



Ministère de l'enseignement Supérieure
Et de la recherche scientifique
Université Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté de Technologie



Département de GENIE CIVIL

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux Master2

Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master

Par : Nouari Salah et Bakouche Ismail

Intitulé

Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des mortiers fibrés

Soutenu devant le jury composé de :

MAZA Mekki	MCA	Président
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Encadreur
BELOUADAH Messaouda	MCA	Co-Encadreur
DJEBRI Noura	MCB	Examineur

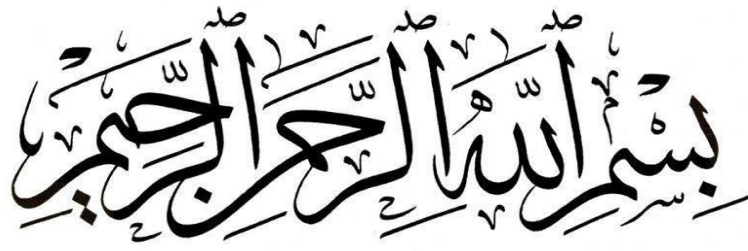
Année universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur : Pr Rahmouni Zine-El-Abidine et notre co-encadreur : Dr Belouadah Messaoud qui ont bien voulu nous encadrer et pour leurs conseils précieux, leur disponibilité et leur patience.

Nous remercions également tous les membres de jury d'avoir accepté de jugé, mes enseignants (es) du département de génie civil et les responsables du laboratoire.

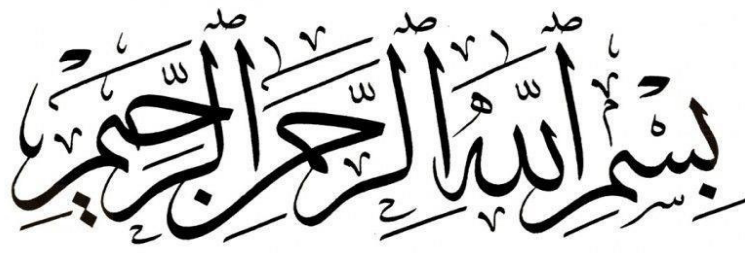


Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ❖ *A mon cher père et ma chère mère.*
- ❖ *A mes chers frères et sœurs.*
- ❖ *A toute ma famille.*
- ❖ *A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

SALAH NOUARI



Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ❖ *A mon cher père et ma chère mère.*
- ❖ *A mes chers frères et sœurs.*
- ❖ *A toute ma famille.*
- ❖ *A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

ISMAIL BAKOUCHE

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد سلوك الملاط مع إضافة الخزف، ودخان السيليكا المقوى بالألياف في بيئة عدوانية. يتكون العمل من تحضير عدة سلاسل من عينات الملاط باستخدام دخان السيليكا والسيراميك على شكل مسحوق ناعم جدًا (يمر عبر منخل 80 ميكرومتر)، مع تباين نسب الألياف المعدنية المستخدمة: 1٪، 2٪، مع نسبة $W / C = 0.3$ بعد ذلك تم حفظ عينات الاختبار في ملاط بأبعاد $4 \times 4 \times 16$ سم في ماء مشبع بالجير حتى سن 7 و14 و28 يومًا، ثم تم وضعها في المحاليل الحمضية وكلوريد الصوديوم بتركيز 5 ٪ لكل وسيط.

تم الحصول على تقييم متانة هذا الملاط وكذلك السلوك الميكانيكي عن طريق قياس فقد الكتلة وقوة الضغط الميكانيكية بالإضافة إلى إجراء اختبارات غير مدمرة باستخدام الموجات فوق الصوتية UPV (سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية)

أظهرت النتائج أن إضافة مسحوق السيراميك ودخان السيليكا والألياف المعدنية سلوكًا ميكانيكيًا جيدًا ضد الهجمات الحمضية القوية مقارنة بتلك التي تحتوي على الألياف المعدنية.

الكلمات المفتاحية: الملاط، الخصائص الميكانيكية والفيزيائية، مسحوق السليكا والسيراميك والألياف المعدنية.

Résumé :

L'objectif de cette étude est de définir le comportement du mortier avec ajout de la céramique, fumée de silice renforcé de fibres en environnement agressif. Le travail consiste à préparer plusieurs séries d'échantillons du mortier en utilisant la fumée de silice et céramique sous forme d'une poudre très fine (passant au tamis 80 μm), puis on a variés les pourcentages des fibres métalliques utilisés: 1% , 2% , avec un rapport E / C = 0,3. Ensuite Les éprouvettes en mortiers de dimensions de 4×4×16 cm³ ont été conservé dans l'eau saturé en chaux jusqu'à l'âge de 7, 14 et 28 jours, puis elles ont été placé dans des solutions d'acide et chlorure de sodium NaCl avec une concentration de 5% pour chaque milieu.

L'évaluation de la durabilité de ces mortiers ainsi que le comportement mécanique ont été obtenu par la mesure de la perte de masse et la résistance en compression mécanique. De plus, des essais non destructifs ont été réalisés grâce à un ultrason UPV (ultrasonique pulse velocity).

Les résultats obtenus ont montré que l'ajout de la poudre de céramique et fumée de silice et des fibres métalliques présentent un bon comportement mécanique vis-à-vis les attaques des acides forts par rapport à ceux avec des fibres métalliques.

Mots clés : mortier, propriétés mécaniques et physiques, poudre de silice, céramiques, fibres métalliques.

Abstract:

The objective of this study is to define the behavior of mortar with the addition of fiber-reinforced ceramic, silica fume in an aggressive environment. The work consisted in preparing several sets of samples of the mortar using silica fume and ceramic in the form of a very fine powder (passing through an 80 μm sieve), then the percentages of metal fibers used were varied: 1%, 2%, with a W/C ratio = 0.3. Then the mortars specimens of dimensions 4×4×16 cm^3 were kept in water saturated with lime until the age of 7, 14 and 28 days, then they were placed in acid sulfuric and sodium chloride NaCl with a concentration of 5% for each medium.

The evaluation of the durability of these mortars as well as the mechanical behavior were obtained by the measurement of the loss of mass and the resistance in mechanical compression. In addition, non-destructive tests were performed with using ultrasonic UPV (ultrasonic pulse velocity)

The results obtained showed that the addition of ceramic powder and silica fume and metal fibers have a good mechanical behavior vis-à-vis the attack of strong acid compared to those with metal fibers.

Key words: *mortar, mechanical and physical properties, silica powder, ceramics, metal fibers.*

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Étude Bibliographique	
Introduction.....	2
I. Rappels généraux sur les mortiers	2
I.1 Introduction.....	2
I.2 Définition d'un mortier	3
I.3 Type des mortiers	4
I.3.1 Mortier de ciment	4
I.3.2 Mortier de chaux hydrauliques	4
I.3.3 Mortier bâtard.....	4
I.3.4 Les Mortier réfractaire.....	4
I.3.5 Les Mortier rapide.....	4
I.3.6 Les Mortier industriel.....	5
I.4 Classification des mortiers.....	5
I.4.1 Classification générale des mortiers.....	5
I.4.1.1 Selon leur domaine.....	5
I.4.1.2 Selon la nature du liant.....	5
I.5 Les emplois des mortiers.....	6
I.5.1 Les enduits.....	6
I.5.2 Les chapes.....	6
I.5.3 Les scellements et les calages.....	6
I.5.4 Les joints de maçonnerie.....	6
I.6 Les caractéristiques de mortier.....	7
I.7 Composition de Mortier.....	8
I.7.1 Le ciment.....	8
I.7.2 Définition du ciment.....	8
I.7.3 Etapes de fabrication du ciment.....	9
I.7.4 Les Constituants du ciment.....	12
I.8 additions minérales.....	14

I.8.1 Définition des additions minérales.....	14
I.8.2 Ajouts minéraux.....	14
I.8.3 Laitier des hauts fourneaux.....	14
I.8.4 Cendres volantes.....	14
I.8.5 Additions calcaires.....	15
I.8.6 Pouzzolanes.....	15
I.8.7 Fumée de silice.....	15
I.8.8 Céramiques.....	16
I.8.9 Définition.....	17
I.8.10 L'utilisation	18
I.9 Le sable.....	18
I.9.1 Définition du sable.....	18
I.9.2 origine du sable.....	19
I.9.3 composition du sable.....	19
I.10 L'eau de gâchage.....	20
I.10.1 Le rôle de l'eau.....	20
I.10.2 La quantité d'eau.....	20
I.11 Les adjuvants	20
I.11.1 types d'adjuvants.....	20
I.11.2 Avantages.....	21
I.12 Fibres Métalliques	21
I.12.1 Différentes natures de fibres	21
I.12.2 Fibres naturelle	21
I.12.3 Fibres minérales	22
I.12.4 Fibres organique.....	22
I.12.5 Fibres Métallique	23
I.13 Avantages de la fibre	24
Conclusion	24

Chapitre II : La Durabilité dans les milieux agressifs

II. Introduction	25
II.1 Définition de la durabilité.....	25
II.2 Durabilité Des Matériaux Cimentaire	25
II.2.1 La perméabilité	25
II.2.2 La porosité	26
II.2.3 La diffusivité	26
II.3 Classification des milieux agressifs et leurs modes d'action	26
II.4 Critères Généraux De Durabilité Dans Les Milieux Agressifs	27
II.4.1 La résistance	27
II.4.2 L'eau de gâchage	28
II.4.3 La nature de ciment et le dosage	28
II.4.4 Le rapport E /C.....	28
II.5 Attaques chimiques.....	29
II.5.1 Attaques acides.....	29
II.5.1.1 Les différents types des acides	29
II.5.1.2 Mécanisme d'attaque acide	30
II.5.2 Les attaques sulfatique.....	31
II.5.2.1 Définition de l'attaque sulfatique	31
II.5.2.2 Sources des sulfates	32
II.5.2.3 Processus d'attaque par sulfate.....	33
II.5.2.4 Mécanismes d'attaque	35
II.6 Attaque par les ions chlorures.....	35
II.7 La carbonatation.....	36
II.7.1 Phénomène de carbonisation	36
II.8 Durabilité dans les eaux marines	37
II.8.1 Composantes agressives du milieu marin	37
II.8.2 Mécanismes d'attaque des composants agressifs de l'eau de mer.....	38
Conclusion	38

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux utilisés

III.1 INTRODUCTION.....	39
III.2 Sable	39
III.2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés	39
III.2.1.1 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-555	39
III.2.1.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554.....	41
III.2.2 Porosité : NF P 18-554	43
III.2.3 Compacité	43
III.2.4 Equivalent de sable : NF P 18-598	43
III.2.4.1 Equivalent de sable visuel (ESV)	45
III.2.4.2 Equivalent de sable au piston(ESP)	45
III.2.6 Module de finesse.	50
III.2.7 Caractéristiques chimiques du sable	50
III.3 Ciment.....	52
III. 4 L'eau de gâchage	53
III. 5 Les adjuvants	53
III. 5.1 Caractéristiques.....	54
III.5. 2 Domaine D'application	55
III.6 Les ajouts	55
III.6.1 Poudre de céramique	55
III.6.2 les fumées de silice	56
III.6.3 Les copeaux métalliques	57
III.7 Composition du mortier	57
III.7.1 Malaxage de mortier	58
III.7.2 Fabrication des éprouvettes	59
III.7.3 Préparation des moules	59
III.7.4 Coulage des éprouvettes	59
III.7.5 Finitions des éprouvettes.....	60
III.7.6 Séchage des éprouvettes dans les moules.....	60
III.7.7 Conservation des éprouvettes.....	60

III.8 Différentes formulations réalisées.....	60
III.8.1 Appellations des différentes formulations	60
III.8.2 Proportions des constituants de chaque formulation	61
III.9 Essais sur mortier frais.	61
III.9 .1 Affaissement au cône d’Abram.....	61
III.10 Essais sur mortier durci	62
III.10.1 Essais non destructifs	62
III.10.1.1 La masse volumique a L’état durci	62
III.10.2 Contrôle par ultrasons	62
III.10.3 Résistance à la traction par flexion.....	63
III.10.4 Essai de compression	65
III.11 Essais de Durabilité	66
III.11.1 Attaque par les chlorures	66
III.11.2 Attaque des mortiers par les acides	67
III.11.3 Porosité	68
Conclusion.....	69

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1 Introduction.....	70
IV.2 Comportement du mortier à l'état frais.....	70
IV.21. Maniabilité.....	70
IV.3 Comportement du mortier à l'état durci.....	71
A/ dans l'eau de robinet	71
IV.3.1 Evolution de la Vitesse de Son (V)	71
IV.3.2 Résistance à la compression (RC)	71
IV.3.3 Résistance à la flexion (Rf)	72
IV.3.4 Résistance à la traction (Rt)	73
IV.3.5 Perte de masse (%)	74
IV.3.6 Absorption.....	74
IV.3.7 Porosité	75
IV.4 Effet des milieux agressifs sur le comportement des mortiers	76
B/ en milieu acide	76

IV.4.1 La vitesse d'ultrason (V)	76
IV.4.2 Résistance à la compression (RC)	77
IV.4.3 Résistance à la flexion (Rf)	78
IV.4.4 Résistance à la traction (Rt)	78
IV.4.5 Perte de masse (%).....	79
IV.4.6 Absorption.....	80
IV.4.7 Porosité	80
Examen visuel.....	81
C/ en milieu Na cl.....	82
IV.5.1 La vitesse d'ultrason (V)	82
IV.5.2 Résistance à la compression (RC)	82
IV.5.3 Résistance à la flexion (Rf)	83
IV.5.4 Résistance à la traction (Rt)	83
IV.5.5 Perte de masse (%).....	84
IV.5.6 Absorption.....	84
IV.5.7 Porosité.....	85
Examen visuel.....	86
IV.6 La carbonatation	86
Conclusion générale.....	88

Bibliographique

Annexe

Liste des figures

Chapitre I

Figure.I.1 : mortier avant mélange	3
Figure. I.2 : la pâte de mortier	3
Figure.I.3 : La pâte de Mortier de chaux hydrauliques	4
Figure.I.4 : Les joints de maçonnerie	7
Figure.I.5 : poudre de ciment	9
Figure.I.6 : Processus général de fabrication du ciment	12
Figure.I.7 : Fumée de silice.....	16
Figure.I.8 : Déchets Céramique.....	17
Figure.I.9 : Différentes forme de fibres métallique.....	24

Chapitre II

Figure. II.1: Des cas pathologiques d'éléments en mortier en contact de sulfate	32
Figure. II.2: Attaque sulfatique externe	33
Figure. II.3: Formation d'immortalité secondaire.....	34
Figure. II.4: Attaque sulfatique interne.....	34
Figure. II.5: L'attaque par les sulfates.....	35
Figure.II.6 : agression du béton par activité des chlorures.....	35
Figure.II.7 : Détermination de la profondeur de carbonatation.....	36
Figure.II.8 : Schémas de la carbonatation de la matrice cimentaire	36

Chapitre III

Figure. III.1: Echantillons de sable masse 300g.....	40
Figure.III.2 : Eprouvette graduée 500 ml.....	40
Figure.III.3 : La masse volumique absolue d'un matériau.....	40
Figure. III.4: Essai de détermination de la masse volumique apparente.....	42
Figure. III.5: Echantillons de sable.....	44
Figure. III.6: Echantillons de sable dans un tube à essai.....	44
Figure. III.7: Agitateur mécanique.....	44
Figure. III.8: Repos de 20 min pour les éprouvettes.....	44
Figure. III.9: Mesurée de L'équivalent de sable.....	45
Figure. III.10: Une machine à tamiser.....	47

Figure. III.11: Colonne de tamis.....	48
Figure. III.12: La courbe granulométrique du sable de Boussaâda.....	49
Figure. III.13: SIKAPLASTBV 40 +.....	54
Figure. III.14: Poudre de céramique	55
Figure. III.15: Poudre de la fumée de silice.....	56
Figure. III.16: Les fibres métalliques.....	57
Figure. III.17: Malaxeur du mortier (Laboratoire de génie civil M'sila).....	58
Figure. III.18: Moules (4x4x16) cm ³	59
Figure. III.19: la table à chocs.....	59
Figure. III.20: Cône d'Abrams du mortier (Laboratoire de génie civil M'sila).....	61
Figure. III.21: Appareil ultrason.....	63
Figure. III.22: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	63
Figure. III.23: L'appareil de résistance à la flexion.....	64
Figure. III.24: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	65
Figure. III.25: L'appareil de l'essai de compression.....	65
Figure. III.26: Immersion totale des échantillons dans une solution de 5% NaCl.....	66
Figure. III.27: Eprouvettes immergées dans la solution acide.....	67
Figure. III.28: Balance de précision 0.1 g (Laboratoire des matériaux -Université de M'sil...)	67
Figure. III.29: Essai de porosité	68

Chapitre IV

Figure (IV.1) : Maniabilité de mortier.....	70
--	----

A/ Partie de l'eau :

Figure (IV.2) : la vitesse ultrasonique.....	71
Figure (IV.3) : Résultat d'essai de résistance à la compression en fonction des périodes (jours).....	72
Figure (IV.4) : Résultat du test de résistance à la flexion selon les intervalles après 7 et 28 jours et après 28 jours.....	73
Figure (IV.5) : Evolution de la résistance à la traction dans le temps (jours).....	73
Figure (IV.6) : évolution de perte de masse en fonction de temps.....	74
Figure (IV.7) : Variation de l'absorption en fonction du temps.....	75
Figure (IV.8) : Variation de la porosité en fonction du temps.....	76

B/ Partie d'acide :

Figure (IV.9) : Evolution de la vitesse des ultrasons en fonction du pourcentage ajouté au mortier à 7, 28 et après 28 jours en milieu acide.....	76
Figure (IV.10) : Résultat de l'essai de résistance à la compression en termes de durées (jours) en milieu acide.....	77
Figure (IV.11) : Résultat du test de résistance à la flexion par intervalles après 7 et 28 jours et après 28 jours en milieu acide.....	78
Figure (IV.12) : Evolution de la résistance à la traction dans le temps (jours) en milieu acide.....	78
Figure (IV.13) : Evolution de la masse en fonction du temps en milieu acide.....	79
Figure (IV.14) : Evolution de l'absorption en fonction du temps en milieu acide.....	80
Figure (IV.15) : Evolution de la porosité en fonction du temps en milieu acide.....	80
Figure (IV.16) : Echantillons de différents mortiers, après 7 jours d'immersion dans le milieu acide.....	81

C/ Partie Nacl :

Figure (IV.17) : Evolution de la vitesse des ultrasons en termes de pourcentage ajouté au mortier à 7, 28 et après 28 jours en milieu NACL.....	82
Figure (IV.18) : Résultat de l'essai de résistance à la compression en termes de durées (jours) en milieu NACL.....	82
Figure (IV.19) : Résultat du test de résistance à la flexion par intervalles après 7 et 28 jours et après 28 jours en milieu NACL.....	83
Figure (IV.20) : Evolution de la résistance à la traction dans le temps (jours) en milieu NACL.....	83
Figure (IV.21) : Evolution de la masse en fonction du temps en milieu NACL.....	84
Figure (IV.22) : Evolution de l'absorption en fonction du temps en milieu NACL.....	84
Figure (IV.23) : Evolution de la porosité en fonction du temps en milieu NACL.....	85
Figure (IV.24) : Echantillons de différents mortiers, après 7 jours d'immersion dans le milieu Na cl.....	86
Figure (IV.25) : illustre la réaction de la phénophtaléine sur un mortier plongé dans le milieu du NACL.....	86
Figure (IV.26) : illustre la réaction de la phénophtaléine sur un mortier plongé dans le milieu de l'acide.....	87

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1: Composition chimique et minéralogique du clinker.....13

Chapitre II

Tableau II.1: Les valeurs limites de l'agressivité de l'eau.....28

Tableau II.2: Composants du béton menacés par la corrosion.....31

Chapitre III

Tableau.III.1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.....40

Tableau.III.2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.....42

Tableau.III.3 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact.....43

Tableau.III.4 : Les résultats d'équivalent du sable de Boussaâda.....46

Tableau.III.5 : Comparaison des résultats.....46

Tableau.III.6 : Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda.....49

Tableau.III.7 : Analyse chimique du sable de BOUSAADA.....51

Tableau.III.8 : Analyse chimique ciment.....52

Tableau.III.9 : caractéristiques physico-mécaniques.....52

Tableau.III.10 : Caractéristiques chimiques de l'eau.....53

Tableau.III.11 : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (Ska + 40).....54

Tableau.III.12 : Composition chimique de la poudre de céramique.....56

Tableau.III.13 : Caractéristiques chimiques et physique de la fumée de silice.....56

Tableau.III.14 : Les tableaux des constituants de chaque formulation.....61

Introduction générale

Introduction générale

Le ciment est un composant essentiel des matériaux cimentaires tels que le béton et le mortier. Il assure une fonction mécanique, car il lie le squelette granulaire, mais il est aussi en grande partie responsable de la tenue à long terme du matériau cimentaire.

La conception d'un matériau cimentaire est extrêmement liée à l'environnement dans lequel il va être exposé durant sa durée de vie.

Le problème de la formulation des bétons ou des mortiers s'est singulièrement compliqué durant ces années. L'étude de la composition d'un béton ou d'un mortier, de nos jours consiste à l'incorporation ou à la substitution du ciment par des additions minérales ou bien par les différents types de fibres. Il s'agit de définir le mélange optimal dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un mortier dont les qualités soient celles recherchées pour la construction des ouvrages.

Le but de notre travail est l'influence des ajouts sur le comportement mécanique des mortiers soumis aux attaques agressifs.

Ce travail s'organise en quatre chapitres :

Le premier chapitre : concerne un état de l'art sur les ciments, tout en évoquant leurs compositions, fabrications, classes et types ainsi que les caractéristiques des différents mortiers, leurs compositions, leurs fabrications.

Deuxième chapitre : Quelques aspects affectant la durabilité des matériaux tels que : la perméabilité, l'absorption, action des sulfates, action des acides ainsi que l'influence des ajouts minéraux sur les performances mécaniques, sur l'absorption, sur les attaques sulfates et acides des matériaux.

Le troisième chapitre : traite l'ensemble des matériaux utilisés dans l'élaboration des différents mortiers, les résultats des essais servant à leur identification ainsi que les différentes méthodes et techniques utilisées dans cette étude expérimentale.

Le quatrième chapitre : regroupe les résultats des essais de caractérisation des Matériaux et des mortiers étudiés ainsi que le programme expérimental.

Enfin, une conclusion générale reprend les principaux résultats dégagés lors de Cette étude et rapporte les intérêts pratiques qui en découlent.

Chapitre I

Étude Bibliographique

Introduction

En Algérie, la plupart des bétons courants sont actuellement fabriqués avec des granulats siliceux alluvionnaires. Face à une demande fort croissante, 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 à fournir, si possible, des bétons ou mortier de qualité équivalente aux bétons et mortier ordinaires.

Les ressources en granulats sont rares dans la majorité des régions, ceci nous encourage à chercher des techniques permettant de valoriser des matériaux disponibles localement, et de les utiliser dans les différents domaines de construction, d'où l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter l'utilisation de sable de dunes pour la formulation des bétons et mortiers dont il serait le constituant principal.

Dans notre pays, malgré l'abondance de sable de dune dans le sud, ce matériau reste inconnu. Sa quantité se chiffre en milliards de m³. Il est disponible dans près de 60% du territoire. Certaines de ses caractéristiques physico-chimiques laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction : indice de propreté élevé et absence dans sa composition de matières organiques et autres matières indésirables telles que les sulfates, sulfures ou carbonates.

I. Rappels généraux sur les mortiers

I.1 Introduction

À l'emploi, dont les derniers nés, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur. Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau – et éventuellement un adjuvant – pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons. [1]

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. [1]

- Les mortiers peuvent être :
 - préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants, adjuvants compris ;
 - préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs pré dosés (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire) ;
 - livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à 24 heures. [1]

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers parfois exigus et difficiles d'accès : rénovation, travaux souterrains. [1]

I.2 Définition d'un mortier :

Mélange constitué de sable, d'eau et d'un liant (chaux ou ciment). Mélange pâteux servant, notamment, à lier entre eux les matériaux de construction. Ses proportions sont différentes de celles du béton et il ne comporte pas de gravier [1] C'est la dimension D du plus gros granulats qui détermine l'appellation : mortier pour $D \leq 4\text{mm}$. [2]

Le sable constitue le squelette granulaire du mortier par contre le ciment, l'eau et l'adjuvant forment la partie liante. Lorsqu'il n'y a pas de squelette granulaire, on parle de coulis de ciment. [2]



Figure.I.1 : mortier avant mélange



Figure.I.2 : la pâte de mortier

I.3 Type des mortiers :

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier :

I.3.1 Mortier de ciment :

Les mortiers de ciments sont très résistants, durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. [2]

I.3.2 Mortier de chaux hydrauliques :

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment. La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments. [2]



Figure.I.3 : La pâte de Mortier de chaux hydrauliques

I.3.3 Mortier bâtard :

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment en parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un à l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. [2]

I.3.4 Les Mortier réfractaire :

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [3]

I.3.5 Les Mortier rapide :

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements. [3]

I.3.6 Les Mortier industriel :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- * Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- * Mortiers d'imperméabilisation

I.4 Classification des mortiers :

Les mortiers sont classés comme suit [4]

I.4.1 Classification générale des mortiers :

I.4.1.1 Selon leur domaine :

L'utilisation des mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est

Très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes :

- ✓ Mortier de pose,
- ✓ Mortier de joints, 16
- ✓ Mortier pour les crépis,
- ✓ Mortier pour le sol,
- ✓ Mortier pour les stucs,
- ✓ Pierres artificielles,
- ✓ Support pour les peintures murales.

