

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université De Ghardaïa
Faculté des Sciences et Technologie
Département d'hydraulique et Génie Civil

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologie*

Filière : *Génie Civil*

Spécialité : *Structures*

Par : AMIEUR Imane & KOUTA Lynda

Thème

**EFFETS DU FILLER CALCAIRE ET DE LA POUDRE
DE MARBRE SUR LA DURABILITE DES MORTIERS
EXPOSENT AUX ATTAQUES CHIMIQUES**

Soutenu publiquement le : 29 /09 /2020

Devant le jury composée de :

Mr. SAITI Issam	M.A.A	Président	Université de Ghardaïa
Mr. AZIEZ Med Nadjib	M.A.B	Examineur	Université de Ghardaïa
Mr. SALHI Aimad	M.A.A	Encadreur	Université de Ghardaïa

Année Universitaire : 2019-2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Dédicace

Avent tout remerciens dieu tout –puissant qui nous a donné la force , le courage et le désir de réaliser ce modeste travail .

Je didic ce travail a mes chers et tendre paront qui m’ont encouragé et partagé toutes mes reussites .

Un grand merci a mon encadreur SALHI Imad.

**Et mes chères sœurs : Roukaia, Asma et mos chers frères :
Abdelghani, Abdenour, Moncef**

Et mes chers oncles et tantes tous avec son nom.

A toute la famille : AMIEUR

**A mes meilleurs amis et fidèle : Souad, Nour, Zaid,Zinab,Manal,
yosra, Nourhoda et tous mes amies en particulier**

À mon collègue : Lynda

Enfin a tous ceux qui m’ont aider de prés ou de loin .

2019 – 2020

AMIEUR IMANE



dedicace

C'est avec un infiniment plaisir que je dédie ce mémoire aux êtres qui
me sont très chers dans cette vie.

... A toi mon cher papa

A toi qui a tant fait pour ta famille,

Soi sur de mon amour, mon respect ma gratitude pour toi

Que dieu te garde pour nous.

... A toi ma chère maman

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de

La bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du
dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à
bien mes études.

A mon cher frère et mes chers sœurs : yacine, karima, wissam

A mon encadreur qui m'a aidé pendant ce travail : Salhi aimad

A mon fidèle et cher a celui qui a partagé mes beaux moment ,:Abdallah

Amon copine :Bochra

Mon binôme :Imane

A mes amies pour leur présence de tous les instants, pour tous les bons moments
passés au département de génie civil.

En fin, à tous ceux qui m'aime

Lynda

Remerciement

Notre remerciement s'adresse en premier Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant ces longues années.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Notre remerciement s'adresse en premier Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant ces longues années.

Nous exprimons notre profonde gratitude à. professeur I. SALHI pour l'aide précieuse, les conseils avisés et les encouragements constants qu'il nous a fournis tout au long de ce projet.

Nous remercions sincèrement le directeur du laboratoire LTPS, notre professeur A. AMIEURE. À tous les travailleurs du laboratoire aussi. (Unité Ghardaïa) et leur dynamisme ainsi que l'ambiance chaleureuse, en particulier le chef du laboratoire, M. Jaqawa Sheikh.

Nous tenons également à remercier les membres du jury:

- SAITI Issam.
- AZIEZ Mohammed Nadjib

Qui auront à examiner et évaluer notre modeste contribution.

Enfin, nous remercierons tous les étudiants master 2 GENIE CIVIL spécialité STRUCTURE.

2019 - 2020

ملخص

تهتم أبحاث المواد الحالية بتطوير مركبات اسمنتية جديدة ، بهدف تحسين الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والمتانة للمواد الإسمنتية ، مما يسمح بتقليل استهلاك الطاقة ، مما يؤدي إلى تقليل معدل ثاني أكسيد الكربون المنبعث من الأفران الصناعية الهدف من هذه الدراسة هو التقييم التجريبي لتأثير استبدال جزء من الإسمنت بمساحيق الرخام وحشو الحجر الجيري في الملاط على الخواص الفيزيائية الميكانيكية (مقاومة الانحناء والضغط) و المتانة في البيئات العدوانية (5% 2% H₂SO₄) جهزنا أنابيب اختبار لمونة تحكم ومونة مع استبدال الإسمنت بنسب مختلفة في إضافتين من مسحوق الرخام وحشو الحجر الجيري (5,10,20,25) %

وبالتالي يتم إجراء اختبارات مقاومة الشد عن طريق الانحناء والضغط وفقدان الكتلة عند (7 ، 28 ، 90) يوماً لتقدير وتقييم هذه المتانة .

تظهر نتائج دراستنا أن استبدال جزء واحد من الإسمنت بإضافتين من مساحيق الرخام وحشو الحجر الجيري يحسن خصائص الملاط في الحالة الصلبة مع تحسين المتانة (المقاومة الكيميائية) الكلمات المفتاحية: حشو الحجر الجيري ، مسحوق الرخام ، المتانة ، الملاط ، الهجوم الكيميائي .

Abstract

Current materials research is concerned with the development of new cementitious composites, with the aim of improving the mechanical, physical and durability properties of cementitious materials, allowing to reduce energy consumption, which results in the reduction of rate of carbon dioxide released by industrial furnaces.

The purpose of this study is to experimentally evaluate the influence of the substitution of a part of cement by marble powders and limestone fillers in mortars on the mechanical physical properties (resistance to bending and compression) and durability in aggressive environments (5%, 2% H₂SO₄).

We prepared test tubes of a control mortar and mortars with cement substitution with different percentages in two additions of marble powder and limestone filler (5, 10, 20 and 25)%. , Thus tests of the tensile strength by bending and compression and the loss of mass at (7, 28, 90) days are carried out in order to estimate and evaluate this durability.

The results of our study show that the substitution of one part cement with two additions of marble powders and limestone fillers improves the characteristics of mortars in the hardened state with improved durability (chemical resistance).

Keywords: limestone filler, marble Powder, durabilité, mortar, chemical attack.

Résumé

La recherche actuelle sur les matériaux s'intéresse au développement de nouveaux composites cimentaires, dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques, physiques et la durabilité des matériaux cimentaires, permettant de réduire la consommation d'énergie, qui se traduit par la diminution du taux de gaz carbonique dégagé par les fours industriels.

La présente étude a pour but d'évaluer expérimentalement l'influence de la substitution d'une partie de ciment par des poudres de marbre et fillers calcaire dans les mortiers sur les propriétés physiques mécaniques (la résistance à la flexion et à la compression) et la durabilité dans les milieux agressifs (5% ,2% H₂SO₄).

Nous avons préparé des éprouvettes d'un mortier témoin et mortiers avec substitution de ciment avec différents pourcentages en deux ajouts poudre de marbre et filler calcaire (5,10, 20 et 25) %.

Ainsi des essais de la résistance à la traction par flexion et à la compression et de la perte de masse à (7, 28 ,90) jours sont réalisés afin d'estimer et d'évaluer cette durabilité.

Les résultats de notre étude montrent que la substitution d'une partie de ciment avec deux ajouts les poudres de marbre et les fillers calcaires améliore les caractéristiques des mortiers à l'état durci avec amélioration de la durabilité (la résistance chimique).

Mots clés :filler calcaire, poudre de marbre, durabilité, mortier, attaque chimique.

Sommaire

Liste des figures I

Liste des tableaux..... IV

Liste des symboles et notions VII

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I : Le ciment et le mortier

I.1 Ciment 3

 I.1.1 Introduction 3

 I.1.2 Définition..... 3

 I.1.3 Principe de fabrication ciment portland 4

 I.1.4 Les Constituants du ciment 5

 I.1.4.1 Clinker 5

 I.1.4.2 Le gypse (CaSO4) 6

 I.1.5 Classification des ciments 6

 I.1.5.1 Classification des ciments en fonction de leur composition 6

 I.1.5.2 Classification des ciments en fonction de leur résistance normale..... 7

I.2 Les mortiers 8

 I.2.1 Introduction 8

 I.2.2 Définition 9

 I.2.3 Les différents types de mortiers 9

 I.2.3.1 Les mortiers de ciment..... 9

 I.2.3.2 Les mortiers de chaux 9

 I.2.3.3 Les mortiers bâtards..... 9

 I.2.3.4 Les mortiers fabriqués sur chantier..... 9

 I.2.3.5 Le mortier industriel..... 10

I.2.4 Classification des mortiers	10
I.2.5 Caractéristiques principales des mortiers.....	11
I.2.6 Le rôle d'utilisation de mortier	11
I.2.7 Classes des mortiers	12
I.2.8 Constituants des mortiers	12
I.2.8.1 Le liant	12
I.2.8.2 Le sable	13
I.2.8.3 L'eau de gâchage	13
I.2.8.4 Les Adjuvants.....	13
I.3 Conclusion.....	14
CHAPITRE II : Les ajouts minérales et les milieux agressifs	
II.1 Introduction	15
II.2 Les ajouts cimentaires	15
Définition des ajouts cimentaires	15
II.2.1 Classification des ajouts minéraux	16
II.2.1.1 Les ajouts minéraux actifs	16
a. La pouzzolane	16
a.1 pouzzolanes naturelles	17
a.2 Pouzzolane artificielle	18
b. Les fumées de silice	19
c. Les laitiers de hauts fourneaux	19
d. Les cendres volantes	19
e. La poussière	20
II.2.1.2 Les ajouts minéraux inertes	20
a. Les fillers calcaires	20
a.1 Propriétés et mode d'action des fillers	21

a.2 Utilisation des fillers	21
a.3 Rôles des fillers	22
a.4 Différents types de calcaire	22
b. Le marbre	23
b.1 Composition minéralogique.....	24
b.2 Utilisation	24
II.2.2.2 L'utilisation des ajouts en Algérie.....	24
II.3 La durabilité de béton	26
Définition	25
II.3.1 Béton durable et béton résistant	26
II.3.2 Les attaques chimiques des bétons	27
II.3.3 Attaques des acides	27
II.3.3.1 Mécanisme d'attaque	28
II.3.3.2 Sources des acides	29
II.3.4 Les travaux réalisés sur la durabilité	29
a) la masse volumique des bétons	29
b) Perte de masse des Eprouvettes conservées en H ₂ SO ₄	30
c) Calcul des résistances mécaniques	31
c.1) Résistance à la compression	31
c.2) Résistance à la traction	31
d) Absorption capillaire	32
II.4 Conclusion.....	32
CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes	
Expérimentales	
III.1 Introduction	34
III.2 Objectif du travail.....	34
III.3 Méthodologie du travail pratique.....	34
III.4 Caractéristiques des matériaux	35
III.4.1 Ciment	35
III.4.1.1 Analyse chimique et la composition minéralogique du ciment CRS	36

III.4.1.2 Les essais sur ciment	36
III.4.1.2.1 Consistance :(EN 196-3).....	36
III.4.1.2.2 Temps de prise (EN 196-3)	38
III.4.2 Sable	39
III.4.2.1 Analyse granulométrique : (EN 933-1) [40].....	39
III.4.2.2 Le module de finesse.....	41
III.4.2.3 Equivalent de sable (EN 933-8) [37].....	41
III.4.2.4 Masse volumique absolu (NFP 18-301.....	44
III.4.2.5 Masse volumique apparente (EN 1097-3) [41].....	45
III.4.3 Les Ajouts	47
III.4.3.1 La poudre de marbre	47
III.4.3.2 Caractéristiques physiques et chimiques et minéralogique du marbre....	47
III.4.4 Fillers calcaires	49
III.4.4.1 La composition chimique.....	49
III.4.4.2 Analyse granulométrique des fillers calcaire	50
III.4.5 Eau de gâchage.....	50
III.4.6 Le super plastifiant (Sika Visco Crete Tempo 12).....	50
III.4.6.1 Definition	50
III.4.6.2 Caractéristiques physiques et chimiques et minéralogique du super plastifiant	51
III.5 Composition du mortier normal (EN 196-1) [42]	51
III.6 Confection des éprouvettes.....	52
III.6.1Malaxage.....	52
III.6.2 Moulage des éprouvettes	53
III.6.3 Démoulage des éprouvettes	54
III.7 Conservation des éprouvettes	54
III.8 Les Milieux agressifs.....	55
III.8.1 Préparation des attaques chimiques.....	55
III.8.2 L'acide sulfurique (H ₂ SO ₄).....	55
III.9 Les essais sur mortier	57

III.9.1 Détermination des Rc et à la traction (EN 196-1) [36]	58
III.9.1.1 Résistance à la traction par flexion	58
III.9.1.2 Résistance à la compression	59
III.9.2 Essai de la perte de masse	61
III.9.3 Essai d'absorption par capillarité	61
III.9.3.1 Préparation et prétraitement des échantillons.....	61
III.9.3.2 Conduite de l'essai	61
III.9.3.3 Coefficient d'absorption.....	62
III.9.4 Essai de la masse volumique du mortier.....	62
III.10 Conclusion	63
Chapitre IV : Résultats et interprétation des différents essais réalisés	
IV.1 Introduction	64
IV.2 Résultats et discussion des essais traction par flexion et de compression ...	64
IV.2.1 Eprouvettes conservées en l'eau pure	65
IV.2.1.1 Résultats et discussion de Mv de mortier en fonction de temps.....	65
IV.2.1.2 Résultats et discussion de RF pour mortier en fonction de temps	66
IV.2.1.3 Résultats et discussion de RC pour mortier en fonction de temps.....	67
IV.2.2 Eprouvettes conservées dans la solution H ₂ SO ₄ (2% et 5%)	68
IV.2.2.1 Eprouvettes conservées dans la solution H ₂ SO ₄ (2%)	68
IV.2.2.1.1 Résultats et discussion de la PM en fonction de temps.....	68
IV.2.2.1.2 Résultats et discussion de RF pour mortier en fonction de temps.....	70
IV.2.2.1.3 Résultats et discussion de RC pour mortier en fonction de temps....	71
IV.2.2.2 Eprouvettes conservées dans la solution H ₂ SO ₄ (5%)	72
IV.2.2.2.1 Résultats et discussion de PM en fonction de temps.....	72
IV.2.2.2.2 Résultats et discussion de RF à pour mortier en fonction de temps....	74
IV.2.2.2.3 Résultats et discussion de RC pour mortier en fonction de temps.....	75
IV.2.3 Résultats et discussion de l'essai d'absorption capillaire du mortier	76
Conclusion générale.....	78
Référence Bibliographique	80

Annexe..... 83

Liste des figures

Chapitre I : Le ciment et le mortier

Figure (I.1) : Poudre de ciment courant[04].....	3
Figure (I.2) : Fabrication du ciment[04].....	4
Figure (I.3) : Constituants des mortier[07].....	8
Figure (I.4) : Les différents types de mortiers.....	10

CHAPITRE II : Les ajouts minérales et les milieux agressifs.

Figure (II.1) : Différents types d'ajouts cimentaires [18].....	16
Figure (II.2) : La Pouzzolane [19].....	17
Figure (II.3) : Pouzzolanes naturelles [19].....	17
Figure (II.4) : Fumées de silice [19].....	18
Figure (II.5) : Laitiers de hauts fourneaux [21].....	19
Figure (II.6) : Cendres volantes [20].....	20
Figure (II.7) : Fillers calcaire.....	21
Figure (II.8) : La Poudre de marbre.....	23
Figure (II.9) : la durabilité de la structure [31].....	26
Figure (II.10) : La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage.....	28
Figure (II.11) : Évolution de la masse volumique des bétons en fonction de la durée de conservation [33].....	29
Figure (II.12) : Perte de masse des éprouvettes conservées en H ₂ SO ₄ . [34].....	30
Figure (II.13) : Résistances à la compression des mélanges de bétons en fonction de tempe. [35].....	31
Figure (II.14) : Résistances à la traction du différent béton en fonction de tempe. [35] ..	31
Figure (II.15) : Évolution du coefficient d'absorption capillaire. [33].....	32

**Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes
expérimentales.**

Figure (III.1) : Ciment El Mokaouem CEMI/A42,5.....	35
Figure (III.2) : Appareil de Vicat.....	37
Figure (III.3) : Malaxeur de mortier.....	37
Figure (III.4) : Sable d’Ouargla.....	39
Figure (III.5) : Appareillage de l’analyse granulométrique.....	40
Figure (III.6) : Courbe distribution granulométrique.....	40
Figure (III.7) : processus de l’essai d’équivalent de sable.....	43
Figure (III.8) : la masse volumique absolu.....	44
Figure (III.9) : processus de l’essai de la masse volumique apparente.....	45
Figure (III.10) : La poudre de marbre.....	47
Figure (III.11) : Diagramme de diffraction X du filler de marbre.....	48
Figure (III.12): Fillers calcaires.....	49
Figure (III.13) : Analyse granulométrique des fillers calcaires.....	50
Figure (III.14) : Malaxeur de mortier.....	53
Figure (III.15) : les étapes de moulage des éprouvant.....	53
Figure (III.16) : les éprouvettes après le démoulage.....	53
Figure (III .17) : Bacs de conservation des éprouvettes dans la chambre humide.....	54
Figure (III .18) : Préparation dconservation des éprouvettes et l’attaque chimiques.....	55
Figure (III .19) : L’acide sulfurique H_2SO_4	56
Figure (III .20) : Conservation des éprouvettes dans l’acide sulfurique et eau.....	56
Figure (III.21) : Appareil de compression et de flexion.....	57
Figure (III.22) : Dispositif pour l’essai de résistance à la flexion.....	59
Figure (III.23) : Appareil de traction par flexion.....	59
Figure (III.24) : Dispositif de rupture en compression.....	60
Figure (III.25) : Appareil de compression.....	60
Figure (III.26) : Bacs de conservation des éprouvettes.....	61
Figure (III.27) : Essai d’absorption par capillarité.....	62

**Chapitre IV : Résultats et interprétation des différents essais.
réalisés.**

Figure (IV.1) : Evolution de MV pour le mortier en fonction de temps.....	65
Figure (IV.2) : Evolution de Rf pour le mortier en fonction de temps.....	66
Figure (IV.3) : Evolution de RC pour mortier en fonction de temps.....	67
Figure (IV.4) Evolution de PM pour mortier en fonction de temps.....	69
Figure (IV.5) : Evolution de RF pour mortier en fonction de temps.....	70
Figure (IV.6): Evolution de RC pour mortier en fonction de temps.....	71
Figure (IV.7) : Evolution de PM en fonction de temps.....	73
Figure (IV.8) : Evolution de RF pour mortier en fonction de temps.....	74
Figure (IV.9) : Evolution de RC pour mortier en fonction de temps.....	75
Figure (IV.10) : Absorption d'eau capillaire par unité de surface de mortier.....	77

Liste des tableaux

Chapitre I : Le ciment et le mortier

Tableau (I.1) : Composition chimique et minéralogique du clinker [3].....	5
Tableau (I.2) : Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition [8].....	7
Tableau (I.3) : Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe [8]....	8
Tableau (I.4) : Différentes actions des adjuvants [40]	14

CHAPITRE II : Les ajouts minéraux et les milieux agressifs

Tableau:(II.1) Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes [27].....	25
---	----

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales

Tableau (III.1) : Analyse chimique du ciment CRS.....	35
Tableau (III.2) : la composition minéralogique du ciment CRS.....	35
Tableau (III.3) : Propriétés physiques des ciments préparés (consistance normale).....	36
Tableau (III.4) : Différents classe de ciment. (EN 196-1).....	37
Tableau (III.5) : Classement de sable.....	40
Tableau (III.6) : Résultats Equivalent de sable	42
Tableau (III.7) : La nature et qualité ES du sable.....	42
Tableau (III.8) : La masse volumique du sable.....	45
Tableau (III.9) : Les propriétés physiques du sable.....	45
Tableau (III.10) : propriété physique des fillers de marbre.....	46
Tableau (III.11) : Analyse chimique des fillers de marbre.....	47
Tableau (III.12) : Analyse minéralogique de filler de marbre.....	47
Tableau (III.13) : Composition chimique des fillers calcaires.....	48
Tableau (III.14) : Les données techniques.....	50
Tableau (III.15) : Composition des différents types de formulations de mortier.....	55

Tableau (III.16) : Concentration des solutions.....	55
Chapitre IV : Résultats et interprétation des différents essais réalisés	
Tableau (IV.1) : Mv en fonction de temps conservation dans l'eau pure.....	64
Tableau (IV.2) :Rf en fonction de temps conservation dans l'eau pure.....	65
Tableau (IV.3) : Rc de temps conservation dans l'eau pure.....	66
Tableau (IV.4) : pm en fonction de temps d'immersion dans l'acide H₂SO₄ (2%).....	67
Tableau (IV.5) :Rf en fonction de temps d'immersion dans l'acide H₂SO₄ (2%).....	69
Tableau (IV.6) : Rc en fonction de temps d'immersion dans l'acide H₂SO₄ (2%).....	70
Tableau (IV.7) : Pm en fonction de temps d'immersion dans l'acide H₂SO₄ (5%).....	71
Tableau (IV.8) :Rf en fonction de temps d'immersion dans l'acide H₂SO₄ (5%).....	73
Tableau (IV.9) : Rc pour mortier immergé dans l'acide H₂SO₄ (5%).....	74
Tableau (IV.10) : Absorption d'eau capillaire par unité de surface de mortier.....	75

Liste des symboles et notations symontaires

Cao : le chaud libre.

SiO₂ : la silice.

Al₂O₃ : l'alumine.

CPA : ciment portland.

CPJ : ciment portland composé.

CHF : ciment haut fourneau.

CPZ : ciment pouzzolanique.

CIC: ciment laitier et aux cendres.

C₃S : silicate tricalcique.

C₂S : silicate bi calcique.

CO₂ : gazeux du carbonates redeviennent.

C₃A : Aluminate tricalcique.

C₄AF : Ferro Aluminate calcique.

SO₄ : les anions.

Fe₂O₃ : cérite.

SO₂ : l'anhydride sulfureux.

SO₄ NH₄: le sulfates d'ammonium.

H₂SO₄: l'acide sulfurique.

CaSO₄: le gypse.

Ca CO₃ : carbonate de calcium.

(SO₄)₃ : solutions solides dans les silicates de calcium.

Ca Mg (CO₃) : la dolomite.

C₃AH₁₃ : tétra calcique hydraté.

Pm : poudre de marbre.

FC : filler de calcaire.

NF : la norme française.

E/C : le rapport eau du ciment.

Mg SO₄: sulfate de magnesium.

Na₂SO₄: sulfate de sodium.

HCL : l'acide hydrochlorique.

BC : liant binaire.

Liste des symboles et notions

TC : liant ternaire.

Mf ; module de finesse.

ρ_a : Masse volumique apparente.

ρ_s : Masse volumique absolue.

M0 : masse sèche.

M : la masse.

V : le Volume.

ES :Equivalent de sable.

R_f : la résistance en flexion.

b : le côté de la section carrée.

F_f : est la charge appliquée au milieu.

L : est la distance entre les appuis.

