

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université De Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies

Département d'hydraulique et Génie Civil

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Génie Civil*

Spécialité : *Structures*

Par : M^r ATIALLAH Abdallah & M^r ANICHEL Nouredine

Thème

**EFFETS DU FILLER CALCAIRE ET FILLER DU GRAVIER
ROULE SUR LA DURABILITE DES MORTIERS EXPOSE
AUX ATTAQUES CHIMIQUES**

Soutenu publiquement le : 22 / 09 /2020

Devant le jury composée de :

Mr. SAITI Issam	Président	Université de Ghardaïa
Mr. AZIEZ Mohammed Nadjib	Examineur	Université de Ghardaïa
Mr. SALHI Aimad	Encadreur	Université de Ghardaïa

Année Universitaire : 2019-2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail fruit de mes labeurs à :
La bougie de ma vie, la fleur de mes jours, ma Mère
Qui attendait avec impatience mon succès
À mon Père qui a sacrifié sa vie pour notre instruction
À mes très chers frères et leurs femmes
À ma seule et chère sœur
À mes grands parents (la miséricorde de Dieu sur eux)
À mes oncles et mes tantes
À ma future fiancée 'L'
À tous mes cousins et mes cousines
Et toute ma famille : Atiallah
Je dédie ce modeste travail à tous mes Amis
Mille excuses à ceux que j'oublie

ABDALLAH ATIALLAH

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma Mère et mon Père qui me sont les plus chers au monde

À mon frère et ma sœur

À ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous ceux qui m'ont aidé à finir ce mémoire

ANICHEL NOUREDDINE

Remerciements

Nous remercions avant tout mon dieu, C'est grâce à lui seul que nous avons pu achevé ce modeste travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadreur :

Mr Aimad SALHI, de nous voir fait profiter de ces grandes compétences et ces conseils judicieux et de nous avoir dirigés avec efficacité et grande patience.

Merci et encore merci nos professeurs qui ont contribué à notre apprentissage et à notre savoir depuis l'école primaire jusqu'à l'université.

Nous remercions les membres de jury, de nous avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail. Certes, leurs remarques et leurs conseils seront aussi utiles que nombreux, pour nos futurs travaux.

Nous associons à ces remerciements tous les travailleurs du Laboratoire LTPS Ghardaïa.

Merci, à nos familles, de nous avoir encouragé et soutenu.

Merci, mes chères collègues et mes chers camarades pour m'avoir permis de passer cinq belles années à l'université.

Merci, à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Résumé :

Les ajouts cimentaires font actuellement partie des développements les plus récents dans la production du ciment, car leurs utilisations apportent une amélioration des propriétés mécaniques des matériaux cimentaires (mortier) d'une part et réduire les rejets de CO₂ on résoudra les problèmes liés à l'environnement d'autre part.

Ce travail a pour objectif d'étudier l'influence de la substitution partielle du ciment par le filler calcaire (FC), (5%, 10%, 20% et 25%) et le fillers du gravier roulé (FGR) (25%, 20%, 10%, et 05%) sur les propriétés physico-mécanique et la durabilité de mortier élaborés selon des différentes combinaisons à base de ces ajouts dans les environnements agressifs.

Les résultats tirés de ce travail de recherche confirment que le taux de 25% FGR avec 05% FC donne la meilleure résistance des mortiers binaires au long terme.

Mots clés : ciment, fillers calcaires, fillers du gravier roulé, mortier, résistance mécanique, durabilité.

ملخص:

تعتبر الإضافات الإسمنتية حاليًا واحدة من أحدث التطورات الحاصلة في إنتاج الأسمنت ، حيث أعطى استخدامها تحسنا في الخصائص الميكانيكية للخلطات الإسمنتية (الملاط) من جهة، ومقللا من انبعاث ثاني أكسيد الكربون الذي له اثر بيئي من جهة أخرى.

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الاستبدال الجزئي للأسمنت بمسحوق الحجر الجيري(م ح ج) (05 % ، 10 % ، 20 % و 25 %) ومسحوق الحصى الدائري(م ح د) (25 % ، 20 % ، 10 % و 05 %) على الخواص الفيزيائية-الميكانيكية والديمومة للملاط المنتج وفقاً لتركيبات مختلفة بناءً على هذه الإضافات في البيئات العدوانية.