1.4.1.2 Selon la nature du liant:

- ✓ Mortier de ciment portland
- ✓ Mortier de chaux
- ✓ Mortiers bâtards
- ✓ Mortier à base de ciment de maçonnerie

I.5 Les emplois des mortiers :

I.5.1 Les enduits :

Les enduits sont des ouvrages traditionnels qui relèvent de la norme NF P 15-201 (DTU 26.1) « Travaux de bâtiment. Enduits aux mortiers de ciments, de chaux et de mélange plâtre et chaux aérienne ». Se développent aujourd'hui les enduits monocouches épais, ainsi que les enduits isolants considérés encore comme non traditionnels. Ces produits font l'objet d'une procédure d'Avis technique par le CSTB. [1]

I.5.2 Les chapes :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. [1]

I.5.3 Les scellements et les calages :

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, scellements d'éléments de second œuvre, scellements de mobiliers urbains, scellements de regards de visite, assemblage d'éléments préfabriquée. [1]

I.5.4 Les joints de maçonnerie :

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierres de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. On a généralement intérêt à utiliser des mortiers ne présentant pas un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il liaisonne sans fissurer.

Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudié et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment

le cas de la maçonnerie apparente. Fournit des indications sur les dosages préconisés pour les mortiers de jointoiment, ainsi que les préconisations pour leur mise en œuvre. [1]



Figure.I.4 : Les joints de maçonnerie

I.6 Les caractéristiques de mortier :

Elles sont nombreuses. A savoir : [5]

- * Résister à l'écrasement en répartissant régulièrement les pressions ;
- * Etre compact : pour éviter l'infiltration des eaux dans les ouvrages, et accroître la résistance mécanique ;
- * Etre imperméable : pour obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonnerie, et des enduits ;
- * Adhérer aux matériaux : pour mieux transmettre les charges, ou créer un écran durable contre les intempéries ;
- * Conserver un volume constant pendant la prise et le durcissement pour éviter les tassements ou les dislocations des ouvrages ;
- * Résister aux agents agressifs d'une atmosphère ou d'un sol pollués ;
- * Etre ouvrable, afin que l'exécutant puisse le mettre en place dans les meilleures conditions ;
- * Conserver toutes ses qualités, et notamment la permanence de la résistance. De quoi dépendront tous ces qualités ? des constituants : de leur nature ;
- * De leur dosage.

I.7 Composition de Mortier

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment ; de l'eau ; du sable ; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. Les mortiers sont constitués par des mélanges de : [5]

- Liant (ciment ou chaux)
- Eau
- Sable
- Adjuvants

I.7.1 Le ciment :

Pendant la préhistoire et depuis l'antiquité, on utilisait de la terre argileuse comme liant pour maçonner les pierres. Lors de la construction des pyramides, les égyptiens utilisèrent un plâtre obtenu par cuisson d'un gypse, Plus tard, les Grecs et les Romains furent les premiers à utiliser de la chaux ; produit obtenu par la cuisson du calcaire, dans leur construction. Ils améliorèrent le liant en y ajoutant des pouzzolanes ; particules très fines d'origine naturelle. Ils obtiennent ainsi le ciment romain.

En leur temps, les romains furent les premiers à fabriquer un liant hydraulique capable de faire prise sous l'eau en mélangeant de la chaux à des cendres volcaniques. Bien que connues depuis l'antiquité, les propriétés d'hydraulicité de ce mélange sont restées inexplicées pendant des siècles. Ce n'est qu'en 1817 que Louis Vicat en établit la théorie et révéla les principes de fabrication du ciment artificiel que nous utilisons encore aujourd'hui. En 1824, l'écossais Aspdin augmente la température de cuisson du ciment jusqu'en début de fusion des matériaux de base et donne au ciment le nom de Portland en référence à la pierre de cette région dont les propriétés étaient comparables.

I.7.2 Définition du ciment :

Le ciment est un liant hydraulique qui durcit tant à l'air que sous l'eau. Il est obtenu par broyage fin du clinker avec une quantité nécessaire de gypse et un / ou des ajout(s) minéraux actifs (ciment composé), faite simultanément ou par malaxage minutieux des mêmes matériaux broyés séparément.

En Algérie, la production de ciment est une industrie de base. L'état a consenti de très importants investissements pour le développement de la filière. Cependant, en raison de la forte demande accentuée par le programme de la relance économique (autoroutes, un million de

logements, autres équipements publics), l'offre reste insuffisante, et pour remédier à cela les autorités ont décidé d'investir pour augmenter la capacité de production qui était de 11,6 millions de tonnes pour la porter à 17,6 millions de tonnes en 2012.



Figure.I.5 : poudre de ciment.

I.7.3 Etapes de fabrication du ciment :

❖ Le constituant principal des ciments est le clinker qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de 80% de calcaire et 20% d'argile.

❖ Les principales étapes de la fabrication du ciment sont la préparation du cru (composition et mélange des matières premières), la transformation de celui-ci par procédé de cuisson, et la transformation du produit de la cuisson (le clinker) en ciment.

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité. Ce procédé comporte les étapes de fabrication suivantes :

a) L'extraction et la préparation des matières premières :

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage au bulldozer. La roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage. Pour produire des ciments de qualités constantes, les matières premières doivent être très soigneusement échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition parfaitement régulière dans le temps.

Mais si elle peut varier d'une cimenterie à l'autre en fonction de la qualité du gisement exploité, la composition du cru reste dans des proportions bien définies : [6]

- ❖ Carbonate de calcium (CaCO_3) de 77 à 83 %
- ❖ Silice (SiO_2) : de 13 à 14%
- ❖ Alumine (Al_2O_3) : de 2 à 4%

❖ Oxyde ferrique(Fe_2O_3) de 1,5 à 3 %

La roche est échantillonnée en continu pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice). Le mélange est ensuite réalisé dans un hall de pré homogénéisation où la matière est disposée en couches horizontales superposées puis reprise verticalement.

b) Le séchage et le broyage :

Pour favoriser les réactions chimiques qui suivent, les matières premières doivent être séchées et broyées très finement (quelques microns) dans des broyeurs à boulets ou dans des broyeurs à meules verticaux. Ces derniers, plus récents, sont plus économiques en énergie et permettent un séchage plus efficace. Ensuite 3 voies sont possibles : la voie humide, la voie sèche et demi-sèche. La première est plus ancienne et implique une grande consommation d'énergie pour évaporer l'eau excédentaire. Dans ces procédés, les matières premières sont parfaitement homogénéisées et séchées lors de l'opération de broyage afin d'obtenir la farine. Celle-ci peut être introduite directement dans le four sous forme pulvérulente (voie sèche), ou préalablement transformée en "granules" par humidification (voie demi-sèche).

c) La cuisson :

La cuisson se fait à une température voisine de 1450°C dans un four rotatif, long cylindre tournant de 1,5 à 3 tour/minute et légèrement incliné. La matière chemine lentement et se préchauffe le cru à environ 800°C . A la sortie du four, un refroidisseur à grille permet d'assurer la trempe des nodules incandescents et de les ramener à une température d'environ 100°C . Tout au long de la cuisson, un ensemble de réactions physico-chimiques conduit à l'obtention du clinker.

- la décarbonatation du carbonate de calcium (calcaire) donne de la chaux vive.
- l'argile se scinde en ses constituants silice et alumine qui se combinent à la chaux pour former des silicates et aluminates de chaux. Ce phénomène progressif constitue la clinkérisation.

d) Le broyage du clinker :

Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être à son tour broyé très finement. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets. Les corps broyant sont constitués de boulets d'acier qui, par choc, font éclater les grains de clinker et amènent

progressivement le ciment à l'état de fine farine, ne comportant que très peu de grains supérieurs à 80 microns. A la sortie du broyeur, un cyclone sépare les éléments suffisamment fins des autres qui sont renvoyés à l'entrée du broyeur. C'est également lors du broyage que l'on ajoute au clinker le gypse (3 à 5%) indispensable à la régulation de prise du ciment. On obtient alors le ciment "Portland". Les ciments avec "ajouts" sont obtenus par l'addition au clinker, lors de son broyage, d'éléments minéraux supplémentaires contenus par exemple dans les laitiers de hauts fourneaux, les cendres de centrales thermiques, les fillers calcaires, les pouzzolanes naturelles. Ainsi sont obtenues les différentes catégories de ciments qui permettront la réalisation d'ouvrage allant du plus courant au plus exigeant.

e) Les expéditions :

Après le broyage, le ciment est sous sa forme définitive, tel que nous le connaissons sur les chantiers. Il est alors stocké dans des silos verticaux qu'il faut entretenir régulièrement. En effet au bout d'un certain temps, le ciment sèche dans les silos et s'entasse. Il faut donc qu'il se renouvelle régulièrement dans les silos afin qu'il n'y stagne pas. Pour se faire, on installe, des injections d'air dont la pression est plus forte vers l'extérieur et moins forte vers le centre du silo. En tête du silo un aspirateur d'air est également mis en place pour dégonfler le silo. Par ce procédé, le ciment acquiert les propriétés d'un fluide et ne se bloque plus, économisant des pertes qui peuvent être conséquentes. Le ciment est ensuite extrait de ces silos par un bec verseur. Ensuite, les ciments quittent l'usine en sacs ou en vrac.

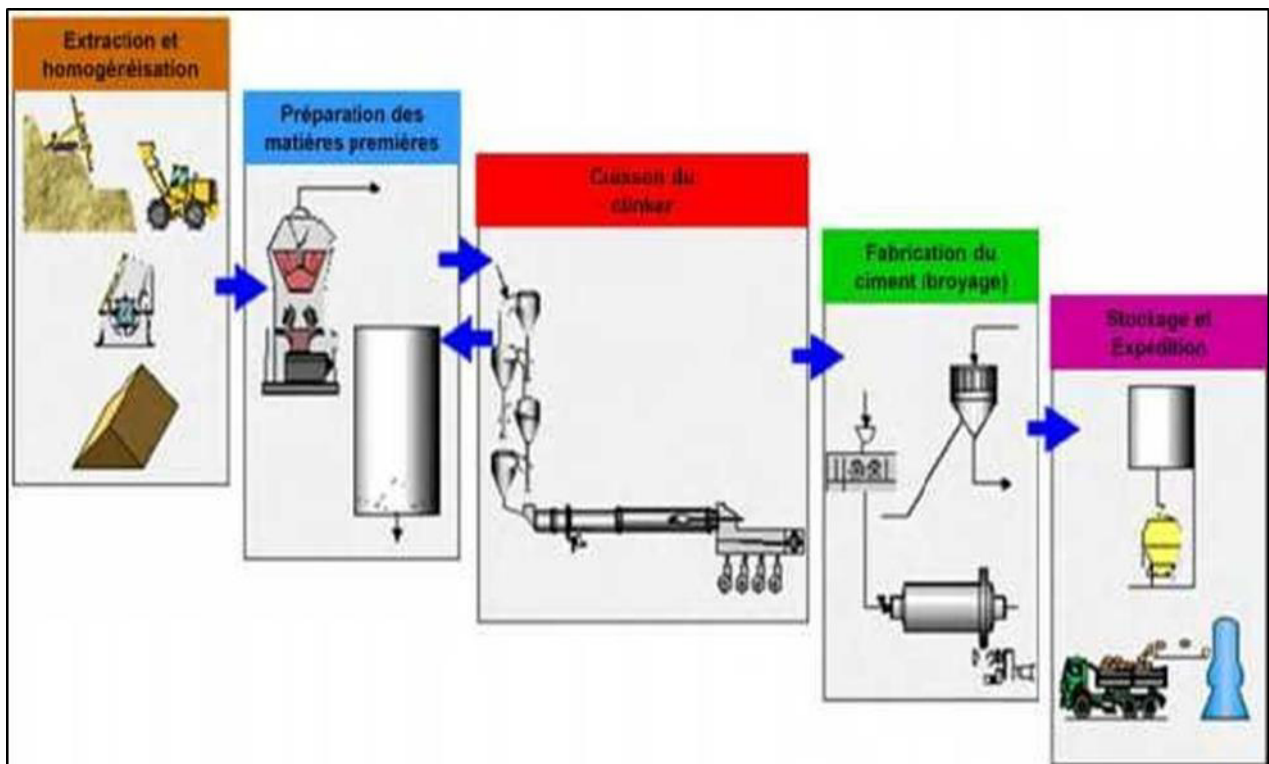


Figure.I.6 : Processus général de fabrication du ciment

I.7.4 Les Constituants du ciment :

- **Le Clinker :**

Le ciment résulte du broyage d'un certain nombre de constituants. Le plus important étant le clinker formé de silicates et d'aluminates de chaux [6]. Dans la zone de clinkérisation du four, les éléments simples (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (figure 1.1)

- silicate tricalcique (C_3S): $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Alit)
- silicate dicalcique (C_2S) : $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Belite)
- aluminate tricalcique (C_3A) : $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$
- ferroaluminate calcique (C_4AF): $4\text{CaO} .\text{Al}_2\text{O}_3 .\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Célite)

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par le tableau :

Tableau I.1: Composition chimique et minéralogique du clinker

Composants minéralogiques	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne (%)
C₃S	40-70	60
C₂S	00-30	15
C₃A	02-15	08
C₄AF	00-15	08
Oxydes		
CaO	60-69	65
SiO₂	18-24	21
Al₂O₃	04-08	06
Fe₂O₃	01-08	03
MgO	< 05	02
K₂O, Na₂O₃	< 02	01
SO₃	< 03	01

- **Le gypse(CaSO₄) :**

Le clinker « pur » très fin est caractérisé par de courts délais de prise (3 à 5 min), ce qui le rend pratiquement inutilisable. Ce fait est surtout dû à la célite (C₃A) qui s'hydrate rapidement tandis que ses hydrates deviennent rapidement compacts et se cristallisent. Il s'ensuit que pour ralentir la prise du ciment, il faut lier les hydro aluminates de calcium en d'autres composés. Ce rôle peut bien être joué par le gypse (figure1.3) qui réagit énergiquement avec l'hydro aluminat tricalcique et produit un sel insoluble l'hydrosulfoaluminate de calcium (3CaO.Al₂O₃.3CaSO₄.31H₂O).

La quantité à introduire doit correspondre à la teneur en C₃A dans le liant et lorsque cette teneur en gypse est respectée, l'action des hydroaluminates de calcium se trouve paralysée au moment initial.

- **Additifs minéraux au ciment :**

Ces ajouts jouent le rôle suivant: d'après leur composition ils se présentent principalement par de la silice amorphe qui réagit activement avec l'hydroxyde de chaux qui se forme lors de l'hydratation des minéraux faisant partie du clinker. Le rapport entre le clinker et l'adjuvant hydraulique (ajout minéral) est établi en fonction de l'activité de l'adjuvant et de la composition minéralogique du clinker.

I.8 additions minérales :

I.8.1 Définition des additions minérales :

La norme européenne EN 206-1 (NF P18-325) définit les additions comme des « Matériaux minéraux finement divisés utilisés dans le béton et mortier afin d'améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières ». [8]

I.8.2 Ajouts minéraux :

Les ajouts minéraux sont des matériaux que l'on mélange au ciment Portland et donnent certaines propriétés au béton, grâce à leurs activités hydrauliques et/ou pouzzolaniques. L'utilisation d'ajouts minéraux dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques. Parmi ces ajouts on peut citer :

- Les laitiers vitrifiés moulus granulé de haut fourneau
- Les cendres volantes
- Les additions calcaires
- Les fumées de silice
- Les pouzzolanes
- Les Poudre Céramique

I.8.3 Laitier des hauts fourneaux :

Le laitier vitrifié moulu provient du broyage du laitier vitrifié granulé ou bouleté, qui provient de la fabrication de la fonte et il est obtenu par la trempe du laitier à sa sortie du four. Par contre, les laitiers de fonte non trempés cristallisés et donc non vitrifié sont utilisés comme ballast ou comme granulats et ne peuvent pas être utilisés comme ajouts cimentaire. De même les laitiers d'aciéries et tous les laitiers de métaux non ferreux qui peuvent contenir des éléments nuisibles aux bétons tels que les sels métalliques sont exclus de l'industrie de ciment.

I.8.4 Cendres volantes :

Les cendres volantes sont des poudres fines constituées principalement de particules vitreuses de forme sphérique, issues de la combustion du charbon pulvérisé en présence ou non de CO combustibles, ayant des propriétés pouzzolaniques et composées essentiellement de SiO₂ et de Al₂O₃ ; la proportion de SiO₂ réactive constituant au moins 25 % de la masse. Les cendres volantes conformes à la norme NF EN 450 [9] sont des additions de type II au sens de la norme EN 206-1[10] , et sont substituables au ciment au sens et selon les conditions de cette norme.

I.8.5 Additions calcaires :

Les additions calcaires sont des produits secs finement divisés, obtenus par broyage et/ou sélection. Ils proviennent de gisements de roches calcaires qui peuvent être dolomitiques, massives ou meubles. [10]

I.8.6 Pouzzolanes :

Le terme pouzzolane tire son nom de Pouzzoles, une localité près de Naples en Italie, riche en terre volcanique. La pouzzolane naturelle est une roche siliceuse légère produite par des projections volcaniques basaltiques. Elle comporte de la silice, de l'alumine, de l'oxyde ferrique qui lui donne sa couleur rouge, ainsi que de la chaux et de la magnésie. La pouzzolane possède une structure alvéolaire. La pouzzolane est généralement rouge ou noire, avec toutes les teintes intermédiaires, exceptionnellement grise. Il existe également des pouzzolanes artificielles, obtenues par calcination de terres argileuses, de basaltes ou de schistes : leurs propriétés sont équivalentes à celles de la pouzzolane naturelle. [11]

I.8.7 Fumée de silice :

La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium, de différents alliages de Ferro silicium ou de zircone. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de Ferro silicium). Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique, un composé gazeux, SiO se forme [12] et s'échappe vers la partie supérieure du four, il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice SiO_2 . Ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage. D'un point de vue chimique, la fumée de silice est essentiellement composée de silice. La teneur en SiO_2 de la fumée de silice varie selon le type d'alliage produit. Plus la teneur en silicium de l'alliage est élevée plus la teneur en SiO_2 de la fumée de silice est élevée. Les fumées de silice produites durant la fabrication de silicium métal contiennent en général plus de 90% de SiO_2 . La fumée de silice produite lors de la fabrication d'un alliage Fe-Si à 75% à une teneur en silice généralement supérieure à 85%.

Les caractéristiques très particulières de la fumée de silice en font une pouzzolane très réactive à cause de sa très forte teneur en silice, de son état amorphe et de son extrême finesse. Les effets bénéfiques de la fumée de silice sur la microstructure et les propriétés mécaniques du béton sont dus essentiellement à la rapidité à laquelle la réaction pouzzolanique se développe et à l'effet physique particulier aux particules de fumée de silice qui est connu sous le nom d'effet filler. 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. Ajoutons cependant que la fumée de silice est un matériau peu économique. La fumée de silice est aussi appelée micro silice ou fumée de silice condensée, mais le terme fumée de silice est le plus généralement utilisé. La densité de la fumée de silice est généralement de , mais aussi un peu plus élevée lorsque la teneur en silice est plus faible. Elle est moins dense que le ciment Portland dont la densité est

Ce produit se présente sous la forme d'une poudre ultra fine de couleur claire ou grise. Lorsque l'on considère les propriétés du béton aux fumées de silice, il importe de garder à l'esprit qu'on utilise ces dernières de deux manières différentes :

- Comme substitue du ciment, pour réduire les quantités de ciment utilisées, en général pour des raisons d'économie
- Comme ajout, pour améliorer les propriétés du béton, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.



Figure.I.7 : Fumée de silice

I.8.8 Céramiques :

Les céramiques regroupent une famille d'éléments solides non organiques et non métalliques, composés d'oxydes, de carbures, de nitrures et de borures. La structure moléculaire des céramiques est parmi les structures les plus compliquées de toutes celles du monde minéral, cette dernière présente des liaisons chimiques fortes de nature ionique ou covalente.

Les céramiques ont trois avantages importants par rapport aux autres matériaux : **[13]**

- Les matières premières utilisées pour leur fabrication sont proportionnellement disponibles et peu coûteuses

- Elles sont peu denses et résistent à des températures très élevées, là où la plupart les autres matériaux perdent leur résistance.
- Elles ont des propriétés optiques, électriques, chimiques, magnétiques, thermiques...etc., qui les rendent irremplaçables, en particulier pour la fabrication de matériels électroniques et informatiques. Les céramiques sont mises en forme à partir d'une poudre de granulométrie adaptée.

I.8.9 Définition :

Un matériau céramique est solide à température ambiante et n'est ni métallique, ni organique. Les objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pâte humide plastique (verre minéraux), ou frittage (agglutination par chauffage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide (céramique poly cristalline) ; par assimilation, on désigne sous le terme « céramique » les objets ainsi fabriqués. [14]



Figure.I.8 : Déchets Céramique.

I.8.10 La production des céramiques à partir d'argiles se distingue des autres matériaux par leur méthode de préparation qui passe par les quatre étapes suivantes [13] :

- 1 – Broyage.
- 2- Homogénéisation et malaxage des matières premières.
- 3- Façonnage des pièces (coulage, extrusion, pressage).
- 4- Traitement thermique

I.8.10 L'utilisation :

La mise en œuvre des produits céramiques :

Les produits céramiques destinés aux revêtements des surfaces forment un assemblage désigné par le terme classique de "carrelage".

- **Le carrelage des sols :**

L'assemblage s'exécute traditionnellement à l'aide de mortier et de ciment. Chaque carreau est scellé au support ainsi qu'au carreau suivant. Un carrelage de sol doit être résistant et parfaitement plan. Cette planéité est obtenue en exécutant au préalable un support rigide sous toute la surface à carrelé : une chape de béton parfaitement dressée est, en général, la meilleure solution. Ensuite, les carreaux sont disposés un à un sur le sol et scellés à l'aide d'un mortier de pose. Utilisez un cordeau pour obtenir une surface parfaitement plane et laissez bien, entre chaque carreau, l'écartement nécessaire aux joints, cet écartement étant fonction de la surface des carreaux. [15]

- **Le carrelage des murs :**

Comme pour le carrelage d'un sol, la pose s'effectue sur un support plan et lisse, mais il n'est pas impératif de réaliser un enduit au mortier.

Prévoyez simplement un ordre de travail bien déterminé et commencez, si possible, par une petite surface, afin de vous faire la main. [15]

- ❖ Superposez les deux plans pour étudier la disposition la plus logique et comptez le nombre de carreaux utiles.
- ❖ Le long de la ligne horizontale, fixez momentanément au mur une règle en bois qui servira de guide à la première rangée de carreaux.
- ❖ Relevez les dimensions de la surface à carrelé ainsi que celle de tous les objets qui s'y trouvent (ce sont tous les éléments fixés au mur tels que lavabos, évier, etc).
- ❖ Dessinez sur un papier, à échelle réduite, la position des lieux, puis, sur un autre papier Transparent, le quadrillage représentant le carrelage terminé.

I.9 Le sable :

I.9.1 Définition du sable :

Les sables sont des grains de roches ou de minéraux ayant un diamètre compris entre,0,0625 mm et 2 mm (ou 4,75 mm et 5 mm, selon le système de classification utilisée). Nous utilisons, ici, le système de classification unifiée des sols (A. S. T. M.), en usage dans le domaine de la géotechnique et du Génie civil

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important :

Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. [5]

I.9.2 origine du sable :

Le sable provient de l'altération et la désagrégation naturelle des roches et autres matériaux de la surface terrestre, sous l'effet du climat. Les matériaux fragmentés peuvent ensuite être transportés par l'eau et le vent, ultimement jusque dans les océans qui bordent les continents. Des accumulations exploitables de sable peuvent se former durant leur long transport vers les océans. [7]

I.9.3 composition du sable :

En général, les gros granulats sont des constitués de fragments de roches tandis que les sables fins sont plutôt constitués de minéraux détachés de leur roche d'origine. Les grains de sable aussi être des débris d'origine organique et même synthétique pour les sables récents. En plus de fragments de coquillages, on trouve maintenant sur les plages marines actuelles une certaine proportion de débris d'origine synthétique comme le verre, la terre cuite, la porcelaine et certains plastiques. [7]

Cependant, les débris d'origine synthétique ne sont présents que dans les sables de plages et de delta marins actuels en formation et les débris d'origine organique ne sont abondants que dans les sables.

marins. Les sables d'origine glaciaire ou fluvioglaciaire ne contiennent jamais de débris synthétiques et très rarement des débris organiques.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est: [5]

- extra-fins: jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire);
- fins: jusqu'à 1,6 mm;
- moyens: jusqu'à 3,15 mm;
- Gros : jusqu'à 5 mm

I.10 L'eau de gâchage :

Toutes les eaux ne peuvent être utilisées pour gâcher les bétons et les mortiers, l'eau potable est toujours utilisable, mais dans certains cas l'eau contient des impuretés, ce qui nécessite une analyse chimique pour déterminer les impuretés qui s'y trouvent. Ces impuretés sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment, des granulats ou des armatures, soit des particules en suspension qui sont indésirables.

- L'excès d'impuretés détériore les propriétés du béton : les propriétés physiques et mécaniques (prise et résistance), les propriétés esthétiques (tâches, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures).

I.10.1 Le rôle de l'eau :

L'eau permet au ciment de faire prise (c'est un des réactifs de la réaction d'hydratation), et de donner au béton une consistance (ouvrabilité) adaptée à l'ouvrage à réaliser. L'eau est un constituant très important du béton, car elle peut en influencer la qualité, en fonction de sa qualité et de sa quantité.

I.10.2 La quantité d'eau :

Il faut être attentif au dosage, car un excès d'eau nuit à la durabilité du béton et diminue la résistance du béton durci. On calcule la quantité d'eau à partir du rapport E/C (masse d'eau / masse de ciment) établi expérimentalement.

I.11 Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents.

