbone.

ABSTRACT

TRC is a composite material consisting of a multi- or uni-axial textile reinforcement coupled with a fine-grained cementitious matrix, widely used in construction, particularly in the rehabilitation of structures. The present work, of an experimental nature, aims to deepen the knowledge of the behavior of textile reinforced concrete (TRC) in bending, by carrying out a comparative study between different compositions of the matrix and different configurations of the textile reinforcement.

Indeed, concerning the composition of the matrix (mortar), firstly a substitution of the alluvial sand by the sand of the dune of Touggourt at percentages of 15,20 and 30 %, as well as the incorporation of short glass fibers in mortar were tested. On the other hand, a study of the effect of varying the type and the number of layers of reinforcement using fiberglass and carbon textiles was carried out.

The results obtained showed that the carbon fiber textile considerably improves the strength and deformability of the TRC and the mesh size improves the behavior of the TRC in the elastic domain.

Keywords:

Textile reinforced mortar, dune sand, bending, fiberglass, carbon fiber

Table des matières

Table des matières

Résumé

Abstract

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre I. Synthèse bibliographique

I.1. PATHOLOGIES D'OUVRAGES 3

I.1.1. Introduction 3

I.1.2. Pathologies d'origines des désordres (Pathologie structurelle).....3

I.1.2.1. Erreurs de conception 3

I.1.2.2. Erreurs d'exécution..... 3

I.1.3. Dégradation des matériaux.....4

I.1.3.1. Pathologies d'origine chimique 4

a) Carbonatation 4

b) Corrosion des aciers..... 6

c) Réactions sulfatiques..... 7

d) Alkali-réaction 8

I.1.3.2. Pathologies d'origine physique 9

a) Retrait..... 9

b) Gel-dégel.....	11
I.1.3.3. Pathologie d'origine mécanique	13
a) D'élimination	13
b) Les chocs.....	13
I.1.4. Méthodes de réparation.....	14
I.1.4. 1. chemisage en béton armé	15
I.1.4.2. Chemises en acier	15
I.1.4.3. Tôles collées	16
I.1.5. Conclusion.....	17
I. 2. BETONS ARMES DE TEXTILES (TRC)	17
I.2.1. Introduction	17
I.2.2. définition du TRC (Textile Reinforced Concrete).....	18
I.2.3. Composition des TRC	18
I.2.3.1. La matrice	18
I.2.3.1.1. Composition d'un mortier	19
a) Ciment	19
b) sable	20
c) Fumées de silice	20
d) Super plastifiant	20
e) Cendres volantes	21
f) Accélérateur de prise et Retardateur de prise	21
I.2.3.1.2. Type de mortier	22
a) Mortier de clinker portland	22

b) Mortiers d'aluminat de calcium	23
c) Mortiers phosphatiques	23
d) Mortiers chargés de polymère	23
I.2.4 Les textiles	25
I.2.4.1. Fibre de verre	25
a) Le verre type E	26
b) Verre type AR	26
I.2.4.1.1. Composition de fibre de verre	27
I.2.4.1.2. Caractéristiques physiques et mécaniques de la fibre de verre	28
I.2.4.1.3. Les avantages de fibres de verre	28
I.2.4.2. Fibre de Carbone	28
I.2.4.2.1. Caractéristique physique et mécanique de la fibre de carbone	28
I.2.4.2.2. Les avantages de fibres de carbone	29
I.2.4.3. Basalte	30
I.2.4.4. Aramide	30
I.2.4.5. Acier inoxydable	31
I.2.5. Technologies textiles	31
I.2.5.1. Tissage	32
a) Toile ou taffetas	32
b) Sergé	32
c) Satin	32
I.2.5.2. Tressage	32
I.2.5.3. Collage	33

I.2.6. Comportement mécanique en traction	33
I.2.6.1. Comportement en traction par flexion	34
I.2.6.2. Comportement en traction directe	34
I.2.7. L'utilisation des TRC	36
I.2.8. Renforcement par les TRC	36
I.2.9. Méthodes d'application des composites TRC pour le Renforcement	37
I.2.9.1. Moulage au contact in situ	37
I.2.9.2. Projection in situ	38
I.2.9.3. Préfabrication (production de masse)	38
I.3. LES SABLES	38
I.3.1. Introduction	38
I.3.2. Définition des sables	39
I.3.2.1. Classification	39
I.3.2.2. Classement des sables selon les trois paramètres	40
I.3.2.3. Les types des sables selon leurs provenances.....	41
I.3.3. Sable de dune	42
I.3.3.1. Définition	42
I.3.3.2. Nature de sable de dune	42
I.3.3.2.1. Mécanismes de formation	42
I.3.3.2.2. Types des dunes	42
a) Les avant-dunes	43
b) Les falaises dunaires	43
c) Les dunes perchées	43

d) Les cordons dunaires artificiels	43
I.3.3.3. Physique des dunes	43
I.3.3.4. Diverses utilisations	44
I.3.3.5. Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction	45
I.3.3.5.1. Intérêt de sable de dune	45
I.3.3.5.1.1. Les aspects économiques	45
I.3.3.5.1.2. Les aspects techniques	45
I.4. Conclusion.....	45

Chapitre II : méthodes expérimentales et matériaux utilisés

II.1.Introduction	47
II.2.Objectif du travail	47
II.3. Matériaux utilisés	47
II.3.1.Ciment	47
II.3.2.Eau	49
II.3.3. Les sables	49
II.3.4.Textiles	50
II.3.4.1. Tissu de verre	50
II.3.4.2. Tissu de carbone	50
II.3.4.3.Fibres courtes	51
II.3.5.La fumée de silice	51
II.3.6.Super plastifiant	52
II.4. Elaboration des différentes variantes d'essais	53

II.4.1.Nomenclature	52
II.4.2. Formulation et conservation des éprouvettes	54
II.4.3. Le malaxage	55
II.4.4. Préparation des éprouvettes	55
II.5. Essais non destructifs	56
II.6. Flexion quatre points	58
II.7. Conclusion	59

Chapitre III : résultats et discussion

III.1. Introduction :.....	60
III.2.Vitesse de propagation d'ondes ultrasonores :	60
III.3.La résistance à la flexion	62
III.3.1. Etude de la variation du type de textile.....	62
III.3.2. Etude de la variation du nombre de couches du textile	65
III.3.3. Substitutions du sable de rivière par le sable de dune	69
III.3.4. Etude du mortier renforcé de fibres courtes.....	70
III.3.4.1. Confrontation entre mortiers avec et sans fibres courtes	71
III.3.4.2.Confrontation entre mortiers avec fibres courtes.....	74
III.3.5.Effet de la variation de la dimension des mailles.....	75
III.4. Modes de rupture des éprouvettes	78
III.5.Conclusion	80
Conclusion générale	82

Références bibliographique

Annexes

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

Partie 1 :

Figure I.1-1 : Existence des trois zones caractéristiques (carbonatée, mixte, saine)	5
Figure I.1-2 : Dégradation des éléments d'un ouvrage par carbonatation.....	5
Figure I.1-3 Corrosion des armatures du béton armé.....	6
Figure I.1-4 : Corrosion des armatures	7
Figure I.1-5 : Poutres i tuée en bord de mer sous de l'agression des chlorures.....	8
Figure I.1-6 : Exemples de dégradations d'ouvrages dues à l'alcali-réaction	9
Figure I.1-7 .Fissuration de peau du béton.....	9
Figure I.1-8 : Les types de retrait	11
Figure I.1-9 : Effets des cycles de gel-dégel.....	12
Figure I.1-10 : Chute de bloc sur une maison à Lumbin (Isère).janvier2002	14
Figure I.1-11 : Eboulement sur la RN85 à l'entrée du village de Laffrey (Isère).janvier 2004.....	14
Figure I.1-12 : Chemisage en béton armé	15
Figure I.1-13 : Renforcement de poteaux circulaires et rectangulaires avec des chemises en acier	16
Figure I.1-14 .Application de plats métalliques selon le procédé l'Hermite	17

Partie 2 :

Figure I.2-1 : Mortier.....	19
Figure I.2-2 : Composition d'un mortier.....	19
Figure I.2-3 : Poudre de ciment courant.....	20

Figure 1.2-4 : Grille à maille 2D et 3D	25
Figures I.2-5: différent types de fibres de verre	26
Figure I.2-6 : fibres de carbone	28
Figure I.2-7 : différents types des fibres d'aramide	30
Figure I.2-8: Différent schémas de maillage du tissu.....	32
Figure I.2-9 : Quelques types de tressés 2D [EL HAGE_06]	33
Figure I.2-10 : illustration d'un textile collé ayant préalablement subi ni tricotage, tissage ou Tressage	33
Figure I.2-11: Comportement en traction par flexion de composite TRC	34
Figure I.2-12 : Comportement contrainte/déformation qualitatif en traction directe du composite TRC proposée par Hager.....	35
Figure I.2-13: Dôme maison en fibre de verre à Davis, Californie.....	36
Figure I.2-14: Eléments réalisées par les TRC.....	37
Figure I.2-15: Moulage au contact par TRC	37
Figure-I.2-16 la Rénovation d'un toit en forme de tonneau à Zwickau (Allemagne)37	
Figure I.2- 17 : Les expériences de la coquille incurvée d'Édimbourg	38

Partie 3 :

Figure I.3-1 : La barkhane.....	43
Figure I.3-2: Morphologie de la barkhane	44

Chapitre II

Figure II.1. : Ciment utilisé dans la confection du mortier	48
Figure II.2 : Sable de rivière et sable de dune après séchage et tamisé	49
Figure II.3 : Tissu de Fibre de verre	50

Figure II.4 : Tissu de fibre de carbone	50
Figure II.5: Fibres de verre courtes.....	51
Figure II.6 : fumée de silice	51
Figure II.7: Super plastifiant	52
Figure II.8: Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication du mortier [Labo Béton-UMMTO]	55
FigureII.9 : Coulage des éprouvettes.....	56
Figure II.10 : Nominations et conservation des éprouvettes dans l'eau	56
Figure II.11 : Essais ultrasons [Laboratoire de Béton-Génie Civil-UMMTO].....	58
Figure II.12 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points).....	59

Chapitre III

FigureIII.1 : Vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans les différentes éprouvettes.....	61
FigureIII.2 : Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures de différentes variantes selon le type de renfort.....	63
FigureIII.3 : Histogramme des déformations maximales et ruptures de différentes variantes selon le type de renfort.....	63
FigureIII.4: Confrontation des courbes charges flèches des différents mortiers selon le type de renfort	64
FigureIII.5 : Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures des différents mortiers selon le nombre de tissus	66
FigureIII.6 :: Histogramme des déformations maximales et des déformations ruptures des différents mortiers selon le nombre de tissus	67
FigureIII.7 : Confrontation des courbes charges flèches des différentes variantes selon le nombre de tissus	69

FigureIII.8 : Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures des mortiers avec un tissu de fibre de verre des différents dosages des sables	69
FigureIII.9 : Histogramme des déformations maximales et des déformations ruptures des mortiers différents dosages de sable de dune armés d'un tissu de fibre de verre ..	69
FigureIII.10 : Confrontation des courbes charges flèches des mortiers avec différents dosage dosages de sable de dune armés d'un tissu de fibre de verre	71
FigureIII .11: Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures des différents mortiers selon le taux de fibres courtes et et dosage de sable de dune	71
FigureIII.12 : Histogramme des déformations maximales et des déformations ruptures des mortiers des différents dosages des sables et des mortiers avec différents taux de fibre courte.....	72
FigureIII.13 : Confrontation des courbes charges flèches des variantes des différents taux de fibre courte et des variantes des différents dosages des sables	72
FigureIII.14: Evolution de la charge en flexion des mortiers avec taux de 0.75%de fibre courtes	73
FigureIII.15: Evolution de la charge en flexion des mortiers avec taux de 0.5%de fibre courtes.....	73
FigureIII.16: Evolution de la charge en flexion des mortiers avec taux de 0.25%de fibres courtes	74
FigureIII.17 : Confrontation des courbes charges flèches des variantes des différents taux de fibre courte	75
FigureIII.18 : l histogramme de la force maximale et la force de rupture des mortiers avec un tissu de fibres de verre avec différents dimension des mailles	76
FigureIII.19: l histogramme de La déformation de la force maximale et la déformation de la force de rupture de rupture des mortiers avec un tissu de fibre de verre des différents dimensions des mailles	77

Figure III.20 : La Confrontation des courbes charges flèches des mortiers armés de tissu de fibres de verre avec différentes dimensions des mailles	77
Figure III.21 : comportement de la variante 70%SRSDTV en flexion	78
Figure III.22: Modes de rupture des plaques renforcées avec des tissus de verre et de carbone.	78
Figure III.23: Modes de rupture des plaques renforcées par des tissus de verre avec différentes dimensions des mailles.	79
Figure III.24: Modes de rupture des plaques renforcées par des tissus de verre avec différents taux de fibre courtes	79
Figure III.25: Modes de rupture des plaques armées de textile de fibres de verre avec substitution partielle du sable de rivière par le sable de dune	80
Figure III.26 : comportement en flexion du TRC étudié	81

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I

Partie 2 :

Tableau I.2-1 : différents types de matrices développées par Bramshuber dans le cadre de leurs travaux sur les TRC	24
Tableau I.2-2: Composition des fibres de verre	27
Tableau I.2-3: Propriétés physiques et mécaniques des fibres	27
Tableau I.2-4 : caractéristiques de fibre de carbone	29
Tableau I.2-5 : Classification des fibres (les plus utilisées) selon leur nature chimique	31

Partie 3 :

Tableau I.3-1: Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique).....	39
---	----

Chapitre II

Tableau II.1 : Analyses chimiques (NA 5042)	48
Tableau II.2: Composition minéralogique du clinker (Bogue)	48
Tableau II.3 : propriétés physiques.....	48
Tableau II.4 : temps de prise a 20° (NA 230).....	49
Tableau II.5 : résistance a la compression	49
Tableau II.6 : Caractéristiques du super plastifiant.....	52
Tableau II.7 : Formulation d'un mortier témoin.....	54
Tableau II.8 : composition de différent mortier utilisé.....	54
Tableau II.9 : La vitesse de propagation des ondes et la qualité du béton	58

Chapitre III

TableauIII.1: Vitesse longitudinale de propagation des ultrasons dans différents mortiers.....	61
TableauIII.2 : les résultats obtenus par l'essai à la flexion de différents mortiers selon le type de renfort.....	62
TableauIII.3 : Gains des résultats des deux mortiers renforcés avec un tissu de fibre de verre et un tissu de fibre de carbone	64
TableauIII.4 : Positions et nombre des couches de textiles des différentes variantes	65
TableauIII.5 : les résultats obtenus par l'essai à la flexion de différents mortiers selon le nombre de couches tissus	66
TableauIII.6 : Gains des résultats des mortiers renforcés avec différents types et le nombre de tissus	68
TableauIII.7 : les résultats des mortiers constitués de différents dosages de sable de dune armés d'un tissu de fibres de verre	69
TableauIII.8 : les résultats des mortiers a base de différents dosages de sable de dune armés d'un tissu de fibres de verre avec différents taux de fibre courte	71
TableauIII.9 : les résultats obtenus par l'essai à la flexion des mortiers avec un tissu de fibre de verre avec différents dimensions des mailles	71

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui, de nouvelles techniques qui font appel aux matériaux composites sont étudiées dans différents travaux. Ces méthodes connaissent actuellement un essor très important puisque ces matériaux innovants disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels tels que: la légèreté, la résistance mécanique et chimique, liberté de forme et durée de vie prolongée.[1] Les textiles de fibres de verre, d'aramide ou de carbone ont des propriétés mécaniques élevées qui leur permettent d'être utilisés dans les applications du génie civil. Ces matériaux ont une résistance et une rigidité élevées par rapport à leurs poids et offrent une grande flexibilité de conception et d'utilisation aux ingénieurs [2].

En génie civil, les matériaux composites connaissent des applications diverses. Ils sont utilisés comme renforcement interne ou externe des éléments de structures. En règle générale, le renforcement externe est principalement utilisé lors de la réhabilitation des structures existantes afin d'augmenter leur résistance. Dans ce cas, des matériaux composites 'TRC' sont utilisés principalement sous forme de tissus par moulage au contact. Les fibres peuvent être orientées dans différentes directions afin d'optimiser leur utilisation. En réadaptation, on peut utiliser les TRC pour renforcer différents éléments structurels tels que les dalles, les poutres ou les colonnes. En raison de leur haute résistance à la traction et leur résistance à la corrosion, le TRC peut être appliqué en couches beaucoup plus minces que le béton armé, donc le poids global de la structure réhabilitée est réduit

Le renforcement interne est quant à lui utilisé lors de nouvelles constructions, pour la réalisation de parois fines et de structures à architectures compliquées (alternative au ferrailage conventionnel). En effet, les chercheurs ont eu l'idée de remplacer l'acier avec les fibres résistantes aux alcalis, tels que le verre AR, le carbone et l'aramide et ont abouti à un produit appelé Textile Reinforced Concrete (TRC), ce nouveau concept offre des avantages importants tels que la résistance à la corrosion et permet d'avoir des structures plus mince et plus légères par rapport aux structures en béton armé traditionnelles, ces attributs améliorent la conception globale de nouvelles constructions.

Dans le cadre du développement durable, et de la substitution des matériaux coûteux et surexploités par des matériaux plus disponibles et en abondance, on a réfléchi à l'utilisation du sable de dune dans la composition de la matrice des TRC. Une étude expérimentale du comportement de ce dernier vis-à-vis des sollicitations de flexion a été menée.

Objectifs de l'étude :

Le but de ce travail est d'étudier le comportement de plaques armées de textiles de carbone et/ou de verre, à la flexion 4 points. En effet l'expérimentation s'est portée sur trois principaux volets à savoir :

- l'effet de la substitution partielle des granulats fins par le sable de dune de Touggourt ;
- l'effet de la variation du type et du nombre de couches ainsi que la dimension des mailles du textile de renfort;
- L'influence de l'incorporation des fibres courtes dans la matrice.

Méthodologie de travail :

Ce travail se divise en deux parties principales, la première partie représente la synthèse bibliographique menée en amont des essais en laboratoire. La seconde partie est l'exposition du travail expérimental effectué, la présentation des résultats obtenus, ainsi que leurs interprétations. Notre travail est structuré comme suit :

- **Premier chapitre** : Ce chapitre comporte une synthèse bibliographique sur les bétons armés de textiles, leurs constituants, et procédés de fabrication ainsi que les sables notamment le sable de dune utilisé comme substituant dans notre travail
- **Deuxième chapitre** : ou nous abordons les techniques expérimentales utilisées : la caractérisation des matériaux utilisés, la formulation des bétons et la présentation des essais réalisés.
- **Troisième chapitre** : il est consacré aux résultats expérimentaux et discussions.
- En fin, **une conclusion générale** qui reprend les principaux résultats obtenus lors de cette étude et rapporte les intérêts pratiques qui en découlent.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

I.1. PATHOLOGIES DES OUVRAGES

I.1.1. Introduction

Les ouvrages en béton armé, durant leur exploitation, sont exposés à des conditions d'environnement ou de fonctionnement pouvant leur infliger certaines dégradations. Etablir un bon diagnostic impose des connaissances particulières du comportement du béton armé sous l'influence des agents agressifs auxquels il est exposé, de son comportement mécanique. La détermination des causes de dégradation est un sujet complexe, et l'interaction entre les différentes pathologies rend le jugement parfois plus difficile. Le choix des matériaux et les techniques de réparation sont, également, d'une importance décisive pour mener la tâche d'intervention avec succès.

Les causes principales de dégradation des bétons proviennent des attaques physiques, chimiques et mécaniques supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif. Les dégradations peuvent provenir également de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons.

Les principaux effets de la dégradation des ouvrages en béton armé sont:

- Les fissures,
- Les épaufrures (fragments de béton détachés de la masse de l'ouvrage),
L'écaillage (décollement de la couche de mortier laissant les granulats sans et pouvant se poursuivre par un délitage de la surfaces ou forme d'écailles),
- La désagrégation (désorganisation de la peau du béton pouvant se poursuivre par une destruction avancée du béton d'un élément d'ouvrage). [3]

I.1.2. Pathologies d'origines des désordres (Pathologie structurelle)

Les actions variables (du trafic et climatiques) et/ou accidentelles sont en grande partie pensables de la dégradation des ouvrages, mis à part les défauts aux moments de la conception et de la construction, qui peuvent aussi être des causes d'apparition des désordres.

I.1.2.1. Erreurs de conception

Les erreurs les plus fréquentes concernent le poids propre de la structure : masse volumique du béton et poids des équipements sous-estimé, erreurs de métrés et « oubli » du poids de certaines espèces. Au cours de la vie d'un ouvrage, le poids de certains

équipements peut évoluer de façon significative. Dans le cas d'un pont routier par exemple, la couche de roulement de la chaussée peut être rechargée. Egalement, nous pouvons noter la non-prise en compte des risques de corrosion dans la conception : absence de chape d'étanchéité, évacuation des eaux mal conçue provoquant des ruissellements sur les poutres, joints de chaussée, laissant l'eau ruisseler sous le tablier.