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها من هذا العمل البحثي أن معدل 25 % م ح د مع 05 % م ح ج يعطي أفضل مقاومة للملاط الثنائي على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: الأسمنت ، مسحوق الحجر الكلسي ، مسحوق الحصى الدائري، الملاط ، المقاومة الميكانيكية ، الديمومة.

Abstract:

Cement additions are currently one of the most recent developments in cement production, because their uses improve the mechanical properties of cementitious materials (mortar) on the one hand and reduce CO₂ emissions will solve the problems related to the environment on the other hand.

This work aims to study the influence of the partial substitution of cement by limestone filler (FC), (5%, 10%, 20% and 25%) and rolled gravel filler (FGR) (25% , 20%, 10%, and 05%) on the physico-mechanical properties and the durability of mortar produced in different combinations based on these additions in aggressive environments.

The results obtained from this research work confirm that the rate of 25% FGR with 05% FC gives the best resistance of binary mortars in the long term.

Keywords: cement, limestone fillers, rolled gravel fillers, mortar, mechanical resistance, durability.

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciements.....	III
Résumé.....	IV
ملخص.....	V
Abstract.....	VI
Liste des tableaux.....	XIII
Liste des figures.....	XV
Liste des abréviations.....	XVIII
Introduction générale.....	XX

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur le ciment et le mortier

I-1 Introduction :	01
I-2 Le ciment :	01
I.2.1 Définition et généralité sur le ciment :	01
I.2.2 Principe de fabrication des ciments courants :	02
I.2.3 Les Constituants principaux des ciments :	03
I.2.3.1 Le clinker :	03
I.2.3.2 Le Sulfate de Calcium (Le gypse - CaSO ₄) :	04
I.2.3.3 Les ajouts minéraux :	04
I.2.4 Classification des ciments courants :	04
I.2.5 Propriétés des ciments :	06
I.2.5.1 Caractéristique physiques:	06
I.2.5.2 Caractéristiques chimiques du ciment :	08
I.2.5.3 - caractéristiques mécaniques des ciments courants :	08
I.2.6 L'hydratation du ciment :	10
I.2.6.1 Hydratation des composants du ciment portland :	10
I.2.6.1.1 Hydratation du silicate tricalcique C ₃ S :	10

Sommaire

I.2.6.1.2 Hydratation du silicate bi calcique C_2S :	11
I.2.6.1.3 Hydratation de l'aluminate tricalcique C_3A :	11
I.2.6.1.4 Hydratation de l'aluminoferrite tétracalcique C_4AF :	12
I.3 Mortiers :	13
I.3.1 Définition :	13
I.3.2 Les différents types de mortiers :	13
I.3.2.1 Les mortiers de ciment :	13
I.3.2.2 Les mortiers de chaux :	13
I.3.2.3 Les mortiers bâtards :	14
I.3.2.4 Les mortiers fabriqués sur chantier :	14
I.3.2.5 Le mortier industriel :	14
I.3.3 Les utilisations des mortiers de ciment :	15
I.3.3.1. Les joints de maçonnerie :	15
I.3.3.2. Les enduits :	15
I.3.3.3. Les chapes :	15
I.3.3.4. Les scellements et les calages :	16
I.3.3.5. Les coulis :	16
I.3.4. Les composants des mortiers :	16
I.3.4.1 Le liant :	16
I.3.4.2 Le sable :	16
I.3.4.3 L'eau de gâchage :	17
I.3.4.4 Les adjuvants :	17
I.3.4.5 Les ajouts :	18
I.3.5 Le rôle d'utilisation de mortier :	18
I.3.6 Caractéristiques des mortiers :	18
I.3.6.1 Ouvrabilité :	18
I.3.6.2 Résistances mécaniques :	19
I.3.6.3 Prise:	20
I.3.6.4 Retraits et gonflements :	21
I.4 Conclusion :	21