I.11.1 types d'adjuvants :

- Les super plastifiants (réducteurs d'eau);
- les entraîneurs d'air;
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);
- les hydrofuges.
- Les adjuvants divers (ceux qui améliorent la viscosité, l'adhérence, etc.).

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre [5].

I.11.2 Avantages :

- ✓ Permet de réaliser des bétons ou mortiers fluides.
- ✓ Diminue le retrait.
- ✓ Facilite considérablement la mise en place des bétons, sans rajout d'eau.
- ✓ Utile lors de bétonnage par temps froid.
- ✓ Améliore les résistances mécaniques à court terme.
- ✓ Accélère le temps de prise.
- ✓ Accélère la prise et le durcissement des bétons et mortiers.
- ✓ Permet un décoffrage rapide.
- ✓ Utilisable pour les bétons armés et non armés.

I.12 Fibres Métalliques :

Le terme fibre se rapporte à un corps solide flexible. La fibre est un composant filiforme (rapport longueur /diamètres est très élevé : (25-1500) de faible longueur (5- 60mm) et dont l'épaisseur est comprise entre (0,005-0,75) mm les fibres sont disponibles sous différentes formes (rondes, plates, gaufrées) d'origine minérale, organique ou métallique, les fibres sont courtes et dispersées dans toute la masse de béton [12].

I.12.1 Différentes natures de fibres :

Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ... etc.), leur dimension (macro ou microfibrilles) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont :

I.12.2 Fibres naturelle :

A/ Fibres végétales :

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent aussi à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).

B/ Fibres animale :

Les fibres animales sont composées principalement de protéines. La kératine constitue les poils (dont les laines en tout genre) et les plumes. La soie est une sécrétion de fibroïne produite

par le ver à soie, chenille d'un papillon du genre bombyx et les araignées. La laine et les plumes sont des très bons isolants pour la construction.

I.12.3 Fibres minérales :

A/ Fibres d'amiante :

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires et aussi pour la confection de tissus résistants aux feux.

B/ Fibres de verre :

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 trous d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100µm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12, et 50 mm de long.

Ils sont regroupés en trois types : La fibre de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre de verre au borosilicate. Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes :

- ✓ Bonne adhérence avec la matrice ;
- ✓ Disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues ...) ;
- ✓ Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion ;
- ✓ Conductivité thermique relativement faible

C/ Fibres de carbone :

Le carbone est très dispendieux ce qui le rend beaucoup moins populaire que le verre moins disponible sur le marché, les fibres de carbone sont cependant reconnues comme étant les fibres les plus performantes.

I.12.4 Fibres organique :

Les fibres de polymères sont d'origine plastique, on distingue trois familles principales de ces fibres à savoir :

- ✓ Le polyamide qui représente la famille la plus importante des plastiques par leur tonnage. Le PA résiste mal aux acides minéraux.
- ✓ Le polychlorure de vinyle (PVC), est une matière thermoplastique obtenue par polymérisation du chlorure de vinyle. Le PVC résiste bien aux acides et aux alcalis.

- ✓ Le polypropylène (PP), est un thermoplastique formé de chaîne linéaire constitué de motifs propylènes dans le cas d'un homopolymère et d'une altération contrôlée de motifs propylène et éthylène dans les copolymères. Le PP résiste bien aux alcalis et aux acides

I.12.5 Fibres Métallique :

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, ont été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. Dans la présente étude, nous nous sommes intéressé à la fibre métallique (acier), vue les caractéristiques (forme, élancement, caractéristiques physicochimique... etc.) qu'elles présentent.

L'ajout des fibres au béton, apporte une certaine ductilité ; pour une longueur de fibres égale à 50 mm et un pourcentage en fibres de 1%, le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux. Cependant, en ce qui concerne l'énergie de rupture, elle est plus importante dans le cas des éprouvettes armées de fibres Dra mix (pour $L_f=50\text{mm}$). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres présentent un système d'ancrage, elles sont munies de crochets aux extrémités. L'adhérence fibres-matrice (béton) est ainsi meilleure.

Le mortier fibré étant toujours déchiré par des fibres, l'utilisation de fibres à haute adhérence améliore la résistance à la déchirure et améliore ainsi les propriétés mécaniques du matériau composite. Les proportions de béton fibré ordinaire varient généralement de 1 à 3 % selon le volume de béton. Les fibres ont des longueurs comprises entre 20 et 60 mm au maximum. La finesse est définie comme le rapport longueur/diamètre (l/d), qui est un paramètre important dans le sens où il reflète deux propriétés des fibres à savoir la longueur et le diamètre. Pour atteindre une efficacité optimale. Des doses plus élevées de fibres longues donneront de meilleures performances mécaniques si les fibres peuvent être uniformément réparties.

Il existe sur le marché, une panoplie de fibres métalliques d'acier, voici quelques types de fibres :

- ✓ Fibres ondulées - crantées - torsadées-droites.
- ✓ Fils, rubans.
- ✓ Fibres à extrémités aplaties, à crochets, à têtes coniques, etc.



Figure.I.9 : Différentes forme de fibres métallique

I.13 Avantages de la fibre :

La fibre peut remplacer le treillis soudé, afin de contrôler la fissuration de retrait, car le treillis soudé est souvent utilisé pour empêcher le phénomène de retrait du béton, la fibre retarde la fissuration fine et améliore le comportement post-fissuration jusqu'à présent divers béton blocs. Ils préviennent les contractures dès le plus jeune âge et s'opposent à la manie (la manie correspond à l'apparition de nombreuses fissures très fines qui forment un quadrillage hexagonal ou octogonal). Le retrait du lisier peut être réduit. Les fibres améliorent la ductilité du béton ou du mortier durci dans une moindre mesure la résistance à la traction. Les fibres augmentent la résistance aux chocs. Les fibres réduisent le fluage, qui est la déformation du mortier ou du béton en général au cours du temps sous une pression constante. Par exemple, les fibres d'acier et de verre sont parmi les fibres les plus utilisées.

Conclusion :

Les mortiers et les ciments sont les matériaux les plus utilisés et les plus important dans le domaine de la construction surtout ces dernières années en Algérie Les gains de résistance ne sont pas les seuls avantages de ces slurries qui tirent leurs propriétés de leur microstructure très dense, d'une forte diminution de leur porosité sont en fait des matériaux très compressifs, et aussi du fait de leur porosité extrêmement faible, plus résistante aux agents agressifs et, en général, ont une ténacité accrue. Ils permettent d'améliorer des ouvrages, de réaliser des travaux soumis à de fortes pressions ou soumis à un environnement sévère (climat).

L'optimisation de leurs performances est due, en particulier, aux récentes évolutions technologiques des adjuvants qui permettent des formulations avec une forte réduction du dosage en eau tout en conservant une maniabilité adéquate et à l'utilisation complémentaire éventuelle d'ultrafines qui complètent les vides du squelette granulaire entre les grains de ciment et améliorent la compacité.

Chapitre II

La Durabilité dans les milieux agressifs

II. Introduction :

Dans ce chapitre, nous discuterons de la durabilité Bâtiment, des mécanismes de sa dégradation et des solutions possibles pour l'augmenter, de sorte que la durabilité soit considérée comme l'une des propriétés mécaniques les plus importantes du Les matériaux de construction. Afin de connaître l'âge d'un bâtiment et sa résistance aux influences extérieures, il est nécessaire d'étudier la durabilité du Mortier, et il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles d'entraîner sa détérioration, et la résistance des matériaux à cette détérioration. Les trois principaux mécanismes par lesquels les fluides se déplacent dans le béton sont la perméabilité, la diffusion et l'absorption.

La capacité d'un matériau à maintenir ses propriétés physiques et ses performances mécaniques dans des conditions satisfaisantes est déterminée pendant la durée de vie prévue de la structure, en tenant compte des conditions environnementales Surtout dans un milieu agressif qu'elle contient.

II.1 Définition de la durabilité :

La durabilité du Matériaux de ciment est définie comme étant capable de maintenir sa résistance et de continuer à effectuer son service tout au long de sa vie utile, doit donc résister aux mécanismes de dégradation qu'il peut. Exposition à celui-ci, comme les cycles de gel-dégel et certaines formes d'attaque chimique.

Les raisons en sont le manque de durabilité dû à la détérioration pouvant résulter de facteurs externes ou de phénomènes internes du Mortier, par exemple des procédés physiques, mécaniques ou chimiques, ces derniers résultant de réactions d'alcali, de silice et de carbonate alcalin et d'attaques chimiques externes résultant de la présence d'ions agressifs tels que chlorures, sulfates et dioxyde. Le carbone est ajouté à de nombreux gaz et liquides d'origine naturelle ou industrielle. La détérioration est rarement due à une seule cause et le se comporte souvent de manière satisfaisante [17].

II.2 Durabilité Des Matériaux Cimentaire :

II.2.1 La perméabilité :

Est relative au déplacement d'un fluide sous l'effet d'une pression motrice. Elle dépend de la taille des espaces poreux dans lesquels s'écoule le fluide, ainsi que leur interconnecte.

La carbonatation est un phénomène qui provoque la corrosion, mais elle n'est pas nocive si la corrosion ne se développe pas. Le Mortier à porosité ouverte élevée permet facilement aux agents indésirables de se déplacer à l'intérieur et la carbonisation apparaîtra plus rapidement et

vice versa. Ainsi, les principaux paramètres qui contrôlent la durabilité des structures sont les caractéristiques de transport dans. Parmi eux, la perméabilité du, qui peut être considérée comme un bon indicateur de la durabilité structures renforcées : « La perméabilité du est le facteur le plus important pour déterminer la durabilité en milieu corrosif » [18].

II.2.2 La porosité :

Le Mortier est un matériau poreux, c'est-à-dire qu'il présente des vides, ces pores sont essentiels pour la résistance et la durabilité du Mortier. En effet, une faible porosité est la meilleure défense du Mortier contre tous les facteurs agressifs [19].

II.2.3 La diffusivité :

Est relative au déplacement d'une espèce chimique à l'échelle moléculaire sous l'effet d'un gradient de concentration. Contrairement à la perméabilité, la diffusivité dans un matériau poreux ne dépend pas de la taille des pores, elle dépend que de leur interconnexion [20].

La diffusivité est définie à partir de la loi de Fick : $J_x = -D_a \cdot dC / dx$ La perméabilité et la diffusivité, qui dépendent de la compacité du béton, sont deux indicateurs essentiels de la durabilité des bétons.

Les plastifiants et les additions minérales fournissent une grande variété de moyens pour faire des bétons ayant un niveau de résistance à la compression fixé. Les additions minérales peuvent aussi modifier la nature et la texture des hydrates formés, le cas des cendres volantes, le laitier, la fumée de silice. Un de leurs effets les plus notables est de réduire la proportion de portlandite dans les hydrates. Cette réduction de la portlandite s'accompagne en général d'un affinement des pores et des capillaires, et donc, d'une réduction de la perméabilité. Cela peut apporter en soi un gain important vis-à-vis la durabilité [20]. [21]

II.3 Classification des milieux agressifs et leurs modes d'action :

Les milieux agressifs sont d'ordre chimique ou physique, ils peuvent être classés en trois catégories [21] :

A/ Les gaz :

Ils sont d'origine naturelle, ou résultant de pollutions atmosphériques et fermentation, les plus fréquemment rencontrés sont les dioxydes de carbone, de soufre, et d'azote, l'hydrogène sulfuré, les vapeurs chlorées, bromées et iodées, l'ammoniac.

B/ Les liquides inorganiques ou organiques :

Qui indépendamment de leurs éventuels effets purement physiques, agissent surtout par leur caractère acide ou basique et par les ions agressifs qu'ils peuvent contenir.

C/ Les solides :

Ce sont essentiellement des sols et des déchets d'origines diverses. Le mode d'action des agents agressifs dépend du milieu dont le Mortier est placé, ils agissent comme suit :

D/ Mode d'action des gaz :

Le transfert des gaz dans le béton se fait généralement par diffusion, et dépend très fortement de l'humidité relative du matériau. Les transferts par diffusion peuvent intervenir sous deux formes : en phase liquide et en phase gazeuse.

E/ Mode d'action des liquides :

Le transfert de liquide se fait, soit par mouvement du liquide sous gradient de pression hydraulique ou par capillarité d'une part, soit par diffusion d'autre part. L'écoulement ou le mouvement du liquide se produit lorsque le Mortier est soumis à un gradient de pression hydraulique (barrage). L'écoulement en phase liquide est engendré par les tensions capillaires, ou encore lorsque le Mortier est sec, il subit une ascension capillaire d'eau d'origine extérieure.

F/ Mode d'action des solides :

La nocivité des substances solides est directement liée à leur capacité d'extraction et de passage en solution dans les eaux avec lesquelles ils entrent en contact. Leurs actions se réduisent alors à des phénomènes voisins de ceux observés dans le cas des agressions par les liquides.

II.4 Critères Généraux De Durabilité Dans Les Milieux Agressifs :

Que ce soit pour la carbonatation, la résistance au gel ou à la diffusion des ions chlorure, les limitations portant sur ces trois critères servent à limiter la capacité de transfert du béton, exprimée par un coefficient de perméabilité ou de diffusion [22].

II.4.1 La résistance :

En vue de l'objectif de durabilité, le choix de la classe de résistance du béton est en fonction de l'agressivité du milieu, d'autant plus élevé que le milieu est plus agressif. Cela signifie que l'exigence de durabilité qui peut parfois déterminer la résistance à prendre.

On peut considérer qu'un niveau de résistance adapté au milieu environnant est un premier critère de qualité qui doit cependant être complété par d'autres conditions, en effet, tous les bétons de même résistance à la compression ne sont pas également durables.

Une forte décroissance de la résistance mécanique est observée avec l'augmentation de la porosité. En génie civil, ceci est traduit par « l'obtention d'un béton très compact passe la

réalisation d'un béton mécaniquement très résistant ». Ces deux grandeurs sont intimement liées.

II.4.2 L'eau de gâchage :

Dans le béton l'eau remplit deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais les propriétés rhéologiques, qui vont lui permettre un écoulement sans ségrégation dans les coffrages ; Une fonction chimique qui contribue au développement des réactions d'hydratation et la formation de la pâte liante dans le béton [23], L'eau de gâchage doit être propre, elle ne doit pas contenir d'agents agressifs (sels minéraux en quantités abondantes).

Tableau II.1: Les valeurs limites de l'agressivité de l'eau

Examen Chimique mg/l	Agressivité		
	Faible	fort	Très forte
Valeur du PH	6.5 à 5.5	5.5 à 4.5	< 4.5
CO2 agressif	15 à 30	30 à 60	> 60
Ammonium NH4 +	15 à 30	30 à 60	> 60
Magnésium Mg2+	100 à 300	300 à 1500	> 1500
Sulfates SO4 2-	200 à 400	600 à 3000	> 1500

II.4.3 La nature de ciment et le dosage :

L'influence du dosage en ciment est inversement proportionnelle à celle du dosage en eau La résistance en béton augmente avec le dosage en ciment. C'est surtout la classe de ciment qui importe plutôt que sa nature minéralogique.

II.4.4 Le rapport E /C

La résistance mécanique dépend directement du rapport E/C, et qui est même en relation directe avec la porosité [22].

Le rapport E/C (Eau/Ciment) est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de sa qualité : résistance mécanique à la compression, durabilité.

II.5 Attaques chimiques :

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau Mortier. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du Mortier, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en trois catégories :

- A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.
- B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.
- C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du Mortier [24].

II.5.1 Attaques acides :

Le Mortier est de nature basique, et c'est l'une des substances aqueuses de la pâte de ciment, il peut donc avoir une réaction spécifique par rapport aux solutions acides telles que les pluies acides et l'eau chargée en dioxyde de carbone. Acides minéraux, eau naturelle chargée de dioxyde de carbone et eaux usées Ces attaques acides se produisent en raison ou à travers le mécanisme de dissolution.

Le rendement peut être le suivant : $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaOH}$
Dans cette réaction chimique, l'un des produits obtenus est du gypse ou du sulfate de calcium. Le sulfate de calcium n'interagit qu'avec l'aluminate de calcium aqueux, ainsi le sulfate de calcium-aluminate (appelé bizarrerie) forme la propriété de gonflement. Les contraintes internes qui en résultent peuvent fissurer et même détruire le Mortier.

II.5.1.1 Les différents types des acides :

A/ Acides minéraux :

Les acides nitrique et chlorhydrique, qui sont des acides minéraux forts, qui par leur réaction avec la chaux du ciment produisent du chlorure de calcium CaCl_2 et du nitrate de calcium $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$, qui sont des sels hautement solubles, très agressifs pour le ciment Portland. L'acide sulfurique H_2SO_4 , par exemple, se forme lors de l'oxydation du sulfure d'hydrogène produit dans les eaux usées ou par condensation du dioxyde de soufre dans l'atmosphère, et est multiplié

par son acidité et par l'anion SO_4 - ce qui peut conduire à la formation de sels expansés tels que le gypse et les tr nitrates.

B/ Acides organiques :

On le retrouve dans les déchets liquides produits par les industries chimiques et alimentaires (engrais, papier, tannage, ainsi que vinaigre, laiterie, fromageries, conserveries, fermes, etc.) Il est souvent moins agressif que les acides minéraux. Dans certains cas, il peut avoir un effet colmatant sur le Mortier.

En général, une attaque chimique sur le Mortier prend la forme de décomposer les produits aqueux et de former de nouveaux composés qui peuvent être filtrés, s'ils sont solubles, et qui, s'ils sont insolubles, peuvent être nocifs. Sur site

Le Mortier est également attaqué par l'eau qui contient du dioxyde de carbone libre, comme l'eau minérale, qui peut également contenir du sulfure d'hydrogène. Tout le dioxyde de carbone agressif de cette fraction de dioxyde de carbone n'est pas nécessaire pour la formation et la fixation du bicarbonate de calcium en solution.

Bien que les eaux usées domestiques soient elles-mêmes alcalines et n'attaquent pas le béton, dans de nombreux cas, de graves dommages aux égouts ont été observés, en particulier à des Températures relativement élevées, lorsque des composés contenant du soufre y sont convertis. H_2S par des bactéries anaérobies. Ce composé en lui-même n'est pas un agent destructeur, mais se dissout plutôt par une fine couche d'humidité recouvrant la surface du béton et oxydée par des bactéries anaérobies, qui produisent finalement de l'acide sulfurique. L'attaque apparaît donc au-dessus de l'eau à l'intérieur du tube. Le mastic de ciment durcissant se dissout progressivement, entraînant une détérioration progressive du béton. Un type d'attaque similaire pourrait se produire sur les réservoirs de stockage de pétrole en haute mer pour la villa [25].

II.5.1.2 Mécanisme d'attaque acide :

Le Mortier est très sensible aux attaques acides. De plus, ce procédé est très facile et simple : ce raccourcissement des réactions chimiques et physiques au fil du temps détruira au moins un ou les composants préparés de la pâte de ciment. Dans le tableau I.1, nous identifions les éléments en béton qui risquent d'être endommagés

Tableau II.2: Composants du béton menacés par la corrosion.

Composants du Béton	Désignation	Formule chimique
Pâte de ciment	Hydroxyde de calcium (CH)	Ca(OH)_2
	Silicate de calcium hydraté (CSH)	$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$
	Aluminate de calcium hydraté	$3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	Aluminate de calcium ferrique hydraté	$6\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Granulats	Calcaire (Carbonate de calcium)	CaCO_3
	Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
	Grès amorphe	$\text{SiO}_2\cdot x\text{H}_2\text{O}$

II.5.2 Les attaques sulfatique :

II.5.2.1 Définition de l'attaque sulfatique :

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité. Le problème est aussi ancien que le béton et on a commencé à l'étudier il y a déjà près de 100 ans.

L'attaque sulfatique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits « secondaires » dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimio-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé [26].



Figure. II.1: Des cas pathologiques d'éléments en mortier en contact de sulfate.

Les dommages au béton sont causés par les sulfates à la fois dans les mécanismes de dilatation et par la perte des propriétés de liaison du C-S-H. De plus, l'aluminate et la portlandite sont les plus vulnérables aux attaques de sulfate.

II.5.2.2 Sources des sulfates :

On distingue deux types d'attaques : les attaques par les sulfates externes présents dans l'environnement du Mortier et les attaques selvatiques internes pour lesquelles les sulfates proviennent des composants du Mortier lui-même [26].

- Lorsqu'il s'agit d'une attaque par les sulfates provenant de l'extérieur, il y a formation de couches de gypse et d'étrangéité secondaire ainsi que la traumatise à partir de la surface exposée aux sulfates. L'attaque par les sulfates externes est souvent combinée avec l'attaque par le cation correspondant, selon la provenance des sulfates, qui peuvent réagir avec certains granulats ou fillers, ou avec les C-S-H ou le portlandien, et contribuer davantage à la dégradation du béton. De plus, l'attaque par les sulfates externes peut être combinée à une attaque par l'acide ce qui accélère également la destruction de la pâte hydratée.
- Lorsqu'il s'agit d'une attaque interne par les sulfates, ces derniers proviennent presque uniquement des sulfates de calcium qui se trouvent dans le Mortier dès sa confection. Par conséquent, ces sulfates sont uniformément répartis dans la pâte hydratée et le seul produit expansif de la réaction est l'étrangéité. L'étrangéité secondaire qui est le résultat d'une attaque par les sulfates externes, n'est pas seule à endommager le béton, c'est plutôt la formation du gypse qui contribue à la fissuration, la lixiviation et le délaminage des couches superficielles [27].

II.5.2.3 Processus d'attaque par sulfate :**A) Externe**

Dans le prochain développement, ce type de dégradation sera traité par son aspect phénoménologique autant que par les résultats et les moyens de la prévenir en travaillant sur les paramètres de la formule. Les signes de détérioration à différents stades de conditions causent des, Dommages aux structures

- Le contact de la surface du mortier avec la solution forte
- Pénétration de l'anion SO_4 par diffusion depuis la surface piégée
- Augmentation de la pénétration des sulfates à travers les fissures
- Destruction complète ou partielle du mortier
- Le point de réaction des ions sulfate avec l'aluminate anhydre (C3A). Eau (C4AHx et C3ACASO4H 12). Moins Fissuration en coin due aux pressions de cristallisation.



Figure. II.2: Attaque sulfatique externe

B) Interne

La décomposition du Mortier par le sulfate est principalement due au phénomène d'expansion associé au cristal d'éternité, que l'on appelle Ethernet secondaire. La composition de cette étrangeté doit être distinguée de l'élément étrangeté, que nous avons obtenu dans la première phase d'hydratation du ciment Portland au moyen d'une réaction de gypse, car cette étrangeté basique ne se dilate pas.

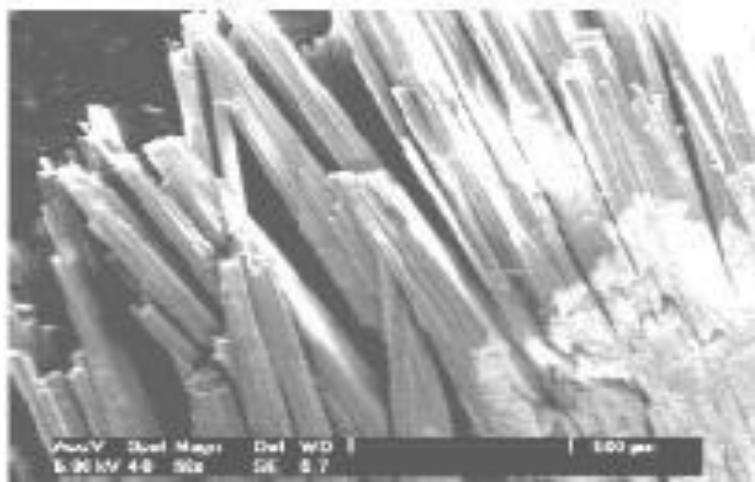


Figure. II.3: Formation d'immortalité secondaire

La formation de gypse secondaire au lieu du gypse primaire ajouté au ciment, la formation de gypse secondaire se produit à partir de la réaction de substitution entre la portlandite et le sulfate de sodium.

La réaction entre le gypse secondaire et l'aluminate de calcium se présente sous la forme de triangles de cimentite, et il existe plusieurs scénarios possibles, et l'effet du sulfate peut également entraîner une perte de résistance et de masse superficielle du Mortier. Ces effets sont dus à la Modification des propriétés de liaison de certains hydrates.



Figure. II.4: Attaque sulfatique interne

II.5.2.4 Mécanismes d'attaque :

Les sulfates peuvent endommager le mortier selon deux mécanismes physiques et chimiques :

- Expansion.
- Perte des propriétés de liaison de C-S-H.

L'aluminate et le portlandien sont les deux produits les plus sensibles aux attaques des sulfates

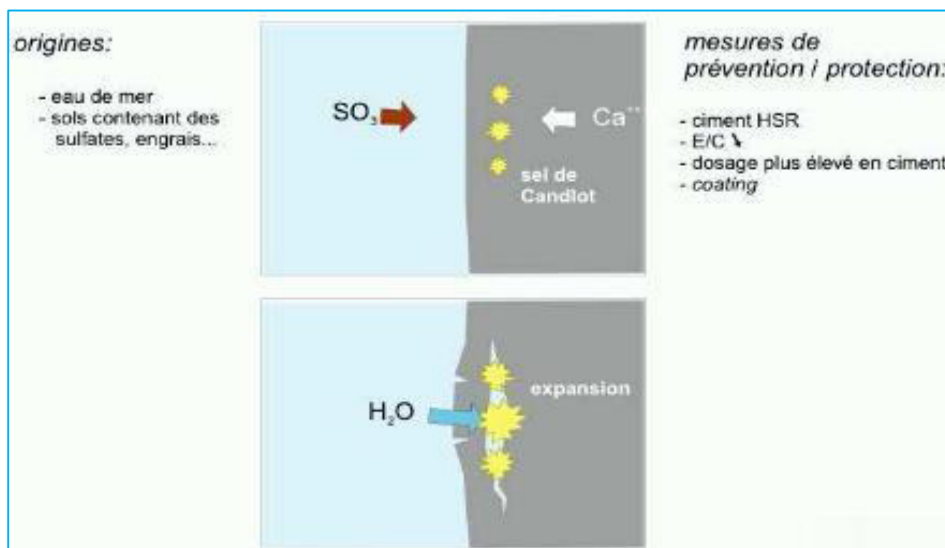


Figure. II.5: L'attaque par les sulfates.