R_c : Contrainte de compression.

F_c : la charge de rupture à la compression.

b : Section transversale de l'éprouvette.

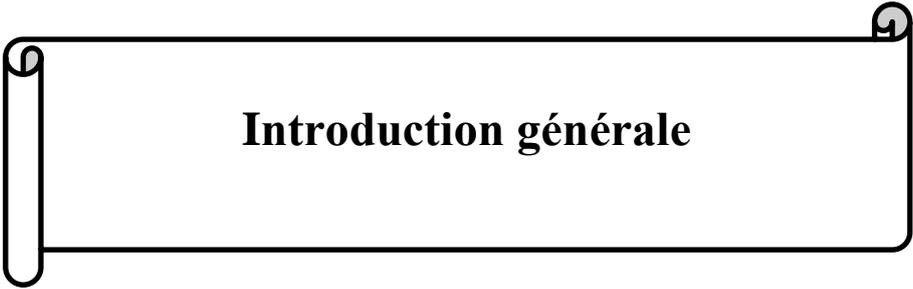
T : taux de perte de masse.

m_1, m_2 : les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

Cat : L'absorption d'eau.

Mv : La masse volumique.

Pm : la perte de masse.



Introduction générale

Introduction générale

La production du ciment Portland est un processus très intensif qui requiert énormément d'énergie et contribue d'une manière significative à l'émission du dioxyde de carbone CO₂ dans l'atmosphère [1]. Elle dégage près d'une tonne de CO₂, pour chaque tonne de ciment produite. La production annuelle mondiale de CO₂ par l'industrie de ciment représente 7% des émissions mondiales [2]. Ces émissions sont dues principalement à la consommation des combustibles lors de la cuisson du calcaire et de l'argile.

Cette situation doit être prise au sérieux car le béton est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans le développement et le maintien de l'activité humaine. L'utilisation de résidus industriels récupérés (ajouts minéraux), tels que le laitier de haut fourneau, le fumé de silice, le filler calcaire, poudre de marbre, poudre de verre, comme produits de remplacement partiel du ciment Portland dans le mortier et béton permet de réduire les émissions des gaz à effet de serre et se traduit par la fabrication d'un mortier et d'un béton non polluant et durable sur le plan environnemental.

Ces ajouts minéraux sont largement utilisés dans la production des ciments à travers le monde. Du point de vue économique, ils présentent un facteur très important dans la production du ciment Portland composé (CPJ-CEMII/ A ou B), du moment que la consommation en clinker baisse en fonction du taux d'ajout utilisé.

La présente étude a pour but d'évaluer expérimentalement l'influence de la substitution d'une partie de ciment par des pourcentages des poudres de marbre et des fillers calcaires (5%, 10%, 20%, 25%) dans les mortiers sur les propriétés physiques mécaniques (la résistance à la flexion et à la compression) et la durabilité dans les milieux agressifs (7, 28, 90) jours.

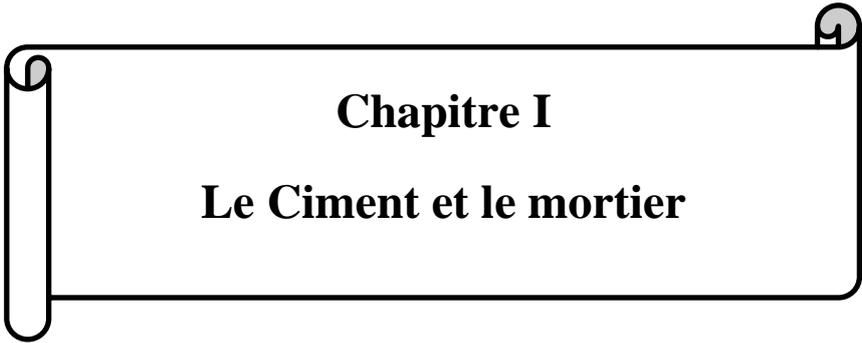
Cette étude est divisée en quatre chapitres structurés comme suit:

- ❑ Le premier chapitre sera consacré à la synthèse bibliographique sur le ciment, les mortiers, la composition de mortier.
- ❑ Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude de différents types de ajouts minéraux et les milieux agressifs.

- ❑ Le troisième chapitre en particulier la caractérisation des matériaux et les méthodes expérimentales utilisées pour la confection des mortiers par différents mélanges dans ce travail.
- ❑ Le quatrième chapitre contient la présentation et discussion des résultats concernant l'état durci des différents mortiers étudiés. Tous les résultats font l'objet des commentaires et des interprétations.

Les résultats concernant, la masse volumique, l'absorption d'eau et le comportement mécanique (les résistances en compression, traction et en flexion) et la durabilité des différents échantillons testés

- ❑ En fin une conclusion générale sur cette étude, des perspectives et des recommandations sont présentées.



Chapitre I

Le Ciment et le mortier

Chapitre I : Le ciment et le mortier

I.1 Ciment :

I.1.1 Introduction :

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 inexplicables 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 Aspidine 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. [03]

I.1.2 Définition :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 °C , température de fusion .

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau, et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

Ce durci ciment est dû à l'hydratation de certain composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. [04]



Figure (I.1) : Poudre de ciment courant [04]

I.1.3 Principe de fabrication ciment portland :

La fabrication de ciment se réduit schématiquement voir figure(I.2) aux trois opérations suivantes :

- préparation du cru ;
- cuisson ;
- broyage et conditionnement. [04]

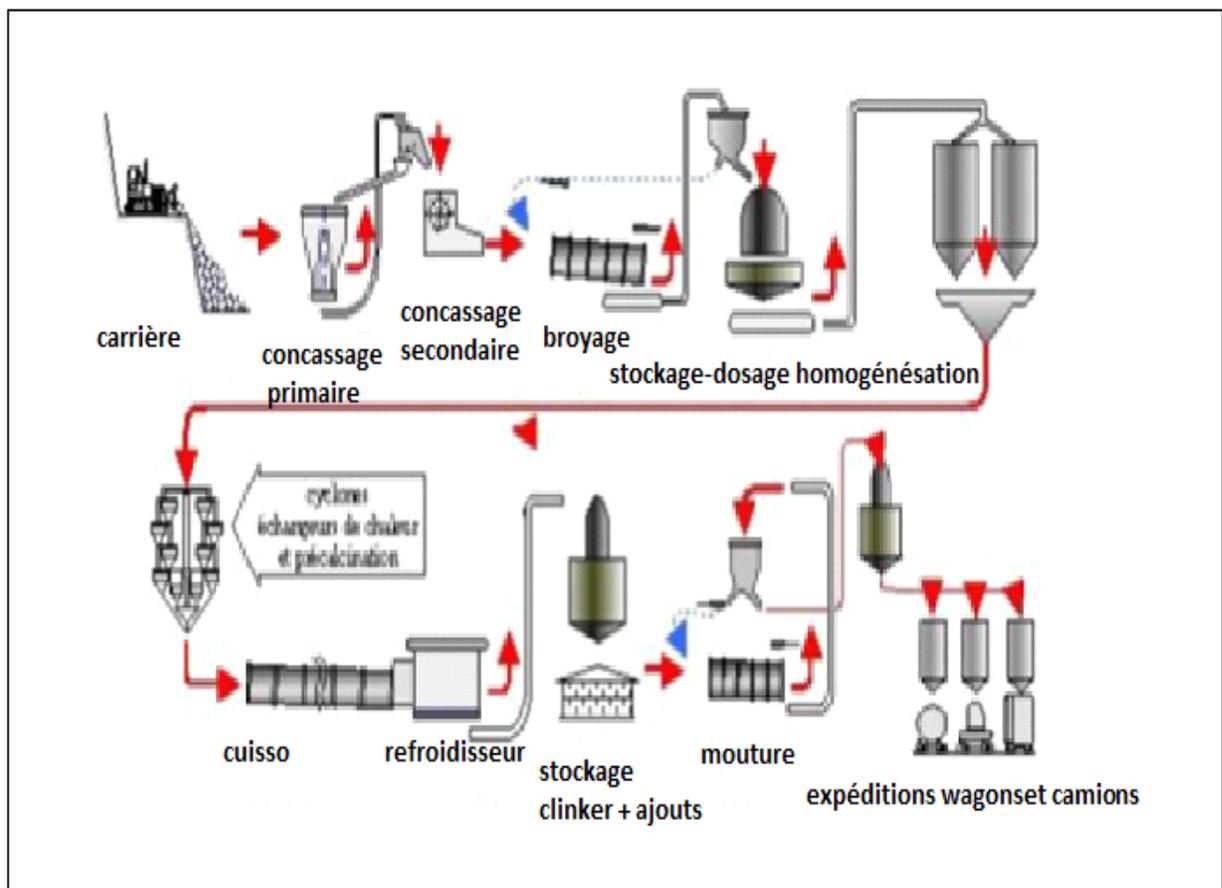


Figure (I.2) : Fabrication du ciment. [04]

I.1.4 Les Constituants du ciment :

I.1.4.1 Clinker :

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (Clink irisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne.). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. [04]

Les éléments simples (CaO, SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants :

- Silicate tricalcique (C₃S) : 3CaO.SiO₂(Alite);
- Silicate bicalcique (C₂S) : 2CaO.SiO₂(Belite);
- Aluminate tricalcique (C₃A) :3CaO.Al₂O₃;
- Ferro aluminate calcique (C₄AF): 4CaO .Al₂O₃ .Fe₂O₃(Célite).

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par Le tableau (I.1) ci –dessous :

Tableau (I.1) : Composition chimique et minéralogique du clinker. [05]

Composants	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne(%)
Minéralogiques		
C ₃ S	40-70	60
C ₂ S	00-30	15
C ₃ A	02-15	08
C ₄ AF	00-15	08
Oxydes	-	-
CaO	60-69	65
SiO ₂	18-24	21
Al ₂ O ₃	04-08	06
Fe ₂ O ₃	01-08	03
MgO	< 05	02
K ₂ O, Na ₂ O ₃	< 02	01
SO ₃	< 03	01

I.1.4.2 Le gypse (CaSO_4) :

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement.

I.1.5 Classification des ciments :

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale. [06]

I.1.5.1 Classification des ciments en fonction de leur composition :

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par la norme NF P15-301.

Ils sont numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse) :

- CEM I : Ciment portland (CPA - dans la notation française),
- CEM II : Ciment portland composé (CPJ),
- CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF),
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ),
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

La proportion (en masse) des différents constituants est indiquée dans le tableau (I.1). Les constituants marqués d'une étoile (*) sont considérés comme constituants secondaires pour le type de ciment concerné ; leur total ne doit pas dépasser 5%. (Les fillers sont considérés comme des constituants secondaires) .[06]

Tableau (I.2) : Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition .[06]

	Cim. Portland	Ciment Portland composé		Ciment de haut fourneau			Ciment pozzolanique		Ciment au laitier et aux cendres	
	CPA-CEM I	CPJ-CEM II/A	CPJ-CEM II/B	CHF-CEM III/A	CHF-CEM III/B	CLK-CEM III/C	CPZ-CEM IV/A	CPZ-CEM IV/B	CLC-CEM V/A	CLC-CEM V/B
Clinker (K)	/95%	/80% ≤94%	/65% ≤79%	/35% ≤64%	/20% ≤34%	/5% ≤19%	/65% ≤90%	/45% ≤64%	/40% ≤64%	/20% ≤39%
Laitier (S)	*	6%≤	21%≤	/36% ≤65%	/66% ≤80%	/81% ≤95%	*	*	/18% ≤30%	/31% ≤50%
Pouzzolanes (Z)	*	total ≤20% (fumée de silice de silice ≤10%)	total ≤35% (fumée de silice ≤10%)	*	*	*	10% ≤ total ≤35% (fumée ≤10%)	36% ≤ total ≤55% (fumée ≤10%)	18% ≤ total ≤30%	31% ≤ total ≤50%
Cendre siliceuses (V)	*			*	*	*				
Fumée de silice (D)	*			*	*	*				
Cendres calciques (W)	*			*	*	*				
Schistes (I)	*			*	*	*				
Calcaires (L)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Fillers (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

I.1.5.2 Classification des ciments en fonction de leur résistance normale :

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours ; des sous classes “R” sont associées à ces trois classes principales pour désigner des ciments dont les résistance au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe32,5,classe42,5classe52,5.Ellesdoivent respecter les spécifications et les valeurs garanties selon le tableau (I.3) Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs garanties lorsqu’elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées

Tableau (I.3) : Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe. [06]

Classe	Résistance à la compression (MPa) EN 196-1				Retrait à 28 jours P 15-433 (µm/m)	Début de prise EN 196-3 (min)	Stabilité EN 196-3 (min)
	au jeune âge		à 28 jours				
	2 jours	7 jours	mini.	maxi.			
32,5		(17,5)	/32,5 (30)	≤52,5	≤800	/90	≤10
32,5 R	/13,5 (12)	/	/32,5 (30)	≤52,5	≤1 000	/90	≤10
42,5	/12,5 (10)		/42,5 (40)	≤62,5	≤1 000	/60	≤10
42,5 R	/20 (18)		/42,5 (40)	≤62,5	≤1 000	/60	≤10
52,5	/20 (18)		/52,5 (50)			/60	≤10
52,5 R	/30 (28)		/52,5 (50)			/60	≤10

I.2 Les mortiers :

I.2.1 Introduction :

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon. [07]

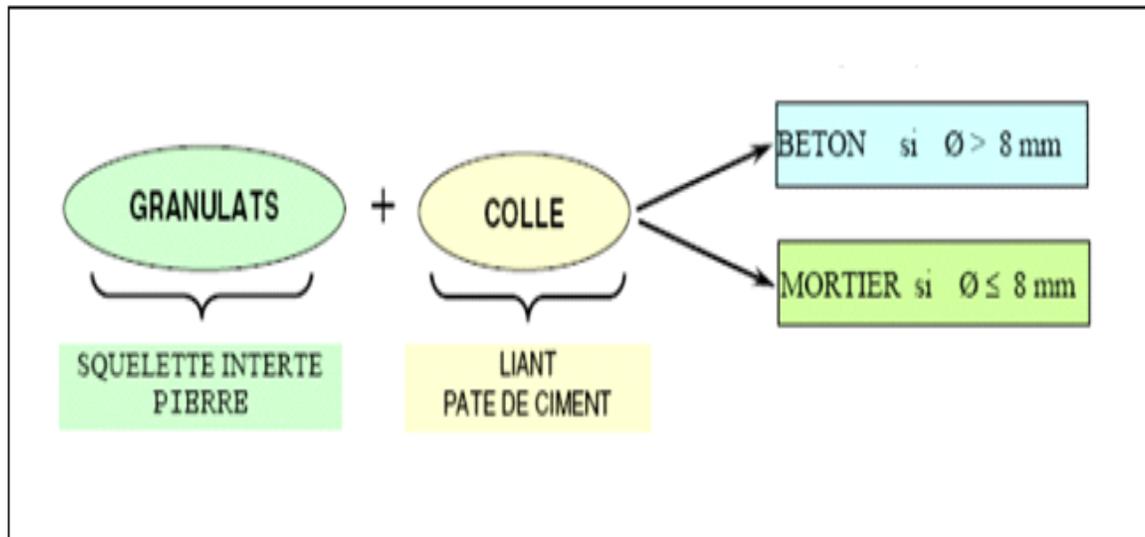


Figure (I.3) : Constituants des mortiers. [07]

I.2.2 Définition :

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différent selon les réalisations.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait. [07]

I.2.3 Les différents types de mortiers :**I.2.3.1 Les mortiers de ciment :**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait. [07]

I.2.3.2 Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment. Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment.

I.2.3.3 Les mortiers bâtards :

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, On utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide.

I.2.3.4 Les mortiers fabriqués sur chantier :

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

I.2.3.5 Le 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 mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre.

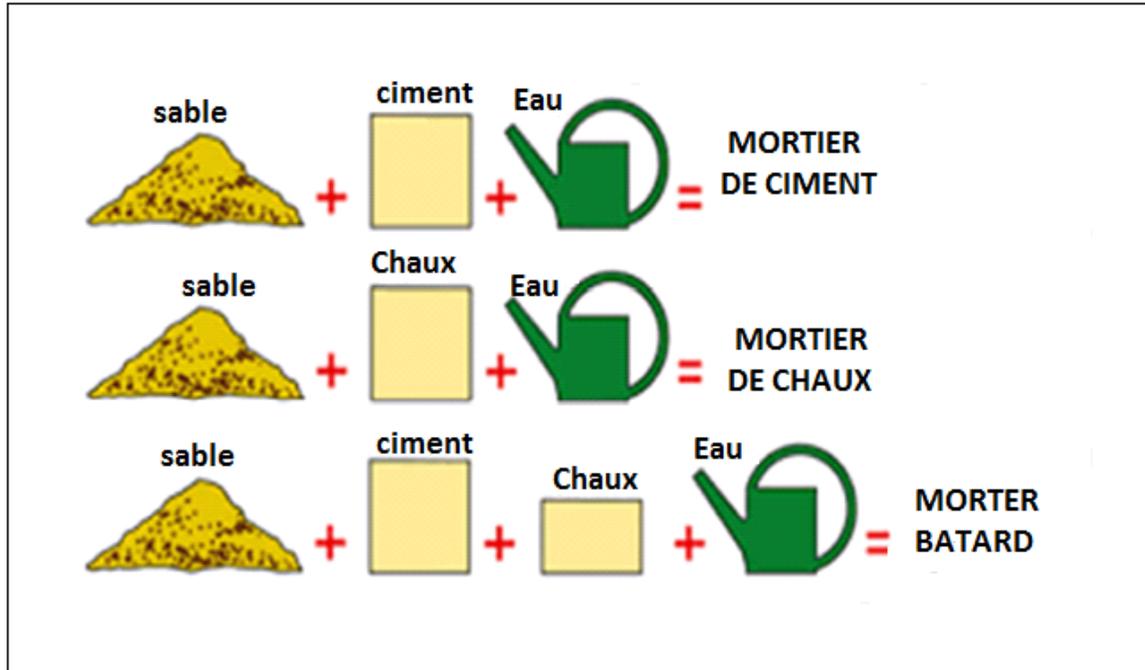


Figure (I.4) : Les différents types de mortiers. [08]

I.2.4 Classification des mortiers :

La classification des mortiers est comme suite : [09]

- **Selon leur domaine d'utilisation :**

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier est très vaste et leurs domaines permettent de citer les catégories suivantes:

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

- Mortier d'injection.
- Mortier de réparation.
- **Selon la nature du liant :**
 - On peut classer les mortiers selon la nature du liant en:
 - Mortier de ciment portland.
 - Mortier de chaux.
 - Mortiers bâtards.
 - Mortier à base de ciment de maçonnerie.

I.2.5 Caractéristiques principales des mortiers :

Les caractéristiques principales des mortiers sont : [10]

L'ouvrabilité ;

- La prise ;
- Les résistances mécaniques ;
- Les retraits et gonflements, etc.

I.2.6 Le rôle d'utilisation de mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- sous forme d'enduits aériens.
- sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.

Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés. [11]

I.2.7 Classes des mortiers :

- **Classe 1:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3:** Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
- **Classe 4:** Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5:** Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 6:** Adjuvant modifiant des propriétés spéciales. [12]

I.2.8 Constituants des mortiers :

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 :

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

I.2.8.1 Le liant :

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson. [13]

Généralement, on peut utiliser :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt ...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes.

I.2.8.2 Le sable :

On appelle "sable" les matériaux de petite dimension issues de la désagrégation naturelle ou artificielle des roches. La grosseur de ces grains est toujours, ou généralement, inférieure à 5mm.

Le sable peut être naturel, c'est-à-dire extrait du lit des rivières, des sablières, rivages de la mer, ou artificiel, lorsqu'il est obtenu par broyage des roches dures (porphyre, calcaire, quartzite, granit,...).

Le sable utilisé doit être rugueux, graveleux, rude au toucher, il ne tache pas et ne s'attache pas, ne doit comporter ni terre ni matières organiques ni argiles, il résiste sous la pression de la main et s'écoule entre les doigts dans son état sec. [14]

I.2.8.3 L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [14]

I.2.8.4 Les Adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. 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 types d'adjuvants, les superplastifiants (haut réducteur d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) et les hydrofuges. [15]

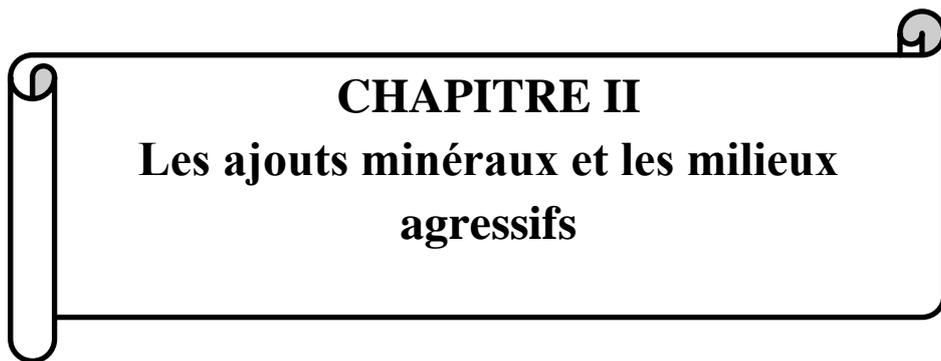
Tableau (I.4) : Différentes actions des adjuvants. [15]

Action	Rôle	Domaine d'emploi
Le prise.	Il diminue le temps ou prise ou durcissement du ciment.	Bétonnage pour temps froid, décoffrage rapide, travaux sous l'eau.
	Il augmente le temps de prise.	Bétonnage par temps chaud, avec coffrage glissant.
L'ouvrabilité	A teneur en eau égale, il augmente l'ouvrabilité du béton et mortier	Travaux Génie civil, bétonnage avec coffrage glissant.
	A même maniabilité, il augmente les résistances.	Travaux Génie civil, bétonnage avec coffrage glissant.
Les résistances aux agents extérieurs	Il entraîne la formation de microbulles d'air uniformément.	Béton exposé au gel, bétons routiers
	Ils diminuent l'absorption capillaire des bétons et mortiers.	Ouvrage hydraulique, mortiers d'étanchéité.

I.3 Conclusion :

Les mortiers et les ciments sont les matériaux les plus utilisés et les plus importants dans le domaine de la construction surtout ces dernières années en Algérie.

Le premier chapitre sera consacré à la synthèse bibliographique sur le ciment, les mortiers, la composition de mortier.



CHAPITRE II
Les ajouts minéraux et les milieux
agressifs

Chapitre II : Les ajouts minéraux et les milieux agressifs

II.1. Introduction:

Les ajouts minéraux sont largement utilisés au remplacement du ciment portland à travers le monde. Le laitier du haut fourneau, les gendres volantes, la fumée de silice la...etc. sont les matériaux les plus fiables pour leur qualité ou réaction pouzzolanique améliore la résistance des bétons aussi que leurs durabilité.