Chapitre II : Les ajouts minéraux et les attaques sulfatiques

II.1 Introduction :	22
II.2 Définition des ajouts cimentaires :	22
II.3 Rôle de l'ajout cimentaire :	24
II.3.1 Rôle de la granulométrie de l'ajout :	24
II.3.2 Rôle pouzzolanique des ajouts cimentaire :	24
II.4 Classification des ajouts minéraux :	24
II.4.1 Principaux ajouts minéraux inertes :	25
II.4.1.1 Fillers calcaire :	26
II.4.1.1.1 Propriétés Requises Du Filler Calcaire :	26
II.4.1.1.2 L'utilisation Des Fillers Calcaires :	26
II.4.1.1.3 Le Rôle Des Fillers Calcaire :	26
II.4.1.1.4 Influence Des Fillers Calcaires Sur Les Propriétés Des Bétons :	27
II.4.1.1.5 Fillers Calcaire Et Résistance Mécanique :	28
II.4.1.2 Gravier roulé :	29
II.4.1.1.1 Définitions et Description :	29
II.4.1.1.2 Origine :	29
II.4.2 Les ajouts minéraux actifs :	31
II.4.2.1 Laitier granulé des hauts fourneaux :	31
II.4.2.2 Cendres volantes :	32
II.4.2.3 Fumées de silice :	33
II.4.2.4 Les pouzzolanes naturelles :	34
II.4.2.5 Les pouzzolanes artificielles :	34
II.4.2.6 Le verre :	35
II.5 Propriétés du béton aux fines calcaires :	36
II.5.1 Béton frais :	36
II.5.2 Béton durci :	38

II.6 L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil :	40
II.6.1 Intérêt du point de vue technique :	40
II.6.2 Intérêt du point de vue économique :	40
II.6.3 Intérêt du point de vue environnemental :	40
II.7 Effets des ajouts sur les propriétés des bétons :	40
II.7.1 Amélioration de l'ouvrabilité :	40
II.7.2 Chaleur d'hydratation :	41
II.7.3 Durabilité :	41
II.7.4 Développement des résistances :	41
II.7.5 Développement des bétons à haute résistance :	41
II.8 L'utilisation des ajouts en Algérie :	42
II.9 Les attaques chimiques des bétons et mortiers:	42
II.9.1 Attaque des sulfates :	42
II.9.1.1 Sources des sulfates :	42
II.9.1.2 Mécanismes d'attaques :	44
II.9.2 Attaques des acides :	45
II.9.2.1 Sources des acides :	45
II.9.2.2 Mécanisme d'attaque :	46
II.10 Conclusion :	46
 Chapitre III : Caractérisation des matériaux et méthodologie de travail	
III.1 Introduction :	47
III.2 Objectif du travail :	47
III.3 Méthodologie du travail pratique :	47
III.4 Caractérisation des matériaux utilisés :	48
III.4.1 Caractérisation de Ciment :	48
III.4.1.1 Définition de ciment Mokaouem :	48
III.4.1.2 Caractérisation physiques de Ciment :	49

Sommaire

III.4.1.2.1 Essais de consistance normalisée :	49
III.4.1.2.2 Essais de Temps de Prise :	51
III.4.1.2.3 Essais la stabilité a chaud :	54
III.4.1.3 Caractérisation chimiques de Ciment :	56
III.4.1.4 Composition minéralogique de Ciment :	56
III.4.2 Caractérisation de sable :	56
III.4.2.1 Analyse granulométrique :	56
III.4.2.1.1 Module de finesse :	59
III.4.2.2 Equivalent de sable :	60
III.4.2.3 Masse volumique (absolue) :	63
III.4.2.4 Masse volumique apparente :	64
III.4.3 Caractérisation de filler de gravier roulé :	66
III.4.3.1 Composition chimique :	66
III.4.3.2 Composition minéralogique :	66
III.4.4 Caractérisation de Filler calcaires :	67
III.4.4.1 Caractéristiques physiques de Filler calcaires :	67
III.4.4.2 Caractéristiques chimiques du filler calcaire :	67
III.4.4. 3 Répartition granulométrique du filler calcaire :	67
III.4.5 L'eau de gâchage :	68
III.4.6 L'adjuvant (superplastifiant) :	68
III.4.6.1 Domaines d'application :	68
III.4.6.2 Caractères généraux :	68
III.4.6.3 Stockage :	68
III.4.6.4 Caractéristiques :	69
III.4.6.5 Conditions d'application :	69
III.4.6.6 Propriétés et effets :	69
III.5 Confection d'éprouvettes 4x4x16 en mortier normal :	70