II.6 Attaque par les ions chlorures :

Dans les bétons la Figure II-8, les chlorures proviennent pour l'essentiel du milieu extérieur, mais il est important de limiter les sources internes chlorures. Pour l'acier, le processus de corrosion généralement admis et débute par la dissolution du métal et la formation des ions ferreux [21].



Figure.II.6 : agression du béton par activité des chlorures.

II.7 La carbonatation :

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui concerne tous les bétons. Elle correspond à une transformation progressive d'essentiellement, un des composants des bétons durcis, la portlandite et la calcite, au contact du dioxyde de carbone contenu dans l'air et en présence d'humidité.

Cette transformation s'accompagne d'une diminution de pH (le béton sain à un pH d'environ 13), ce qui constitue un milieu protecteur pour les armatures en acier et permet la formation d'une couche d'oxydes passifs. Le pH d'un béton carbonaté est d'environ 9. A ces valeurs de pH, le film passif est détruit et la corrosion peut se développer à l'intérieure et provoque le vieillissement de béton.



Figure.II.7 : Détermination de la profondeur de carbonatation.

II.7.1 Phénomène de carbonisation :

Le dioxyde de carbone dans l'air pénètre dans le mortier à travers le réseau poreux et les fissures, et en présence d'eau dans les pores, le pH de la solution poreuse du béton est réduit à 9 par réaction avec une pâte eau-ciment, en particulier le portlandien.

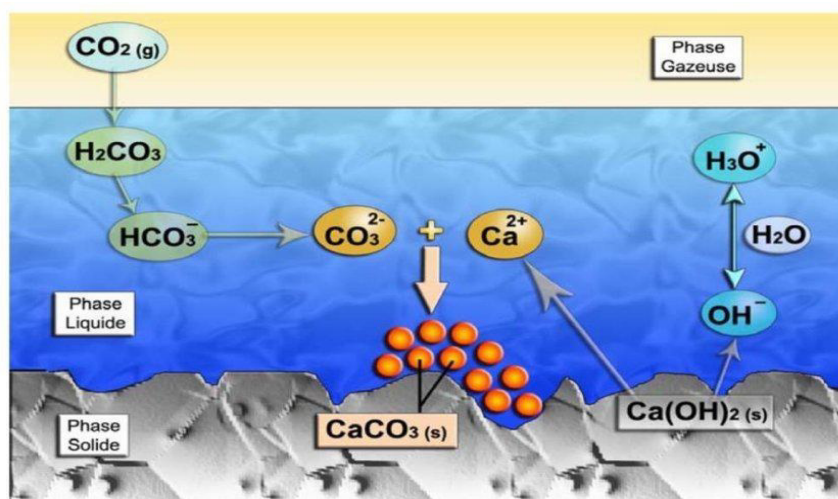


Figure.II.8 : Schémas de la carbonatation de la matrice cimentaire

II.8 Durabilité dans les eaux marines :

Le milieu marin a un grand impact sur le mortier en général à travers plusieurs facteurs, dont les plus importants sont :

- La température et le pourcentage d'humidité dans l'air
- Le degré de poussière et d'humidité contenant des sels
- Le degré de concentration de sels nocifs dans le sol. 3 Réactions physiques : Cycle d'hydratation sécheresse, choc, érosion, A.
- Le degré de concentration de sels nocifs dans le sol.

Ces facteurs provoquent une réaction chimique avec le mortier normal ou renforcé, ce qui conduit à la décomposition des principaux composants du mortier et à sa corrosion, avec un effet négatif sur le mortier, ce qui conduit à son oxydation puis à sa corrosion. Et une couche qui brise le mortier. Entre le soufre dissous et le ciment, ce qui conduit à une mauvaise résistance et par conséquent à la fissuration et à l'effondrement progressif de ses parties externes du mortier.

II.8.1 Composantes agressives du milieu marin :

Il existe plusieurs facteurs agressifs dans le milieu marin. On distingue les catégories suivantes moins :

- Agent chimique : L'eau de mer contient différents ions dont les effets ne sont pas nécessairement cumulatifs.
- L'eau de mer a un effet négatif sur la durabilité et la durabilité des mortiers renforcés, car l'eau de mer contient des proportions élevées et une forte concentration de sels, en particulier les sels de sulfate et de chlorure qui provoquent la corrosion. Et attaquer la structure en raison de la réaction électrochimique.
- Facteur physique : Dans les zones extrudées et dans les climats rigoureux, le phénomène de gel-dégel se produit. Dans les mers et océans chauds, la température est un facteur des réactions de dégradation.
- Le facteur mécanique : l'énergie cinétique qu'il provoque dans les vagues qui transportent les solides qui provoquent la corrosion et la fissuration du mortier, ce qui augmente les attaques chimiques et soulage ses ouvriers.
- Contenant la température, l'humidité et la poussière, en plus du degré de concentration des sels nocifs et de leur prévention.

II.8.2 Mécanismes d'attaque des composants agressifs de l'eau de mer :

Le processus chimique d'attaque d'un mortier avec de l'eau de mer résulte de plusieurs réactions simultanées ou moins nombreuses et simultanées utilisant différents mécanismes [28] :

- Filtration - Dissolution.
- Réaction d'échange initiale.
- Dépôt de composés insolubles.
- Sels de cristallisation expansés.

Conclusion :

La durabilité joue un rôle important et nécessaire dans la construction, elle détermine donc la durée de vie de la structure, son utilité à l'usage, ses poids porteurs, ses symptômes externes et le climat écologique de l'environnement. Dépasse.

Les raisons qui affectent la durabilité des structures en mortier varient sous diverses formes et concernent les phases de conception, de construction, de réalisation et de maintenance des installations, ainsi que les attaques chimiques telles que l'attaque d'une solution de sulfate. Acide et carbonatation...etc.

Il existe de nombreuses causes physiques, telles que le cycle de fusion et de corrosion, ainsi que des causes mécaniques telles que le trafic constant et les poids tels que la machinerie lourde.

Une bonne étude de ces causes permettra d'éviter leur détérioration, d'assurer une pérennité, Durée de vie, utilisation fiable et coûts de maintenance réduits.

Chapitre III :
Caractéristiques des matériaux
utilisés

III.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous présenterons les différentes caractéristiques des matériaux utilisés, entrant dans la composition des mortiers à confectionner et cela par des essais au laboratoire, ces matériaux sont purement locaux.

Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Le sable
- ✓ Le ciment
- ✓ L'eau de gâchage
- ✓ Les adjuvants
- ✓ Le filler utilisé (Poudre de céramique, Poudre de fumée silice).
- ✓ Fibres métalliques

III.2 Sable :

Le sable de base de notre recherche provient des abords d'Oued MAITAR (BOUSAADA).

III.2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

III.2.1.1 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-555 :

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Mode opératoire :

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité 500 ml. On prend 03 échantillons de masse 300g. On place l'échantillon dans le récipient de capacité 500 ml et on y verse 300 ml d'eau préparé préalablement dans 2 ème récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable -eau. Soit (V2) ce volume Sachant que le volume (V) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul. Volu La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

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



Figure. III.1: Echantillons de sable masse 300g



Figure.III.2 : Eprouvette graduée 500 ml

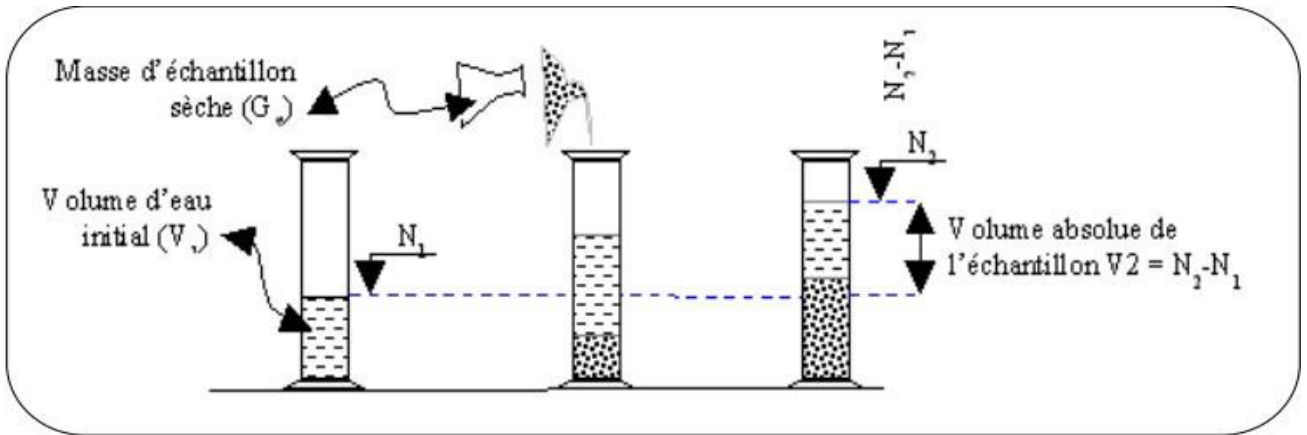


Figure.III.3 : La masse volumique absolue d'un matériau

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau.III.1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda

N° d'essai	M (g)	V1 (cm ³)	V2 (cm ³)	V2-V1 (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{abs} moy (g/cm ³)
1	300	300	415	115	2.60	2.60
2	300	300	415	115	2.60	
3	300	300	415	115	2.60	

- ✓ **M** : masse du sable
- ✓ **V2** : volume d'eau + sable.
- ✓ **V1** : volume d'eau.

III.2.1.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554

Masse Volumique Apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté. Il faut donc préciser : masse volumique apparente à l'état compacté ou masse volumique apparente à l'état non compacté.

But de l'essai :

Déterminer les masses volumiques apparentes du matériau, c'est - à - dire sa densité à l'état naturel (en présence des pores).

A/ Masse volumique apparente à l'état lâche :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

Mode opératoire :

- ✓ On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- ✓ On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- ✓ On pèse le récipient vide **M₁**.
- ✓ On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- ✓ Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit **M₂** ce poids.
- ✓ Volume de récipient **V_r = 900cm³**.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M2 - M1)}{Vr}$$



Figure. III.4: Essai de détermination de la masse volumique apparente

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau.III.2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	M2- M1 (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{appmoy} (g/cm ³)
1	116	1450	1334	1.48	1.48
2	116	1454	1338	1.48	
3	116	1461	1345	1.49	

B/ Masse volumique apparente à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les Vides restant entre les grains. Généralement elle est supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Mode opératoire :

- ✓ Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient « après tassement » on soumet ce dernier à 30 secousses manuelles.
- ✓ On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et on le pèse. Soit M₂ le poids de l'ensemble (sable + récipient), la masse.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau.III.3 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	M2- M1 (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{appmoy} (g/cm ³)
1	116	1542.7	1426.7	1.58	1.58
2	116	1536.2	1420.2	1.57	
3	116	1548.3	1432.3	1.59	

III.2.2 Porosité : NF P 18-554 :

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P\% = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] * 100$$

On distingue deux cas pour le sable Boussaâda :

- Etat lâche : **PL** = 43.07%
- Etat compact : **PC** = 39.23%

III.2.3 Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est -à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

$$C = (\rho_{app} / \rho_{abs}) = 100 - P$$

On distingue deux cas pour le sable Boussaâda :

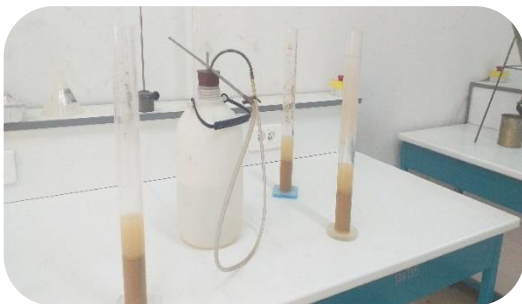
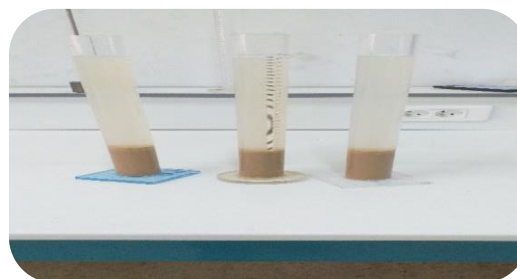
- ✓ Etat lâche : **CL** = 56.93%
- ✓ Etat compact : **Cc** = 60.77%

III.2.4 Equivalent de sable : NF P 18-598 :

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et mortiers.

Mode opératoire :

- ✓ Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g)
- ✓ Prendre une pesée de 120 g
- ✓ Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (10cm)
- ✓ A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper Fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon
- ✓ Laisser reposer pendant 10 minutes
- ✓ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique
- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavant atteigne le 2èmerepère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

**Figure. III.6:** Echantillons de sable dans un tube à essai**Figure. III.5:** Echantillons de sable**Figure. III.7:** Agitateur mécanique**Figure. III.8:** Repos de 20 min pour les éprouvettes

III.2.4.1 Equivalent de sable visuel (ESV) :

- ✓ Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- ✓ Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} * 100[\%]$$

$h_2 < h_1$

h_1 : sable propre + éléments fins

III.2.4.2 Equivalent de sable au piston (ESP) :

- ✓ Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- ✓ Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = \frac{h_2}{h_1} * 100[\%]$$

h_2 : La hauteur du sable ($h_2 < h_1$)

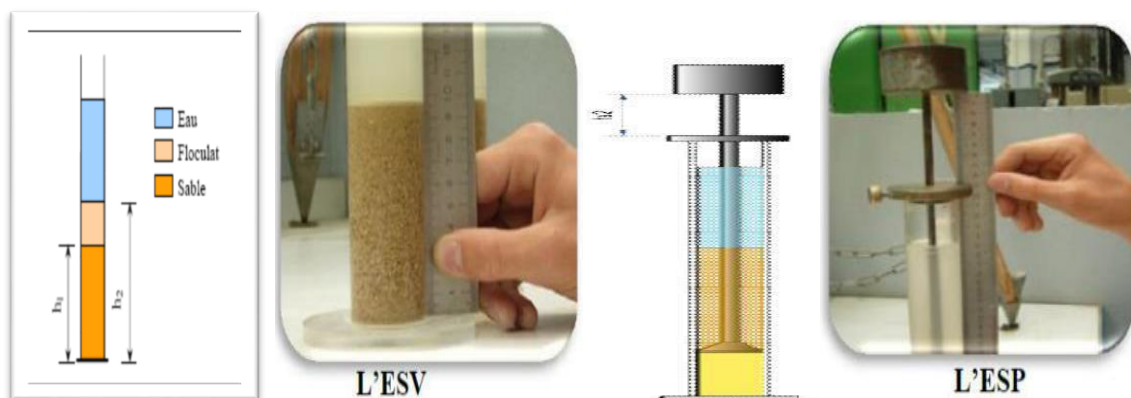


Figure. III.9: Mesurée de L'équivalent de sable.

Les résultats sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau.III.4 : Les résultats d'équivalent du sable de Boussaâda

N° D'essai	h1 (cm)	H2(cm)	ESV(%)	H'2(cm)	ESP(%)
1	10.5	9	89	9,4	85
2	9.9	8.5	91	9,1	93
3	10.4	9	90	9,4	86

(ESV) moy =90%

(ESP) moy= 88%

Tableau.III.5 : Comparaison des résultats.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 ≤ ES ≤ 75	65 ≤ ES ≤ 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne Craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ ES ≤ 85	70 ≤ ES ≤ 80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de Hautes qualité.
85 ≥ ES	80 > ES	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une Augmentation du dosage en eau

III.2.5 Analyse granulométrique : NF P 18-304. NF P 18-560

But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

Matériel nécessaire :

- ✓ Prélever (2 kg) de matériau (sable sec).
- ✓ Une machine à tamiser
- ✓ Une série de tamis normalisé
- ✓ Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond
- ✓ Pour recueillir le dernier tamisât
- ✓ Des récipients en plastique
- ✓ Une main écope pour le remplissage
- ✓ Une balance de portée 5 kg, précision 1g



Figure. III.10: Une machine à tamiser.

Mode opératoire :

- ◆ Prélever (2 kg) de matériau (sable sec).
 - ◆ Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit M_i la masse du tamis
 - ◆ Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
 - ◆ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique. Agiter pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
 - ◆ Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable.
- La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.
- ◆ Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
 - ◆ Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumulé du tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis}$)
 - ◆ Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents Refus cumulés R_3, R_4, \dots

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T = 100 - R_c$

Où :

T : Tamisât en %

R_c : Refus cumulés en %

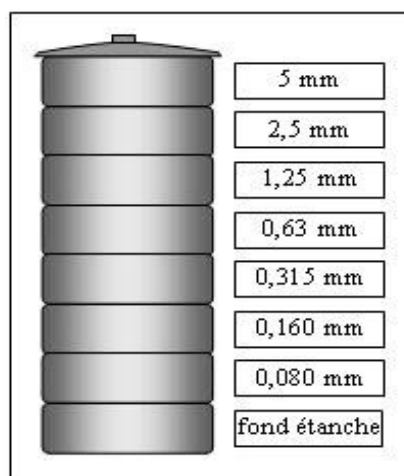


Figure. III.11: Colonne de tamis.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau.III.6 : Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulés		Tamisâts (%)
		(g)	%	
5	0	0	0	100
2.5	43	43	2.15	97.85
1.25	60	103	5.15	94.85
0.63	72	175	8.75	91.25
0.315	1172	1347	67.35	32.65
0.16	556	1903	95.15	4.85
0.08	93	1996	99.8	0.2
Fond	4	2000	100	0

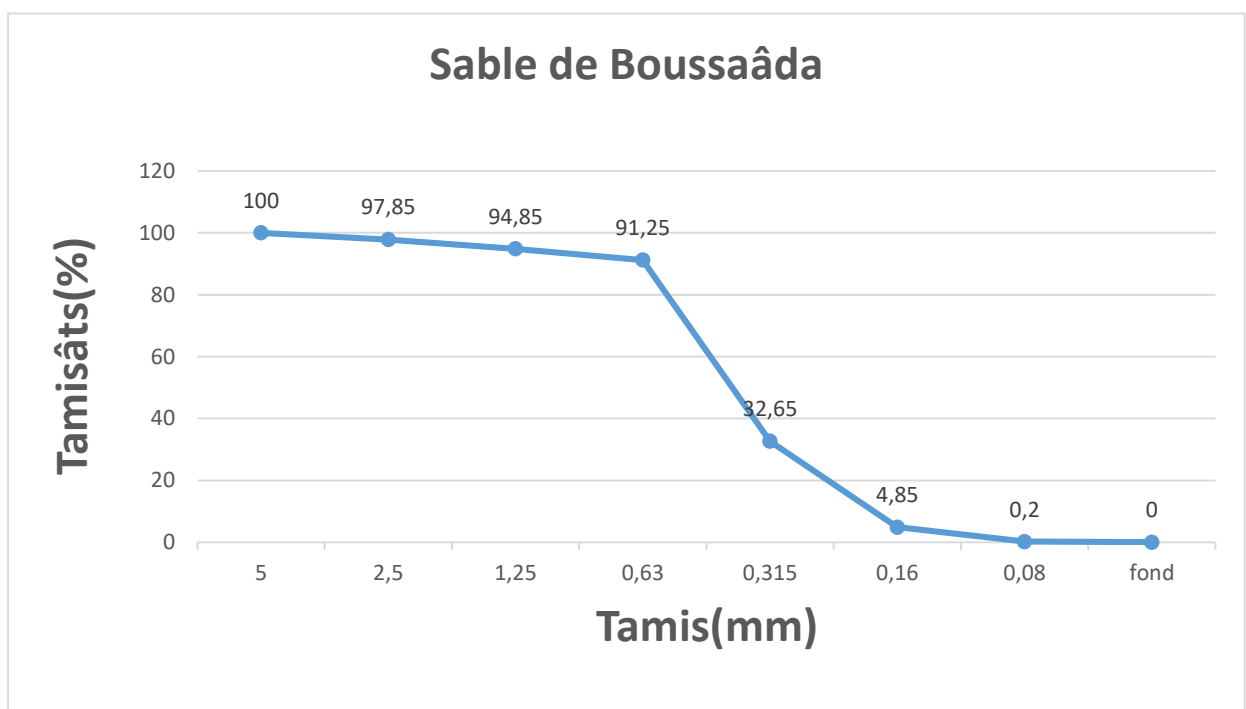


Figure. III.12: La courbe granulométrique du sable de Boussaâda

III.2.6 Module de finesse :

Le module de finesse (M_f) est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable (qualité du sable), il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100. Il est donné par la relation suivante :

Le module de finesse d'un granulat est donné par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{refus cumulée \%}}{100}$$

Où :

✓ **RC** : Refus cumulé.

Selon la norme AFNOR :

- Le sable préférentiel ($2,20 < M_f < 2,80$)
- Le sable un peu trop fin ($1,80 < M_f < 2,20$)
- Le sable un peu trop grossier ($2,80 < M_f < 3,20$)

Pour le sable de Boussaâda : **MF = 3.78**

Donc, c'est un **peu trop grossier**

III.2.7 Caractéristiques chimique du sable :

La composition chimique du sable de dune (OUEDMAITRE) est établie à la cimenterie de Lafarge (M'sila). Elle est donnée par le tableau :

Tableau.III.7 : Analyse chimique du sable de BOUSAADA.

constituants		Tenure en (%)
Elément	Symbol	
Silice	SiO ₂	94,36
Chaux	CaO	0,95
Oxide de ferrique	Fe ₂ O	1,27
Alumine	AL ₂ O ₃	0,99
Oxide de magnésium	MgO	0,17
Sulfat	So ₃	0,004
Potassium oxide	K ₂ O	0,31
Sodium oxide	Na ₂ O	0
Pentoxyde de phosphore	P ₂ O ₅	0,02
Titanium(IV) oxide	TiO ₂	0,09
Chlorine	CL	0,012
Pente au fer	P.A.F	1,35

III.3 Ciment : CEM II /A-(P-L) 42.5N (Ciment Portland NA 442/2013)

Un ciment portland, contenant 95% clinker et 5% de gypse en tant que régulateur de prise.

(Fiche tech ciment Gica).

Tableau.III.8 : Analyse chimique ciment :

Analyse chimique	Min	Max
SiO ₂	22.80	32.00
AL ₂ O ₃	5.20	6.20
Fe ₂ O ₃	3.20	3.60
CaO	52.00	62.00
MgO	1.02	1.20
K ₂ O	0.35	0.45
Na ₂ O	0.40	0.50
SO ₃	1.80	2.20
PF	2.00	2.80
CL	0.03	0.45
Ri	6.00	12.00
Caol	0.40	1.54

Tableau.III.9 : caractéristiques physico-mécaniques :

Essai physico-Mécanique	Min	Max	Norme
Ss Blaine cm/g	2960	4200	-
Consistance %	25.5	26.8	-
Début de prise	80	160	≥60 mn
Compression 02j	12.5	23	>10.0
Compression 07j	25	36	-
Compression 28j	43	52	≥42.5
Expansion a	0	8.5	>10mn

Les Constituants de Ciment en % *	
Clinker	80-88
Pouzzolane + Calcaire	12-20
Gypse (Régulateur de prise)	00-05

III. 4 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable pure et limpide apportée du laboratoire de l'université de M'sila. On a effectué les analyses chimiques au laboratoire de chimie (M'sila). Elle est donnée par (TableauIII.10) :

Tableau.III.10 : Caractéristiques chimiques de l'eau.

La mesure	Teneur en (mg/l)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl ⁻	234.3
Sulfate So ⁻⁴	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Sodium Na ⁺	/
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

III. 5 Les adjuvants :

SIKAPLAST BV 40 + est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de poly carboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron.



Figure. III.13: SIKAPLASTBV 40 +

III. 5.1 Caractéristiques :

SIKAPLAST BV 40+ est un plastifiant réducteur d'eau à haute performance qui confère au béton les propriétés suivantes :

- ✓ Haute réduction d'eau,
- ✓ Maintien prolongé de la rhéologie,
- ✓ Robustesse vis-à-vis de la ségrégation,
- ✓ Bel aspect de parement au décoffrage.

Tableau.III.11 : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (Ska + 40).

Super plastifiant	extrait sec	Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Teneur Na2 O Eq.
SIKAPLAST BV 40+	11.5 ± 1,5 %	Liquide	Marron	4,7 ± 1	1,040 ± 0,015	≤ 0,1 %	≤ 0,5 %

III.5. 2 Domaine D'application :

SIKAPLAST BV 40 + permet d'obtenir des bétons plastiques ayant de fortes résistance mécanique à court et à long terme.

- Bétons à hautes performances,
 - Bétons précontraints,
 - Bétons préfabriqués étuvés.
 - A dosage élevé, le SIKAPLAST BV 40 + augmente le temps de prise du béton.
 - La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais.
- Le SIKAPLAST® BV 40 + est compatible avec les entraîneurs d'air SIKA AER et SIKA AER5. Cette combinaison conduit à :
- L'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel,
 - La possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier),
 - L'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de marnage.

III.6 Les ajouts :

Trois types d'additifs ont été utilisés dans cette étude :

III.6.1 Poudre de céramique :

La poudre de céramique est obtenue après broyage de débris de lavabos et après passage au tamis de 80 μ m pour aboutir à la finesse voulue.



Figure. III.14: Poudre de céramique

Tableau.III.12 : Composition chimique de la poudre de céramique.