Un ouvrage doit résister au cours du temps aux diverses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques...).

Il devient possible de définir des objectifs de durabilité et de choisir avec précision les caractéristiques du béton en fonction de l'agressivité du milieu dans lequel se trouve l'ouvrage et d'optimiser ses caractéristiques afin de les adapter à la durée d'utilisation souhaitée. Les spécifications concernent la nature et le dosage minimal en ciment, la compacité minimale, la valeur maximale du rapport Eau/Ciment, l'enrobage minimal des armatures et la teneur maximale en chlorures dans le béton.

Les altérations physiques peuvent être surfaciques (abrasion, érosion, cavitation ou écaillage) ou interne sous forme de fissures (changement structural, gradients d'humidité ou de température, pression de cristallisation, exposition aux températures externes).

Les altérations chimiques sont dues essentiellement aux acides, aux bases et aux solutions salines, elles entraînent presque toujours la dissolution de la chaux et le plus souvent, en association avec cette dissolution, la formation de composés nouveaux. [17]

II.2 Les ajouts cimentaires :

Définition des ajouts cimentaires :

Les ajouts sont des matières premières naturelles, artificielles, sous-produits d'une autre industrie, résidus industriels ou déchets industriels polluant, ils sont ajoutés soit au mélange de matières premières avant le broyage, soit à la farine crue, soit au clinker portland avant ou après le broyage, leurs pourcentages dans la masse varient suivant le but de l'addition et le rôle qu'elle peut jouer, ainsi on trouve des ajouts en faibles teneurs, moyennes ou en fortes teneurs. On distingue deux types d'ajouts : inertes et actives. [18]

II.2.1 Classification des ajouts minéraux :

Il existe deux types d'ajouts selon leurs origines :

- Ajouts minéraux inertes.
- Ajouts minéraux actifs (naturels ou artificiels).

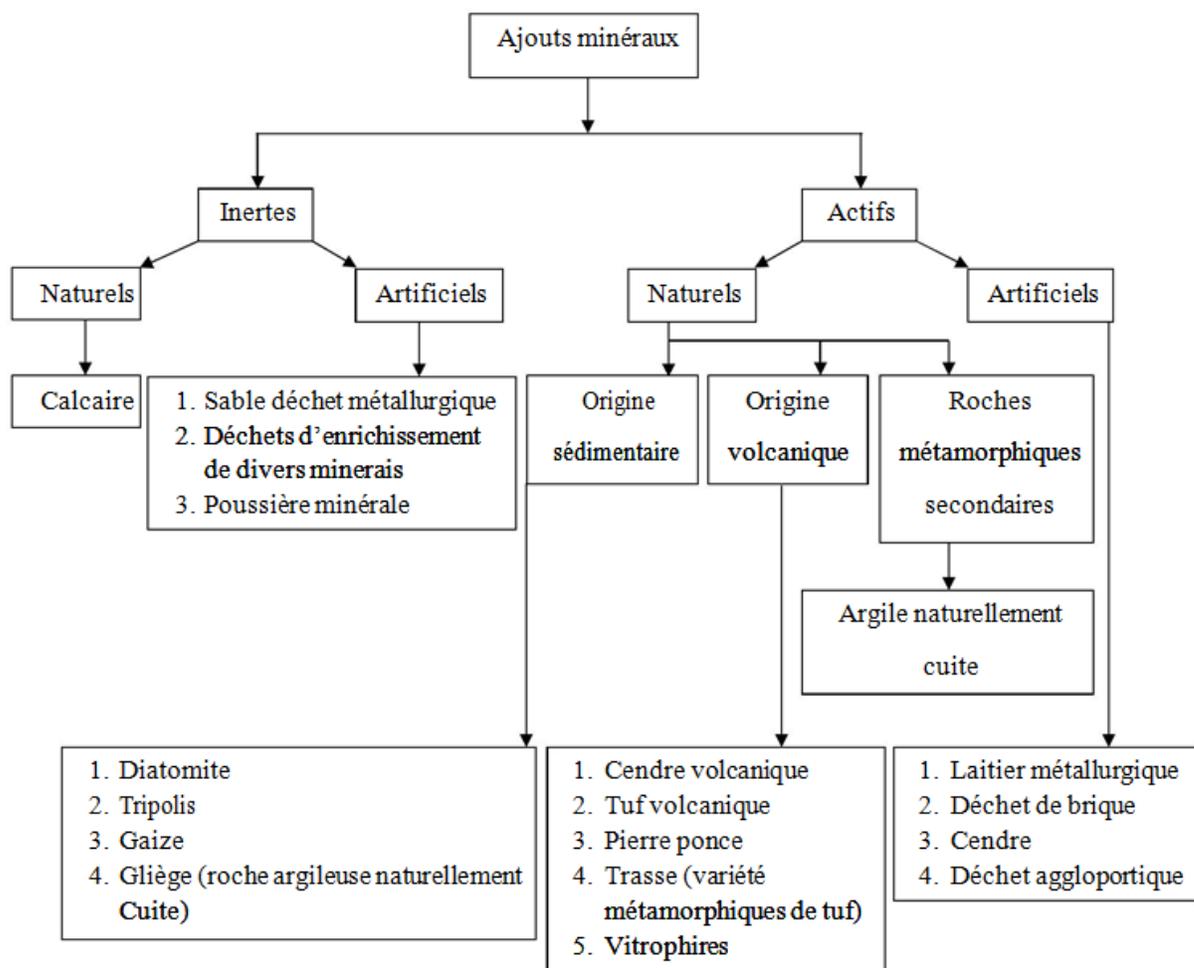


Figure (II.1) : Différents types d'ajouts cimentaires. . [18]

II.2.1.1 Les ajouts minéraux actifs :

a. La pouzzolane :

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes .[19]

Les Normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans la fabrication des ciments :



Figure (II.2) : La Pouzzolane.[19]

a.1 Les pouzzolanes naturelles :

Les pouzzolanes naturelles sont des produits généralement d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés pouzzolaniques. Elles sont essentiellement composées de silice réactive (dans des proportions supérieures à 25%), d'alumine et d'oxyde de fer. [19]



Figure (II.3) : Pouzzolanes naturelles.[19]

a.2 Pouzzolane artificielle :

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Les roches traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite et mouler.

Le professeur Massaza classe les pouzzolanes en trois catégories : [19]

- Les constituants actifs : phase vitreuse plus au moins altérée, opale, terre de diatomées, zéolites cristallisées.
- Les constituants inertes : phase cristallisée autre que les zéolites.
- Les constituants nocifs : substances organiques et argiles gonflantes.

b. Les fumées de silice :

Les fumées de silice sont un sous-produit de l'industrie de silicium et de ses alliages.

Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1 μm).

Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principale, elles doivent être présentes pour au moins 85% (en masse) .les fumées de silices ont des propriétés Pouzzolaniques. [20]



Figure (II.4) : Fumées de silice. [19]

c. Les laitiers de hauts fourneaux :

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieux l'appeler est un sous- produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, c'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 % , de la silice entre 25 à 35 % de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker. [21]



Figure (II.5) : Laitiers de hauts fourneaux.[21]

d. Les cendres volantes :

Les cendres volantes sont des particules très fines récupérées par les systèmes de dépoussiérages des gaz des chaudières des centrales thermiques. Les cendres volantes peuvent avoir différentes compositions chimiques et différentes compositions de phase parce que celles-ci sont reliées exclusivement au type d'impuretés qui sont contenues dans le charbon que l'on brûle dans la centrale thermique. [20]



Figure (II.6) : Cendres volantes. [20]

e. La poussière :

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm^2/g . Le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle du ciment sans ajouts. Le temps de prise, le fluage et le retrait augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout.

II.2.1.2 Les ajouts minéraux inertes :

a. Les fillers calcaires :

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, cendres volantes). Les fillers se différencient les uns des autres par :

- Leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leur défaut de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
- Leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- Leur dureté, leur porosité. Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. [21]



Figure (II.7) : Fillers calcaires.

a.1 Propriétés et mode d'action des fillers :

Les fillers se différencient les uns des autres par :

- leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
- leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- leur dureté, leur porosité.

Les fillers calcaires sont le plus réactifs en présence de ciment, alors que les fillers siliceux sont pratiquement inertes. La réactivité dépendrait de la nature du calcaire, de son état de cristallisation. C'est ainsi qu'une calcite à réseau cristallin désorganisé donne une augmentation de résistance plus rapide qu'une calcite bien cristallisée. [22]

a.2 Utilisation des fillers :

Les fillers s'utilisent :

- Pour la fabrication de certains ciments.
- En ajout aux mortiers ou bétons, afin de corriger la granulométrie d'augmenter la compacité.

Les fillers constituent, par ailleurs, des ajouts par fois utilisés dans certains adjuvant (plastifiants, hydrofuges, des mortiers prêts à l'emploi, des enduits des ciments colles, des peintures, des bétons bitumineux.

a.3 Rôles des fillers :

Les fillers ajoutés au ciment ou au béton jouent plusieurs rôles :

- Un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (bétons ouvrables retenant mieux l'eau).
- Un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle.
- Un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C_3S et du C_3A et à la formation de carbo-aluminates, germes de cristallisation et points d'ancrage des hydrates.
- Un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat.

a.4 Différents types de calcaire :

Les fillers calcaires sont : [23]

Soit récupérés lors du concassage des granulats calcaires et contiennent alors des résidus argileux et des matières organiques ;

Soit obtenus par broyage du matériau cru. Les calcaires peuvent avoir des origines géologiques différentes :

- Origine métamorphique, il s'agit des marbres ;
- Origine sédimentaire.

Le calcaire se compose principalement de carbonate de calcium $CaCO_3$ (56,03 % de CaO et 43,97 % de CO_2). Le carbonate de calcium existe sous plusieurs formes polymorphiques :

Calcite, aragonite et vèrité, [24]

Le calcaire peut contenir aussi SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ou le minéral accessoire qui est la dolomite $CaMg(CO_3)_2$ [54,27% $CaCO_3$ et 45,73% $MgCO_3$ ou 30,41% MgO et 47,72% CaO]. Le calcaire

dolomitique contient un mélange de dolomite et de calcite, tandis que la dolomie ne contient que de la dolomite.

b. Le marbre :

Le marbre est une roche métamorphique résultant de la transformation d'un calcaire pur, souvent veiné de couleurs variées. Mis en œuvre dans la construction et la décoration, le marbre se révèle être une matière noble et durable très recherchée.

Les roches métamorphiques sont issues de la transformation de roches préexistantes par une chaleur intense ou/et de très fortes pressions. [24]

Le degré de pureté du marbre est responsable de sa couleur et de son aspect : il est blanc si la roche dont il provient était uniquement composée de calcite « figure (II.8)».

Les produits marbrières algériennes sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : Italienne et françaises en particuliers. Les procédés utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde :

- Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et l'haveuse pour l'abatage et le tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières ;
- Transformation en produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçage avec des pierres ponce.

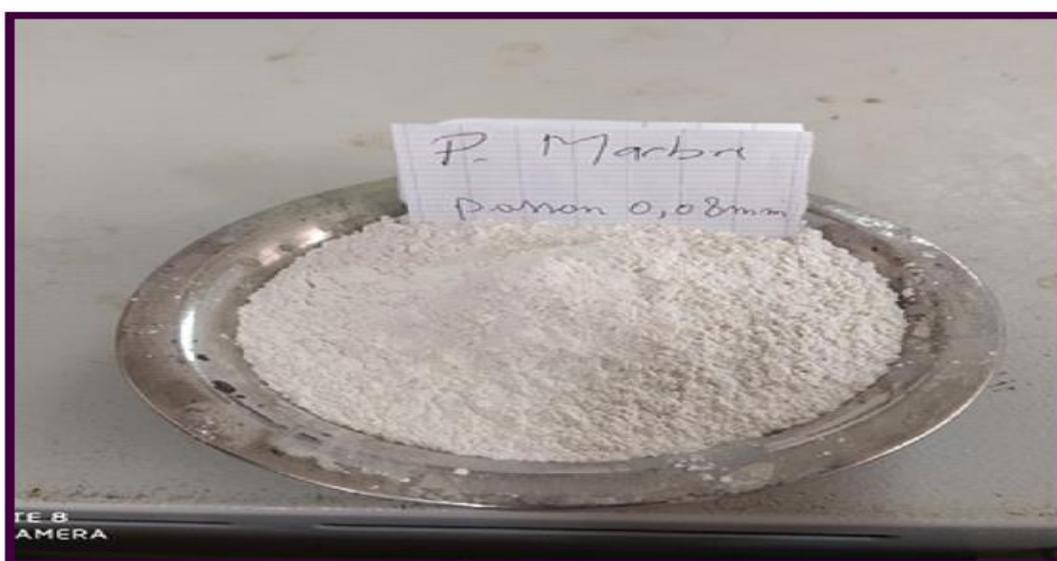


Figure (II.8) : La Poudre de marbre.

b.1 Composition minéralogique :

Le marbre contient surtout de la calcite, mais peut contenir plus ou moins de la dolomite. On peut y trouver de la brucite, de l'olivine, de la serpentine, de la trémolite, du phlogopite en cas de transition vers les calcaires à silicates et la skarn. Les marbres sont facilement rayés par le canif, ce qui sert à les distinguer des quartzites blancs qui sont beaucoup plus durs. Le marbre a des cristaux généralement rhomboédriques.

Le marbre blanc est une roche de calcaire très pur « CaCO_3 », aussi c'est une calcite, qu'elle est l'un des minéraux les plus communs avec la dolomite représente 22% des roches sédimentaires soit 273 millions de kilomètres cubes de roches carbonatées. Pendant très longtemps la calcite n'était connue que sous son nom de spath calcaire ou de chaux carbonatée. Peut-être est-ce Haidinger qui lui a donné le nom de calcite sous lequel elle est maintenant universellement connue. [25]

b.2 Utilisation :

Du fait de sa résistance, de sa durabilité, de son aptitude au façonnage, de son adaptabilité architecturale et de son aspect esthétique, le marbre constitue depuis les temps historiques un important matériau de construction. L'industrie du marbre comprend deux branches principales: le marbre taillé et le marbre concassé et broyé. Le terme marbre taillé s'applique aux marbres exploités pour obtenir des blocs ou des plaques répondant à des spécifications de dimensions et de forme. Les fragments de marbre concassés et broyés vont des gros blocs aux granulés fins; on les utilise, par exemple, comme agrégats, ballasts, éclats pour toiture, charges, pigments, matériau pour le chaulage, etc. [26]

II.2.2 L'utilisation des ajouts en Algérie:

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'el – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni – Saf. Le tableau (II.1) (donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes).

Tableau:(II.1) Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes [27]

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
ERCE	Ain Touta	Pouzzolane
	Ain El Kebira	
	Hamma Bouziane	
	H'djarEssaoud	Laitier
	Tebessa	
ERCC	Meftah	Tuf / Calcaire
	RaissHamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

II.3 La durabilité de béton :

Définition :

La durabilité d'un ouvrage caractérise sa capacité à conserver les fonctions d'usage pour lequel il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect esthétique dans son environnement (gel, eaux agressives...), avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible. [28]

La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, la qualité des matériaux et des produits utilisés, la qualité des dispositions constructives, de la réalisation de l'ouvrage et de la mise en oeuvre des produits. La durabilité du matériau béton dans son environnement est présentée comme une préoccupation majeure de la norme et une des raisons de son évolution. Les environnements sont redéfinis et pour chacun de ces environnements ou (expositions), l'obligation de moyens et l'obligation de résultats sont présentés comme deux alternatives (NF EN 206-1). Autrement dit, les exigences relatives aux performances du béton ne se superposent pas à celles relatives à sa composition, mais peuvent les remplacer, pour une même durabilité visée. [29]

II.3.1 Béton durable et béton résistant :

La porosité est le paramètre de premier ordre qui caractérise la texture du béton ; ce n'est évidemment pas le seul paramètre, mais c'est celui qu'il faut fixer avant d'étudier tous les autres. Il conditionne presque toutes les propriétés du béton et, en premier lieu, sa résistance mécanique. La résistance aux efforts de compression est la propriété principale du béton, celle qui permet son utilisation comme matériau de construction. Plus faible est la porosité, plus grande est la résistance. Mais presque toutes les autres propriétés du béton dépendent de ce même paramètre de premier ordre. Toutes choses égales par ailleurs, le béton le plus résistant sera aussi le plus rigide, le plus dur, etc. [30]

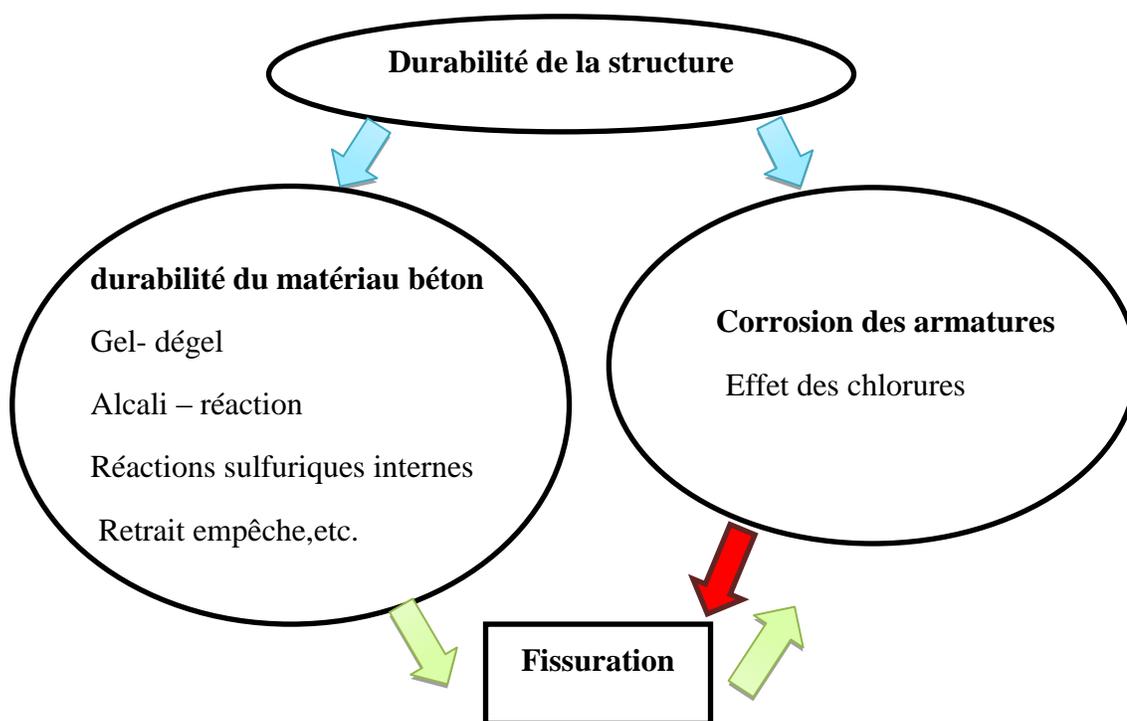


Figure (II.9) : la durabilité de la structure. [31]

II.3.2 Les attaques chimiques des bétons :

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. 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.

Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations.

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, 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 béton.

II.3.3 Attaques des acides :

Les acides peuvent être divisés en acides organiques et acides inorganiques : l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique et l'acide sulfurique par exemple sont des acides inorganiques. L'acide formique, l'acide acétique et l'acide oléique sont des acides organiques. Les acides inorganiques sont plus nuisibles pour le béton que les acides organiques.

- Acides organiques Les acides organiques tels que l'acide acétique, lactique, butyrique, formique, contenus dans certains eaux usées, attaquent les constituants calciques du ciment. Ces acides faibles, peu dissociés, sont généralement modérément agressifs et provoquent des dégradations lentes.
- Acides minéraux Les acides chlorhydriques et nitriques réagissent avec la chaux de ciment et donnent des sels très solubles, sont très agressifs vis-à-vis des ciments portland.

L'acide sulfurique H_2SO_4 est doublement agressif par son acidité et par l'anion SO_4^{2-} qui peut conduire à la formation de sels expansifs tel que le gypse et l'ettringite.

L'acide phosphorique H_3PO_4 , qui entraîne la précipitation de phosphates de calcium très peu solubles, est modérément agressif.

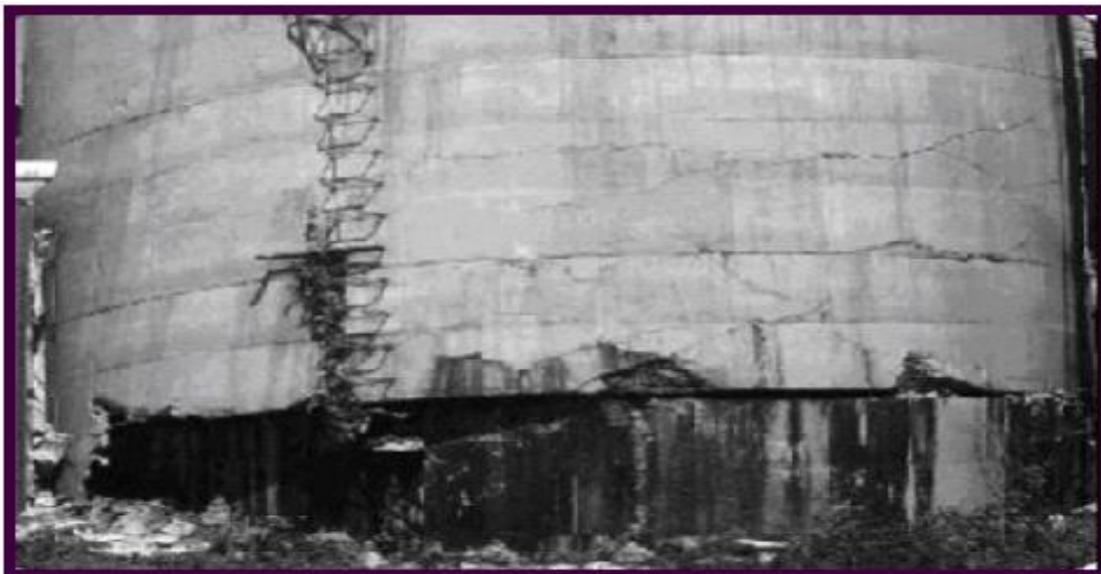
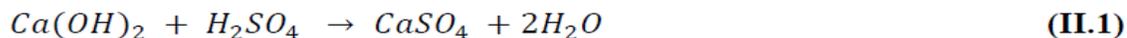


Figure (II.10) : La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage.

II.3.3.1 Mécanisme d'attaque :

En général, on peut établir qu'un acide est d'autant plus nuisible que les sels de calcium formés sont plus facilement solubles.

L'acide sulfurique (formule II.1) est relativement inoffensif, car les sulfates de calcium sont difficilement solubles dans l'eau. Mais les ions de sulfate jouent en l'occurrence un rôle nuisible pour le béton (gonflement dû aux sulfates).