I.1.2.2. Erreurs d'exécution

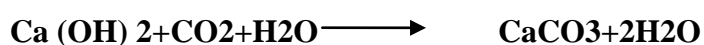
D'une façon générale, les erreurs d'exécution sont dues à une insuffisance des documents d'exécution, entraînant des improvisations aux conséquences souvent graves, ou bien à des failles dans l'organisation ou le contrôle de la qualité, ou encore au non-respect de certaines règles de l'art. De nombreux désordres sont dus à des plans de ferrailage incomplets ou « illisibles » parce que l'on a voulu mettre l'ensemble de l'information nécessaire à l'exécution sur un seul dessin, ou pas qu'une partie d'ouvrage a été représentée à l'échelle d'un timbre-poste. Dans les cas courants, c'est la qualité de mise en œuvre des différents matériaux qui est principalement en cause. Sur le chantier, le béton peut être d'une qualité médiocre pour de multiples raisons: irrégularité de fabrication sur chantier, délais de transport non contrôlés de puis une centrale de béton prêt à l'emploi, reprises de bétonnage mal exécutées, mise en œuvre dans des coffrages mal nettoyés, ségrégation due à une hauteur de chute trop importante, etc.[4]

I.1.3. Dégradation des matériaux

I.1.3.1. Pathologies d'origine chimique

a) Carbonatation

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui affecte tous les bétons. La carbonatation du béton par le gaz carbonique de l'air (CO_2) est un phénomène naturel qui n'est pas nocif pour le béton. Au cours de la prise et du durcissement, les ciments se combinent avec l'eau pour former des produits hydratés de caractère basique. Certains de ces produits [KOH , NaOH et $\text{Ca}(\text{OH})_2$] restent dissous dans la solution aqueuse interstitielle du béton (dont le pH est compris entre 12 et 13). Le gaz carbonique contenu dans l'air a tendance à se combiner avec les produits hydratés, en commençant par les bases alcalines dissoutes dans la solution aqueuse interstitielle, en particulier le $\text{Ca}(\text{OH})_2$, selon une réaction produisant du carbonate de calcium CaCO_3 : [5]



Les différentes zones caractéristiques de puis la surface extérieure (Figure I.1-1):

- Zone carbonatée dans la quelle le portland te a totalement disparu.
- Zonemixteoùlaquantitédecarbonatedecalciumdécroîtetcelledeportlanditecroît,
- Zonesainedanslaquelleaucunemodificationminéralogiquen'estrelevée. [6]

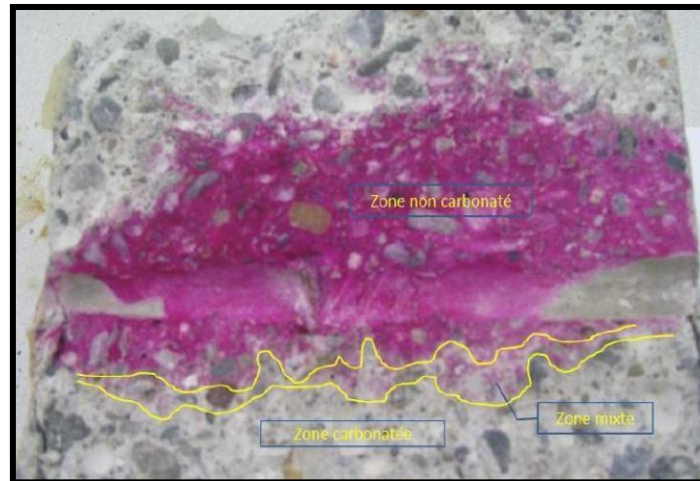


Figure I.1-1 : Existence des trois zones caractéristiques (carbonatée, mixte, saine) [6]

La carbonatation entraîne des problèmes de durabilité puis de résistance sur les structures en béton armé. Les barres d'acier, censées garantir cette résistance, gonflent sous l'effet de la corrosion et font éclater le béton d'enrobage, les aciers sont alors mis à nu (Figure I.1-2)



Figure I.1-2 : Dégradation des éléments d'un ouvrage par carbonatation

Techniques d'investigation

Les différentes techniques d'investigation sont:

- l'observation visuelle directe.
- Le prélèvement d'échantillons (carottes ou éclats).
- La détermination de l'âge du béton.
- Mesure du pH par contact avec des réactifs.
- La mesure électrique afin de localiser les armatures et d'en déterminer leur diamètre et la distance du front de carbonatation.

b) Corrosion des aciers

La corrosion des armatures est la dégradation la plus courante des ouvrages de génie civil. Cela représente 55% des dégradations observées lors de l'enquête réalisée par la British Ciment Association (BCA, 1997). Les dégradations par corrosion des armatures produisent des défauts qui ne deviennent visibles qu'après un certain temps. Les défauts invisibles sont des modifications chimiques et par fois physiques (liés à la microstructure) de l'enrobage de béton [7].

Le processus de corrosion comporte deux étapes:

- la phase d'incubation de la corrosion correspond à la durée pendant laquelle les agents agressifs (dioxyde de carbone, chlorures) pénètrent dans l'enrobage de béton, sans corroder les armatures. Il s'arrête lorsqu'à niveau des armatures, la teneur en agent agressif atteint un certain seuil. La (figure I.1-3) ci-après illustre ces stades de dégradation par corrosion due à des agents agressifs venant du milieu en vironnant.
- la phase de propagation, correspond au développement de la corrosion. (Figure I.1-3) [7].

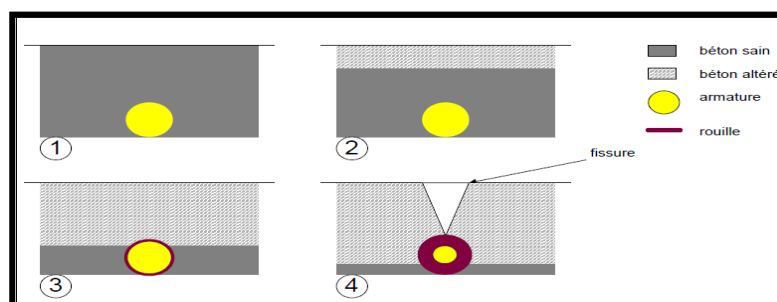


Figure I.1-3 Corrosion des armatures du béton armé

(1) le béton sain, (2) un agent agressif pénètre progressivement, (3) lors que sa teneur est assez forte, l'armature commence à se corroder, (4) et la rouille peut faire éclater l'enrobage Cette cause de dégradation et ses conséquences sur le béton sont traitées par [8]



Figure I.1-4 : Corrosion des armatures [8]

c) Réactions sulfatiques

Ainsi se l'on certains auteurs, la formation d'étrangéité différée, peut être catégorisée selon l'origine des sulfates responsables de la réaction. En effet, la réaction peut se produire dans le béton durci de deux manières différentes, selon la source des sulfates qui vont engendrer la pathologie (externe ou interne):

- La réaction sulfatique externe : ce phénomène a pour origine la pénétration dans le béton de sulfates provenant du milieu extérieur (eau de mer, eaux usées, sol...) ; nommée également DEF by ESA pour « external sulfate attack » [Collepari, 2003], c'est une pathologie commune pour les bétons exposés aux ambiances marines mais aussi aux sols très sulfatés. Ce phénomène étant apparu de puis plusieurs décennies, les nombreuses études publiées ont permis d'atteindre un niveau de compréhension ou tout à fait correct (figure I.1-5).



Figure I.1-5 : Poutres i tuée en bord de mer sous de l'agression des chlorures

- La réaction sulfatique interne : en ce qui concerne ce type de formation d'étrangéité différée, la source des sulfates est interne au béton (présence de sulfates dans le clinker, granulats pyrétiques) ; elle peut aussi être la conséquence de la déstabilisation de l'étrangéité; en effet, l'étrangéité soumise à une forte température ($> 70^{\circ} \text{C}$ au cours de son histoire thermique, l'hydratation du béton par exemple) devient moins stable (formation de phases sulfoaluminates plus stables à stœchiométrie en sulfates plus faibles). Après retour à des températures plus faibles, cette étrangéité préalablement déstabilisée, se reforme dans le matériau durci sans que la source des sulfates ne soit autre que l'étrangéité dissoute elle-même; cependant, un apport suffisant en eau est indispensable afin de générer un gonflement significatif. Cette pathologie est appelée DEF by ISA pour « Internal sulfate attack » [Collepardi, 2003], et est relativement récente. Bien qu'elles soient assez bien connues, nombreux sont les travaux en cours afin de comprendre les mécanismes exacts de dégradations de cette pathologie. [9]

d) Alkali-réaction

L'alkali réaction est une réaction chimique entre la silice de granulats et les alcalins présents dans la pâte de ciment. Seuls les granulats contenant des silices réactives (ou amorphes) sont concernés. La réaction, qui se déroule à la périphérie des granulats, entraîne des gonflements préjudiciables à la résistance des bétons, sous forme de faïençage, et éventuellement d'éclatements (Figure I.1-6). Si l'alkali réaction est principalement du type alkali-silice, il existe aussi des réactions alkali-carbonate et alkali-silicate.

Cette réaction, quand les conditions sont remplies relativement aux alcalins et silices réactives, se développe préférentiellement dans les ouvrages soumis à une humidité permanente, comme la plupart des ouvrages hydrauliques. Elle concerne alors l'ouvrage

en masse.



Figure I.1-6 : Exemples de dégradations d'ouvrages dues à l'alcali-réaction

Les conséquences des alcalis-réactions sont diverses, les plus préoccupantes sont le gonflement irréversible des ouvrages atteints qui entraîne de la fissuration, une chute des caractéristiques mécaniques (résistances mécaniques et module d'Young) des bétons affectés. [10]

I.1.3.2. Pathologies d'origine physique

a) Retrait

Le retrait est un phénomène physico-chimique qui existe de façon systématique au sein du béton, et qui se développe sous diverses formes, depuis la prise du béton jusqu'à son vieillissement. Le retrait est un processus relativement complexe. Il peut se décomposer en quatre types différents: plastique, de séchage, thermique, de carbonatation et endogène.



Figure I.1-7.Fissuration de peau du béton

Le retrait plastique (avant la prise)

Avant la prise, une partie d'eau du béton frais peut s'évaporer ou être absorbée par le support. Ce phénomène génère des tensions capillaires dans le matériau, qui se traduisent par une réduction du volume occupé par la pâte, c'est le retrait plastique. L'effet du retrait plastique sur le comportement mécanique des structures réparées par rechargements minces adhérents n'est pas considérable car le rechargement peut s'adapter aux variations dimensionnelles avant la prise du matériau.

Le retrait thermique

Le retrait thermique peut être la cause de pré fissuration du béton. La prise puis le durcissement du béton se font avec un dégagement de chaleur; le matériau se contracte au cours des on refroidissement. A ce phénomène viennent s'ajouter des effets de masse, la température d'hydratation pouvant être plus élevée au sein d'une pièce massive et plus faible au voisinage des parois par échange thermique avec l'extérieur.

L'expérience montre que le retrait gêné, hydraulique et/ ou thermique, peut provoquer la fissuration dans tous les éléments, mais particulièrement dans les murs et les dalles en fonction de la longueur, l'épaisseur, le ferrailage, l'hygrométrie ambiante et les conditions climatiques (ensoleillement, vent, pluie...). Le retrait hydraulique s'effectue sous l'action de l'évaporation d'une partie de l'eau de gâchage.

Le retrait en Diogène

On l'appelle parfois retrait d'auto dessiccation et quelquefois aussi retrait chimique , le retrait en Diogène est lié à la contraction du béton en cours d'hydratation et protégé de tout échange d'eau avec le milieu environnant. Il provient en fait d'un phénomène d'auto-dessiccation de la pâte de ciment consécutif à la contraction. Le phénomène conduisant à la contraction est dû à des forces de traction capillaires internes, similaires à celles responsables du retrait plastique. Ce dernier type de retrait concerne plus particulièrement les bétons à hautes performances (BHP) ou à très hautes performances (BTHP). Il devient négligeable pour les bétons ordinaires. [11]

Le retrait de séchage

Le retrait de séchage est la contraction que subit le béton lors que son contenu en eau s'évapore vers l'extérieur. Lors du séchage, le déséquilibre thermodynamique engendré, provoque un échange de vapeur d'eau de la matrice cimentaire vers le milieu extérieur. La dessiccation du milieu crée une variation de tensions capillaires, de tensions superficielles et des pressions de disjonction. Le retrait de séchage d'une composition est lié directement à sa perte de masse.

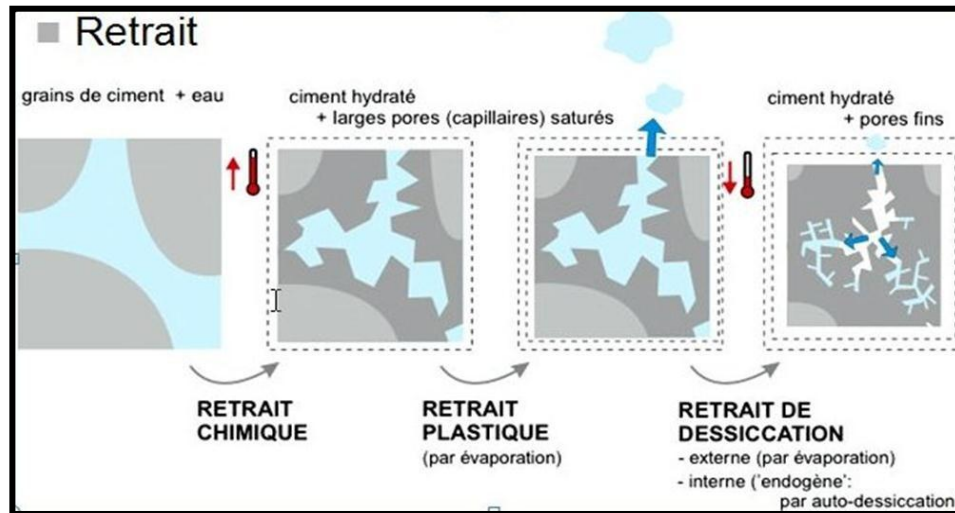


Figure I.1-8 : Les types de retrait

Il existe un cinquième type de retrait, le retrait de carbonatation, pour lequel il n'existe que peu de données expérimentales à l'heure actuelle. Ce retrait est lié aux réactions de carbonatation des constituants du ciment.

b) Gel-dégel

L'eau est un des rares éléments de la nature à avoir un volume plus important à l'état solide qu'à l'état liquide (pour une masse équivalente). Dans l'eau solide, les molécules s'organisent en mailles moléculaires de forme hexagonale, générant beaucoup plus de vide entre elles : la masse ne change pas quand elle se solidifie mais son volume varie et augmente d'environ 10%.

Lorsque l'eau pénètre dans les pores du béton, les forces d'adhésion capillaires abaissent le point de congélation : l'eau contenue dans les pores les plus fins ne se transforme en glace qu'à une température loin au-dessous de 0 °C. La glace se forme donc d'abord dans les pores les plus grands et, en suite, lors d'un abaissement plus poussé de la température, dans les plus petits.

Néanmoins, l'expansion de l'eau dans la porosité des bétons provoque l'apparition de contraintes pouvant engendrer un écaillage progressif du béton, à partir de la surface (Figure I.1-9). [12]

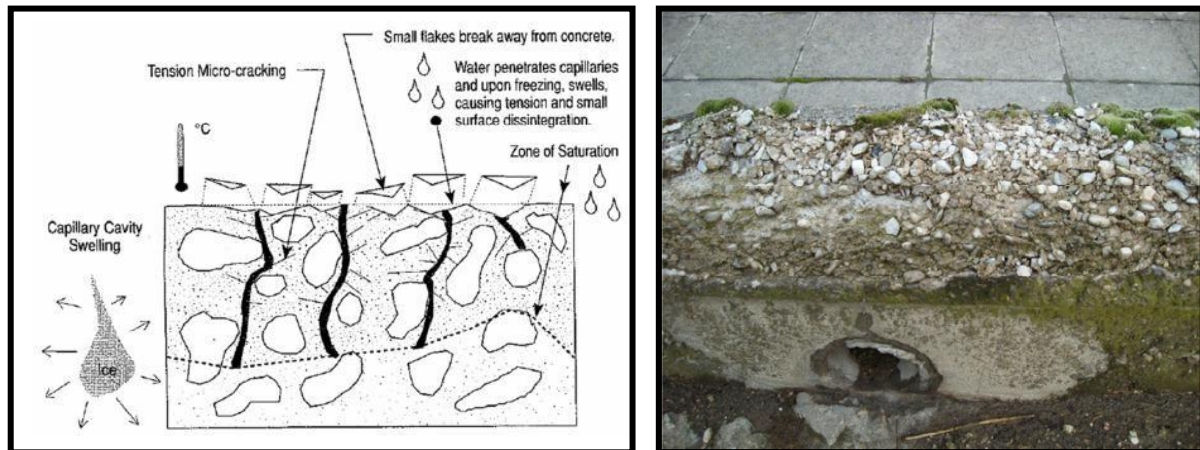


Figure I.1-9 : Effets des cycles de gel-dégel

Les effets du gel sur le béton dépendent de différents paramètres:

- La quantité d'eau contenue dans le béton.
- La dimension des pores.
- L'âge du béton.
- Les migrations d'humidité.
- La vitesse de refroidissement.
- La gélivité des granulats.

Le rapport eau/ciment est un facteur déterminant pour éviter les dégâts dus aux cycles de gel-dégel. Plus ce rapport n'est faible:

- Plus la quantité d'eau susceptible de gel reste faible.
- Plus le point de congélation est bas, (car le diamètre des pores est plus petit)
- Plus le transport d'humidité est lent est difficile.
- Plus les pressions engendrées n'ont basses.
- Plus le béton n'est résistant.

L'expérience démontre qu'un béton résiste bien au gel lors que son rapport eau/ciment ne dépasse pas 0,5.

I.1.3.3. Pathologie d'origine mécanique

a) D'élimination

L'action conjuguée des sollicitations climatiques, des sels anti-verglas et du trafic circulant directement sur le béton des hourdis de ponts provoqué des délaminations du béton sur un nombre considérable d'ouvrages d'art. Dans les cas les plus graves, cette pathologie aboutit à la chute de plaque de béton et à la création de trous dans les tabliers de ponts.

D'autres types de pathologie peuvent être rencontrés dans les ouvrages en béton, tel que celles dues aux erreurs de conception, ou encore les erreurs d'exécution qui peuvent intervenir dès la fabrication du béton et se poursuivre jusqu'à la mise en service finale de l'ouvrage.

b) Les chocs

Les désordres induits par l'exploitation d'un ouvrage constituent une cause non négligeable de dégradation du béton. Il s'agit le plus souvent d'action accidentelle de type mécanique qui se concrétise par des chocs. Les chocs les plus fréquents sont ceux des poids lourds hors gabarit contre l'intra dos des ponts, les chocs de bateaux ou d'objets flottants contre les piles en rivière (figure I.1-10 et I.1-11). Ces chocs peuvent créer des épaufrures, des éclats importants de béton, voir des ruptures d'acier.

Les chutes de blocs font partie des mouvements de terrain regroupant l'ensemble des déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Il faut cependant rapidement distinguer les mouvements lents et continus tels que les affaissements, les tassements, les phénomènes de gonflement-retrait des sols très argileux et certains glissements de terrains des mouvements rapides et discontinus. Les écroulements ou éboulements et les chutes de blocs font partie de cette dernière catégorie. Ils résultent de l'évolution des falaises allant, selon les volumes de matériaux mis en jeu, de la simple chute de pierre (inférieur à 0.1m^3) à l'écroulement catastrophique (supérieur à 10millions de m^3).

La distinction entre éboulements et chutes de blocs tient avant tout au nombre d'entités en mouvement. En théorie, une chute de bloc est limitée à un seul bloc qui se déplace. En pratique et du fait des possibles divisions et fractionnements du bloc initial au cours des différents rebonds de sa trajectoire, on parlera encore de chutes de blocs

lorsque le nombre de blocs reste faible. Les éboulements concernent la chute d'un grand nombre de blocs.

Les principaux facteurs responsables du déclenchement d'un phénomène rocheux sont:

- › Les caractéristiques du bloc (type de roche, masse, forme, etc.).
- › Les actions climatiques (variations de températures avec gel et dégel, présence d'eau, pluie, altération, etc.).
- › La topographie (pente, obstacles, etc.).
- › La nature des sols (terrain meuble, roché, etc.).
- › La forme et la densité de la végétation (des arbres peuvent freiner ou stopper la progression des blocs).

Pour se protéger contre les chutes de blocs, diverses parades sont envisageables (le Purge de paroi, les ancrages, le béton projeté, les galeries de protection pare-blocs) qui dépendent des paramètres suivants : le volume des blocs, la fréquence des chutes, la nature des ouvrages à protéger et le coût financier.



Figure I.1-10 : Chute de bloc sur une maison à Lumbin (Isère).janvier2002



Figure I.1-11 : Eboulement sur la RN85 à l'entrée du village de Laffrey (Isère).janvier

I.1-4. Méthodes de réparation

Comme cela a été montré précédemment, le béton dégras sous l'action de nombreux facteurs. Compte tenu du coût des structures de génie civil, il est important de pouvoir les réparer afin d'augmenter leur durée de vie. Le choix de la méthode de réparation et des matériaux à mettre en œuvre est défini en fonction de la nature et de l'importance des désordres constatés, en tenant compte des critères économiques des

matériaux de construction, des conditions de chantier et des contraintes de site. Le principe du renforcement ou de la réparation consiste en l'adjonction de matière dans les zones où les sections sont trop sollicitées. Une section devient trop sollicitée si, du fait même des dispositions adoptées ou du changement des conditions d'exploitations, l'effort s'applique sont supérieurs à ceux pris en compte dans les calculs (problème du renforcement), ou bien si la résistance a diminué par suite de dégradation (problème de la réparation).

Il est important de travailler au développement de méthodes de réparation de surfaces, afin de pouvoir réparer les endommagements et les défauts possibles, que les ouvrages d'arts peuvent posséder afin d'augmenter leur durabilité.

I.1.4.1 chemisage en béton armé

Le chemisage en béton armé consiste en une augmentation considérable des sections (Figure I.1-13) par la mise en œuvre d'un ferrailage additionnel à l'ancien élément, et d'un nouveau béton d'enrobage; pour favoriser l'accrochage, ce dernier sera mis en œuvre après la confection du coffrage.

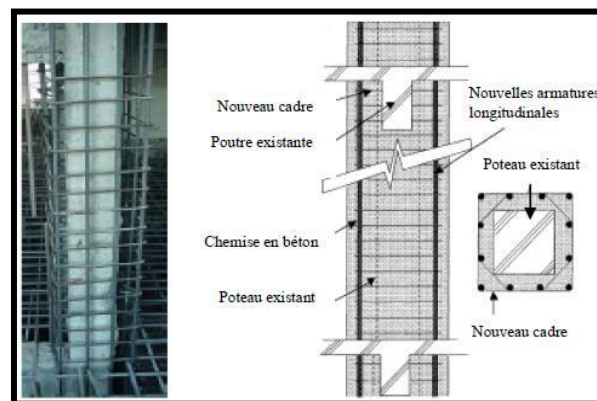


Figure I.1-12 : Chemisage en béton armé

I.1.4.2. chemises en acier

Le renforcement des poteaux de sections circulaires ou rectangulaires avec des chemises en acier permet d'améliorer considérablement la résistance sismique des poteaux. L'efficacité des chemises en acier a été clairement démontrée, à la fois par les recherches expérimentales et par des observations sur le terrain effectuées durant le séisme de Northridge en 1994. Plusieurs ponts dont les piles étaient renforcées avec des chemises en acier se trouvaient dans des régions ayant subi des secousses intenses qui ont

atteint une accélération maximale de 0,25g. Aucun de ces piles ensemble voir subi de dommages importants (Chai, 1996).

