

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 des mortiers à hautes performances

Destinés au formulation des TRC et TRM

(Textile Reinforced Concret/Mortar)

Réalisé par :

M^{elle} BOUDJEMA Meriem

Dirigé par :

M^{me} BOUZEBOUDJA Fatma

Membres du jury :

M^{me} : ALI AHMED Chafika

M^{me} : AIT TALEB Souad

Année Universitaire :2019/2020

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu, le clément, le tout puissant, qui m'as mis sur le bon chemin et qui m'as donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*Je souhaite avant tout témoigner ma reconnaissance à ma promotrice **M^{me} BOUZEBODJA Fatma** qui m'a offert l'opportunité d'effectuer ce thème et m'a dirigée toute au long de l'année et m'a guidée toujours de façon très positive, je la remercie pour sa disponibilité, sa compétence, son optimisme et ses nombreux encouragements.*

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail et m'ont généreusement fait part de leurs remarques qui serviront à perfectionner ce travail.

Mes plus sincères remerciements vont également aux responsables et personnels du Laboratoire Génie Civil, Université Mouloud MAMMARI de TIZI OUZOU, que j'ai côtoyé quotidiennement.

Mes plus sincères remerciements vont également aux responsables et personnels du Laboratoire Composite et Mécanique des Matériaux-Unité de Recherche : Matériaux, Procédés et Environnement-Faculté : Sciences et Ingénierie-Université M'HAMED BOUGARA-Boumerdes

*Enfin, Je tiens à remercier chaleureusement ma famille et en particulier **mes parents** qui m'ont épaulée tout au long de mes études.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mon très cher **père** que j'aime plus que tout et qui m'a toujours encouragée et
qui croit en moi, merci papa.*

*A ma très chère **mère** qui me soutient dans le bonheur comme dans la douleur,
qui me comprend mieux que quiconque.*

*Tous les deux ont éclairé mon chemin en me tenant la main tout au long de mes
années d'étude « Que Dieu me les garde ».*

*A mes très chères sœurs **Fetta, Karima, Arbiha, Louiza et Nassima** ainsi que
leurs enfants **Samy, Alicia et Danila**.*

*A mes très chères frères **Smail et Habib**.*

*A toute la famille **Boudjema**.*

*A mes amis **Kenza, Merzouk, Yausra**.*

*A toute ma promotion en particulier **Karima, Cilya, kahina Razika, Yacine...***

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail Merci pour
tous.*



MERIEM BOUDJEMA.

Résumé :

Dans notre pays, les ressources du sable alluvionnaire deviennent de plus en plus rares, ce qui rend plus que nécessaires, les recherches valorisant sa substitution par des matériaux locaux et plus disponibles.

Le présent travail, à caractère expérimental, vise à effectuer une étude comparative entre la substitution du sable de rivière par le sable de dunes et par la poudre de marbre à différents pourcentages, dans la composition de mortier à hautes performances. Les paramètres étudiés sont la résistance à la compression, et la résistance à la traction par flexion a l'âge de 7,14,28 ainsi que 56 jours. D'autre part à étudier le comportement de dalles confectionnées des mêmes mortiers étudiés dans la première partie, armées de textile de fibres de verre soumises au poinçonnement centré.

Mots clé : Mortier, sable de dune, poudre de marbre, compression, flexion poinçonnement

Abstract:

In our country, alluvial sand resources are becoming increasingly rare, which makes more than necessary research promoting its substitution by local and more available materials.

The present work, of an experimental nature, aims to carry out a comparative study between the substitution of river sand by dune sand and by marble powder at different percentages, in the composition of high performance mortar. Studied parameters are compressive strength, and flexural tensile strength at age 7, 14, 28 as well as 56 days. On the other hand, to study the behavior of slabs made from the same mortars studied in the first part, reinforced with fiberglass textiles subjected to center punching.

Keywords: Mortar, dune sand, marble powder, compression, punching bending.

Sommaire

Remerciements	I
Dédicace	II
Résumé	III
Abstract	IV
Sommaire.....	V
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XII
Abréviation.....	XV
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités

PARTIE I : Généralités sur le mortier et ces constituants

I-1-Les mortiers.....	3
I-2- Classification des mortiers.....	4
I-3-Composition d'un mortier.....	4
I-3-1-Ciment.....	5
I-3-1-1-La fabrication du ciment.....	5
I-3-1-2-Constituants principaux.....	7
I-3-1-3-Constituants secondaires.....	9
I-3-1-4-Additifs	9
I-3-1-5-Classification des ciments courants	10
I-3-2-Le sable.....	12
I-3-2-1-Le sable de rivière.....	13
I-3-2-2-Le sable de dune.....	13
I-3-2-2-1-Types des dunes.....	13
I-3-2-2-2-Physique des dunes.....	14
I-3-2-2-3-Diverses utilisations	14

I-3-2-2-4- Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction.....	15
I-3-2-2-5-Intérêt de sable de dune.....	15
I-3-2-2-6-Caractéristiques principales des sables.....	16
I-3-2-2-7-Caractéristiques géométriques.....	16
I-3- 3-La poudre du marbre.....	17
I-3-3-1-Définition.....	17
I-3- 4-Fumée de silice.....	17
I-3-5- Eau de gâchage.....	18
I-3-6- Les adjuvants.....	18
I-3-6-1- Définition.....	19
I-3-6-2- Les différents cas d'application possibles.....	19
I-3-6-3- Rôle des adjuvants	20
I-3-6-4- Classification des adjuvants	20

PARTIE II : Matériau composite TRC (Textile Reinforced Concrete)

I-II-1-Introduction.....	25
I-II-2-Matrice cimentaire.....	27
I-II-3- Matrice à base de clinker portland.....	28
I-II-4-Matrice d'aluminate de calcium.....	29
I-II-5-Matrice phosphatique.....	30
I-II-6-Matrice chargée de polymères.....	31
I-II-7-Textiles.....	32
I-II-7-1-Fibres de verre.....	34
I-II-7-2-Fibres de basalte.....	34
I-II-7-3- Fibres de carbone.....	35
I-II-7-4-Fibres d'aramide.....	35
I-II-8-Technologie des textiles.....	37
I-II-8-1-Les nouvelles techniques de fabrication de tissus	37
I-II-8-2-Les textiles techniques.....	38
I-II-9-Textiles et ouvrages d'art.....	39
I-II-10-Les textiles à usage géotechnique.....	40
I-II-11-Les textiles à usage industriel.....	40
I-II-12-Les textiles à usage agricole.....	41

I-II-13-Textiles et second œuvre.....	41
I-II-14-Textiles et transports.....	42

Chapitre II : Essais mécaniques

II- Les essais mécaniques les plus utilisés.....	44
II-1- Essai de résistance à la compression.....	44
II-1-1- Compression uni axiale.....	44
II-2- Résistance à la flexion : Selon la norme (NFP18-407)	46
II-2-1-Dispositif de l'essai de flexion.....	46
II-2-1-1-Flexion trois points.....	46
II-2-1-2-Flexion quatre points.....	47
II-3-Poinçonnement des dalles.....	47
II-3-1-Comportement mécanique des DALLES	47
II-3-2-Rupture par poinçonnement des dalles.....	49
II-3-2-1-Mode de rupture.....	49
II-3-3-Type de poinçonnement	50

Chapitre III : Matériaux et formulations

III-1- Introduction.....	52
III.-2- Normes	52
III-2-1- Préparation des matériaux.....	52
III-2-2 -Normes utilisées à l'état durci	52
III-3 Matériaux utilisés	52
III-3-1-Sable.....	53
III-3-2-Ciment	54
III-3-3-L'eau de gâchage	55
III-3-4- Les additions minérales.....	55
III -3-5- Les adjuvants.....	56
III -3-5-1- Description.....	56
III -3-5-2- Caractéristiques.....	57
III -3-5-3- Dosage	57
III-3-6- Fumée de silice	57

III-4- Caractérisation des mortiers	57
III-4-1-Essais sur le sable	58
III-4-1-1 Echantillonnage et prélèvement (sable).....	58
III-4-1-2-Analyse granulométrique (sables et la poudre du marbre)	58
III-4-1-3 Module de finesse (pour chaque type de sable et la poudre de marbre)	62
III-4-1-4 Equivalent de sable (E.S)	64
III-4-1-5 La masse volumique apparente.....	65
III-4-1-6 Masse volumique absolue	66
 III-5 Formulation des mortiers	 67
III-5-1 Composition d'un mortier témoin	67
III-5-2 Composition des différents types de mortiers	67
 III-6- Essais d'auscultation sonore (ultra-son).....	 70
 III-7- Les propriétés mécaniques	 70
III-7-1-Essai sur les éprouvettes cubiques	70
III.7.2 Essai sur les éprouvettes prismatiques	70
III.7. 3 Essai sur les dalles	70
 III-8-Procédure expérimentale	 70
III.8.1. Préparations des éprouvettes et déroulement des essais	70
III-8-1-a- Les éprouvettes cubiques	70
III-8-1-b- Les éprouvettes prismatiques	71
III-8-1-c. Les dalles	71
III-8-1-d- Le textile de verre	71
 III-8-2.-Confection des éprouvettes	 71
III-8-2-1- Préparation de la gâchée	71
III-8-2-2- La préparation des pesées de matériaux à utiliser (ciment, Fumée de silice, sable, poudre du marbre, eau, adjuvant)	73
III-8-2-3 La vérification de la propreté du malaxeur.....	74
III-8-2-4 Conservation des éprouvettes	75
 III-8-3 Essais non destructifs	 76
III-8-3-1 Contrôle par ultrasons	76
III-8-3-2 Disposition des transducteurs	77
III-9 Conclusion	78

Chapitre IV : Expérimentation et Résultats

IV-1- Introduction	80
IV-2- Contrôle non destructif	81
IV-2-1- Résultats des essais d'auscultation sonore (ultra-son)	81
IV-2-2- Résultats de l'essai ultrason sur les éprouvettes prismatiques.....	82
IV-2-3- Résultats de l'essai ultrason sur les dalles	83
IV-2-4- Discussion et interprétation des résultats	85
IV-3- Essai de compression à différents âges (NF P 18-406)	86
IV-3- 1- Essais de compression a 7 jours	88
IV-3- 2- Essais de compression a 14 jours	89
IV-3- 3- Essais de compression a 28 jours	90
IV-3- 4- Essais de compression a 56 jours	91
IV-4- Flexion quatre points :	94
IV-4-1- Résultats des essais de Flexion 4 points	94
IV-4-2- La résistance à la flexion (4 points) est calculée selon l'équation générale	96
IV-5- Essai de poinçonnement centré	99
IV-5- 1- Résultats d'essai de poinçonnement a 56 jours	99

Listes de figures

Chapitre I : Généralités

Figure I-1 : mortier de ciment	3
Figure I-2 : poudre de ciment courant.....	5
Figure I-3 : Organigramme de la fabrication du ciment.	6
Figure. I.4. Extraction du sable.....	12
Figure I-5 : Poudre de marbre	17
Figure I-6 : Observation macroscopique de béton sans et avec fumée de silice.....	18
Figure I. 7 : Évolution du seuil de cisaillement selon le type d'adjuvant.....	22
Figure I. 8 : La création d'un réseau de microbilles d'air accroît considérablement la résistance au gel du béton.....	23
Figure-I-9 : Rénovation d'un toit en forme de tonneau à Zwickau (Allemagne).....	25

Figure-I-10 : Installation de la passerelle pour piétons en TRC (portée 16 m) à Kempten (Allemagne).....	26
Figure I-11 : Application intérieur d'un TRC.....	26
Figure I-12 : Illustration des différents types de renforts : renforcement par des barres en acier renforcement par des fibres et renforcement avec un textile.....	27
Figure I-13 : Grille à maille 2D et 3D	32
Figure 1-14 : renforts textiles avec maille	34
Figure I-15 : Tressage 3D © Guy Némoz	37
Figure I-16 - Tissus à usage technique en carbone, verre, kevlar, nylon	39
Figure I-17 : Toiture de la tribune du stade de Gerland. Coquard	39
Figure I-18 : Textiles de solarisation de la vigne © MDB Texinov.....	42

Chapitre II : Essais mécaniques

Figure II- 1 : le diagramme σ - ϵ de béton en compression.....	45
Figure II.2 : flexion trois-points.....	46
Figure II.3 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)	47
Figure II.4 : Phases successives du comportement d'une dalle en flexion	48
Figure II.5 . Distribution des efforts de cisaillement près d'une colonne	49
Figure II.6 . Evolution des fissures sur la face tendue d'une dalle pendant la mise en charge.....	50
Figure II.7 . Etat de fissuration et fissures de poinçonnement à la rupture (vue en plan de la dalle).....	51

Chapitre III : Matériaux et formulations

Figure III-1 : Sable de rivière tamisé (0/2) après avoir été lavé et séché à l'étuve.au niveau du laboratoire béton-UMMTO.....	53
Figure III-2 : Sable de dune tamisé (0/2) après avoir été lavé et séché à l'étuve.....	53
Figure III-3 : Ciment (CEM 42.5).....	54
Figure III-4 : Poudre du marbre de classe (0/2).....	56
Figure III-5 la série de tamis utilisé dans l'analyse granulométrique au niveau du laboratoire béton-UMMTO.....	59

Figure III-6 : La courbe de l'analyse granulométrique.....	59
Figure III-7 : Courbes granulaires des différents sables utilisés et de la poudre de marbre de classe (0/2).....	62
Figure III-8 : Equivalent de sable au niveau du laboratoire béton-UMMTO.....	64
Figure III-9 : Masse volumique apparente mesurée au niveau du laboratoire béton-UMMTO.....	65
Figure III.10 : Masse volumique absolue définie au niveau du laboratoire béton-UMMTO.....	66
Figure III- 11 : les moules utilisés.....	72
Figure III- 12 : préparation des pesées.....	73
Figure III- 13 : Préparation de textile de verre avec ouverture des mailles de (3mm) puis l'embrober de résine.....	73
Figure III- 14 : le malaxage des mortiers désignés pour dalles.....	74
Figure III-15 : Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication des mortiers [Labo Béton – UMMTO] pour éprouvettes prismatiques et cubiques.....	75
Figure III-16 : dalles démoulées et émergées dans l'eau	75
Figure III- 17 : Dalles mises à l'air libre 24h avant essais.....	76
Figure III- 18 : Différents types de dispositions des transducteurs	77

Chapitre IV : Expérimentation et Résultats

Figure IV- 1 : Mesures en transparence (directe).....	81
Figure IV- 2 : Essais ultrason sur les éprouvettes au niveau [Laboratoire de Béton-Génie Civil-UMMTO]	81
Figure IV-3 : Evolution de la vitesse des ondes ultrasonores en fonction de l'âge pour les différentes compositions.....	82
Figure IV-4 Evolution des vitesses d'ondes ultrasonores de chaque mortier a 14,28,56 jours.....	83
Figure IV-5 : Vitesses des ondes ultrasonores obtenues pour les différentes dalles à 56j.....	84
Figure IV- 6 : Courbe RILEM	85
Figure IV-7 : Le presse hydraulique Ibertest de l'essai mécanique de Compression au niveau du laboratoire béton-UMMTO.....	86
Figure IV- 8 : Eprouvettes cubiques après essai de compression a l'âge de 28 jour.....	87
Figure IV-9 : Eprouvettes cubiques après essai a l'âge de 28 jours.....	87

Figure IV- 10 : La résistance à la compression des mortiers à 7 jours.....	88
Figure IV- 11 : La résistance en compression des mortiers à 14 jours.	89
Figure IV- 12 : Résistance en compression des mortiers à 28 jours.....	90
Figure IV- 13 : La résistance à la compression des mortiers à 56 jours.....	91
Figure IV- 14 : Courbe de résistance à la compression des mortiers avec substitution de sable en pourcentage obtenue à 7,14,28,56 jours.....	92
Figure IV- 15 : Courbe de résistance à la compression des mortiers avec différents types de sables obtenue à 7,14,28,56 jours.....	92
Figure IV- 16 : Résistance à la compression des différents mortiers à 7, 14, 28 et 56 jours.....	93
Figure IV- 17 Essai de flexion 4points [37].....	94
Figure IV- 18 : Dispositif de l’essai mécanique de rupture par flexion (4 points) [Laboratoire UR-MPE/FSI-Boumerdes].....	94
Figure IV- 19 : Force max en flexion des mortiers a 28j.....	95
Figure IV-20 : Force max en flexion des mortiers a 56j.....	96
Figure IV- 21 : Résistance en flexion des mortiers a différents âges.....	97
FigureIV-22 : Dalle subie un essai de poinçonnement au niveau de Laboratoire [UR-MPE/FSI-Boumerdes].....	99
Figure IV- 23 : Force maximales de l’essai de poinçonnement sur les différents mortiers à 56 jours.....	101
Figure IV- 24 : Modes de rupture des dalles après l’essai poinçonnement à 56 jours.....	102

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités

Tableau I-1 : Les différents types de ciment courants	11
Tableau I-2 : classification des ciments selon la résistance.....	12
Tableau I-3 : Les types d’adjuvant en fonction de sa propriété.	24
Tableau I-4 : Formulation de la matrice à base de Clinker Portland (PZ-0899-01)	29
Tableau I-5 : Formulation de la matrice d’aluminat de calcium (CAC)	29
Tableau I-6 : Composition chemico-physique de la Vubonite	30

Tableau I-7 : Formulation de la matrice chargée de polymère	31
Tableau I-8 : Illustration des fibres disponibles sur le marché.....	33
Tableau I-9 : Propriétés mécaniques et physico-chimique des fibres	36

Chapitre III : Matériaux et formulations

Tableau III-1 : Caractéristiques physiques du ciment CEM 42.5 R.....	54
Tableau III-2 : Résistance à la compression du ciment (NF EN 197-1).....	55
Tableau III-3 : Caractéristiques du MEDAFLOW 30.	57
Tableau III-4 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de rivière(SR)	60
Tableau III-5 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de dune Touggourt (SDT).....	60
Tableau III-6 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de dune Boussaâda (SDB)	61
Tableau III-7 : Analyse granulométrique par tamisage de la poudre du marbre	61
Tableau III-8 : compositions des mortiers dalles.....	63
Tableau III-9 : composition d'un mortier pour 1m ³	67
Tableau III-10 : compositions des mortiers prismatiques avec différents dosages introduit.....	68
Tableau III-11 : compositions des mortiers cubiques.....	69
Tableau III-12 : Module de finesse du sable.....	69

Chapitre IV : Expérimentation et Résultats

Tableau IV- 1 : Nomenclature des éprouvettes testées	80
Tableau IV- 2 : Vitesse longitudinale de propagation des vitesses ultrasonores dans les prismes à différents âges.....	82
Tableau IV- 3 : Vitesse de propagation longitudinale des ondes ultrasonores dans les dalles armées de textile à 56J.....	84
Tableau IV- 4 : Résistances à la compression des mortiers étudiés à 7j	88
Tableau IV- 5 : Résistances à la compression des mortiers étudiés à 14j	89
Tableau IV- 6 : Résistances à la compression des mortiers étudiés à 28j	90
Tableau IV- 7 : Résistances à la compression des mortiers étudiés à 56j	91

Tableau IV- 8 : Dans le tableau suivant, on a résumé les forces maximales de différents mortiers à différents âges à 28 et 56 jours par l'essai de flexion 4 points.....	95
Tableau IV- 9 : Contraintes max dues à la flexion 4Ptsdes différents mortiers étudiés à 28j et 56j.....	97
Tableau IV- 10 : Dans le tableau suivant, on a résumé les forces maximales dues au poinçonnement des différents mortiers à 56 jour.....	100

Abréviations

TRC : Béton renforcé de textile (Textile Reinforced Concret)

Rc : l'activité du ciment en Pa.

C/E : le rapport ciment-eau.

MF : module de finesse

M : Masse (g).

pa: Masse volumique apparente

pabs: Masse volumique absolue

ES : équivalent de sable au piston

H : hauteur (cm)

SR : sable de rivière

SRA : sable de rivière armé de textile

SDT : sable de dune Touggourt

SDB : sable de dune Boussaâda

PM : Poudre de marbre

Introduction générale

Introduction générale

L'évolution de l'humanité dans les différents domaines a engendré des crises économiques et écologiques, pour cela la bonne gestion des ressources et la protection de l'environnement sont devenu des besoins universels. Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir, afin de répondre au déficit entre production et consommation et protéger l'environnement.

En effet dans le domaine du génie civil, face à une demande fort croissante des matériaux de construction, les ressources potentielles en alluvions, bien qu'importantes, sont épuisables et les gisements sont soumis à des contraintes environnementales de plus en plus rigides faisant croître leur coût d'exploitation déjà élevé.

Tous ces facteurs incitent les acteurs du secteur du génie civil à rechercher la valorisation d'autres matériaux locaux de substitution qui soient aptes de fournir, des bétons de qualité équivalente aux bétons ordinaires

Des recherches sur la substitution des constituants des mortiers ou des bétons, par des déchets sont effectuées à travers le monde, soit comme ajouts minéraux (par substitution partielle du ciment), soit comme granulats fins ou granulats grossiers (par substitution des granulats traditionnels) afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais (telles que la fluidité) ou à l'état durci (telle que la durabilité des bétons). D'autre part la recherche des hautes performances passe par la réduction de la porosité du béton durci, c'est-à-dire de son pourcentage de vides. En effet, les dimensions et les volumes des pores capillaires sont les principaux paramètres qui régissent les résistances mécaniques du béton et les propriétés de transfert déterminantes pour la durabilité. L'optimisation de la formulation d'un mortier à hautes performances consiste à diminuer la porosité de la matrice cimentaire et à optimiser le squelette granulaire.

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif de ce travail qui consiste à la substitution partielle et totale du sable de rivière par la poudre de marbre d'un côté, et par le sable de dune d'un autre côté, dans la composition d'un mortier à hautes performances

Objectifs de l'étude :

Le but de ce travail est d'évaluer expérimentalement l'influence de la substitution parallèle des granulats fins par les sables de dune de Touggourt et de Boussaâda, ainsi que la poudre de marbre issue des déchets de marbreries sur la résistance à la compression, la traction par flexion ainsi que le poinçonnement de mortier à hautes performances.

Introduction générale

Méthodologie de travail :

Ce travail se divise en deux parties principales, la première partie répartie sur deux chapitres représente la synthèse bibliographique menée en amont du travail en laboratoire. La seconde partie est une présentation du travail expérimental effectuée ainsi que leurs interprétations (deux derniers chapitres) structurés comme suit

Premier chapitre : traite une synthèse bibliographique divisée en deux parties, Une première partie traitant les mortiers, leurs constituants, leurs formulations, propriétés, avantages et domaines d'application.

Une deuxième partie traitant les **mortiers** armés de textiles, leurs utilisations dans la construction ainsi que les types de textiles utilisés dans la construction.

Deuxième chapitre : il concerne les essais mécaniques de caractérisations des mortiers.

Troisième chapitre : ce chapitre aborde les techniques expérimentales utilisées : la caractérisation des matériaux utilisés, la formulation des mortiers et la présentation des essais réalisés.

Quatrième chapitre : ce dernier est consacré aux présentations et discussions des résultats expérimentaux.

- En fin, une conclusion générale reprend les principaux résultats obtenus lors de cette étude et rapporte les intérêts pratiques qui en découlent .

Chapitre I
Généralités

PARTIE I : Généralités sur le mortier et ces constituants**I-1-Les mortiers :**

Les mortiers sont des mélanges à l'état durci ou frais constitués de sable, de liant et d'eau, avec ou sans adjuvant et additifs. On trouve différents types de mortiers selon leurs nature et pourcentage de constituants, malaxage, mise en œuvre et cure. [3]

En général, on distingue trois types de mortiers :

- Les mortiers pour utilisation générale.
- Les mortiers pour fines couches.
- Les mortiers allégés.

Les mortiers sont utilisés par les professionnels du bâtiment qui sont le maçon, le couvreur, le carreleur ... Dans la plupart des travaux de scellement ou de coffrage, leur but est de lier les briques les unes aux autres et de répartir les charges. La fabrication des mortiers est facile sauf qu'il faut un certain savoir-faire et demande le bon dosage qui peut varier en fonction des besoins.

Un mortier n'est autre chose qu'un béton à grain fin, il est donc soumis aux mêmes lois que les bétons. [3]



Figure I-1 : mortier de ciment [4]

I-2- Classification des mortiers :

➤ En fonction de leur masse volumique, À l'état sec les mortiers sont divisés en : [4]

▪ Mortiers lourds :

À masse volumique de 1500 Kg/m³ et plus ; pour la préparation de ces mortiers on utilise des sables lourds quartzeux et autres ;

▪ Mortiers légers :

À masse volumique inférieure à 1500 Kg/m³ dont les agrégats sont des sables poreux et légers de pierre ponce, de tuf, laitiers, céramistes et autres fins agrégats légers.

➤ D'après la nature du liant, on distingue :

▪ Mortiers de ciments :

Préparés au portland ou ses variétés.

▪ Mortiers de chaux :

Où une chaux aérienne ou hydraulique est employée en qualité de liant

▪ Mortiers de plâtre :

Préparé à base de liants gypseux, à savoir les plâtres et les liants d'anhydrite

▪ Mortiers mixtes :

Obtenus en utilisant les liants de ciment à la chaux et ciment à l'argile

Le choix du type de liant est fait suivant la destination du mortier, les exigences requises, les conditions de températures et d'humidité pendant le durcissement et les conditions d'exploitation du bâtiment.

➤ Suivant leur emploi, les mortiers se subdivisent en :

▪ **Mortiers de maçonnerie**, pour la pose des murs en pierres ou en gros éléments.

▪ **Mortiers de finissage**, pour les enduits, pour la confection des éléments d'architecture, pour porter les couches décoratives sur les blocs et panneaux de murs.

▪ **Mortiers spéciaux** possédant quelques propriétés très accusées ou propriétés particulières (acoustique, de tamponnage, de protection contre les rayons X, etc.) ; ils ne sont que rarement employés.

I-3-Composition d'un mortier :

Les mortiers sont en fait des micro- bétons et leurs principes de compositions sont les mêmes.

Ils sont composés de ciment, de sable, d'eau et d'adjuvants. [5]

I-3-1-Ciment :

Le ciment est une poudre minérale fine, principal composant de bétons et de mortiers, auxquels il confère un certain nombre de propriétés, et notamment leurs résistances. Il s'agit d'un matériau de construction de haute qualité, économique, utilisé dans les projets de construction du monde entier.



Figure I-2 : poudre de ciment courant

C'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 qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps [6].

Cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. Il est obtenu par broyage et cuisson à 1 450°C, d'un mélange de calcaire et d'argile.

I-3-1-1-La fabrication du ciment :

La fabrication de ciment s'effectue en différentes étapes, à savoir :

- L'extraction : l'argile et le calcaire sont extraits de carrières rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. Puis il est interposé après échantillonnage.
- L'homogénéisation : procédé consistant à créer un mélange homogène des composants.
- Le séchage : méthode préconisée pour favoriser la réaction chimique lors de la cuisson.
- La cuisson : les composants sont chauffés à 1400° C afin d'obtenir un produit présenté sous forme de granules grises.

- Le refroidissement : opération qui consiste à refroidir les particules au travers de grilles à l'aide d'un puissant ventilateur.
- Le broyage : étape indispensable destinée à faciliter le mélange avec l'eau (des ajouts d'éléments minéraux sont dissous afin de faciliter la prise du ciment).