Hydroxyde de calcium + acide sulfurique sulfate de calcium + eau

L'acide sulfurique réagit donc avec la chaux libre dans le béton et forme du gypse. Cette réaction est associée à une augmentation du volume du béton. Une action bien plus destructive est la réaction entre l'aluminat de calcium et les cristaux formés de gypse. Ces deux produits forment l'ettringite ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) moins soluble dans l'eau.

L'acide chlorhydrique fait partie des substances très agressives, car le sel correspondant (chlorure de calcium) est très facilement soluble dans l'eau. La formule (II.2) décrit la réaction entre l'acide chloridrique et la portlandite.



Hydroxyde de calcium + acide chlorhydrique chlorure de calcium + eau.

Les acides inorganiques forts ne réagissent pas uniquement avec l'hydroxyde de calcium. Ils attaquent également les autres composants de la pâte de ciment durcie, en formant des sels calciques, aluminiques ou ferriques, ainsi que des acides siliciques colloïdaux (gels de silice). [17] (cite dans [32]).

II.3.3.2 Sources des acides :

Les milieux acides les plus fréquents sont :

- Les eaux naturelles dans les tourbières et les marécages, où le pH peut s'abaisser jusqu'à 4.
- Les réseaux d'égouts : l'activité bactérienne conduit au dégagement d'hydrogène sulfuré par la transformation des produits soufrés qui, combiné à l'humidité atmosphérique se condensent sous forme d'acide sulfurique qui va attaquer le béton.
- Les pluies acides, qui contiennent principalement de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ayant un pH entre 4.0 et 4.5, peuvent provoquer la dégradation de la surface exposée du béton.

II.3.4 Les travaux réalisés sur la durabilité :

a) la masse volumique des bétons :

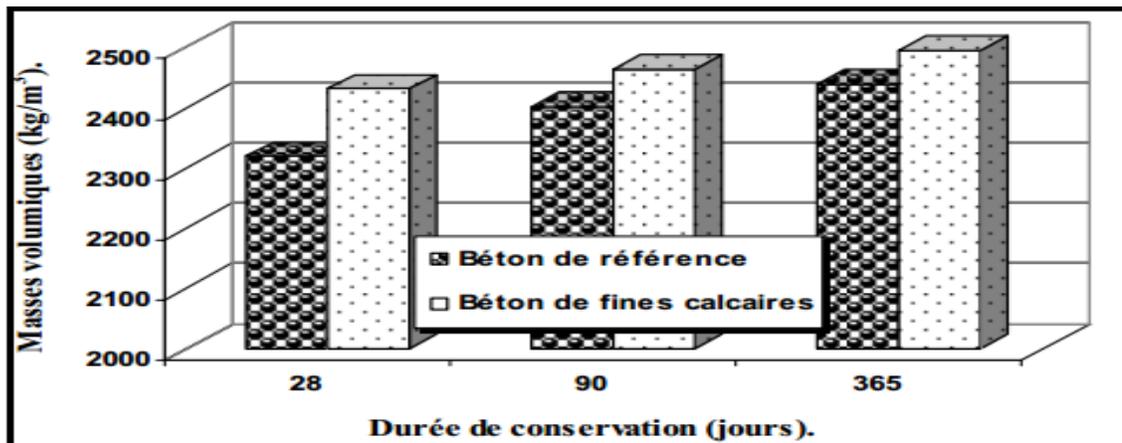


Figure (II.11) : Évolution de la masse volumique des bétons en fonction de la durée de conservation [33]

Ils ont constaté que la masse volumique des bétons avec ajout de fines calcaire est plus élevée par rapport à celle des bétons de référence.

Ils ont aussi observé une présence de la portlandite qui s'est carbonatée sur la surface des éprouvettes des bétons. Dans le cas de béton de référence la surface est assez dégradée laissant apparaître une partie de CSH.

b) Perte de masse des Epreuves conservées en H₂SO₄ :

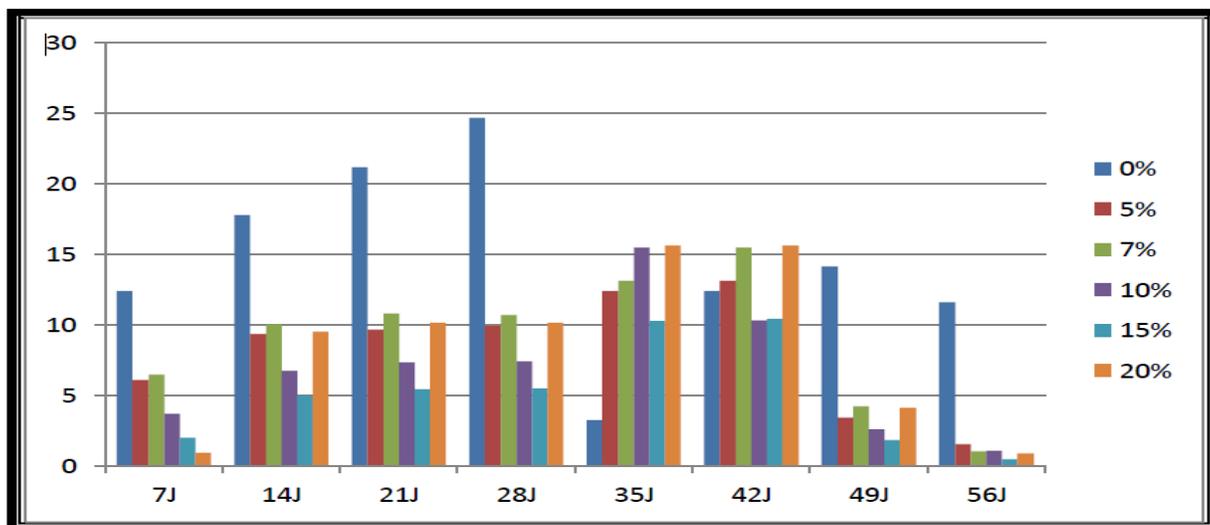


Figure (II.12) : Perte de masse des éprouvettes conservées en H₂SO₄. [34]

Les résultats de la figure (5.2) montrent qu'une perte de masse significative est occasionnée par l'acide sulfurique (H₂SO₄) et qui varie entre 5% à 24% par rapport à 28 jours, et entre 0% à 11% par rapport à 56 jours.

c) Calcul des résistances mécaniques :

c.1) Résistance à la compression :

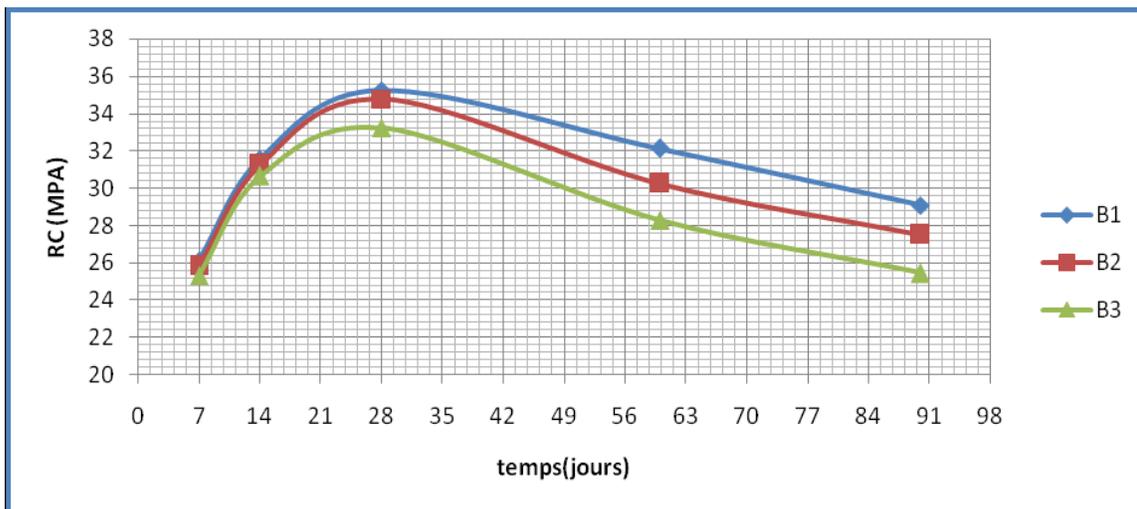


Figure (II.13) : Résistances à la compression des mélanges de bétons en fonction de temps. [35]

On remarque une augmentation de la résistance jusqu'à 28 jours puis une chute de la résistance après 28 jours à cause de l'attaque des acides, la diminution est plus importante pour le béton B3 avec $G/S = 2,3$ la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

c.2) Résistance à la traction:

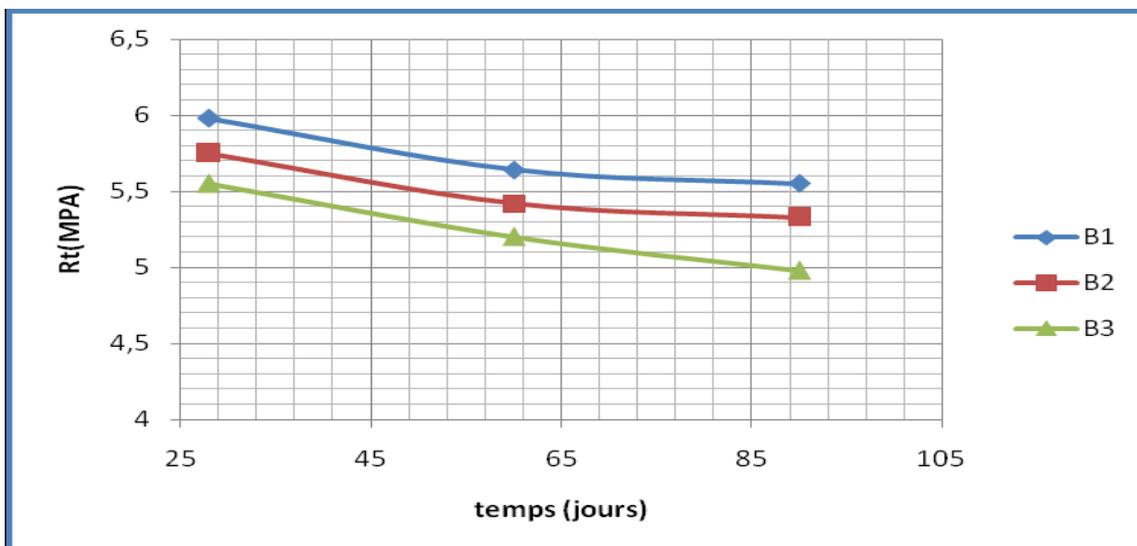


Figure (II.14) : Résistances à la traction du différent béton en fonction de temps. [35]

On remarque une chute de la résistance traction après 28 jours à cause de l'attaque des acides, la diminution est plus importante pour le béton B3 avec $G/S = 2,3$ la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

d) Absorption capillaire :

L'essai d'absorption capillaire a été effectué sur des éprouvettes cubiques 7x7x7 cm elles ont été conservées 28 jours dans l'eau puis séchées jusqu'à une masse constante.

Ils ont remarqué que le coefficient d'absorption est plus élevé dans le cas de béton de contrôle par rapport au béton avec la poudre de marbre.

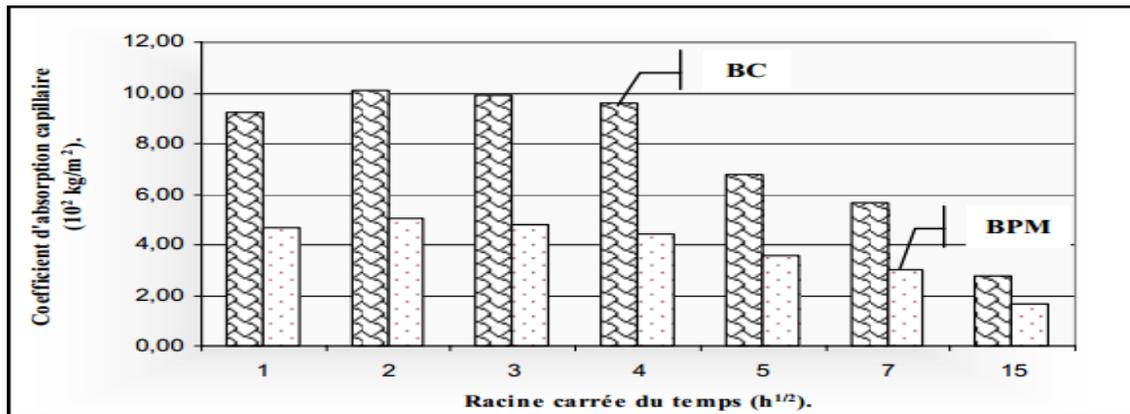
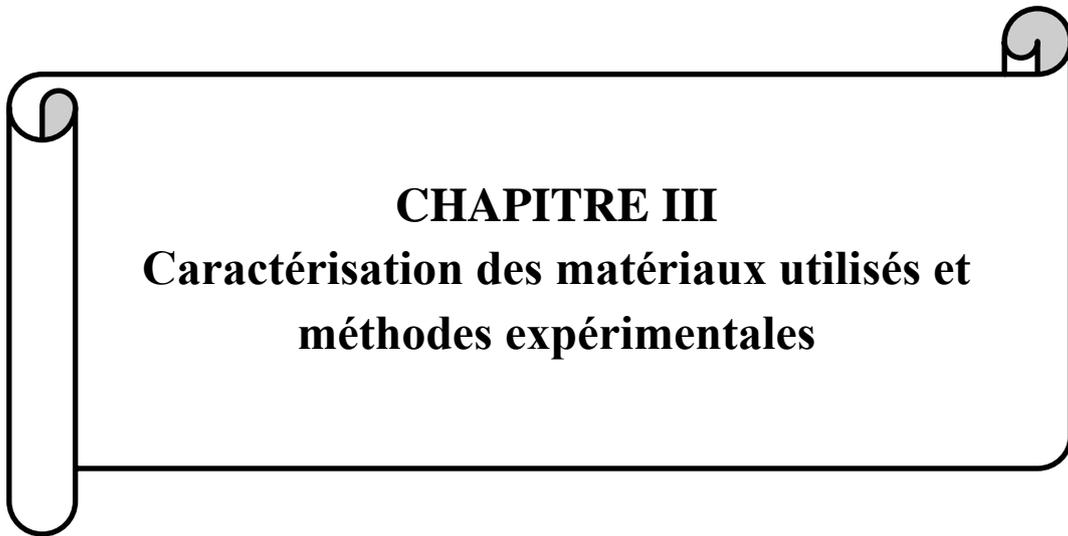


Figure (II.15) : Évolution du coefficient d'absorption capillaire. [33]

II.4 Conclusion :

Un des arguments souvent avancé en faveur de l'utilisation des ajouts minéraux est qu'ils permettent d'économiser de l'énergie et de préserver les ressources naturelles comparées au ciment Portland. Cet argument est en partie juste, mais le principal argument en faveur de l'incorporation de ces matériaux dans les mortiers et les bétons est en réalité qu'ils apportent des avantages techniques considérables. En effet, ils affectent la cinétique de la réaction d'hydratation, améliorent les caractéristiques physiques des mortiers et bétons à l'état frais et contribuent positivement aux résistances mécaniques des mortiers et bétons à état l'endurci et ceci en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que de la forme de leurs éléments.

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour les bétons et les mortiers. Dans ce chapitre nous avons présente les différentes attaques chimiques qui peuvent altérer le béton. Ces attaques chimiques conduisent à la formation du gypse et d'ettringite dans le cas de présence d'un environnement riche en sulfates. à la formation de sel de calcium soluble au détriment de la chaux des C-S-H et de la portlandite, entraînant ainsi une dégradation plus ou moins importante de ces hydrates.



CHAPITRE III
Caractérisation des matériaux utilisés et
méthodes expérimentales

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales

III.1 Introduction :

Notre travail expérimental s'inscrit dans le cadre de l'étude de l'effet des deux ajouts cimentaires sur la durabilité du mortier dans le but de répondre aux exigences économiques et environnementales du pays. A cet effet nous avons été orientés à exploiter des différents pourcentages d'utilisé le filler de marbre et le filler de calcaire en substitution de ciment afin d'améliorer ses performances mécaniques.

Les matériaux utilisés dans cette étude, ont un rôle très important dans la détermination des propriétés des mortiers à l'état frais et durci. Donc, il est nécessaire de connaître les différentes caractéristiques des constituants rentrant dans la formulation des mortiers car chacun pourrait influencer considérablement sur les résultats d'étude. Dans ce chapitre, nous avons procédé à la caractérisation de chaque constituant du mortier. La méthodologie suivie pour réaliser ce travail sera aussi présentée dans ce chapitre.

III.2 Objectif du travail :

Notre objectif est d'étudier la valorisation des fillers de marbres et fillers de calcaires dans la Formulation des mortiers soumis à des agressions chimiques.

Le ciment est substitué par les fillers de marbre et les fillers de calcaires des proportions (5%,10 %, 20% et 25 % du poids de ciment). L'objectif de cette technique est d'avoir un mortier de qualité comparable à un mortier témoin.

III.3 Méthodologie du travail pratique :

La caractérisation de tous les matériaux utilisés en premier lieu :

- Le Ciment El Mokaouem CEM I/A 42,5 (CRS CEM II/B-L42,5) "EL Mokaouem ", La farge Algérie.
- Le sable de la région d'Ourgla.
- les fillers de marbre de la région d'Ain Te mouchent.

- Les fillers de calcaires Constantine.
- Eau de gâchage (l'eau de robinet du LTPS).
- Le Suer plastifiant (Sika Visco Crete Tempo 12).

En second lieu, nous avons déterminé la composition du mortier témoin ainsi que toutes les variantes des mortiers étudiés à partir de la proportion des fillers. Des essais physico-mécaniques, ont été ensuite réalisés sur des mortiers dans des environnements agressifs.

III.4 Caractéristiques des matériaux :

III.4.1 Ciment :

Le ciment utilisé est un Ciment Portland NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

mokaouem CRS est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé. la fiche technique du ciment est donnée en annexe

Caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques sont données par les Tableaux suivants :



Figure (III.1) : Ciment El Mokaouem CEM I/A42,5

III.4.1.1 Analyse chimique et la composition minéralogique du ciment CRS :

Les résultats sont regroupés dans les tableaux Suivants :

Tableau (III.1) : Analyse chimique du ciment CRS

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (so ₃) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0,01 à 0,05

Tableau (III.2) : la composition minéralogique du ciment CRS

Composition minéralogique	Valeur
Taux d'aluminate C3A	< 3%

III.4.1.2 Les essais sur ciment :**III.4.1.2.1 Consistance : (EN 196-3) : [36]****Mode opératoire :**

- Mélange de pâte de ciment d'un poids de 500 grammes.
- Nous pesons un volume d'eau, 125g, dans la cuve du mélangeur.
- Nous ajoutons du ciment à l'eau. La durée de ce processus doit être d'au moins 5 secondes ou supérieure à 10 secondes. La fin du paiement correspond au temps 0.
- Nous démarrons le batteur immédiatement et le faisons tourner à basse vitesse pendant 90 secondes, arrêtons de mélanger pendant 15 secondes et raclons la pâte.
- Ensuite, nous redémarrons l'appareil à une vitesse lente pendant 90 secondes supplémentaires. La durée totale de fonctionnement du mélangeur doit être de 3 minutes.
- Mettez aussitôt la pâte dans le moule, placez-la au préalable sur une plaque de base en verre graissé avec un peu d'huile et remplissez-la.
- Nous enlevons soigneusement l'excédent de pâte avec un mouvement de va-et-vient, avec un outil pour bord droit, pour permettre à la pâte de remplir le moule avec une surface supérieure lisse.

- Nous pré-réglons le Vicat avec la sonde en l'abaissant sur la plaque de base et en mettant la marque à zéro sur l'échelle. Nous élevons la sonde en position prête. Immédiatement après avoir nivelé la pâte, nous plaçons le moule et la plaque de base dans l'axe de la sonde du Vicat.
- Abaissez délicatement la sonde jusqu'à ce qu'elle entre en contact avec la pâte. Notez une pause de 1 seconde à 2 secondes.
- Relâchez rapidement les pièces mobiles et laissez la sonde passer perpendiculairement au centre de la pâte. La sonde doit être relâchée après 4 minutes de temps zéro.
- Nous prenons la lecture du compteur à la fin de la pénétration ou 30 secondes après avoir relâché la sonde, et enregistrons la lecture du compteur,
- Nettoyez la sonde immédiatement après chaque pénétration. Nous répétons le test avec des pâtes avec différentes teneurs en eau jusqu'à ce qu'une distance (6 + 1) mm soit trouvée entre la sonde et la plaque de base.



Figure (III.2) : Appareil de Vicat



Figure (III.3) Malaxeur de mortier

Tableau (III.3) : propriétés physique des ciments préparés (consistance normale).

la teneur en eau (%)	La valeur (mm)
26	20
27	10
27.5	6

III.4.1.2.2 Temps de prise (EN 196-3) : [36]

Cet essai consiste à déterminer le temps de début de prise et temps de fin de prise. On prépare un échantillon de pâte de ciment (500g de ciment) avec la teneur en eau trouvée dans l'essai de consistance (26%). On note le temps du début de l'essai, (mais cette fois on utilise L'aiguille de Vicat à la place de la sonde), on note une distance de 3 et 5 mm et le début temps de prise (EN 196-3) .[36]

Tableau (III.4) : Différents classe de ciment. (EN 196-1)

Classe	Temps de prise (Min)
32.5	> 90
32.5 R	
42.5	> 60
42.5R	
52.5	
52.5R	

Les résultats de cet essai sont :

Début de prise : 3h.

Fin de prise : 5h20mn

La durée du temps de prise est de 140 min > 60mn c'est-à-dire la classe du ciment est de 42.5 .

III.4.2 Sable :

Dans tous les mélanges de notre étude, on a utilisé un sable naturelle de la région d'ouargla.