Toutefois, cette technique est coûteuse et exigeante en main-d'œuvre. Compte tenu de la grande efficacité de cette technique et de son coût, les chemises en acier pourraient éventuellement être utilisées dans les installations industrielles possédant un nombre restreint de poteaux nécessitant un renforcement. Cependant, dans le cas des bâtiments styles où plusieurs poteaux doivent être renforcés, cette technique s'avère trop onéreuse.

Les chemises en acier rectangulaires destinées au renforcement des poteaux rectangulaires améliorent aussi la résistance et la ductilité des poteaux. Toutefois, les résultats des recherches ont démontré que les chemises rectangulaires sont moins efficaces que les chemises elliptiques.

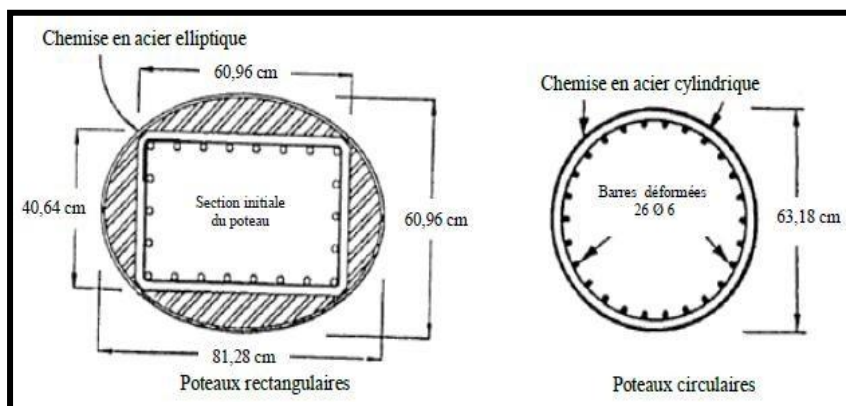


Figure I.1-13 : Renforcement de poteaux circulaires et rectangulaires avec des chemises en acier

I.1.4.3. Tôles collées

Ce type de renforcement consiste à pallier les insuffisances locales ou globales des structures en béton par des tôles d'acier (voir d'autres matériaux) collées en surface du béton. Il fut appliqué très rapidement pour des renforcements de poutres de pont-roulant dans une cimenterie, puis pour le renforcement d'ouvrages d'art dont le niveau de service n'était plus suffisant compte tenu de l'évolution du trafic supporté (Theillout1997).

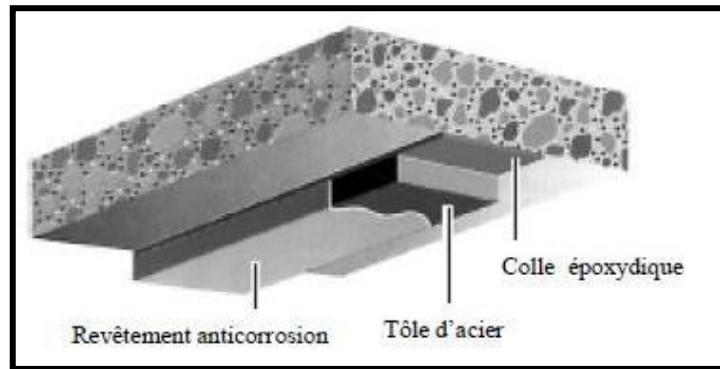


Figure I.1-14. Application de plats métalliques selon le procédé l'Hermitte

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini les différentes pathologies des structures en béton, ainsi que les différentes méthodes de réhabilitation classique qui présentent des inconvénients tels que l'épaisseur des couches de renforcement en béton, qui augmentent le poids de l'élément réhabilité, le décollement des plaques FRP du béton avant la rupture.

Pour pallier à tous ces inconvénients il existe un matériau innovant qui présente une maniabilité et une légèreté importante récemment très utilisé dans la réhabilitation et la conception de nouvelles structures, il s'agit du béton armé de textiles TRC qui font l'objet de la partie suivante.

I. 2. BETONS ARMES DE TEXTILES (TRC)

I.2.1. Introduction

La naissance du terme « textile-mortier » est associée à l'utilisation de mortier de nouvelle génération. En effet, les mortiers ont particulièrement évolué au cours des années 1990 et 2000 améliorant ainsi significativement les caractéristiques mécaniques des composites ferrociment, d'où l'utilisation d'un nouveau terme plus moderne « textile-mortier » afin de souligner le fossé présent entre les caractéristiques des ferrociments utilisés dans les années 70 et les textile-mortier utilisés de nos jours. Concernant la rentabilité des TRC à renfort non métallique, déjà en 2005 [NAAMAN_05] a montré que ces composites textile-mortier se montraient compétitifs d'un point de vue performances mécaniques /prix de revient par rapport aux composites TRC au renfort textile métallique.

I.2.2. définition du TRC (Textile Reinforced Concrete)

Le TRC est un matériau composite composant des renforts textiles multi ou uni-axiaux couplés avec une matrice cimentaire à granulométrie fine. Le composite TRC est une solution alternative au composite traditionnel FRP (Fibre Renfort Polymère), au-delà de relativement bonnes performances mécaniques, on compte aussi une meilleure stabilité à la température, mais aussi et surtout, ce matériau permet de satisfaire les critères de développement durable.

I.2.3. Composition des TRC

I.2.3.1. La matrice

Les matrices doivent présenter une bonne compatibilité avec le renfort. En outre, elles doivent avoir une masse volumique faible de manière à permettre aux matériaux composites de conserver ces caractéristiques mécaniques spécifiques élevées.

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons. Le mortier est un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, liant (ciment ou chaux), d'eau et d'adjuvant et éventuellement d'ajout. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables, leur choix et dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

On trouve différents types de mortiers selon leurs natures et pourcentage de constituants, malaxage, mise en œuvre et cure. [13]

En général, on distingue trois types de mortiers :

1. Les mortiers pour utilisation générale.
2. Les mortiers pour fines couches.
3. Les mortiers allégés.



Figure I.2-1: Mortier

I.2.3.1.1. Composition d'un mortier

Les mortiers sont en fait des micros - bétons et leurs principes de compositions sont les mêmes. [13] Ils sont composés de ciment, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants. On peut l'illustrer par la figure ci-contre :



Figure I.2-2 : Composition d'un mortier.

a) Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine, mélangée avec de l'eau, forme d'une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps.

Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse du ciment. [14]



Figure I.2-3 : Poudre de ciment courant

b) sable

Le sable, est une roche sédimentaire meuble, constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 et 5 mm

Ils proviennent de sources :

- **Naturels et roulés** : Mer, Oued, Sahara de nature siliceuse ou silico-calcaire

Ce cas représente la quasi-totalité des constructions.

- **Spéciaux** (lourds, réfractaires, légers) : Sable de laitier, Sable d'oxydes de fer.
- **Industrielle** : issu du concassage des granulats de carrière, et plus rarement du recyclage des déchets de construction.

c) Fumées de silice

Les fumées de silice, constituées de particules environ 100 fois plus petites que les grains de ciment avec un diamètre moyen de l'ordre de 1/10 de micron, présentent des propriétés pouzzolaniques en raison de leur forte teneur en silice amorphe.

En outre, en raison de leur finesse, elles complètent la granulométrie des ciments. Ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique des fumées de silice.

Elles doivent contenir au moins 85 % de silice réactive, la réaction pouzzolanique s'avérant plus élevée que celles des pouzzolanes naturelles ou des cendres volantes.

d) Super plastifiant

Les super plastifiants sont des polymères solubles dans l'eau, possédant de nombreuses applications dans l'industrie de la construction [15]. Ces matériaux sont également appelés

haut réducteurs d'eau. Ils font partie des adjuvants pour béton, selon la norme EN 934-2, comme des matériaux qui sont ajoutés au béton pendant le processus de malaxage, dans des quantités inférieures à 5% de la masse de ciment, afin de modifier ses propriétés à l'état frais et à l'état durci.

Ce sont des polymères organiques solubles dans l'eau. Leur principale action est de s'enrouler autour des grains de ciment de sorte qu'ils se repoussent les uns les autres, entraînant une dispersion des grains.

Il existe différents types de super plastifiants communément utilisés dans les matériaux de construction. Ils se différencient principalement par la nature des groupements anioniques portés par le polymère et par la façon dont ils engendrent une force répulsive entre les grains de ciment. Toutefois, quelle que soit leur nature, les super plastifiants apportent sans conteste des améliorations technologiques aux bétons qui les incorporent dans leur formulation.

e) Cendres volantes

Les cendres volantes sont des poudres très fines résultant de la combustion du charbon en centrales thermiques. Pendant la combustion, presque toute la matière volatile et le carbone du charbon sont brûlés.

Les impuretés du charbon telles que l'argile, le feldspath et le quartz entrent en fusion et sont évacués de la chambre à combustion par les gaz d'échappement. Durant cette étape, le matériau fusionné refroidit et se solidifie en petites particules sphériques vitreuses nommées cendres volantes. La cendre volante (CV) est ensuite extraite des gaz d'échappement à l'aide de dépoussiéreurs électrostatiques ou de sacs filtrants.

La cendre volante est constituée principalement de verre de silicate contenant de la silice, de l'alumine, du fer et du calcium. Les composants mineurs sont le magnésium, le soufre, le sodium, le potassium et le carbone [16].

L'alcalinité de la solution interstitielle du ciment permet d'augmenter la cinétique de dissolution des particules de cendres donc d'augmenter leurs cinétiques d'hydratation.

f) Accélérateur de prise et Retardateur de prise

Les réactions d'hydratation sont exothermiques ; elles sont accélérées par l'apport de chaleur. Ainsi le bétonnage en temps chaud ou bien d'éléments massique (où la température au cœur du béton peut atteindre 80°C) accélère la cinétique d'hydratation du ciment. Inversement, le bétonnage en temps froid ralentit les réactions d'hydratation du ciment. Ainsi, ces modifications dans les cinétiques d'hydratation du ciment est parfois défavorable. En effet, l'accélération des réactions d'hydratation a des effets négatifs sur les résistances à long terme

du béton. Dans le cas des ouvrages massifs, il y a apparition précoce de la fissuration. A l'inverse le bétonnage en temps froid entraîne du retard sur les durées du décoffrage. Pour remédier à ces difficultés il est donc conseillé d'utiliser des retardateurs ou accélérateurs de prise.

Ainsi, dans le cas du bétonnage en temps chaud ou bien d'éléments massifs, il est conseillé d'utiliser un retardateur de prise pour freiner les réactions d'hydratation et aussi réduire la chaleur au cœur du béton, de manière à ce que les propriétés du béton soient préservées et le béton ne fissure pas.

Pour le bétonnage en temps froid, il est conseillé d'utiliser les accélérateurs de prise pour provoquer les réactions d'hydratation et accélérer le durcissement du béton freiné par la température ambiante.

Les retardateurs de prise peuvent avoir d'autres usages. Exemple de reprise de bétonnage: grâce aux retardateurs de prise il est possible d'effectuer des reprises de bétonnage après plusieurs heures d'interruption avec certaines précautions (protection contre la dessiccation).

Autre exemple transport de longue durée du béton : l'utilisation de retardateur de prise permet de transporter sans problème tous les bétons sur de grandes distances quelles que soient les conditions (températures, risques d'embouteillage, etc.).

Les accélérateurs de prise sont très utilisés dans les bétons de préfabrication car ils permettent d'atteindre des résistances convenables au jeune âge, cela permet de réduire le temps d'étuvage et accélère donc le processus de fabrication. Les accélérateurs de prise permettent de réduire les délais de chantier, car ils permettent les résistances prévues pour 28 jours à des âges avancés. Mais il faut faire attention à la résistance à plus long terme, qui elle va en baisse par rapport à celle d'un béton sans accélérateurs de prise [16].

I.2.3.1.2. Type de mortier

a) Mortier de clinker portland

Le mortier de clinker Portland est constitué de ciment Portland pouvant être enrichi par des additifs. Le ciment de clinker Portland est lui obtenu après cuisson du calcaire et de l'argile avec des proportions bien définies des éléments (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , F_2O_3). Le mortier de ciment portland peut contenir plusieurs additifs à caractère inerte (type I) ou à caractère inorganique, et pouzzolanique (type II). Bramshuber [17] a développé durant ses investigations sur les TRC quatre matrices à ciment portland (voir tableau I.2-1), une matrice

de référence (matrice1), deux matrices (matrices 2 et 3) dans lesquelles une portion du clinker portland a été substituée par des cendres volantes et de la fumée de silice respectivement afin d'augmenter la durabilité de la matrice et du renfort vis-à-vis de la réaction Alkali.

b) Mortiers d'aluminate de calcium

Les mortiers d'aluminate de calcium sont issus d'une réaction entre chaux provenant du calcaire et de l'alumine issue des minerais naturels comme la bauxite. Le produit de cette réaction est nommé clinker d'aluminate de calcium qui après broyage donnera le ciment d'aluminate de calcium (CAC). Le ciment d'aluminate de calcium est un ciment hydraulique qui présente des caractéristiques intéressantes vis-à-vis des applications dans le domaine des TRC notamment : le durcissement rapide de ce ciment qui est un atout pour des applications industrielles tel que la préfabrication des éléments en TRC, sa résistance vis-à-vis des attaques chimiques ainsi que son excellente tenue au feu. Cependant, étant donné l'utilisation beaucoup moins fréquente de ce type de mortier par rapport au mortier de clinker portland, il demeure un déficit de connaissances quant à son hydratation ainsi que l'évolution de la microstructure de ce liant.[17]

c) Mortiers phosphatiques

Une matrice phosphatique dénommée 'Vubonite' a été développée par les Professeurs Wastiels et Patfoort [18 ,19] de la faculté des sciences appliquées de Bruxelles (VUB).

La Vubonite résulte d'une réaction entre la poudre de Wallonite qui est une pierre de contact issue du granite et une solution aqueuse à base d'acide phosphatique. La réaction entre le silicate de calcium de la Wallonite et l'acide phosphatique donne une matrice céramique dotée d'une structure réticulaire 3D.

La Vubonite contrairement aux autres matrices présentées ci-dessus n'est pas considérée comme étant un liant hydraulique, sa grande fluidité permet de s'adapter à n'importe quel type de renfort textile, son PH neutre après durcissement lui confère une bonne durabilité vis-à-vis des réactions alkali et corrosion des fibres de Verre AR. Il faut cependant préciser que cette matrice a un retrait plus de 80% important que le retrait des mortiers de ciment Portland, et qu'elle ne permet pas de moulage au contact directement en sous face de structure pour la réparation en raison de son caractère bien trop fluide.

d) Mortiers chargés de polymère

Les mortiers utilisés en tant que matrice pour TRC peuvent être modifiés par l'ajout de polymères tels que l'Epoxy ou le Latex. Il existe deux techniques d'addition de polymères au mortier. La première consiste à imprégner le mortier dans son état durci (Technique PIC),

cette technique permet une augmentation des résistances à la compression et à la traction ainsi qu'un gain en module de rigidité. Cette technique est souvent onéreuse et complexe de mise en œuvre. La deuxième consiste à intégrer le polymère en tant que poudre directement dans la formulation du mortier (Technique PMC). Bien que cette technique induise une baisse des performances mécaniques du mortier (en termes de résistance à la compression et traction et en module de Young) [18], elle est très intéressante dans le cas d'une application pour TRC car le polymère doté de particules très fines peut pénétrer à l'intérieur des espaces vides entre mortier et renfort textile (augmenter l'adhérence 'matrice/textile'). De surcroît, il peut également pénétrer dans les espaces inter filaments du renfort textile (augmenter l'adhérence 'filament/filament').

La matrice identifiée matrice 4 dans le (tableau I.2-1) est une illustration d'une matrice de ciment clinker dont la formulation a été modifiée par l'ajout de polymère en substituant 20% de la masse du liant dans la matrice de référence identifiée matrice 1 par un polymère de type méthyle de méthacrylate de butyle

Tableau I.2-1 : différents types de matrices développées par Bramshuber et [19] dans le cadre de leurs travaux sur les TRC

Constituants	Mortier de ciment portland			Mortier chargé de polymères	Mortier d'aluminate de calcium
	Matrice 1	Matrice 2	Matrice 3	Matrice 4	Matrice 5
Quantité de ciment (kg/m ³)	490	210	441	430	700
Type de ciment	CEMI 52.5	CEMI 52.5	CEMI 52.5	CEM 52.5	CAC 42.5
Cendre volantes (kg/m ³)	175	455	210	154	-
Fumé de silice (kg/m ³)	35	35	-	31	-
méta caolin (kg/m ³)	-	-	49	-	-
Liant (somme) (kg/m ³)	700	700	700	615	700
Plastifiant (%)	1.5	0.9	2.1 – 2.2	-	1
Polymères (%)	-	-	-	20	-

I.2.4. Les textiles

Les renforts textiles, dans le cadre des TRC, doivent présenter des propriétés (mécaniques, géométriques et physico-chimiques) compatibles avec le type de matrice utilisée pour assurer, une bonne mise en œuvre, les performances visées, et la durabilité. [20]

Grâce aux nombreux procédés et technologies de production, les textiles offrent la possibilité de création de motifs adaptés aux performances visées.

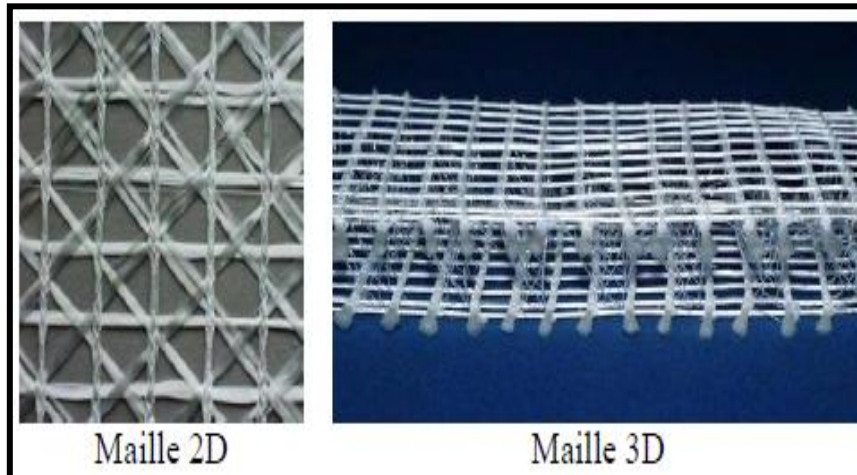
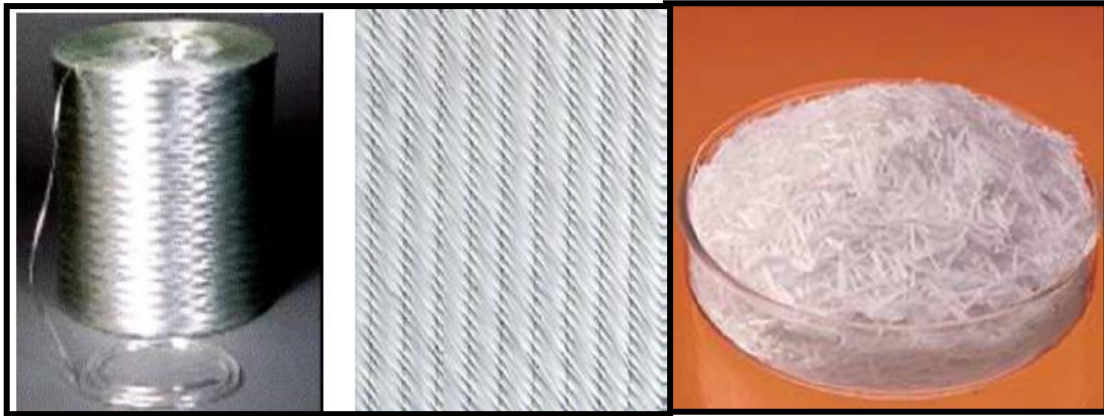


Figure 1.2-4 : Grille à maille 2D et 3D.

I.2.4.1. Fibre de verre

Les fibres de verre sont les fibres chimiques, inorganiques, obtenues par le mélange de la silice, de l'argile, et du calcaire menés à une température entre 1250°C et 1350°C [21] (figure I.2-4).

Les fibres de verres ont une large gamme de tailles de fils et de nombreuses options de tissage permettant à l'utilisateur de choisir la meilleure association de performance de matériau et d'économie. Elles présentent une bonne propriété en termes de stabilité et de résistance thermique et chimique.



Figures I.2-5:différent types de fibres de verre .

a) Le verre type E

Le premier champ d'applications du verre type E a été la fabrication des pièces isolantes employées dans les réseaux aériens de transport de courant électrique en raison de leur extrêmement faible conductivité électrique associée à une excellente tenue aux intempéries.

La lettre E désigne, en effet, le champ d'applications électriques de ce type de verre.

Le verre type E est particulièrement bien adapté à la fabrication de filaments de taille macroscopique destinés, selon les besoins, soit à la fabrication des fils multi-filamentaires longs, soit des fibres courtes. Toutefois, le risque d'altération des filaments en milieu alcalin exclut a priori l'utilisation des fils multi-filamentaires ou de fibres courtes à base de verre E dans la fabrication de composites à base de matériaux cimentaires sans protection préalable par l'ensimage.

b) Verre type AR

Le verre type AR est un verre alcali-résistant (AR). Il a été inventé dans les années 1970 et il a subi un développement continu depuis [Gri06]. C'est l'introduction d'oxyde de zirconium (ZrO_2) dans la composition chimique du verre courant qui lui confère cette particularité tout en conservant les propriétés physiques et mécaniques du verre courant. La résistance aux alcalins du verre AR augmente proportionnellement à la teneur en oxyde de zirconium jusqu'à une teneur de 15% environ. Au delà de cette teneur l'amélioration de la résistance aux alcalins devient de moins en moins perceptible. Ainsi dans la plupart des cas, les verres AR contiennent entre 15 et 20 % de ZrO_2 . L'utilisation du verre type AR est essentiellement dédiée aujourd'hui à la fabrication des fibres courtes (de quelques centimètres) pour le renforcement des bétons. Elles sont introduites dans la formulation en raison de 0,5 à 4% en

volume pour conférer une ténacité post-fissuration du composite et une meilleure répartition (diffusion) de la fissuration.

I.2.4.1.1. Composition de fibre de verre

Il existe trois catégories de fibres de verre: La fibre de verre classique (silice, soude, chaux) de type (C), la fibre de verre au Zirconium de type (AR) et les fibres de verre au Borosilicate de type (E). Les compositions moyennes de ces trois types de fibres sont données dans le tableau (I.2-2) [21].

Tableau I.2-2: Composition des fibres de verre [21].