Pour résumer le ciment se fabrique selon ses grandes étapes :

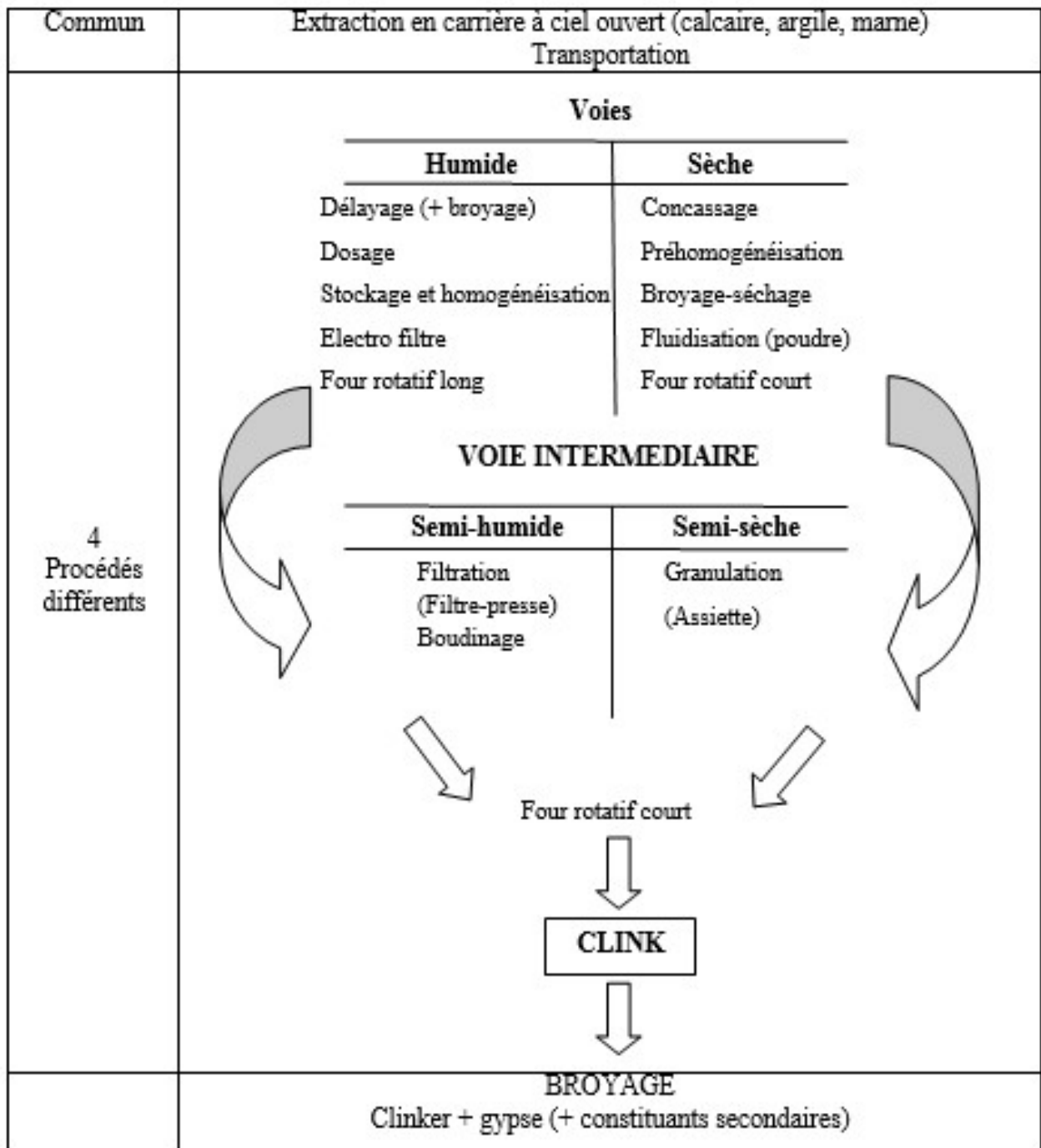


Figure I-3 : Organigramme de la fabrication du ciment. [8]

Il existe différentes catégories de ciments, selon la composition chimique des matières premières, les ajouts éventuels de constituants complémentaires au moment du broyage et la finesse du produit. Chaque catégorie de ciment correspond à des applications spécifiques telle que la construction résidentielle, la construction d'ouvrage d'art, les travaux souterrains ou encore la réalisation de bétons soumis à des milieux agressifs.

Les ciments courants ont pour constituants principaux : le clinker (auquel il peut être ajouté suivant leur type): du laitier du haut fourneau, des cendres volantes, de la pouzzolane naturelle... encore des constituants secondaire qui sont réellement l'un des constituants cités précédemment s'ils sont en proportion $\leq 5\%$ exception faite du clinker, aussi soit des fillers (F) leur nature exacte et leur proportion devant d'ailleurs être précisées par le fabricant dès que cette proportion dépasse 3% ; dans le but de modifier certains de leur propriétés et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certains ouvrages, soit en raison des conditions d'environnement, soit pour des raisons de performances mécaniques [6].

I-3-1-2-Constituants principaux :

Le ciment courant a pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type : du calcaire, du laitier de haut fourneau, des cendres volantes, des fines calcaires, de la pouzzolane naturelle, des schistes calcinés, des fumés de silice, dans le but de modifier de leur certaines propriété et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certain ouvrages, soit en raison des conditions environnementales soit pour des raison de performances mécaniques.

▪ Clinker portland :

Obtenu par la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire, d'argile et autres de correction, est un matériau hydraulique se présentant sous forme de petits nodules très dures composés essentiellement des quatre phases cristallines suivantes :

-silicate tricalcique : $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$ (C3S) qui libère une quantité de chaleur donnant au ciment une résistance rapide et élevée (résistance aux premiers âges).

-silicate bi calcique : $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$ (C2S) permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et à long terme.

-aluminat tricalcique : $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A) est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistance initiale élevée (contribue essentiellement à la prise de la pâte de ciment).

-alumino-ferrite tétra calcique : $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF), qui forme une solution solide de C2A et C2F. En dehors de ces quatre principales phases, le clinker comporte également : - la chaux libre dont le pourcentage $\leq 2\%$ pour ne pas risquer de provoquer une expansion en présence d'eau.

-de l'oxyde de magnésium MgO qui peut être à l'origine d'une réaction avec l'eau.

▪ **Laitier de haut fourneau :**

Sous-produit de fabrication de fonte brusquement refroidi avec aspiration d'eau, est un matériau hydraulique dont la composition chimique est : l'oxyde de calcium (40 à 50%), la silice (25 à 35%), l'alumine (12 à 30%) et la magnésie et d'autres oxydes en très faible quantité. Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le Portland et craint donc davantage la dessiccation.

▪ **Cendres volantes :**

Sont des produits pulvérulents de grande finesse qui proviennent de dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques. Elles peuvent être :

-siliceuses, constituées de silice réactive (40 à 55%) et d'aluminium (20 à 30%).

-calciques avec une proportion de chaux réactive supérieure à 5%.

▪ **Pouzzolanes naturelles :**

Sont des produits d'origine des roches volcaniques ou sédimentaires. Elles sont composées de silice réactive (dans des proportions $> 25\%$), d'alumine et d'oxyde de fer.

▪ **Schistes calcinés :**

Ces produits, obtenus à des températures de l'ordre de 800°C , présente, outre leurs propriétés pouzzolaniques, des propriétés hydrauliques lorsque qu'ils sont finement broyés.

▪ **Fumée 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 du ciment. 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.

I-3-1-3-Constituants

secondaires [7] Ils peuvent être :

Soit des constituants définis précédemment s'ils sont en proportion $\leq 5\%$ (exception faite du clinker).

- Soit des fillers, leur nature exacte et leur proportion devant d'ailleurs être précisées par le fabricant dès que cette proportion dépasse 3%.

Lorsque le constituant secondaire est un filler, il s'agit de poudres minérales très fines, généralement inertes mais pouvant parfois présenter des propriétés légèrement hydrauliques ou pouzzolaniques. Ces poudres peuvent améliorer la maniabilité du ciment, ce qui conduit à une augmentation de la maniabilité du béton.

- **Sulfate de calcium :**

Peut-être de gypse, de l'anhydrite ou l'hémidydrate, doit être ajouté en faible quantité 3 à 5% maximum. Son rôle est de réguler la prise du ciment.

I-3-1-4-Additifs :

Ne doivent pas présenter aucune action nocive sur les propriétés des ciments mais ils peuvent, suivant les cas, modifier certaines de leurs caractéristiques.

- Agent de mouture, fréquemment employés, ce sont des sels organiques solubles à des doses extrêmement faibles. Ils agissent comme déflaquants empêchant le réagglomération des grains en cours de broyage.
- De sels solubles, tels certains adjuvants pour mortiers, béton ou coulis qui, agissent sur une caractéristique bien précise mais dont la présence dans le ciment doit être obligatoirement indiquée pour éviter d'éventuelle incompatibilité avec d'autres produits.

I-3-1-5 Classification des ciments courants :

On distingue 4 principales catégories de ciments qui sont :

- Le ciment portland artificiel (C.P.A) qui contient au moins 97% de clinker, le reste est du filler.
- Le ciment portland composé (C.P.J) qui contient au moins 65% de clinker, le reste est l'un ou plusieurs des constituants définis précédemment.
- Le ciment de haut fourneau (C.H.F) qui contient entre 60 et 75% de laitier le reste de constituants est du clinker ou du filler dans la limite de 3% de l'ensemble des constituants.
- Le ciment de laitier au clinker (C.L.K) qui contient au moins 80% de laitier, le reste est du clinker ou du filler dans la limite de 3% également.

Le tableau (I.2) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent. [6]

Tableau I-1 : Les différents types de ciment courants [6]

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l'un de constituants suivant : laitier-pouzzolanes-cendres-calcaires-schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
C P A- CEM I	Ciment portland	95à100%		0 à 5%
C PJ-CEM II/A	Ciment portland Composé	80à 94%	-de 6à20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas ou les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21à35%avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0à5%
CPJ-CEMII/B		65 à79%		0à5%
CHF-CEM III/A	Ciment de haut-fourneau	35à64%	-35à65% de laitier de haute-fourneau	0à5%
CHF-CEM III/B		20à34%	-66à80% de laitier de haut-fourneau	0 à5%
CLK-CEMIII/C		5à19%	-81 à95% de laitier de haut-fourneau	0à5%
CPZ-CEMIV/A	ciment pouzzolanique	65 à90%	-10à35%de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36à55%comme ci-dessus	0à5%
CPZ-CEMIV/B		45à64%		0à5%
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40à64%	-18à30% de laitier de haut-fourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50%de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0à5%
CLC-CEM V/B		20à39%		0à5%

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression ; exprimées en MPA à 28 jours ($1 \text{ MPa} = 1\text{N/mm}^2 = 10\text{Bars}$). Spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes (tableau I-2) : [6]

Tableau I-2 : classification des ciments selon la résistance

Classe des ciments	Résistance à 2 jours	Résistance minimale à 28 jours	Résistance maximale à 28 jours
32.5	/	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5R	≥ 13.5	≥ 32.5	≤ 52.5
42.5	≥ 12.5	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5R	≥ 20	≥ 42.5	≤ 62.5
52.5	≥ 20	≥ 52.5	/
52.5R	≥ 30	≥ 52.5	/

Les classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et trouvent leurs intérêts particulièrement dans certaines circonstances telles que le bétonnage par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication...

I-3-2-Le sable :



Figure. I.4. Extraction du sable

I-3-2-1-Le sable de rivière :

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons et des mortiers.

Généralement on utilise du sable de rivière ou de carrière débarrassé des impuretés, jamais de sable marin (qui contient toujours un peu de sel qui attaque les aciers et dans certains cas, il contient des résidus de coquillage qui sont de moindre résistance) ou de sable de remblai ; car ils contiennent des éléments néfastes pour la qualité du béton et du mortier.

I-3-2-2-Le sable de dune :

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 [9].

I-3-2-2-1-Types des dunes :

a) - Les avant-dunes (fore dune en Anglais), qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemple), 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 [9].

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 [9].

Clés 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 [9].

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) [9].

I-3-2-2-2-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 [9]

I-3-2-2-3-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. [9]

I-3-2-2-4- 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 [11].

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 [11].

I-3-2-2-5-Intérêt de sable de dune

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

a) - 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 [11].

b) - 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 [11].

I-3-2-2-6-Caractéristiques principales des sables :

Les granulats utilisés dans la construction doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Les propriétés des granulats sont liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originales et aux caractéristiques de fabrication. Le prélèvement d'un échantillon pour les caractérisations des granulats doit se faire conformément aux normes [12] et [13] relatives au prélèvement par "échantillonneur" ou par "quartage".

I-3-2-2-7-Caractéristiques géométriques :**a) Classe granulaire**

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur les tamis à mailles dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres (mm) [14]. Le terme granulat d/D est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de d pour les petits éléments à D pour les gros éléments. La norme expérimentale [10] précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles.

La norme [10] distingue quatre familles de granulats : les fillers, les sablons, les sables et les gravillons, et également quatre catégories pour les granulats naturels A, B, C et D [14].

- ✓ Filler 0/D pour $D < 2$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm ;
- ✓ Sablon 0/D pour $D < 1$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm ;
- ✓ Sable 0/D lorsque D est tel que : $1 \text{ mm} < D \leq 6,33 \text{ mm}$;
- ✓ Graves 0/D lorsque $D > 6,3$ mm ;
- ✓ Gravillons d/D lorsque $d \geq 1$ mm et $D \leq 125$ mm ;
- ✓ Ballast d/D lorsque $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

La classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis dont les mailles ont les dimensions suivantes en (mm) : [14]

0.063 ; 0.08 ; 0.100 ; 0.125 ; 0.160 ; 0.200 ; 0.250 ; 0.315 ; 0.40 ; 0.50 ; 0.63 ; 0.80 ; 1.00 ; 1.25 ; 1.60 ; 2.00 ; 2.50 ; 3.15 ; 4.00 ; 5.00 ; 6.30 ; 8.00 ; 10.00 ; 12.50 ; 16.00 ; 20.00 ; 25.00 ; 31.50 ; 40.00 ; 50.00 ; 63.00 ; 80.00 ; 100.00 ; 125.00.

I-3- 3-La poudre de marbre :



Figure I-5 : Poudre de marbre

I-3-3-1-Définition :

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

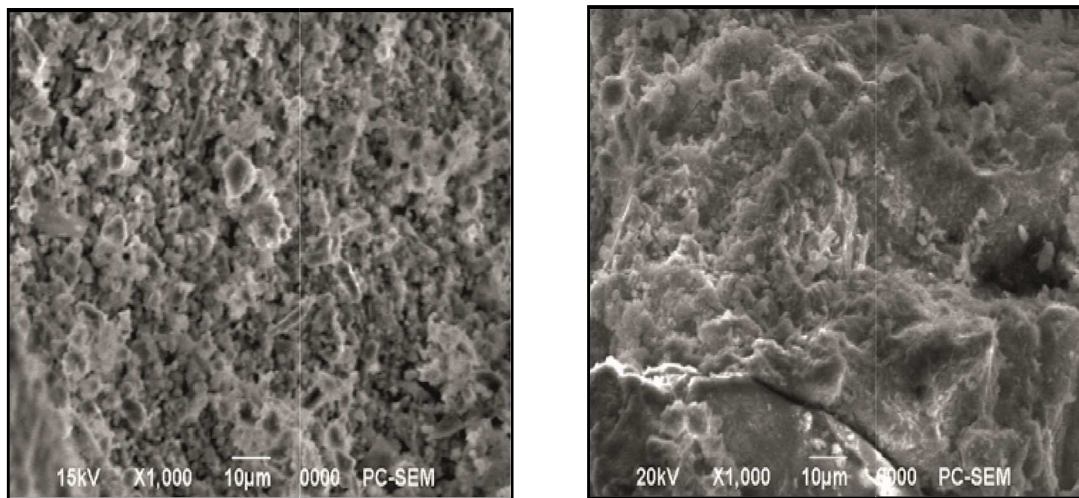
Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte. Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,7. La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc ils existent des variétés, beiges, bleues, roses, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires. [15]

Le degré de pureté du marbre est responsable de sa couleur et de son aspect : il est blanc si la roche dont il provient était uniquement composée de calcite (100 % CaCO_3). Mis en œuvre

dans la construction et la décoration, le marbre se révèle être une matière noble et durable très recherchée.

I-3- 4-Fumée de silice :

Par sa surface spécifique et sa grande finesse, la fumée de silice permet d'obtenir des bétons ou mortier plus denses avec une porosité très fine, plus imperméables et donc plus durables. A cet effet, et afin d'améliorer les performances de notre béton de sable (*BS-SPE2*), on a pensé à introduire de la fumée de silice comme ajout, ou elle joue le rôle de filler. On substitue donc une quantité de filler calcaire par un pourcentage de fumée de silice.



BS sans fumée de silice

BS avec fumée de silice (5%)

Figure I-6 : Observation macroscopique de béton sans et avec fumée de silice [18]

A l'échelle microscopique, on constate que les BS avec FS ont une structure plus fermée et donc ils sont très résistants à la pénétration d'agents agressifs.

I-3-5- Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité d'eau ajoutée au mélange sec de béton ou mortier, elle remplit deux fonctions : d'une part elle sert à l'hydratation du liant et d'autre part, elle permet la fluidification du mélange ayant pour but de faciliter la mise en place du béton. **a.**

L'eau doit être propre.

I-3-6- Les adjuvants :

Ce sont des substances ajoutées au béton ou mortier pour améliorer certaines de ses propriétés à de faibles doses. Les adjuvants peuvent changer considérablement les caractéristiques à l'état frais et à l'état durci. [16]

I-3-6-1- Définition :

Un adjuvant peut-être défini comme un produit chimique qui est ajouté au béton selon un dosage n'excédant pas 5% de la masse totale du ciment. Soit au cours d'un malaxage complémentaire avant la mise en œuvre du béton dans le but de le modifier ou d'améliorer certaines de ces propriétés...

Pour des raisons de commodité d'utilisation, la plupart des adjuvants existent en poudre afin de réduire leur coût de transport.

I-3-6-2- Les différents cas d'application possibles :

- Accroissements de la compacité du béton pour un dosage en ciment fixé ; et pour une granulométrie déjà déterminée.
- Accroissements des résistances mécaniques, sans la modification de la teneur imposée en ciment.
- Augmentation de la maniabilité, sans accroissement de la quantité d'eau de gâchage.
- Amélioration de l'imperméabilité d'un béton. Diminution du retrait.
- Accroissement de la résistance à la flexion.
- Résistance au gel du béton déjà durci.
- Durcissement par piéride de gel intense.
- Durcissement par temps froid ou petites gelées.
- Résistance au Blessing (ségrégation de l'eau).
- Résistance aux eaux agressives.
- Aptitude d'un mortier à être injecté (mortier thixotropique).
- Aptitude du béton à être coulé sous l'eau.
- Résistance à la dessiccation du béton durci.
- Confection du béton léger.
- Possibilités de démoulage rapide.
- Confection du béton clou balès, non fissura blés.

I-3-6-3- Rôle des adjuvants :

Ainsi que le définit la norme **NF EN 934-2**, un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à **5 %** de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou durci. Sont donc exclus du domaine des adjuvants au sens de la norme, les produits ajoutés au moment du broyage du clinker ou les produits dont le dosage dépasserait 5 % du ciment. [16]

L'emploi d'un adjuvant ne peut entraîner une diminution de certaines caractéristiques du béton que dans les limites précisées par la norme. Il ne doit pas non plus altérer les caractéristiques des armatures du béton ou des aciers de précontrainte.

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci. L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du béton. Un adjuvant présente généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale. L'emploi d'un adjuvant peut aussi entraîner des effets secondaires non directement recherchés. Ainsi, un adjuvant réducteur d'eau peut avoir une fonction secondaire de retardateur de prise.

L'utilisation des adjuvants pour la production de béton de structures doit respecter les exigences de la norme **NF EN 206-1**. [16]

I-3-6-4- Classification des adjuvants :

La norme NF EN 934-2 classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur

Fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants réducteurs d'eau, super-plastifiante (anciennement fluidifiants) ;
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise ;
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières : entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse.

➤ Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la Viscosité. La frontière entre les différents types d'adjuvants de cette famille n'est pas toujours très nette, les effets recherchés sont très proches et les différences obtenues sont souvent une question de nuances liées aux dosages préconisés.

- **Les plastifiants réducteurs d'eau (NF EN 934-2)**

Ces adjuvants ont pour fonction principale de conduire, à même ouvrabilité, à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'un béton, d'un mortier ou d'un coulis. Ils sont à base de lignosulfonates, de sels d'acides organiques, de mélamine sulfonât, de naphthalène sulfonât et dérivés de mélamine ou naphthalène.

- **Les super-plastifiants (NF EN 934-2)**

Introduits dans un béton, un mortier ou un coulis, en général peu avant sa mise en œuvre, ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange.

Sur le béton frais, on constate une augmentation considérable de l'ouvrabilité pour une même teneur en eau. Ces effets ont une durée fonction de la température, de la teneur en eau et du dosage en ciment. Il n'y a ni ségrégation, ni ressuage si des précautions sont prises à la mise en œuvre ; cohésion du béton reste très bonne.

Les super-plastifiants sont particulièrement utiles pour la réalisation des fondations, dallages, radiers, sols industriels, etc., et pratiquement indispensables pour la confection des bétons de hautes performances. Ils sont couramment utilisés dans béton prêt à l'emploi, surtout lorsqu'il est pompé. [16]

➤ **Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement :**

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé (Le graphique suivant illustre ce phénomène).

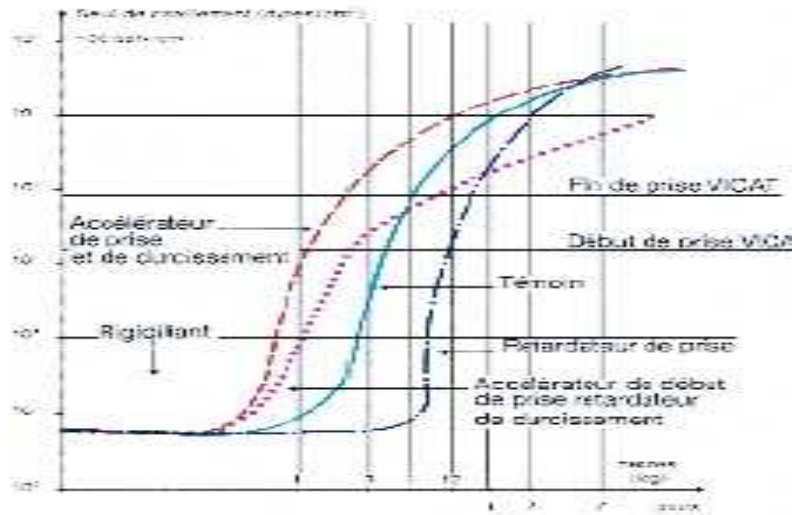


Figure I. 7 : Évolution du seuil de cisaillement selon le type d'adjuvant. [17]

- **Les accélérateurs de prise et les accélérateurs de durcissement (NF EN 934-2)**

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de prise du ciment dans les bétons, les mortiers ou les coulis. L'accélérateur du durcissement a pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, des mortiers ou des coulis. Bien souvent ces deux fonctions sont liées et l'on retrouve l'une d'elles comme effet secondaire de l'autre.

- **Les retardateurs de prise (NF EN 934-2)**

Introduits dans l'eau de gâchage, ils ont pour fonction principale d'augmenter le temps de début de prise et le temps de fin de prise du ciment dans le béton, le mortier ou le coulis. Ils sont à base de lignosulfonates, d'hydrates de carbone ou d'oxydes de zinc ou de plomb. [17]

- **Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :**

- **Les entraîneurs d'air (NF EN 934-2)**

Ils ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, le mortier ou le coulis, de microbilles d'air uniformément réparties dans la masse. Les entraîneurs d'air sont des corps tensio-actifs : lignosulfonates, abiétates de résines, sels d'éthanol-amine, que l'on mélange en fonction des propriétés à obtenir. L'utilisation des entraîneurs d'air pour les bétons routiers est

obligatoire. La valeur de l'air occlus doit être comprise entre 4 et 6 %. Il est recommandé de coupler l'utilisation d'un plastifiant à tout emploi d'entraîneur d'air.

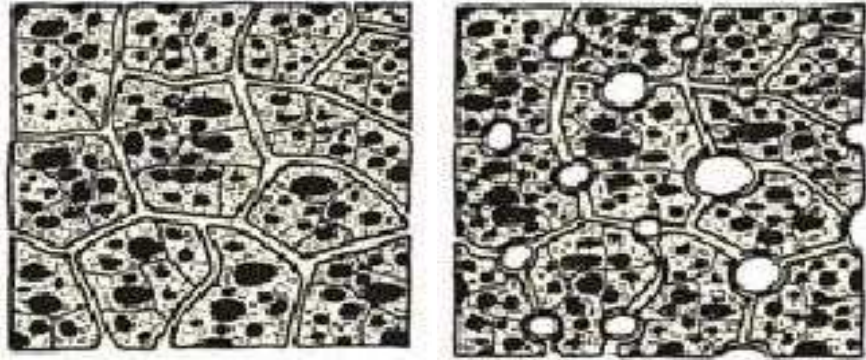


Figure I. 8 : La création d'un réseau de microbilles d'air accru

Considérablement la résistance au gel du béton. [17]

- **Les hydrofuges de masse (NF EN 934-2)**

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, des mortiers ou des coulis durcis. Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité au béton. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). Ils peuvent également comporter des matières fines (type bentonite) ainsi que des agents fluidifiants. Ils sont utilisés pour les bétons d'ouvrages hydrauliques (canaux, murs de fondation, retenues d'eau...) et les mortiers d'étanchéité (chapes, joints de maçonnerie, galeries de tunnels).

- **Les rétenteurs d'eau (NF EN 934-2)**

Ces produits ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau et d'augmenter ainsi, l'homogénéité et la stabilité du mélange. Le ressuage par l'action de ces stabilisants est réduit de 50 %. La rhéologie du béton frais est améliorée même dans le cas d'une diminution du volume des fines. La diminution des résistances à 28 jours par rapport à un béton témoin est de l'ordre de 20 %.

- **Les produits de cure :** Les produits de cure (norme NF P 18-370) ont pour effet de protéger le béton frais après sa mise en œuvre, en évitant sa dessiccation par évaporation trop rapide de l'eau. Celle-ci entraînerait une baisse des résistances mécaniques, la

formation de fissures de retrait avant prise, un poudroiemnt et un déchaussement des granulats. Ces produits sont à base de résines, cires ou paraffines en émulsion aqueuse, de résines naturelles ou synthétiques, de cires ou de paraffines dissoutes dans un solvant pétrolier,

Tableau I-3 : Les types d'adjuvant en fonction de sa propriété. [17]

Choix du type d'adjuvant en fonction de sa propriété								
PROPRIÉTÉ	ADJUVANTS							
		Réducteurs d'eau	Plastifiants	Superplastifiants	Accélérateurs de durcissement	Accélérateurs de prise	Retardateurs de prise	Entraîneurs d'air
Ouvrabilité		+	+				+	
Temps de prise					-	+		
Résistances	court terme (3 jours)	+	+	+	+	-	-	
	long terme (> 28 jours)	+	+		=	+	-	
Air occlus							+	
Résistance au gel du béton durci	+						+	
Compacité	+	+	+					
État de surface		+					+	
Perméabilité sous pression hydraulique			-					-

❖ **Adjuvants pour bétons durcis :**

➤ **Fluocsictes :** Par combinaison avec la chaux augmente la résistance à l'usure et aux agents agressifs (diminuent la perméabilité).

➤ **Silicatisations :** Traitement en surface par une solution chaude, augmente

L'imperméabilité et la résistance aux agents agressifs.

➤ **Peinturage :** Protection par application de peinture spéciale...