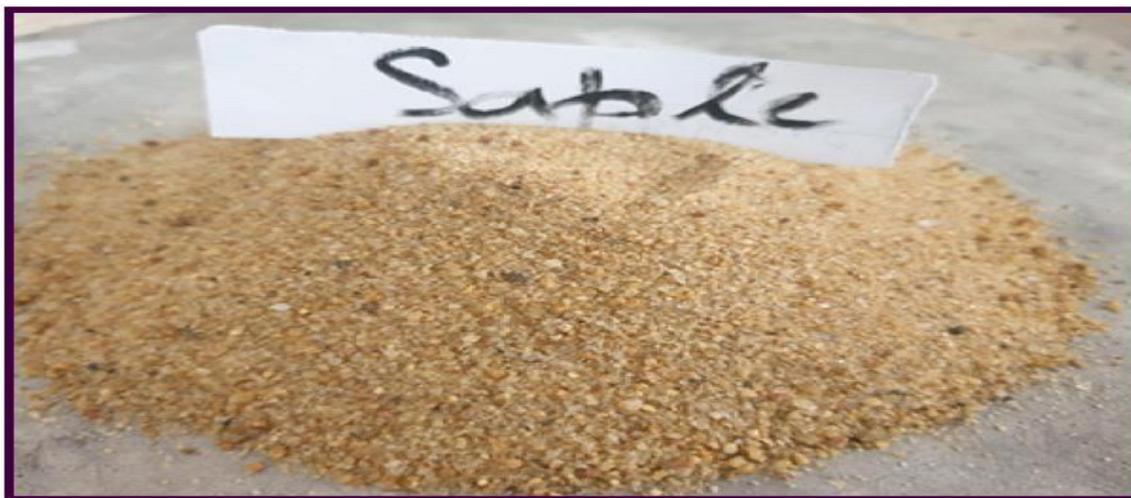


Figure (III.4) : Sable d'Ouargla

III.4.2.1 Analyse granulométrique : (EN 933-1) [36]

Mode opératoire :

- Nous assemblons la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture de la maille avec l'ajout du couvercle et du fond.
- Versez la matière sèche dans la colonne de tamisage et déplacez cette colonne mécaniquement.
- Prenez les tamis un par un, en commençant par les tamis avec la plus grande ouverture, en adaptant le fond et le couvercle.
- Nous déplaçons chaque tamis à la main pour que le rejet du tamis ne diffère pas de plus de 1% en masse par minute du tamisage
- Mettre en place le tamis collecté en bas sur le tamis directement en dessous, déterminant ainsi la masse de résidus de chaque tamis.
- Continuez le processus jusqu'à ce que la masse de résidus au bas de la colonne de tamisage soit déterminée.
- Nous validons l'analyse granulométrique imposée par la norme NF EN 933-1[36] (La différence entre la masse totale du résidu, la masse du tamis et la masse élémentaire...).



Figure (III.5) : Appareillage de l'analyse granulométrique.

Les résultats de l'analyse granulométrique sur le sable concasse sont présentes sur la courbe suivante :

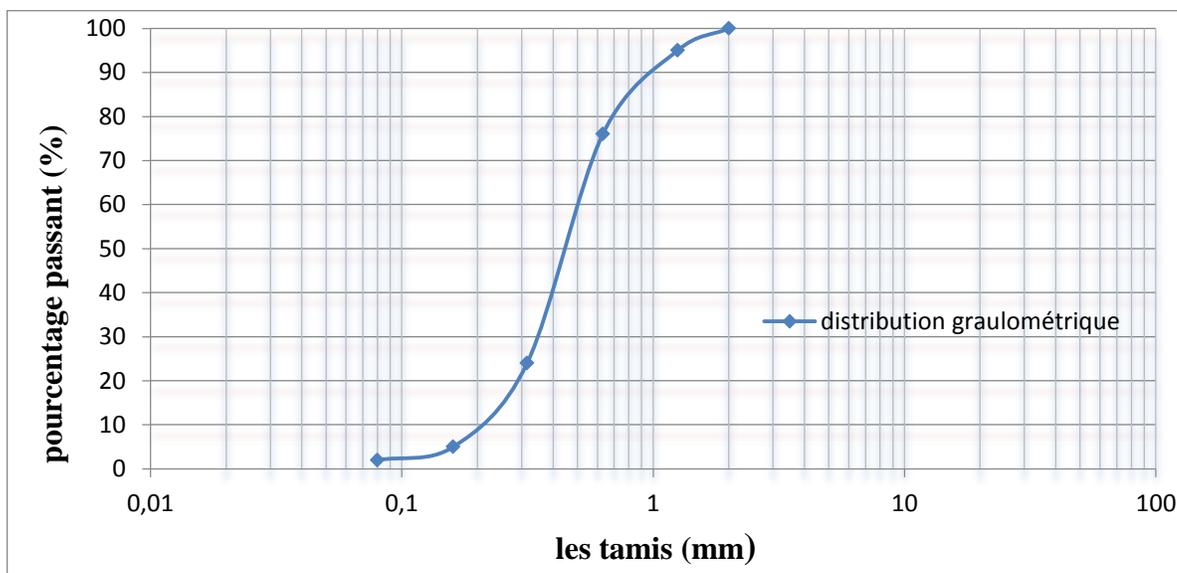


Figure (III.6) : Courbe distribution granulométrique.

III.4.2.2 Le module de finesse :

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

$$Mf = \frac{\sum \text{refus cumulée en \% pondéral des tamis (0,08-0,16-0,315-0,63-1,25mm)}}{100}$$

$$Mf = \frac{50,06-238,36-760,61-950,36-976,45}{100} = 2.97$$

Tableau (III.5) : Classement de sable.

Quantité de sable	Module de finesse
Gros	> 2,5
Moyen	2 à 2,5
Fin	1,5 à 2,0
Très fin	11,0 à 1,5

Observation :

Mf= 2,97 >2,5. donc : sable gros.

III.4.2.3 Equivalent de sable (EN 933-8) : [36]**Mode opératoire :**

- Tamisez l'échantillon à travers un tamis de 2 mm et prenez le passage du tamis.
- Nous aspirons la solution de lavage dans chaque tambour gradué jusqu'au repère inférieur du tambour.
- À l'aide de l'entonnoir, versez un tube à essai dans chaque cylindre gradué, en appuyant plusieurs fois sur le bas de chaque cylindre contre la paume pour évacuer les bulles d'air.
- Laisser reposer pendant (10 ± 1) minutes pour humidifier le tube à essai.

- À la fin de cette période de dix minutes, nous bouchons un cylindre avec un bouchon en caoutchouc, puis installons ce cylindre sur l'agitateur.
- Nous secouons le tambour pendant (30 ± 1) secondes, puis remettons le cylindre sur la table de travail en position verticale. Nous répétons le processus d'agitation avec le deuxième cylindre.
- Retirez le bouchon en caoutchouc de l'un des cylindres gradués et rincez-le sur le cylindre de calibrage avec une solution de lavage, en vous assurant que tous les matériaux sont renvoyés dans le cylindre.
- En abaissant le tube de lavage dans le tambour, on rince d'abord les parois du tambour avec une solution de lavage, puis on pousse le tube jusqu'à ce qu'il passe à travers les sédiments sous le tambour.
- Ensuite, en soumettant le cylindre à un mouvement de rotation lent, Lorsque le niveau de liquide s'approche de la marque supérieure gravée sur le tambour, nous soulevons lentement le tube de lavage, puis répétons le processus de lavage avec le deuxième cylindre.
- Laisser chaque cylindre gradué reposer sans être dérangé ou sans vibrations pendant $(20,00 \pm 0,25)$ minutes.
- A l'issue de cette période et à l'aide d'une règle, on mesure la hauteur de h_1 du plan supérieur de floculation par rapport au fond du cylindre gradué.
- On pose le manchon sur le cylindre, puis on le branche sur la tige de piston.
- Déterminer la hauteur du sédiment h_2 en mesurant la distance entre la face inférieure de la tête de piston et la face supérieure du manchon, en insérant la base dans la fente du manchon.
- Enregistrez les hauteurs h_1 et h_2 au millimètre près.
- De la même manière, nous mesurons et enregistrons les hauteurs h_1 et h_2 sur le deuxième cylindre

$$SE = (h_2 / h_1) \cdot 100$$



Figure (III.7) : processus de l'essai d'équivalent de sable

Tableau (III.6) : Résultats Equivalent de sable

	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	ES (%)	ES moyen (%)
Essai 1	13,40	9	67,16	68
Essai 2	13,20	9,2	69,69	

Tableau (III.7) : La nature et qualité ES du sable.

ES	Nature et qualité de sable
ES <60	Sable argileux- n'est pas utilisable au béton
60 ≤ ES <70	Sable légèrement argileux-de propreté admissible pour béton de qualité quant ou ne craint pas particulièrement de retrait
70 ≤ ES <80	Sable propre-à faible pourcentage de fines argileuses-convenant parfaitement pour le béton haut qualité
ES >80	Sable très propre – l'absence presque totale de fine sol argileux risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

D'après notre résultat nous concluons le sable c'est un sable légèrement argileux de propriété admissible pour béton de qualité car il ne craint pas particulièrement de retrait.

III.4.2.4 Masse volumique absolue (NFP 18-301) :

Cet essai est régi par la norme NF P18-301, elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

La formule qui nous permet la détermination de la masse volumique absolue est :

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_1 - V_2}$$

ρ_s : Masse volumique absolue ;

M_s : Masse des grains solides ;

V_1 : Volume de l'eau ;

V_2 : Volume total (grains + vide).



Figure (III.8) : la masse volumique absolue .

III.4.2.5 Masse volumique apparente (EN 1097-3) : [36]**Mode opératoire:**

- Nous pesons des conteneurs vides, secs et propres (m_1).
- Nous plaçons le récipient sur une surface horizontale et le remplissons avec la pelle jusqu'à ce qu'il chavire. Pendant le remplissage du récipient, réduisez le déversement en appuyant sur le bord supérieur.
- Le bord du godet ne doit à aucun moment être placé à plus de 50 mm au-dessus du conteneur.
- Nous enlevons soigneusement tout excédent sur le dessus avec une règle du récipient, en veillant à ce que la surface soit répartie uniformément.
- Si cela n'est pas possible, nous nivelons la surface manuellement, en essayant autant que possible d'estimer le volume de gravats par rapport à la capacité du conteneur.
- Nous pesons le contenant rempli et enregistrons sa masse 0,1% près de (m_2).
- Envoyé trois photos de test pour ce test.



Figure (III.9) : processus de l'essai de la masse volumique apparente.

La formule que nous permet la détermination de la masse volumique apparente est :

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

ρ_a : Masse volumique apparente ;

M : Masse totale de l'échantillon ;

V : Volume total de l'échantillon.

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue de sable sont enregistré dans le tableau :

Le tableau (III.8) représente la masse volumique du sable.

Tableau (III.8) : La masse volumique du sable.

La masse volumique absolue (g/cm ³)	La masse volumique apparente (g/cm ³)
2.63	1.55

Le tableau (III.9) résume les propriétés physiques du sable.

Tableau (III.9) : Les propriétés physiques du sable.

Caractéristiques physique	La valeur
La masse volumique apparente	1.55 g/cm ³
La masse volumique absolue	2.63 g/cm ³
Équivalent de sable	68%

III.4.3 Les Ajouts :

III.4.3.1 La poudre de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivant par écrasement, élévation de température de roche calcaire composé de calcite et de couleur blanche à l'état pur. Les différents pourcentages de filler de marbre utilisés (5% ,10% ,20% ,25%).

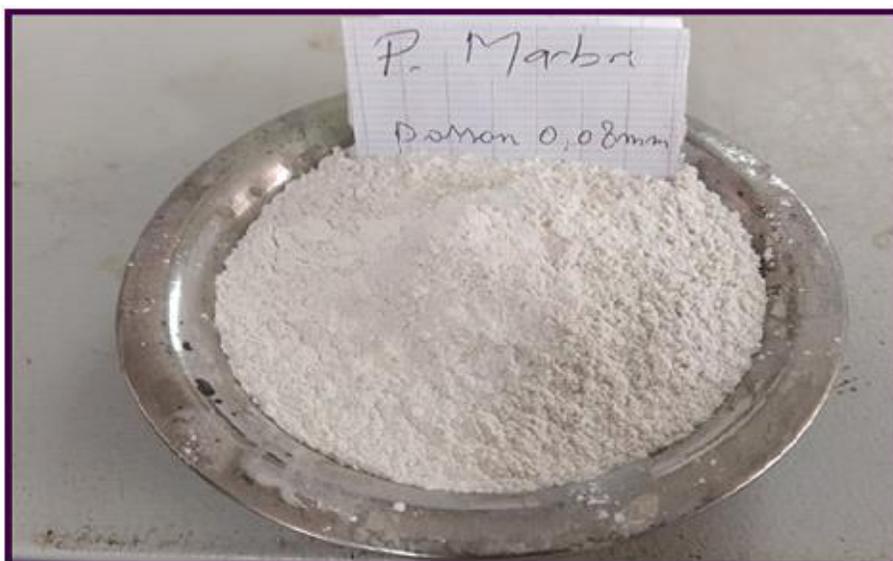


Figure (III.10) : La poudre de marbre

III.4.3.2 Caractéristiques physiques et chimiques et minéralogique du marbre :

Caractéristiques physiques de ce filler (marbre) sont présentées au tableau : [36]

Tableau (III.10) : propriété physique des fillers de marbre.

Propriété physique	Fine marbre
Masse volumique apparent (g/cm^3)	0,83
Densité	2,67

Tableau (III.11) : Analyse chimique des fillers de marbre.

Constituants										
Symbole	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CL-	Pf
Teneur (%)	0,00	0,09	0,01	55,78	0,47	0,05	0,00	0,00	0,008	43,28

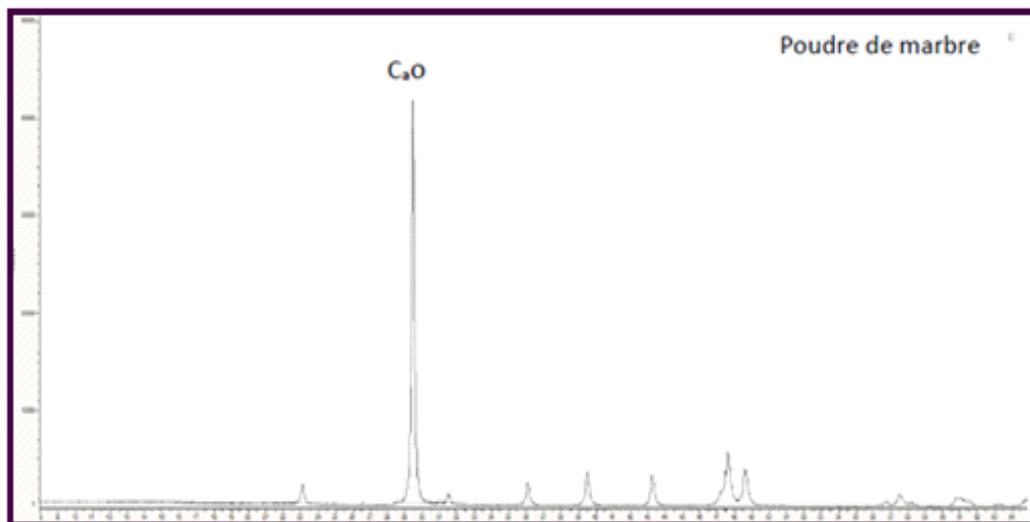


Figure (III.11) : Diagramme de diffraction X du filler de marbre.

Tableau (III.12) : Analyse minéralogique de filler de marbre.

Constituants										
Élément	R.WP	Calcite	Dolomite	Quartz	Pyrite	Illite	Chlorite	Kaolinite	Albite	Co ₂ . XRD
Teneur (%)	6,19	98,96	0,64	0,14	0,0	0,05	0,06	0,16	0,0	43,81

III.4.4 Fillers calcaires :

Dans cette étude on utilise des fillers calcaires issue de la carrière d'EL-KHAROUB de la willaya de Constantine. Ils sont constitués de calcaire d'origine néritique caractérisé par leur grande pureté chimique et une blancheur élevée.

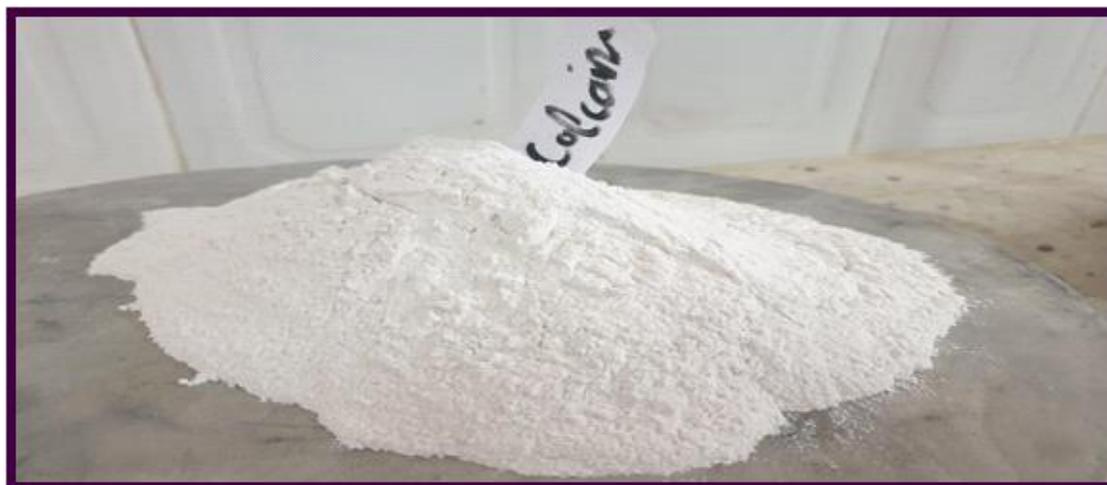


Figure (III.12): Fillers calcaires.

III.4.4.1 La composition chimique :

Le tableau (III.13) représente les caractéristiques chimiques de fillers calcaires.

Tableau (III.13) : Composition chimique des fillers calcaires.

Elément (Oxyde)	CaCo	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O	TiO ₂	PAF
Calcaires (%)	55.88	0.01	0.01	0.01	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	43.99

III.4.4.2 Analyse granulométrique des fillers calcaire :

La figure (III.13) représente l'analyse granulométrique des fillers calcaires.

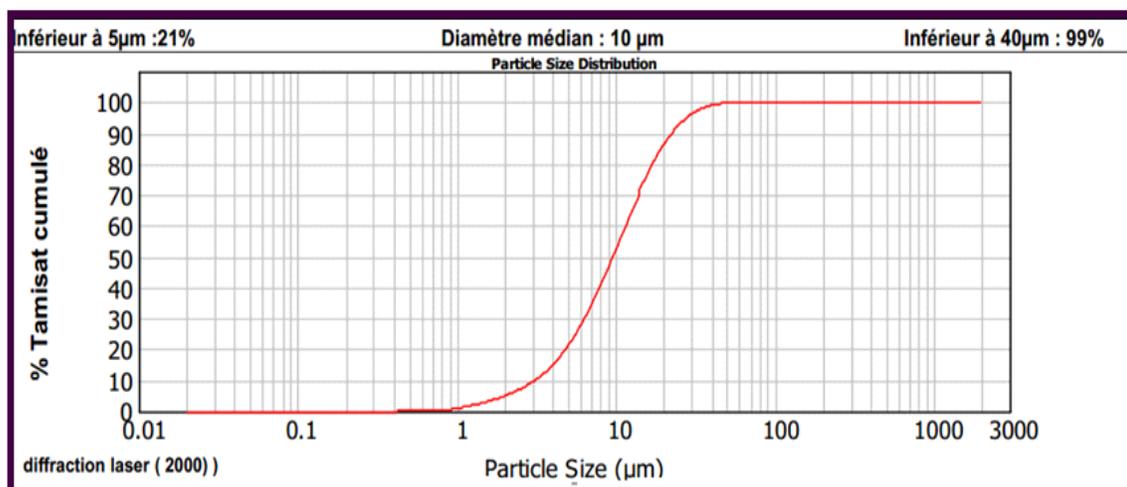


Figure (III.13) : Analyse granulométrique des fillers calcaires.

III.4.5 Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage de mortier est une eau potable du réseau publique de la ville de Ghardaïa.

III.4.6 Le super plastifiant (Sika Visco Crete Tempo 12):

III.4.6.1 Définition :

Sika Visco Crete Tempo 12 est un super plastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

III.4.6.2 Caractéristiques physiques et chimiques et minéralogique du super plastifiant :

(III.14) : Les données techniques

Les données techniques		La Valeur
Densité		1,06 ± 0,01
PH		4,5 à 6,5
Extrait sec		28,0 à 31,0, %
Teneur en Cl		≤ 0,1%
Teneur en Na ₂ O _{éq}		≤ 1%
Condition d'application (Dosage)	Plage d'utilisation recommandée	0,2 à 3 %
	Plage d'utilisation usuelle	0,4 à 1,5 %

III.5 Composition du mortier normal (EN 196-1) : [36]

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 EN 196-1. Décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

Composition du mortier à tester est la suivante :

- Sable = 1350 g (± 5 g).
- Ciment = 450 g.
- Eau de gâchage = 225 ml.

Dans notre cas en a utilisé pour le mortier on a formulé cinq types de mortier avec :

- Pourcentage de filler de marbre et filler de calcaire (5%, 10%, 20%, 25%).
- La confection des mortiers selon la norme EN 196-1. [36]

Les compositions des différents types de formulations de mortier sont présentées sur

Le tableau suivant :

Tableau (III.15) : Composition des différents types de formulations de mortier.

	Sable (g)	Ciment (g)	Filler de marbre (g)	Filler de Calcaire (g)	L'eau (g)	Super- plastifiant (%)
Formulation1 témoin 0%	1350	450	-	-	225	-
Formulation2 M5FM25FC	1350	315	22,5	112,5	225	0.7
Formulation3 M10FM20FC	1350	315	45	90	225	0.7
Formulation4 M20FM10FC	1350	315	90	45	225	0.7
Formulation5 M25FM5FC	1350	315	112,5	22,5	225	0.7

III.6 Confection des éprouvettes :

III.6.1 Malaxage :

Malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur .le malaxeur étant en position de marche : -Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment -Mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30s introduire régulièrement tout le sable .mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 30s supplémentaires.

- Arrête le malaxeur pendant 1min30s. pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s.



Figure (III.14) : Malaxeur de mortier

III.6.2 Moulage des éprouvettes :

Les éprouvettes doivent être moulées immédiatement après la préparation du moule, moules de (4X4X16cm). Il sa hausse fermement fixés à la table à chocs, la première de deux couches de mortier (300g) dans chaque compartiment du moule. Ensuite Serrer la première couche de mortier par 60chocs. Introduire la seconde couche de mortier et serrer à nouveau par 60 chocs.

Lisser la surface des éprouvettes en utilisant la même règle tenue presque à plat. Marquer les moules pour identifier les éprouvettes et leur position relative sur la table à chocs.



Figure (III.15) : les étapes de moulage des éprouvant

III.6.3 Démoulage des éprouvettes :

Le démoulage peut être retardé de 24h si le mortier n'a pas acquis une résistance suffisante à 24h pour être manipulé sans risque de dommage. Ce retard de démoulage doit être noté dans le rapport d'essai.



Figure (III.16) : les éprouvettes après le démoulage

III.7 Conservation des éprouvettes :

Après 24 h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans une chambre humide à $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ et d'humidité relative au moins égale à 98 %, pendant 28 jours.