Composition (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	ZrO ₂
Verre de type C	60 - 65	3,5 – 6	14	3	10	5	0,5	-	-
Verre de type AR	61	-	5	-	17	-	0,3	-	10
Verre de type E	53-55	14 -15	17 - 23	1	0,8	0,85	0,3	0,5	-

I.2.4.1.2. Caractéristiques physiques et mécaniques de la fibre de verre

Tableau I.2-3: Propriétés physiques et mécaniques des fibres.

Caractéristiques	La fibre de verre
Diamètre (µm)	5-20
Densité (g /cm ³)	2.6
Résistance en traction (MPa)	2000-4000
E (10 ³ MPa)	80
Allongement a la rupture [%]	2-3.5
Résistance au feu [°C]	800
Coefficient de dilatation [µ/m]	9

I.2.4.1.3. Les avantages de fibres de verre

- Rapport performances mécaniques/prix
- Bonne résistance spécifique (pour verre R)
- Bonne adhérence avec toutes les résines (existence d'ensimage)
- Tenue à température élevée
- Dilatation et conductivité thermique faibles
- Bonne propriétés diélectriques.

I.2.4.2. Fibre de Carbone

Les fibres de carbone ont de très bonnes propriétés mécaniques et sont élaborées à partir d'un polymère de base, appelé précurseur, se présentant lui-même sous forme de fibres orientées et réticulées. Les fibres utilisées sont les fibres acryliques élaborées à partir de poly acrylonitrile. [22]. Les fibres de carbone ont une excellente tenue en température, en atmosphère non oxydante. Cette propriété a conduit à développer des composites fibres de carbone/matrice de carbone, à haute tenue thermique, utilisés dans les tuyères de fusées, les éléments de fours, etc. Ces matériaux revêtus d'une couche protectrice antioxydant, trouvent également des applications en atmosphère oxydante dans le domaine spatial. [23].

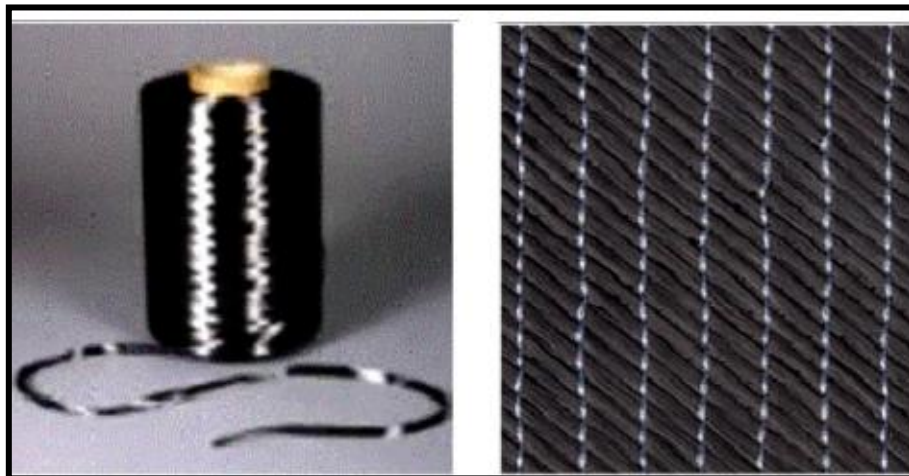


Figure I.2-6 : fibres de carbone

I.2.4.2.1. Caractéristique physique et mécanique de la fibre de carbone

Il existe toute une variété de fibres de carbone qu'on peut actuellement classer en trois types :

- Les fibres haute résistance HR,
- Les fibres à module intermédiaire IM,
- Les fibres à haut module HM.

Les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres de carbone varient, mais elles sont incluses dans les limites données par le (tableau I.2-4).

Tableau I.2-4 : caractéristiques de fibre de carbone

Caractéristiques	Fibre				
	HR		IM	HM	
	1	2		1	2
Résistance à la rupture (MPa)	3000 - 3500	4000 à 4500	4700 à 7200 (3)	1500 à 2500	2000 à 4200 (3)
Module d'Young (GPa)	220 - 240	235 à 250	275 à 300	350 a 500	350 à 500
Allongement à la rupture (%)	1.2 à 1.5	1.6 à 1.8	1.4 à 1.6	0.5 à 0.7	0.3 à 0.5
Masse volumique (g/cm³)	1.75 à 1.8	1.75 à 1.8	1.7 à 1.8	1.8 à 1.95	1.8 à 1.95

HR : haute résistance
IM : module intermédiaire
HM : haut module 2^{ème} génération
(1) qualité standard
(2) qualité très haute performance commercialisée
(3) en cour de développement

I.2.4.2.2. Les avantages de fibres de carbone

- excellentes propriétés mécaniques (Rt, Rc, E)
- très bonne tenue en température (atmosphère non oxydante)
- dilatation thermique nulle
- bonne conductibilité thermique et électrique
- bonne tenue à l'humidité
- usinabilité aisée
- faible densité.

I.2.4.3. Basalte

Les fibres de basalte sont les fibres minérales extraites de la roche volcanique issue d'un magma refroidi rapidement au contact de l'eau ou de l'air. La fabrication de la fibre de basalte est assez similaire à celle de la fibre de verre. Les fibres de basalte présentent de meilleures propriétés mécaniques que les fibres de verre et résistent au feu à une température élevée (820°C). Elles possèdent également une bonne résistance aux produits chimiques (acides, bases), une très bonne résistance à la corrosion, ainsi qu'une bonne mouillabilité qui est très importante dans le cas de la mise en œuvre du textile au sein du mortier limitant ainsi l'absorption d'eau du mortier. La durabilité des fibres basalte est comparée avec celle des fibres de verre (verre-E et verre-AR) en raison de la similarité en termes de composition chimique [24].

I.2.4.4. Aramide

L'aramide est produite par la réaction entre le paraphénylènediamine et le chlorure de terephtalyle dans un solvant organique.

L'élaboration des fibres d'aramide est effectuée à basse température (-10°C), puis par filage en solution. Les fibres sont ensuite étirées et traitées thermiquement afin d'augmenter leur module d'élasticité.

Les fibres d'aramide présentent une densité plus faible et une résistance au cisaillement et aux impacts plus élevée par rapport aux fibres de carbone et de verre. Cependant un coefficient de dilatation négatif, et une sensibilité au milieu alcalin sont les désavantages de ces fibres.[25].

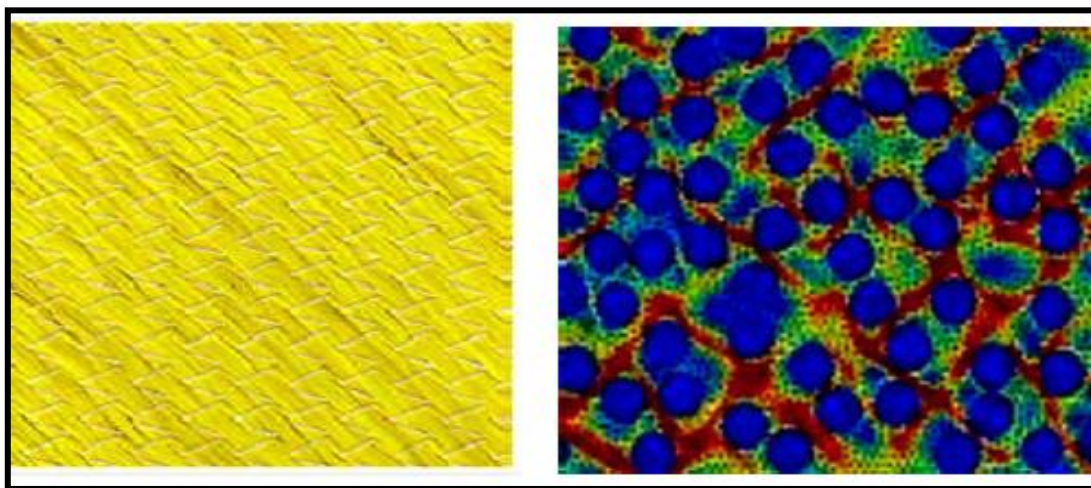


Figure I.2-7: différents types des fibres d'aramide.

I.2.4.5. Acier inoxydable

Ce sont des aciers, alliages de fer et de carbone, auxquels on ajoute essentiellement le chrome qui, au-delà de 10,5 % en solution dans la matrice, produit la résistance souhaitée à l'oxydation.

Des fibres d'aciers inoxydables d'un diamètre compris entre 6 et 10 mm laminées et étirées à chaud pour obtenir un filament d'environ 1 mm de diamètre. Il présente une bonne durabilité dans le mortier. Enfin, il offre une excellente mouillabilité et pourrait s'associer avantageusement à une matrice cimentaire.

Tableau I.2-5 : Classification des fibres (les plus utilisées) selon leur nature chimique

1. Organiques		2. Inorganiques		
Naturelles	Synthétiques	Naturelles	synthétiques	Métallique
Cellulose	Acryliques	Amiante	Bore	Aciers
Chanvre	Aramide	Basalte	Carbone	Aciers
Coton	Polyamides		Carbure de	Inoxydables
Lin	Polyesters		silicium	
	Polypropylène		Verre	
	Polyuréthane			

I.2.5. Technologies textiles

Les technologies de fabrication textile peuvent être divisées en deux grandes familles qui sont les textile bidimensionnel et tridimensionnel, les renforts tridimensionnel et bidimensionnel ne peuvent reprendre d'efforts que dans leur plan dans le cadre d'une application pour composites TRC, les efforts hors plan du textile sont repris exclusivement par la matrice, cela peut rendre les TRC sensibles au mode de rupture par délaminage. Pour y remédier, les technologies textile 3 dimensions ont émergé et permettent d'assurer un transfert de charge dans les trois directions. De surcroît, les textiles 3D peuvent également assurer un gain de temps et de précision lors du positionnement du textile à travers le placement d'un renfort unique. [26].

I.2.5.1. Tissage

Un tissu est un textile fabriqué par entremêlement bidirectionnels des rangées de fils : une direction de chaîne et une direction de trame. Les fils sont ainsi liés par tissage, c'est-à-dire par passage des fils de trame au-dessus et au-dessous des fils de chaîne suivant des séquences préétablies. Il existe différentes façons d'entremêler les fils conduisant ainsi à un schéma de maillage du tissu différent. Ce schéma influence les caractéristiques du tissu. Il existe 3 schémas caractéristiques de maillage du tissu : taffetas, serge et satin.[27].

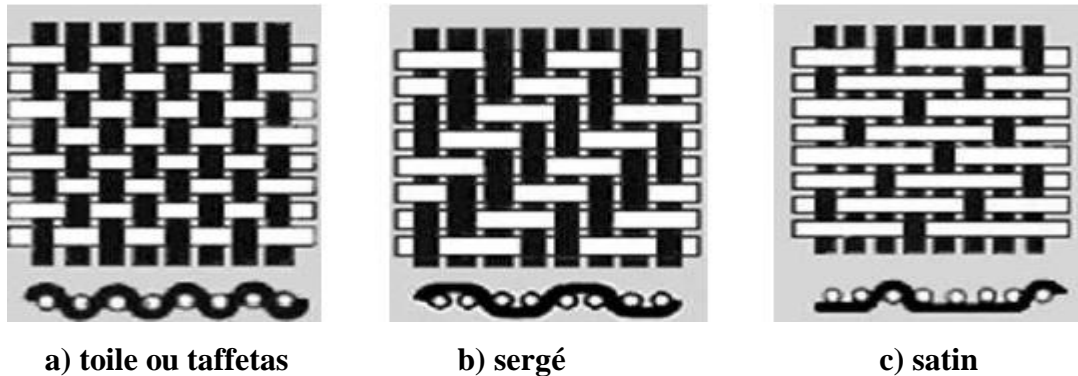


Figure I.2-8: Différent schémas de maillage du tissu.[27]

a) Toile ou taffetas : chaque fil de chaîne passe dessus puis dessous chaque fil de trame, et réciproquement.

b) Sergé : chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs (n) fils de trame et chaque fil de trame flotte au-dessus de (m) fils de chaîne.

c) Satin : chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs (n-1) fils de trame et réciproquement.

I.2.5.2. Tressage

Les textiles tressés sont fabriqués par un entrelacement mutuel de fils sous une forme tubulaire. Ils sont fabriqués à partir d'au moins 2 types de mèche qui parcourent chacune une trajectoire qui n'est pas forcément droite, tout en créant une direction privilégiée en renfort. Le tressage est réalisé par entrelacement des différentes mèches entre elles. Les tressés ont une large flexibilité en conception géométrique dont quelques variantes. Revanche, le processus de fabrication est relativement lent.[28].

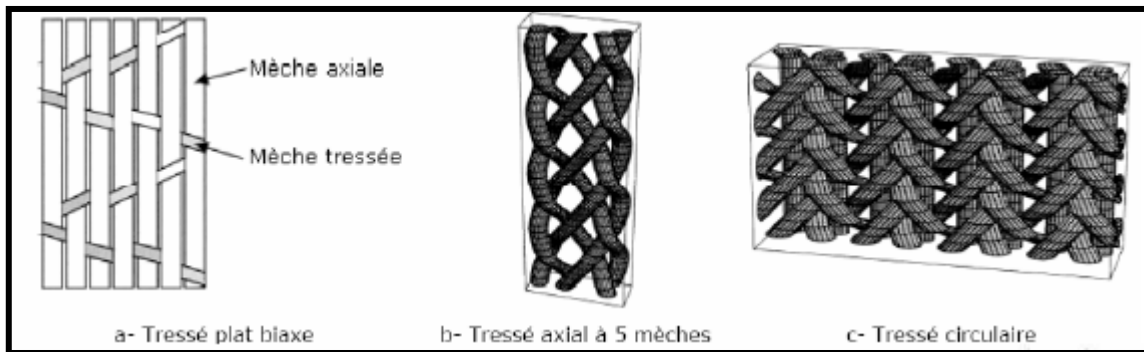


Figure I.2-9 : Quelques types de tressés 2D [EL HAGE_06]

I.2.5.3. Collage

Cette technique consiste à coller, généralement par un liant polymère ou par un procédé thermique les fils entre eux afin d'obtenir un textile géométriquement stable. En superposant puis en collant 2 séries de fils parallèles, il est ainsi possible d'obtenir un textile.

Le procédé de collage généralement utilisé consiste à pré imprégner le textile par une solution polymère afin de lier les filaments et fils entre eux (par une augmentation conséquente de l'adhérence entre filaments due au polymère)[28].

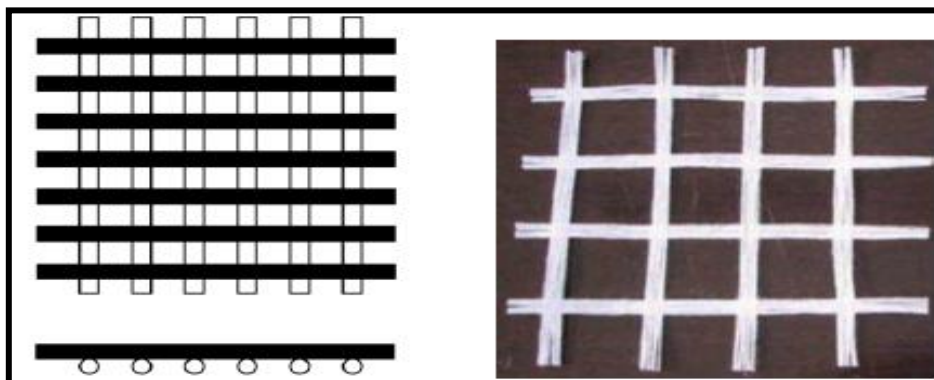


Figure I.2-10 : illustration d'un textile collé ayant préalablement subi ni tricotage, tissage ou tressage

I.2.6. Comportement mécanique en traction

La caractérisation du composite TRC s'est portée principalement sur l'étude du comportement en traction. Pour ce faire, deux types d'essai de caractérisation en traction ont été mis en place par [29]. La caractérisation par l'essai de traction directe et celle par l'essai de flexion.

I.2.6.1. Comportement en traction par flexion

Dans la littérature, l'analyse des résultats d'essai issus des essais de flexion du composite TRC revient souvent à l'exploitation de la courbe charge/flèche (Figure I.2-10). Le comportement du TRC soumis à la flexion peut-être divisé en trois zones. La première zone traduit le comportement linéaire élastique où aucun des matériaux constitutifs du composite n'est endommagé, la rigidité est totalement fonction de la matrice. Lorsque la résistance en traction de la matrice est atteinte, la première fissure apparaît, une partie de l'effort est alors transféré au renfort textile. La formation de fissure est multipliée avec l'augmentation légère de la charge appliquée, ce comportement définit la zone IIA. Lorsque la formation de fissure est stable, l'effort est transféré totalement au tissu, les fissures se propagent verticalement et s'ouvrent, la rigidité du composite augmente significativement par rapport à la zone IIA, ce comportement définit la zone IIB. La troisième zone correspond à la rupture localisée du composite lorsque le renfort textile atteint la résistance limite, le comportement post-pic dans cette zone est observé par le glissement entre le fil et la matrice (comportement d'arrachement), ainsi que la ruine progressive des filaments qui se localisent à une seule fissure. [30].

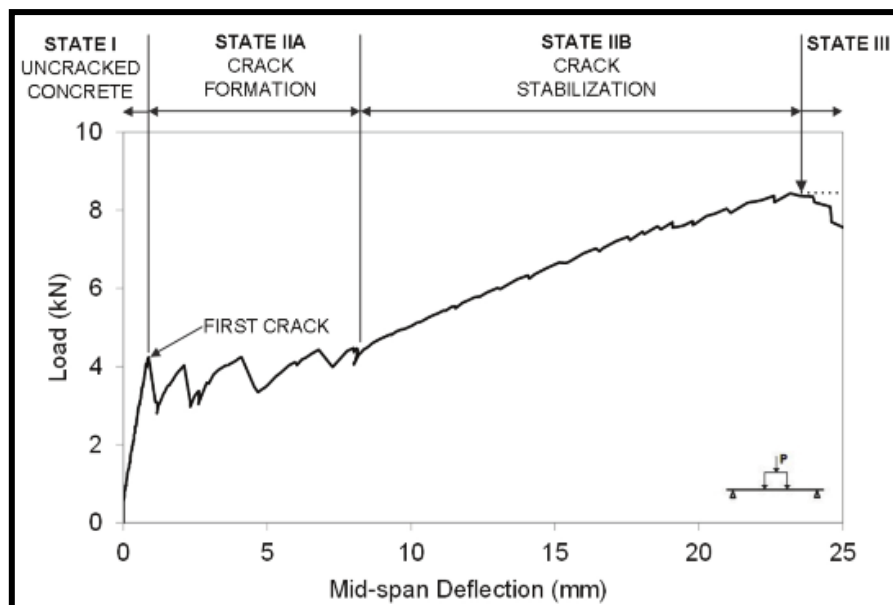


Figure I.2-11: Comportement en traction par flexion de composite TRC

I.2.6.2. Comportement en traction directe

La grande majorité des études montre que la loi de comportement du composite TRC exprimée en contrainte-déformation peut être divisée en 3 zones (lorsque les fibres utilisées

ont un comportement fragile) comme illustré sur la (Figure I.2-12) .La première zone (stade I) présente le comportement élastique linéaire où aucun des matériaux constitutifs du composite n'est endommagé, La zone II (stade II) présente un comportement non linéaire du composite, et elle peut être divisée par deux sous parties qui correspondent à la zone IIA et à la zone IIB sur la (Figure I.2-12). La transition entre les zones I et Iia est marquée par un changement brutal de rigidité, associé selon Hegger au développement de la première fissure dans le mortier. En effet, lorsque la résistance en traction de la matrice est atteinte, ce qui conduit à la fissuration de la matrice, le renfort textile permet de ponter la fissure en reprenant l'effort de traction, ce qui conduit à la redistribution de l'effort dans le composite. Les nouvelles fissures seront ensuite formées à différentes positions sur le composite, cette formation et multiplication des fissures dépendent fortement de la liaison entre la matrice et le renfort textile. La zone Iib est identifiée par une augmentation sensible de la rigidité par rapport à la zone Iia. Lorsque la formation des fissures est stable (la distribution de l'effort dans le composite est stable), le renfort textile reprend l'effort total. La contrainte (ou déformation) du renfort textile augmente ensuite jusqu'à la limite. La troisième zone (Stade III) définit un comportement post-pic du composite qui est présenté par un comportement d'arrachement entre le renfort textile et la matrice (comme la phase de Figure I.2-12) couplé à la rupture du textile localisée à une seule fissure. Comportement d'une structure à armature en acier, l'armature en renfort textile ne présente pas de comportement plastique. La rupture du composite TRC est donc fragile. [30]

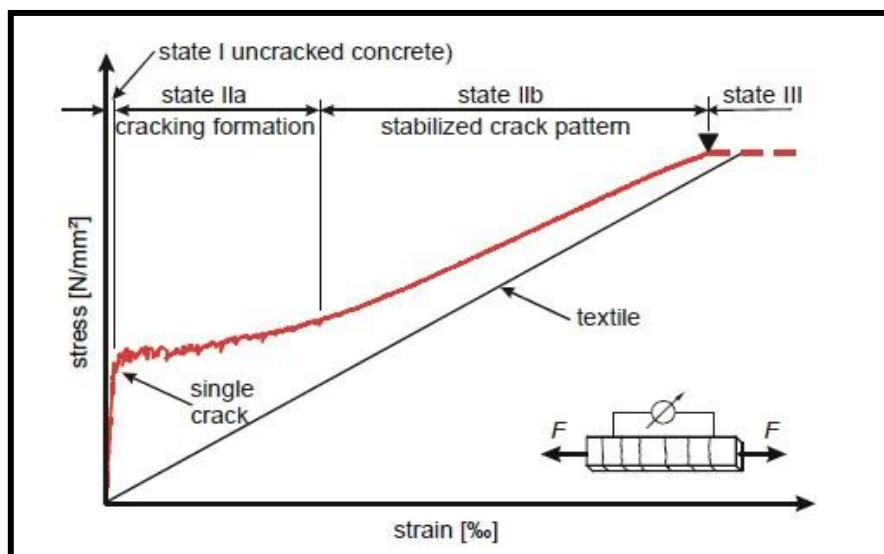


Figure I.2-12: Comportement contrainte/déformation qualitatif en traction directe du composite TRC proposée par Hager

I.2.7. L'utilisation des TRC

Les composites en TRC sont utilisés actuellement avec une large gamme d'applications comme

- Éléments de façade
- Éléments la protection environnementale et porteurs de structure ;
- En raison de leur résistance vis-à-vis de la corrosion et des diverses attaques chimiques (acide sulfurique), les composites TRC sont employés dans la réalisation d'éléments utilisés dans le traitement décentralisé d'eaux usées ;
- ✓ Dans l'objectif d'obtenir des gains concernant plusieurs aspects, notamment la protection contre le rayonnement solaire ou électromagnétique, l'électricité statique, ainsi que l'esthétique.