PARTIE II : Matériau composite TRC (Textile Reinforced Concrete)

I-II-1-Introduction :

En raison du risque élevé de corrosion, l'armature doit être protégée et il est donc souvent recouvert d'une couche supplémentaire de béton. Même ainsi, les attaques de corrosion ont encore démolit et détruit des structures bien avant la durée de vie estimée. Par conséquent, deux alternatives de renforcement sans risque de corrosion ont été enquêté sur les dernières décennies ; renfort en fibre et textile. Dans le béton renforcé de fibres (FRC), les fibres sont mélangées dans le béton frais mélange et sont réparties aléatoirement dans la structure. Le renfort en fibrées propriétés dépendent du matériau, des orientations et de la distribution. En raison des fibres sont mélangé dans le béton, il est difficile de connaître et d'estimer le bon comportement et capacité du renfort. Textile Reinforced Concrete, (TRC), a un renfort contenant de longs et des liens continus de fibres qui sont tissés et orientés dans une direction spécifique et ordre 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. [18]



Figure-I-9: Renovation d'un toit en forme de tonneau à Zwickau (Allemagne)



Figure-I-10 : Installation de la passerelle pour piétons en TRC (portée 16 m) à Kempten (Allemagne)



Figure I-11 : Application intérieur d'un TRC

L'objectif de ce chapitre est de présenter une revue bibliographique concernant les matériaux Composites textile-mortier.

Comparé au renforcement en fibre, le renforcement textile peut être utilisé plus efficacement lorsqu'il est possible de le placer dans le bon sens et en fonction des contraintes principales

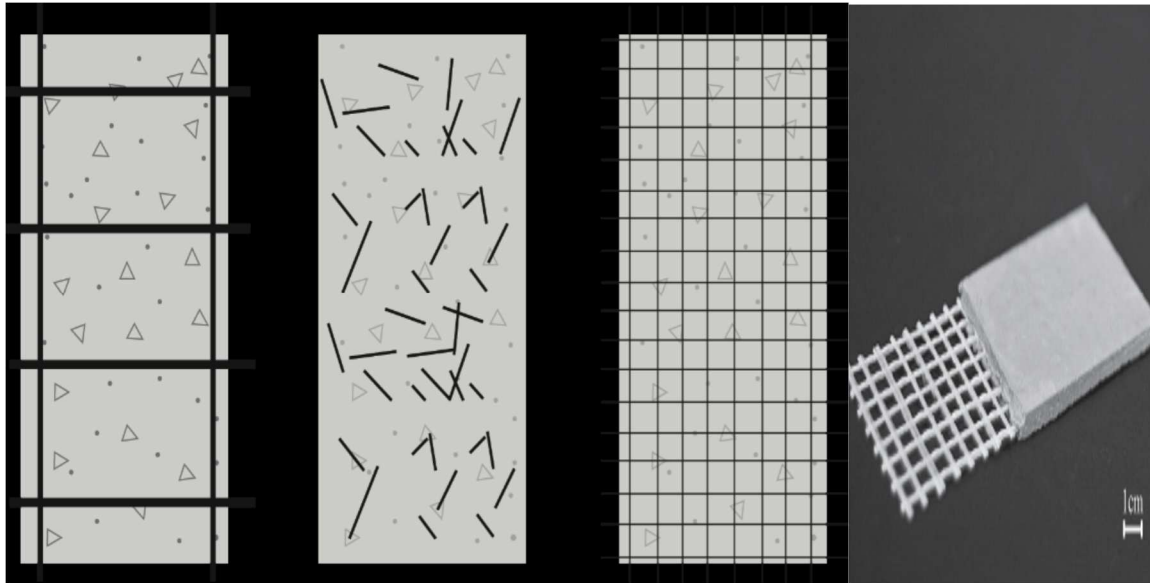


Figure I-12 : Illustration des différents types de renforts : renforcement par des barres en acier renforcement par des fibres et renforcement avec un textile. [18]

I-II-2-Matrice cimentaire

La matrice cimentaire destinée au composite TRC diffère de celle utilisée dans le matériau béton armé classique. Les mortiers à grains fins sont utilisés (la granulométrie maximale est inférieure à 2 mm), pour éviter un blocage des plus gros grains dans le renfort et une séparation des phases au cours de l'imprégnation du textile. Malgré leur finesse, une bonne résistance et une adhérence élevée avec le renfort textile sont nécessaires pour assurer une bonne imprégnation dans le renfort, mais aussi un transfert de charge satisfaisant. La rhéologie des mortiers doit donc permettre une mise en œuvre aisée. En outre, la matrice doit être chimiquement compatibles avec le renfort textile, mais aussi assurer la tenue mécanique en traction en termes de contrainte et de déformation en adéquation avec la demande du cahier des charges. [19]

Les critères de formulation de la matrice varient en fonction de l'application visée et du renfort textile utilisé. Dans le cas d'une production industrielle, une petite durée pratique d'utilisation de la matrice est nécessaire pour pouvoir démouler dans les meilleurs délais possibles, ou bien la nécessité d'une bonne consistance permet également aisément la mise en œuvre institut. Pour les applications à l'extérieur, le composite doit assurer les critères de durabilité demandés sous l'impact de conditions environnementales diverses et sévères (gel, hydrique, thermique ...). La

stabilité physico-chimique entre la matrice et le tissu est importante pour assurer la durabilité du composite TRC, les compositions de la matrice doivent être compatibles avec la nature des fibres afin d'éviter la corrosion des fibres.

Plusieurs méthodes permettent d'augmenter la stabilité chimique, comme l'application d'une matrice cimentaire modifiée par ajout d'un polymère, comme développée par Büttner et Alou la protection des fibres par un revêtement de polymère formant une barrière contre les ions alcalins dans le cas des fibres de verre AR [20].

La formulation de la matrice à utiliser dépend du cahier des charges imposées. Plusieurs formulations de matrice ont été développées au cours de ces dernières années, on peut citer 4 groupes principaux utilisés actuellement pour le composite TRC. Les matrices à base de ciment clinker Portland, de ciment phosphatique, de ciment d'aluminate (ou aluminate de calcium) et les matrices cimentaires chargées de polymères.

I-II-3- Matrice à base de clinker portland

Les compositions principales de la matrice à base de clinker portland se composent de ciment Portland, des squelettes granulaires et des matériaux d'addition (**Tableau 1-4**). Le ciment Portland est obtenu après cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile. Les matériaux d'additions sont définis dans la norme EN 206-1, ils sont ajoutés dans le mortier afin de modifier les propriétés de la matrice. En fonction du cahier de charge imposé, différentes formulations de la matrice à base de clinker Portland ont été développées en modifiant la teneur des matériaux constitutifs. Cependant, l'utilisation de matrice à base de ciment Portland induit plusieurs désavantages, entre autres, la tendance au retrait lors de la cure de la matrice, conduit aisément à des fissurations de retrait. L'hydratation du ciment Portland est relativement lente, elle ne permet pas d'obtenir des temps de durcissement suffisamment courts pour le démoulage, ainsi qu'une montée en résistance lente en fonction du temps. [20]

Tableau I-4 : Formulation de la matrice à base de Clinker Portland (PZ-0899-01) [20]

Constituants		Masse [Kg/m3]
Ciment CEM I 52.5		490
Cendres volantes		175
Fumée de silice		35
Fines siliceuses		500
Sable siliceux		715
Adjuvant	<i>Plastifiant</i>	10.5
Eau		280

I-II-4-Matrice d'aluminate de calcium

La matrice d'aluminate de calcium est constituée par le ciment d'aluminate de calcium (CAC), les squelettes granulaires et les adjuvan (**Tableau 1-5**). Les aluminates de calcium sont obtenus en faisant réagir à haute température de la chaux et de l'alumine. Le produit de cette réaction après refroidissement est un minéral dur appelé clinker d'aluminate de calcium, ce clinker est broyé en poudre fine appelé ciment d'aluminate de calcium (CAC).

Le ciment d'aluminate de calcium est un liant hydraulique, qui a tendance à présenter un gonflement à la cure, contrairement au ciment Portland qui a tendance à faire du retrait. Par ailleurs, à la différence du ciment Portland, dont l'hydratation est bien étudiée, peu d'études concernent l'hydratation des CAC.

Tableau I-5 : Formulation de la matrice d'aluminate de calcium (CAC) [20]

Constituants		Masse [Kg/m3]
CAC 42.5		700
Fines siliceuses		520
Sable siliceux		740
Adjuvant	<i>Plastifiant</i>	7
	<i>Stabilisateur</i>	1.75
Eau		280

I-II-5-Matrice phosphatique

La Vubonite est une matrice phosphatique, développée par Wastiels et al, formée par la réaction entre une poudre composée de Wollastonite (silicate de calcium) et une solution aqueuse (acide phosphorique). Cette réaction forme une matrice céramique dotée d'une structure réticulaire 3D. La matrice Vubonite se compose de 82.5 doses de poudre pour 100 doses d'acide phosphorique. Le **Tableau 1-6** précise les composants de Vubonite.

Contrairement aux matrices précédemment détaillées, la Vubonite n'est pas un liant hydraulique, elle n'est pas formée par le procédé d'hydratation. Ce ciment phosphatique est développé afin de pallier l'acidité nuisible dans les matrices classiques. Par ailleurs, cette matrice est insensible à la carbonatation, ses propriétés chimiques permettent de limiter l'alkali-réaction, et la corrosion des fibres (verre-E, verre-AR...). Grâce à ces avantages, la matrice phosphatique permet de s'adapter à de nombreux type de fibres de Verre-E, Verre-AR, Aramide, carbone, fibres naturelles... En outre, la Vubonite fait partie des matrices inorganiques non dangereuses car elle ne dégage aucun composé organique volatil (COV) acteur de l'augmentation des Gaz à effet de serre (GES).

Tableau I-6 : Composition chemico-physique de la Vubonite [20]

Vubonite powder	Composition chimique	Calcium méta silicate
	Concentration	> 98%
	Densité	2.9 g/ml
	Ph	9.9
	Température de fusion	1 540°C
	Solubilité dans l'eau	0.01g/100cc
	Formule	C aSiO ₃
Vubonite liquide	Acide Phosphorique	
	Teneur	entre 50 et 60%
	CAS-No	7664-38-2
EC-No	231-633-2	
Index-No	015-011-00-6	
	Classification-No	C ;R34
	Oxyde de Zinc	
	Teneur	entre 1 et 10%
	CAS-No	1314-13-2
EC-No	215-222-5	
	Index-No	030-013-00-7
	Classification-No	N ;R50-53

I-II-6-Matrice chargée de polymères :

Les matrices chargées de polymère se forment en ajoutant des polymères au mortier cimentaire afin de modifier la résistance mécanique (résistance en traction et en compression), et améliorer l'adhérence entre fibre-matrice, ainsi que la durabilité du composite. Il existe deux méthodes d'addition des polymères à la matrice, par imprégnation du mortier durci ou en ajoutant le polymère en poudre directement dans la formulation de la matrice (**Tableau 1- 7**). La méthode d'imprégnation du mortier par polymère permet d'augmenter le module d'élasticité, la résistance en compression, en traction. Cependant elle est coûteuse et la technologie de mise en œuvre est complexe. Au contraire, la méthode d'addition directe de poudre de polymère à la formulation de la matrice est très facile à la mise en œuvre, l'adhérence matrice-fibre est augmentée de façon importante. Cependant elle induit une réduction du module d'élasticité et de la résistance mécanique de la matrice (résistance en compression et en traction). Cette méthode est intéressante uniquement dans le cas d'application où le critère d'adhérence textile-matrice est plus important que celui des caractéristiques mécaniques du mortier seul.

Tableau 1-7 : Formulation de la matrice chargée de polymère [21]

Constituants		Masse [Kg/m ³]
Ciment CEM I 52.5		430
Cendres volantes		154
Fumée de silice		31
Fines siliceuses		438
Sable siliceux		626
Adjuvant	<i>Polymères</i>	123
Eau		245

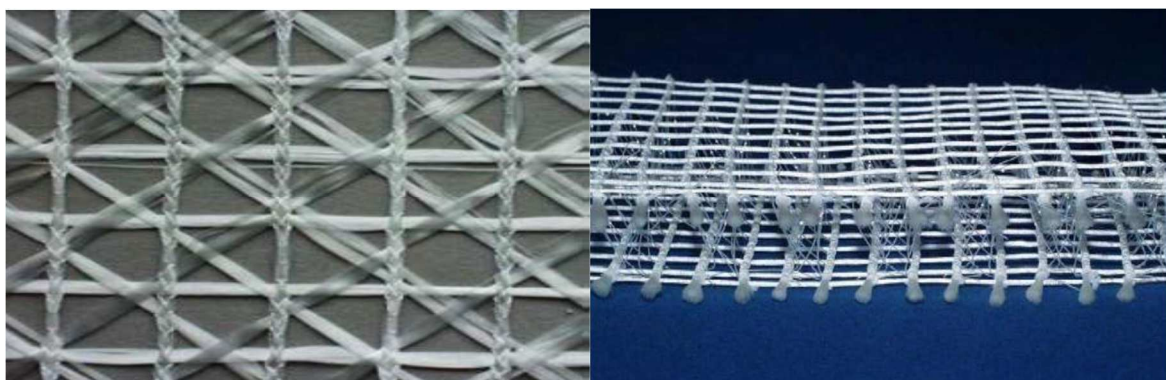
I-II-7-Textiles :

Dans le cadre du composite TRC, les renforts textiles doivent présenter les caractéristiques physico-chimiques et géométriques, compatibles avec les types de matrice utilisée pour assurer, une bonne mise en œuvre, les performances visées, et la durabilité.

A l'échelle microscopique, les fibres ou filaments qui constituent la plus petite unité, sont regroupées en fil. Une procédure de regroupement par ensimage et parfois retordage permet de former les fils. Le type de regroupement est ainsi susceptible d'influer considérablement sur l'adhérence (friction) entre les filaments assemblés, ainsi que le mortier les entourant dans le cas de TRC. Le poids linéaire d'un fil exprimé en Tex (grammes par mètre), dépend de la nature du filament, de leur nombre, du diamètre du filament par fil, ainsi que de la densité du fil. Dans le cas du TRC, le choix de la taille du fil est important pour assurer une bonne capacité de la matrice à imprégner le renfort. [20]

A l'échelle macroscopique, les fils sont structurés en un renfort textile par l'intermédiaire de différentes technologies telles que le tricotage, le tissage, le tressage ou le collage. Les textiles peuvent être utilisés en 2D uni, bi ou multi-axiale et en 3D (**Figure I-13**). Avec les différentes applications du TRC, le renfort textile peut comporter une grande ou petite maille, la taille de maille du tissu influence de façon importante la pénétration de la matrice dans le renfort, ainsi que le mécanisme d'évolution de fissure dans le composite TRC. Il faut donc envisager la maille la plus pertinente possible, afin d'obtenir la bonne imprégnation par la matrice, mais aussi éviter un risque d'apparition de fissure dans la maille.

Le taux de renfort et la position de l'armature textile ont une influence importante sur le comportement du TRC en traction [20].



Maille 2D

Maille 3D

Figure I-13 : Grille à maille 2D et 3D [22]

Le choix de la nature du matériau des fibres est basé sur plusieurs facteurs tels que les propriétés mécaniques, thermiques, physico-chimiques, ainsi que la proportion, la disposition, l'exigence de coût, les critères de développement durable. En termes de comportement mécanique, le module d'Young de la fibre, ainsi que l'adhérence textile-matrice doivent conduire, soit à un comportement suffisamment raide afin de contrôler l'ouverture de fissure et contribuer à la rigidité du composite, soit suffisamment souple pour suivre en déformation sans pour autant subir un endommagement de type fissuration. Les fibres doivent être

Compatibles avec le mortier pour assurer la durabilité du composite, et aussi présenter une Compatibilité avec les machines de mise en œuvre du renfort textile. Parmi les fils disponibles sur le marché, les fibres de verre, de basalte, d'aramide, de carbone, semblent satisfaire les précédents critères (**Tableau I-8**).

Tableau I-8 : Illustration des fibres disponibles sur le marché

Organiques		Inorganiques	
Naturelles	Synthétiques	Naturelles	Synthétiques
Cellulose	Acryliques	Amiante	Bore
Chanvre	Aramide	Basalte	Carbone
Coton	Polyamides		Carbure de silicium
Lin	Polyesters		Verre
	Polypropylène		
	Polyuréthane		

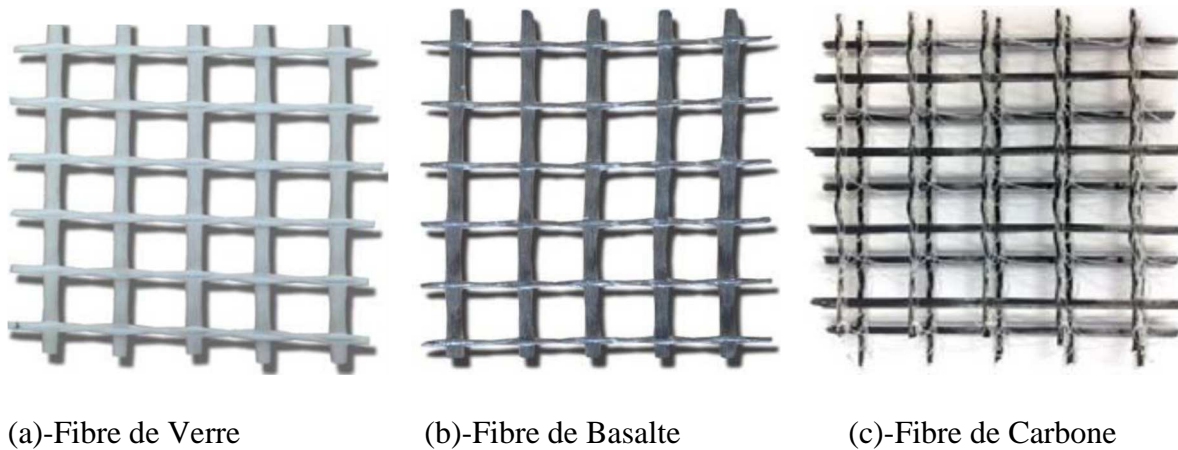


Figure 1-14 : renforts textiles avec maille [20]

I-II-7-1-Fibres de verre

Les fibres de verre sont les fibres chimiques, inorganiques, obtenues par le mélange de la silice, de l'argile, et du calcaire mené à une température entre 1250°C et 1350°C [23]

(Figure 1-2-a).

La fibre de verre en fusion se transforme en filament en étant étirée à grande vitesse. Les fibres de verre AR sont obtenues par l'ajout d'une masse de zirconium supérieure à 15% afin d'assurer une résistance dans le milieu alcalin. La perte de résistance des fibres de verre AR dans une matrice à base cimentaire en fonction du temps. Cette perte de résistance d'environ 30% est constatée pendant une durée de vie de conception de 50 ans. Dans le milieu alcalin, le procédé d'hydratation de la matrice provoque la corrosion des fibres qui produit des petits défauts ou des zones de faible section, ce qui rend les fibres sensibles à la concentration de contrainte, c'est la raison principale de la perte de résistance des fibres [20].

I-II-7-2-Fibres de 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, la roche fondue à 1400°C est extrudée pour produire les filaments de fibre de basalte. En termes de composant, les fibres de basalte ne contiennent pas d'autres additifs.

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. Cependant, dans le milieu alcalin, ces fibres sont instables.

Les essais de vieillissement accéléré permettent d'observer la durabilité des fibres, ainsi que l'évaluation de leur résistance chimique à long terme. 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 les fibres de basalte présentent une résistance à l'acide supérieure à celle des fibres de verre-E, mais la résistance alcaline semblable similaire. Cependant nouvelles études ont montré que les fibres de basalte, dans une matrice saturée d'hydroxyde de calcium, présentent une résistance aux alcalins supérieure à celle des fibres de verre-E dans la même condition. Une confrontation entre les fibres de basalte et de verre-AR montre que la perte de résistance dans le milieu alcalin de ces fibres est similaire.

On doit donc envisager un traitement spécifique du renfort textile, ou l'utilisation une matrice avec PH neutre [20].

I-II-7-3- Fibres de carbone

Les fibres carbonées sont des fibres chimiques qui peuvent être fabriquées par deux méthodes, la première méthode est basée sur la pyrolyse de poly acrylonitrile (PAN), la deuxième est basée sur le produit de pétrole, pour les deux méthodes, la teneur en carbone doit être supérieur 90%. La première méthode est la plus couramment utilisée, dans ce cas, une résine de polymère organique est formée par le procédé de polymérisation, les molécules de ce polymère sont de longues chaînes qui sont assemblées afin de produire une fibre. Ces fibres de carbone présentent une stabilité thermique, et sont très peu sensibles au fluage, elles résistent aux solvants acides et alcalins. Cependant le prix des fibres de carbone est élevé, du fait de leur excellente conductivité électrique, des précautions coûteuses en termes d'isolation électrique sont mises en œuvre sur les machines de fabrication, ce qui augmente le coût de production.

I-II-7-4-Fibres d'aramide

L'aramide est produit par la réaction entre le paraphénylènediamine et le chlorure de téréphtalyle dans un solvant organique. Ce polymère est extrudé dans une filière et filé. Les filaments sont refroidis dans l'air puis séchés et bobinés. 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. Notons que des techniques récentes permettent d'obtenir de nouvelles fibres telles que Tecnora qui présentent une meilleure résistance au milieu alcalin [20]

Tableau I-9 : Propriétés mécaniques et physico-chimique des fibres [20]

Fibres	Résistance à la corrosion	Résistance à la température	Qualité d'adhérence entre filaments	Coût de production
Verre-AR	+ Moyen résistance au milieu alcalin + Haute résistance au milieu neutre et acide	+ Faible résistance +Faible conductivité thermique + Moyen dilatation thermique	+ Moyen + dépend- ladensité de la fibre	+ Moyen + Produit applique dans le milieu alcalin
Carbone	+ Haute résistance au milieu alcalin, acide, et solvant organique	+ Haute résistance + Moyen conductivité thermique + Faible dilatation thermique	+ Faible/moyen + Faible avec les filaments de petits diamètres	+ Faible/Haute + Haute par rapport à la fibre Verre-AR
Basalte	+ Haute résistance au milieu alcalin par rapport à la fibre Verre-AR + Haute résistance au milieu neutre, acide	+ Haute résistance + Faible dilatation thermique + Faible conductivité thermique	+ Moyen + Faible coefficient de friction	+ Faible/moyen

I-II-8-Technologie des textiles

Au cours des dernières années, l'utilisation de matériaux textiles dans les membranes architecturales a abouti à la construction d'aéroports et de stades sportifs, offrant des propriétés beaucoup plus légères et fonctionnelles. La protection contre le soleil et les intempéries ainsi que la régulation de la lumière et de la température sont les principales exigences pour les applications textiles dans les nouveaux stades sportifs "Environ 80% des stades nouvellement construits ou rénovés dans le monde ont des toits et / ou des revêtements textiles". [18]

I-II-8-1-Les nouvelles techniques de fabrication de tissus :

Les textiles 3D :

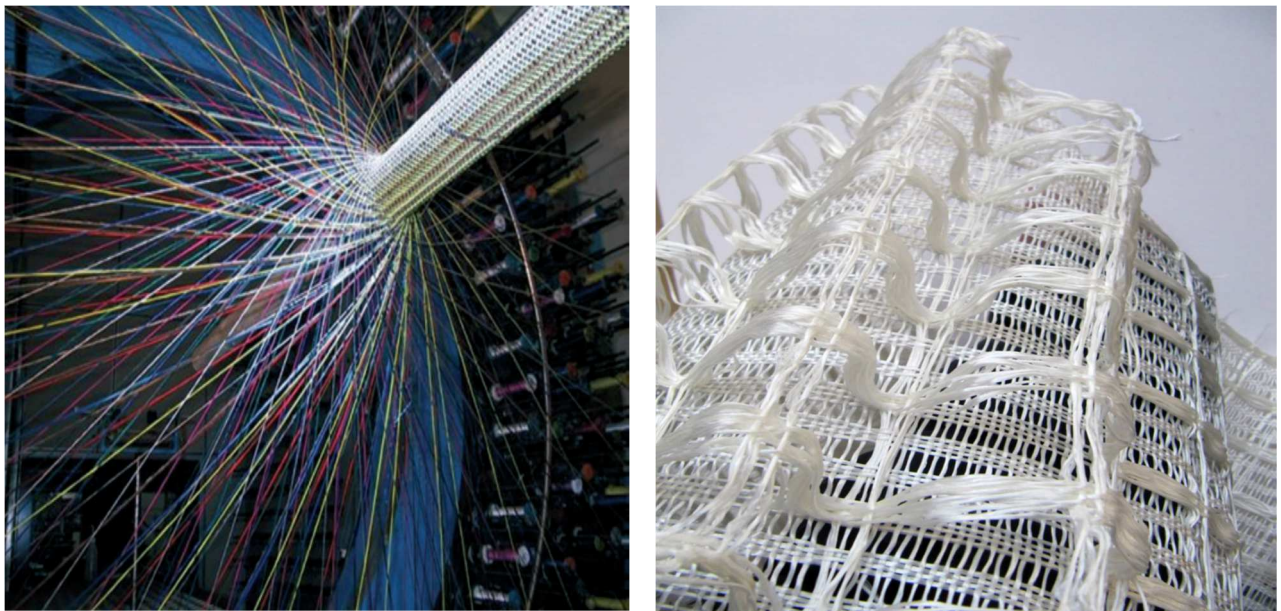


Figure I-15 : Tressage 3D © Guy Némoz [21]

Les textiles 3D, c'est-à-dire en trois dimensions, permettent d'obtenir de nouvelles formes aux parois épaisses. Fabriqués sur la base des méthodes traditionnelles de tissage, de tricotage et de tressage, ils sont constitués de fibres discontinues ou de fils continus disposés dans les trois directions de l'espace – longueur, profondeur, hauteur –. Cette technique permet de réaliser des volumes pouvant allier différentes fibres et être imprégnés de lubrifiants et de résines diverses. Elle est utilisée dans de nombreuses applications comme par exemple la mécanique, l'étanchéité, le renforcement, l'isolation, la filtration, le drainage ou la protection balistique. On peut ainsi réaliser des produits renforcés s'approchant au plus près de la forme voulue. Les

textiles 3 D peuvent également être utilisés afin de créer des objets design, assumant leur fonction primaire en plus d'une fonction décorative. [21]

I-II-8-2-Les textiles techniques

- Définition

Les textiles techniques répondent avant tout à des besoins techniques particuliers, avant de se soumettre à des contraintes d'ordre esthétique. Ils se définissent par leur usage final dans les différents domaines d'application que sont :

- L'industrie,
- La protection individuelle,
- L'environnement,
- Le génie civil,
- Le transport,
- L'emballage,
- Le médical,
- L'automobile,
- La défense militaire et civile
- Et l'électronique.



Figure I-16- Tissus à usage technique en carbone, verre, kevlar, nylon [21]

Les textiles techniques permettent soit de réaliser des produits finis qui ne pourraient pas être conçus avec d'autres matériaux, soit d'apporter une meilleure solution que les autres matériaux sur le plan technique ou économique. Ils répondent donc à des exigences technico qualitatives élevées – performances mécaniques, électroniques, thermiques, Electriques, chimiques, biologiques, optiques – pour s'adapter à une fonction technique et à son environnement, et demandent un effort constant de recherche et développement.