Caractéristique	Forme	Couleur	Densité absolue	Absorption(%)
Résultats	Poudre	Blanche	2.64	3.31

III.6.2 les fumées de silice :

Les substances minérales sont composées essentiellement de silice de couleur grise claire comme le ciment, que possède une propriété pouzzolanique, grâce à la structure fine de la fumée de silice (10 à 20 fois que le ciment) (FigureIII.14). Ce produit est commercialisé par l'entreprise GRANITEX (Alger-Algérie).

**Figure. III.15**: Poudre de la fumée de silice.**Tableau.III.13** : Caractéristiques chimiques et physique de la fumée de silice.

Analyse chimique		Analyse physique		
Oxydes	% Massique	Désignation	Valeurs	Unité
SiO ₂	85 – 95	Masse volumique absolue	2.2	g/cm ³
CaO	0.8 – 1.2			
MgO	1 – 2	Densité	250	kg/cm ³
Fe ₂ O ₃	0.05 – 1	Surface spécifique de Blaine	15000	m ² /kg
Al ₂ O ₃	1 – 3			
Pert au feu	0.5 – 1	Taille des particules	<1	µm

III.6.3 Les copeaux métalliques :

L'ajout des fibres au béton, apporte une certaine ductilité ; pour une longueur de fibres égale à 50 mm et un pourcentage en fibres de 1%, le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux. Cependant, en ce qui concerne l'énergie de rupture, elle est plus importante dans le cas des éprouvettes armées de fibres Dra mix (pour $L_f=50\text{mm}$). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres présentent un système d'ancrage, elles sont munies de crochets aux extrémités. L'adhérence fibres-matrice (béton) est ainsi meilleure.



Figure. III.16: Les fibres métalliques

III.7 Composition du mortier :

On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : sable (S), poudre de Céramique (PC), poudre de fumées silice(FS), ciment(C), fibre métallique (FM) et l'eau (E), par une balance électronique sensible.

Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable et d'une demi partie d'eau, Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur. Dans notre cas en a utilisém :

- Pour les autres mortiers, on a remplacé le ciment par les déchets de céramique et poudre de fumée silice.

III.7.1 Malaxage de mortier :

Le malaxage a une influence essentielle sur les caractéristiques des mortiers et bétons, il est indispensable pour que le sable soit régulièrement dispersé et que le ciment soit bien réparti entre et autour de tous les grains inertes, il faut en outre que le ciment ne soit pas regroupé en grumeaux, mais régulièrement entouré d'une particule d'eau.

Les mélanges sont préparés selon le protocole suivant :

- ✓ Verser le ciment, le sable, poudre de céramique.
- ✓ Verser le ciment, le sable, poudre de fumée silice.
- ✓ Mettre le malaxeur en marche sur la première vitesse pendant 30 secondes,
- ✓ Verser la quantité d'eau (80% de quantité d'eau),
- ✓ Malaxer une minute et verser la quantité d'adjuvant +20% quantité d'eau qui reste dans les 30 dernières secondes,
- ✓ Arrêter le malaxage et racler les côtés,
- ✓ Reprendre le malaxage à grande vitesse pendant 2 minutes,
- ✓ Arrêter et terminer le malaxage,
- ✓ Après le malaxage de mortier, les mélanges sont versés dans les moules normalisés ($4 \times 4 \times 16$) cm³,
- ✓ Utiliser la table vibrante (table des chocs) compactes,
- ✓ Après la finition, les moules sont conservés dans les conditions du laboratoire.



Figure. III.17: Malaxeur du mortier (Laboratoire de génie civil M'sila)

III.7.2 Fabrication des éprouvettes :

Les éprouvettes utilisées pour notre étude sont des éprouvettes prismatiques normalisées (4x4x16) cm³. Nous avons réalisé Dix-huit éprouvettes pour chaque type pour six compositions de mortier.

III.7.3 Préparation des moules :

On utilise une série des moules de dimensions 4×4×16 cm, pour que les moules soient prêtes à être utilisés ils doivent être bien nettoyé et graissés à l'aide d'huile.



Figure. III.18: Moules (4x4x16) cm³

III.7.4 Coulage des éprouvettes :

Cette opération est exécutée en deux couches successives, compactées et vibrées à l'aide d'une table à chocs (Figure. III.19) pendant (30 seconde) pour chaque couc



Figure. III.19: la table à chocs

III.7.5 Finissions des éprouvettes :

Après avoir coulé et vibrer les éprouvettes, une opération de finissions est exécutée sur le parement supérieur des éprouvettes pour obtenir des surfaces planes et lisses.



III.7.6 Séchage des éprouvettes dans les moules :

Après le coulage nous laissons les moules pendant 24 heures afin de rendre les éprouvettes prêtes à démouler de leur moule.

III.7.7 Conservation des éprouvettes :

Après le démoulage les éprouvettes seront mises en conservation pendant 7, 28 jours.

III.8 Différentes formulations réalisées :

III.8.1 Appellations des différentes formulations :

L'utilisation de poudre de céramique, de silice et de fibres minérales a conduit à l'élaboration et à la distinction de nombreuses formules, les abréviations suivantes sont préférées :

Mt : Mortier normale fabriqué sans poudre de céramique ni poudre de fumée silice. (Sable ; ciment ; L'eau).

M10 : Mortier fabriqué (sable ; ciment ; L'eau ; 10% poudre de céramique ; adjuvants)

M10 1% : Mortier fabriqué (sable ; ciment ; L'eau ; 10% poudre de céramique ; adjuvants ; 1% fibre métallique).

M10 2% : Mortier fabriqué (sable ; ciment ; L'eau ; 10% poudre de céramique ; adjuvants ; 2% fibre métallique).

M8 : Mortier fabriqué (sable ; ciment ; L'eau ; 08% poudre de fumée silice ; adjuvants).

M8 1% : Mortier fabriqué (sable ; ciment ; L'eau ; 08% poudre de fumée silice ; adjuvants ; 1% fibre métallique).

M8 2% : Mortier fabriqué (sable ; ciment ; L'eau ; 08% poudre de fumée silice ; adjuvants ; 2% fibre métallique).

III.8.2 Proportions des constituants de chaque formulation :

Les tableaux suivants mentionnent toutes les proportions des constituants de chaque formulation.

Tableau.III.14 : Les tableaux des constituants de chaque formulation.

Formulation	Sable (g)	Sikaplast (g)	Ciment (g)	Eau (g)	Poudre de fumée silice (g)	Poudre de céramique(g)	E/C
MT	1350	00	450	280	00	00	0.62
M10	1350	3.6	405	252	00	45	0.62
M10	1350	3.6	405	255	00	45	0.62
1%							
M10	1350	3.6	405	250	00	45	0.61
2%							
M8	1350	3.6	414	258	36	00	0.61
M8 1%	1350	3.6	414	264	36	00	0.62
M8 2%	1350	3.6	414	247	36	00	0.59

III.9 Essais sur mortier frais :

III.9 .1 Affaissement au cône d'Abram :

Cette essai le plus couramment utilisé car il est très simple, il est réalisé sur le mortier à l'état frais pour déterminer sa consistance et sa fluidité.

Les résultats d'affaissement = 3.2 sur le mortier utilisé.



Figure. III.20: Cône d'Abram du mortier (Laboratoire de génie civil M'sila).

III.9.2 La masse volumique du mortier a l'état frais :

A l'état frais, la masse volumique des composites est mesurée sur des éprouvettes compactées à la table à choc afin de minimiser le pourcentage des vides. La méthode consiste à utiliser un récipient de volume V et de masse m_1 connus. Après compactage, on pèse une masse m_2 et la masse volumique des composites est calculée par l'équation.

$$\rho = \frac{m_{mo} - m_{ré}}{V}$$

III.10 Essais sur mortier durci :

III.10.1 Essais non destructifs :

III.10.1.1 La masse volumique a L'état durci :

On a déterminer la masse volumique après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissés à l'air libre pendant 20 minutes pour séchage. Juste avant l'écrasement aux différents âges, on a déterminé la masse volumique en pesant les éprouvettes.

La masse volumique est donne par la relation suivant :

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

Avec :

M : la masse de l'éprouvette.

V : volume de l'éprouvette

III.10.2 Contrôle par ultrasons :

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton (**Figure. III.21**). En à effectuer les mesures sur les éprouvettes après les faire sortir du bac de conservation et les laisser sécher pendant 24h.

Les éprouvettes cubiques sont préparées pour effectuer des essais d'auscultation dynamique.

Cette réparation consiste à faire certaines opérations préliminaires à savoir la calibration de l'appareil et marquer les points d'essais sur les éprouvettes afin de centrer les ondes dans la structure mortier. Sur chaque éprouvette cubiques nous avons effectué 3 mesures, La vitesse (V) du parcoure est lu directement sur un écran digital au moment de leur stabilisation.

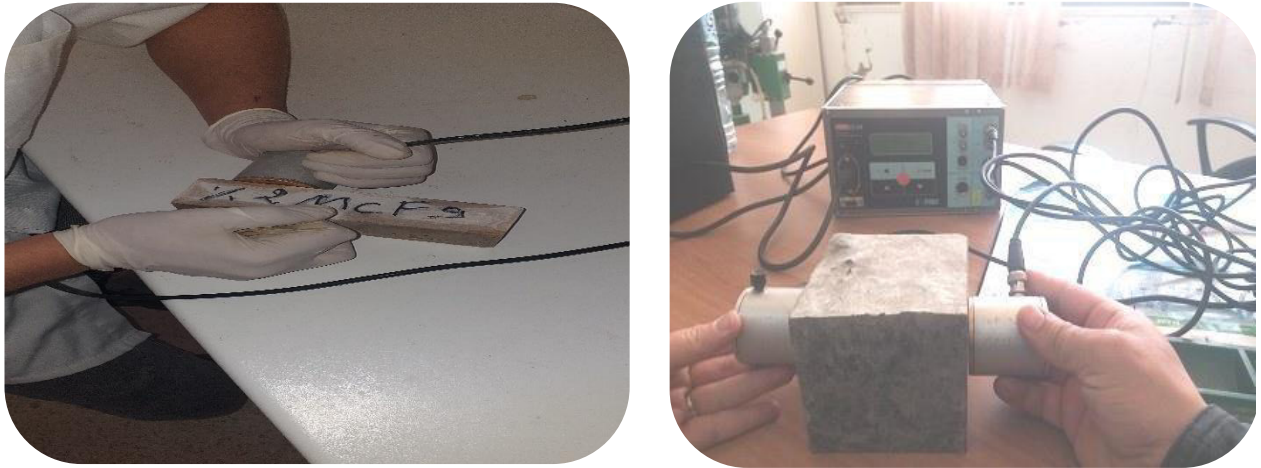


Figure. III.21: Appareil ultrason.

III.10.3 Résistance à la traction par flexion :

Cet essai est basé sur le placement des prismes dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci, une charge verticalement est appliquée sur la face latérale du prisme et l'augmenter de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

Les demi-prismes doit être conservée jusqu'à moment des essais en compression, la résistance en flexion R_f (en MPA).

La résistance en flexion est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1.5pl}{b^3}$$

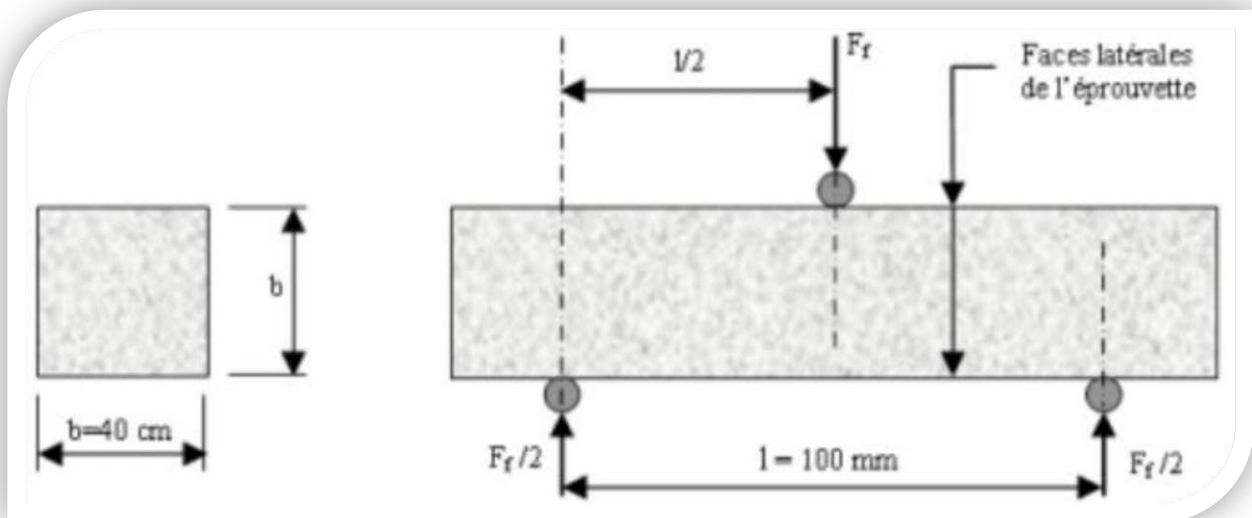


Figure. III.22: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

Avec :

R_f : est la résistance en flexion, en newtons par millimètres carrés ou en MPA ;

p : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en N ;

L : est la distance entre les appuis, en mm ;

B : est le côté de la section carrée du prisme en mm.



Figure. III.23: L'appareil de résistance à la flexion

III.10.4 Essai de compression :

L'essai de compression s'effectue après avoir réalisé l'essai de traction par flexion qui coupe l'éprouvette en deux parties plus au moins égales. Cet essai est réalisé sur un appareil de compression universel (NF P 18-406), fonctionnant avec un système de pression hydraulique. L'unité de mise en charge est composée d'un bâti rigide supportant deux plateaux. La mise en charge est réalisée par pression hydraulique qui fait déplacer la partie supérieure vers le bas jusqu'à la rupture. Les éprouvettes de compression sont préparées à partir des éprouvettes de flexion. L'éprouvette est centrée entre deux plateaux métalliques de façon que l'axe vertical de l'éprouvette coïncide avec l'axe des blocs de chargement.

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

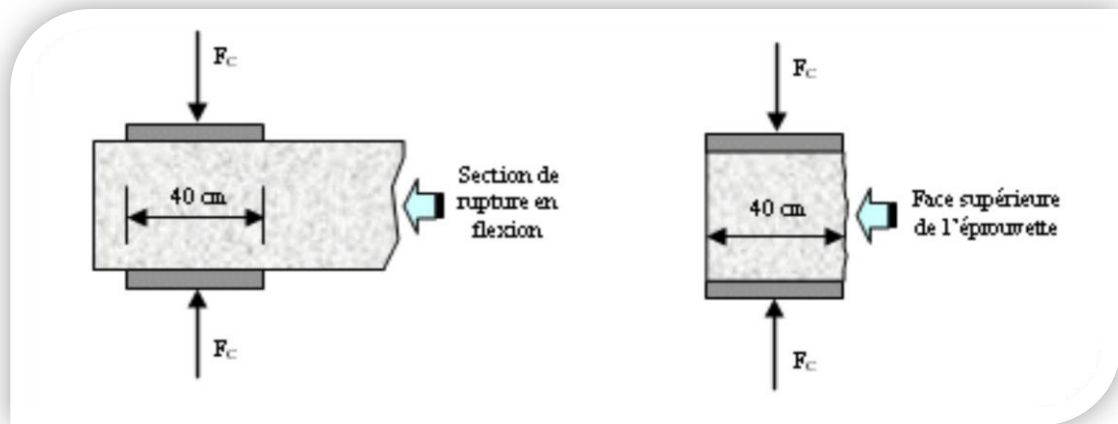


Figure. III.24: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression

R_c : Résistance à la compression en (MPa)

; F_c : charge de rupture en (N) ; b^2 : cote de l'éprouvette est égale à 40mm.



Figure. III.25: L'appareil de l'essai de compression

III.11 Essais de Durabilité :

III.11.1 Attaque par les chlorures :

L'attaque par les chlorures se distingue par le fait qu'elle entraîne la corrosion des armatures et que seulement ensuite, comme conséquence de ce phénomène, le béton environnant est dégradé. La corrosion des armatures est l'une des causes principales de la détérioration des structures en béton armé partout à travers le monde. Le sujet de la corrosion de l'acier noyé dans le béton dépasse toutefois le cadre du présent mémoire et on limitera à l'étude à l'examen des propriétés du mortier influençant la corrosion, en mettant l'accent sur le transfert des chlorures. Ensuite les échantillons sont introduits dans une solution de NaCl concentré à 5%,



Figure. III.26: Immersion totale des échantillons dans une solution de 5% NaCl.

III.11.2 Attaque des mortiers par les acides :

Procédure de l'essai :

Pour la caractérisation de la résistance chimique, des éprouvettes cubiques de mortier 40 x 40 x 160 mm³ ont été confectionnées selon la Norme ENV 197-1[78]. Démoulées à 24 heures, les éprouvettes ont été conservées dans l'eau à 20° ± 2°C de cure sous l'eau, les éprouvettes sont pesées pour déterminer leurs masses avant l'attaque chimique puis elles sont immergées dans les différentes solutions. Ensuite les échantillons sont introduits dans une solution de acides concentré à 5%,



Figure. III.27: Eprouvettes immergées dans la solution acide

Les éprouvettes sont nettoyées 3 fois avec l'eau douce pour éliminer le mortier altéré puis laissées sécher pendant 30mn. Ensuite on procède à la pesée des éprouvettes avec une balance de précision de 0.01g (Figure 3.26). Cette opération est effectuée à 7et 28 jours après l'immersion dans la solution. Les solutions d'attaque sont contrôlées par un pH-mètre pour vérifier si le pH est constant et égale à un. Le degré de l'attaque est évalué par la formule de perte de masse suivante :

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M1-M2) / M1] \times 100$$

Avec :

M1 : masse des éprouvettes avant immersion.

M2 : masse des éprouvettes après immersion.



Figure. III.28: Balance de précision 0.1g (Laboratoire des matériaux -Université de M'sila)

III.11.3 Porosité :

Les pores ont un rôle important pour estimer la qualité du mortier. Nous faisons donc cette essai pour déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du mortier sur l'interconnexion des pores.

Pour évaluer la porosité, nous allons poursuivre les étapes suivantes :

$$V_p = \frac{C - A}{C - D} \times 100$$

Avec :

V_p : volume des vides (%) ;

A : poids de l'échantillon après étuvage (g) ;

C : poids à l'air après immersion et ébullition (g) ;

D : poids à l'eau après immersion et ébullition (g) ;



Figure. III.29: Essai de porosité

Conclusion :

Les essais physiques, les analyses chimiques effectuées dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique et durabilité. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

IV : Résultats et discussion

IV.1 Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats et l'analyse des essais physiques et mécaniques (maniabilité, la porosité, la masse volumique, ultrason, la résistance à la compression, et la résistance à la traction par flexion) effectués sur les éprouvettes de mortier.

IV.2 Comportement du mortier à l'état frais :

Premièrement on présente les résultats à l'état frais, obtenu juste après le gâchage pour caractériser ce type de mortier. Qui permet d'étude les propriétés du mortier à l'état frais pour voir l'effet des additions et l'adjuvant sur les deux paramètres essentiels qui sont (le rapport E/C et la masse volumique).

IV.2.1 Maniabilité :

La quantité d'eau de gâchage conditionne, en grande partie, l'ouvrabilité d'un mortier s'il existait toutefois un moyen de la spécifier et de la mesurer ce serait en fonction de la maniabilité.

Les histogrammes de **la figure IV.1** représentent la variation de la maniabilité en fonction des taux de substitution de poudre de fumée de silice et poudre de céramique pour le cas fibre métallique.

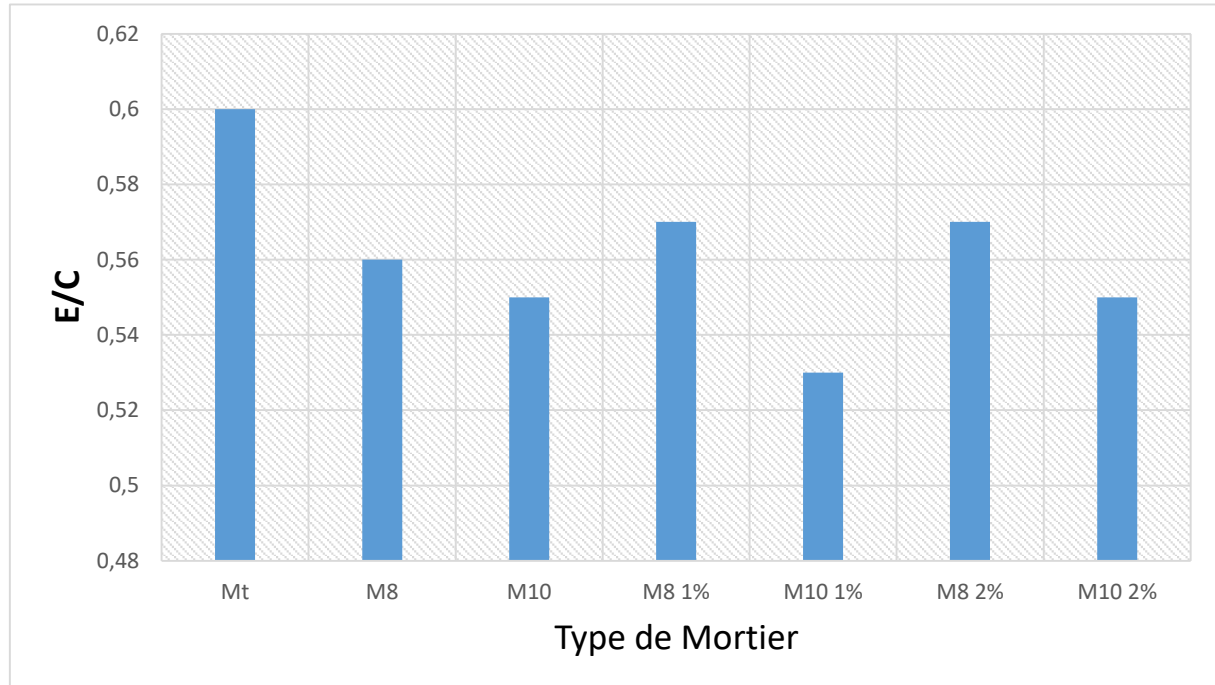


Figure (IV.1) : Maniabilité de mortier

La figure (IV.1) montre que le pourcentage d'eau dans le mortier témoin était plus grand, par rapport aux mortiers qui contiennent 8% de FS et 10% de CR. En outre, le pourcentage a continué à diminuer dans les mortiers contenant 1% à 2% de fibre métallique. Ce qui laisse

dire que la poudre de céramique et fumée de silice n'absorbe pas de l'eau. Ceci est en accord avec d'autres résultats sur le sujet trouvé précédemment où il y avait une fluidité améliorée des mortiers à l'état frais de ces types avec incorporation de ciment avec les ajouts cimentaires et fibres [29] [30].

IV.3 Comportement du mortier à l'état durci

A/ dans l'eau de robinet :

IV.3.1 Evolution de la Vitesse de Son (V) :

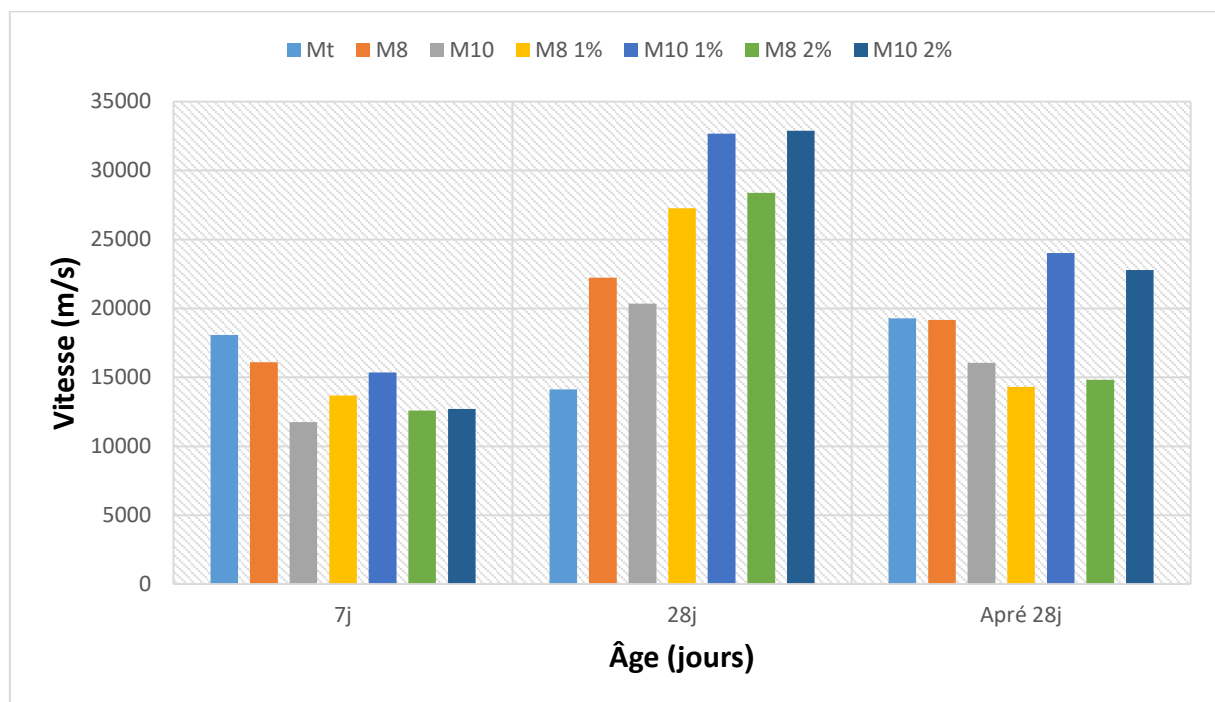


Figure (IV.2) : la vitesse ultrasonique

La comparaison entre les vitesses de son des différents mortiers étudiés nous permet d'étudier l'influence de l'eau de gâchage sur le degré de compacité et l'homogénéité du mortier. Les résultats de la vitesse de son des différents mortiers sont présentés sous forme d'histogramme dans la figure (IV.2). Les résultats de compacité et d'homogénéité de mortier qui sont appréciés par la vitesse de son, peuvent être analysés en parallèle avec les résultats de la résistance à la compression des différents mortiers qui sont générés par le type d'ajout utilisée, l'âge des éprouvettes et l'effet de pourcentage de fibre métallique. Le mortier avec poudre de céramique présente une meilleure compacité à savoir son vitesse de son obtenue par rapport au deux autres types de mortier ce qui confirme les résultats de la résistance mécanique en compression. Les résultats actuels obtenus sont conformes à des travaux de recherche entrepris par Z.EL. Rahmouni et al (2022) [34] [29].