Figure (III .17) : Bacs de conservation des éprouvettes dans la chambre humide

Nous vont préparer deux séries des éprouvettes de mortier :

- 39 éprouvettes sous l'eau.
- 48 éprouvettes sous les milieux agressives.

III.8 Les Milieux agressifs :

III.8.1 Préparation des attaques chimiques :

Après décoffrage, les 48 éprouvettes de mortier ont été démoulées puis conservées immédiatement dans le milieu agressif des mortiers en a les immergé dans des solutions. Contiens 2% et 5% de produit chimiques et 39 éprouvettes sous l'eau pour une durée de (7,28 ,90) jours.

Les échantillons sont immergés dans 2% et 5% acide sulfurique (H₂SO₄), et l'eau.



Figure (III .18) : Préparation de conservation des éprouvettes et l'attaques chimiques.

III.8.2 L'acide sulfurique (H₂SO₄):

L'acide sulfurique, appelé jadis huile de vitriol ou vitriol fumant, est un composé chimique de formule H₂SO₄. C'est un acide minéral dont la force (pKa = -3,0) est seulement dépassée par quelques super acides. Il est miscible à l'eau en toutes proportions, où il se dissocie en libérant des cations hydroniums.

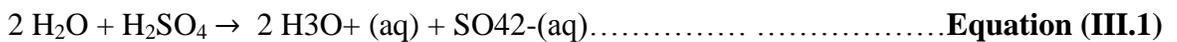




Figure (III .19) : L'acide sulfurique H_2SO_4

Tableau (III.16) : Concentration des solutions.

Solution	Concentration %	Quantité / 6,5 litres d'eau
H ₂ SO ₄	5	179,4 ml / 6,5L
	2	71,76 ml / 6,5L



Figure (III .20) : Conservation des éprouvettes dans l'acide sulfurique et eau.

Au jour prévu, les éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes européennes EN 197-1 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à (7,28,90) jours. Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment.

- Avant d'effectuer les essais, les éprouvettes sont exposées à l'air libre pendant 20 minutes pour qu'elles acquièrent l'état normal d'humidité.
- Les essais sont d'abord effectués en flexion sur une presse permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN asservie en chargement de $50\text{N/s} \pm 10\text{N/s}$.
- Les essais de compression sont effectués par une presse de type Perrier d'une charge de 200KN asservie en chargement de $2400\text{N/s} \pm 200\text{N/s}$. Voir la Figure (III.21)



Figure (III.21) : Appareil de compression et de flexion.

III.9 Les essais sur mortier :

Les essais mécaniques selon les normes ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques de dimensions $(4 \times 4 \times 16)\text{ cm}^3$ sont utilisés pour caractériser les mortiers à différentes échéances.

Il a été réalisé à (7, 28,90) jours pour toutes les compositions du mortier.

Cette instruction a pour objet la détermination des résistances mécaniques à la compression et la flexion sur mortier de ciment, selon les spécifications de la norme européenne EN 196-1 [36] :

III.9.1 Détermination des Rc et à la traction (EN 196-1) : [36]**Objectif de l'essai :**

il s'agit de définir les qualités de résistance d'un ciment.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature du liant hydraulique, la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du liant utilisé.

III.9.1.1 Résistance à la traction par flexion :

Cet essai est réalisé selon la norme (EN 196-1), Par Un dispositif à rouleau utilisé en flexion (3points), sur des éprouvettes prismatiques (4×4×16) cm³.

- Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui.
- Appliquer la charge verticalement et faire augmenter uniformément charge jusqu'à rupture. Conserver les deux demi-prismes.

Calculer la résistance à la flexion Rf au moyen de la formule suivante :

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{b^3}$$

R_f : est la résistance en flexion en (Mpa)

b : est le côté de la section carrée de prisme en millimètres (mm)

F_f: est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture en newtons (N)

L : est la distance entre les appuis en millimètres (mm).

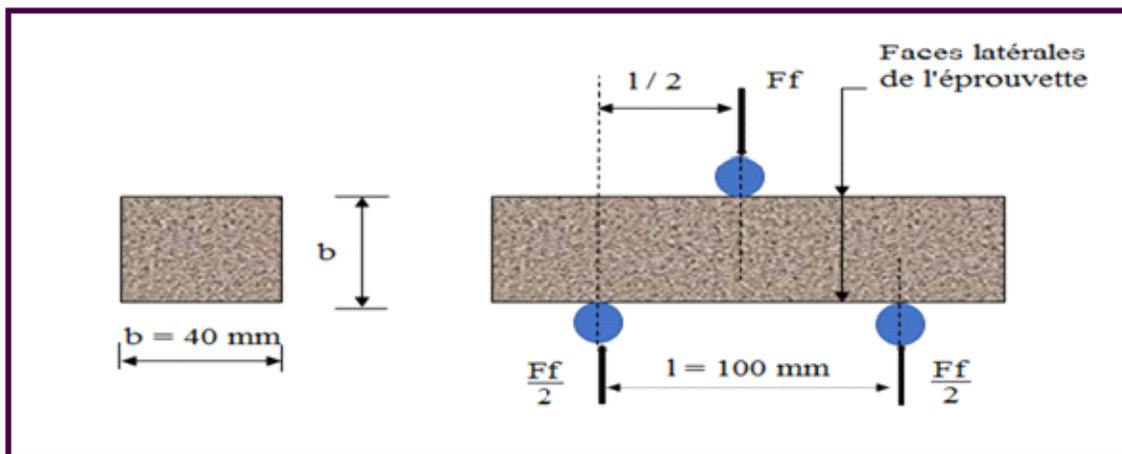


Figure (III.22) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion



Figure (III.23) Appareil de traction par flexion.

III.9.1.2 Résistance à la compression :

La machine utilisée est une presse hydraulique décrite par la norme NF EN 196-1.

Les demi prismes de l'éprouvettes obtenus après rupture en flexion seront rompus en Compression comme indiqué sur la figure ci-dessous :

- Placer le demi prisme en compression sur les faces latérales de moulage.
- Centrer chaque demi prisme dans le compartiment d'essai.
- Appliquer la charge verticalement et faire augmenter uniformément la charge jusqu'à rupture.

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

R_c : Contrainte de compression (Mpa)

F_c : la charge de rupture à la compression (N).

b : Section transversale de l'éprouvette (mm).

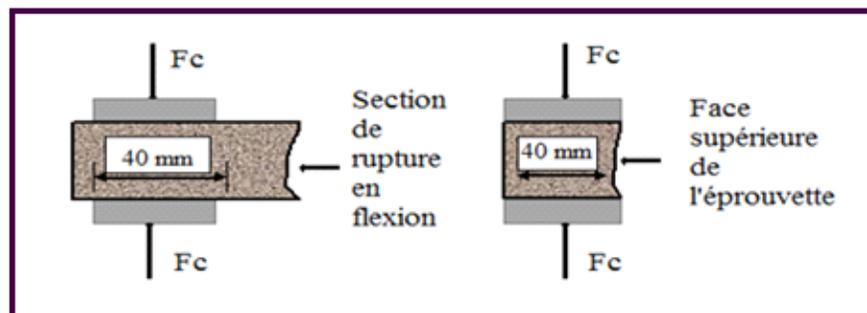


Figure (III.24) : Dispositif de rupture en compression.



Figure (III.25)Appareil de compression.

III.9.2 Essai de la perte de masse :

Les mesures de la perte de masse sont réalisées par les pesées des éprouvettes 4x4x16 cm dans le but de suivre l'évolution des échanges hydriques et chimiques entre les éprouvettes et le milieu de conservation sont testé à (7 ,28 ,90) jours.

Le degré de l'attaque est évalué par la formule :

$$T(\%) = (\Delta m \cdot 100) / m_1$$

- $\Delta m = m_1 - m_2$.
- T : taux de perte de masse.
- m_1, m_2 les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.



Figure (III.26) : Bacs de conservation des éprouvettes.

III.9.3 Essai d'absorption par capillarité :

III.9.3.1 Préparation et prétraitement des échantillons :

Éprouvettes demortier de 100 mm sont conditionnées en chambre humide (95% HR et T 20°C) pendant la période de maturation étudiée (28 jours) et séchées dans une étuve ventilée pendant un minimum de 7 jours à 45°C, jusqu'à masse constante ($\Delta M < 0,1\%$ en 24 heures).

Une hauteur de 1 cm de la surface latérale des éprouvettes est enduite par de la résine (ou silicone), pour permettre une pénétration d'eau unidirectionnelle .Figure (III.27)

III.9.3.2 Conduite de l'essai :

L'essai est réalisé selon la norme (EN 13057). L'échantillon est placé sur deux appuis collés sur le fond d'un bac rempli d'eau jusqu'à une hauteur de 2 ± 1 mm à partir de la base de l'éprouvette.

Ce niveau d'eau doit être maintenu constant. La variation de la masse est ainsi mesurée après (15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 1440) minutes, heures. La pesée des éprouvettes est effectuée après les avoir essuyées à l'aide d'un chiffon humide pour enlever les gouttes d'eau de la surface.



Figure (III.27) : Essai d'absorption par capillarité

III.9.3.3 Coefficient d'absorption

L'absorption d'eau par unité de surface Cat , après un temps t d'absorption est déterminée par l'équation 4, avec :

M_t : masse après un temps t ;

M_0 : masse sèche.

$$Cat = \frac{M_t - M_0}{A}$$

L'absorption d'eau Cat est proportionnelle à la racine carrée du temps.

$$Cat = S\sqrt{t}$$

- Tracer $Cat = f(t)$.
- Déterminer le coefficient d'absorption S (pente du tronçon linéaire).
- Ce coefficient indique la tendance de l'éprouvette à s'imprégner d'eau par action Capillaire, sans aucune pression extérieure.
- $A = 4 \times 4 = 16 \text{ cm}^2$

III.9.4 Essai de la masse volumique du mortier :

On détermine la masse volumique après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissés à l'air libre pendant 20 minutes afin qu'elles aient une humidité nominale juste avant l'essai

mécanique aux différents âges, on détermine la masse volumique est donnée par la formule suivante :

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

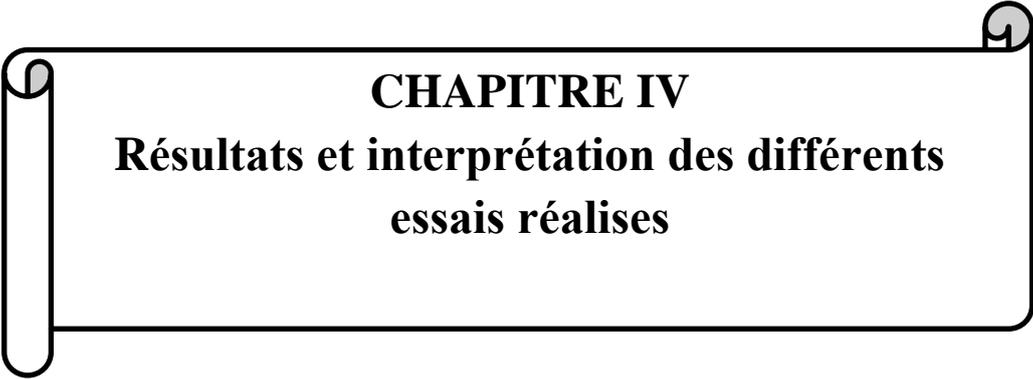
Ou : M : masse de l'éprouvette.

V : volume de l'éprouvette.

III.10 Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à la présentation des essais de caractérisation du matériau étudié, du matériel associé ainsi qu'à l'élaboration des composites qui font l'objet de cette étude. On a fait plusieurs expérimentations sur différents matériaux, par différentes méthodes des essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux. Servant à la formulation des mortiers on a formulé mortier selon les normes et ensuite préparer les éprouvettes en fin la conservation dans milieu agressif ; eau potable ; au niveau de laboratoire de génie civil. Ainsi que la méthodologie de travail. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les Résultats des essais expérimentaux.

Au chapitre suivant, on appliquera plusieurs mixtures des matériaux avec des paramètres variables (filler).



CHAPITRE IV

**Résultats et interprétation des différents
essais réalisés**

Chapitre IV : Résultats et interprétation des différents essais réalisés

IV.1 Introduction :

Le présent chapitre récapitule les résultats des différents essais suivis d'une discussion de ces résultats obtenus sur les mortiers, la perte de masse, la résistance à la traction par flexion et la résistance à la compression des mortiers après leur exposition à des différents milieux agressives. Le but de notre travail est l'étude de l'effet du filler calcaire et de la poudre de marbre sur la durabilité des mortiers exposés aux attaques chimiques.

Dans ce travail nous avons étudié les caractéristiques mécaniques de cinq formulations de mortier à savoir :

- **Formulation 1** : mortier témoin formulé avec 0% de filler de marbre et filler de calcaire. —————> Témoin
- **Formulation 2** : mortier formulé avec 5% de filler de marbre et 25 % filler de calcaire. —————> 5PM 25 FC
- **Formulation 3** : mortier formulé avec 10% de filler de marbre et 20 % filler de calcaire. —————> 10PM 20FC
- **Formulation 4** : mortier formulé avec 20% de filler de marbre et 10% filler de calcaire. —————> 20PM 10FC
- **Formulation 5** : mortier formulé avec 25% de filler de marbre et 5% filler de calcaire. —————> 25PM 5FC

IV.2 Résultats et discussion des essais de traction par flexion et de compression :

Afin de comprendre le comportement mécanique des éprouvettes on a fait les essais de flexion par traction sur les éprouvettes prismatiques puis l'essai de compression sur des éprouvettes cubiques.

IV.2.1 Eprouvettes conservées en l'eau pure :

IV.2.1.1 Résultats et discussion de Mv de mortier en fonction de temps:

Le tableau (IV.1) montre la variation de MV des échantillons de mortier en fonction de temps :

Tableau (IV.1) : Les résultats de MV pour mortier en fonction de temps

Type de mortier (%)	La masse volumique (g/cm ³)		
	7 jours	28 jours	90 jours
5 PM 25FC	2.092	2.112	2.096
10 PM 20 FC	2.132	2.14	2.136
20 PM 10 FC	2.092	2.137	2.126
25 PM 5 FC	2.14	2.139	2.146
Témoin	2.126	2.142	2.179

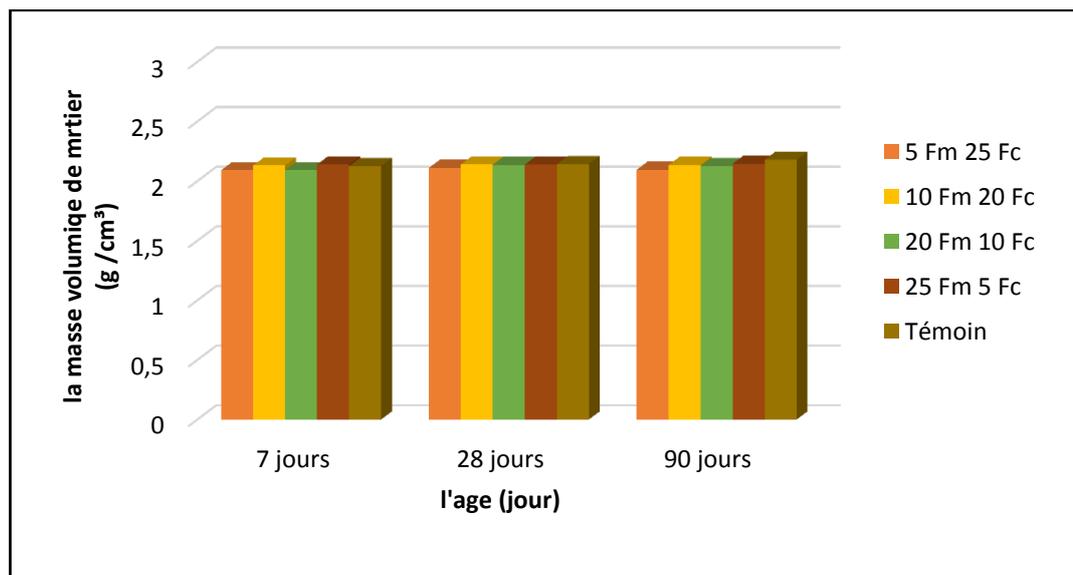


Figure (IV.1) : Evolution de MV pour le mortier en fonction de temp

D'après le tableau (IV.1) et la figure(IV.1), montre la variation de la masse volumique des mortiers étudiés à l'état durci. D'après les résultats obtenus on remarque que :

Tous les mortiers étudiés présentent des valeurs très proches de la masse volumique à l'état durci.

Ceci s’explique par l’utilisation des ajouts presque de même densité par rapport à celle de ciment utilisé dans le mortier de référence.

IV.2.1.2 Résultats et discussion de RF pour mortier en fonction de temps:

Le tableau (IV.2) et la figure (IV.2) montrent la variation de RFdes éprouvettes de mortier en fonction de temps.

Tableau (IV.2) : RF pour mortier en fonction de temps.

La Résistance à la traction par flexion (Mpa)			
Type de mortier (%)	7 jours	28 jours	90 jours
5 PM 25 FC	4.406	5.578	6.164
10 PM 20 FC	4.922	5.766	6.188
20 PM 10 FC	5.109	5.813	6.469
25 PM 5 FC	5.438	6	6.563
Témoïn	6.094	7.734	9.188

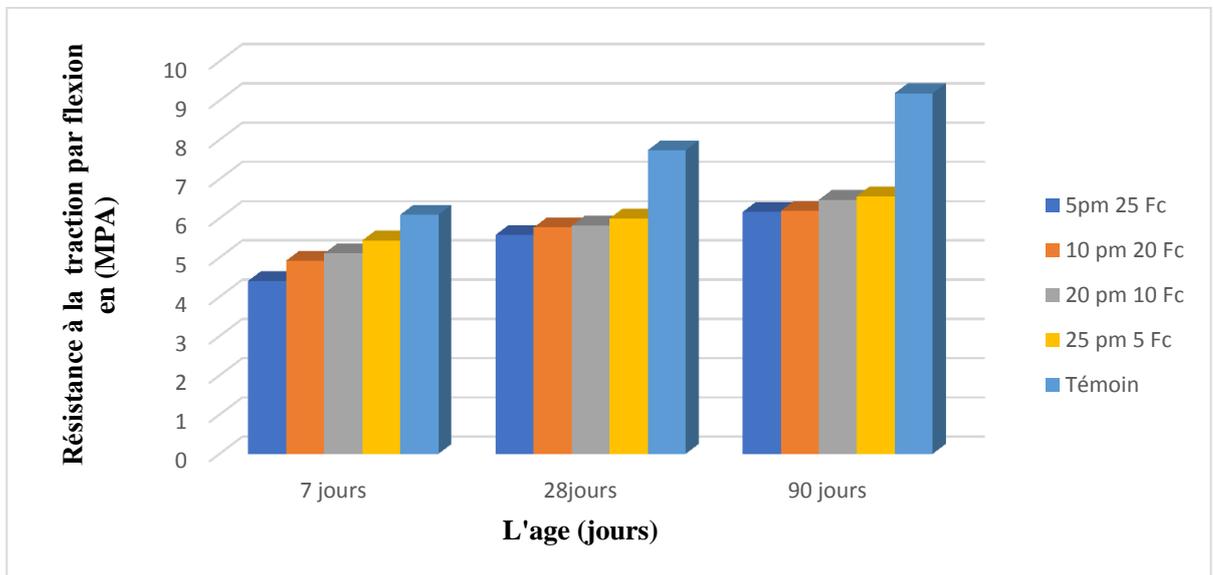


Figure (IV.2) : Evolution de la résistance Rf pour le mortier en fonction de temps.

D’après le tableau (IV.2) et la figure (IV.2) on remarque que la résistance des mortiers diminue avec l’augmentation du dosage des filaires calcaire, contrairement avec le dosage des

poudres de marbre ou on note la résistance des mortiers augmentée avec l'augmentation du dosage des poudres de marbre.

La meilleure résistance pour les mortiers substitués atteint par le mortier qui contient 25%PM et 5%FC qui présente une diminution de 27,70% à l'âge de 07 jours, et de 27,81% à l'âge de 28 jours, et de 32,91% à l'âge de 90 jours, par rapport au mortier témoin.

IV.2.1.3 Résultats et discussion de RC pour mortier en fonction de temps :

Le tableau (IV.3) et la figure (IV.3) montrent la variation de RC des éprouvettes de mortier en fonction de temps d'immersion dans l'eau pure.

Tableau (IV.3) : RC pour mortier en fonction de temps .

La Résistance à la compression (Mpa)			
Type de mortier (%)	7 jours	28 jours	90 jours
5PM 25 FC	21,875	38,17	40,12
10 PM 20 FC	23,75	38,87	41,24
20 PM 10 FC	24,375	39,50	43,37
25 PM 5 FC	25,000	39,52	43,75
Témoin	26,25	40,12	50,625

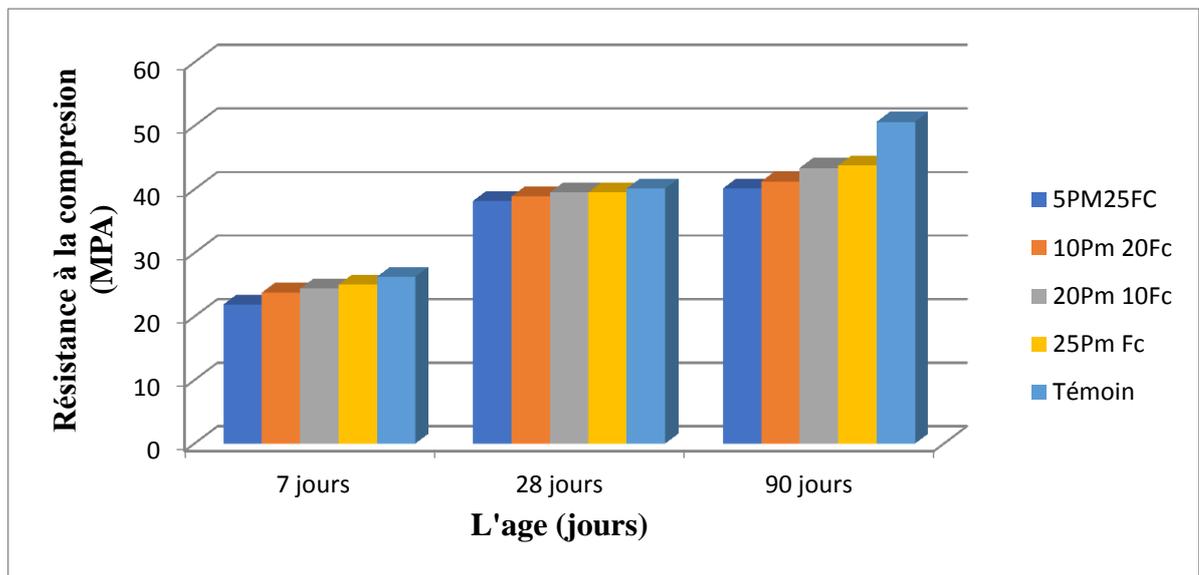


Figure (IV.3) : Evolution de RC pour mortier en fonction de temps

D'après le tableau (IV.3) et la figure (IV.3) montre le développement de la résistance à la compression du mortier contenant du calcaire et de la poudre de marbre à l'âge de (7, 28, 90) jours immergés dans l'eau pure.