I-II-9-Textiles et ouvrages d'art

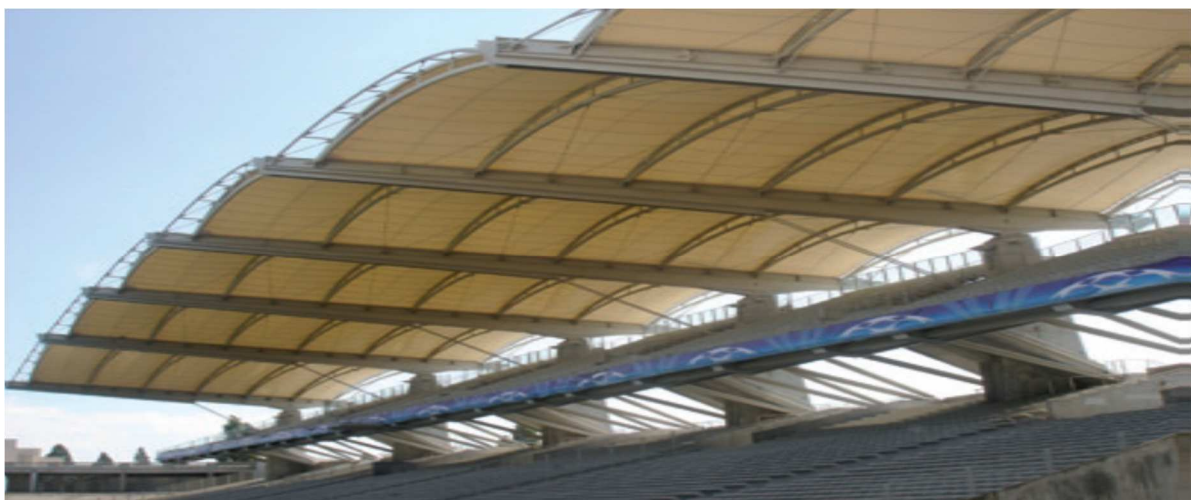


Figure I-17 : Toiture de la tribune du stade de Gerland [21]

Dans les ouvrages d'art – ponts, tunnels, murs de soutènement, barrages... –, les textiles techniques rivalisent désormais avec des matériaux traditionnels comme le bois, le béton et l'acier. Utilisés seuls ou sous la forme de matériaux composites⁴⁶, ils permettent des économies de poids, une meilleure durabilité dans le temps et des performances accrues. Certains ouvrages d'Art, atteints par la corrosion des armatures métalliques ou nécessitant une protection antisismique, sont renforcés par des matériaux composites. Des placages de stratifiés sont ainsi réalisés sur des ponts d'autoroute. Des cheminées ou piles de ponts sont également assemblées et drapées de tissus de carbone pré imprégnés.

I-II-10-Les textiles à usage géotechnique :

Dans le domaine de la géotechnique, qui étudie l'adaptation des ouvrages humains aux sols et roches formant le terrain naturel, l'incorporation de non-tissés de polypropylène et de très grands volumes de tissés permet de renforcer, drainer ou assurer l'étanchéité des sols, afin d'y construire des ouvrages d'art ou des bâtiments, des routes ou des voies de chemin de fer, mais aussi consolider des berges ou des talus. On parle alors de géotextiles.

I-II-11-Les textiles à usage industriel

Les matériaux composites à renforts textiles sont beaucoup utilisés dans l'industrie et notamment dans la fabrication des courroies de transmission d'énergie, des câbles haute ténacité transportant l'énergie électrique, des gainages servant à isoler les conducteurs électriques et les équipements à très haute tension. Les textiles techniques représentent également une véritable solution pour filtrer les gaz ou les liquide sa fin d'accroître la pureté d'un matériau : les non-tissés⁴⁴ à base de microfibrilles ou de nano fibres sont utilisés dans l'industrie alimentaire pour la production ou la récupération de produits. On retrouve aussi les textiles fonctionnels dans l'emballage des produits : tissus lourds, sangles, filets tricotés et non-tissés sont adaptés à chaque type de produit à conditionner. [21]

I-II-12-Les textiles à usage agricole :

Figure I-18 : Textiles de solarisation de la vigne © MDB Texinov [21]

Une gamme très riche d'agro textiles à technicité importante est actuellement mise en œuvre afin de protéger et activer les cultures légumières, horticoles, fruitières et viticoles. On cherche en effet à favoriser le développement et la qualité des cultures en les protégeant des rigueurs climatiques et des rayonnements solaires excessifs, et en créant des microclimats, c'est-à-dire des conditions climatiques particulières, propices leur croissance rapide et régulière. On favorise par exemple la culture hors sol en utilisant un support textile fertilisé en continu. On utilise également des textiles réflecteurs du rayonnement solaire afin d'augmenter le degré d'alcool de la vigne, grâce à un tricotage particulier de fines lamelles d'aluminium permettant une réflexion multidirectionnelle de la lumière. Les textiles techniques représentent un atout pour le textile mondial, en pleine évolution. Voici différents domaines d'application dans lesquels ils occupent une place prépondérante :

I-II-13-Textiles et second œuvre

Le second œuvre du bâtiment, c'est-à-dire tout ce qui ne constitue pas la structure porteuse d'un bâtiment, est également un utilisateur important de textiles. De nombreuses applications notables se développent, avec la fabrication de cloisons de séparation, de revêtements de murs, de plafonds suspendus, de toits amovibles, d'écrans solaires... Les textiles peuvent être utilisés pour leur qualité anti-bruit, anti-feu, d'étanchéité ou d'isolants thermiques... Ils

permettent de réaliser des toitures et des structures de couvertures légères et rapides de mise en œuvre. [21]

I-II-14-Textiles et transports

Les textiles techniques jouent un rôle majeur dans le secteur du transport, grâce à leurs hautes performances mécaniques alliées à leur faible densité. Les matériaux composites à renforts textiles sont compétitifs, voire même supérieurs en qualité aux matériaux traditionnellement utilisés : leurs principaux avantages sont le gain de poids, leur rigidité, leurs propriétés anticorrosion, ainsi que leur résistance à l'usure et à la propagation de fissures. Ils sont de ce fait de plus en plus utilisés dans les transports comme pièces porteuses ou éléments de carrosserie. De nombreux textiles techniques sont indispensables au fonctionnement des moyens de transport : on les retrouve par exemple dans les filtres à air réalisés en non-tissé. Les durites, tuyaux et courroies de transmission et de distribution comprennent également des renforts textiles protégeant le caoutchouc ou les élastomères des fluides moteurs. Les textiles techniques apportent de nombreuses réponses à la demande accrue de sécurité dans les transports, en proposant par exemple des pneus en polyester haute ténacité ou bien encore des plaquettes de freins comprenant des textiles techniques de renfort. Pour les avions et la Formule 1, disques et plaquettes sont en composite 100% carbone qui seul permet de résister à des freinages fréquents. Il est d'ailleurs étonnant de voir la transformation des bobines textiles en disques aussi solides que du métal après cuisson Argument de différenciation – et donc de vente – pour les fabricants d'automobiles, les matériaux textiles apportent une fonction décorative, une amélioration du confort acoustique (habillages intérieurs, pavillons textiles, isolation sous capot moteur...) et un meilleur confort thermo physiologique des sièges grâce à de nouveaux mélanges de fibres et modes de tissage.[21]

Chapitre II
Essais Mécaniques

II- Les essais mécaniques les plus utilisés :**II-1- Essai de résistance à la compression :**

Le plus courant des essais sur béton et mortier est la résistance à la compression, en partie parce que cet essai est facile à exécuter et aussi parce que de nombreuses caractéristiques du béton, mais pas toutes, peuvent être qualitativement reliées à sa résistance.

Toutefois, la raison principale de cet essai est l'importance intrinsèque de la résistance à la compression lors de la conception structurale. Même s'il est universellement utilisé dans le domaine de la construction, l'essai de résistance à la compression présente quelques inconvénients, mais il constitue, à parler franc, un élément du bagage culturel de l'ingénieur. Les résultats de l'essai de résistance à la compression peuvent être affectés par différents paramètres : le type d'éprouvette et ses dimensions, le type de moule, de mûrissement, la préparation des faces d'essai sur lesquelles s'exerce la compression, la rigidité de la presse, la vitesse d'application de la charge. Pour toutes ces raisons, les essais doivent être effectués selon une procédure bien précise sans dévier des spécifications imposées.

Les essais de résistance à la compression effectués sur des éprouvettes préparées de façon normalisée, incluant un serrage ou un compactage à 100% et un mûrissement dans l'eau pendant une période donnée, donnent des résultats représentant la qualité du béton. Bien sûr, le béton dans la structure peut présenter une qualité inférieure, par exemple, par suite d'une mauvaise mise en oeuvre, d'un compactage ou vibration inadéquats, d'un phénomène de ségrégation ou d'un mauvais mûrissement. Ces effets sont importants si l'on désire savoir à quel moment on peut décoffrer, pour suivre la construction ou mettre la structure en service.

[25]

Pour cette raison, les éprouvettes d'essai sont mûries dans des conditions se rapprochant le plus possible de celles existant dans la structure réelle.

II-1-1- Compression uni axiale :

En raison de sa facilité de réalisation, c'est l'essai le plus répandu pour estimer les caractéristiques générales de résistance mécanique du béton. Plusieurs études dans la littérature comme celles de Hsu (1963) et Benouniche (1978) ont mis en évidence différentes phases de comportement du béton en compression uni axiale en fonction du niveau de la contrainte appliquée (Figure II- 1) [26]

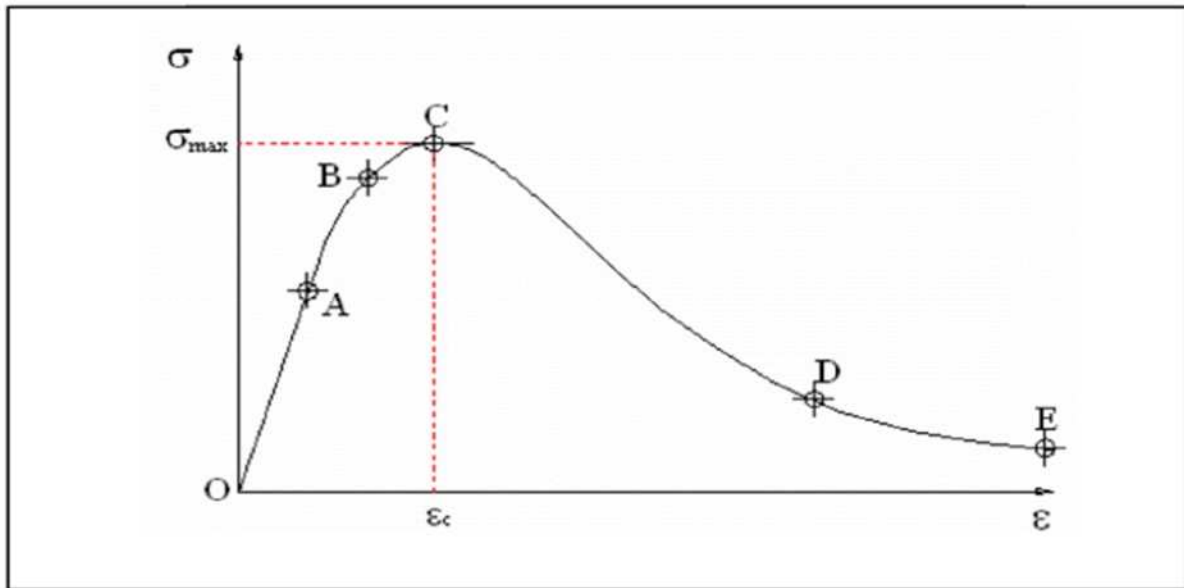


Figure II- 1 : le diagramme σ - ϵ de béton en compression [26]

La figure nous présente 5 phases :

- La phase **(OA)**, c'est un comportement linéaire ou cas linéaire. Cette phase est caractérisée par les coefficients du Poisson et le module d'élasticité du béton. N'y a pas de déformations résiduelles dans cette phase.
- La phase **(AB)**, l'apparition des microfissures. Le module du poisson reste constant, alors qu'au module d'élasticité il diminue légèrement. La déformation résiduelle longitudinale augmente, tandis que la déformation latérale reste nulle.
- La phase **(BC)**, représente le développement rapide des microfissures. Le coefficient de Poisson et les déformations résiduelles augmentent rapidement, et on constate une forte diminution du module d'élasticité.
- La phase **(CD)**, apparition et propagation de macro fissures due à la localisation de la déformation. Cette dernière augmente fortement, tandis que le module d'élasticité diminue jusqu'à s'annuler.
- La phase **(DE)**, augmentation très rapide de la déformation et diminution lente de la contrainte.

II-2- Résistance à la flexion : Selon la norme (NFP18-407)

Cet essai est effectué sous charge concentrée exécuté par un bâti de flexion de type Toni Technique piloté par ordinateur équipé du logiciel Test Expert V7.11, et doté d'un capteur de force de 100 KN.

Cette machine est munie d'un dispositif à trois rouleaux, sur les éprouvettes en béton fibré ultra haute performance (4x4x16) [cm³] :

II-2-1-Dispositif de l'essai de flexion :

II-2-1-1-Flexion trois points :

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à rouleau de 10 mm de diamètre, distant de 120mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une face latérale de moulage, et un troisième rouleau de même diamètre, équidistant des deux premiers, et transmettant la charge F. Afin transmettre une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, deux rouleaux doivent pouvoir osciller légèrement de leur centre dans le plans vertical perpendiculaire au grand axe de l'éprouvette. Le pas de chargement est de : 0.5[KN/ s]

La figure suivante montre une poutre sous chargement de flexion trois-points

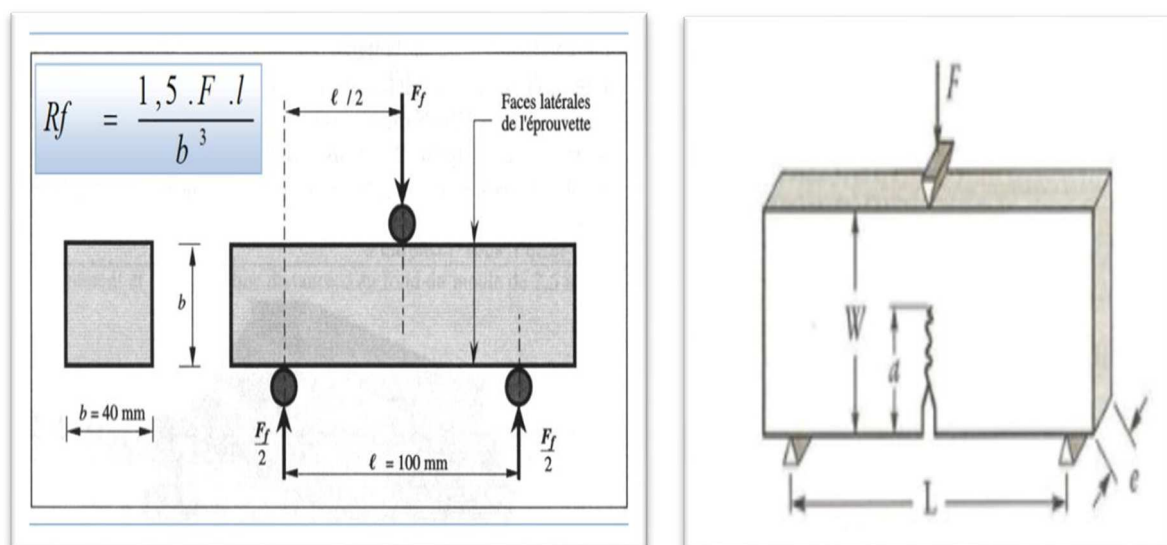


Figure II.2: flexion trois-points

II-2-1-2-Flexion quatre points :

La Figure II-3 montre une structure sous chargement de flexion Quatre-points. Dans ce cas on utilise les mêmes appuis simples, mais on applique deux charges au lieu d'une seule charge concentrée.

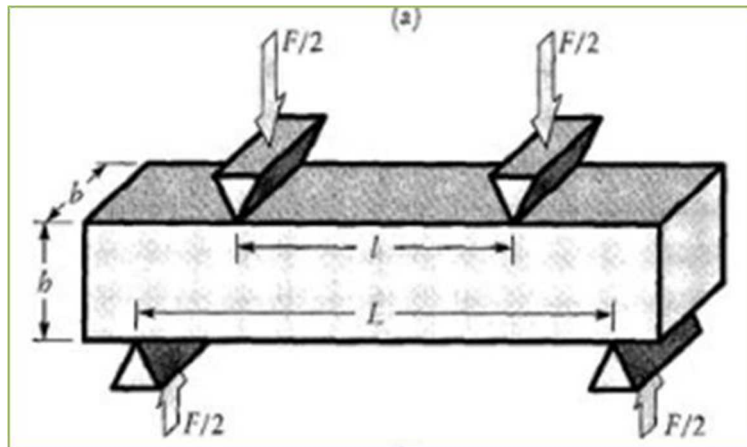


Figure II.3 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)

La résistance à la flexion (4 points) est calculée selon l'équation générale :

$$\sigma_f = \frac{Ff \cdot l}{2b \times h^2}$$

II-3-POINÇONNEMENT DES DALLES

II-3-1-COMPORTEMENT MECANIQUE DES DALLES

Le comportement flexionnel des dalles comprend plusieurs phases qu'il est important de distinguer, la **figure II-4** montre les phases successives du comportement d'une dalle en béton armé sous une charge qui augmente progressivement. [27].

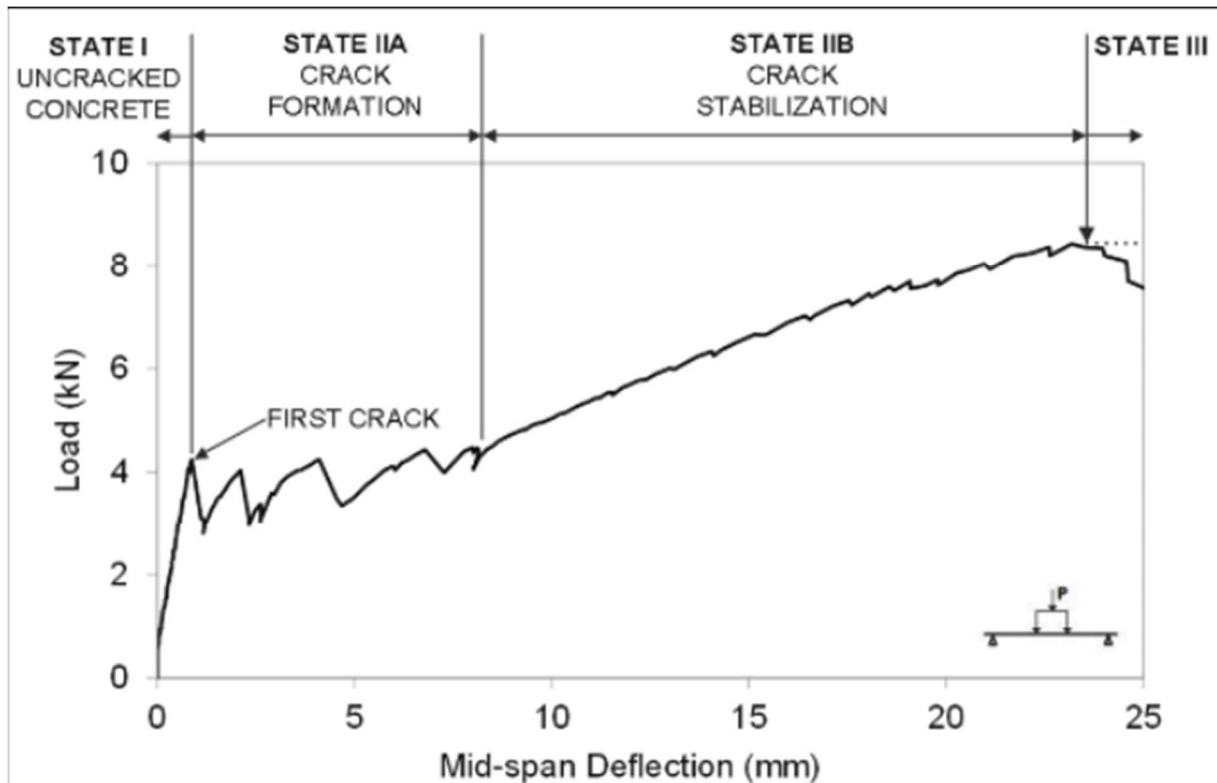


Figure II.4: Phases successives du comportement d'une dalle en flexion [20]

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 1-11). Selon Portal et al [58] 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 [20]

II-3-2- RUPTURE PAR POINÇONNEMENT DES DALLES

La rupture par poinçonnement est caractérisée par une force concentrée agissant perpendiculairement sur une dalle qui crée une rupture locale [28 ;29]

II-3-2-1- Mode de rupture

La résistance au poinçonnement constitue un paramètre important dans la conception des dalles en béton. Sous un chargement d'une charge concentrée (poinçonnement), des efforts tranchants très importants sont développés dans la dalle. La distribution de ces efforts tranchants est de forme hyperbolique est maximale au nu de la colonne (Favre et coll.1997).

La figure II.5 présente la distribution des efforts de cisaillement près d'une colonne.

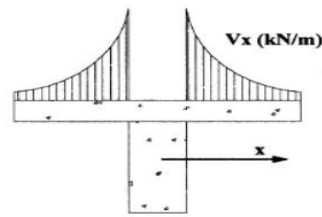


Figure II.5. Distribution des efforts de cisaillement près d'une colonne [26]

Lorsque la dalle est soumise au chargement de poinçonnement, elle commence à se déformer sans que des fissures se forment.

L'évolution des fissures sur la face tendue pendant la mise en charge est illustrée par la Figure.II-6. [27, 29]

Des fissures tangentielles apparaissent très tôt à la face supérieure de la dalle près de la projection du périmètre de la colonne (moment de fissuration radial, figure.II.6. a). Les fissures qui suivent divisent la dalle en secteurs (figure.II.6. b). Les moments radiaux restent limités, ainsi que les courbures dans la direction radiale, dans une zone proche de la colonne.

D'autres fissures tangentielles se forment à une distance plus grande de la colonne. Par la suite, des fissures internes en forme de tronc de cône se développent, en partant des fissures tangentielles créées par les moments radiaux, en direction de la tête de la colonne (Figure.II.6.c).

A partir d'une certaine charge et jusqu'à la rupture, on n'observe plus de formation de nouvelles fissures, mais seulement une ouverture des fissures existantes.

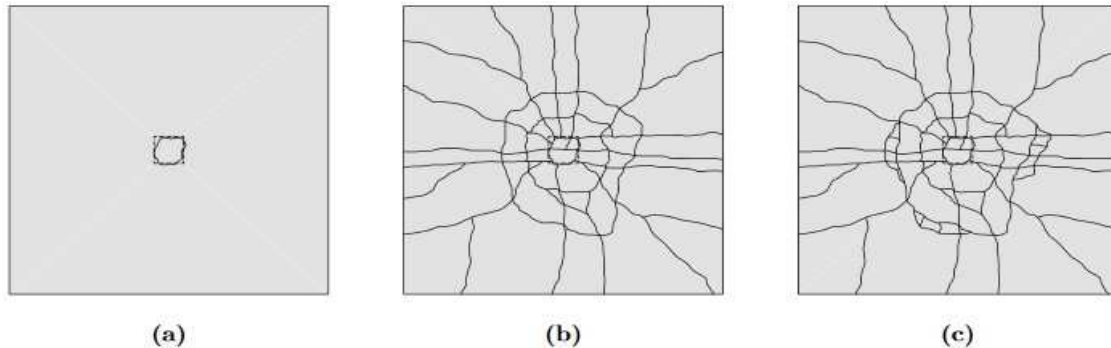


Figure II.6. Evolution des fissures sur la face tendue d'une dalle pendant la mise en charge
[30]

II-3-3- Type de poinçonnement

En général, on peut distinguer deux types de poinçonnement : le poinçonnement symétrique et le poinçonnement non symétrique ou asymétrique

- **Poinçonnement symétrique**

Si la géométrie, la charge, les conditions d'appuis et la constitution de l'élément structural sont considérés symétriques par rapport à deux axes de symétrie, on parlera de poinçonnement symétrique. Le mode de rupture est illustré par la figure II.7. Lorsque la symétrie est relative à tous les axes radiaux, on se trouve dans le cas particulier du poinçonnement axisymétrique [28],

- **Poinçonnement non symétrique :**

La symétrie est marquée par le manque d'une des conditions citées dans le cas du poinçonnement symétrique. Le poinçonnement non symétrique est désigné par deux états différents : Le poinçonnement non symétrique centré et le poinçonnement non symétrique excentré, La différence entre ces deux types de poinçonnement est donnée par l'apparition d'un moment de flexion transféré de la dalle à la colonne dans le cas du poinçonnement excentré.

Les comportements global et local autour de la colonne sont influencés par la non symétrie.

La résistance n'est pas uniformément répartie autour du périmètre de contrôle [31].

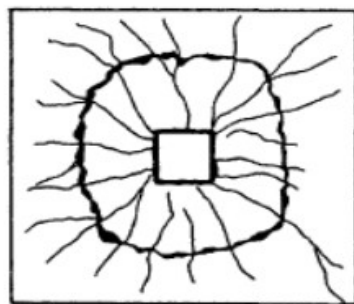
- **Non symétrie centrée :**

Dans la plupart des cas, tenant compte des exigences

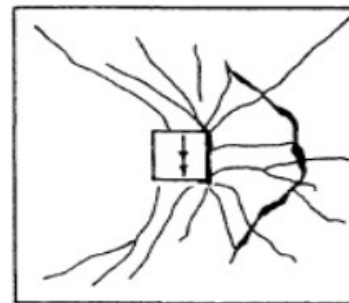
Fonctionnelles qui imposent souvent des irrégularités géométriques, le dimensionnement de la dalle conduit à une disposition des armatures de flexion différente dans les deux directions perpendiculaires. [28]

▪ **Poinçonnement excentré :**

L'excentricité de la charge verticale induit un moment de flexion additionnel qui va influencer la surface de rupture. En fonction de l'intensité du moment de flexion, la forme peut devenir asymétrique autour de la colonne. L'augmentation des efforts locaux et l'ouverture de la fissure critique diminue la résistance par unité de longueur, par conséquent, la charge de rupture [31], [32].



a) Force verticale uniquement



b) Moment de flexion uniquement

Figure II.7. Etat de fissuration et fissures de poinçonnement à la rupture (vue en plan de la dalle) [31].

La Figure II.7.a montré une rupture par poinçonnement centré résultant uniquement d'une force verticale, tandis que la Figure II.7.b montre une rupture par poinçonnement résultant uniquement d'un moment de flexion.

Dans le cas d'un poinçonnement excentré, les fissures se concentrent plutôt du côté où la force est appliquée. Plus l'excentricité est importante, plus la rupture est ductile

Chapitre III

Matériaux et formulations

III-1- Introduction :

La connaissance des diverses propriétés : physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques des matériaux, est une exigence primordiale dans toute opération de construction ou de réparation, dont le but tout d'abord l'emploi judicieux de ces matériaux, ensuite pour faire un choix répondant à leur destination, et enfin pour que ces matériaux soient malaxés d'une façon correcte afin de produire un mélange homogène à grande échelle et possédant par conséquent des propriétés uniformes.

A cet effet, essayons dans ce chapitre de présenter les normes, des différents constituants entrant dans la composition de nos mortiers, ainsi que leurs formulations.

III-2- Normes :**III-2-1- Préparation des matériaux**

- Analyse granulométrique : EN 933-1
- Equivalent de sable : NFP 18-597
- Confection des mortiers

III-2-2 -Normes utilisées à l'état durci

- Essai de compression : NFP 18-406.
- Essai de traction par flexion : NFP 18-407.
- Essai du l'ultrason : Essai non normalisé
- Essai de poinçonnement : Essai non normalisé

III-3 Matériaux utilisés

Dans notre étude, les éprouvettes d'essais ont été confectionnées avec des mortiers à base de matériaux locaux tel que le sable de dune, le marbre ainsi que le sable de rivière.

III-3-1-Sable

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le béton et mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments chimiques nocifs. Dans ce travail on s'intéresse à l'exploitation des matériaux locaux dans la construction au lieu d'utiliser des matériaux qui exigent un approvisionnement très coûteux, et comme le sud algérien est très riche en sable de dunes on a pensé à substituer le sable de rivière par ce dernier pour la fabrication de nos mortiers [33].

Nous avons utilisé dans cette étude trois types de sables de même diamètres max. Un sable local de Rivière (SR) provenant d'OUED-AISSI, roulé de classe 0/2, et un sable siliceux de Dune(SD) de la région de Touggourt de classe 0/2 et un autre sable fin de Dune(SD) de la région de Boussaâda de classe 0/2, Avant utilisation, ces sables ont été lavés afin de réduire les impuretés puis séchés à l'étuve à température 105 °C pendant 24heurs puis tamisé avec des tamis de différents diamètres.