Figure I.2-13: Dôme maison en fibre de verre à Davis, Californie.

I.2.8. Renforcement par les TRC

L'utilisation de la matrice cimentaire renforcée par textiles a été étudiée pour le renforcement des structures en maçonnerie et en béton sous différents cas de chargement.

Les études de l'utilisation du TRC dans le renforcement du béton armé ont porté sur le confinement des colonnes qui a pour rôle de résister aux charges de compression et de torsion, et sur le renforcement des poutres et des dalles en cisaillement et en flexion, respectivement.

L'utilisation du TRC peut être avantageuse pour le renforcement des structures historiques, grâce à l'utilisation d'une matrice minérale ayant des comportements physiques similaires aux matériaux de la structure. En plus, le textile présente une facilité d'application parce qu'il prend la forme de la surface sur laquelle il est appliqué.

Le développement de ces nouveaux composites permet la réalisation d'éléments structuraux minces avec des résistances en traction et compression importantes.



Figure I.2-14: Eléments réalisées par les TRC.

I.2.9. Méthodes d'application des composites TRC pour le Renforcement

I.2.9.1. Moulage au contact in situ

Le moulage au contact, nommé stratification manuelle, est l'une des techniques de mise en œuvre les plus accessibles. Il se réalise dans un moule préalablement conçu ou directement sur la pièce à réparer.

Une fine couche de matrice est appliquée sur le substrat avant de déposer le renfort textile, la matrice doit permettre l'enrobage du renfort en éliminant soigneusement toute inclusion d'air et en imprégnant au mieux les fils du renfort. Le procédé est ensuite répété jusqu'à ce que le nombre de couches souhaité soit atteint. [31]

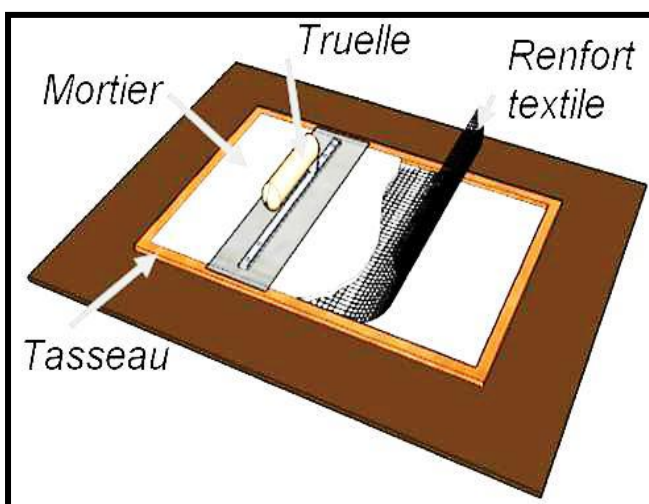


Figure I.2-15: Moulage au contact par TRC



Figure-I.2-16: la Rénovation d'un toit en forme de tonneau à Zwickau (Allemagne)

I.2.9.2. Projection in situ

La mise en œuvre par projection est voisine du moulage au contact. Le mortier est projeté sur le substrat à l'aide d'une machine par voie humide ou sèche). Cette méthode permet d'améliorer le taux de production, Ce procédé semble donc être très pertinent en vue de la réparation ou du renforcement d'une structure par composite TRC. [31] .

I.2.9.3. Préfabrication (production de masse)

La préfabrication des composites a comme principal avantage, de garantir une faible dispersion des caractéristiques mécanique du TRC et de permettre la mise en œuvre d'un taux de renfort plus élevé au sein du composite. Elle permet d'obtenir des composites aux performances mécaniques améliorées. La préfabrication nécessite une matrice de consistance fluide à plastique.[31] .



Figure I.2- 17 : Les expériences de la coquille incurvée d'Édimbourg

I.3. LES SABLES

I.3.1. Introduction

Dans cette partie nous allons donner une présentation générale sur les propriétés des différents types de sables utilisés dans le domaine de génie civil. Notamment leurs mécanismes de formation, classifications et les critères de sélection pour leurs emplois en construction. Nous allons également donner un aperçu sur les mortiers. Nous nous sommes surtout basés sur leurs applications dans la construction, leurs différents types et leurs principales caractéristiques.

I.3.2. Définition des sables

On entend par sable la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 0,080 mm et 5 mm ; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30% [32].

I.3.2.1. Classification

a. Selon son origine: Le sable, en fonction de son origine, peut être classé en quatre catégories :

- ✓ **Naturel** : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières), de roches massives (sédimentaire, éruptives, métamorphique, etc.) ou de dunes. Le sable naturel n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).
- ✓ **Artificiel** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.
- ✓ **Recyclé** : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition.

b. Selon sa composition :

En fonction de sa composition minéralogique (teneurs en silice, alumine et chaux), le sable peut être classé en quatre catégories (tableau I.3-1).

Tableau I.3-1: Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique)

Composition	SiO ₂ (%)	CaO (%)	Al ₂ O ₃ (%)
Siliceux	70 à 90	0,1 à 1	1 à 10
Silico-alumineux	50 à 70	1 à 5	10 à 25
Silico-calcaires	15 à 20	15 à 30	3 à 10
Calcaires	2 à 10	30 à 50	0,5 à 2

c. Selon sa densité :

Selon la densité de sable, on distingue trois types ;

- ✓ **Léger** : de masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³, et le plus usuel est à base d'argile expansée, de schiste expansés ou de laitier expansé.
- ✓ **Courant** : de masse volumique entre 2000 et 3000 kg/m³, et il est généralement les basaltes, quartzites, grès, porphyre, diorite, granites, schistes, laitier.
- ✓ **Lourd** : de masse volumique varie de 4000 à 8000 kg/m³, et le plus utilisé est la barytine (d'une densité absolue de 4,2 à 4,7), la magnétite (d'une densité absolue de 4,5 à 5,1), les riblons (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8) et la grenaille (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8).

d. Selon sa forme :

Selon la forme de sable, on peut désigner deux grands types ;

- ✓ **Roulé** : dont la forme a été acquise par l'érosion de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières) ou des dunes.
- ✓ **Angulaire ou Concassé** : dont la forme a été obtenue par abattage et concassage de roches massives et dures. ase d'argile expansée, de schiste expansés ou de laitier expansé.

I.3.2.2. Classement des sables selon les trois paramètres dont :**a) Granulométrie :**

Elle permet de séparer les sables en trois catégories :

- ✓ **Sables fins** : plus de 75% des éléments supérieurs à 80µm, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.
- ✓ **Sables moyens** : Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,2 et 2mm.

- ✓ **Sables grossiers** : Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 μ m sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves [33].

b) Propreté :

La propreté d'un sable est une caractéristique déterminante par l'essai d'équivalent de sable. Afin de donner des limites pour chaque type de sable.

c) Nature minéralogique :

En général, les sables peuvent être classés comme suit:

- ✓ Sables siliceux.
- ✓ Sables silico-calcaires.
- ✓ Sable calcaires.

I.3.2.3. Les types des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

- ✓ **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- ✓ **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- ✓ **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- ✓ **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- ✓ **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne.

Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara [34].

I.3.3 Sable de dune

I.3.3.1. Définition

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluviatile et parfois éolienne. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée [35]. Le sable de dune s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente. Il constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir .

Le sable de dune de l'erg occidental occupe 6% de la surface du Sahara Algérien.

Ce type de sable spécialement est d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter. L'utilisation de ce nouveau matériau dans le secteur de construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat, et contribuer au développement des régions du sud algérien, très riches en sable de dune [36].

I.3.3.2. Nature de sable de dune

I.3.3.2.1. Mécanismes de formation

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposé.

I.3.3.2.2. Types des dunes

a) Les avant-dunes (fore dune en Anglais), qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. À ne pas confondre avec une ancienne arrière dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine

public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières spasmophiles [37].

b) Les falaises dunaires (dune Cliff en Anglais) ne sont pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux

c) Les dunes perchées (Cliff-top dune en Anglais), qui apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire

d) Les cordons dunaires artificiels

Qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils Nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradées rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France) .

I.3.3.3. Physique des dunes

Nous connaissons tous, au moins par des photos ou les images de télévision, les étendues Majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert. Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes. Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris [37]



Figure I.4-1 : La barkhane

Une barkhane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.

Le vent fait rouler le sable pour qu'il remonte la pente du dos de la dune jusqu'à la crête et vienne former de petites avalanches sur le versant plus pentu du front. Ce phénomène fait avancer la dune .

Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane (voir figure I.4-1). Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent. (Voir figure. I.4-2) [37].

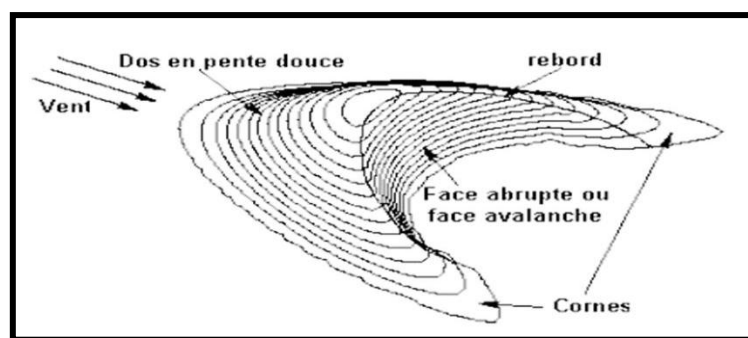


Figure I.4-2: Morphologie de la barkhane

I.3.3.4. Diverses utilisations

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique : remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie ; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires ; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou « sables noirs », sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane-métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels : érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée ; destruction à terre de la nappe phréatique, etc.[38].

I.3.3.5. Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction

L'Algérie est un gros consommateur de granulat. Cette consommation s'accroît d'une année à l'autre. Les gros granulats ont tendance à être épuisés dans certaines régions. D'autres régions ne disposent plus de ce matériau. Par ailleurs, notre pays, est notamment le sud algérien, dispose de grands gisements de sables de différents natures (de dune, alluvionnaires et de concassage), ainsi que de grands gisements de fines naturelles et artificielles. La réflexion sur l'élaboration de nouveaux bétons tels que les bétons de sable ou de mortier est donc devenue nécessaire.

Ce type de sable pourrait bien constituer le squelette d'un béton pour peu que sa formulation soit judicieusement étudiée. Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers [39].

De nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. Son utilisation pourrait être liée à sa très forte teneur en silice, matériau à la base d'applications dans l'électronique et l'optique par exemple, en génie civil, ce sable présente aussi un grand intérêt économique et environnemental [39].

I.3.3.5.1. Intérêt de sable de dune

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique.

I.3.3.5.1.1. Les aspects économiques

Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité quasi-inépuisable.

Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement.

I.3.3.5.1.2. Les aspects techniques

- Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance.
- Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base .

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les différentes pathologies du béton, Les phénomènes affaiblissent les ouvrages et leur font perdre les caractéristiques mécaniques.

Ces dernières années, l'utilisation des matériaux composites constitués de résine et de renforts dans le domaine du génie civil a pris de l'ampleur. Les matériaux composites ont une grande flexibilité en s'adaptant aux formes géométriques les plus complexes des éléments renforcés, et pour leur légèreté par rapport aux aciers, de transport et de mise en œuvre sur site, ainsi que leur résistance mécanique plus importante que les autres moyens de renforcements. Ces avantages, mécaniques et physico-chimiques permettent l'utilisation des matériaux composites comme méthode de renforcement et de réhabilitation des structures en béton armé ; l'application des tissus est une alternative intéressante par rapport aux méthodes de réparation conventionnelle.

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, les résultats des différents tests effectués sur les éprouvettes durcies (essai ultrasons, essai de flexion 4 points) sont présentés et interprétés.

Nous rappelons que notre étude se porte sur des essais de flexion effectués sur des éprouvettes de dimensions (10 x 40 x 2) cm³ confectionnées de compositions différentes de mortiers et armées de différents renforts.

- Une étude comparative entre le renforcement par un tissu de fibres de verre et de fibres carbone ainsi que le renforcement par deux tissus de même nature et de natures différentes, a été effectuée.
- Par la suite on a testé l'effet de la substitution du sable de rivière par le sable de dune avec des taux de 15,20 et 30% avec le renforcement par le tissu de verre.
- En troisième lieu on a étudié l'effet de l'ajout de fibres de verre courtes au mortier sur le comportement des plaques avec différentes compositions du mortier.
- En dernier on a testé des plaques armées de tissus de fibres de verre avec différentes dimensions des mailles.

III.2. Vitesse de propagation d'ondes ultrasonores :

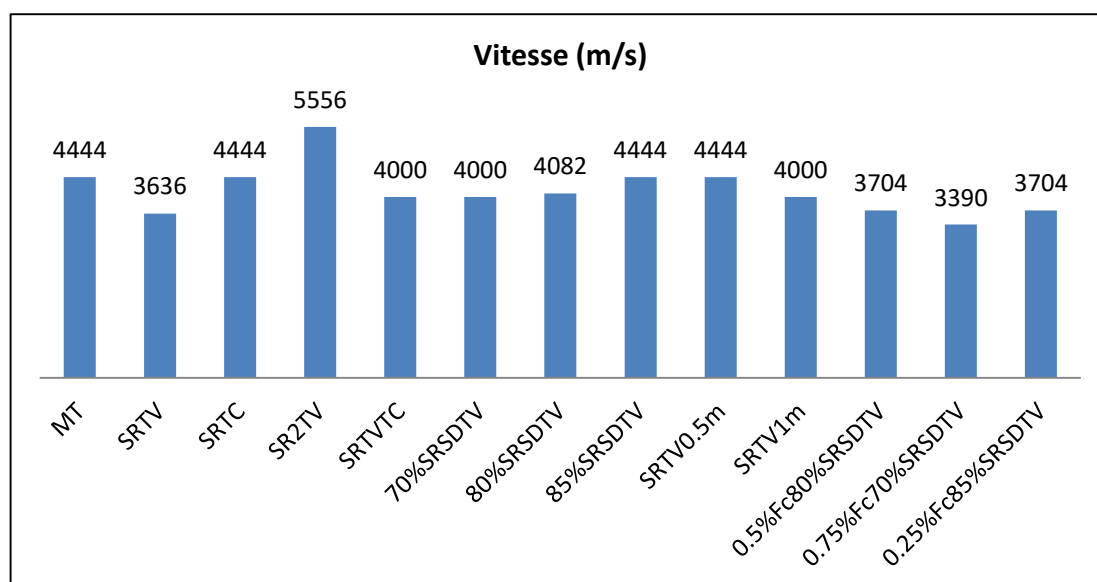
Après 28 jours de maturation, les éprouvettes ont été testées à l'ultrason. On utilisant un testeur ultrasonique EN 12504-4 Réf 10.0497 de marque Proceq aussi appelé appareil de PUNDIT, comprenant un transducteur de transmission et un transducteur de réception calé à une fréquence de 150 kHz. L'essai consiste à déterminer la vitesse des ondes ultrasonores en mesurant le temps qu'elles mettent pour traverser l'éprouvette. Le test a été réalisé en mode de transmission directe qui fournit le maximum d'énergie.

Le test a été reliés à trois reprises pour chaque éprouvette, nous avons par la suite calculé la moyenne des mesures obtenues sur chaque éprouvette.

Les résultats sont représentés dans les tableaux et reportés sur l'histogramme illustré sur la figure suivante :

Tableau III.1: Vitesse longitudinale de propagation des ultrasons dans différents mortiers

Les différents mortiers	Vitesse (m/s)	Temps (μ s)	La qualité du mortier
MT	4444	4.5	bonne
SRTV	3636	5.5	bonne
SRTC	4444	4.5	bonne
SR2TV	5556	3.6	Excellente
SRTVTC	4000	5	bonne
70%SRSDTV	4000	5	bonne
80%SRSDTV	4082	4.9	bonne
85%SRSDTV	4444	4.5	bonne
SRTV0.5m	4444	4.5	bonne
SRTV1m	4000	5	bonne
0.5%Fc80%SRSDTV	3704	5.4	bonne
0.75%Fc70%SRSDTV	3390	5.9	bonne
0.25%Fc85%SRSDTV	3704	5.4	bonne

**Figure III.1 :** Vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans les différentes éprouvettes.

Observations

D'après les résultats obtenus, nous constatons que la vitesse de propagation des ondes pour les différentes compositions est bonne. Les meilleurs résultats ont été obtenus pour les variantes constituées à 100% de sables de rivière. Ce qu'il y a retenir c'est que le contrôle par ultrasons est une méthode de test non destructif permettant la détection de défaut à l'intérieur du matériau. Donc ce qui intervient dans l'interprétation c'est la composition du mortier et non pas la résistance du textile.

III.3.La résistance à la flexion :

Pour une meilleure lecture des résultats, on commence par une illustration de toutes les valeurs obtenues pour la force de rupture, la force maximale ainsi que les déformations leurs correspondant sous formes de tableaux. Par la suite on présente les résultats obtenus sous forme d'histogrammes et des courbes représentant l'évolution des efforts appliqués par flexion quatre points en fonction de la flèche.

III.3.1. Etude de la variation du type de textile:

Dans cette partie on a étudié l'influence du type de renfort sur le comportement des plaques soumises à l'essai de flexion 4 points. Le tableau ci-dessous illustre les résultats obtenus.

Tableau III2 : les résultats obtenus par l'essai à la flexion de différents mortiers selon le type de renfort

	$F_{rupt.}$ (N)	ϵ_{rupt} (mm)	F_{max} (N)	ϵ_{fmax} (mm)	ϵ_{ruine} (mm)
MT	1184.3	0.61	1184.32	0.61	0.61
SRTV	1010.2	1.25	1219,14	2,83	2.89
SRTC	905.56	0.5	1253,98	15,46	17.42

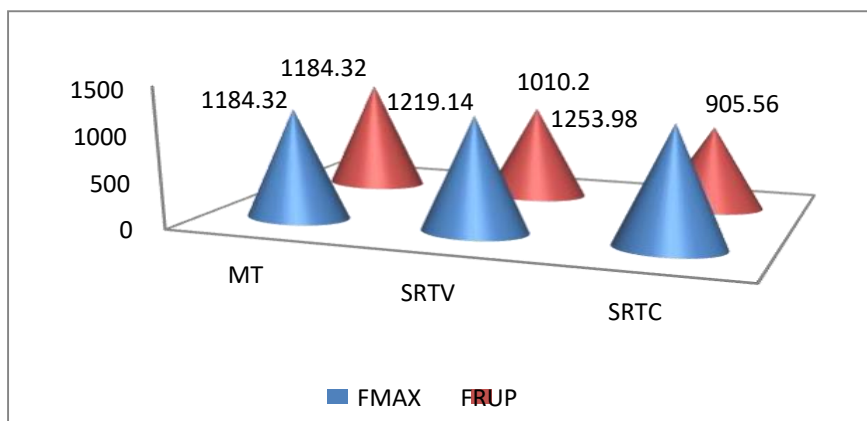


Figure III.2 : Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures de différentes variantes selon le type de renfort

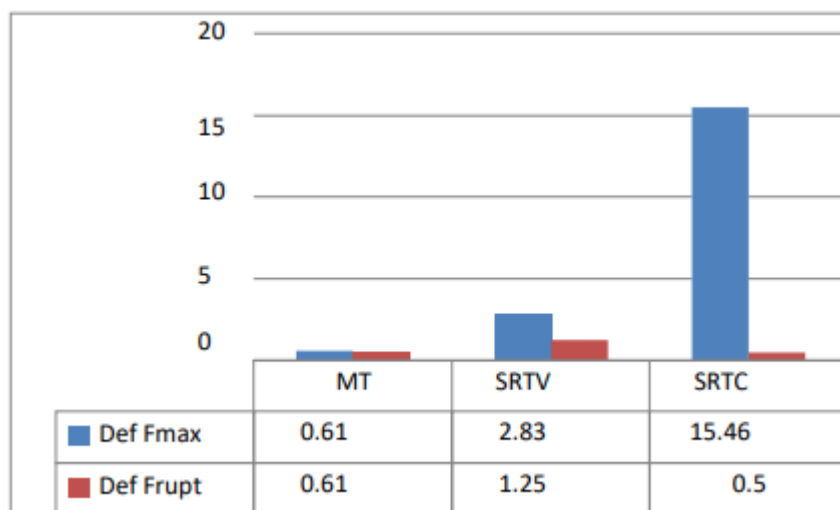


Figure III.3 : Histogramme des déformations maximales et ruptures de différentes variantes selon le type de renfort

La confrontation des différentes courbes forces-flèches correspondantes, décrivant l'évolution du chargement extérieur appliqué en fonction du déplacement, est illustrée par la figure suivante. Elle englobe trois courbes qui représentent l'essai sur des mortiers de même composition, la seule différence est le type de renfort (fibre de verre et fibre de carbone) ainsi que la courbe de l'éprouvette témoin sans renfort.