L'évolution de vitesse de son avec le temps s'explique par la réaction d'hydratation qui améliore la compacité et la résistance de mortier.

IV.3.2 Résistance à la compression (RC) :

Les résultats de résistance à la compression du mortier avec les deux type d'ajout et pourcentages de fibres métalliques obtenues à 7 et 28 jours et après 28j sont représentés dans la **figure (IV.3)**.

L'incorporation des fibres a pu améliorer la résistance des mortiers fibrés (1 et 2%) de 4 et 8% à l'âge de 7 jours et de 12 et 25% à l'âge de 28 jours respectivement par rapport au mortier(R).

Dans le cas ou une partie du ciment qui compose les mortiers fibrés (1 et 2%) a été substitué par 10% du poudre de céramique, les résistances à la compression de ces mortiers ont augmenté respectivement de 8 à 22% à l'âge de 7 jours et de 5 à 28% à l'âge de 28 jours.

Figure (IV.3) montre que l'évolution de la résistance de compression suit une loi Parabole lente dans la plage (0-7) jours, avancée dans la plage (7-28) jours et rapide après 28 jours Pour tous les mortiers avec ou sans fibre et pour tous les deux types additifs mélangés.

L'incorporation des additifs (fumée de silice, poudre de céramique) dans le mortier est avantageuse car elle a pu améliorer la résistance à l'âge de 7 et 28 jours.

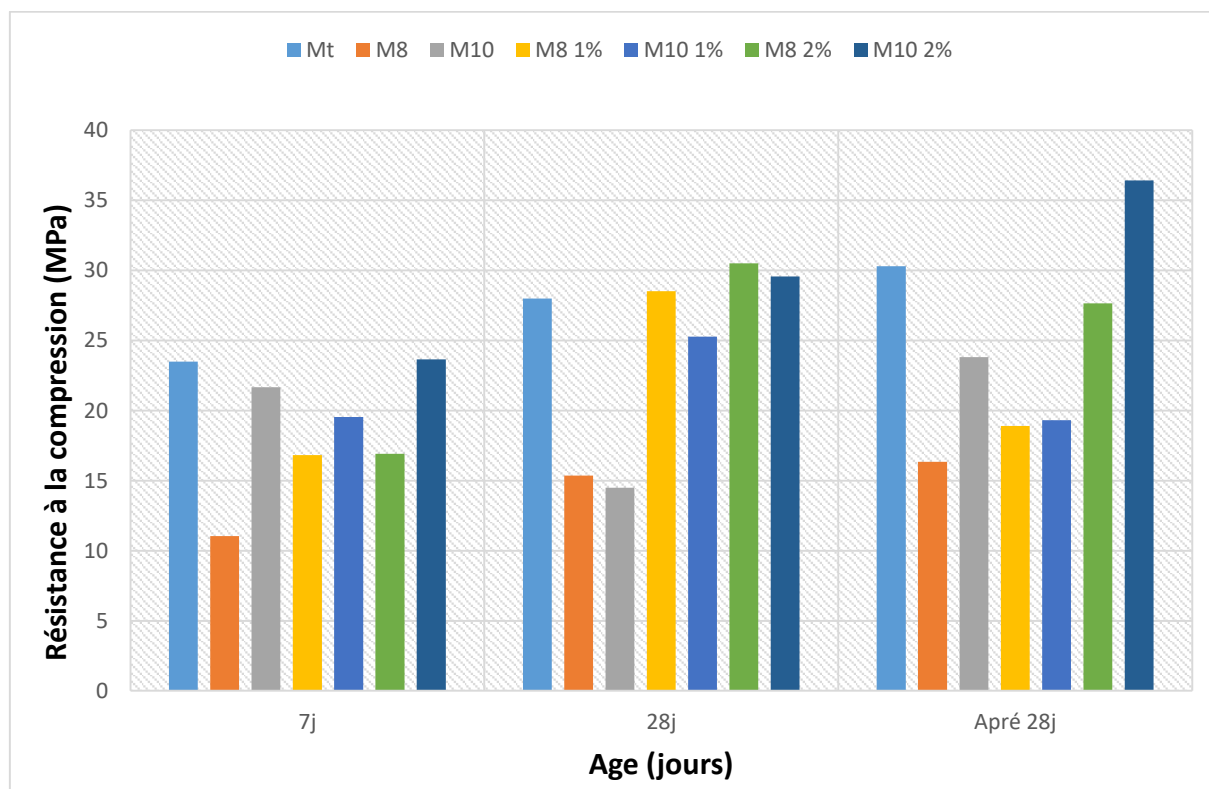


Figure (IV.3) : Résultat d'essai de résistance à la compression en fonction des périodes (jours).

IV.3.3 Résistance à la flexion (R_f) :

Figure (IV.4) : montre clairement que l'augmentation du rapport de résistance à la flexion avec le temps. Le sable des dunes est remplacé par de la fine poudre de céramique et de la silice fumée. En augmentant la résistance à la flexion du mortier, cette augmentation est obtenue comme dans les travaux de laboratoire.

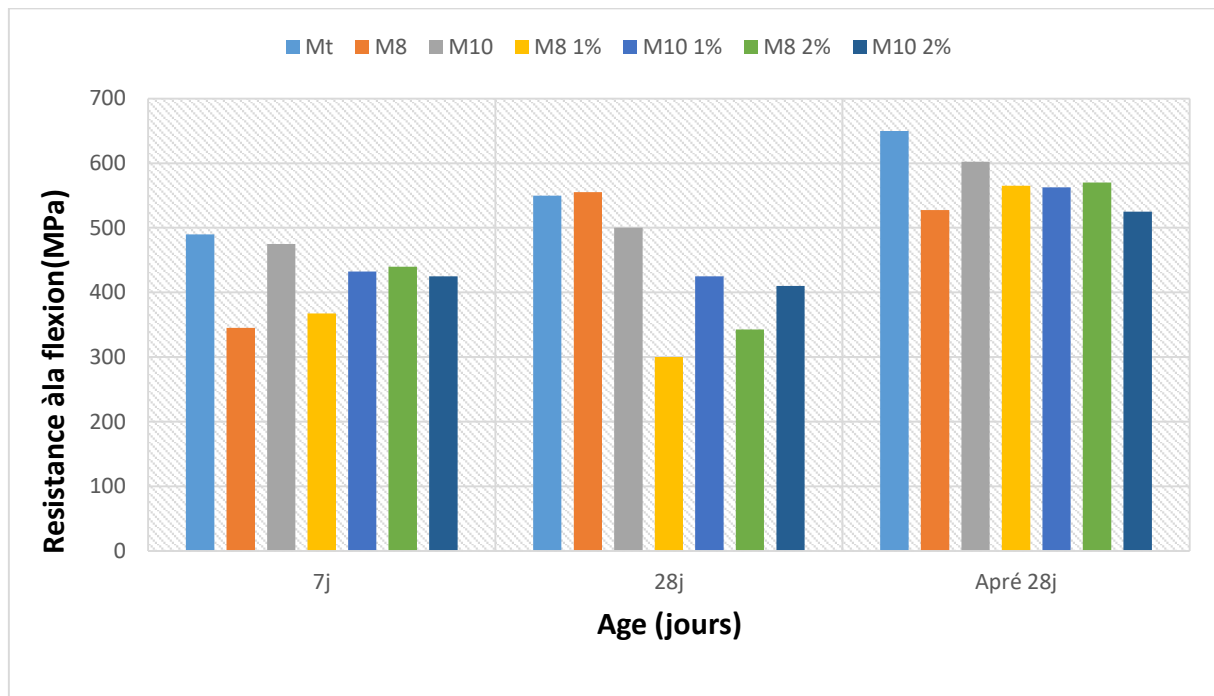


Figure (IV.4) : Résultat du test de résistance à la flexion selon les intervalles après 7 et 28 jours et après 28 jours.

IV.3.4 Résistance à la traction (R_t) :

Figure (IV.5) on remarque que la variance de la résistance à la traction suit Loi parabolique dans le temps pour tout ajout de ciment avec des grammes de poudre de céramique par pourcentage, en ajoutant 8 % de fumée de silice et 10 % de céramique suivant la même Progrès (variation équivalente suit).

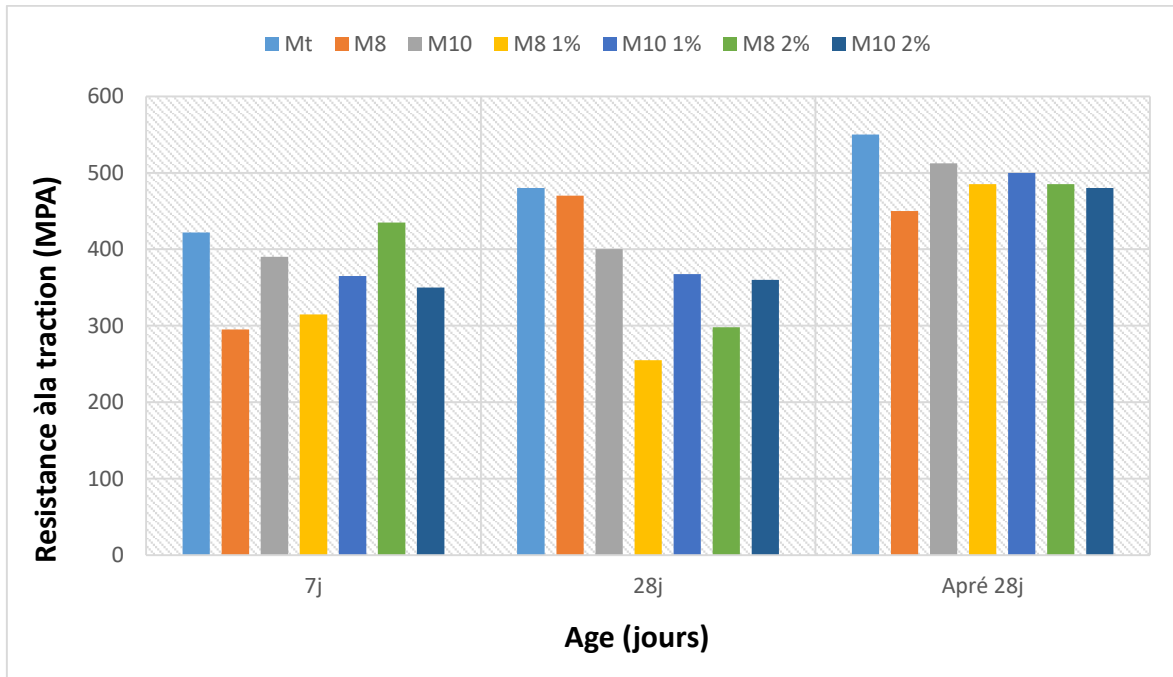


Figure (IV.5) : Evolution de la résistance à la traction dans le temps (jours)

IV.3.5 Perte de masse (%) :

Figure (IV.6) Après immersion pendant 28 jours ou plus dans l'eau, il y a un fort pourcentage de perte qui atteint son maximum après 28 jours par des additifs minéraux comme la poudre de fumée de silice M8 comme le montre la figure (IV.6). En revanche, le gain maximum en perte de masse est d'un faible pourcentage, pour les mortiers ajoutés par rapport aux autres types de mortiers.

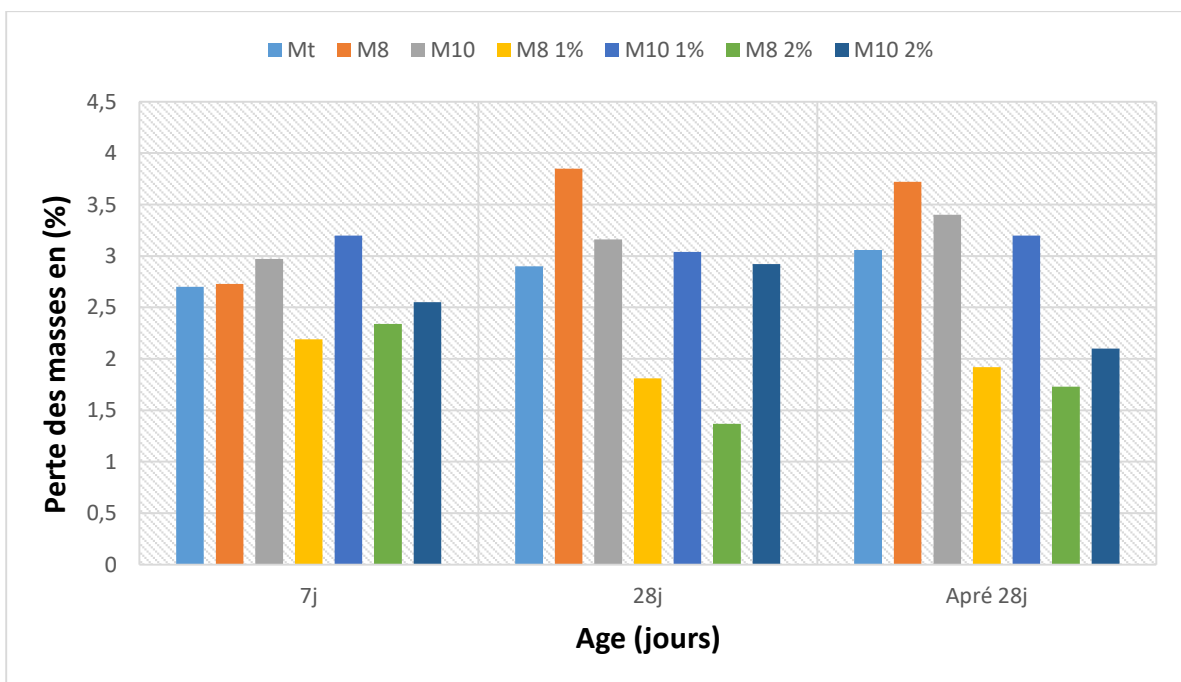


Figure (IV.6) : évolution de perte de masse en fonction de temps

IV.3.6 Absorption :

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par immersion dans l'eau par rapport sa masse sèche. Le coefficient d'absorption (A_b) par la relation suivante : $A_b \% = (M_2 - M_1 / M_1) \times 100$ – Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau (M_2) - Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche (M_1).

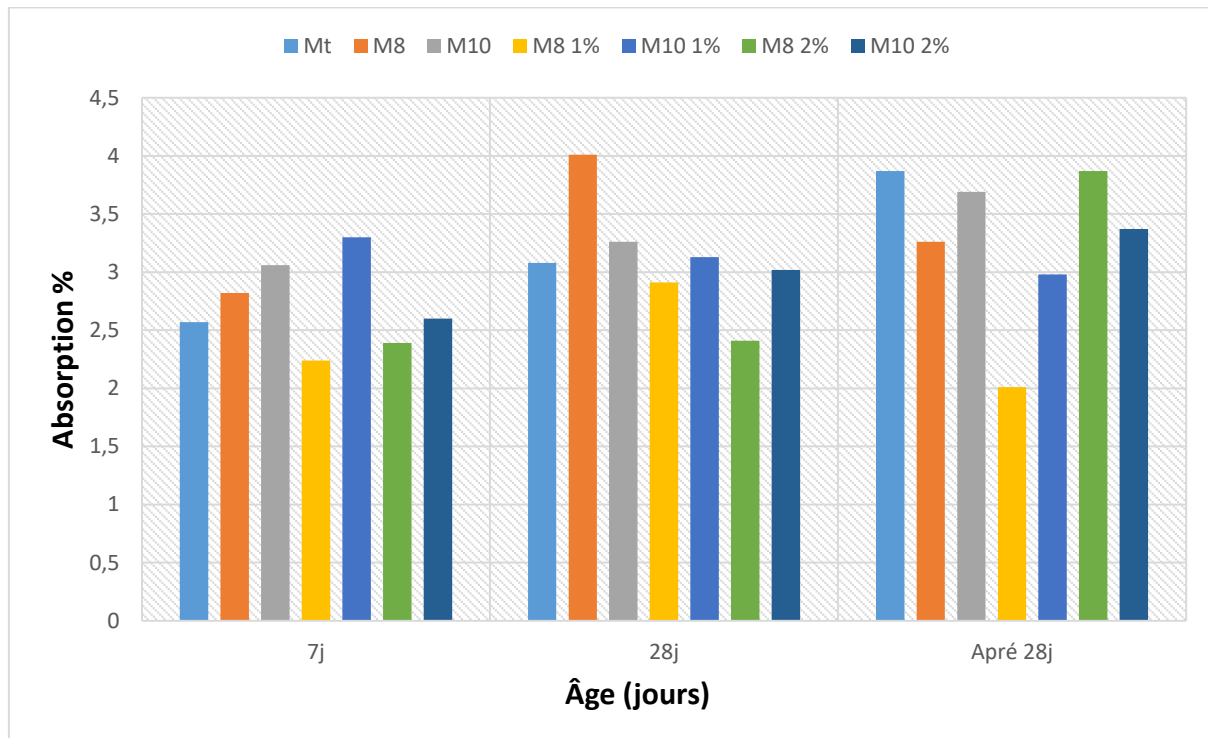


Figure (IV.7) : Variation de l'absorption en fonction du temps

De la **Figure IV.7** nous notons que le mortier II contient des pourcentages plus élevés de poudre de céramique et de fumée de silice que le mortier témoin. L'absorption accrue, les meilleurs résultats d'absorption sont du mortier M81% et 45% de moins que le mortier témoin par absorption de 35 %. On peut expliquer ce phénomène par l'ajout de poudre de céramique et de fumée de silice.

IV.3.7 Porosité :

La réduction de la porosité entraîne une diminution de l'absorption globale d'eau par les additifs minéraux. Alors qu'une taille de pore plus petite conduit à un taux d'absorption plus faible, indiquant un volume de vide plus faible. C'est comme ça que nous sommes. La porosité ouverte serait plus faible dans les boues contenant des additifs de divers types, y compris une réduction significative de la taille des pores par rapport à la même matrice sans déchets. Faible

porosité Elle est causée par la présence de poudre de céramique et de fumée de silice améliorant la durabilité du mortier utilisé.

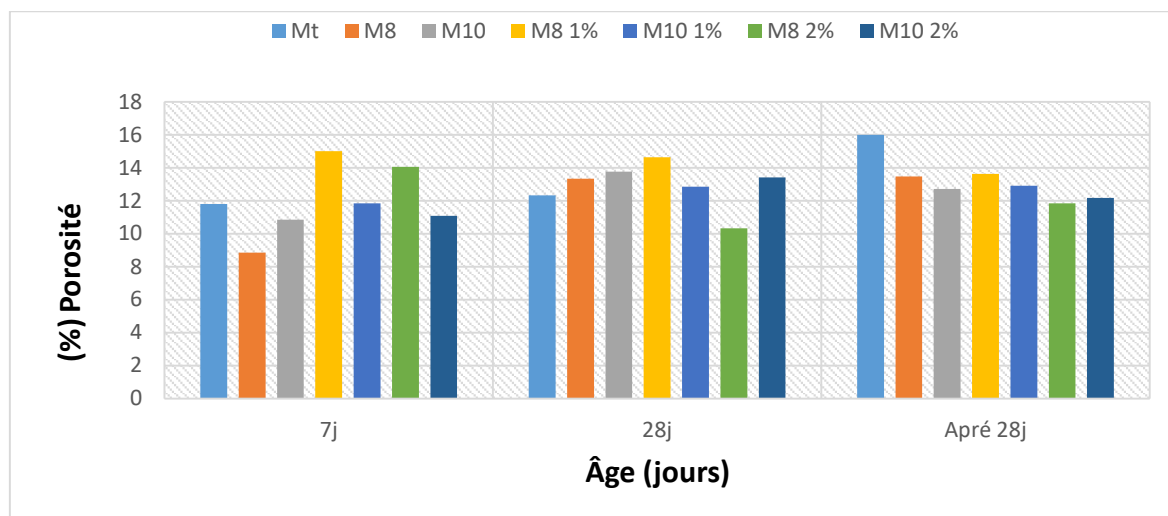


Figure (IV.8) : Variation de la porosité en fonction du temps

IV.4 Effet des milieux agressifs sur le comportement des mortiers

B/ en milieu acide :

Cette étude expérimentale nous a permis d’obtenir des résultats concernant l’estimation de la durabilité des mortiers à l’attaque chimique dans un milieu agressif à différentes solutions : HCl et NaCl pour différents âges d’une part et d’autre part les résistances mécaniques à la compression et à la traction par flexion. Les éprouvettes (M8, M8 1%, M8 2%, M10, M10 1%, M10 2%) sont immergées dans des solutions de concentration 5% en HCl et NaCl à une température ambiante à 7, 28 et 60 jours.

IV.4.1 La vitesse d’ultrason (V) :

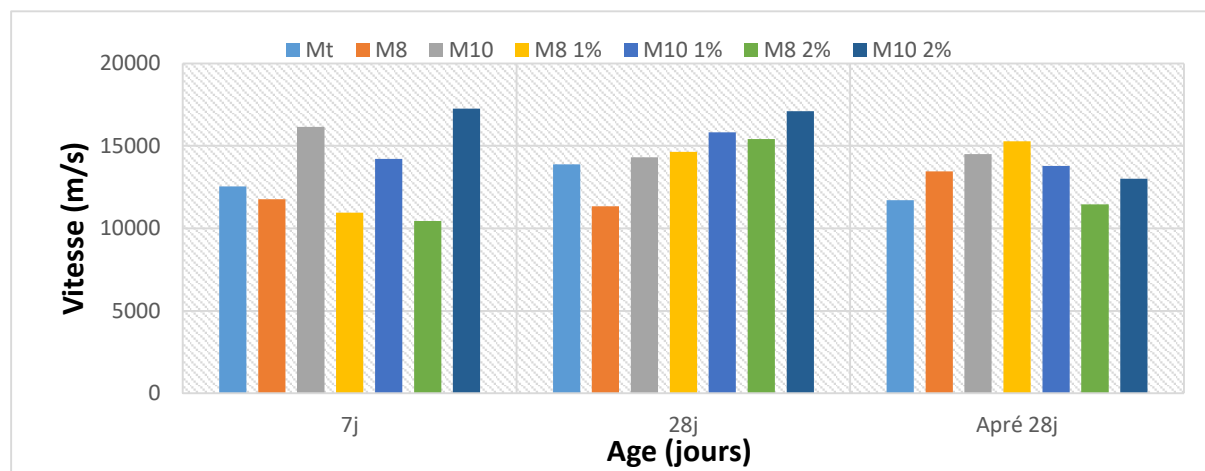


Figure (IV.9) : Évolution de la vitesse des ultrasons en fonction du taux d'ajout de lisier à 7, 28 et après 28 jours en milieu acide.

La figure (IV.9) représente l'évolution de la vitesse de propagation des ultrasons de différents échantillons immergés dans une solution acide étudiée au cours du temps. Notez que toutes les suspensions sont chargeables analogiquement en ce qui concerne l'évolution de la vitesse des ultrasons dans le temps, mais les valeurs dépendent principalement de la composition du profil de suspension et du type et de la proportion de l'additif ; L'information de vitesse ultrasonore nous donne l'évolution du milieu dans lequel il est plongé en fonction du temps sur l'adhérence et l'homogénéité du béton, et est ainsi un bon indicateur du comportement mécanique de ce mortier et de sa durabilité.

IV.4.2 Résistance à la compression (RC) :

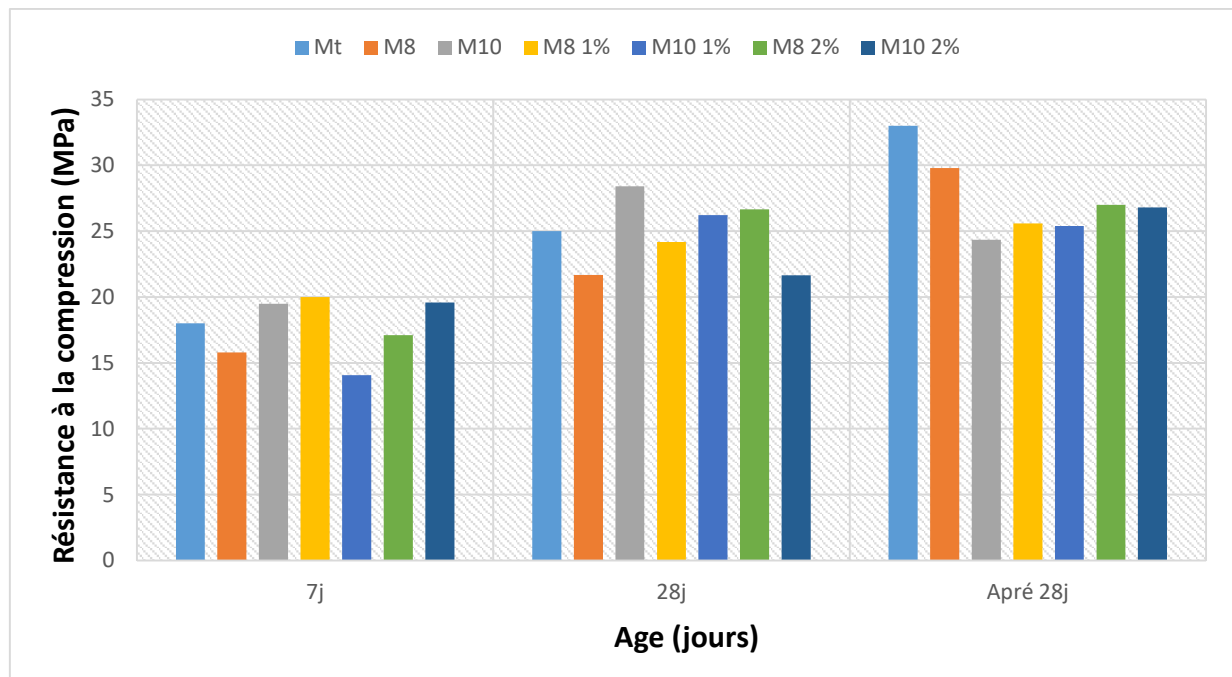


Figure (IV.10) : Résultat de l'essai de résistance à la compression en termes de durées (jours) en milieu acide.