Figure III-1 : Sable de rivière tamisé (0/2) après avoir été lavé et séché à l'étuve.au niveau du laboratoire béton-UMMTO



Figure III-2 : Sable de dune tamisé (0/2) après avoir été lavé et séché à l'étuve.

III-3-2-Ciment

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de MATINE. Ce dernier est un ciment portland composé, de classe 42.5 et de sous classe B provenant de la cimenterie LAFRAGE d'Alger. Il contient donc environ un tiers d'additions minérales autres que le clinker. Ce ciment gris pour béton de haute performance destiné à la construction des Ouvrages d'art infrastructure et superstructure pour bâtiments (Fig.III.3).



Figure III-3 : Ciment (CEM 42.5)

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

Tableau III-1 : Caractéristiques physiques du ciment CEM 42.5 R

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Début de prise	150	(min)	NF EN 197-1
Fin de prise	230	(min)	NF EN 197-1

Caractéristiques mécaniques du ciment

Tableau III-2 : Résistance à la compression du ciment (NF EN 197-1)

Essais	2 jours	28 jours
Résistance à la compression (MPa)	≥10	≥42,5

Avantage de 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 de béton
- Meilleure durabilité du béton

Application recommandées :

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

III-3-3-L'eau de gâchage :

Lors du gâchage de nos mortiers, nous avons utilisé l'eau de robinet, qui est une eau potable du réseau de la ville de Tizi-Ouzou. Aucune analyse chimique n'a été réalisée sur cette eau. Nous supposons qu'elle répond à toutes les prescriptions de la norme (EN 1008) en matière de béton

III-3-4- Les additions minérales

Dans notre étude, nous avons utilisé un seul type d'additions minérales- la poudre de marbre ; présentée ci-dessous.

La poudre du marbre qui fait l'objet de cette étude est un déchet résultant de concassage et broyage des déchets du marbre blanc, jusqu'à l'obtention d'une poudre à grains de classe granulaire (0/2 mm) provient de l'exploitation de l'entreprise nationale de marbre « ENAMARBRE » de la carrière de Fil-Fila qui se trouve à 25 Km à l'est de la ville de Skikda.



Figure III-4 : Poudre du marbre de classe (0/2)

III -3-5- Les adjuvants :

Nous avons utilisé un super plastifiant, haut réducteur d'eau appelé « MEDAFLOW30 » fourni par la société GRANITEX (Algérie). Sa densité absolue est de 1.07 et sa concentration en particule solide est de 30 %. Inférieur ou égale à 5 % en masse du poids de ciment pour modifier ou améliorer les propriétés.

III -3-5-1- Description : [34]

Le MEDAFLOW 30 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau, il est conçu à base de Poly carboxylates combines. Il peut être utilisé dans plusieurs domaines à savoir :

- Bétons auto-plaçant.
- Réduction du temps de décoffrage.
- Bétons précontraints.
- Bétons architecturaux.

Son utilisation permet sur le béton frais :

- L'amélioration de fluidité
- Le décoffrage rapide

- De faciliter la mise en œuvre B- sur le béton durci :
- D'augmenter la résistance mécanique à jeune âge
- De diminuer la porosité
- De diminuer le retrait
- D'augmenter la durabilité

III -3-5-2- Caractéristiques :

Tableau III-3 : Caractéristiques du MEDAFLOW 30.

Nature	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Liquide	Jaunâtre	6.2	1.07	< 0,1g/L	20%

III -3-5-3- Dosage :

La page de dosage recommandée est : 1,0 à 2,5% du poids de ciment, soit 1L à 2,5L par 100 Kg de ciment.

III-3-6- Fumée de silice :

Elle est à base de micro-silice provenant de la société « GRANITEX » sous forme de poudre grise. Obtenue avec une finesse de $20470 \text{ cm}^2/\text{g}$ et une densité absolue de $1,87 \text{ g/cm}^3$.

Par sa surface spécifique et sa grande finesse, les particules très fines s'insèrent entre les agrégats du ciment et enferment les pores (ex : effet dit de « *filler actif* »), ce qui le rend plus compact et plus dense ce donc plus imperméable et plus durable. A cet effet, et afin d'améliorer les performances de notre mortier, on l'a utilisé dans la composition de notre mortier

III-4- Caractérisation des mortiers :

La caractérisation des matériaux de construction telle que la matrice cimentaire nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux ainsi que l'illustration de certaines interprétations ne pourraient être possible que si les différents constituants sont bien caractérisés par le biais d'essais normalisés au laboratoire.

III-4-1-Essais sur le sable :

III-4-1-1 Echantillonnage et prélèvement (sable)

Nous avons réalisé des essais au laboratoire sur des différents échantillons obtenus par des sables mis en stock.

On prélève le sable en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas, afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront mélangées avec soin.

III-4-1-2-Analyse granulométrique (sables et la poudre du marbre)

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution pondérale des particules d'un matériau suivant leurs dimensions, l'analyse se fait par tamisage (*EN933-1 et EN 933-2*).

Avant de procéder à l'essai l'échantillon doit être séché à l'étuve à une température maximale de 105 °C.

L'essai consiste à classer les différents grains de l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres. Les dimensions des mailles sont décroissantes de haut vers le bas. La séparation des grains s'obtient par vibration de la colonne des tamis (tamisage terminer lorsque le refus ne varie pas de plus de 1%.

La forme de la courbe granulométrique nous apporte les renseignements suivants :

Les limites d (petit diamètre) et D (grand diamètre) des granulats.

- La plus ou la moins grande proportion d'éléments fins.
- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

Plus la courbe granulaire est continue et régulière plus on aura une meilleure compacité du squelette du béton ou mortier. Aussi elle permet d'anticiper les problèmes sur le mortier à formuler, et d'avoir des mortiers à meilleure fluidité sans problème de ségrégation.

Dans ce qui suit, on a présenté les résultats de l'essai pour les sables utilisés. Sur la figure II sont représentés les courbes des différents sables (Sable de rivière(SR) ; sable de dune de Touggourt(SDT) ; sable de dune de Boussaâda(SDB).) et la poudre de marbre (PM).

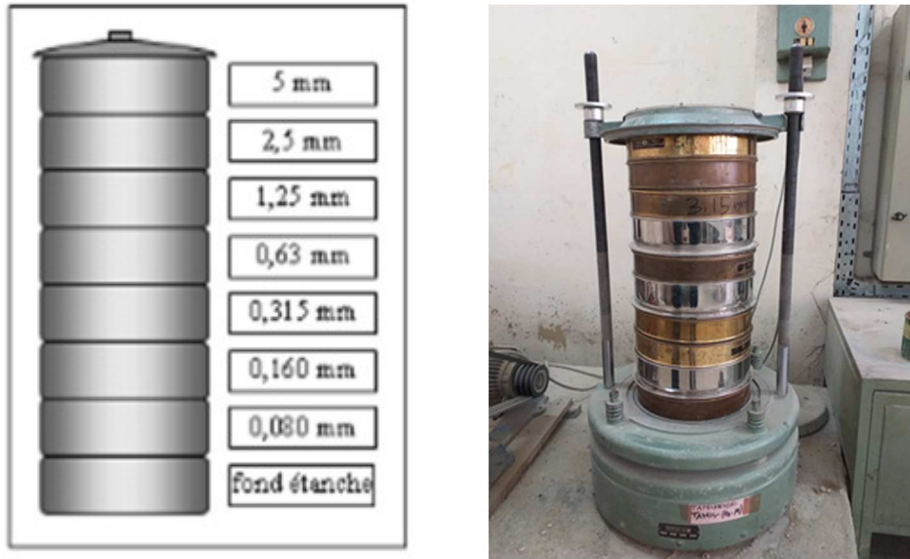


Figure III-5 la série de tamis utilisé dans l’analyse granulométrique au niveau du laboratoire béton-UMMTO

REFUS sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.

TAMISAT (ou **passant**) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

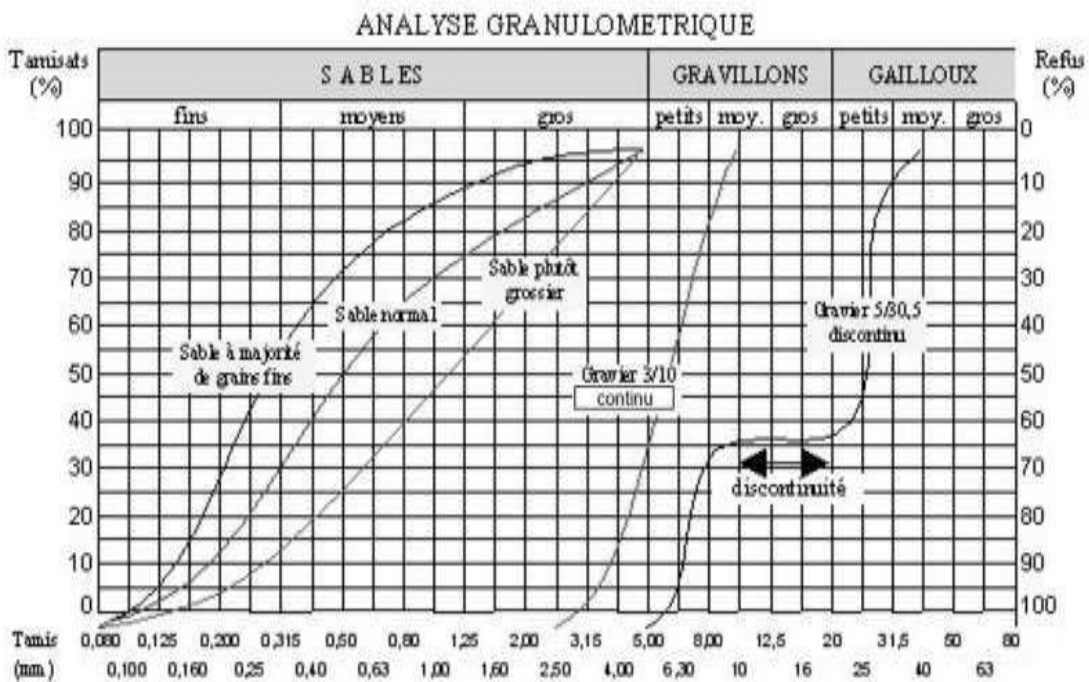


Figure III-6 : La courbe de l’analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique effectuée sur les trois types de sable sont présentés dans les tableaux Tableau (III-4), (III-5), (III-6), (III-7).

Tableau III-4 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de rivière(SR)

Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage Tamisas cumulés (%)
5	0	0	100
3,15	0	0	100
2,5	0	0	100
1,25	605	30.25	69.75
0,63	1455	72.75	27.25
0,315	1845	92.25	7.75
0,16	1955	97.75	2.25
0,08	1985	99.25	0.75
Fond des tamis	2000	100	0

Tableau III-5 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de dune Touggourt (SDT)

Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage Tamisas cumulés (%)
5	0	0	100
3,15	0	0	100
2,5	0	0	100
1,25	70	3.5	96.5
0,63	480	24	76
0,315	1535	76.75	23.25
0,16	1980	99	1
0,08	1995	99.75	0.25
Fond des tamis	2000	100	0

Tableau III-6 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de dune Boussaâda (SDB)

Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage Tamisas cumulés (%)
5	0	0	100
3,15	0	0	100
2,5	0	0	100
1,25	0	0	100
0,63	5	0.25	99.75
0,315	25	1.25	98.75
0,16	1780	89	11
0,08	1980	99	1
Fond des tamis	2000	100	0

Les résultats de l'analyse granulométrique effectuée sur notre poudre de marbre sont présentés dans le tableau (III.7)

Tableau III-7 : Analyse granulométrique par tamisage de la poudre du marbre

Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage des refus cumulés (%)	Pourcentage Tamisas cumulés (%)
5	0	0	100
3,15	0	0	100
2,5	0	0	100
1,25	460	23	77
0,63	830	41.5	58.5
0,315	1430	71.5	28.5
0,16	1905	95.25	4.75
0,08	1975	98.75	1.25
Fond des tamis	2000	100	0

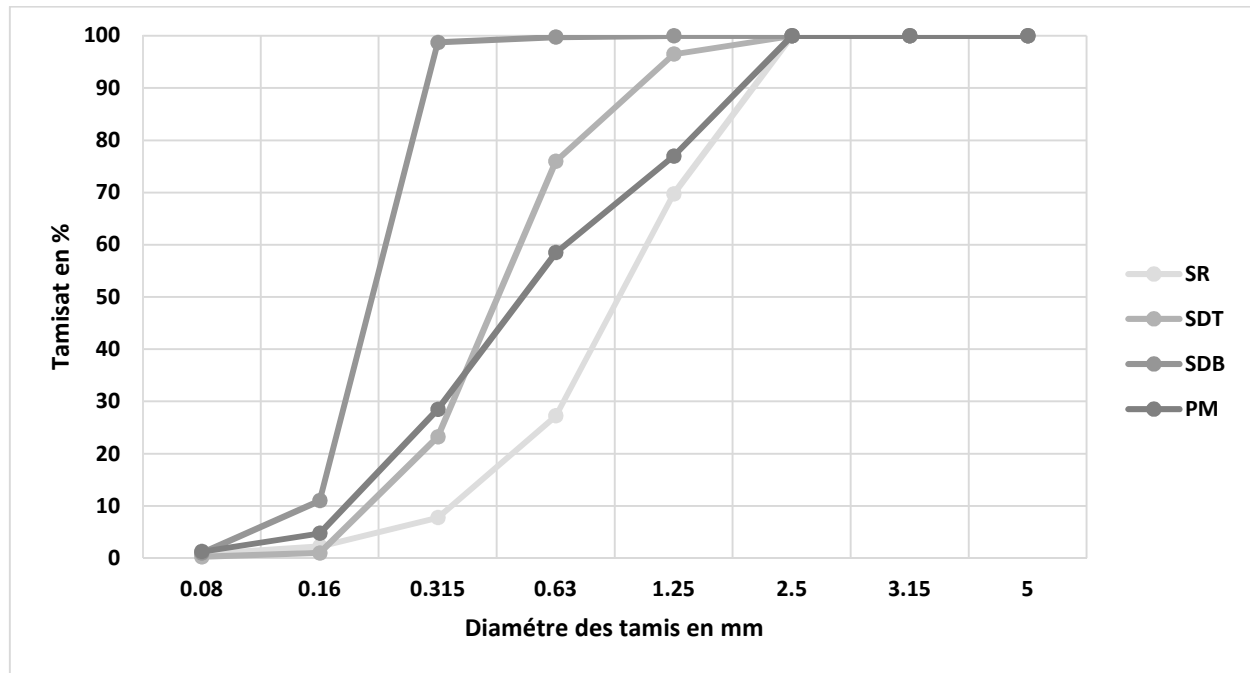


Figure III-7 : Courbes granulaires des différents sables utilisés et de la poudre de marbre de classe (0/2).

On constate que le sable de dune d'origine de Boussaâda est le plus fin. On remarque aussi une grande différence en pourcentage de particules fines entre celui-là et le sable de dune Touggourt

Cette courbe nous renseigne aussi que le diamètre max pour le sable de dune de Boussaâda ne dépasse pas 0.63mm.

III-4-1-3 Module de finesse (pour chaque type de sable et la poudre de marbre) :

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau de la composition du mortier, tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse

(MF). D'après la norme [NFP 18-540], le module de finesse d'un granulat est égal au $1/100^{\text{ème}}$ de la somme des refus cumulés, exprimés en % sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5 mm

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

Tableau III- 8 : Module de finesse du sable [35]

Granulats	Spécifications
Module de finesse M_f	$2,8 < M_f < 3,2$ sable grossier
	$2,2 < M_f < 2,8$ sable moyen
	$1,8 < M_f < 2,2$ sable fin

IV.4.1.4 Calcule du module de finesse des sables et de la poudre de marbre :

$$MF(SR) = \frac{97.75 + 92.25 + 72.75 + 30.25 + 0 + 0}{100} = 2.93$$

$$MF(SDT) = \frac{99 + 76.75 + 24 + 3.5 + 0 + 0}{100} = 2.03$$

$$MF(SDB) = \frac{89 + 1.25 + 0.25 + 0 + 0 + 0}{100} = 0.90$$

$$MF(PM) = \frac{95.25 + 71.5 + 41.5 + 23 + 0 + 0}{100} = 2.31$$

Le sable de rivière (SR) a un module de finesse compris entre 2.8 et 3.2 donc on dira qu'il est un peu grossier.

La poudre de marbre (PM) a un module de finesse compris entre 2.2 et 2.8 donc on dira qu'elle est classée comme sable moyen.

Le sable de dune Touggourt (SDT) a un module de finesse compris entre 1.8 et 2.2 donc on dira qu'il est fin.

Le sable de dune Boussaâda (SDB) a un module de finesse inférieur à 1.8 donc on dira qu'il est très fin, à majorité de grain fin.

III-4-1-4 Equivalent de sable (E.S) :

Cet essai est un essai de propreté, la valeur de l'E.S. exprime le pourcentage de fines contenues dans le sable.

L'absence de fines ne permet pas d'obtenir un béton ou un mortier compact et leurs excès est défavorable dans la mesure où il augmente la demande en eau, donc le rapport E/C donc une faible valeur de la résistance.

Cette méthode nécessite une éprouvette graduée, ou à défaut un récipient à fond bien plat ; en remplit l'éprouvette sur environs un tiers de la hauteur avec de l'eau, en mesure 120g de sable et en l'introduit dedans, en attend quelques minutes puis en bouche bien le récipient, en brasse l'éprouvette de façon horizontale en théorie 90 fois en 1min, en finit par remplir l'éprouvette de l'eau, en brasse un dernier coup, en attend 20 min



Figure III-8 : Equivalent de sable au niveau du laboratoire béton-UMMTO

À l'issue de ce délai on relève la hauteur totale (sable + fines) désigné par (a) et la hauteur du sable seul sans fine désigné par (b), puis on effectue le calcul suivant :

$$ES = b/a * 100$$

Dans notre cas, on a eu :

ES(SR) = 92.22 %

ES(SDT) = 86.73%

ES(SDB) = 90%

Sables très propres l'absence presque totale de fines
 Argileuses risquent d'entraîner un défaut de plasticité qu'il
 Faudra rattrapper par l'ajout d'un super plastifiant.

ES(PM)=77.22 \longrightarrow Propre à faible pourcentage de fines convenant parfaitement pour des bétons de haute qualités.

III-4-1-5 La masse volumique apparente

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à une température de 105 ± 5 °C, notée et exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 , T/m^3).

Son expression est la suivante :

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

Le mode opératoire :

En verse dans un récipient qui pèse vide ($m_1 = 300\text{g}$), d'un volume ($V = 1424,8 \text{ cm}^3$), la poudre de marbre ou le sable, par couches successives et sans tassement à l'aide d'un entonnoir ou seulement avec les mains, puis en arase avec une règle métallique, puis on pèse le récipient rempli et on le note avec (m_2) pour enfin on calcule la masse volumique apparente tel que :



Figure III-9 : Masse volumique apparente mesurée au niveau du laboratoire béton-UMMTO

La hauteur du récipient $H = 15 \text{ cm}$

Son diamètre $D = 11 \text{ cm}$

Donc : $V = (\pi * D^2 / 4) * H \Rightarrow V = 1424.8 \text{ cm}^3$

- Pour la poudre du marbre : $M = m_2 - m_1 \Rightarrow M = 1788 \text{ g}$
donc $\rho_a = \frac{1788}{1424.8} \Rightarrow \rho_a = 1.25 \text{ g/cm}^3$
- Le sable de rivière : $M = m_2 - m_1 \Rightarrow M = 2360 \text{ g}$
donc $\rho_a = \frac{2360}{1424.8} \Rightarrow \rho_a = 1.66 \text{ g/cm}^3$
- Le sable de dune Touggourt : $M = m_2 - m_1 \Rightarrow M = 2360 \text{ g}$
donc $\rho_a = \frac{2140}{1424.8} \Rightarrow \rho_a = 1.50 \text{ g/cm}^3$
- Le sable de dune de Boussaâda : $M = m_2 - m_1 \Rightarrow M = 2360 \text{ g}$
donc $\rho_a = \frac{1940}{1424.8} \Rightarrow \rho_a = 1.36 \text{ g/cm}^3$

III-4-1-6 Masse volumique absolue :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105° C, notée et exprimée en (g/cm³, kg/m³, T/m³).

Son expression est la suivante

$$\rho_{abs} = \frac{V_1}{V_2 - V_1}$$

Le mode opératoire :



Figure III.10 : Masse volumique absolue définie au niveau du laboratoire béton-UMMTO

Dans une éprouvette graduée contenant un volume d'eau $V_1=400\text{ml}$, avec l'entonnoir en verse une masse de la poudre du marbre ou du sable de classe (0/2) $m=400\text{g}$, on lit le nouveau volume d'eau $V_2= 550\text{ml}$ pour la poudre du marbre et $V_2 = 550 \text{ ml}$ pour les sables, puis on calcule la masse volumique absolue.

$$\rho_{abs} = \frac{400}{150} \quad \rho_{abs} = 2.66 \text{ g/cm}^3$$

III-5 Formulation des mortiers :

III-5-1 Composition d'un mortier témoin :

Tableau III-9- : composition d'un mortier pour 1m^3

Composants	Ciment	Sable	Eau	L'adjuvant	Fumée de silice
Le poids (kg)	600	1600	200	8	16

Tel que, le poids de l'adjuvant égale à 1,3% du poids du ciment

Dans cette étude, en va confectionner des éprouvettes prismatiques de dimensions ($4*4*16\text{cm}^3$), cubiques de dimensions ($5*5*5\text{cm}^3$) et des dalles de dimensions ($3*36*36\text{cm}^3$) avec des différents mortiers en dosage de l'incorporation de sable de dune et de la poudre du marbre.

III-5-2 Composition des différents types de mortiers :

Pour la substitution partielle du sable de rivière par le sable de dune ou la poudre du marbre ; par exemple pour une éprouvette prismatique avec un dosage égal à 30% de sable de dune, le facteur c 'est 0.3, on a la masse du sable pour une éprouvette témoin est égale 4096g

Donc la masse de de sable de dune introduit est égale à : $4096\text{g} * 0.3 = 1228.8 \text{ g}$

Pour la masse du sable de rivière à utiliser, en va extraire la masse de sable de dune de la masse initiale du sable, c.à.d. : $4096 - 1228.8 = 2867.2 \text{ g}$

Donc les proportions de composants de cette éprouvette sont comme suivies :

- Ciment : 1536 g
- Sable de rivière : 2867.2 g
- Sable de dune : 1228.8g
- Eau : 512 g
- Fumée de silice :40.96 g
- Adjuvant : 20.48 g

Et c'est de la même procédure qu'on calcule les autres composants de mortiers, avec les différents dosages pour chaque type d'éprouvette.

Les tableaux. (III-10) et (III-11) (III-12), résument les calculs des proportions de chaque constituant pour les différentes éprouvettes prismatiques, cubique et les dalles avec différents dosages introduits :

Tableau III-10 : compositions des mortiers prismatiques avec différents dosages introduit

Composants (g)	100% SR	70 % SR 30% SDT	70 % SR 30% PM	70 % SR 30% SDB	70% SR 15% SDT 15% PM	100% PM	100 % SDT
Ciment	1536	1536	1536	1536	1536	1536	1536
PM	0	0	1228.8	0	614.4	4096	0
Sable de rivière (0/2)	4096	2867.2	2867.2	2867.2	2867.2	0	0
Sable de dune Touggourt (0/2)	0	1228.8	0	0	614.4	0	4096
Sable de dune Boussaâda (0/2)	0	0	0	1228.8	0	0	0
Eau	512	512	512	512	512	512	512
Fumée de silice	40.96	40.96	40.96	40.96	40.96	40.96	40.96
L'adjuvant	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48

Tableau III-11 : compositions des mortiers cubiques.

Composants (g)	100% SR	70 % SR 30% SDT	70 % SR 30% PM	70 % SR 30% SDB	70% SR 15% SDT 15% PM	100% PM	100 % SDT
Ciment	750	750	750	750	750	750	750
PM	0	0	600	0	300	2000	0
Sable de rivière (0/2)	2000	1400	1400	1400	1400	0	0
Sable de dune Touggourt (0/2)	0	600	0	0	300	0	2000
Sable de dune Boussaâda (0/2)	0	0	0	600	0	0	0
Eau	250	250	250	250	250	250	250
Fumée de silice	20	20	20	20	20	20	20
L'adjuvant	10	10	10	10	10	10	10

Tableau III-12 : compositions des mortiers dalles.

Composants (g)	100% SR	70 % SR 30% SDT	70 % SR 30% PM	70 % SR 30% SDB	70% SR 15% SDT 15% PM	100% PM	100 % SDT
Ciment	23328	23328	23328	23328	23328	23328	23328
PM	0	0	18662.4	0	9331.2	62208	0
Sable de rivière (0/2)	62208	43545.6	43545.6	43545.6	43545.6	0	0
Sable de dune Touggourt (0/2)	0	18662.4	0	0	9331.2	0	62208
Sable de dune Boussaâda (0/2)	0	0	0	18662.4	0	0	0
Eau	7776	7776	7776	7776	7776	7776	7776
Fumée de silice	622.08	622.08	622.08	622.08	622.08	622.08	622.08
L'adjuvant	311.04	311.04	311.04	311.04	311.04	311.04	311.04

III-6- Essais d'auscultation sonore (ultra-son) :

Les éprouvettes prismatiques ont été testées à l'ultrason à différents âges 14j, 28j, 56j. Pour les dalles ont été testées à l'ultrason à 56j. Les vitesses des ultrasons ont été déterminées par mesure du temps pour chaque formulation de mortier utilisée.

III-7- Les propriétés mécaniques :**III-7-1-Essai sur les éprouvettes cubiques :**

Pour chaque formulation de mortier normalisé, sont confectionnées des éprouvettes cubiques de dimensions $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Au différents âges 7 ; 14 ; 28 ; 56 jour, avant écrasement, les éprouvettes sont retirées de l'eau, puis essais destructifs de compression.

III.7.2 Essai sur les éprouvettes prismatiques :

Pour chaque formulation de mortier normalisé, sont confectionnées des éprouvettes de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Au différents âges 28 ; 56 jour, avant écrasement, les éprouvettes sont retirées de l'eau, puis soumises à l'essai non destructif de mesure d'Ultrasons, puis enfin aux essais destructifs de Flexion.

III.7. 3 Essai sur les dalles :

Pour chaque formulation de matrice cimentaire, sont confectionnées des dallâtes de dimensions $36 \times 36 \times 3 \text{ cm}^3$ armées de textile de verre, avec une dalle témoin non armée. À l'Age de 56 jour, avant écrasement, les éprouvettes sont retirées de l'eau, puis soumises à l'essai non destructif de mesure d'Ultrasons, puis enfin aux essais destructifs de poinçonnement.

III-8-Procédure expérimentale :**III.8.1. Préparations des éprouvettes et déroulement des essais :****III-8-1-a- Les éprouvettes cubiques :**

Ce type d'éprouvettes a été conçu pour l'essai d'écrasement compression simple conformément à la NF P18-406 (NA427), afin de déterminer la résistance à la compression, la charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours des essais.

III-8-1-b- Les éprouvettes prismatiques :

Selon les normes NF P18-407 (NA428), ces éprouvettes sont réalisées pour les essais Ultrason et à la flexion 4 points.

III-8-1-c. Les dalles :

Ces éprouvettes ont été conçues pour les essais de poinçonnement et l'ultrason.

III-8-1-d- Le textile de verre :

On a utilisé un textile de verre pour lequel on a ouvrer des mails a 3 mm, puis à l'aide d'un pinceau en l'enrobe de la résine.

III-8-2.-Confection des éprouvettes :**III-8-2-1- Préparation de la gâchée :**

La préparation des moules et des matériaux nécessaires est la première étape indispensable avant tout essai expérimental.

- Le sable a été lavé puis mis à l'étuve pendant 24h. après séchage, en l'a mis à température ambiante.
- La préparation des moules prévus pour les éprouvettes de mortier, les bien huiler pour faciliter le décoffrage.