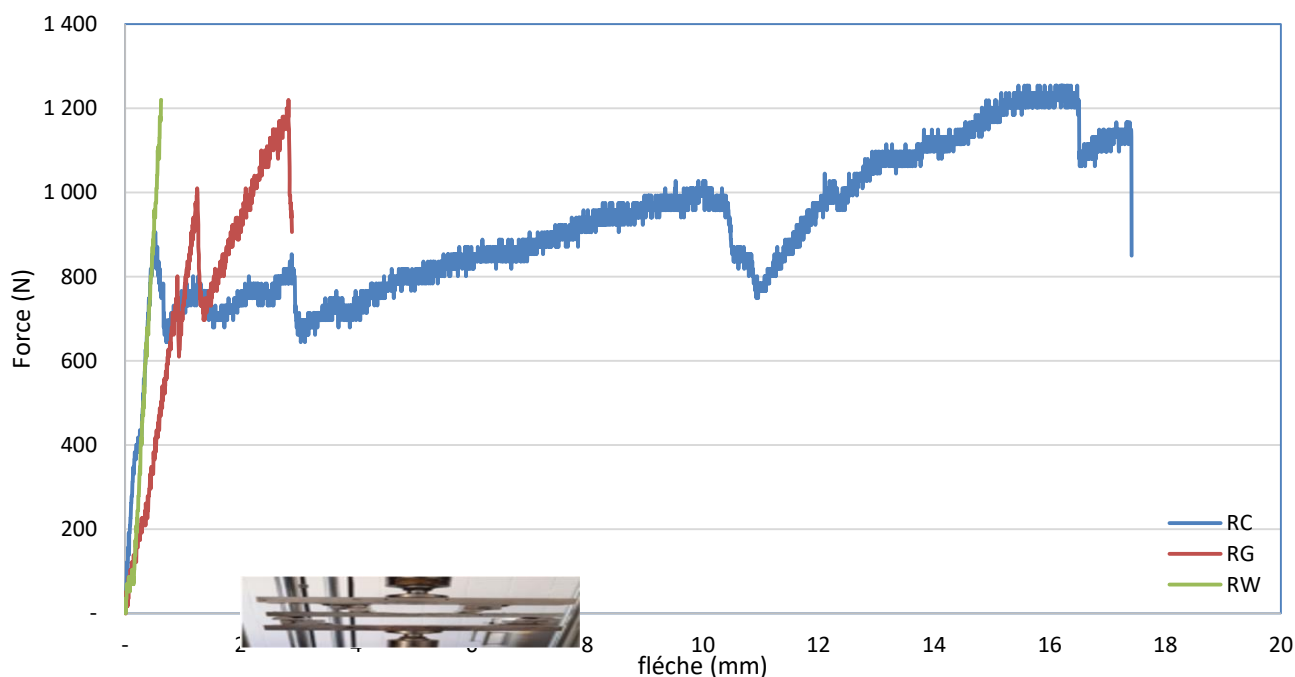


Figure III.4: Confrontation des courbes charges flèches des différents mortiers selon le type de renfort

Observations :

-Dans le cas du renforcement par des différents types des textiles (voir figure ci-dessus) on constate, que dans la phase élastique le meilleur comportement est celui de la variante non armée avec une charge de première fissure de 1184.32 N, cependant le comportement de cette dernière est fragile du a l’absence de renfort pour reprendre la sollicitation après fissuration de la matrice.

-Pour les variantes armées de textiles, on observe un meilleur comportement en terme de continuité du travail après la première fissure, en effet la variante SRTC est caractérisée par une charge maximale de 1253.98N et une flèche correspondante de 15.46 mm, nettement supérieure à celles des variantes SRTV et MT.

Relativement à la plaque non armée une amélioration considérable en termes de résistance et notamment de ductilité est obtenue avec les plaques renforcées SRTC et SRTV. Les gains sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Gains des résultats des deux mortiers renforcés avec un tissu de verre et un tissu de carbone

	GAIN $\epsilon_{rupt}(\%)$	GAIN $F_{max}(\%)$	GAIN $\epsilon_{fmax}(\%)$	GAIN $\epsilon_{ruine}(\%)$
SRTV	104.92	2.94	363.93	373.77

SRTC	-	5.88	2434.43	2755.74
-------------	---	------	---------	---------




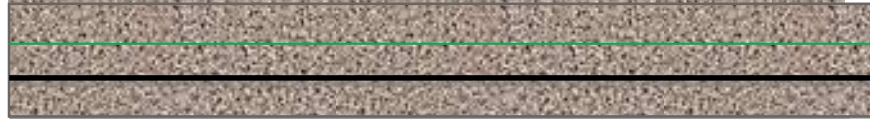
D'après les résultats présentés ce dessus :

-La plaque SRTV et SRTC présentent des gains en termes de capacité portante et de ductilité estimés respectivement à (2.94%, 363.93%) et (5.88%, 2434,43%). Ces gains sont obtenus grâce aux excellentes performances mécaniques de la fibre de verre et la fibre de carbone

III.3.2. Etude de la variation du nombre de couches du textile

Dans l'étude de l'influence du nombre de couches de renfort, vu la disponibilité de la fibre de verre, on a étudié le cas de plaques armées de deux tissus de fibres verre, un tissu de fibres verre et un tissu de fibres de carbone ; avec un mortier constitué de sable de rivière (même composition de la matrice). Les différentes positions des renforts sont illustrées sur le tableau ci-dessous:

Tableau III.4 : Positions et nombre des couches de textiles des différentes variantes

Désignation	Nombre de textiles avec leurs positions
SRTV	
SRTC	
SR2TV	
SRTVTC	

Le tableau suivant illustre les différents résultats obtenus confrontés à ceux obtenus pour le cas d'une seule couche de renfort.

Tableau III.5 : les résultats obtenus par l'essai à la flexion de différents mortiers selon le nombre de couches de tissus

	$F_{rupt.}$ (N)	ϵ_{rupt} (mm)	F_{max} (N)	ϵ_{fmax} (mm)	ϵ_{ruine} (mm)
MT	1184.32	0.61	1184.32	0.61	0.61
SRTV	1010.15	1.25	1219,14	2,83	2.89
SRTC	905.56	0.5	1253,98	15,46	17.42
SR2TV	1021.73	2.03	1706,80	8,05	8,95
SRTVTC	940.48	1.5	2316,37	10,32	15.48

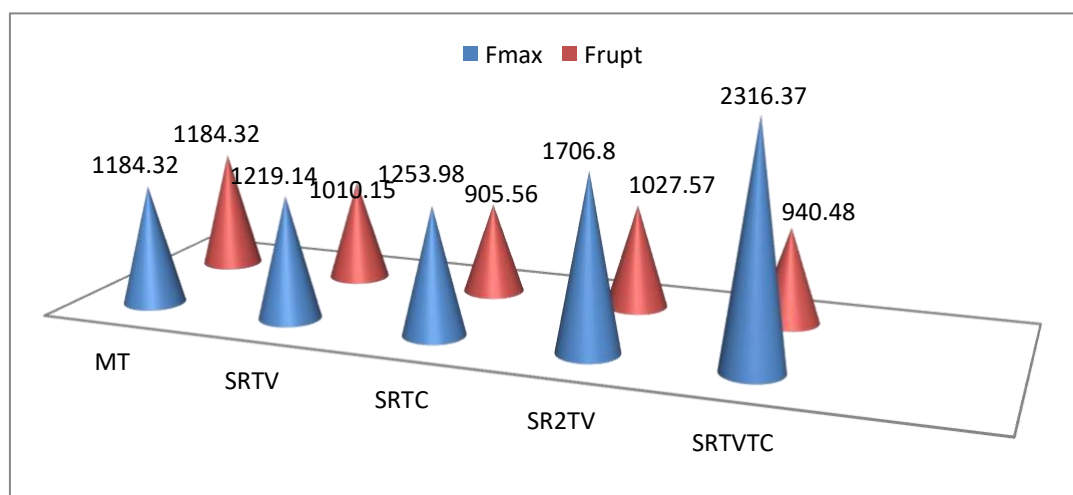


Figure III.5 : Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures du différent mortier selon le nombre de tissus

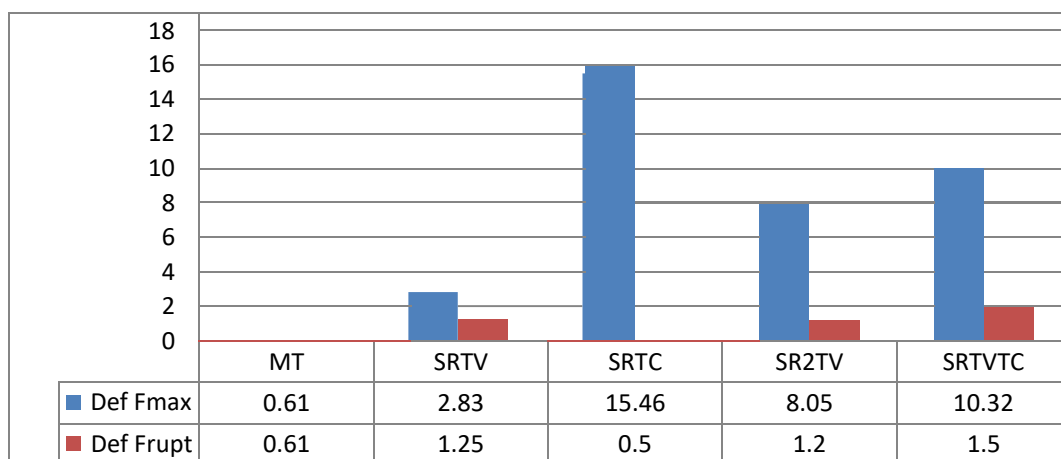


Figure III.6 : Histogramme des déformations maximales et des déformations a la rupture des différents mortiers selon le nombre de tissus

La confrontation des courbes ‘charge – flèche’ des quatre variantes est illustrée sur la figure ci-dessous :

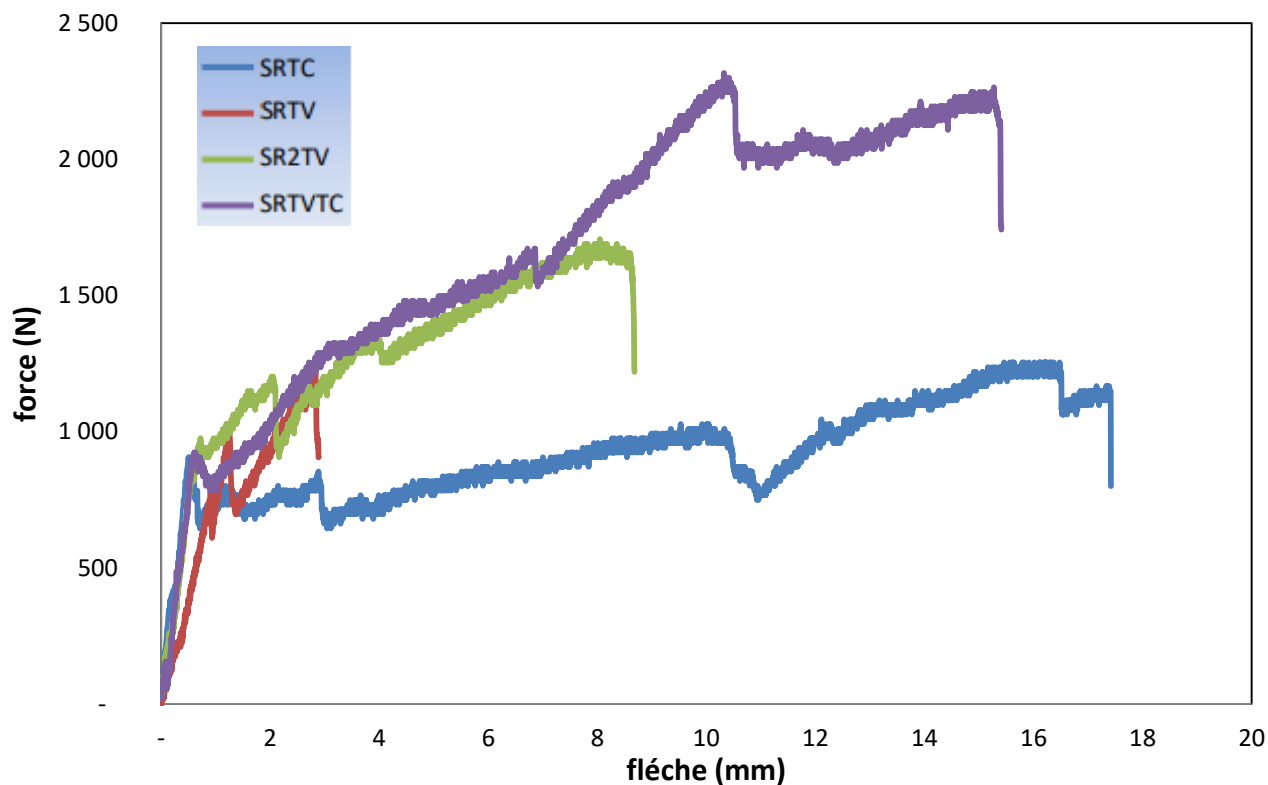


Figure III.7: Confrontation des courbes charges flèches des différentes variantes selon le nombre de couches de tissus

Observations

-D'après la confrontation entre les résultats obtenus pour des plaques avec deux couches de renfort et une seule couche, on constate que les éprouvettes armées de deux couches présentent un meilleur comportement.

-En effet la force maximale obtenue pour toutes les éprouvettes est celle de la variante SRTVTC armée d'un tissu de fibres de verre et un tissu de fibres de carbone avec une charge maximale de 2316.37 N et une flèche correspondante de 10.32 mm, suivie par la variante SR2TV armée de deux tissus de fibres de verre avec une charge de 1706.80 N et une flèche correspondante de 8.05 mm.

-En ce qui concerne la déformation, les plaques contenant le tissu de fibres de carbone présentent le meilleur comportement avec une valeur maximale obtenue pour la variante SRTC armée d'un tissu de fibres de carbone avec une valeur de 15,46 mm suivie par la variante SRTVTC avec une valeur de 10,32 mm.

Les gains sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III.6 : Gains des résultats des mortiers renforcés avec différents types et le nombre de tissus

	GAIN $\epsilon_{rupt}(\%)$	GAIN $F_{max}(\%)$	GAIN $\epsilon_{fmax}(\%)$	GAIN $\epsilon_{ruine}(\%)$
SRTV	104.92	2.94	363.93	373.77
SRTC	-	5.88	2434.43	2757.74
SR2TV	232.79	44.12	1219.67	1367.21
SRTVTC	145.90	95.59	1591.80	2437.70

-En terme de force les plus importants gains sont obtenus pour la plaque SRTVTC à base d'un tissu de fibres de verre et un tissu de fibres de carbone avec un gain de 95.59% et la variante avec un tissu de fibre de carbone SRTC améliore la ductilité qui présente un gain de 2434.43%, grâce l'excellente déformabilité .

III.3.3. Substitutions du sable de rivière par le sable de dune :

Dans cette partie nous avons effectué une substitution du sable de rivière par le sable de dune avec les taux de 15, 20 et 30%. Les résultats obtenus sont illustrés comme suit :

Tableau III7 : Résultats des Mortiers constitués de différents dosages des sables de dune armés d'un tissu de fibres de verre.

	F_{rupt} (N)	ϵ_{rupt} (mm)	F_{max} (N)	ϵ_{fmax} (mm)	ϵ_{ruine} (mm)
70%SRSDTV	1149,48	1,09	1654,55	7,75	8,2
80%SRSDTV	1415,98	1,76	1415,98	1,76	8,01
85%SRSDTV	1027,57	0,74	1410,72	3,70	4,34

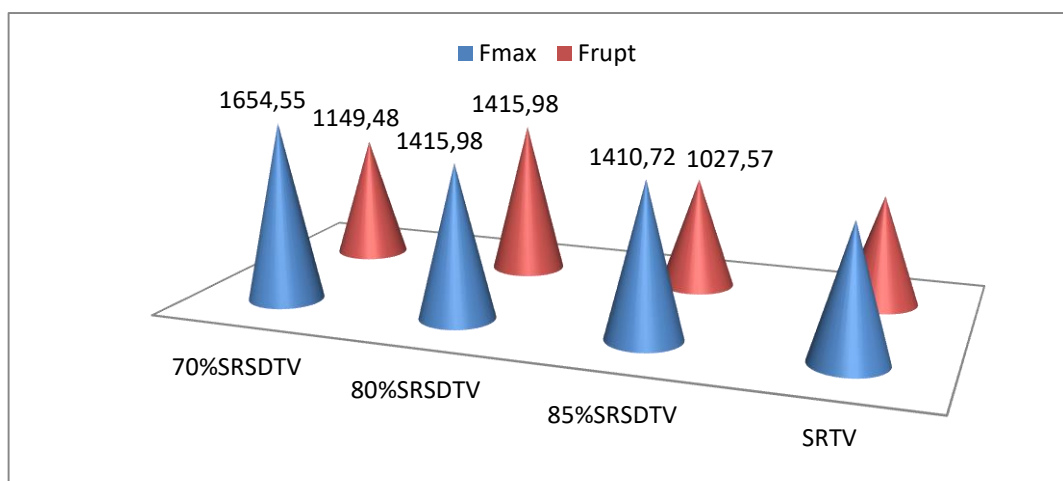


Figure III.8 : Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures des mortiers avec un tissu de fibres de verre des différents dosages des sables.

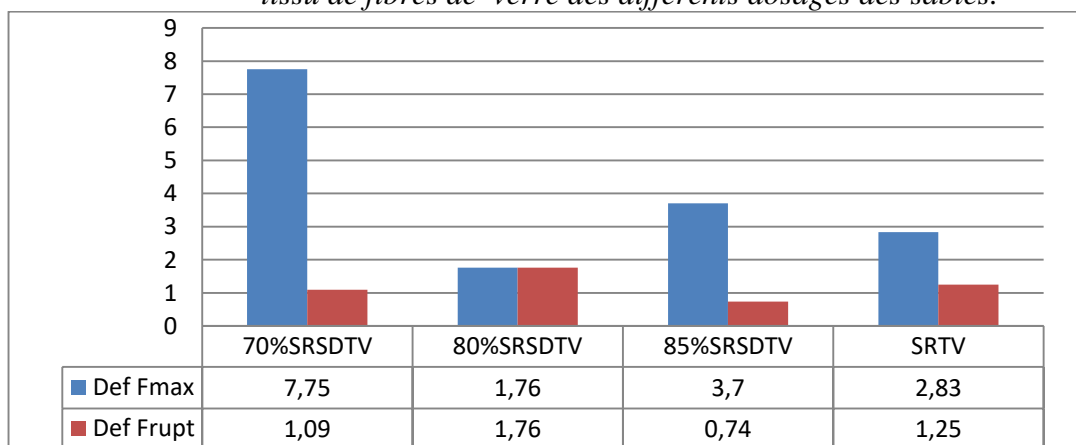


Figure III.9 : Histogramme des déformations maximales et des déformations ruptures des mortiers avec différents dosages de sable de dune armés d'un tissu de fibres de verre

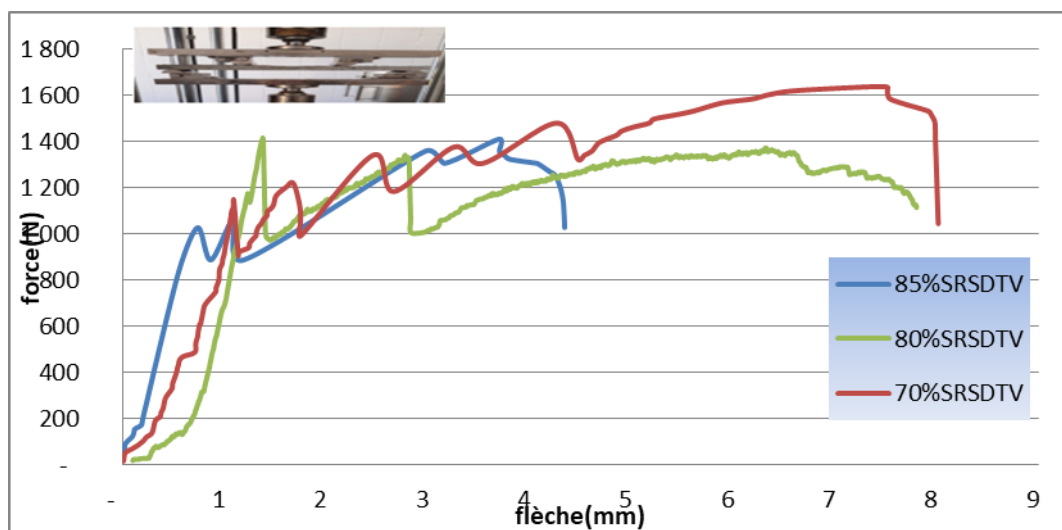


Figure III.10: Confrontation des courbes charges flèches des mortiers avec différents dosages de sable de dune armés d'un tissu de fibres de verre.

Observations

- En terme de comportement global la meilleure variante est 70%SRSDTV qui présente une force max de 1654,55N et une flèche correspondante est 7.75mm.
- Dans le domaine élastique la variante 80%SRSDTV présente le meilleur comportement avec une importante force de rupture par rapport aux autres de 1415,98 N et une flèche correspondant de 1,76 mm
- la plus faible valeur de la force de rupture est obtenue pour la variante 85%SRSDTV.
- Nous remarquons que plus le dosage de sable de dune augmente, plus la force maximale augmente.

En ce qui concerne la déformation maximale, la plaque 70%SRSDTV présente le meilleur comportement avec une valeur maximale obtenue de 7.75mm suivie par la variante 80%SRSDTV avec une valeur 3.70mm.

III.3.4. Etude du mortier renforcé de fibres courtes

L'objectif visé dans cette partie est l'étude de l'effet de l'incorporation de taux différents de fibres courtes dans des compositions de mortiers avec différents pourcentages de sable de dunes, avec un seul type de tissu qui est le verre. On a utilisé des pourcentages différents en fonction du taux de sable de dune.