À partir de la figure précédente il y a une augmentation notable des valeurs au cours du temps. La meilleure résistance pour les mortiers substitués atteint par le mortier qui contient 25%PM et 5%FC qui présente une diminution de 04,76 % à l'âge de 07 jours, et de 01,54% à l'âge de 28 jours, et de 13,57% à l'âge de 90 jours, par rapport au mortier témoin.

L'explication de cette augmentation est que plus le pourcentage de poudre de marbre est élevé et plus le pourcentage de calcaire est bas, plus la résistance est élevée.

IV.2.2 Epreuves conservées dans la solution H₂SO₄ (2% et 5%) :

IV.2.2.1 Epreuves conservées dans la solution H₂SO₄ (2%) :

IV.2.2.1.1 Résultats et discussion de la PM en fonction de temps:

Le tableau (IV.4) et la figure (IV.4) montrent la variation de PM des éprouvettes de mortier en fonction de temps

Tableau(IV.4) : La pm pour mortier en fonction de temps

Type de mortier (%)	La perte de masse (%)		
	7 jours	28 jours	90 jours
5PM 25 FC	0,13	0,216	0,257
10 PM 20 FC	0,109	0,181	0,256
20 PM 10 FC	0,091	0,175	0,247
25 PM 5 FC	0,055	0,148	0,223
Témoin	0,028	0,131	0,218

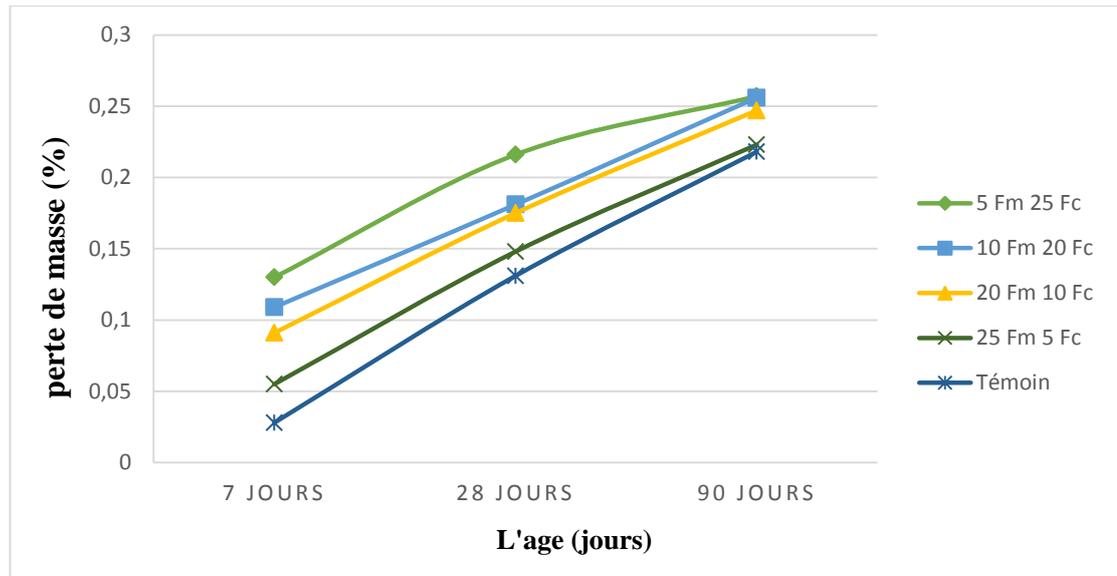


Figure (IV.4) : Evolution de PM pour mortier en fonction de temps

D'après le tableau (IV.4) et la figure (IV.4), on note que le mortier (5 PMet 25 FC) présente le taux le plus grand de la perte de masse par rapport au mortier témoin qui s'étale 78,46 % de son poids à l'âge de 07 jours et 39,35% à l'âge de 28 jours et 15,18% à l'âge de 90 jours d'immersion dans (H_2SO_4 à 2%).

Cette perte de masse s'explique par la solubilité plus élevée de l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique réagit avec les composants de la matrice de ciment principalement avec l'hydrate d'aluminat de calcium, pour former des produits expansés.

Il a également été observé que la perte de masse augmente avec l'augmentation de la dose de filer calcaire.

Cela peut s'expliquer par l'effet de remplissage du calcaire fin; Cela signifie que le calcaire fin augmente la porosité du mortier, ce qui accélère la pénétration d'agents agressifs.

IV.2.2.1.2 Résultats et discussion de RF pour mortier en fonction de temps :

Le tableau (IV.5) et la figure (IV.5) montrent la variation de la résistance à la traction par flexion pour éprouvettes de mortier en fonction de temps.

Tableau (IV.5) : RF pour mortier en fonction de temps.

Type de mortier (%)	La Résistance à la traction par flexion (Mpa)		
	7 jours	28 jours	90 jours
5PM 25 FC	4,5	4,922	4,406
10 PM 20 FC	4,51	4,932	4,688
20 PM 10 FC	4,688	4,969	4,875
25 PM 5 FC	4,734	5,625	5,063
Témoin	4,828	5,719	5,165

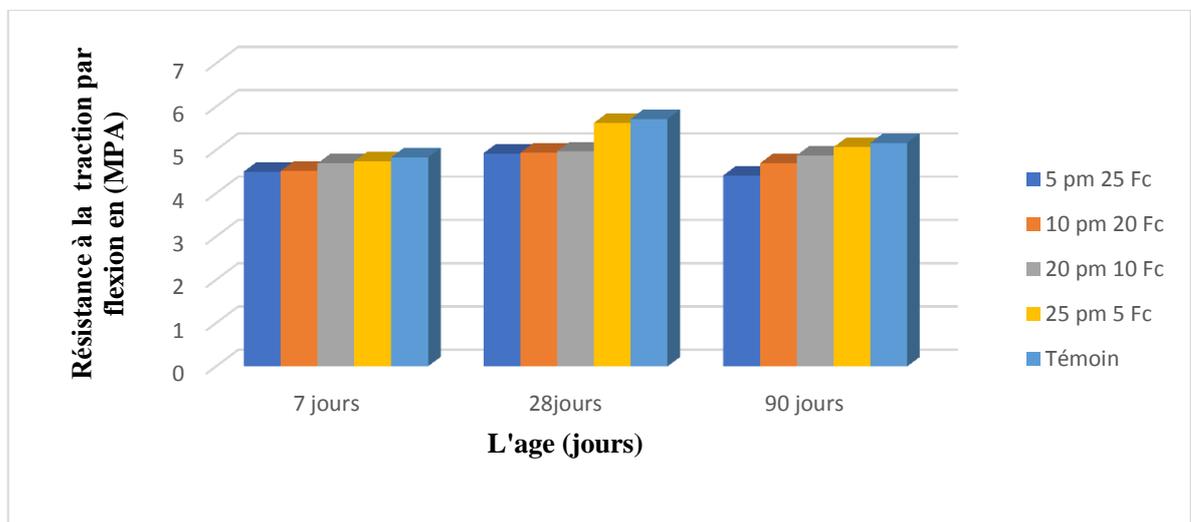


Figure (IV.5) : Evolution de RF pour mortier en fonction de temps.

D'après le tableau (IV.5) et la figure (IV.5) montre le développement de la résistance à la traction par flexion de la pâte contenant du calcaire et de la poudre de marbre à l'âge de (7, 28, 90 jours immergés dans 2% d'acide sulfurique (H_2SO_4)).

A partir de le tableau (IV.5) et la Figure (IV.5), on observe que la résistance du mortier (5 PM, 25 FC) est diminuée de 6,79% à 7 jours, et de 13,93% à 28 jours et de 14,69% à 90 jours d'âge, par rapport au mortier témoin, la même tendance pour les quatre autres mortiers. La meilleure résistance marquée pour le mortier (25PM, 5FC).

On note que la résistance des cinq espèces augmente avec le temps jusqu'à atteindre 28 jours. Puis une diminution de la résistance après 28 jours en raison d'une attaque acide.

Cette augmentation est due aux réactions d'hydratation du ciment avec la formation de C-S-H et d'étrangéite qui remplissent les pores fins résultant en une structure plus dense que la pâte de ciment. La diminution de la résistance à la traction par flexion du mortier est due à la dissolution des matériaux calciques de la pâte de ciment, ce qui conduit à une augmentation de la porosité du mortier et donc à une faible résistance.

IV.2.2.1.3 Résultats et discussion de RC pour mortier en fonction de temps :

Le tableau (IV.6) et la figure (IV.6) montrent la variation de la résistance à la compression pour éprouvettes de mortier en fonction de temps d'immersion dans la solution d'acide sulfurique H₂SO₄ (2%).

Tableau (IV.6) : RC pour mortier en fonction de temps

La Résistance à la compression (Mpa)			
Type de mortier (%)	7 jours	28 jours	90 jours
5PM 25 FC	19.375	23.125	21,875
10 PM 20 FC	21.875	24.375	23,75
20 PM 10 FC	22.5	25	24,375
25 PM 5 FC	22.75	26.25	25,625
Témoin	22.969	28	26,875

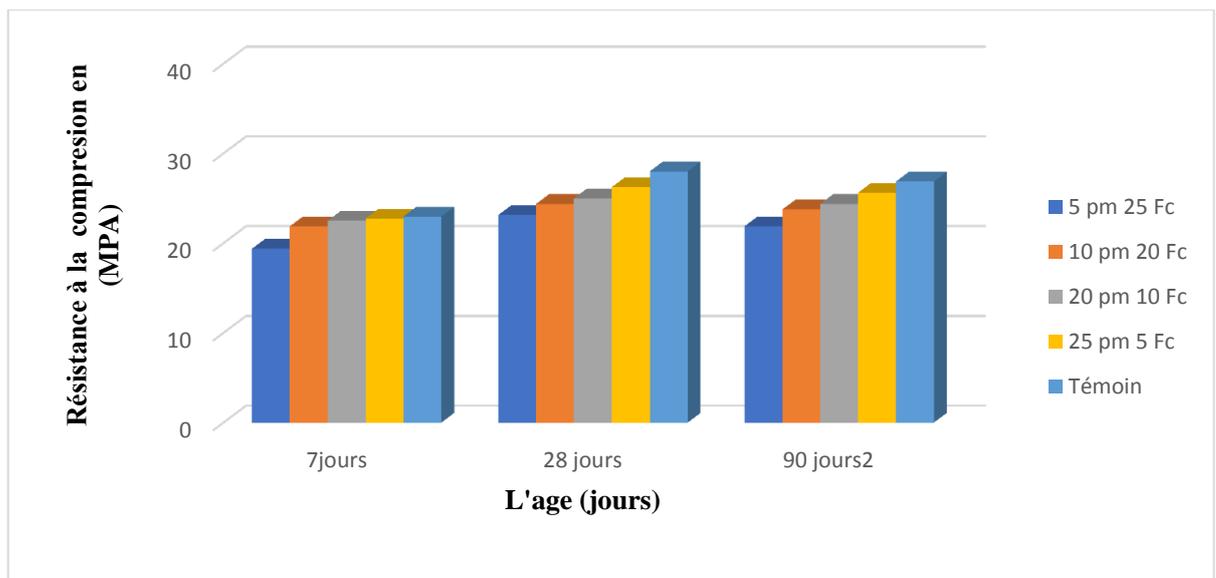


Figure (IV.6) : Evolution de RC pour mortier en fonction de temps

D'après le tableau (IV.6) et la figure (IV.6) montre le développement de la résistance à la compression de la pâte contenant du calcaire et de la poudre de marbre à l'âge de (7, 28, 90 jours immergés dans 2% d'acide sulfurique (H_2SO_4)).

A partir de la Figure (IV.6), on note que la résistance des cinq espèces augmente avec le temps jusqu'à atteindre 28 jours Puis une diminution de la résistance après 28 jours en raison d'une attaque acide.

A partir de la Figure (IV.6), on observe que la résistance du mortier (5 PM , 25 FC) est diminué de 15,65% à 7 jours, et de 17,41% à 28 jours et de 18,60% à 90 jours d'âge, par rapport au mortier témoin, la même tendance pour les quatre autres mortiers. La meilleure résistance marquer pour le mortier (25PM , 5FC).

On note que la résistance des cinq espèces augmente avec le temps jusqu'à atteindre 28 jours Puis une diminution de la résistance après 28 jours en raison d'une attaque acide.

Cette augmentation est due aux réactions d'hydratation du ciment avec la formation de C-S-H et d'ettringite qui remplissent les pores fins résultant en une structure plus dense que la pâte de ciment. La diminution de la résistance à la traction par flexion du mortier est due à la dissolution des matériaux calciques de la pâte de ciment, ce qui conduit à une augmentation de la porosité du mortier et donc à une faible résistance.

IV.2.2.2 Eprouvettes conservées dans la solution H_2SO_4 (5%) :

IV.2.2.2.1 Résultats et discussion de PM en fonction de temps :

Le tableau (IV.7) et la figure (IV.7) montrent la variation de la perte de masse des échantillons de mortier en fonction de temps d'immersion dans la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 (5%).

Tableau(IV.7) :PM pour mortier en fonction de temps

Type de mortier (%)	La perte de masse (%)		
	7 jours	28 jours	90 jours
5 PM 25 FC	0,329	0,528	0,784
10 PM 20 FC	0,325	0,488	0,676
20 PM 10 FC	0,320	0,469	0,644
25 PM 5 FC	0,300	0,459	0,572
Témoin	0,200	0,387	0,533

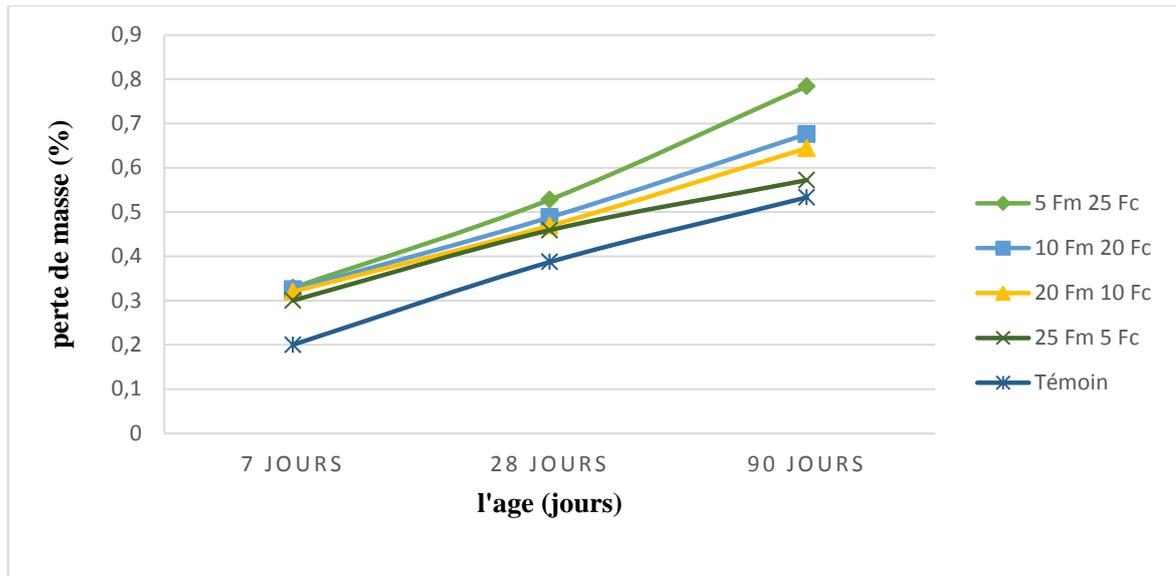


Figure (IV.7) : Evolution de PM en fonction de temps

D'après le tableau (IV.7), et la figure (IV.7), on note que le mortier (5 PMet 25 FC) présente le taux le plus grand de la perte de masse par rapport au mortier témoin qui s'étale 39,21% de son poids à l'âge de 07 jours et 26,70% à l'âge de 28 jours et 32,02% à l'âge de 90 jours d'immersion dans (H_2SO_4 à 5%).

Cette perte de masse s'explique par la solubilité plus élevée de l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique réagit avec les composants de la matrice de ciment principalement avec l'hydrate d'aluminate de calcium, pour former des produits expansés.

Il a également été observé que la perte de masse augmente avec l'augmentation de la dose de filer calcaire.

Cela peut s'expliquer par l'effet de remplissage du calcaire fin; Cela signifie que le calcaire fin augmente la porosité du mortier, ce qui accélère la pénétration d'agents agressifs.

IV.2.2.2.2 Résultats et discussion de RF à pour mortier en fonction de temps :

Le tableau (IV.8) et la figure (IV.8) montrent la variation de la résistance à la traction par flexion pour éprouvettes de mortier en fonction de temps d'immersion dans la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 (5%).

Tableau (IV.8) : RF pour mortier en fonction de temps.

Type de mortier (%)	La Résistance à la traction par flexion (Mpa)		
	7 jours	28 jours	90 jours
5 PM 25 FC	3,469	4,5	4,406
10 PM 20 FC	4,031	4,641	4,5
20 PM 10 FC	4,172	4,66	4,547
25 PM 5 FC	4,359	4,688	4,641
Témoin	4,406	5,25	5,203

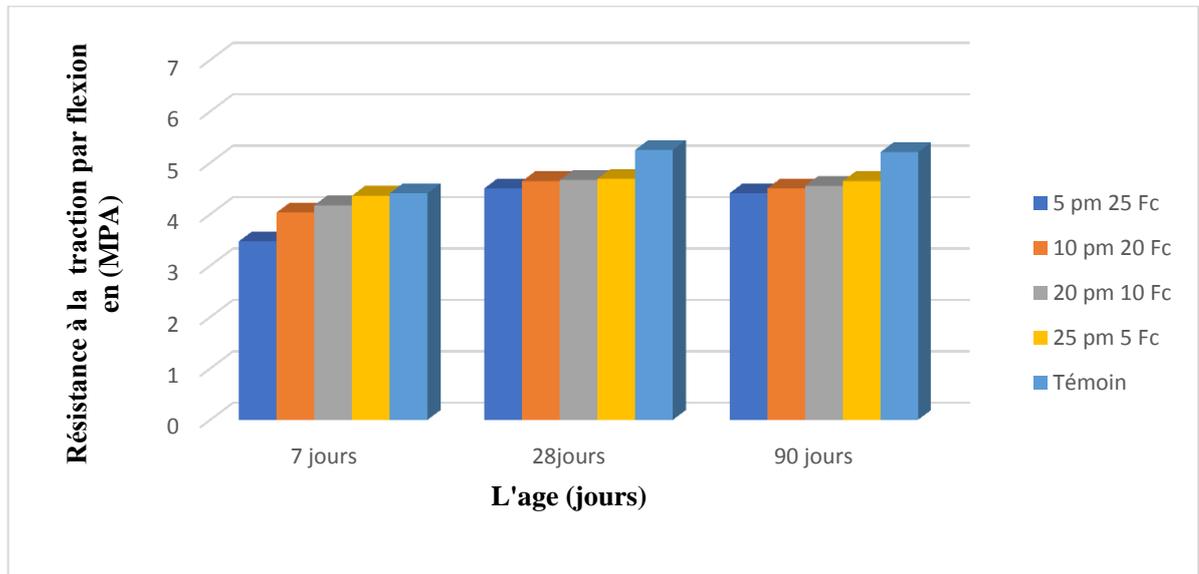


Figure (IV.8) : Evolution de RF pour mortier en fonction de temps

D'après le tableau (IV.8) et la figure (IV.8) montre le développement de la résistance à la traction par flexion de la pâte contenant du calcaire et de la poudre de marbre à l'âge de (7, 28, 90 jours immergés dans 5% d'acide sulfurique (H_2SO_4)).

A partir de la Figure (IV.8), on observe que la résistance du mortier (5 PM , 25 FC) est diminuée de 21,27% à 7 jours, et de 14,29% à 28 jours et de 15,32% à 90 jours d'âge, par rapport au mortier témoin, la même tendance pour les quatre autres mortiers. La meilleure résistance marquée pour le mortier (25 PM, 5FC).

On note que la résistance des cinq espèces augmente avec le temps jusqu'à atteindre 28 jours. Puis une diminution de la résistance après 28 jours en raison d'une attaque acide.

Cette augmentation est due aux réactions d'hydratation du ciment avec la formation de C-S-H et d'ettringite qui remplissent les pores fins résultant en une structure plus dense que la pâte de ciment. La diminution de la résistance à la traction par flexion du mortier est due à la dissolution des matériaux calciques de la pâte de ciment, ce qui conduit à une augmentation de la porosité du mortier et donc à une faible résistance.

IV.2.2.2.3 Résultats et discussion de RC pour mortier en fonction de temps :

Le tableau (IV.9) et la figure (IV.9) montrent la variation de la résistance à la compression pour éprouvettes de mortier en fonction de temps d'immersion dans la solution d'acide sulfurique $H_2SO_4(5\%)$.

Tableau (IV.9) : RC pour mortier en fonction de temps.

La Résistance à la compression en (Mpa)			
Type de mortier (%)	7 jours	28 jours	90 jours
5 PM 25 FC	17,5	21	20
10 PM 20 FC	18,75	21,875	20,625
20 PM 10 FC	19	22,5	21,25
25 PM 5 FC	20	23,125	22,5
Témoin	20,625	25,625	24,125

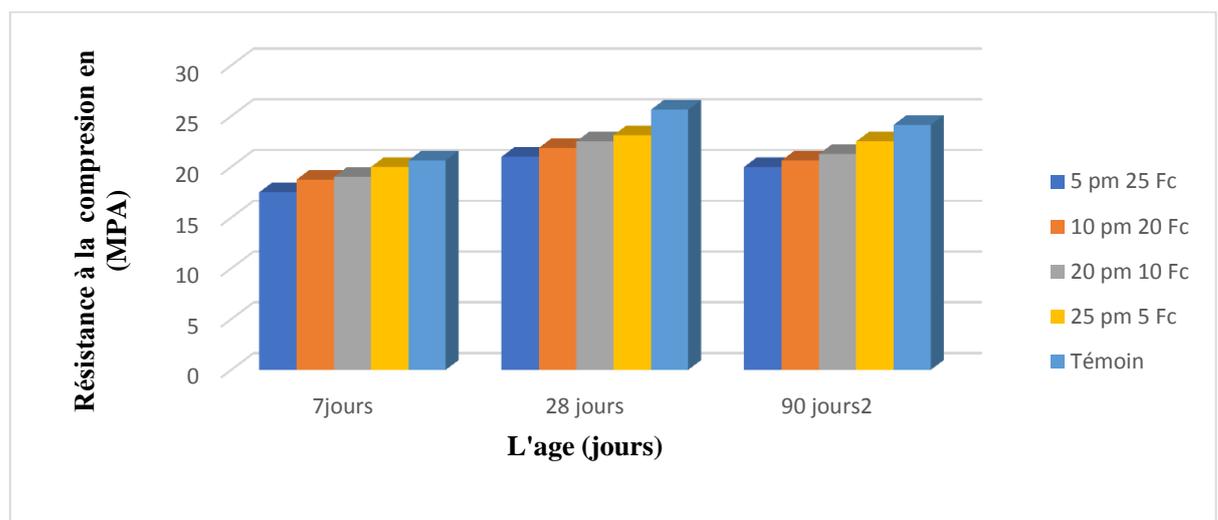


Figure (IV.9) : Evolution de RC pour mortier en fonction de temps.