Figure III- 11 : les moules utilisés

III-8-2-2- La préparation des pesées de matériaux à utiliser (ciment, Fumée de silice, sable, poudre du marbre, eau, adjuvant).



Figure III- 12 : préparation des pesées



Figure III- 13 : Préparation de textile de verre avec ouverture des mailles de (3mm) puis l'enrober de résine

III-8-2-3 La vérification de la propreté du malaxeur.

Tout le matériel nécessaire est préparé (balance, récipient, spatules, truelles, chronomètre, mètre...) et pré-humidifié. Le malaxeur utilisé est à axe vertical de mouvement planétaire. Après avoir déterminé les proportions de chaque composant, on introduit les matériaux secs (sable, ciment, fumée de silice, poudre du marbre) dans le malaxeur, on met ce dernier en marche pour homogénéiser le mélange sec pendant 30 sec jusqu'à obtenir une couleur unique, on met le malaxeur en marche et on verse 2/3 du mélange liquide (eau et adjuvant) pendant 30sec, on fait tomber les bords et on mélange de nouveau pendant 30 sec en ajoutant le tiers restant du mélange liquide. Le mortier est dit prêt quand, si on pose la truelle dessus, il se lisse et l'eau remonte à la surface. On remplit les éprouvettes prismatiques et cubiques, on les dépose sur la table vibrante et on effectue une vibration de 30 secondes, pour éliminer les bulles d'air. Pour le coulage des dalles On remplit le moule a un centimètre de hauteur, on le fait vibrer quelque secondes (dans le but d'uniformiser la surface de mortier), on dispose notre grille de verre ; Par la suite on continue le coulage jusqu'à sa hauteur complète (figure III-14)



Figure III- 14 : le malaxage des mortiers désignés pour dalles



Figure III-15 : Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication des mortiers [Labo Béton – UMMTO] pour éprouvettes prismatiques et cubiques

III-8-2-4 Conservation des éprouvettes :

Après le coulage du mortier, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante. Après 48 h, les éprouvettes sont démoulés, marquées et conservées dans un bac rempli d'eau à température ambiante (20°C) jusqu'à la veille du jour de l'essai, cette conservation évite le retrait et garantit le processus d'hydratation du ciment,

Une fois le temps voulu est écoulé (7, 14, 28 ou 56 jours) selon le cas, les éprouvettes sont enlevées de l'eau et déposées à l'air libre (dans le laboratoire) pour qu'elles acquièrent l'état normal d'humidité. Et comme en a plusieurs essais en plusieurs jours, on fait sortir seulement le nombre à caractériser, ensuite elles seront écrasées chaque série à son âge prévu.



Figure III-16 : dalles démoulées et émergées dans l'eau



Figure III- 17 : Dalles mises à l'air libre 24h avant essais

III-8-3 Essais non destructifs :

III-8-3-1 Contrôle par ultrasons :

C'est un essai non destructif très important qui permet d'évaluer plusieurs caractéristiques du béton durci telles que : le degré de compacité, de fissuration, l'uniformité de coulage

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton. Les résultats obtenus et donc leur interprétation dépend du type de procédé de mesure appliqué et notamment la position des transducteurs de l'appareil à ultrasons [36]

III-8-3-2 Disposition des transducteurs :

Trois types de dispositions des transducteurs sont communément utilisés :

- Mesure par la transmission directe.
- Mesure par la transmission semi directe
- Mesure par la transmission indirecte ou de surface.

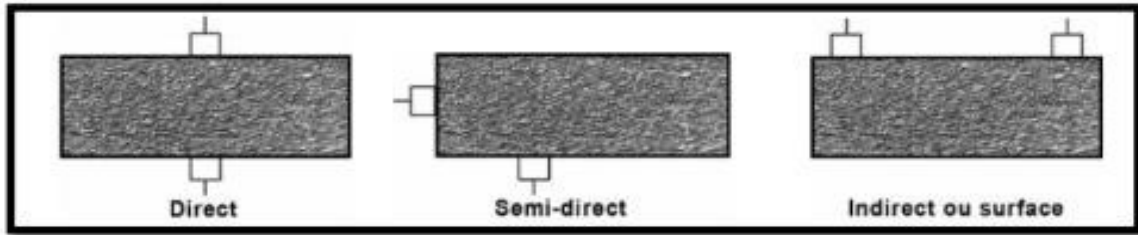


Figure III- 18 : Différents types de dispositions des transducteurs [36]

Chaque fois que cela est possible, il est recommandé d'utiliser la disposition directe, c'est la meilleure méthode. Elle consiste à presser les deux têtes de mesure sur deux faces de l'éprouvette, en utilisant un gel de contact qui facilite la transmission maximale du signal entre les transducteurs.

La disposition semi-directe est moins sensible que la disposition directe mais plus sensible que la disposition indirecte.

La méthode indirecte est particulièrement utile pour la détermination de la profondeur des fissures, de la qualité de la surface ou dans le cas où une seule surface est accessible. Des données de base sont communes à chaque méthode de mesure. La distance (longueur de trajet) entre les transducteurs doit être mesurée aussi précisément que possible. Il est très important d'assurer un couplage acoustique des transducteurs approprié avec la surface à tester, ainsi une fine couche de couplant doit être appliquée sur le transducteur et sur la surface à tester, et dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de préparer la surface en elle-même en la grattant, la lissant, et nettoyant correctement.

Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en microseconde. La vitesse de propagation est donnée alors par l'équation suivante [36] :

$$V = d/t$$

Avec :

V : vitesse de propagation en [m/s]

d : distance entre les têtes en [m].

t: temps en microseconde

III-9- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails les diverses étapes qu'on a suivi pour la confection des spécimens d'essais, à savoir les éprouvettes prismatiques 4x4x16 et cubiques 5x5x5 et des dalle 3x36x36.

On a commencé par la caractérisation des différents constituants ainsi que la formulation des mélanges, on a fini par la confection des éprouvettes et le mode opératoire. Les différents résultats obtenus pour les différents essais mécaniques considérés dans ce travail seront présentés et illustrés dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

Expérimentation et résultats

IV-1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes procédures expérimentales et résultats obtenus à partir des essais réalisés sur les mortiers à l'état durci, à savoir

- L'essai de compression sur les éprouvettes cubiques de dimensions (5x5x5) cm³ à 7, 14, 28 et 56 jours
- L'essai de flexion 4 points sur les éprouvettes prismatiques de dimensions (4x4x16) cm³ à 28 et 56 jours
- L'essai de poinçonnement sur les dalles de dimensions (3x36x36) cm³
- L'essai ultrason sur les éprouvettes prismatiques 14, 28 et 56 jours, sur les dalles à 56 jours

On rappelle que durant notre étude, sept compositions de mortiers à base de différents pourcentages et types de sables et poudre de marbre ont été réalisées :

Tableau IV- 1 : Nomenclature des éprouvettes testées

Les compositions	Leurs significations
[100% SR]	100% sable de rivière
[70% SR-30% SDT]	70% sable de rivière et 30% sable de dune Touggourt
[70% SR-30% PM]	70% sable de rivière et 30% poudre de marbre
[70% SR-30%SDB]	70% sable de rivière et 30% sable de dune de Boussaâda
[70% SR-15% SDT-15% PM]	70% sable de rivière et 15% sable de dune Touggourt et 15% poudre de marbre
[100% PM]	100% poudre de marbre
[100% SDT]	100% sable de dune Touggourt

IV-2- Contrôle non destructif :

Les mesures des vitesses ultrasonores ont été réalisées en mode de transmission directe.

Ce mode fournit le maximum d'énergie. Elles sont réalisées par 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.

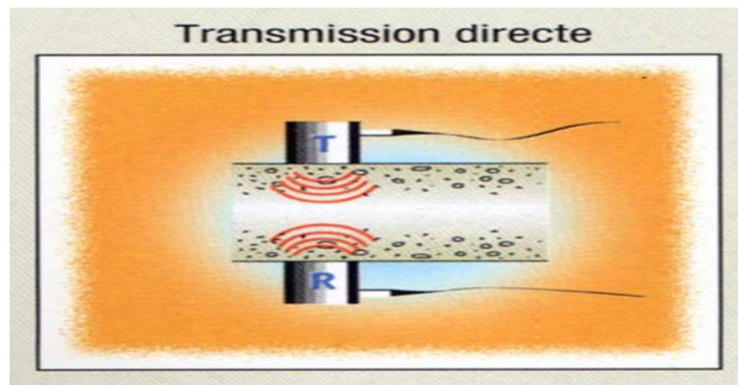


Figure IV- 1 : Mesures en transparence (directe)

IV-2-1- Résultats des essais d'auscultation sonore (ultra-son) :

Les éprouvettes prismatiques ont été testées à l'ultrason à différents âges 14,28 et 56j.

En ce qui concerne les dalles, elles ont été testées à 56j. Pour chaque formulation de mortier utilisée, la vitesse des ultrasons est déterminée par mesure du temps que mettent les ondes ultrasonores pour traverser l'éprouvette



Figure IV- 2 : Essais ultrason sur les éprouvettes au niveau [Laboratoire de Béton-Génie Civil-UMMTO]

Pour une meilleure précision, nous avons répété l'essai trois fois sur chaque éprouvette, et nous avons par la suite calculé la moyenne des trois mesures obtenues sur chaque éprouvette de mortier.

IV-2-2- Résultats de l'essai ultrason sur les éprouvettes prismatiques :

Les résultats des essais effectués sur les éprouvettes prismatiques sont donnés dans le tableau IV-2, et reportés sur histogrammes présentés sur les figures (IV-3),(IV-4)

Tableau IV- 2 : Vitesse longitudinale de propagation des vitesses ultrasonores dans les prismes à différents âges.

Compositions	Vitesse à 14J [m/s]	Vitesse à 28J [m/s]	Vitesse à 56J [m/s]
100% SR	4167	4124	4444
70%SR 30%SDT	4244	4030	4425
70%SR30%PM	4222	4290	4237
70%SR 30%SDB	4020	4156	4310
70%SR 15%SDT 15%PM	4030	4145	4211
100% PM	4290	4348	4313
100% SDT	4420	4558	4558

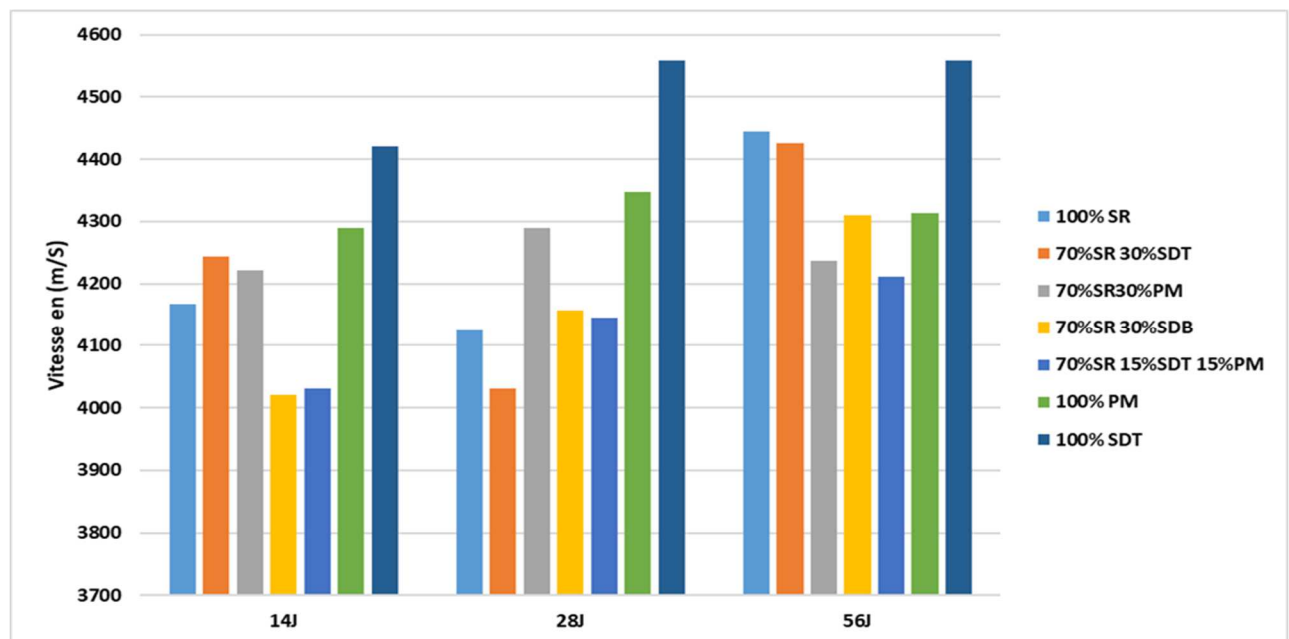


Figure IV-3 : Evolution de la vitesse des ondes ultrasonores en fonction de l'âge pour les différentes compositions

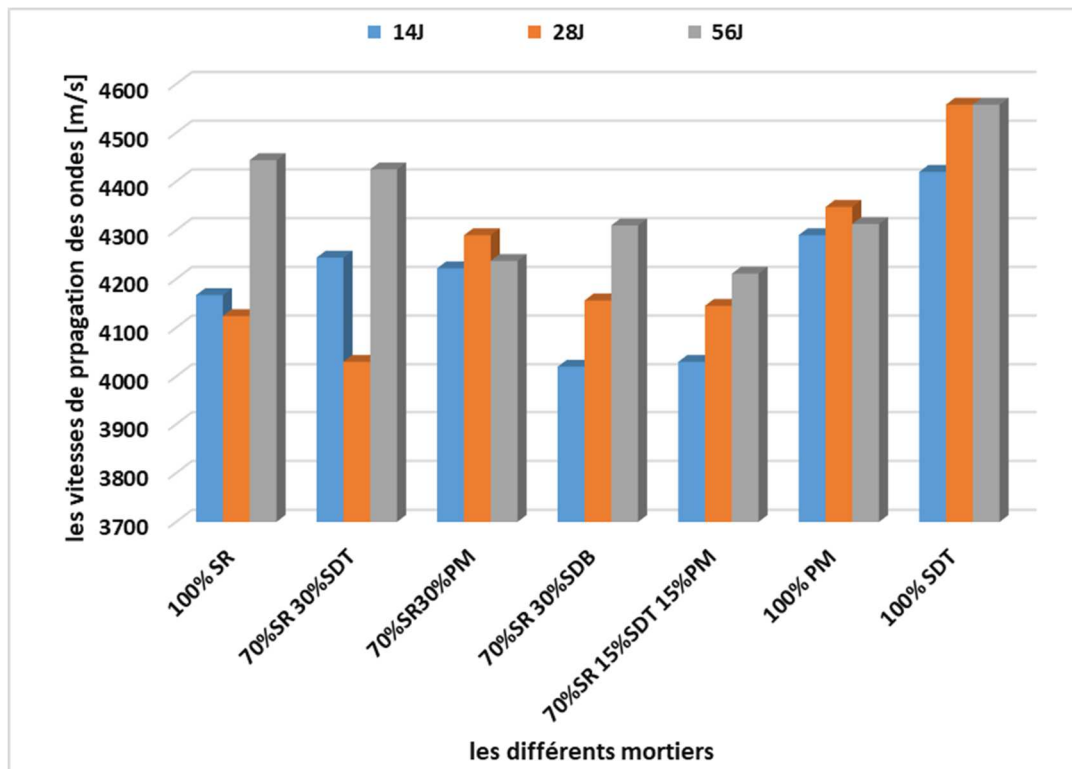


Figure IV-4 Evolution des vitesses d'ondes ultrasonores de chaque mortier a 14,28,56 jours.

- D'après les résultats obtenus on constate que relativement au jeune âge les meilleurs résultats sont obtenus à long terme plus précisément à 56 jours, pour la plupart des compositions. Autrement dit la résistance augmente avec l'âge pour la majorité des compositions
- Pour tous les âges on remarque que les résultats obtenus pour la composition 100% SR et 70%SR30%SDT sont proches.
- Pour les variantes 100% PM et 100% SDT, entre 28j et 56j on constate que la variation de la vitesse des ondes ultrasonores n'est pas vraiment considérable
- A tous les âges testés la substitution totale du sable de rivière par le sable de dune de Touggourt donne de meilleurs résultats que l'utilisation du sable de rivière seul.

IV-2-3- Résultats de l'essai ultrason sur les dalles :

Les résultats des essais ultrasons effectués sur les dalles sont donnés dans les tableaux (IV.3), et reportés sur histogrammes présentés sur la figure (IV-5)

Tableau IV- 3 : Vitesse de propagation longitudinale des ondes ultrasonores dans les dalles armées de textile à 56J.

Composition	Vitesse à 56J [m/s]
100% SR (Non armée)	4688
100% SR	4688
70%SR 30%SDT	4688
70%SR30%PM	4688
70%SR 30%SDB	4688
70%SR 15%SDT 15%PM	3797
100% PM	3797
100% SDT	4615

Afin de faciliter l'interprétation de ces résultats, nous avons représenté en histogramme les différentes vitesses d'ondes pour les différentes compositions de mortier.

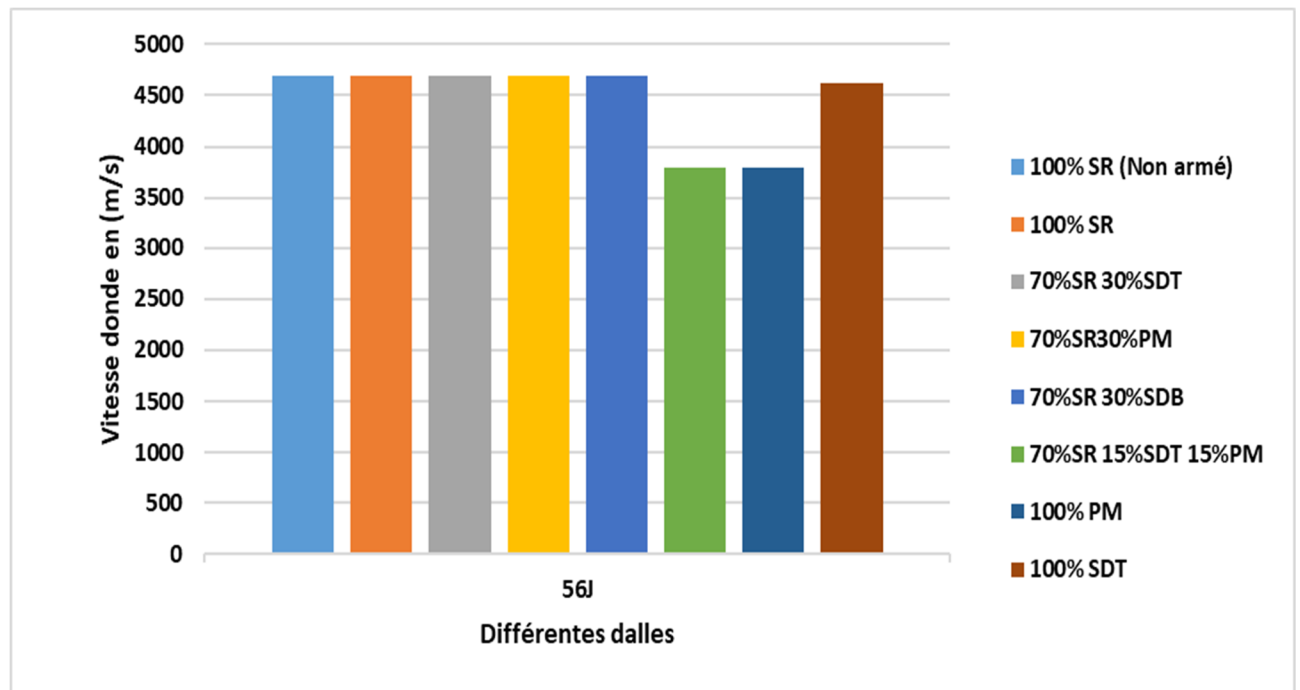


Figure IV-5 : Vitesses des ondes ultrasonores obtenues pour les différentes dalles à 56j.

IV-2-4-Discussion et interprétation des résultats

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (voir **figure IV-6**) sont donnés dans le cas où le béton ou mortier testé est considéré connu. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ. C'est pour cette raison que par exemple dans les procès-verbaux du CNERIB, seuls les appréciations suivantes sont données :

- Classements qualitatifs :
 - ✓ $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$ béton de faible résistance,
 - ✓ $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$ béton de moyenne résistance,
 - ✓ $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$ béton à haute résistance,
 - ✓ $V \geq 4200 \text{ m/s}$ béton à très haute résistance.

- Estimation de la résistance du béton selon RILEM

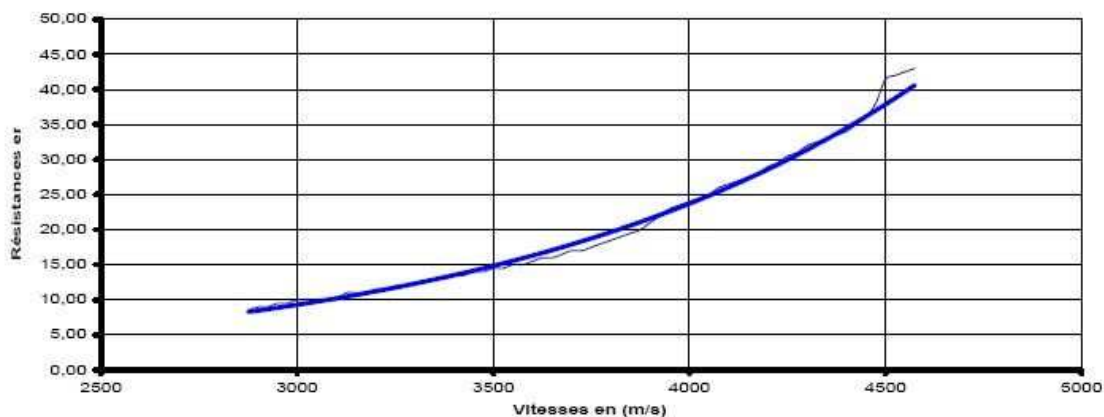


Figure IV- 6 : Courbe RILEM

Et on a trouvé aussi la vitesse max qui dépasse 4600 donc :

$V \geq 4200 \text{ m/s}$ mortier à très haute résistance.

On a trouvé la vitesse min qui est 3797 donc selon la courbe RILEM

$3700 \text{ m/s} \leq 3797 < 4200 \text{ m/s}$ mortier à haute résistance,

En conclusion on peut dire que tous les types de mortier qu'on a testé ont de hautes résistances.

IV-3- Essais de compression à différents âges (NF P 18-406) :

La résistance à la compression est calculée selon l'équation suivante :

$$R_f = \frac{F_c}{b^2}$$

Avec :

R_f : Résistance à la compression en [MPa]

F_c : Charge de rupture en [N]

b : Côte de l'éprouvette est égale à 50 [mm].

La résistance mécanique en compression est une caractéristique essentielle d'un béton ou d'un mortier ; elle correspond à la charge de rupture (charge maximale) enregistrée au cours de l'essai d'écrasement sous une contrainte normale axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette. (Voir la Figure IV- 7) :



Figure IV-7 : Le presse hydraulique Ibertest de l'essai mécanique de Compression au niveau du laboratoire béton-UMMTO

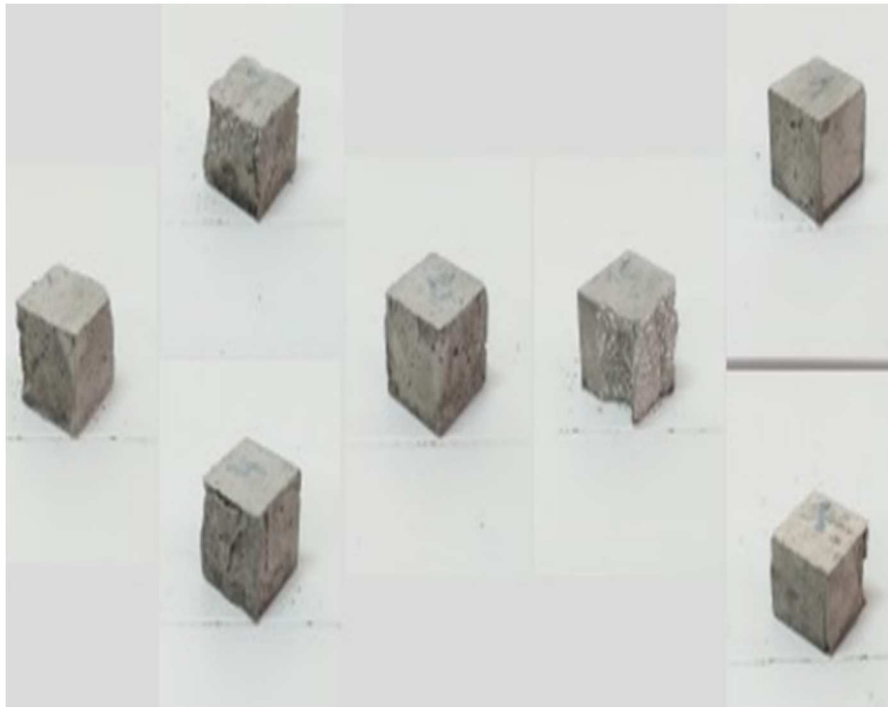


Figure IV- 8 : Eprouvettes cubiques après essai de compression a l'âge de 28 jour



Figure IV-9 : Eprouvettes cubiques après essai de compression à l'âge de 28 jours.

Les résistances mécaniques obtenues sur les éprouvettes cubiques testées, pour les différentes matrices cimentaires sont cosignés dans les tableaux suivant :

IV-3- 1-Essais de compression a 7 jours :

Tableau IV- 4 : Résistances à la compression des mortiers étudiés à 7j

Composition	Résultat d'essai de compression 7J en [MPa]
100% SR	23.88
70%SR 30%SDT	20.13
70%SR30%PM	37.47
70%SR 30%SDB	17.78
70%SR 15%SDT 15%PM	24.39
100% PM	39.38
100% SDT	23.78

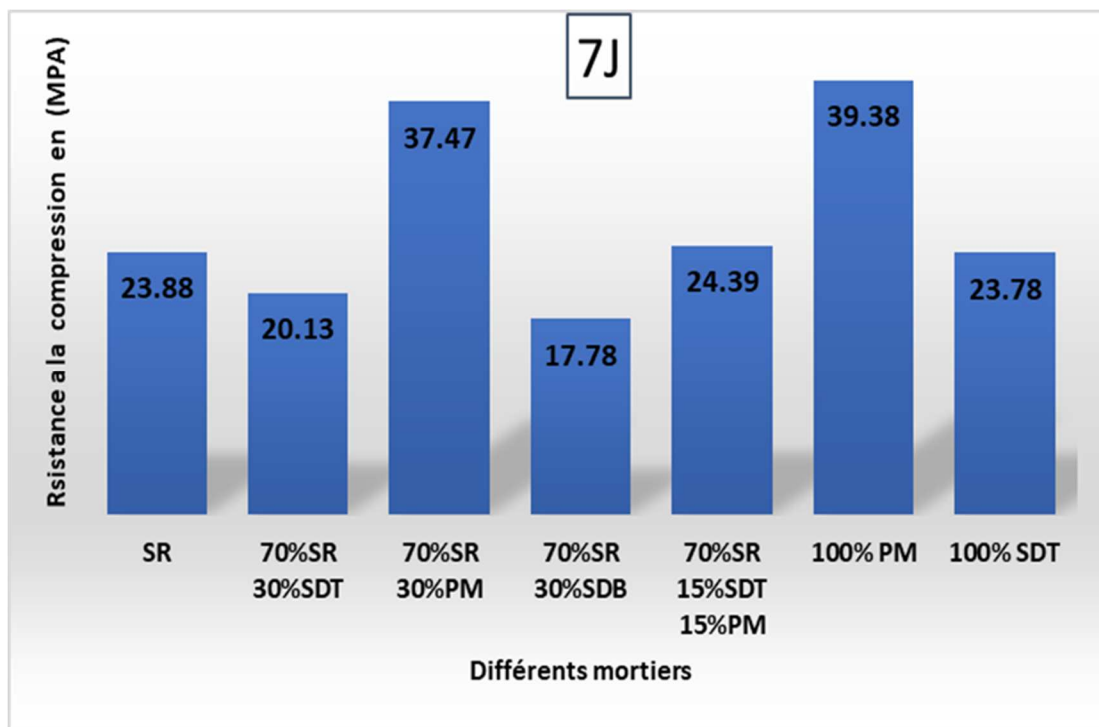


Figure IV- 10 : La résistance à la compression des mortiers à 7 jours.