Figure (IV.10) montre l'évolution de la résistance à la compression de boues contenant divers types d'additifs minéraux tels que la poudre de céramique, la fumée de silice et les fibres métalliques. On constate que ces liers génèrent des résistances toujours inférieures à celles des liers témoins et ceci à tous les âges. Au jeune âge (premiers jours) la résistance de ce ciment est faible les premiers jours et augmente avec le temps, à 7 jours résistance aux coulis contenant 8% et 10% de silice et de poudre de céramique et on constate que la résistance à la pression augmente avec le temps.

IV.4.3 Résistance à la flexion (R_f) :

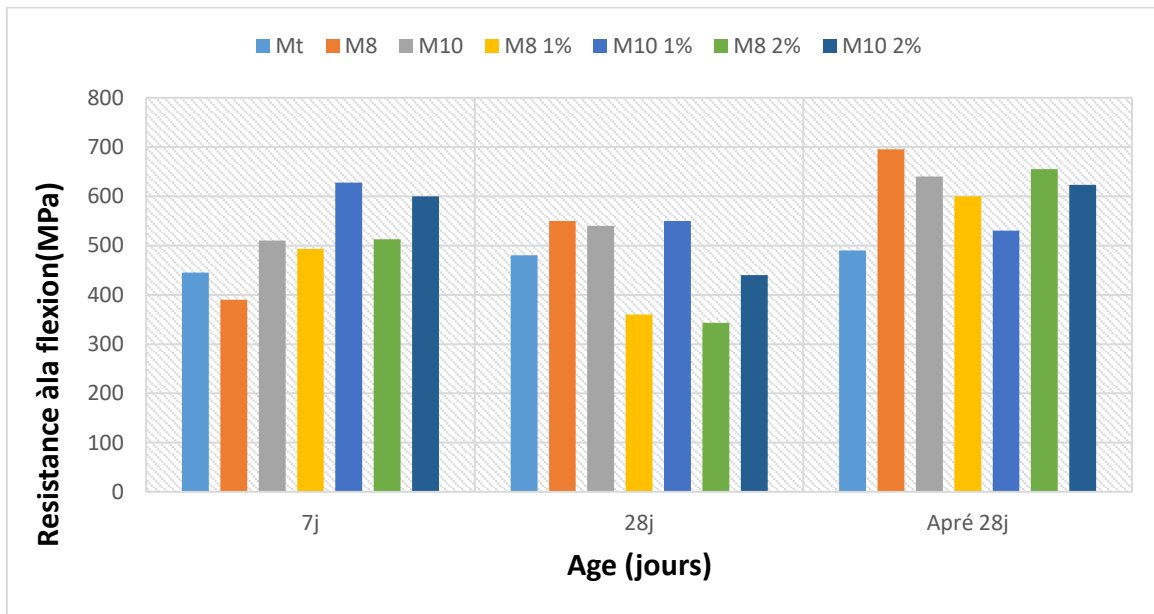


Figure (IV.11) : Résultat du test de résistance à la flexion par intervalles après 7 et 28 jours et après 28 jours en milieu acide.

Figure (IV.11) montre l'évolution de la résistance à la flexion d'un mortier forgé Avec de la poudre de silice (8%) et de la poudre de céramique (10%) après 28 jours. Selon les résultats obtenus Notez que plier à 8% M8 après 28 jours est mieux que plier Doux 10% M10 On constate que la courbure du lisier en milieu acide dépasse la courbure du lisier en laboratoire, et ce dernier dépasse la courbure du mortier dans l'eau.

IV.4.4 Résistance à la traction (R_t) :

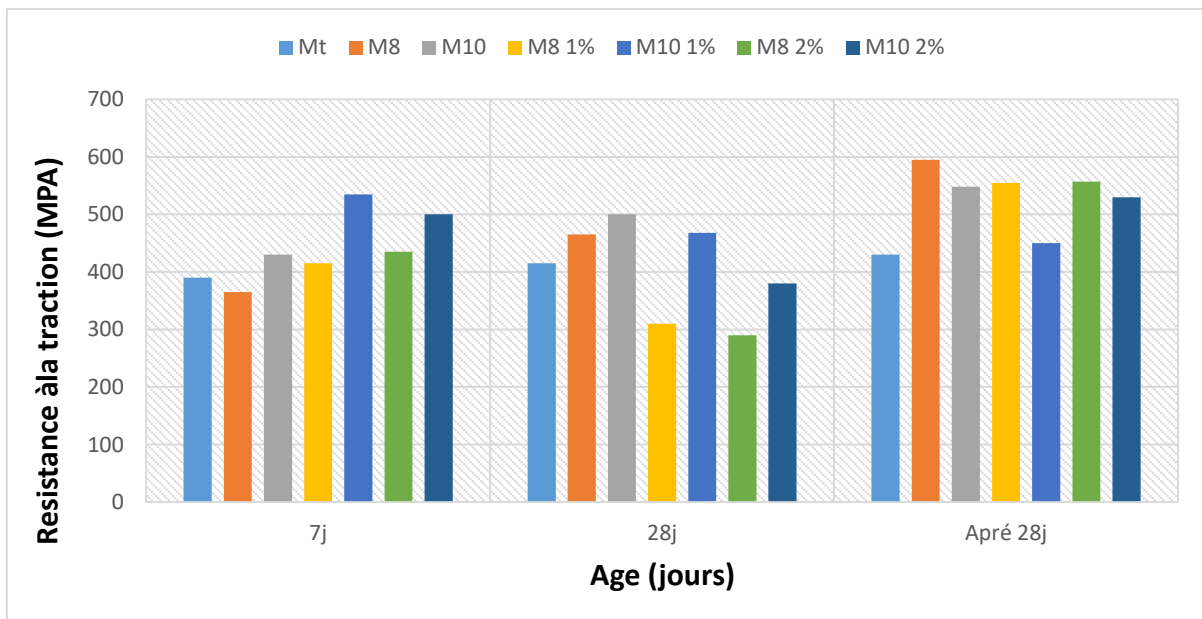


Figure (IV.12) : Evolution de la résistance à la traction dans le temps (jours) en milieu acide.

Figure (IV.12) montre clairement que l'ajout de fumée de silice s'améliore avec le temps, surtout après 28 jours. Nous notons également que la résistance à la traction du lisier est augmentée pour tout ciment mélangé utilisé avec cette poudre. L'ajout de 8% de fumée de silice donne le meilleur résultat et les bonnes valeurs dépassent l'ajout. La résistance à la traction des fumées de silice pour les mortiers.

IV.4.5 Perte de masse (%) :

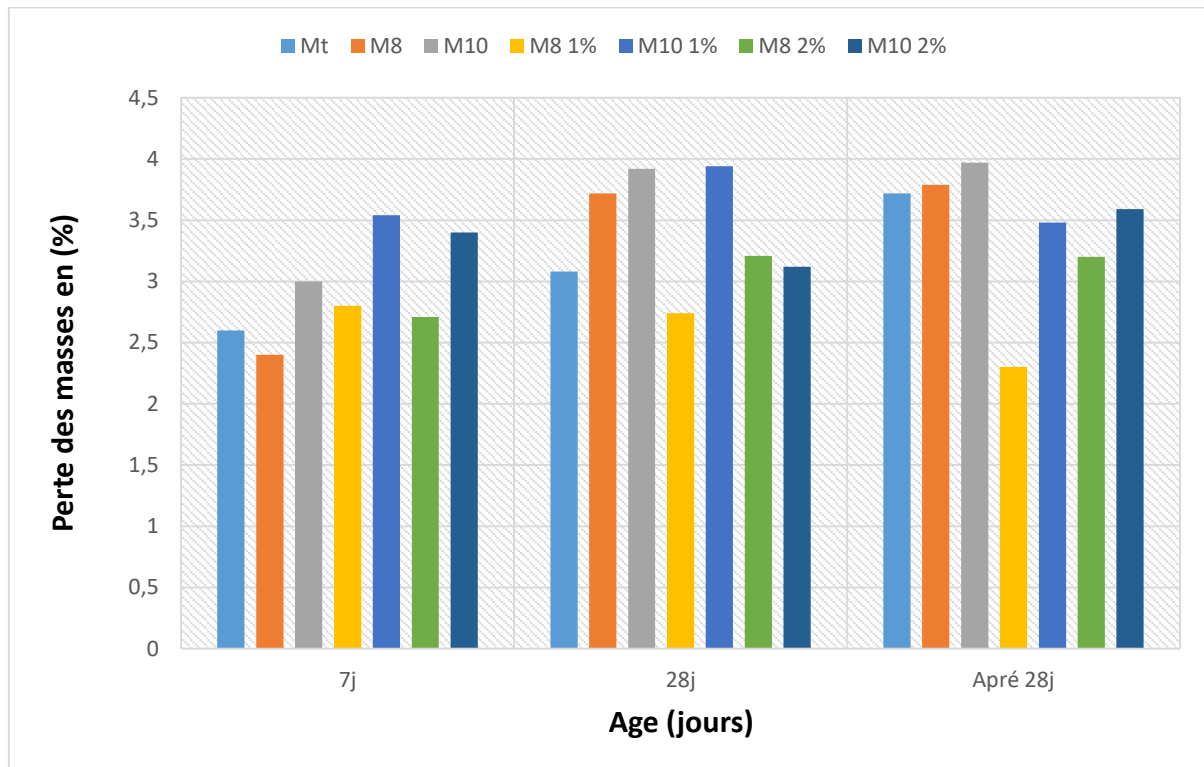


Figure (IV.13) : Evolution de la masse en fonction du temps en milieu acide

Figure (IV.13) montre l'évolution de la perte de masse du mortier immergé dans une solution acide à 5 % de 1 à 28 jours par la suite. Il y a une perte de masse permanente par rapport aux mortiers et la valeur la plus élevée que nous pouvons observer sur le diagramme est M10 au fil du temps dans une solution d'acide sulfurique jusqu'à une valeur de perte de masse de 14 % dans le coulis témoin.

IV.4.6 Absorption :

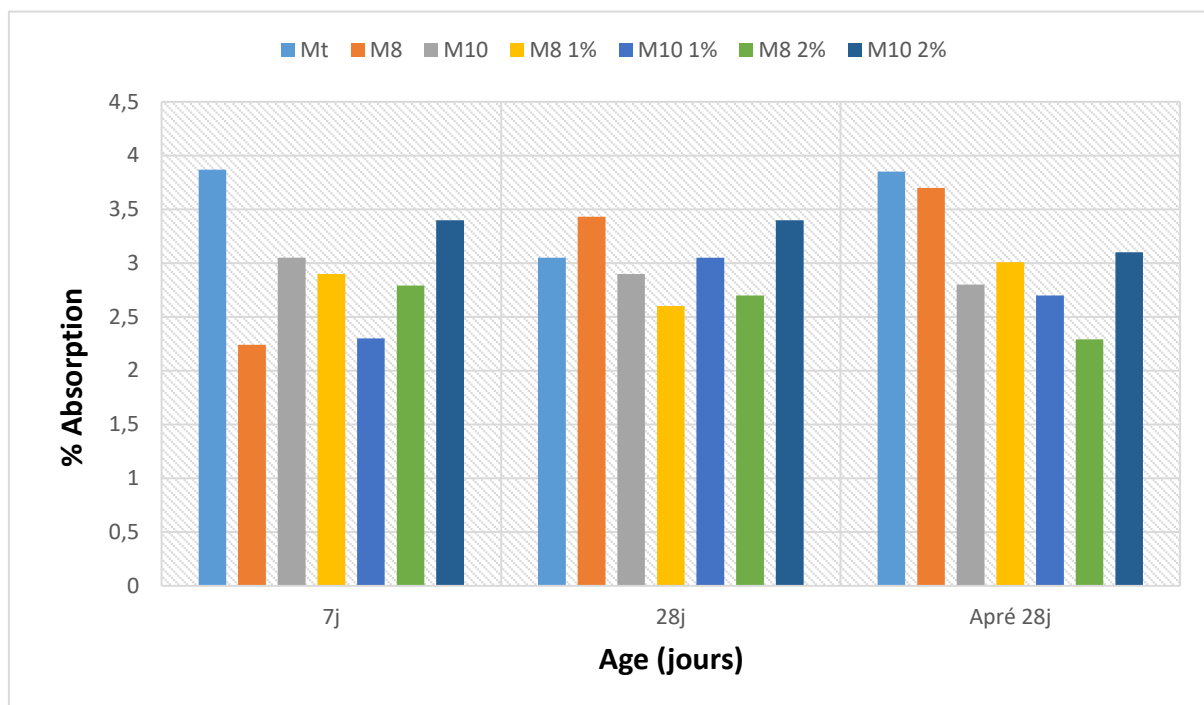


Figure (IV.14) : Evolution de l'absorption en fonction du temps en milieu acide

Figure (IV.14) Les informations de base sur la durabilité du mortier sont la porosité, le pouvoir absorbant et Cette information reflète la capacité nocive des substances agressives concret, la figure suivante représente les différents résultats obtenus à partir La capacité d'adsorption des différents types de lisiers, on note que la plus grande valeur du graphique est Mt.

IV.4.7 Porosité :

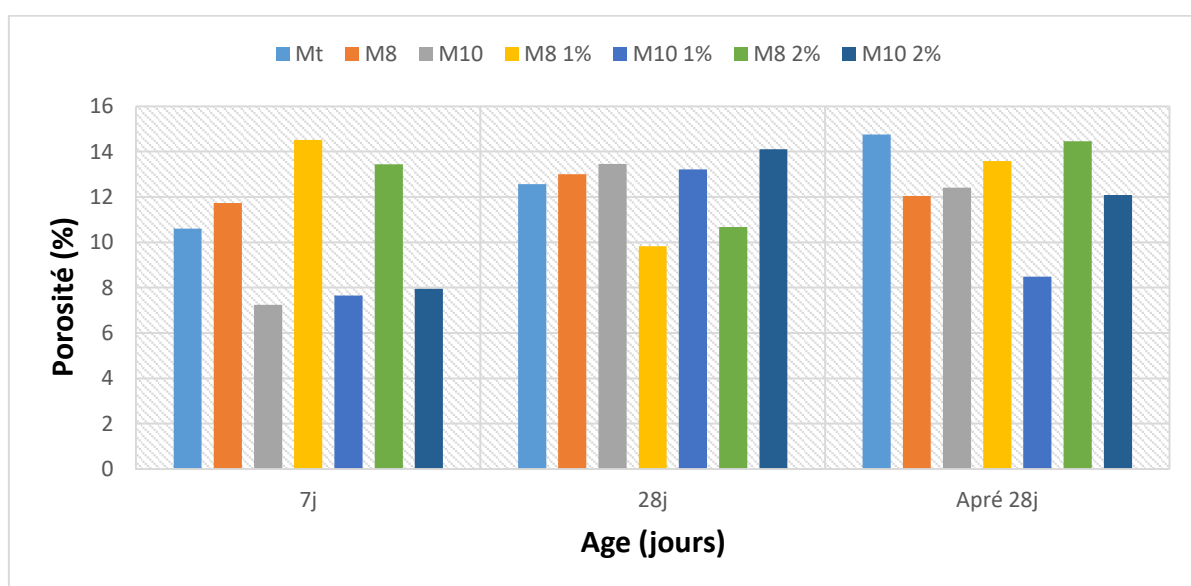


Figure (IV.15) : Evolution de la porosité en fonction du temps en milieu acide

La figure (IV.15) montre à travers les résultats obtenus que le pourcentage de porosité varie, ce qui conduit à une différence d'absorption d'eau en général à travers les ajouts minéraux utilisés dans le travail expérimental. Selon Tebbal (2022), la première caractéristique qu'il convient de représenter en fonction de la résistance mécanique est la porosité accessible à l'eau. Ce paramètre est donc directement lié à la résistance mécanique du béton [34] [35].

➤ Examen visuel

Des photos ont été prises pour évaluer les signes de détérioration extérieure des éprouvettes de mortier après 7 jours d'immersion dans acide.



Figure (IV.16) : Echantillons de différents mortiers, après 7 jours d'immersion dans le milieu acide

C/ en milieu Na cl :

IV.5.1 La vitesse d’ultrason (V) :

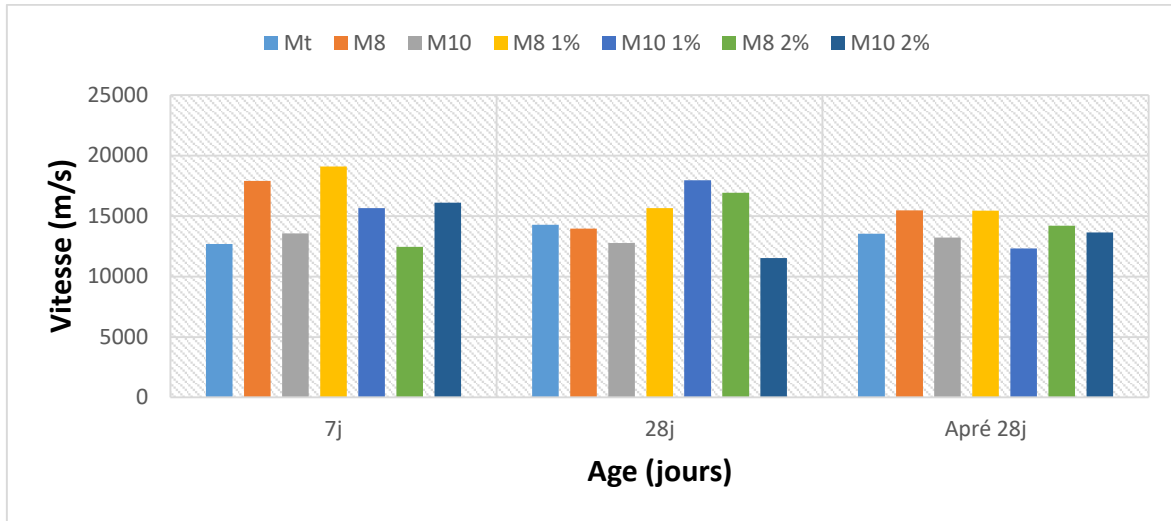


Figure (IV.17) : Evolution de la vitesse des ultrasons en termes de pourcentage ajouté au mortier à 7, 28 et après 28 jours en milieu Na cl

La figure (IV.17) représente l'évolution de la vitesse de propagation des ultrasons de plusieurs suries dans le milieu de la solution de Na cl étudiée au cours du temps. Notez que toutes les boues sont un analogue portable en termes d'évolution de la vitesse des ultrasons dans le temps, mais les valeurs dépendent principalement de la composition du profil de la boue et du type et de la proportion de l'additif ; La nature du milieu nous donne des informations de vitesse ultrasonore sur l'adhérence et l'homogénéité du mortier, et est donc une bonne indication du comportement mécanique de ce mortier.

IV.5.2 Résistance à la compression (RC) :

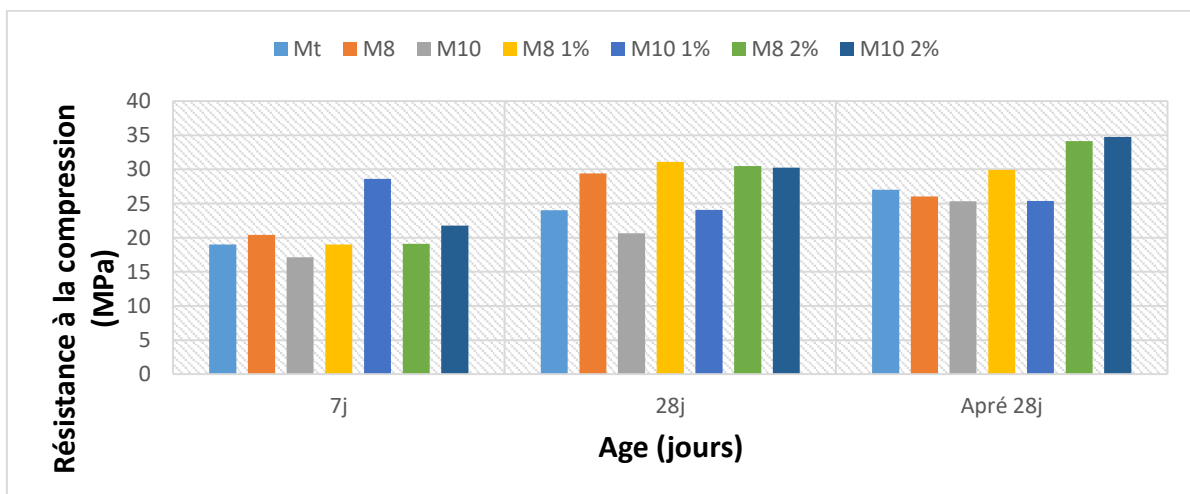


Figure (IV.18) : Résultat de l'essai de résistance à la compression en termes de durées (jours) en milieu Nacl

Figure (IV.18) : représente le résultat du test de résistance à la compression en termes de durée (jours) dans le milieu Na cl à travers ce graphique, on constate que la valeur la plus élevée a été enregistrée après 28 jours pour M10 2% et M8 2%, en raison de la présence d'un pourcentage de fibres métallique Ce dernier augmente la résistance aux obus de mortier.

IV.5.3 Résistance à la flexion (Rf) :

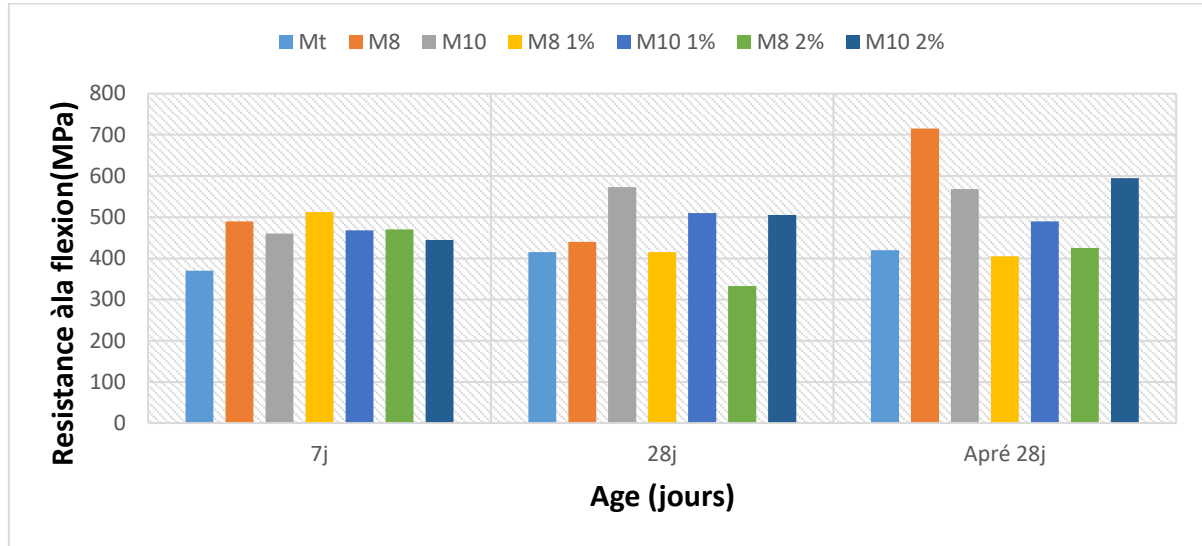


Figure (IV.19) : Résultat du test de résistance à la flexion par intervalles après 7 et 28 jours et après 28 jours en milieu Na cl

La figure (IV.19) montre l'essai de flexion en termes de durée (jours) au centre du NACL. D'après le graphique, on peut voir que la valeur de courbure est presque constante dans les mortiers témoins par rapport aux canons contenant 8 % FS et 10 % CR car la valeur a continué d'augmenter en variant dans les mortiers contenant 1 % à 2 % de fibres minérales.