D'après le tableau (IV.9) et la figure (IV.9) montre le développement de la résistance à la compression de la pâte contenant du calcaire et de la poudre de marbre à l'âge de (7, 28, 90 jours immergés dans 5% d'acide sulfurique (H_2SO_4)).

A partir de la Figure (IV.9), on note que la résistance des cinq espèces augmente avec le temps jusqu'à atteindre 28 jours puis une diminution de la résistance après 28 jours en raison d'une attaque acide.

A partir de la Figure (IV.9), on observe que la résistance du mortier (5 PM, 25 FC) est diminuée de 15,15% à 7 jours, et de 18,05% à 28 jours et de 17,09% à 90 jours d'âge, par rapport au mortier témoin, la même tendance pour les quatre autres mortiers. La meilleure résistance marquée pour le mortier (25PM, 5FC).

On note que la résistance des cinq espèces augmente avec le temps jusqu'à atteindre 28 jours puis une diminution de la résistance après 28 jours en raison d'une attaque acide.

Cette augmentation est due aux réactions d'hydratation du ciment avec la formation de C-S-H et d'ettringite qui remplissent les pores fins résultant en une structure plus dense que la pâte de ciment. La diminution de la résistance à la traction par flexion du mortier est due à la dissolution des matériaux calciques de la pâte de ciment, ce qui conduit à une augmentation de la porosité du mortier et donc à une faible résistance.

IV.2.3 Résultats et discussion de l'essai d'absorption capillaire du mortier :

La figure (IV.10) et le tableau (IV.10) montrent la quantité d'eau absorbée par unité de surface en fonction du temps, pour les mortiers à différents dosages en deux ajouts (poudre de marbre et filler calcaire) et de différents rapports E/C respectivement.

Tableau (IV.10) : Absorption d'eau capillaire par unité de surface de mortier.

Absorption d'eau par capillaire (g/mm^2)									
Echantillon	15Min	30 Min	1 Heur	2 Heurs	3 Heurs	4 Heurs	5 Heurs	6 Heurs	24 Heurs
25PM 5FC	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,008
10PM 20FC	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,007
20PM 10FC	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004
5PM 25FC	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,006
Témoin	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003

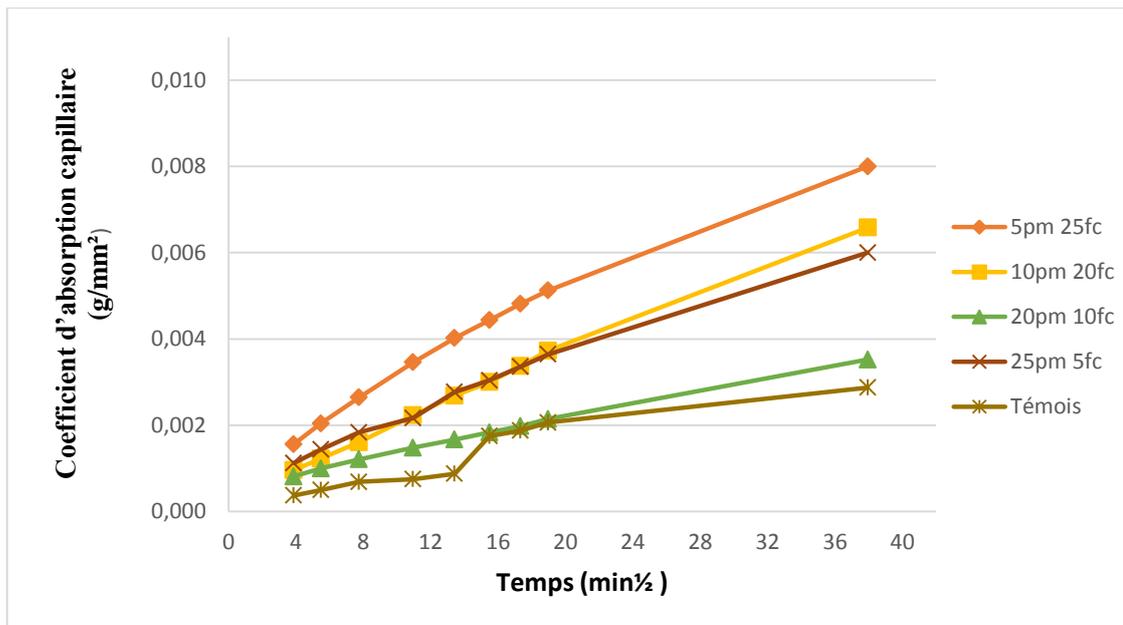


Figure (IV.10) : Absorption d'eau capillaire par unité de surface de mortier.

D'après le tableau (IV.10) et la figure (IV.10) montre la quantité d'eau absorbée par unité de surface en fonction du temps, pour les mortiers à différents dosages en deux ajouts (poudre de marbre et filler Calcaire). Le tableau présente les résultats d'essai d'absorption capillaire et valeurs de coefficient d'absorption pour les différents mortiers étudiés.

On remarque que la quantité d'eau absorbée par unité de surface en fonction du temps pour les 4 types de mortier augmente régulièrement avec l'âge et ne présente aucune chute par rapport au mortier témoin.

La quantité d'eau absorbée augmente avec l'augmentation du dosage du filler de calcaire et avec la diminution du dosage de la poudre de marbre. Lorsque l'hydratation arrive à son terme, il reste une quantité d'eau importante dans le matériau (sous forme d'eau libre), ce qui engendre la formation d'une absorption d'eau importante, favorisant la perméabilité du matériau et diminuant sa résistance mécanique.



Conclusion générale

Conclusion générale

Il en ressort de cette étude que les ajouts cimentaires tels que filler calcaire et poudre de marbre font partie des développements dans la production du ciment car leur utilisation apporte une amélioration aux propriétés mécaniques et chimiques des mortiers, d'autre part, elle réduit la consommation du clinker en contribuant de manière simple et économique à la réduction de la consommation énergétique d'où un bas prix de revient de la tonne de ciment.

L'objet de ce travail est l'influence de la substitution d'une partie de ciment par des pourcentages des poudres de marbre et des fillers calcaires (5%, 10%, 20%, 25%) dans les mortiers sur les propriétés physiques mécaniques (la résistance à la flexion et à la compression) et la durabilité dans les milieux agressifs (7, 28, 90) jours.

Notre étude expérimentale se limite à des essais de la masse volumique dans l'eau pure et la perte de masse dans le milieu agressif et la résistance en traction par flexion et la résistance à la compression dans l'eau pure et l'acide sulfurique (2 % et 5 %) et l'absorption d'eau.

Pour la masse volumique des différents mélanges Sur mortier on remarque que la masse volumique par l'utilisation des ajouts presque de même densité par rapport à celle de ciment utilisé dans le mortier de référence.

Pour la perte de masse dans le milieu d'acide solution H_2SO_4 (2% et 5 %) des différentes mélanges sur le mortier on observe que la perte de masse du mélange de filler de calcaire et poudre de marbre augmenté avec l'augmentation de la dose de filler calcaire. et on note que la perte de masse est plus importante en solution de 5 % par rapport la solution de 2 %.

Pour la résistance en traction par flexion et la résistance à la compression dans l'eau pure les résultats ont montré que la meilleure résistance atteint par le mortier qui contient 25% PM et 5%FC et on remarque qu'il y a une augmentation.

L'explication de cette augmentation est que plus le pourcentage de poudre de marbre est élevé et plus le pourcentage de calcaire est bas, plus la résistance est élevée.

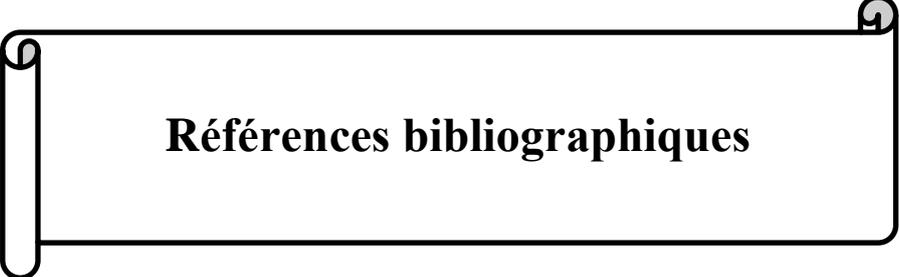
Pour la résistance en traction par flexion et la résistance à la compression dans l'acide sulfurique (2 % et 5 %) On note que la résistance des cinq espèces augmente avec le temps jusqu'à atteindre 28 jours Puis une diminution de la résistance après 28 jours en raison d'une attaque acide.

Enfin pour nous concluons avec les résultats de l'absorption d'eau cela nous a été donné et prouvé La quantité d'eau absorbée augmente avec l'augmentation du dosage du filler de calcaire et avec la diminution du dosage de la poudre de marbre. Lorsque l'hydratation arrive à son terme, il reste une quantité d'eau importante dans le matériau (sous forme d'eau libre), ce qui engendre la formation d'une absorption d'eau importante, favorisant la perméabilité du matériau et diminuant sa résistance mécanique.

Perspectives :

Cette étude expérimentale reste limitée et peut être complétée par l'investigation de :

- l'effet de la durabilité des mortiers ternaires (calcaire+ marbre+ pouzzolanes).
- étude de l'effet du climat chaud (notre région) et des milieux agressifs sur la durabilité des bétons à base de ciment au calcaire.
- utiliser un autre type d'acide et voir son effet.



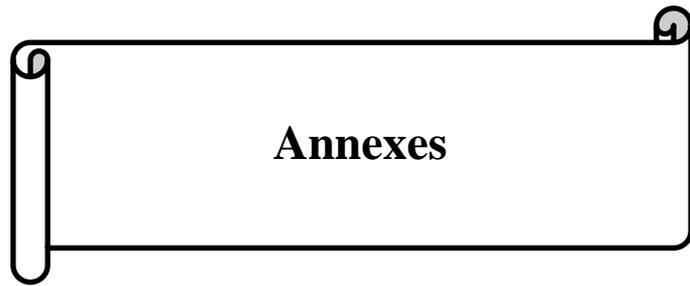
Références bibliographiques

Référence bibliographique

- [1] : **p.k .Mehta** , «Concrete technologies for sustainable Development concert International», vol.21, n 11,pp.47-53,(2001).
- [2]: **V.M .Malhotra** et , «Role of Supplementary Cementing Materials for Concrete», CANMET ,Ottawa, Ontario ,Canadian Government publishing Center ,MTL Division Report MTL 98-03 (OPJ), Natural Resources Canada,Ottawa ,pp.17,(1986).
- [3] : **Zeroual.Salah**, «Impact de l'addition de la poussiere"CKD"sur les caractéristique et mécanique des mortier et béton», Mémoire de master, anné ,(2014).
- [4] : **Belhocineaida.NadjoutiNadja**, «étude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux », Mémoire de master Université de ouergla, année, (2014).
- [5] :**J. Baron, J.P. ollivier et J.C. Weiss**, « Les bétons, bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles,Troisième tirage, P 3-12 ,(1999).
- [6] :**V. Phoummavong**, «Matériaux de construction,Cours en ligne», Université Nationale du Laos, (<http://www.la.refer.org/materiaux/default.html> 2009).
- [7] : **Bouali. Khaled** ,« Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires », mémoire de magister ,«Option Physique et Mécanique des Matériaux», universite m'hamed bougara-boumerdes (2013/2014).
- [8] :**Maisonbrico.com Maçonnerie**, «matériaux, produits, mélanges et proportions.
- [9] : **P. Sylver**, «science des matériaux», université pierre et marie curie ,(2005 ,2006).
- [10] : **O. Emile**, «les matériaux de construction».
- [11] : **Mounir. Bellem**,« Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration de performances mécaniques des mortiers »mémoire de master, université de M'sila, (juin2013).
- [12] : **BERRAIH .Mimoun** « Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en Génie Civil, option géomatériaux, ENSET Oran, (2009/2010).
- [13] : **D. William et JR.Callister** « Science et génie des matériaux » modo lu Editeur, (2001).
- [14] : **R. Dupain et R.Lanchon et J.C.Saint. Arromain**, « Granulats, sols, ciments et bétons» , Edition casteilla-paris-,(2004).
- [15] :**Arezki .TagniHamou** ,«Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons, chapitre 8 ».

- [17] : **Rissel khlifa .Mohamed**, « Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants », thèse de doctorat de l'Université de Constantine, (2009).
- [18] :**Djobo .Yankwa Jean Noël**, « Effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments gépolyinères a base scories volcanique ».
- [19] :**M .Venuat**, « caractéristiques des liants et des bétons, mise en oeuvre des coulis et mortiers » La pratique des ciments, mortiers et bétons-Tome 1 édition2-Collection moniteur,(1989).
- [20] :**A .Kerbouche**, « Influence des ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des bétons » mémoire de magister, UST Oran, (2009).
- [21] :**Zeroub .hamid**, « valorisation du verre l'élaboration de béton durable (approche expérimentale) », mémoire de magister (spécialité sciences et genie materiaux) option physico .chimie des matériaux minéraux, Boumerdes, (15/02/2012).
- [22] :**A.Komar**, « Matériaux et éléments de construction», Edition mir, pp 1-56, Moscou (1976).
- [23] : **Dreux .G & J. Festa**: «Nouveau guide du béton et de ses constituants». 8ème Edition. Eyrolles. Mai (1998).
- [24] : **S .Husson**, « Étude physico-chimique et mécanique des interactions ciment-fibres : Applications aux mortiers », Thèse Doct. Ing , p.166 INSA-Lyon,(mars 1991).
- [25] : **Aboutair .Amel**, « contribution à l'étude du rôle des fibres métalliques sur les propriétés des béton avec ajout de poudre de marbre», mémoire de magister ,université de boumerdes ,année,(2014).
- [26] :**A .Bruusgaard** , « les composes minéraux, minéraux», 3 édition de l'Encyclopaedia of OccupationalHealth and Safety .
- [27] : **A .Kerbouche et M. Mouli et L. Laoufi, Y .Senhadji et S .Benosmane**, «Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers»,Faculté des sciences, Laboratoire de Chimie des Polymères, Université d'Oran, Es-sénia, Oran
- [28] :**M .Rissel Khalifa**, «Effet de l'attaque sulfurique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants», Architecture, aménagement de l'espace, Université d'OrléansFrançais,(2009).
- [29] : **Ahmed Tafraoui**, «Contribution à la valorisation du sable de dune de l'erg occidental», thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, (Algérie).

- [30] : **R .GAGNÉ**, «Durabilité et réparations du béton», Université de Sherbrooke, GCI 714 Centre de Longueuil, 338 p Québec. (2000).
- [31] :**Benaissa .Rahelasmaa et Bouhania .Imen**, «durabilité d'un mortier léger Granulat pouzzolanique », mémoire de master ,Centre université d'Ain témouchent Belhadj Bouchaib,(2015).
- [32] :**Nasreddine .Dalila et Amrouche .Meriem**, « Influence d'attaques par (HNO₃+NH₄NO₃) et (MgSO₄) sur les résistances mécaniques en compression sur les mortiers à base des ciments pouzzolaniques », Mémoire de Master, (2016).
- [33] : **Azrar .Taous** «influence du PH sur les proprietes physic – mécaniques d'un mortier autoplaçant », Mémoire de master , (2017 ,2018).
- [34] : **Ben mostefa .Fatima et Bouhafis .Khaeira** , «Etude de la durabilité des mortiers à base de pouzzolane», pp 86 ,(2016,2017).
- [35] : **Ferhati .Taieb**, «Durabilité d'un béton exposé à un milieu agressive (acide sulfurique) influence du rapport G/S », (2015,2016).
- [36] :**Les normes :**
- **NF EN 196-3**: détermination du temps de prise et de la stabilité
 - **NF EN 933-8** :Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats.
 - **NF EN 1097-3** :.Essais pour d' terminer les caractéristique mécaniques et physiques des granulats .
 - **NF EN 933-1** : Détermination de la granulométrie par taisage.
 - **NF EN 1097-3** : Détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité integrulaire
- [37] :**Kouiciabir**, « Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis», mémoire master.



Annexes

ANNEXES

Annexe 01 : Fiche technique de ciment :



Mokaouem
مقاوم بلوس **Plus**

ALGÉRIE

LAFARGE
Construire des villes meilleures™



Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

Mokaouem
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem NA 442 -CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1II est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

AVANTAGES PRODUIT



- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.

LAFARGE
A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude délivrée par un laboratoire"

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,01 à 0,05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

• Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3.0%

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42.5

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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



A member of
LafargeHolcim

Conditionnement:  / 

LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

LAFARGE
لافارج

Annexe 02 : Fiche technique des fines calcaires

**ALCAL UF10***Fiche technique*

Le gisement El-khroub occupe la partie sud ouest du massif Oum Settas au sud-est de Constantine, il est constitué de calcaire d'origine néritique caractérisé par une grande pureté chimique et une blancheur élevée.

Caractéristiques chimiques

CaCO ₃	99%
CaO	55,88%
SiO ₂	0,01%
Na ₂ O	0,01%
Al ₂ O ₃	0,01%
MgO	0,14%
Fe ₂ O ₃	0,01%
K ₂ O	0,01%
P ₂ O ₅	0,01%
TiO ₂	0,01%
Chlorure	0,005%
SO ₃ (soluble dans l'eau)	0,1115%
SO ₃ (soluble dans l'acide)	0,19%
Soufre totale	0,0137%
Résidu insoluble	0,005%
Solubilité dans l'eau (Ws)	0,38%
Perte au feu	43,90%
PH	9,24

Caractéristiques physiques

Dureté (Mohs):	3
Poids spécifique :	2,7
Densité apparente non tassée:	0,90
Blancheur (ELREPHO 070):	L* ≥ 95 ; a*≤+ 0,50 ; b*≤+4
Prise d'huile (NF.T 30.022):	24g/100g de poudre
Prise D O P (NF.T 30.022):	34g/100g de poudre
Humidité à l'ensachage:	0,02%
Indice de réfraction:	1,71

Les éléments toxiques:

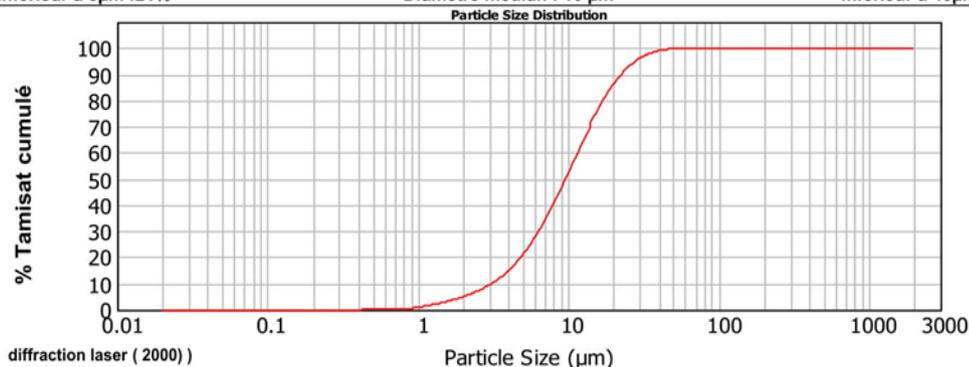
Cyanure	0,045 µg / gr
Mercure	0,35 µg / gr
Arsenic	0,08 µg / gr
Fluor	0,02mg / gr

Répartition granulométrique

Inférieur à 5µm :21%

Diamètre médian : 10 µm

Inférieur à 40µm : 99%



Les valeurs figurant dans cette fiche technique sont des valeurs caractéristiques moyennes de la production

Conditionnement

Big-bag (1tonne)
Palettes houssées (48 sacs de 25kg)

Principales utilisations

Peinture mate à phase aqueuse et phase solvant
Peinture en poudre hydrodispersible
Polyesters
Colle
Pâte à chewin-gum
Caoutchouc
Céramique sanitaire
Fabrication de craie
Pâte à modeler

Annexe 03 : Fiche technique de superplastifiant:

Notice Technique
Édition Septembre 2008
Numéro 2.11T
Version n° 48.2008
Sika® ViscoCrete® Tempo 12

Sika® ViscoCrete® Tempo 12

Superplastifiant/Haut réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Construction

Présentation	Sika® ViscoCrete® Tempo 12 est un superplastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.
Domaines d'application	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sika® ViscoCrete® Tempo 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés. ■ dans les bétons autoplaçants, Sika® ViscoCrete® Tempo 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
Caractères généraux	<p>Sika® ViscoCrete® Tempo 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ longue rhéologie (>2h), ■ robustesse à la ségrégation, ■ qualité de parement.
Caractéristiques	
Aspect	Liquide brun clair
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fût de 230 kg ■ Container perdu de 1000 litres
Stockage	<p>Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 35°C. Sika® ViscoCrete® Tempo 12 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.</p>
Conservation	1 an dans son emballage intact.
Données techniques	
densité	1,06 ± 0,01
pH	4,5 à 6,5
Extrait sec	28,0 à 31,0%
Teneur en Cl	≤ 0,1%
Teneur en Na₂O_{eq}	≤ 1%
Conditions d'application	
Dosage	<p>Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant</p>



Mise en œuvre

Préparation du mélange Sika® ViscoCrete® Tempo 12 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

Les informations contenues dans la présente notice et en tout autre conseil sont fournies en toute bonne foi, et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. Les informations s'appliquent uniquement aux modalités d'application et produits expressément visées par la présente notice. En cas de modification des paramètres d'application, tels que des changements de substrats, ou dans le cas d'une application différente, veuillez consulter nos agences avant d'utiliser les produits Sika. Les informations contenues dans la présente notice ne suspense pas l'utilisateur des produits de vérifier dans un essai sur site leur adaptation à l'application et à l'objectif envisagés. Toutes les commandes sont soumises à nos Conditions Générales de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la notice technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.



Sika Tunisienne
Zone Industrielle.
2086 Douar Hicher.
Tunisie

Tel : (+216) 71 545 533 / (+216) 71 546 330
Fax : (+216) 71 547 130
Site web : www.sika.com.tn
e-mail : sika.tunisienne@tn.sika.com