D'après les résultats obtenus on constate que la meilleure résistance est obtenue pour la composition 100% PM avec une valeur de 39,38 Mpa suivie par la composition 70 %SR 30% PM avec une valeur de 37,47 Mpa. Tandis que la plus faible valeur est obtenue pour la composition 70 % SR 30% SDB avec 17,78 Mpa

On déduit qu'à l'âge de 7 jours la substitution que ce soit partielle ou totale du sable de rivière par la poudre de marbre donne une meilleure résistance à la compression que l'utilisation du sable de rivière seul. Pour la substitution totale le gain en résistance est de l'ordre de 148,66%

IV-3- 2-Essais de compression a 14 jours

Tableau IV- 5 : Résistances à la compression des mortiers étudiés à 14j

Compositions	Contrainte en [MPa]
100% SR	43.49
70%SR 30%SDT	28.80
70%SR30%PM	38.85
70%SR 30%SDB	25.87
70%SR 15%SDT 15%PM	32.13
100% PM	33.57
100% SDT	34.90

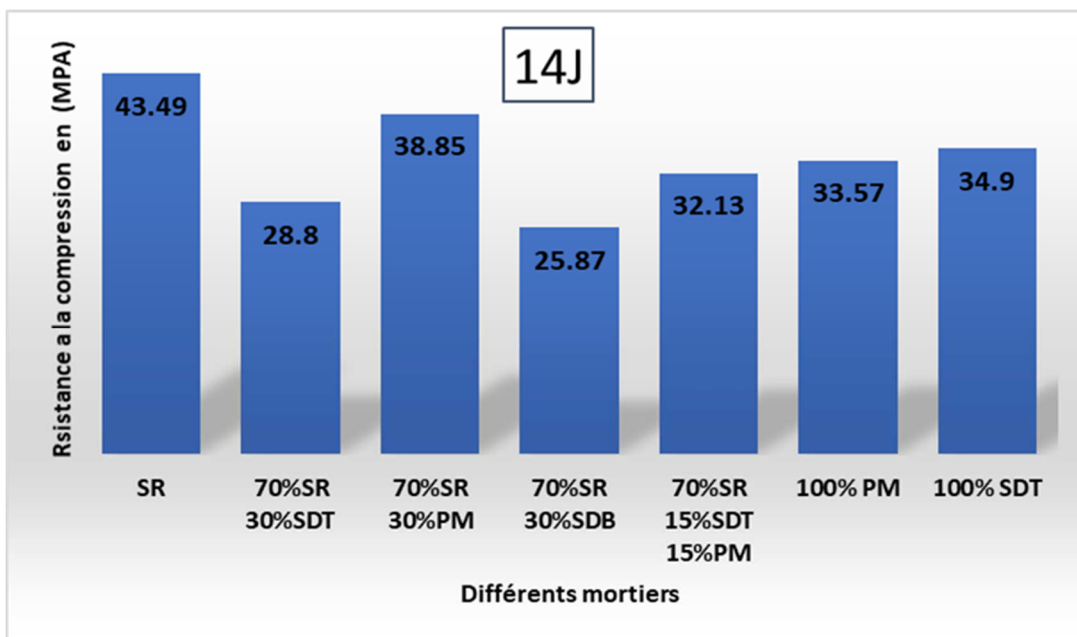


Figure IV- 11 : La résistance en compression des mortiers à 14 jours.

A l'âge de 14 jours on constate une augmentation considérable de la résistance à la compression de la composition 100 %SR relativement aux autres compositions (43,49 Mpa). Tandis que la résistance de la composition 100 % PM a diminué

Cependant la substitution du sable de rivière par la poudre de marbre donne toujours un meilleur résultat relativement à sa substitution par le sable de dune.

IV-3- 3-Essais de compression a 28 jours

Tableau IV- 6 : Résistances à la compression des mortiers étudiés à 28j

Compositions	Résultat en [Mpa]
100% SR	45.87
70%SR 30%SDT	29.20
70%SR30%PM	44.55
70%SR 30%SDB	30.14
70%SR 15%SDT 15%PM	30.64
100% PM	29.85
100% SDT	38.22

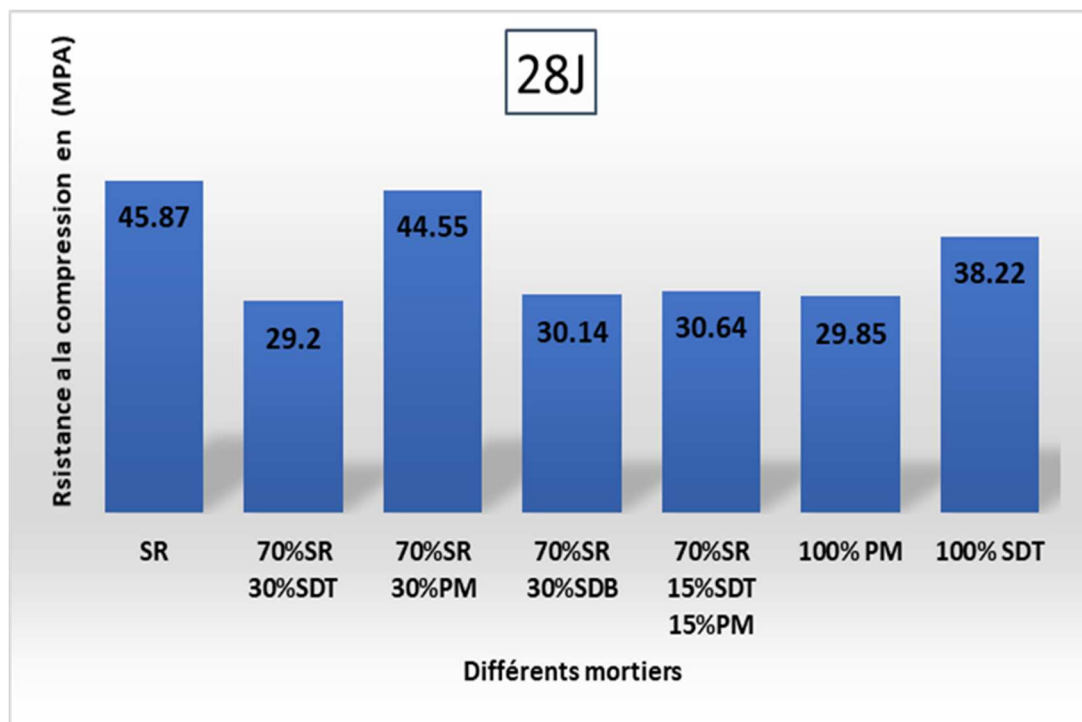


Figure IV- 12 : Résistance en compression des mortiers à 28 jours.

A l'âge de 28 jours la résistance à la compression de la composition 70 %SR 30% PM (44,55 Mpa) approche celle de la composition 100 %SR (45,87 Mpa)

La résistance de la composition 100 %SDT a dépassé la composition 100 % PM avec les valeurs respectives de 38,22 Mpa et 29,85 Mpa

IV-3- 4- Essais de compression à 56 jours

Tableau IV- 7 : Résistances à la compression des mortiers étudiés à 56j

Compositions	Résultat de compression en [Mpa]
100% SR	49.43
70%SR 30%SDT	44.48
70%SR30%PM	40.16
70%SR 30%SDB	44.18
70%SR 15%SDT 15%PM	42.46
100% PM	41.65
100% SDT	43.35

Les résultats des tableaux IV- 6 sont présentés dans les figures suivantes :

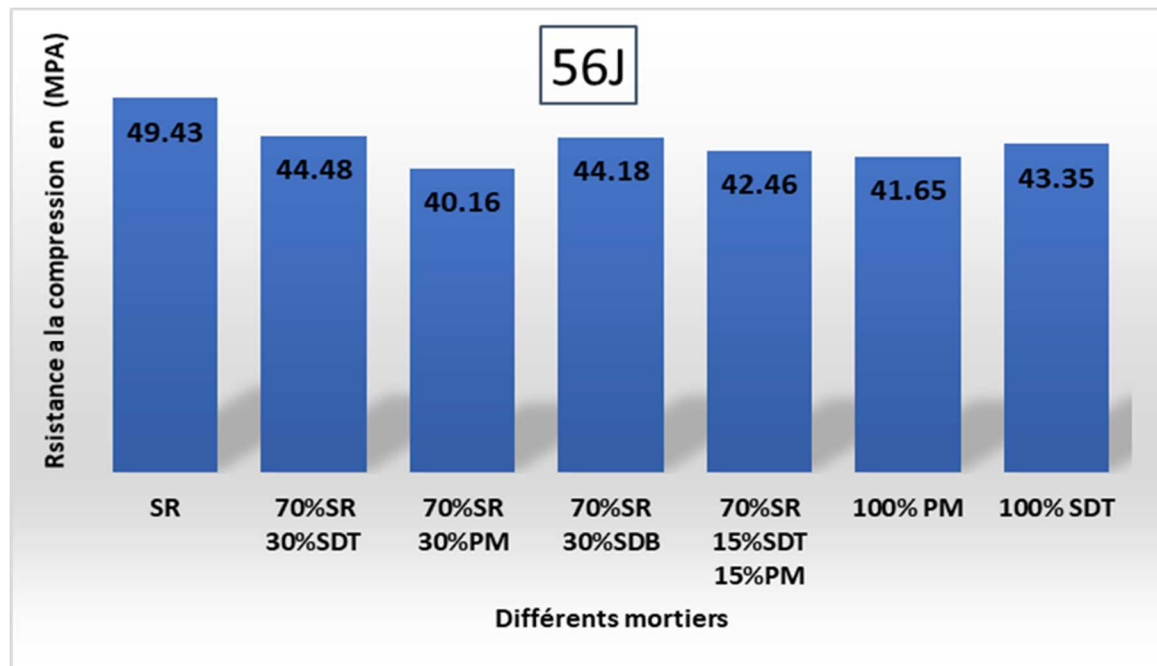


Figure IV- 13 : La résistance à la compression des mortiers à 56 jours.

A l'âge de 56 jours la meilleure résistance est toujours obtenue pour la variante 100 %SR

On remarque une augmentation considérable pour tous les mortiers, notamment la composition 70%SR 30%SDT qui a atteint une valeur de 44,48 Mpa pas loin de celle obtenue pour la composition 100% SR.

Comparaison des résultats pour les différents âges :

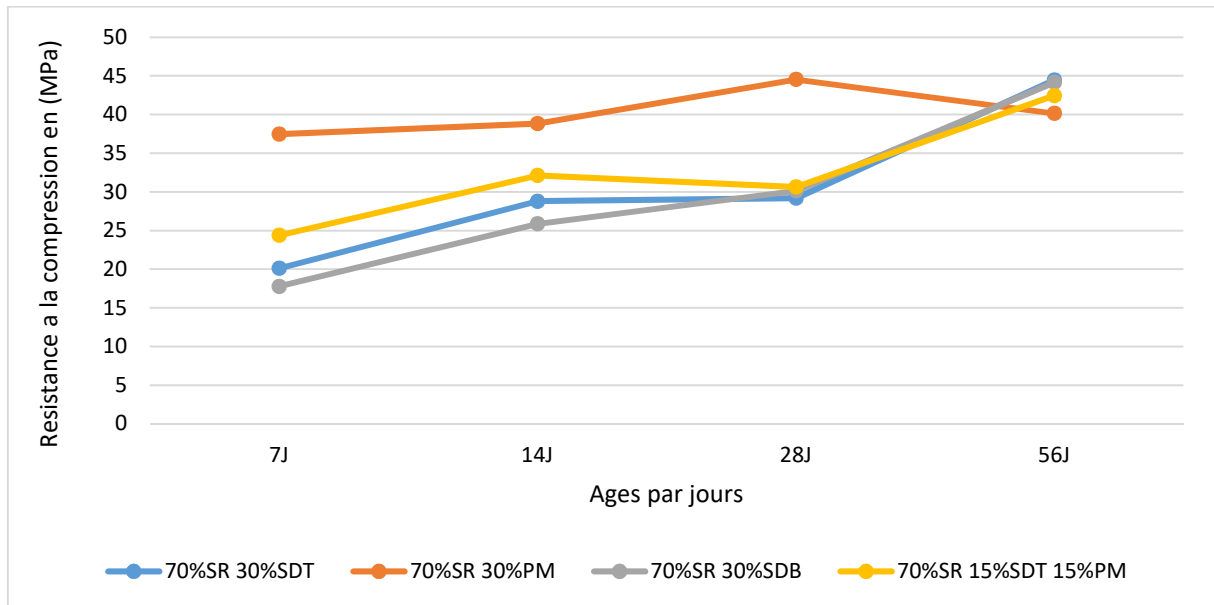


Figure IV- 14 : Courbe de résistance à la compression des mortiers avec substitution de sable en pourcentage obtenue à 7,14,28,56 jours

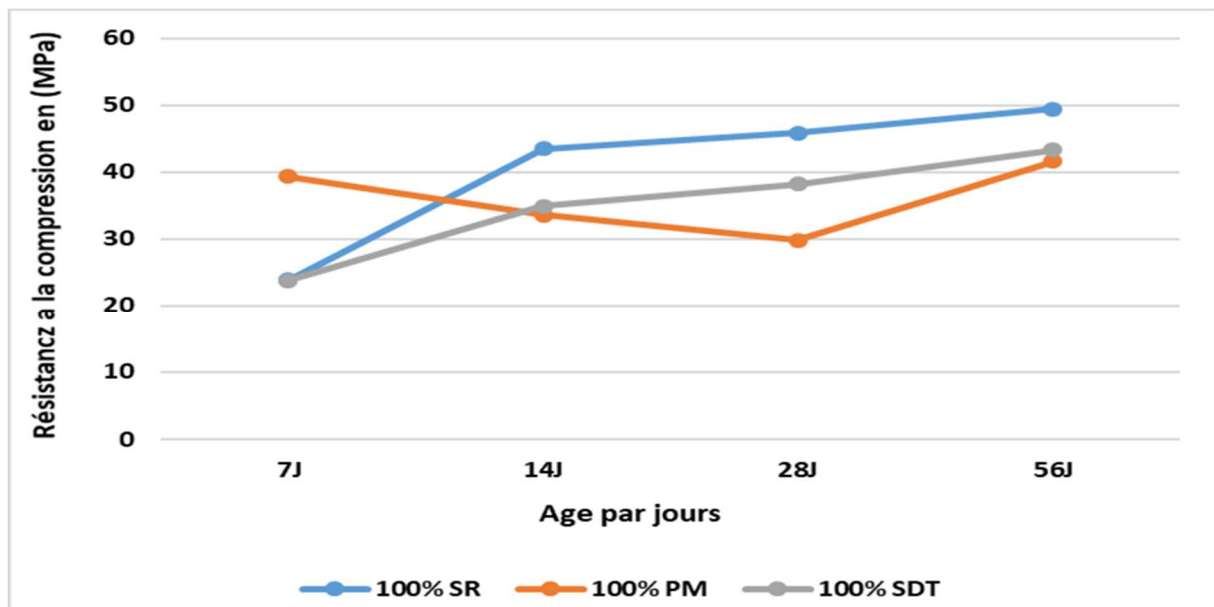


Figure IV- 15 : Courbe de résistance à la compression des mortiers avec différents types de sables obtenue à 7,14,28,56 jours

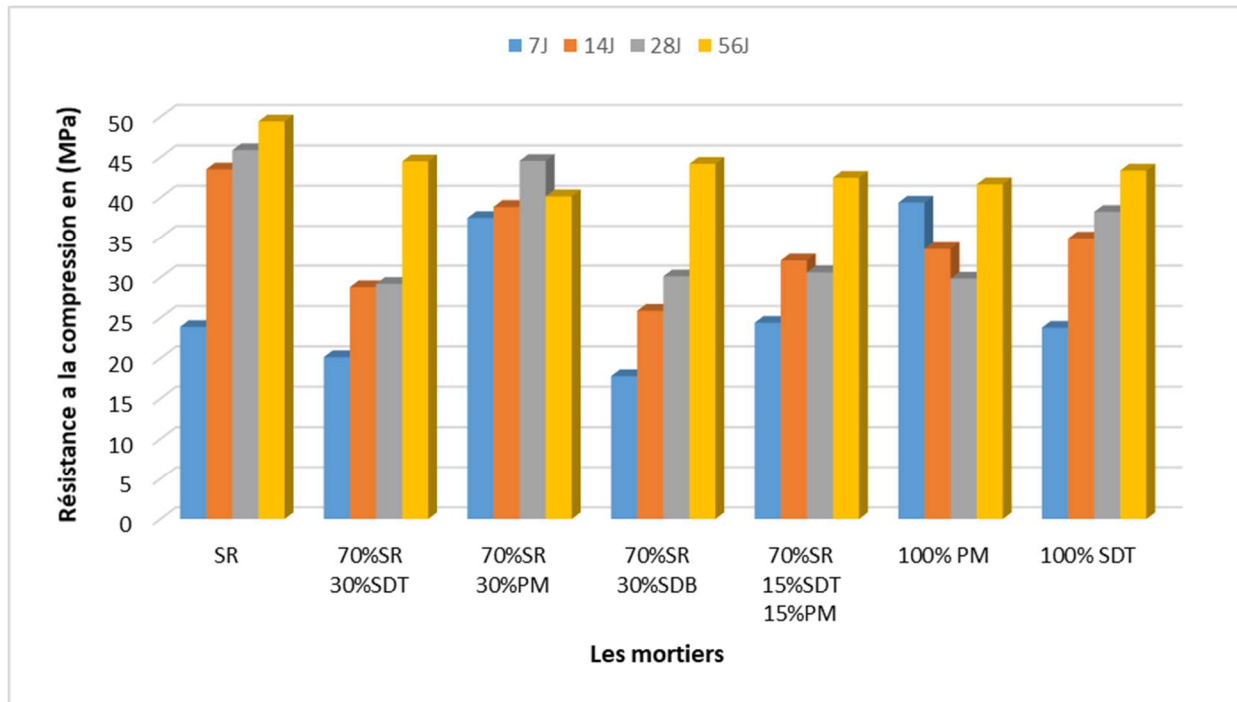


Figure IV- 16 : Résistance à la compression des différents mortiers à différents âges 7, 14, 28 et 56 jours

Interprétation :

- A l'âge de 7 jours, on remarque des résistances considérables des variantes 100% PM et 70%SR 30% PM qui sont respectivement 39.38 MPa et 37,47 Mpa, dépassant largement la résistance de la composition 100% SR (23,88 Mpa)
- Au 14^{ème} jour, on constate que les résistances de tous les mortiers augmentent, sauf celle de 100% PM avec une résistance de 33.57 MPa.
- Au 28^{ème} jour, on remarque que les résistances n'ont pas beaucoup augmenté sauf celle de 100% PM elle diminue encore pour atteindre 29.85 MPa.
- A long terme, on constate que toute les résistances sont élevées et proches de celle de 100%SR qui a atteint 49,43MPa.
- D'après la figures Figure IV- 13, la résistance à la compression augmente avec l'âge dans les deux cas de substitution à 30 % du sables de rivière par les le sable de dunes de Touggourt et le sable de dune de Boussaâda, tandis que pour la substitution par la poudre de marbre elle diminue
- La résistance à la compression augmente avec l'âge jusqu' a 56 jours (limite de nos essais) pour toutes les compositions, sauf la composition (100% PM) et (70%SR 30% PM) pour lesquelles on a constaté une diminution.

➤ **IV-4-Flexion quatre points :**

La Figure III.24 montre une structure sous chargement de flexion Quatre-points. Dans ce cas on utilise les mêmes appuis simples, mais on applique deux charges au lieu d'une seule charge concentrée

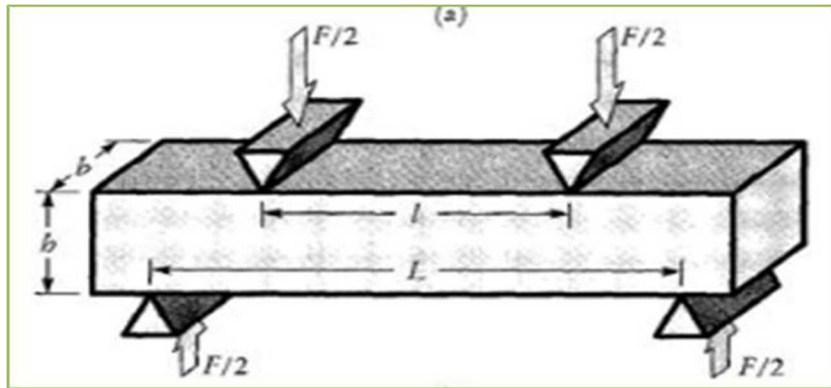


Figure IV- 17 Essai de flexion 4points [37]

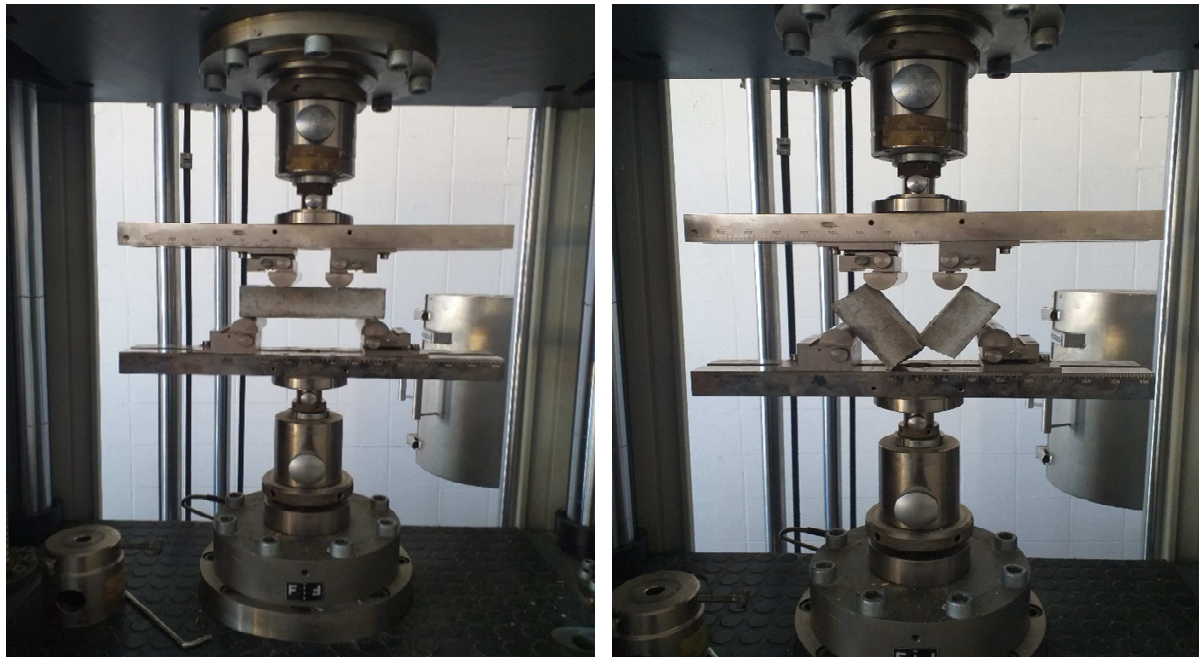


Figure IV- 18 : Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion (4 points)

[Laboratoire UR-MPE/FSI-Boumerdes]

IV-4-1-Résultats de l'essai de flexion 4 points :

Le test de flexion quatre points, est différent à l'essai de flexion trois points mais présente l'avantage de ne pas positionner l'appui au niveau de la zone de rupture. Ceci est en effet une limitation du système à trois points où l'appui central peut endommager l'éprouvette (pré fissuration de contact) et fausser ainsi les résultats en entraînant une rupture précoce de celle

ci. Aussi, contrairement au test de flexion 4 pts, le comportement de rupture principal de ce type de test est un cisaillement et non pas une rupture par traction.

Les charges de rupture obtenues sur les éprouvettes prismatiques testées sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau IV- 8 : Dans le tableau suivant, on a résumé les forces maximales de différents mortiers à différents âges à 28 et 56 jours par l'essai de flexion 4 points.

Compositions	Résultat d'essai de flexion a 28 j en [KN]	Résultat d'essai de flexion a 56 j en [KN]
100% SR	3.323	5.063
70%SR 30%SDT	3.204	4.476
70%SR30%PM	4.064	5.224
70%SR 30%SDB	2.439	4.058
70%SR 15%SDT 15%PM	4.041	3.065
100% PM	4.853	6.113
100% SDT	2.325	4.179

Les résultats du tableau IV-8 sont repris dans les graphes IV-19 et IV-20 pour chaque mortier :

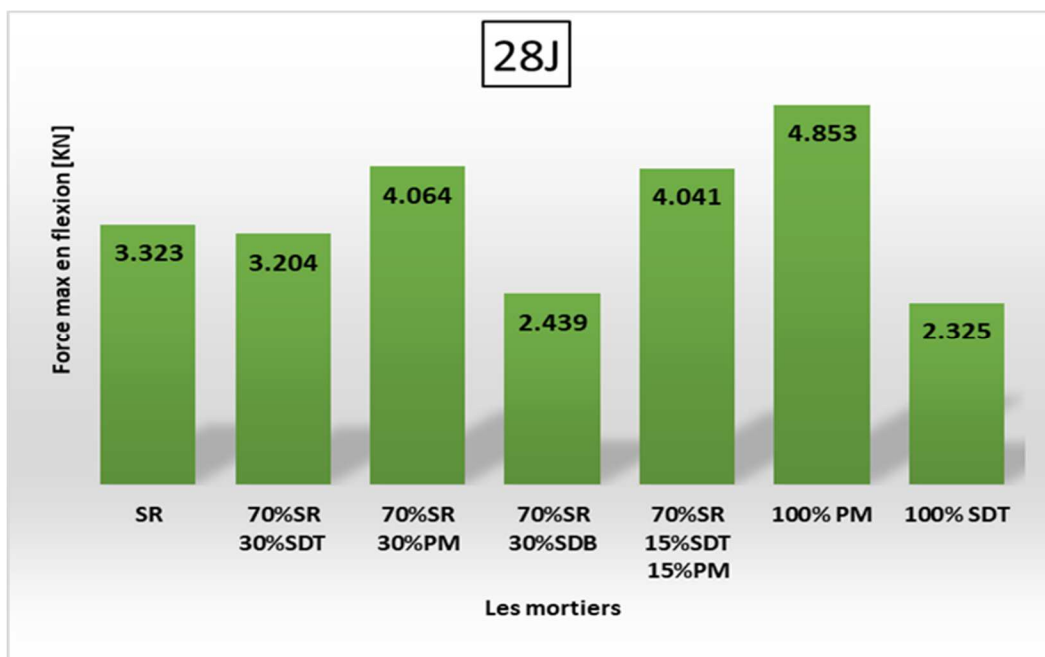


Figure IV- 19 : Force max en flexion des mortiers a 28j

A l'âge de 28 jours la meilleure résistance est obtenue pour la composition 100 %PM (4,853 KN) , suivie par la composition 70 %SR 30% PM (4,064 KN) , puis la composition 70 %SR 15% SDT15%PM (4,044 KN).

Les plus faibles résistances sont obtenues pour les compositions 100 %SDT (2,325 KN) et La composition 70 %SR 30%SDB (2,439 KN).