III.3.4.1. Confrontation entre mortiers avec et sans fibres courtes

Dans cette partie on s'intéresse à la comparaison de l'utilisation de différents taux de fibres courtes (fibres de verre) dans la composition des mortiers. Les résultats obtenus sont donnés

dans le tableau suivant :

Tableau III.8 : Résultats des mortiers à base de différents dosages de sable de dune armés d'un tissu de fibres de verre avec différents taux de fibre courte

	F_{rupt} (N)	ϵ_{rupt} (mm)	F_{max} (N)	ϵ_{fmax} (mm)	ϵ_{ruine} (mm)
0.5Fc80%SRSDTV	1325.41	0.93	1325,41	0,93	12,35
0.25%Fc85%SRSDTV	998.85	0.73	998.85	0,73	3,54
0.75%Fc70%SRSDTV	1053.71	0.99	1053,71	0,99	17,03
70%SRSDTV	1149.48	1.09	1654,55	7,75	8,01
80%SRSDTV	1415.98	1.76	1415.98	1,76	8,2
85%SRSDTV	1027.57	0.74	1410,72	3,70	4,34

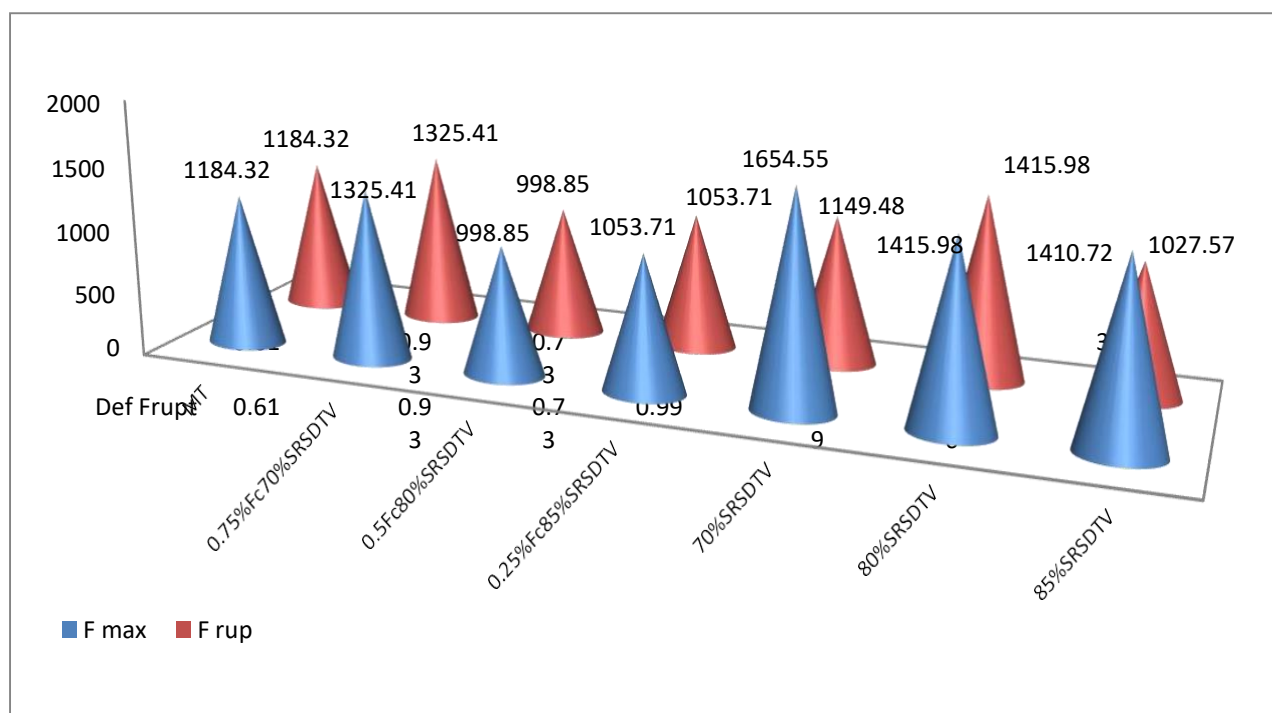


Figure III.11 : Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures des différents mortiers selon le taux de fibres courtes et dosages de sable de dune

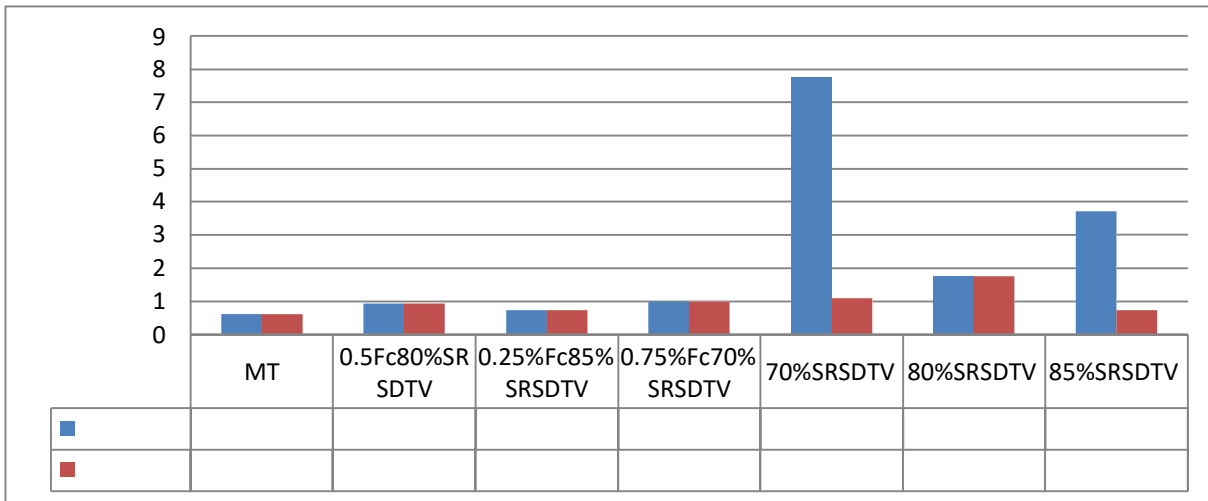


Figure III.12 : Histogramme des forces maximales et des forces de ruptures des différents mortiers selon le taux de fibres courtes et dosages de sable de dune

La figure suivante représente les courbes d'évolution des efforts appliqués par flexion quatre points de l'ensemble des mortiers avec différents taux de fibres courtes et différents pourcentages de sable de dune et sable de rivière

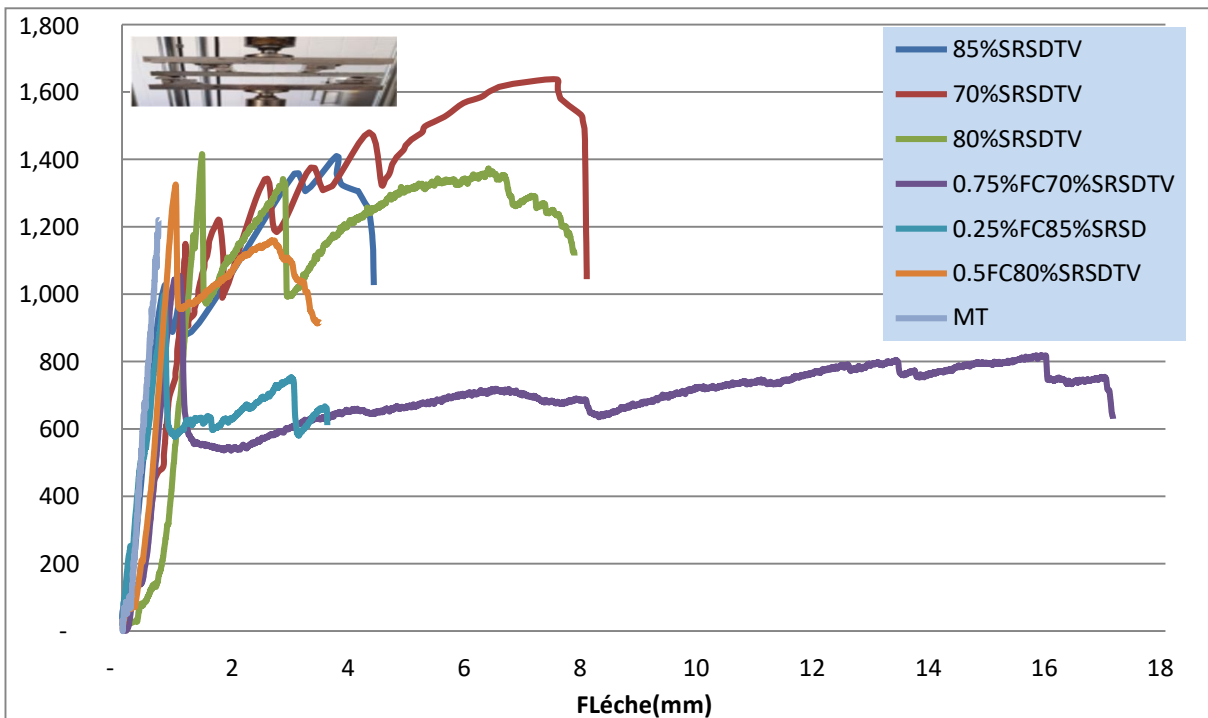


Figure III.13: Confrontation des courbes charges flèches des variantes des différents taux de fibres courtes et des variantes des différents dosages des sables

Pour bien comparer et interpréter les courbes des résultats de l'évolution de la force en fonction de la flèche, on présente 3 confrontations, chacune traite une comparaison entre la courbe de l'éprouvette sans fibres courtes et celle de l'éprouvette avec fibres courtes de la même composition du mortier (voir les figures suivantes),

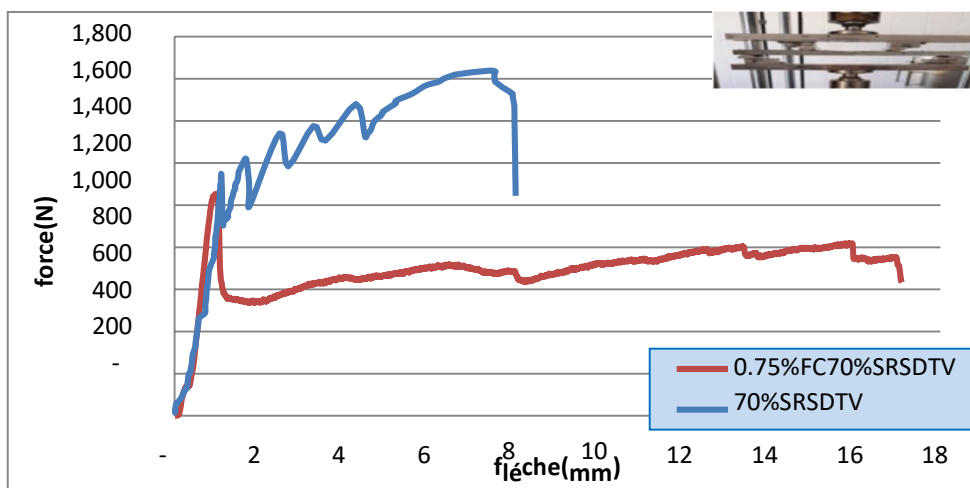


Figure III.14: Evolution de la charge en flexion mortiers avec taux de 0.75 % de fibres courtes.

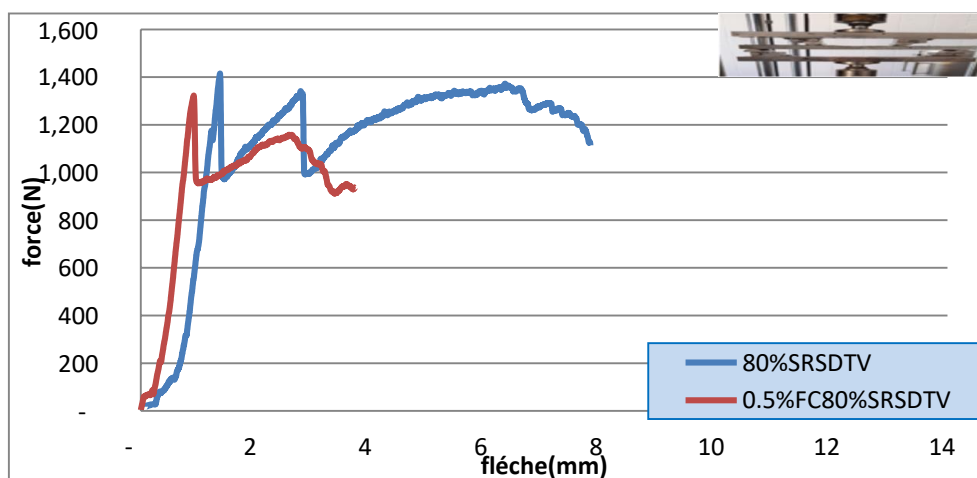


Figure III.15: Evolution de la charge en flexion des mortiers avec taux de 0.5% de fibres courtes.

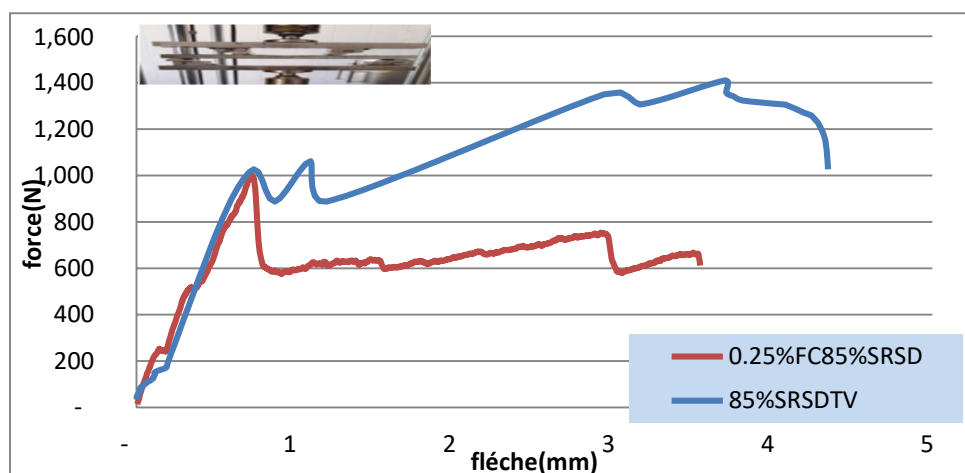


Figure III.16: Evolution de la charge en flexion des mortiers avec taux de 0.25% de fibres courtes

Observations

D'après les figures Figure III.14, III.15 et III.16 on constate que la présence des fibres courtes dans le mortier diminue la capacité portante des éprouvettes d'une part et améliore la déformabilité d'autre part. En effet dans le domaine élastique on observe que les variantes sans fibres courtes présentent un meilleur comportement avec des charges ultimes et déformations à la rupture plus élevées que les éprouvettes avec fibres courtes. Néanmoins en présence de fibres courtes la flèche maximale est nettement améliorée pour les deux premiers cas qui atteignent la valeur de 112,61% pour la variante 0.75%Fc70%SRSDTV.

III.3.4.2. Confrontation entre mortiers avec fibres courtes

Dans la partie précédente on a comparé les mortiers avec les fibres courtes et sans fibres courtes dans cette partie l'objectif est de faire une comparaison seulement entre les mortiers avec fibres courtes dont les résultats sont résumés dans le tableau précédent

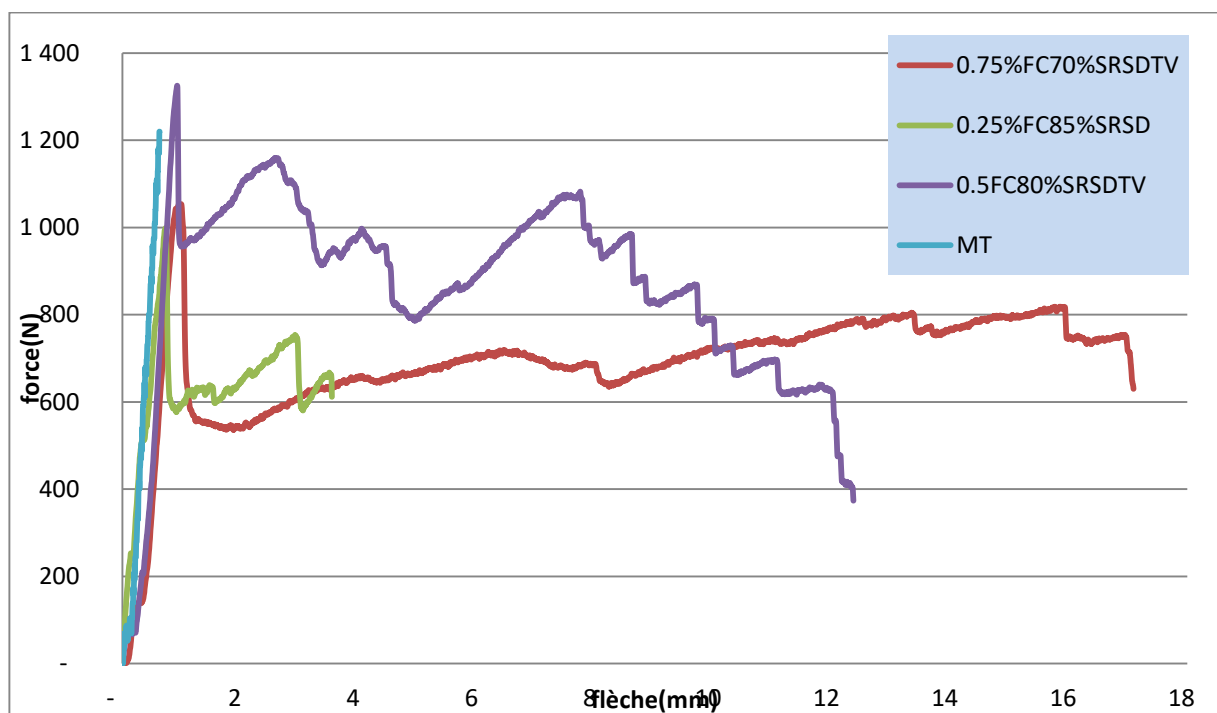


Figure III.17 : Confrontation des courbes charges flèches des variantes des différents taux de fibre courte

Observations

Dans le cas de renforcement par des fibres courtes en verre, on constate que la force de la première rupture est la valeur maximale obtenue pour chaque variante.

Le meilleur comportement est observé pour la variante 0.5%Fc80%SRSDTV, en effet, la phase élastique du comportement est caractérisée par une charge ultime de 1325.41 N et une flèche correspondante de 0.93mm, nettement supérieure à celles des variantes 0.25%Fc85%SRSDTV, 0.75%Fc70%SRSDTV et MT.

En ce qui concerne la déformation, les plaques 0.75Fc70%SRSDTV et 0.5Fc80%SRSDTV présentent le meilleur comportement avec une valeur maximale obtenue de 0.99 mm suivie par la variante 0.5Fc80%SRSDTV avec une valeur 0.93 mm.

III.3.5.Effet de la variation de la dimension des mailles

Dans cet essai on a étudié le comportement de plaques armées d'un tissu de verre normal (dimension des mailles de 0.25 cm) et de dimensions de 0.5 cm ainsi que 1 cm. Le tableau ci-dessous illustre les résultats obtenus

Tableau III.9: les résultats obtenus par l'essai à la flexion des mortiers avec un tissu de fibres de verre avec différentes dimensions des mailles

	$F_{rupt.}(N)$	$\epsilon_{rupt}(mm)$	$F_{max}(N)$	$\epsilon_{fmax}(mm)$	$\epsilon_{ruine}(mm)$
SRTV0.5m	940.48	1.21	1271,39	3,90	4,52
SRTV1m	1010.15	1.12	1166,90	2,60	2,99
SRTV	801,2	1,02	1219,14	2,83	2.89

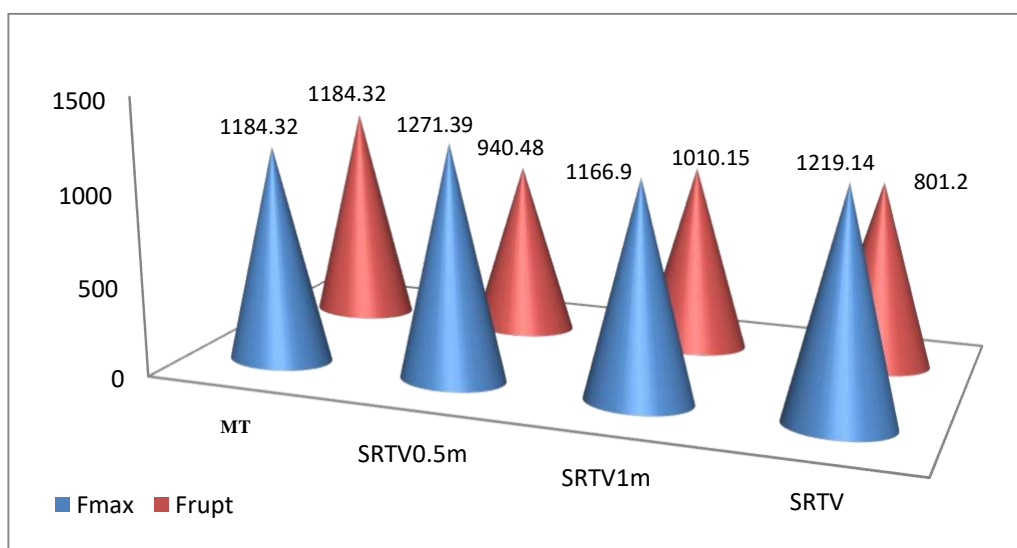
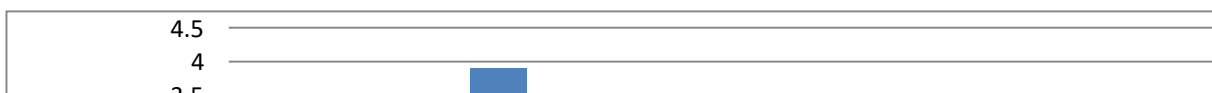


Figure III.18 : histogramme de la force maximale et la force de rupture des mortiers avec un tissu de fibres de verre avec différentes dimensions des mailles



	MT	SRTV0.5m	SRTV1m	SRTV
Def Fmax	0.61	3.9	2.6	2.83
Def Frupt	0.61	1.21	1.12	1.25

Figure III.19: histogramme de La déformation de la force maximale et la déformation de la force de rupture de rupture des mortiers avec un tissu de fibres de verre avec déférentes dimensions des mailles

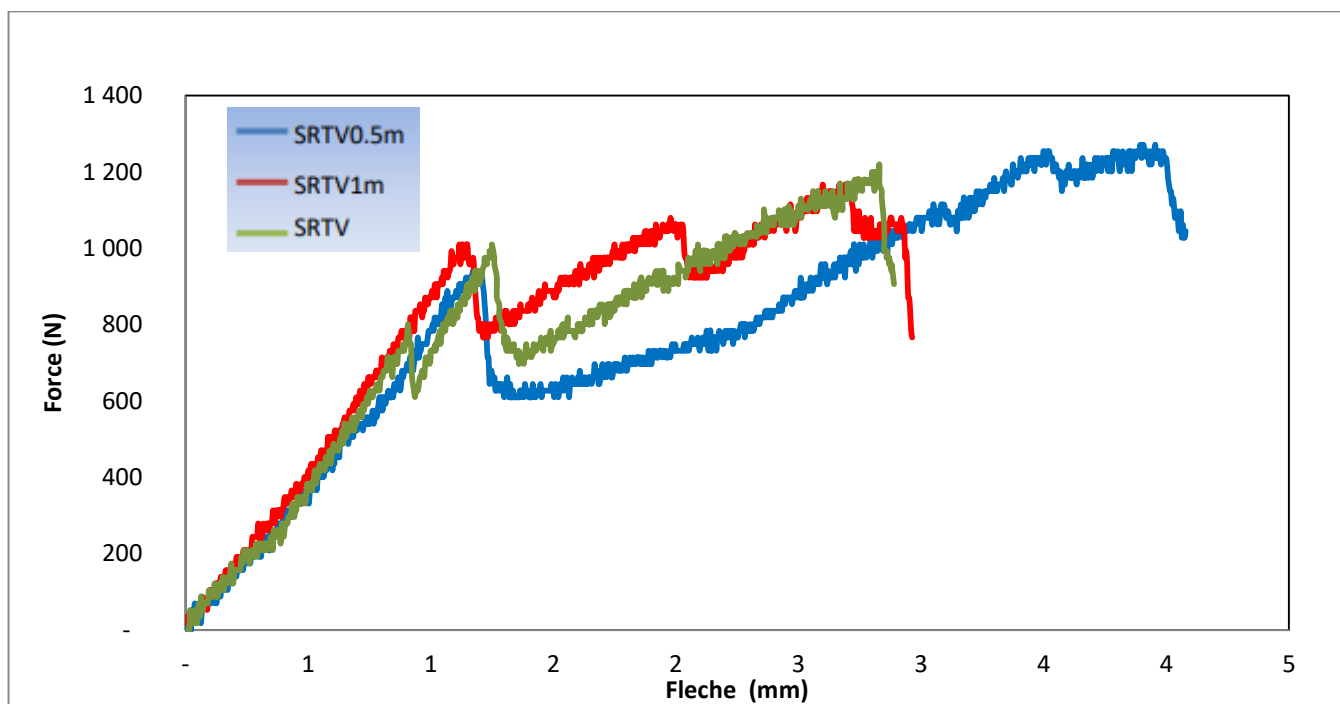


Figure III.20: Confrontation des courbes charges flèches des mortiers armés de tissude fibres de verre avec différents dimensions des mailles

Observations

D’après cette confrontation on constate que la grandeur des mailles améliore la phase élastique des éprouvettes, en effet la meilleure force ultime ou de rupture est obtenue pour la variante SRV1m ayant la plus grande dimensions des mailles de 1cm avec un gain de 26,07 % relativement au textile à petites mailles. Ce qui est expliqué par la meilleure continuité du mortier à travers le renfort, cependant au-delà de cette phase, où intervient le travail du renfort, la force maximale est obtenue pour la dimension de 0,5 cm qui a atteint 1271,39 N avec un gain de 4,28. Et une flèche de ruine de 4,52 mm correspondant à un gain de 56,04%.