IV.5.4 Résistance à la traction (Rt) :

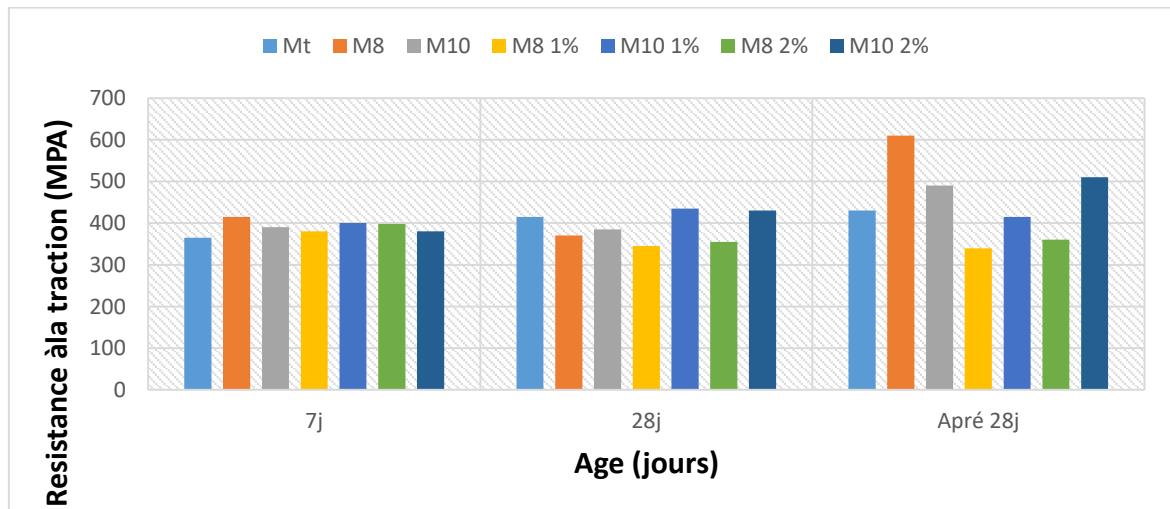


Figure (IV.20) : Evolution de la résistance à la traction dans le temps (jours) en milieu Na cl

La figure (IV.20) montre la résistance à la traction au centre du Na cl à partir du graphique. On peut noter que les valeurs les plus élevées enregistrées après 28 jours étaient pour M8, M10 et M10 2%

IV.5.5 Perte de masse (%) :

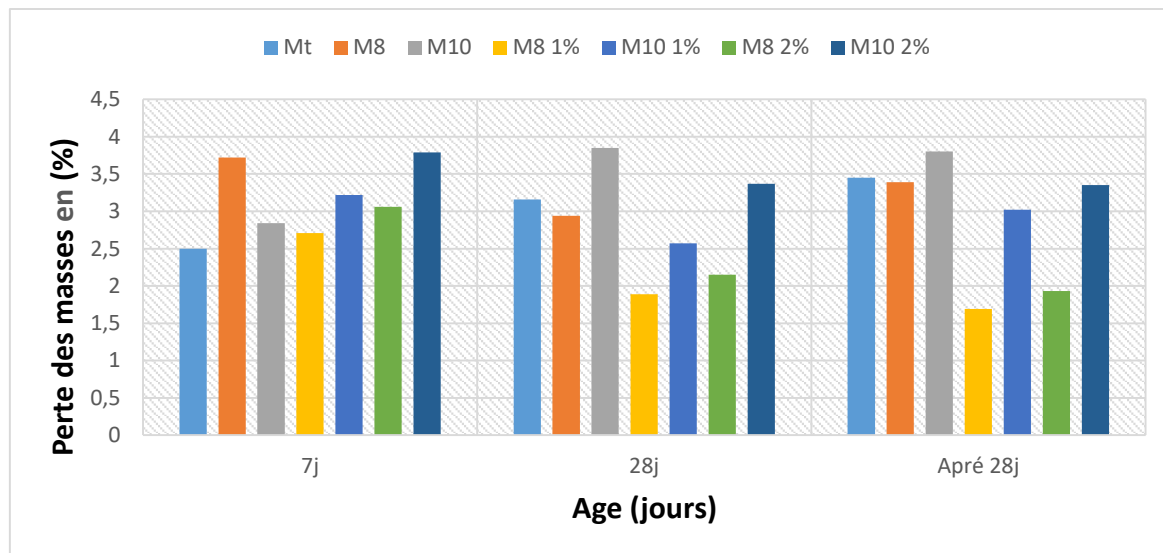


Figure (IV.21) : Evolution de la masse en fonction du temps en milieu Na cl

La figure (IV.21) montre l'évolution de la perte de masse du mortier immergé dans une solution de Na cl à 5% pendant une période de 1 à 28 jours, ce qui signifie une perte de masse oscillatoire dans le temps comme le montre la figure.

IV.5.6 Absorption :

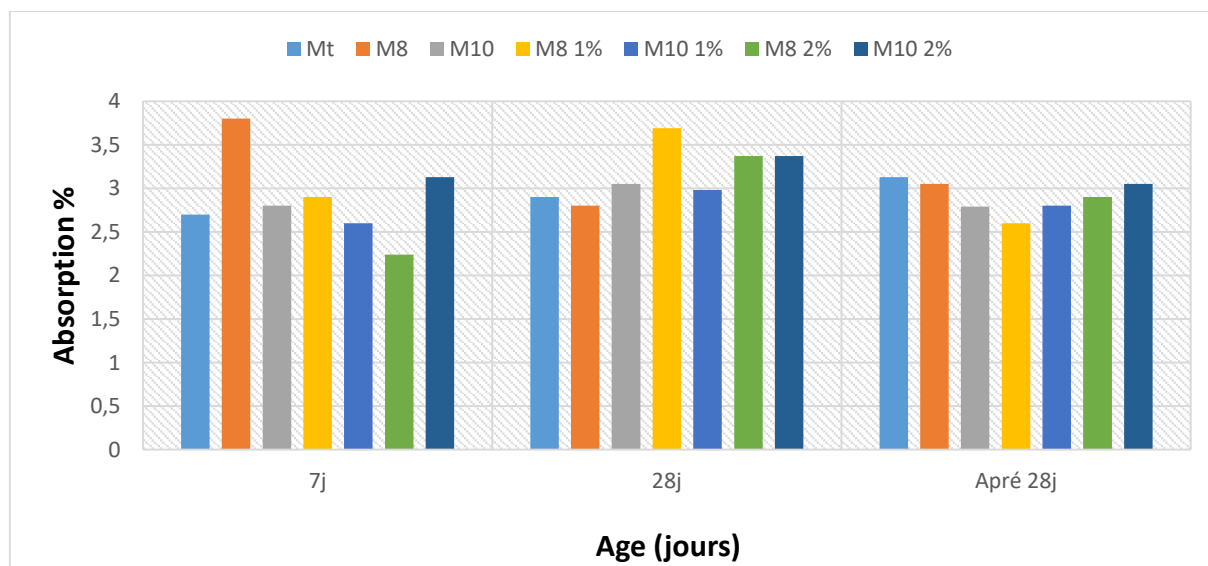


Figure (IV.22) : Evolution de l'absorption en fonction du temps en milieu Na cl

La figure (IV.22) montre le résultat du test d'absorption d'eau en fonction du temps dans le milieu Na cl. Sur la figure, on voit que la valeur du lisier témoin Mt et la valeur du lisier contenant CR 10% d'additifs minéraux car le rapport reste quasiment constant dans les lisiers contenant 1% à 2% de fibres minérales.

Nous notons également que les mortiers contenant de la poudre de silice M8 ont augmenté dans la plage (0-7) jours et ont diminué après 28 jours, tandis que la valeur d'absorption a augmenté avec le temps dans M8 1 % et M8 2 %.

IV.5.7 Porosité :

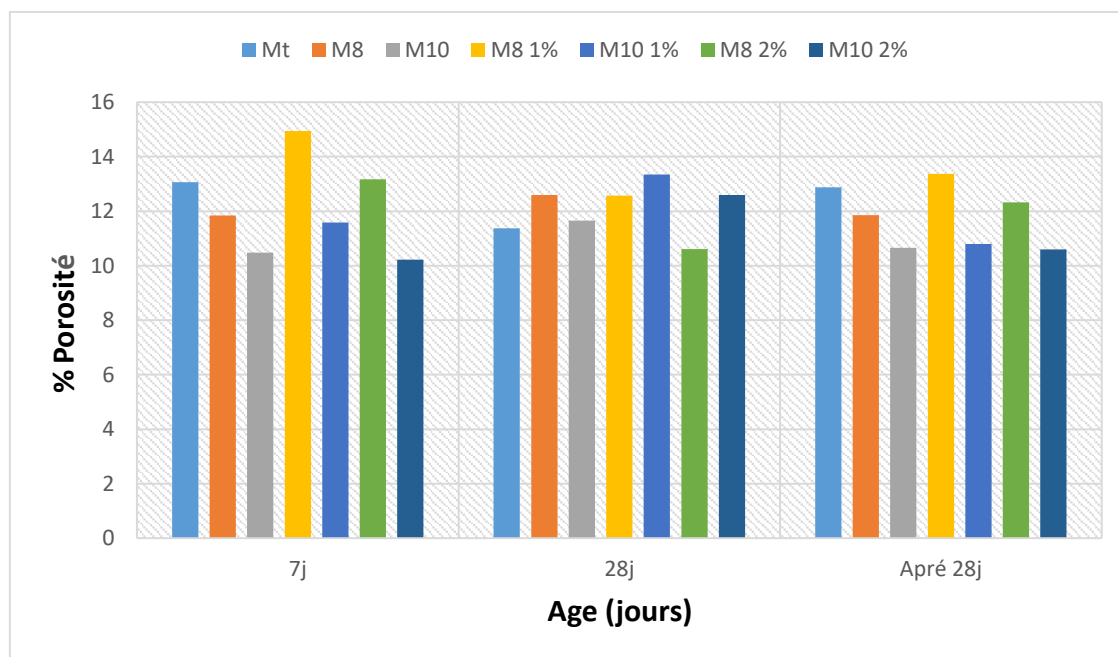


Figure (IV.23) : Evolution de la porosité en fonction du temps en milieu Na cl

La figure (IV.23) montre le résultat du test de porosité en milieu Na cl, et on constate que la valeur de porosité varie au cours de la période étudiée pour tous les types de lisiers qui ont été traités selon les pratiques de travail.

➤ Examen visuel

Des photos ont été prises pour évaluer les signes de détérioration extérieure des éprouvettes de mortier après 7 jours d'immersion dans Na cl.



Figure (IV.24) : Echantillons de différents mortiers, après 7 jours d'immersion dans le milieu Na cl.

IV.6 La carbonatation :

La carbonatation est un phénomène naturel de dissolution du dioxyde de carbone de l'air dans la solution interstitielle des mortiers suivi d'une réaction acide-base avec les composés basiques, tels que la pentlandite, pour former des carbonates de calcium. Il en résulte une diminution du pH et une corrosion des armatures. Pour mesurer la profondeur de carbonatation, la pulvérisation d'un indicateur coloré tel que la phénolphthaléine permet de visualiser les zones carbonatées sur des surfaces fendues de mortier. Elle est incolore sur les zones carbonatées et rose sur les zones saines, elle vire pour un pH d'environ 9.



La figure (IV.25) : illustre la réaction du phénophtalène sur un mortier plongé dans le milieu du NaCl

La figure (IV.25) montre la carbonatation des différents types de coulis utilisés lors des travaux expérimentaux. Il est à noter qu'après avoir pulvérisé l'échantillon avec une solution de phénophtaléine, une couleur violette apparaît à la surface de l'échantillon, ce qui indique sa sécurité et n'est infecté par aucune maladie en milieu Na cl.



La figure (IV.26) : illustre la réaction du phénophtalène sur un mortier plongé dans le milieu de l'acide

La figure (IV.26) montre la carbonisation des différents types de mortiers utilisés lors des travaux expérimentaux. Il convient de noter qu'après avoir pulvérisé l'échantillon avec une solution de phénophtalène, on remarque qu'il n'y a pas de changement de couleur à la surface de l'échantillon, ce qui indique qu'il n'est pas sûr et qu'il a une maladie en milieu acide. [33].

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans cette étude, une analyse de l'influence des pourcentages des fibres métalliques et de l'ajout de la fumée de silice et poudre de céramique sur le comportement de mortier dans les milieux agressifs est réalisée.

Le travail expérimental nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ L'incorporation de fibres métalliques dans un mortier d'ajout (céramique, fumée de silice) améliore la cohésion et la densité même si la maniabilité des mortiers frais est légèrement affectée en fonction du dosage en fibres.
- ✓ L'étude de maniabilité du mortier frais renforcé de fibres, a montré que celle-ci diminue lorsque le dosage de fibres augmente. Pour un pourcentage de fibres maximal de 2%, le meilleur est obtenu lorsqu'on rajoute 0,8% du poids de ciment de super plastifiant.
- ✓ Les résistances en compression et en flexion de mortier de fibres métalliques sont nettement supérieures à celles d'un mortier sans fibres (notamment en flexion).
- ✓ La perte en poids est plus importante par la présence des fibres métalliques.
- ✓ La vitesse de propagation du son dans le mortier augmente avec l'augmentation de l'âge du béton quel que soit le type de mortier et milieu de conservation.
- ✓ Pour la résistance de la compression on remarque la résistance de la compression augmente avec le temps jusqua 28 jours, avec l'immersion en milieu acide de nos éprouvettes remarque une diminution de la résistance à après 28 jours, Avec de concentration de l'acide.
- ✓ Pour la résistance de la compression on remarque la résistance de la compression augmente avec le temps jusqu'à 28 jours, avec l'immersion en milieu acide de nos éprouvettes on remarque une diminution de la résistance à 60 jours, Avec de concentration de l'acides (5%) on remarque aussi que le mélange avec poudre de céramique est plus affecté par l'attaque acide que les mélange contenant de fumée de silice
- ✓ Les mortiers exposés à l'acide Hcl ont une grande perte de masse par rapport à ceux conservés dans clour de sedoume Nacl.

Conclusion générale

- ✓ L'attaque chimique des mortiers s'effectue principalement sur la portlandite Ca(OH)_2 , contenue dans le ciment l'ajout de la céramique conduit à la consommation de cette portlandite ce qui a contribué à la résistance de l'attaque sulfatique.
- ✓ La finesse de l'ajout utilisé n'est pas suffisante pour améliorer la résistance à la
- ✓ Compression et la résistance à la traction.
- ✓ La vitesse de propagation du son diminue avec l'augmentation de volume des vides dans le mortier.
- ✓ L'augmentation de teneur en poudre de céramique diminue la vitesse de propagation du son
- ✓ La présence des ajouts minéraux améliore la durabilité des mortiers par rapport à mortier témoin

Recommandations

A travers cette étude, nous avons montré comment les fibres de peuvent améliorer le Comportement des éléments en mortier exposé à un milieu Agressive.

Pour compléter ce travail nous recommandons de :

Comportement des nouveaux mortiers avec d'autres types de fibres (fibres naturelle ou artificielle).

Une étude complémentaire sur le comportement de ces mortiers avec des ajouts (cendre Volante, laitier, etc.) exposé à un milieu Agressive.

Etudier la durabilité des mortiers fibrés après sollicitation thermique

Bibliographie

[1] : les fiches techniques ont été réalisées par les experts de ci béton et font l'objet de trois tomes distincts. Le tome ii intitulé « les bétons, composition, fabrication et mise en œuvre »

[2] : **Radjai Oussama, Bourezg Djamel** « Effet Combiné des Fumées de Silice et des Fines de Verre sur les Propriétés du Mortier à base de Sable de dune » Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf de M'SILA -2019.

[3] : **Zaazoua Kenza, Zegaar Hedjila** « Effet des déchets de céramique et poudre de marbre sur les propriétés physico-mécaniques du mortier » Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf de M'SILA -2020.

[4] : **Herizi Boudjmaa, Achour Mohamed** « Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier » Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf de M'SILA -2020.

[5] : **Bouguerra Anwar, Babache fatma** « Effet de l'incorporation de l'entraîneur d'air sur les caractéristiques du mortier à base de la poudre de verre et fibres métalliques. » Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf de M'SILA -2021.

[6] : M Venuat – La pratique des ciments, mortiers et bétons – Tome 1 : « Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers » - édition2 – Collection Moniteur. – 277p-1989.

[7] : Pierre Bédard Clef d'identification visuelle des grains de sable 2014

[8] : Bessa A- Badreddine., "Etude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers ", Thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, France, 2004.

[9] : NF EN 450,"Cendres volantes pour béton- définition, exigences et contrôle de qualité", 1995.

[10] : NF EN 206-1,"Spécification, performances, production et conformité", Béton partie I,2002, 77p.

[11] : Pierre-Discount.com, « La Pouzzolane », <http://www.pierrediscount.com/pouzzolane.html>.

[12]: **SOUICI MOUNIR, MOKRANI EL HASSEN HICHAM** « Corrélation aux moyens des essais non destructifs (END) et essai direct (ED) d'un béton à base de matériaux locaux » Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf de M'SILA -2019.

Bibliographie

- [13] : **CHARGUI FOUZIA** « Synthèse Et Caractérisation D'une Mullite A Base De Matières Locales Pour Substrats De Silicium Photovoltaïque » Mémoire de Doctorat, Université Ferhat Abbas-Sétif.
- [14] : **Bou Louza Oualid, Grine Abdelbasse** « Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physico mécaniques des mortiers » Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, Année 2018 /2019.
- [15] : **SAFI BRAHIM** « Procédés et mise en forme des matériaux : les produits céramiques » Mémoire De Master, Université De Boumerdes, Année 2016.
- [16] : G. NIGRI « Nouvelle élaboration d'un liant hydraulique, thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2018.
- [17] : **Abdellaoui Brahim** « Etude De La Durabilité Des Ciments Et Mortier Polymères Face Aux Milieux Agressifs » Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf de M'SILA - 2020.
- [18] : DE LARRARD, F. 2000. Structures granulaires et formulation des bétons, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- [19] : **Amraoui Benamer, Lagha Sidi Ahmed**, << durabilité des mortiers à base de fibres>>, mémoire de master, Centre université d'Ain t'émouchent Belhadj bouchaib, année 2015.
- [20] : **Saida BOUALLEG** : Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires « Mémoire de Magister- Université Mohamed Boudiaf de M'SILA -2004 ».
- [21] : **J. BARON** « Introduction à la durabilité des bétons » -La durabilité des bétons, Presses de l'école nationale des ponts et chaussés, ISBN 2-85978-184-6, Paris 1992, pp : 23-40.
- [22] : **ANDRA** « Les propriétés physiques mécaniques hydrodynamique, thermiques Des matériaux cimentaires », Tome3, les matériaux cimentaires « Référentiel Matériaux », CRP.AMAT.01.060/A, pp : 26-36.
- [23] : **BAROGHEL – BOUNY V.**, (1994) Caractérisation des pâtes de ciments et des bétons méthodes, analyse, interprétations. Publié par LCPC de Paris.
- [24] : **Louafi Mohamed, Aib Abdeslem** « Etat de connaissances sur la durabilité des matrices cimentaires conserver dans des milieux agressifs » Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf de M'SILA -2020.
- [25] : **Stéphane POYET** : Etude de la dégradation des ouvrages en béton atteints par la réaction alcalisilice : Approche expérimentale et modélisation numérique multi-échelles des dégradations dans un environnement hydro-chemo-mécanique variable.

Bibliographie

[26] : **TEBBAL Nadia** « Effet de la nature des granulats sur les propriétés physico mécaniques et durabilité d'un béton à haute » thèse de Doctorat Université Mohamed Boudiaf de M'SILA - 2017

[27] : **KERBOUCHE** : Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques et la durabilité des mortiers (Mémoire de Magister- l'ENSET d'Oran-2009).

[28] : **Zeroub Hamid**, << valorisation du veer dans l'élaboration de béton durable (Approche expérimentale)>>, mémoire de magister, université Mohamed bougera boumerdes, année 2012.

[29] : **Nadia Tebbal, Zine El Abidine Rahmouni** « Influence of Local Sand on the Physicomechanical Comportment and Durability of High Performance Concrete » 1/12/2016

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=EEkWvg0AAAAJ&citation_for_view=EEkWvg0AAAAJ:KIAtU1dfN6UC

[30] : **Messaouda Belouadah, Zine El Abidine Rahmouni, Nadia Tebbal**« Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement » 1/1/2019

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=EEkWvg0AAAAJ&citation_for_view=EEkWvg0AAAAJ:mVmsd5A6BfQC

[31] : **Nadia TEBBAL, Zine El Abidine RAHMOUNI** « Recycling of Brick Waste for Geopolymer Mortar Using Full Factorial Design Approach » 2019

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=EEkWvg0AAAAJ&citation_for_view=EEkWvg0AAAAJ:dhFuZR0502QC

[32] : **Messaouda Belouadah Zine El Abidine Rahmouni, and Nadia Tebbal.** « Experimental characterization of ordinary concretes obtained by adding construction waste (glass, marble) » 2019

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=EEkWvg0AAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=EEkWvg0AAAAJ:u9iWguZQMMsC

[33] : **Messaouda Belouadah, Zine Elabidine Rahmouni, Nadia Tebbal, Mokrani El Hassen** « Hicham Evaluation of Concretes Made with Marble Waste Using Destructive and Non-Destructive Testing » 10/2021

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=EEkWvg0AAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=EEkWvg0AAAAJ:LPZeul_q3PIC

[34] : **Nadia Tebbal, Zine El Abidine Rahmouni, Mekki Maza, Zoubir Djendi**« Combined effect of high temperatures and crystalline slag on the mechanical behavior of geopolymers mortars» 1/1/2022

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=EEkWvg0AAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=EEkWvg0AAAAJ:B3FOqHPINUQC

Bibliographie

[35] : **Boudjmaa Herizi, Mohamed Achour** « Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier » 2020

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=EEkWvg0AAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=EEkWvg0AAAAJ:ldfaerwXgEUC



CEM II/A-M(P-L) 42.5 N

+213 43 74 92 35 | info@scibs.dz | www.scibs.dz



Norme algérienne NA 442

FICHE TECHNIQUE CIMENT CEM II /A-M(P-L) 42.5 N

Analyse chimique CIMENT:

ANALYSE CHIMIQUE	MIN	MAX
SIO ₂	22,80	32,00
AL ₂ O ₃	5,20	6,20
Fe ₂ O ₃	3,20	3,60
CaO	52,00	62,00
MgO	1,02	1,20
K ₂ O	0,35	0,45
Na ₂ O	0,40	0,50
SO ₃	1,80	2,20
PF	2,00	2,80
CL	0,03	0,45
RI	6,00	12,00
CaOL	0,40	1,54

CARACTERISTIQUES PHYSICO-MECANIQUES

ESSAIS PHYSICO-MECANIQUE	MIN	MAX	NORME
SS Blaine cm ² /g	2960	4200	-
Consistance %	25,5	26,8	-
Début de prise	80	160	≥ 60 mn
Compression 02	12,5	23	> 10,0
Compression 07	25	36	-
Compression 28	43	52	≥ 42,5
Expansion à	0	8,5	< 10 mn
Les constituants de ciment en % *			
CLINKER			80-88
POUZZOLANE + CALCAIRE			12-20
GYPSE(Régulateur de prise)			00-05

* Ces valeurs font référence au noyau du ciment à l'exclusion du sulfate de calcium (gypse) et de tout autre aditif.

Domaine d'utilisation

C'est un ciment gris avec un mélange d'ajouts pouzzolane et calcaire pour bétons de haute performance destiné à la construction des ouvrages d'art, infrastructure et superstructure pour bâtiments.

Ce ciment est plus couramment utilisé dans :

- Travaux nécessitant une résistance initiale élevée (Décoffrage rapide).
- Béton en élévation, armé ou d'ouvrage courant.
- Béton de haute performance.
- Fondations ou travaux souterrains en milieux non agressifs.
- Dallages, sols industriels.
- Maçonneries
- Stabilisation des sols

NB: Les données que comporte cette fiche sont fournies à titre indicatif. La présente fiche se veut un outil d'information à portée générale seulement et ne doit pas être considérée comme la fiche technique du mois en cours ni du stock existant. Vous êtes prié de demander conseil auprès de la direction commerciale qui prendrait en compte les données techniques nouvelles et de ne pas vous fier uniquement aux données de la présente fiche d'information*.

* certaines changements peuvent éventuellement se produire dans les limites autorisées par les normes.

SIKAPLAST® BV 40 +

Plastifiant/Réducteur d'Eau pour hautes résistances mécaniques.

Conforme à la norme NF EN 934-2 tab. 1 et 2

Présentation

SIKAPLAST® BV 40 + est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron.

Domaines d'application

SIKAPLAST® BV 40 + permet d'obtenir des bétons plastiques ayant de fortes résistances mécaniques à court et à long terme.

- bétons à hautes performances,
- bétons précontraints,
- bétons préfabriqués étuvés.
- bétons avec des granulats concassés,
- bétons retarder en surdosage.

Pour les bétons étanches, le SIKAPLAST® BV 40 + diminue l'absorption capillaire des bétons et augmente leur compacité. Il permet donc de réduire la pénétration de l'eau et peut être utilisé dans les cas suivants: bétons enterrés, réservoirs, piscines, etc.

A dosage élevé, le SIKAPLAST® BV 40 + augmente le temps de prise du béton. La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais.

Le SIKAPLAST® BV 40 + est compatible avec nos entraîneurs d'air SIKA AER et SIKA AER5. Cette combinaison conduit à :

- l'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel,
- la possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier),
- l'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de marnage.

Caractères généraux

SIKAPLAST® BV 40+ est un plastifiant réducteur d'eau à haute performance qui confère au béton les propriétés suivantes :

- haute réduction d'eau,
- maintien prolongé de la rhéologie,
- robustesse vis-à-vis de la ségrégation,
- bel aspect de parement au décoffrage.

CLASSIFICATION 3R



Caractéristiques

Aspect

Liquide marron

Conditionnement

- Bidon de 5 kg
- Bidon de 10 kg
- Fût de 220 kg
- Cubitenaire de 1000 kg

Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Le produit peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Conservation	Un an dans son emballage d'origine intact
Données techniques	
densité	1,040 ± 0,015
pH	4,7 ± 1
Teneur en ions Cl ⁻	≤ 0,1 %
Teneur en Na ₂ O Eq.	≤ 0,5 %
Extrait sec	11.5 ± 1,5 %
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,3 à 1,5 % du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel du SIKAPLAST® BV40 +: 0,3 % à 1 %.
Mise en œuvre	SIKAPLAST® BV 40 + est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel.

Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

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



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

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