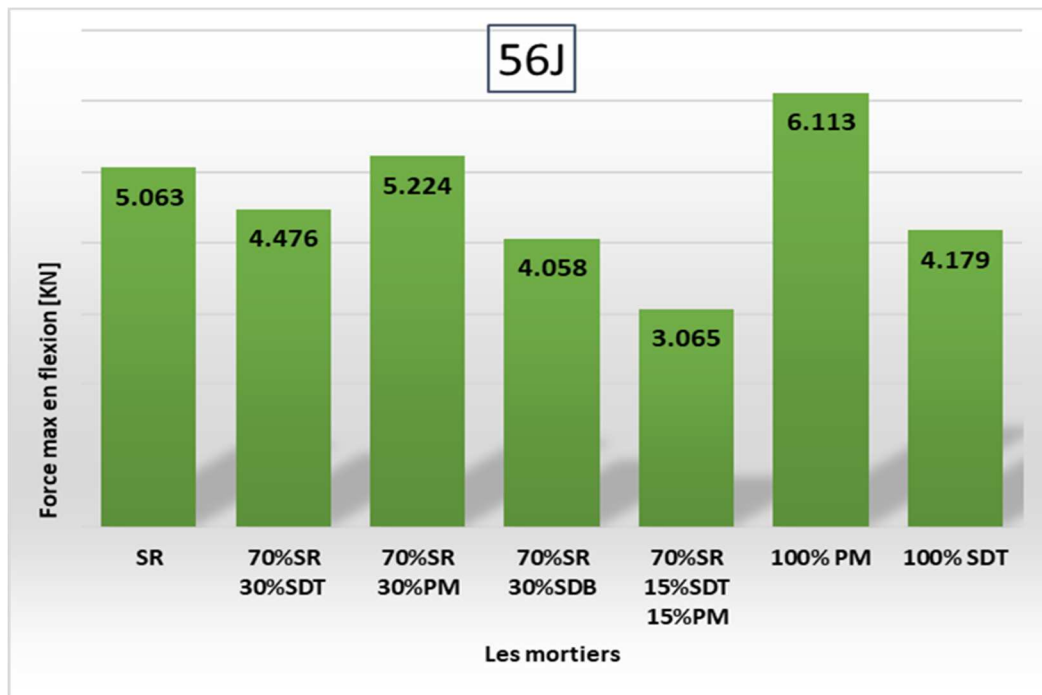


Figure IV-20 : Force max en flexion des différents mortiers a 56j

A l'âge de 56 jours on constate une augmentation considérable de la force max pour toutes les compositions. la force maximum est toujours obtenue pour la composition 100 %PM (6,113 KN) , suivie par la composition 70 %SR 30% PM (5,224 KN) , puis la composition 100 %SR (5,063 KN).

On remarque que la substitution de sable de rivière par 30% de poudre de marbre a donné une meilleure force (5,224 KN) à la flexion que le sable de rivière seul (5,063 KN).

La composition 70%SR 15%SDT15%PM à donner la plus faible force (3,065 KN) à la flexion a 56 jour tandis qu'a 28 jour elle été plus élevée (4,041 KN)

IV-4-2-La résistance à la flexion (4 points) est calculée selon l'équation générale : [37]

$$\sigma^{max} = \pm \frac{3}{2} \left(\frac{F \times (L - l)}{b \times h^2} \right)$$

σ^{\max} : La contrainte max à la flexion (4 pts) en [MPa]

F : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion [N] ;

l : Longueur qui sépare les deux appuis égale à 60mm ;

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm=hauteur h.

Les valeurs des contraintes max pour chaque mortier est calculées à l'aide de la formule précédente puis regroupées dans le tableau V-8.

Tableau IV- 9 : Contraintes max dues à la flexion 4Pts des différents mortiers étudiés à 28j et 56j.

Compositions	Résultats Flexion 4Pts à 28 j en [MPa]	Résultats Flexion 4Pts à 56 j en [MPa]
100% SR	6.230	9.493
70%SR 30%SDT	6.007	8.392
70%SR30%PM	7.62	9.795
70%SR 30%SDB	4.573	7.608
70%SR 15%SDT 15%PM	7.576	5.746
100% PM	9.099	11.461
100% SDT	4.359	7.835

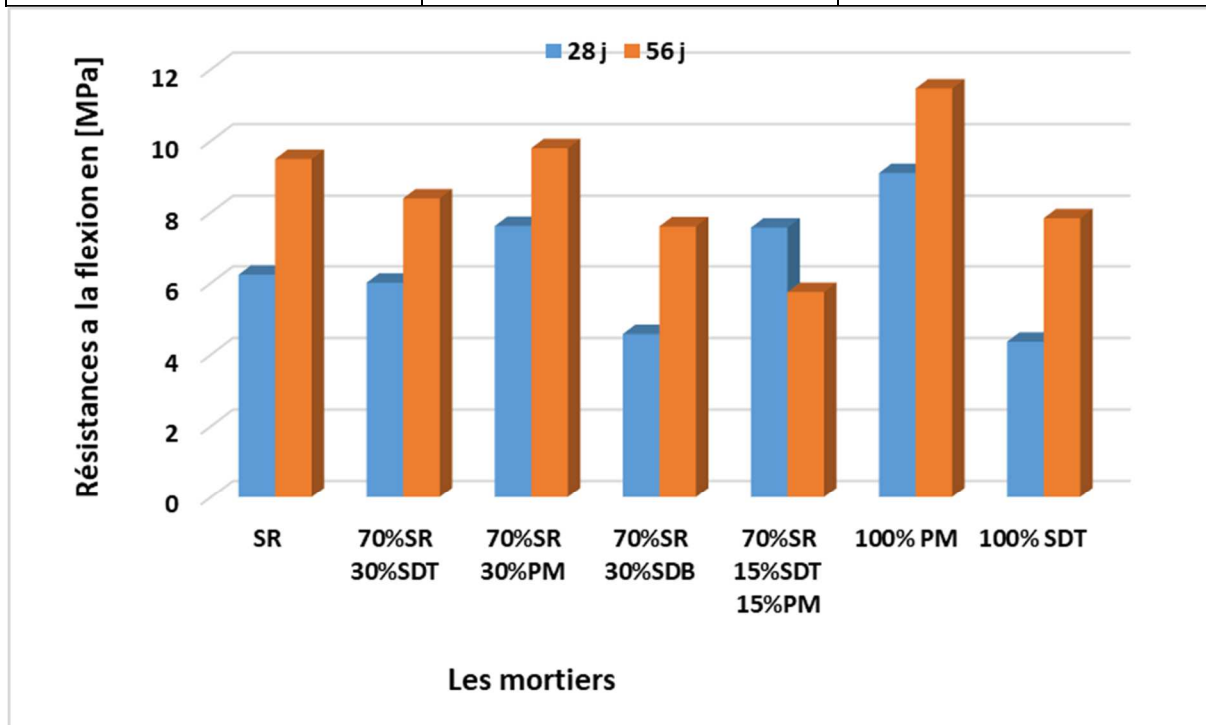


Figure IV- 21 : Résistance en flexion des différents mortiers a différents âges 28 et 56 jours

Interprétation :

- A l'âge de 28 jours, les mortiers à base de la poudre de marbre 100% PM ; 30%PM et 15% PM donne les plus grandes résistances en flexion par rapport aux autres matrices.
- Au 56^{ème} jour, on constate une augmentation considérable de la résistance a la flexion pour toutes les compostions, excepté la variante 15%PM et 15%SDT pour laquelle la résistance chute.
- Le mortier 100%PM donne la plus grande résistance en flexion aux différents âges.
- A différents âges, la substitution du sable de rivière par 30% de poudre de marbre a donné une meilleure résistance à la flexion que le sable de rivière seul.

IV-5- Essai de poinçonnement centré :

Le poinçonnement est caractérisé par une force concentrée agissant perpendiculairement sur une dalle telle que la réaction d'une colonne ou charge concentrée

Ce test a été réalisé sur des plaques en mortier de 3*36*36cm, armées d'une couche de textile de fibres de verre disposée à 1 cm de la fibre inférieure de la dalle, Pour assimiler le poinçon on a utilisé une pièce métallique carré de dimensions (3*3*1) cm³) sur laquelle est appliquée la charge, disposée au centre de la dalle. La vitesse du chargement est de 0.01KN/S.



Figure IV- 22 : Dalle subie un essai de poinçonnement au niveau de
Laboratoire [UR-MPE/FSI-Boumerdes]

IV-5- 1-Résultats d'essai de poinçonnement a 56jours

Dans ces essais on a utilisé le textile de fibres de verre comme renfort à nos dalles, pour étudier et quantifier l'apport du textile dans les différents cas de substitution du sable de rivière par la poudre de marbre et sable de dune. Malheureusement au moment de l'essai la machine arrête le processus du chargement dès la première fissure du spécimen, autrement dit on n'a pas pu tester les dalles jusqu'à la ruine.

Le tableau suivant récapitule les différentes forces de première fissure des essais de poinçonnement effectués sur les différentes variantes

Toutes les variantes sont armées sauf la variante 100% SR qui représente un spécimen témoin

Tableau IV- 10 : Résultats de l'essai de poinçonnement pour les différentes compositions de mortier

Compositions	Force max obtenue par poinçonnement en [KN]
100% SR	7.35
100% SRA	7.45
100% SDT	4.89
100% PM	5.44
70%SR 30%PM	6.57
70%SR 15%SDT 15%PM	6.33
70%SR 30%SDT	5.72
70%SR 30%SDB	5.12

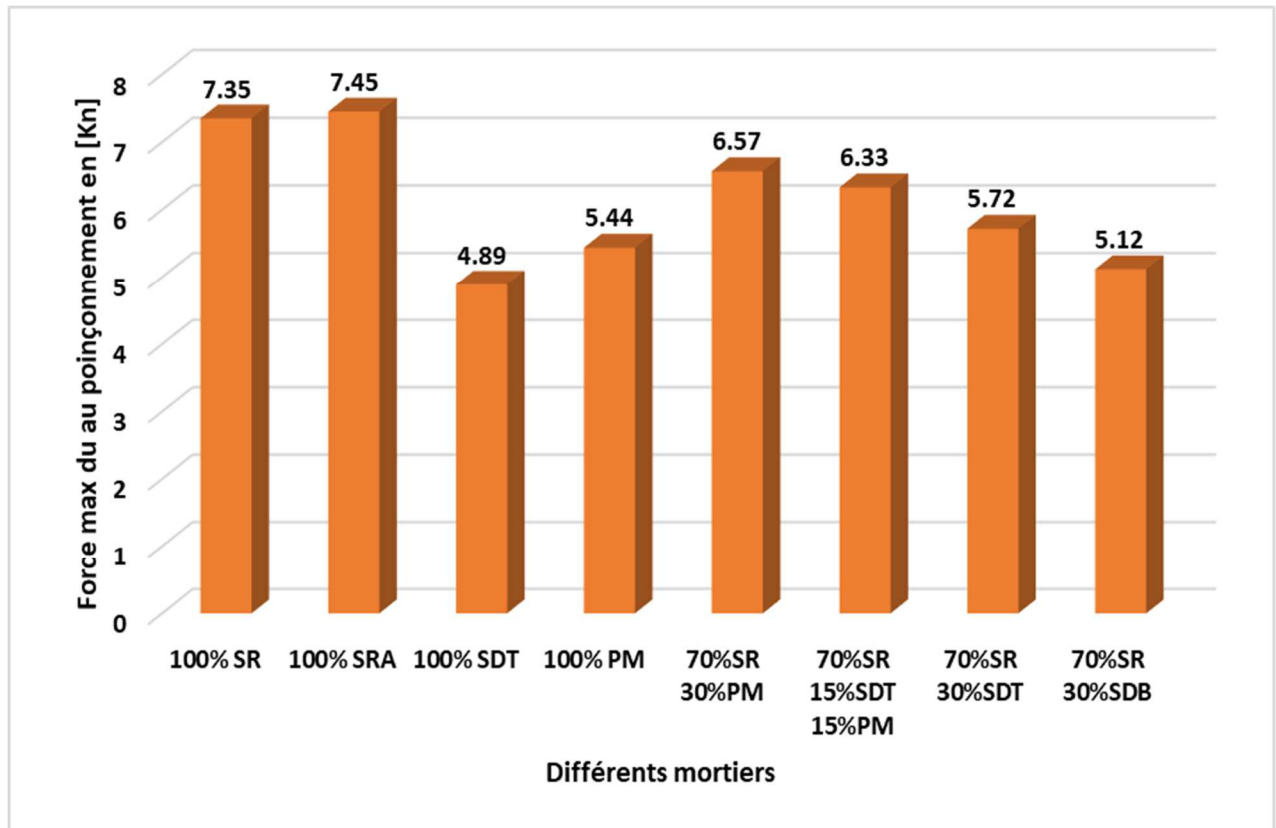


Figure IV- 23 : Force maximales de l'essai de poinçonnement sur les différents mortiers à 56 jours

Interprétation :

- On constate que la composition 100% SRA présente la meilleure résistance au poinçonnement, tandis que la variante 100% SDT présente la plus faible valeur.
- La force est plus élevée lorsqu'on a substitué le sable de rivière par 30% de la poudre de marbre que la substitution totale de cette poudre.
- La substitution totale du sable de rivière que ce soit par le sable de dune, ou par la poudre de marbre diminue significativement la résistance au poinçonnement.
- Vis-à-vis des sollicitations de poinçonnement la substitution du sable de rivière par la poudre de marbre donne une meilleure résistance par rapport à sa substitution par le sable de dune

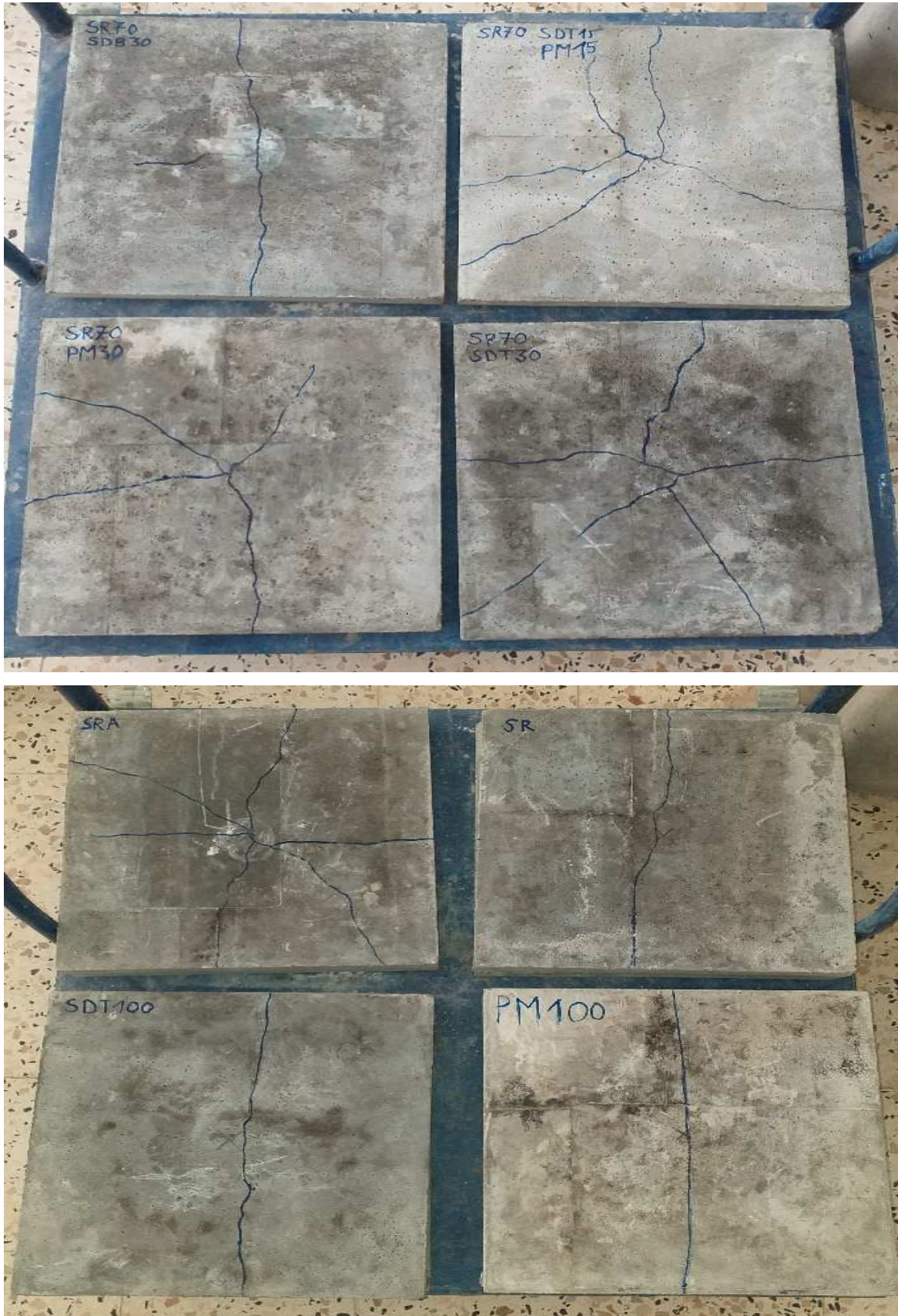


Figure IV- 24 : Modes de rupture des dalles après l'essai poinçonnement à 56 jours

Observations :

D'après les différentes figures IV.24, on constate deux principaux modes de rupture, à savoir la rupture par poinçonnement et la rupture par flexion. La rupture par poinçonnement est caractérisée par un champ de fissurations de faibles largeurs et longueurs autour de la zone la plus sollicitée en traction (face inférieure de la dalle), cependant la rupture par flexion est caractérisée par une fissure parallèle à un des côtés de la dalle, ou deux fissures qui se croisent, parallèles aux deux directions principales, qui se propagent jusqu'aux extrémités de la dalle.

La rupture par poinçonnement se produit lorsque la dalle développe une importante résistance au chargement exercé, tandis que la rupture par flexion se produit pour les dalles les plus fragiles.

- La rupture fragile par flexion est observée pour les dalles 100% SDT et 100% PM armées de textile et la dalle 100% SR
- Les variantes (70%SR 30%PM), (70%SR 30%SDT) et (70%SR 15%SDT 15%PM) ou la substitution du sable de rivière est de 30 %, ainsi que la variante 100% SRA on constate une rupture par poinçonnement

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans le cadre de ce mémoire, on s'est intéressé à l'influence de la substitution du sable de rivière à différents pourcentages par deux matériaux différents, à savoir le sable de dunes et la poudre de marbre.

Des essais expérimentaux ont été effectués en vue de conforter ou compléter les éléments bibliographiques présentés.

D'une part on a étudié l'influence de cette substitution sur l'évolution de la résistance à la compression, à la flexion 4 points et au poinçonnement à l'âge de 7, 14, 28 et 56 jours. D'autre part on a mesuré la vitesse des ondes ultrasonores à différents âges pour les différentes éprouvettes

D'après les résultats obtenus, on a constaté

En compression

- Au jeune âge, la substitution que ce soit partielle ou totale du sable rivière par la poudre de marbre donne de meilleurs résultats que la substitution par le sable de dune, cependant à 28 et 56 jours cette résistance diminue.
- À 28 et 56 jours ; la substitution que ce soit partielle ou totale du sable rivière par le sable de dune de Touggourt donne de meilleurs résultats que la substitution par la poudre de marbre
- La substitution du sable de rivière par le sable de dunes de Touggourt donne de meilleurs résultats que celle du sable de dunes de Boussaâda
- À long terme l'utilisation de sable de dune dans le mortier permet d'atteindre des résistances comparables aux sables de rivières, atteignant 43,35MPa tandis que celle du sable de rivière est de 49,43MPa soit 12% de différence seulement.
- À l'âge de 56 jours l'utilisation de la poudre de marbre dans le mortier permet d'atteindre des résistances comparables aux sables de rivières, atteignant 41,65MPa tandis que celle du sable de rivière est de 49,43MPa soit 15% de différence

En flexion

- La poudre de marbre donne de meilleurs résultats que tous les sables même le sable de rivière seul.

Conclusion générale

- A différents âges, la substitution du sable de rivière par 30% de poudre de marbre a donné une meilleure résistance à la flexion que le sable de rivière seul.

Au poinçonnement

- La substitution des sables de rivière par la poudre de marbre donne un meilleur comportement par rapport à sa substitution par le sable de dune.
- La substitution totale du sable de rivière que ce soit par la poudre de marbre ou par le sable de dune engendre une chute de la résistance et une rupture fragile par flexion.
- Le textile améliore le comportement des dalles vis-à-vis des sollicitations de poinçonnement, en effet pour la dalle constituée de sable de rivière ; on passe d'une rupture fragile par flexion obtenue pour la dalle non armée à une rupture par poinçonnement pour la dalle armée de textile.
- L'arrêt du chargement à la première fissure nous a empêché de constater et d'évaluer l'apport du textile dans le poinçonnement des dalles en terme de charge maximale supportée et de flèche maximale.

A l'ultrason

- Le sable de dune de Touggourt donne les meilleurs résultats à tous les âges, ce qui est expliqué par sa finesse qui confère au mortier une meilleure homogénéité.
- ❖ Pour finir on constate que la substitution du sable de rivière par le sable de dune présente le double avantage d'une part augmenter les performances mécaniques des mortiers normalisés, d'autre part remplacer un matériau tarissable et surexploité par un matériau abondant et sous-exploité.
- ❖ Enfin concernant la poudre de marbre à côté de son influence dans le domaine de génie civil, elle contribue aussi au développement durable du pays, son utilisation est bénéfique pour l'environnement et l'homme, elle contribue à la réduction de déchets de marbre, comme la création des emplois, autrement dit, pour avoir de la poudre de marbre, on a besoin des carrières de recyclage pour recycler ces déchets et ça nécessite une main d'œuvre ce qui va aider à la réduction de taux de chômage

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique

- [1] Vorgelegt von Dipl.-Ing. Jens Uwe Hartig Numerical investigations on the uniaxial tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete 2011
- [2] Bederina M, Caractérisation mécanique et microstructure des bétons de sables locaux : effets des fillers et de la nature des sables sur le comportement mécanique du matériau, Thèse de Magister. Université de A. Tledji, Laghouat, Algérie ; (2000).
- [3] KEDDAM LYDIA " Caractérisation expérimentale des mortiers à base de poudre de marbre" mémoire master, Tizi-Ouzou, université Mouloud Mammeri, 2016/2017.
- [4] A. KOMAR, " Matériaux et éléments de construction ", Quatrième édition, Editions MIR. MOSCU
- [5] MICHEL VENUAT, " La pratique des ciments mortiers et bétons «, Tome1, Caractéristiques des liants et des bétons, Mise en œuvre des coulis et mortiers, Editions du Moniteur.
- [6] GEORGES DREUX, JEAN FESTA, " Nouveau guide du béton et de ses constituants ", Editions Eyrolles, 2002.
- [7] Emile Olivier, "Technologie des matériaux de construction », Techniciens de la construction (Tome 1), entreprise moderne d'édition, Paris, 1978.
- [8] cours de matériaux de constructions génie civil ; PDF
- [9] 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
- [10] AZZOUZ. Hocine, « Etude des bétons à base des sables de dune » mémoire de magister, université Mohamed kheider Biskra, année 2009.
- [11] 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.
- [12] Norme Française XP P 18-553 : Granulats -Préparation d'un échantillon pour essai, AFNOR 1990.
- [13] Norme Française EN 932-1: Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 1: Méthodes d'échantillonnage, AFNOR 1990.

Référence Bibliographique

- [14] GEORGES DREUX, JEAN FESTA « Nouveau guide du béton et de ses constituants » huitième édition ,2002.
- [15] Saadani Sabrina, "Comportement des bétons à base de granulats recyclés", Thèse de Magister, Université Mantouri Constantine.
- [16] COLLECTION TECHNIQUE CI M BÉTON FICHES TECHNIQUES, Le ciment et ses applications Nouvelle édition 2001.
- [17] BOUKLI.H, contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen, Thèse de Doctorat, Université Abou bekr belkaid-Tlemcen, 2009.
- [18] ELLEN SIMONSSON," Complex shapes with textile reinforced concrete", Master of Science Thesis in the Master's Programme Structural Engineering and Building Technology 2017
- [19] T. Büttner, A. Keil, J. Orłowski, and M. Raupach, "Einsatz von Polymeren in Textilbeton–Entwicklung polymermodifizierter Betone und Einflüsse auf die Dauerhaftigkeit," 2009.
- [20] ELLEN SIMONSSON. Applications, d'un matériau TRC pour le renforcement et la réparation de structures en béton/et béton armé : Approches expérimentale et numérique. Génie civil. Université de Lyon, 2017.
- [21] Dossier pédagogique Textiles d'hier, d'aujourd'hui et de demain • CCSTI du Rhône – Université de Lyon
- [22] le renforcement et la réparation de structures en béton/et béton armé : Approches expérimentale et numérique. Génie civil. Université de Lyon, 2016.
- [23] B. Wulfhorst, O. Maetschke, M. Osterloh, A. Büsgen, and K.-P. Weber, Textile technology. Wiley Online Library, 2006.
- [24] Julie Brennan BA, PhD, PG Cert Reader in Constructed Textiles, School of Art and Design, University of Ulster, Belfast, UK
- [25] BOUKLI.H, contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen, Thèse de Doctorat, Université Abou bekr belkaid-Tlemcen, 2009.
- [26] Thèse TRAN THE TRUYEN, "Contribution à l'étude du comportement mécanique et hydromécanique du béton", 2009.

Référence Bibliographique

- [27] GUANDALINI. S ; « Poinçonnement symétrique des dalles en béton armé ; école polytechnique fédérale de Lausanne » ; France ; 2005.
- [28] GUIDOTTI Roberto « Poinçonnement des planchers dalles avec colonnes superposées fortement sollicité » ; ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE N°4812, thèse de doctorat ; 2010 –226p
- [29] DULUDE Christian « Poinçonnement des dalles bidirectionnelles en béton armé d'armature de polymères renforcés de fibres de verre » ; université de Sherbrooke, mémoire de maîtrise en sciences appliquées 2011 –142p
- [30] TASSINARI Luca « Poinçonnement non symétrique des dalles en béton armé avec armature de poinçonnement » ; ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE N°5030, thèse de doctorat ; 2011–197p.
- [31] CLEMENT Thibault « Influence de la précontrainte sur la résistance au poinçonnement des dalles en béton armé » ; ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE N°5516, thèse de doctorat ; 2012 –250p.
- [32] KRUGER Gaston « Résistance au poinçonnement excentré des plancher dalles » ; ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE N°2064, thèse de doctorat ; 1999–191p.
- [33] Bederina M, Caractérisation mécanique et microstructure des bétons de sables locaux : effets des fillers et de la nature des sables sur le comportement mécanique du matériau, Thèse de Magister. Université de A. Tledji, Laghouat, Algérie ; (2000).
- [34] Fiche technique : Group Granitex.
- [35] Mille HADJADJA Taous « Influence des paramètres constitutifs d'un béton sous l'efficacité d'un confinement » Mémoire de Master Académique Option : Structure- Université Mouloud Mammeri –Tizi Ouzou,2018
- [36] Karina TALEB « Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers » Mémoire de Master académique option Structure et M
- [37] Essai de flexion, école de technologie supérieure Université de Québec.atériaux -Génie Civil-Université Mouloud MAMMERI, 2015

Annexe



متين
Matine

ALGÉRIE



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

NOTICE TECHNIQUE

Version 03

Edition février 2017

2

1

1

9

MEDAFLOW 30

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

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

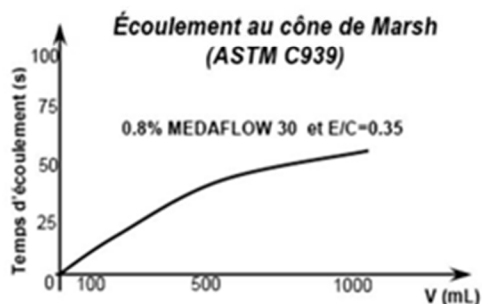
Description

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 ferrillés.

Annexe

- 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



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