III.4. Modes de rupture des éprouvettes

Après présentation des résultats obtenus sous l'essai de flexion pour les différentes variantes, les modes de rupture obtenus pour l'ensemble des spécimens testés sont illustrés par les figures III.21, III.22, III.23 ; III.24 et III.25.

On constate deux principaux modes de rupture à savoir la rupture par flexion et la rupture par cisaillement. La rupture par flexion fragile est caractérisée par une fissure parallèle au sens de la largeur, qui se développe approximativement au milieu de la plaque et se propage jusqu'à ses extrémités. Cependant dans le cas où le renfort présente de bonnes caractéristiques mécaniques, on assiste à une meilleure distribution des sollicitations qui retarde la ruine de l'éprouvette se traduisant par le développement d'un grand nombre de fissures. La rupture par cisaillement se caractérise par des fissures qui se produisent à proximité des points d'application des deux charges



MT

Figure III.21: Mode de rupture de l'éprouvette témoin

SRTC

SRTV



SRTVTC

Figure III.22: Modes de rupture des plaques renforcées avec des tissus de verre et de carbone.

D'après la figure III.22, les éprouvettes armées du textile de fibres de carbone quel que soit la

composition de la matrice on obtient une multitude de fissures, sur toute la face tendue des plaques, ce qui indique que les sollicitations ont été mieux réparties. Les plaques possèdent un caractère plus ductile, contrairement au mode de rupture par flexion fragile, où l'on peut aisément observer la formation d'une fissure importante au milieu de la plaque (voir figure III.21).



Figure III.23: Modes de rupture des plaques renforcées par des tissus de verre avec différentes dimensions des mailles.

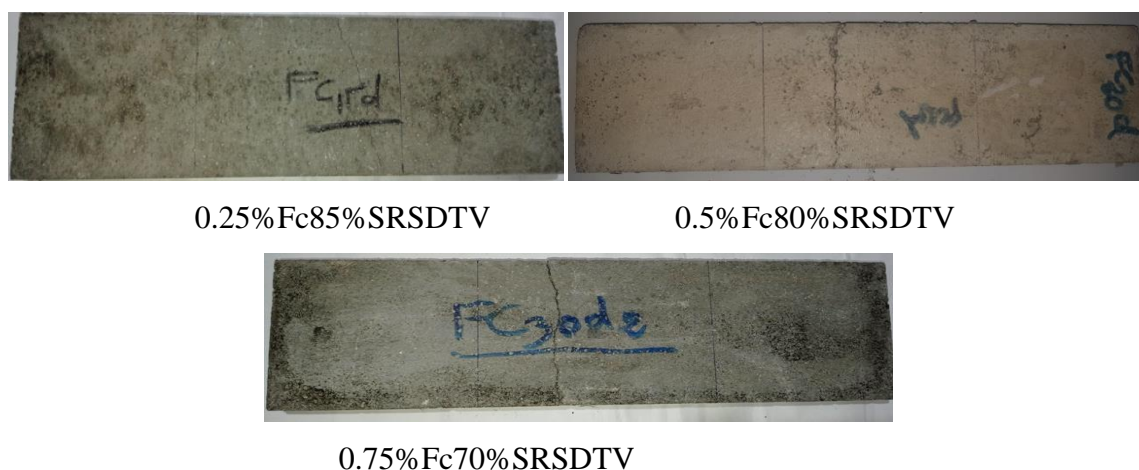


Figure III.24: Modes de rupture des plaques renforcées par des tissus de verre avec différents taux de fibre courtes.

D'après les figures III 23, III.24 Les plaques armées de textile de fibres de verre présentent en général une fissure proche de l'un des points d'application de la charge, c'est un comportement intermédiaire entre la rupture par flexion et la rupture par cisaillement





85%SRSDTV (rupture par flexion)

Figure III.25: Modes de rupture des plaques armées de textile de fibres de verre avec substitution partielle du sable de rivière par le sable de dune

On constate que pour la plupart des éprouvettes la ruine se produit par l'apparition d'une fissure traversant la largeur de du spécimen, cependant les éprouvettes armes de textile de fibres de carbone la ruine se produit après développement d'un nombre important de fissures et ce grâce aux performances mécaniques élevées de ce type de fibres.

- ❖ On conclut que la distribution des fissurations est d'autant meilleure que les caractéristiques mécaniques du renfort, la fragilité de la matrice en flexion a donc été atténuée. les plaques renforcées de textiles présentent un comportement ductile notamment les spécimens armes de textile de carbone .Un tel résultat présente un avantage majeur pour la stabilité des éléments de structures

III.5.Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'étude la variation de différents paramètres sur le comportement de plaques en mortier armée de textiles soumises à la flexion 4 points. D'après les résultats obtenus dans la partie expérimentale montrent que

- toutes les plaques renforcées par les textiles présentent plusieurs pics avant de se rompre. on assiste à une redistribution des efforts entre les fibres. Chaque courbe peut-être divisé en trois zones voir la figure (*Figure III26*).

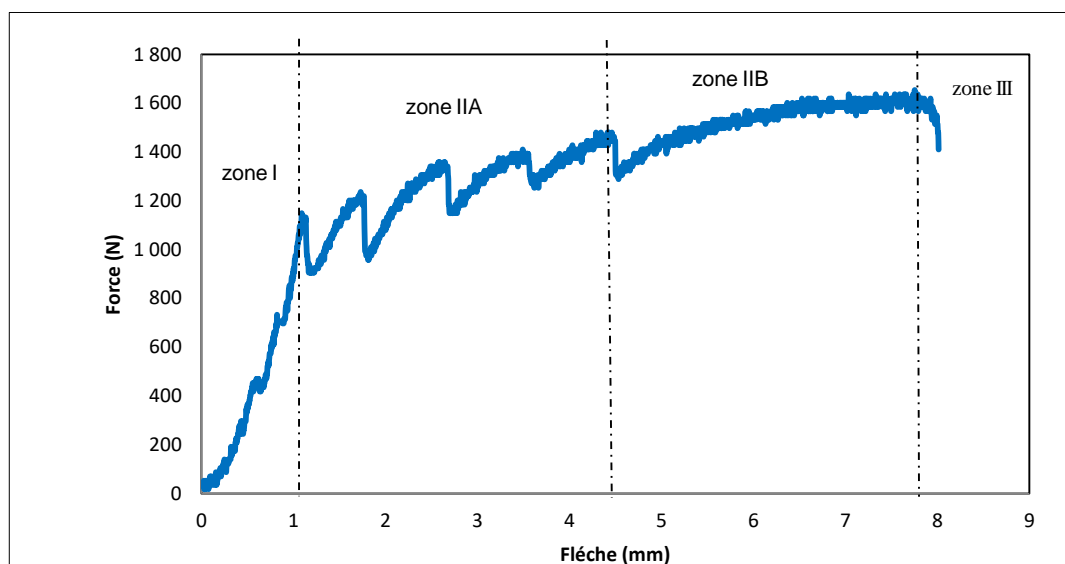


Figure III.27 : Comportement en flexion du TRC étudié

- La première zone traduit le comportement linéaire élastique où aucun des matériaux constitutifs du composite n'est endommagé, la rigidité est totalement fonction de la matrice. Lorsque la résistance en traction de la matrice est atteinte, la première fissure apparaît et crée des discontinuités locales du mortier, une partie de l'effort est alors transférée au renfort textile. La formation de fissure est multipliée avec l'augmentation légère de la charge appliquée, ce comportement définit la zone IIA. Lorsque la formation de fissure est stable, l'effort est transféré totalement au tissu, les fissures se propagent verticalement et s'ouvrent, la rigidité du composite augmente significativement par rapport à la zone IIA, ce comportement définit la zone IIB. La troisième zone correspond à la rupture localisée du composite lorsque le renfort textile atteint la résistance limite, ce comportement définit la zone III
- Le textile de fibres de verre et fibre et notamment de fibres de carbone augmentent la capacité portante et la déformabilité des matériaux TRC, l'augmentation du nombre de couches du textile améliore considérablement le comportement du TRC.
- les mortiers avec sable de dune donnent un meilleur comportement mécanique.
- L'incorporation des fibres de verre courtes dans la formulation du mortier armé de textile de fibres de verre, diminue sa résistance à la flexion et améliore sa déformabilité
- L'augmentation dès la dimension des mailles du textile améliore le comportement des éprouvettes dans la phase élastique grâce à la meilleure continuité du mortier, cependant dans la phase de la transmission des sollicitations au renfort la capacité portante est diminuée.
- Les modes de ruptures de toutes les variantes sont les mêmes avec une fissure de flexion sauf les variantes avec le textile de fibres de carbone où la ruine de l'éprouvette ne se produit qu'après l'apparition d'un nombre important de fissures, grâce aux bonnes performances mécaniques de cette fibre

Conclusion générale

Conclusion générale

Le TRC est un matériau composite constitué de renforts textiles multi ou uni-axiaux couplés avec une matrice cimentaire à granulométrie fine. Le composite TRC est une solution alternative au composite traditionnel FRP (Fiber Reinforced Polymer), au-delà de relativement bonnes performances mécaniques, on compte une meilleure stabilité à la température, mais surtout, ce matériau permet de satisfaire les critères de développement durable.

Le but du présent travail est de contribuer dans l'identification des paramètres influençant le comportement des composites textile-mortier soumis à la flexion 4 points.

En effet le travail expérimental s'articule autour de deux thèmes. Le premier est axé sur les renforts textiles, le second sur la composition de la matrice, ainsi une analyse paramétrique portant sur la nature du renfort, de la configuration des textiles, la composition de la matrice, a été conduite sur 13 structurations d'éprouvettes différentes.

Ce travail est constitué de trois grandes parties :

La première partie à caractère bibliographique, expose les pathologies des ouvrages, les matériaux TRC ainsi que leurs utilisations dans le domaine de la construction.

La deuxième partie traite l'identification et la caractérisation des différents matériaux retenus dans le programme expérimental, ainsi la formulation de chaque mélange et présente la méthodologie des essais et les mesures. Les objectifs des différentes variantes de l'étude sont :

- L'effet du renforcement du mortier par le textile de fibres de verre et de fibres de carbone ainsi que l'association des deux renforts ;
- L'effet de la substitution du sable de rivière par le sable de dune de Touggourt avec des pourcentages de 15%, 20% et 30 % ;
- L'effet de l'augmentation de la dimension des mailles du textile à savoir 5mm et 10mm ;
- L'effet de l'incorporation de fibres courtes dans la matrice avec des pourcentages de 25%, 50% et 75% du volume du mortier.

La troisième partie présente l'ensemble des résultats obtenus pour les différentes variantes testées (essai ultrason, essai de flexion).

Les principales conclusions tirées de notre travail sont :

- Un gain considérable en termes de charge et notamment en termes de déformation maximale du TRC est obtenu avec le renforcement par le textile atteignant 373.77% pour le verre, et 2755.74% pour le carbone ;
- L'incorporation de fibres courtes dans le mortier du TRC, améliore sa déformabilité. Ce pendant, après fissuration il y a une mauvaise transmission des efforts au textile, ce qui provoque une diminution considérable la capacité portante du TRC ;
- L'augmentation de la dimension des mailles améliore le comportement du TRC dans le domaine élastique, cette amélioration est due à la meilleure continuité de la matrice. Cependant, après la première fissure où les sollicitations du mortier sont transmises au renfort, le cas de renfort à petites mailles donne un meilleur comportement, ce qui est expliqué par le taux le plus élevé du renfort dans ce dernier ;
- Les mortiers des sables de dunes permettent d'avoir un bon comportement global et une bonne capacité portante du matériau TRC.

Si ce travail a permis d'apporter quelques éléments de réponse liés à la problématique de la valorisation des composites TRC, des questions restent ouvertes et seraient de nature à constituer une suite logique à ce travail. On citera les points saillants suivants :

- L'extension des procédures expérimentales à la sollicitation de cisaillement permettant ainsi une prise en compte plus fine des mécanismes d'endommagement dans le cadre de la réparation vis-à-vis de l'effort tranchant ;
- L'étude approfondie de la tenue au feu en vue de crédibiliser l'alternative TRC dans le domaine de la réhabilitation des structures en béton arme ;
- L'étude du comportement des TRC constitués de plusieurs couches de textile.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] / Fatma MME BOUZEBODJA; Dr.AIT TAHAR Kamal.-[sc.] : [sn] ,2017.-135f. : Ill.; 30c. bibliogr.127-135. Poinçonnement de dalles armées de tissus composites [ressource textuelle, sauf manuscrits]. Doctorat : Génie Civil : Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Département de Gé : 2017.
- [2] Vorgelegt von Dipl.-Ing. Jens UweHartig Numerical investigations on the uniaxial tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete 2011.
- [3]). Réparations et renforcement des ouvrages en béton armé et précontraint .CCTP Type.. Version V3.2 .(2010).
- [4] Ivanova, Icomportement mécanique de console courte en béton armé renforcée ou réparée par collage des matériaux composites (Doctoral dissertation, Reims). (2013).
- [5] Fiches techniques. Les ouvrages en béton : durabilité, dimensionnement et esthétique, Collection Technique Cim Béton G12.
- [6] Tru Vu, N. Contribution à l'étude de la corrosion par carbonatation du béton armé: approche expérimentale et probabiliste (Doctoral dissertation, Toulouse, INSA). (2011).
- [7] [10] Ginger. La pathologie du beton. Fiches techniques. Corrosion des aciers dans le béton arme. Xand Solutions for Durability. C. Compagnie des experts du bâtiment des travaux publics et de l'industrie CEBTPI. (2016).
- [8] Cefracor, A. F. G. C. Réhabilitation du biton armé dégradé par la corrosion. Centre Français Anti-Corrosion. (2003). 55-59.
- [9] Khelil, N. Traitements électrochimiques des bétons atteints de réaction sulfatique interne (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier). (2014).
- [10] Courard, L., & Bissonnette, B. Réparation des ouvrages en béton armé-Partie 1: Pathologies et diagnostic. Techniques de l'Ingénieur. Analyse Chimique et Caractérisation. (2016).
- [11] Pathologie.Le retrait des bétons. Laboratoire de la matière. Béton n°6. (2006).

- [12] Fukuyama, H., & Sugano, S. Japanese seismic rehabilitation of concrete buildings after the Hyogoken-Nanbu Earthquake. *Cement and Concrete Composites*, 22(1), (2000). 59-79.
- [13] KEDDAM LYDIA " Caractérisation expérimentale des mortiers à base de poudre de marbre" mémoire master, Tizi-Ouzou, université Mouloud Mammeri, 2016/2017.
- [14] GEORGES DREUX, JEAN FESTA « Nouveau guide du béton et de ses constituants» huitième édition ,2002.
- [15] RAMACHANDRAN V.S., MALHOTRA V.M., JOLICOEUR C., SPIRATOS N., Super plasticizers: properties and applications in concrete. CANMET, (1998). 404 pages.
- [16] BIJEN J. Benefits of slag and fly ash. *Construction and Building Materials*, Vol. 10.(1996) .pp. 309-314.
- [17] BRAMESHUBER, W., BROCKMANN, T.; Development and Optimization of Cementitious Matrices for Textile Reinforced Elements; Proceedings of the 12th International Congress of the International Glassfibre Reinforced Concrete Association, Dublin; 2001. pp237-249; May 14-16.
- [18] [WASTIELS_99]: WASTIELS, J.; Sandwich panels in construction with HPFRCC faces : New possibilities and adequate modelling; High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, RILEM Publications; pp143-151; 1999.
- [19] [WASTIELS_08]: WASTIELS, J., REMY, O.; Contribution of VUB to deliverable 2.2: Formulation of combining textile reinforcement and mineral matrix; Textile architecture - Textile structures and buildings of the future, CONTEX-T; 2008.
- [20] AMOURI Chahinez. Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité). Thèse de Doctorat. Université Mentouri Constantine.2009, 158p.
- [21] B. Wulfhorst, O. Maetschke, M. Osterloh, A. Büsgen, and K.-P. Weber, *Textile Technology*. Wiley Online Library, 2006.
- [22] Ould El Hacem Zein El Abidine. Renforcement du béton par les matériaux composites, Université de Tébessa, Mai 2016, 126p.
- [23] Mohcene BOUKHEZAR. Réhabilitation et renforcement des poutres au moyen des matériaux composites, Thèse de Magister : Génie Civil. Université Mentouri, Juillet 2009, 123p.
- [24] C. Scheffler, T. Förster, E. Mäder, G. Heinrich, S. Hempel, and V. Mechtcherine, "Aging of alkali-resistant glass and basalt fibers in alkaline solutions: Evaluation of the

Failure stress by Weibull distribution functions,” J. Non-Cryst. Solids, vol. 355, no. 52, 2009. pp. 2588–2595,

[25] Ould El Hacem Zein El Abidine. Renforcement du béton par les matériaux composites, Université de Tébessa, Mai 2016, 126p.

[26] [EL HAGE_06] : EL HAGE, C.; Modélisation du comportement élastique en dommageable de matériaux composites à renfort tridimensionnel; Philosophie doctoral thesis, Université de technologie de Compiègne, France; Octobre 27, 2006.

[27] [MOBASHER_05] : MOBASHER, B., PELED, A., PAHALIJANI, J.; Distributed cracking and stiffness degradation in fabric-cement composites; Journal of Materials and Structures, volume 39, N° 3, DOI: 10.1007/s11527-005-9005-8; 2005. pp317-331; May 6.

[28] [PROMIS_10] : PROMIS, G.; Composite fibres/matrice minérale : du matériau à la structure; Philisofy doctoral thesis laboratoire de génie civile et l’ingénierie Environnementale, INSA de Lyon et Université Claude Bernard Lyon 1; 5 février 2010.

[29] N. Singla, Experimental and theoretical study of fabric cement composites for Retrofitting masonry structures. 2004.

[30] Ba Tam TRUONG. Formulation, performances mécaniques, et applications, d’un matériau TRC pour le renforcement et la réparation de structures en béton/et béton armé : Approches expérimentale et numérique, Thèse de Doctorat. Université de LYON. Décembre 2016, 206p.

[31] Raphaël CONTAMINE. Contribution à l’étude du comportement mécanique de composites textiles-mortier applications à la réparation et/ou renforcement de poutres en béton arme vis-à-vis de l’effort tranchant, Thèse de Doctorat. Université de LYON. Décembre 2011, 313p.

[32] Norme Française XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: 1997.P 15-540.

[33] BERREDJEM Layachi : « le recyclage des bétons de démolition, solution pour le développement durable. Formulation et comportements physiques et mécaniques des bétons à base de ces recyclé ». Mémoire de magister, Annaba, 2009.p 7.

[34] Rappel sur les granulats : « Cours Géomatériaux », (alonet.yolasite.com).

- [35] MEKHERMECHE. A, « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes » mémoire de magister, université kasdi merbah Ouargla, année 2012.
- [36] Benchaa Benabed¹, Lakhdar Azzouz¹, El-hadj Kadri², Akram Salah Eddine Belaidi¹, Hamza Soualhi² : « Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes », Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie, Chambéry, Savoie, 6 a 8 juin 2012.
- [37] Houssam BELKHIRI & Ahmed DERRAGUI," Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses" Mémoire de Fin d'Etudes, Université Ziane Achour de Djelfa, année 2016
- [38] AZZOUZ. Hocine, « Etude des bétons à base des sables de dune » mémoire de magister, université Mohamed kheider Biskra, année 2009.
- [39] GUERMITI. LAID, « contribution à l'amélioration certaines caractéristiques du béton de structure a base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques » mémoire de magister, université kasdi merbah Ouargla, année 2013.

Annexes

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Description

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de retard de prise.

Domaines D'application

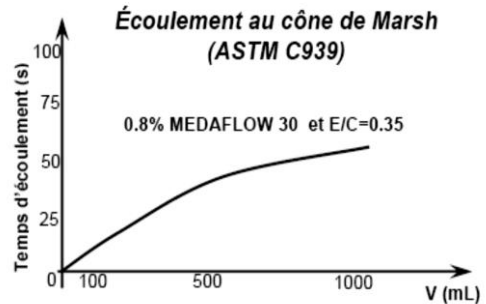
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrailés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

Caractéristique

- AspectLiquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 – 6,5
- Densité 1, 07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granl
جرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



ALGÉRIE



متين Matine

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment pour béton exigeant

CPJ - CEM II/B 42.5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine

CPJ - CEM II/B 42.5 N.

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA 442) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT











- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 		Eau (litres) 
		0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton c25/30	X 1 	+ X7 	+ X5 	+ X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02, Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie

Tél: + 213 (0) 21 98 54 54

Fax: + 213 (0) 23 92 42 94

www.lafargealgerie.com

 **LAFARGE**
لافارج