III.6 Essais sur le mortier à l'état durci :	76
III.6.1 : Détermination des résistances mécaniques :	76
III.6.1.1 Résistance à la flexion :	77
III.6.1.2 Résistance à la compression :	78
III.6.2 La détermination du coefficient d'absorption capillaire d'eau (durabilité) :	79
III.6.3 Essai de perte de masse (durabilité) :	81
III.7 Conclusion :	82
 Chapitre IV : Résultats et interprétations	
IV.1 Introduction :	83
IV.2 Influence de la substitution partielle du ciment par fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur le mortier dans un milieu normal (eau):	83
IV.2.1 Flexion :	83
IV.2.2 Compression :	85
IV.3 Influence de la substitution partielle du ciment par fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur la durabilité de mortier (acide sulfurique H₂SO₄) :	87
IV.3.1 Flexion :	87
IV.3.2 Compression :	90
IV.4 Résultats de l'essai de l'absorption capillaire (durabilité):	94
IV.5 Résultats de l'essai de perte de masse (durabilité) :	96
IV.5.1 Variation de la masse dans la solution 5% d'acide :	96
IV.5.2 Variation de la masse dans la solution 2% d'acide :	97
IV.6 Conclusion :	99
 Conclusion générale et perspectives	

Liste des tableaux

Liste des tableaux

(Tableau I.1) : Les quatre phases cristallines principales de clinker	4
(Tableau I.2) : Les différents types de ciment courants	5
(Tableau I.3) : Caractéristique chimique de ciment courante	8
(Tableau I.4) : Caractéristique mécanique des ciments courants	9
(Tableau I.5) : Résistances garanties des ciments courants	9
(Tableau II.1) : Classification des ajouts selon leur réactivité	25
(Tableau III.1) : Pourcentages de ciment et des ajouts	47
(Tableau III.2) : Résultats de l'essai de la consistance normalisée obtenu	51
(Tableau III.3) : Résultats de l'essai de temps de prise	54
(Tableau III.4) : Caractérisation chimiques de Ciment	56
(Tableau III.5) : Composition minéralogique de Ciment	56
(Tableau III.6) : Analyse granulométrique de sable	58
(Tableau III.7) : Résultat de l'essai de l'équivalente de sable	62
(Tableau III.8) : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable	62
(Tableau III.9) : Masse volumique absolue du sable d'Ouargla	64
(Tableau III.10) : Masse volumique apparente du sable d'Ouargla	65
(Tableau III.11) : Composition chimique de filler de gravier roulé en (%)	66
(Tableau III.12) : Caractéristiques physique du filler calcaire	67
(Tableau III.13) : Caractéristiques chimique du filler calcaire	67
(Tableau III.14) : Opération de la Préparation de la pâte de ciment	74

Liste des tableaux

(Tableau IV.1) : Résultats de flexion dans le milieu normal (l'eau)	83
(Tableau IV.2) : Résultats de compression dans le milieu normal (l'eau)	85
(Tableau IV.3) : Résultats de flexion dans la solution 2% d'acides sulfurique (H₂SO₄)	87
(Tableau IV.4) : Résultats de flexion dans la solution 5% d'acides sulfurique (H₂SO₄)	89
(Tableau IV.5) : Résultats de compression dans la solution 2% d'acides sulfurique (H₂SO₄)	90
(Tableau IV.6) : Résultats de compression dans la solution 5% d'acides sulfurique (H₂SO₄)	92
(Tableau IV.7) : Résultats de l'absorption capillaire d'eau	94
(Tableau IV.8) : Résultats de perte de masse dans la solution 5% d'acide sulfurique H₂SO₄	96
(Tableau IV.9) : Résultats de perte de masse dans la solution 2% d'acide sulfurique H₂SO₄	97

Listes des figures

Chapitre I	
(Figure I.1) : Poudre de ciment	02
(Figure I.2) : Schéma de la fabrication du ciment [CMC]	03
(Figure I.3) : Mortier en état frais	13
(Figure I.4) : Table à secousse	19
(Figure I.5) : Appareil de Vicat	20
Chapitre II	
(Figure II.1) : Différents types d'ajouts cimentaires	23
(Figure II.2) : Illustration de l'effet filler	27
(Figure II.3) : Filler de calcaire	28
(Figure II.4) : Gravier roulé de Hassi Sayeh	30
(Figure II.5) : Filler du gravier roulé	30
(Figure II.6) : Laitier de haut fourneau	31
(Figure II.7) : Vue par MEB d'une cendre silico-alumineuse	32
(Figure II.8) : Les cendres volantes	33
(Figure II.9) : Poudre de Fumées de silice	34
(Figure II.10) : pouzzolanes naturelles	35
(Figure II.11) : La poudre de verre	36
(Figure II.12) : Variation de la maniabilité en fonction du pourcentage des fines calcaires (Nouari et Touguy, 1997)	37
(Figure II.13) : Évolution de la chaleur d'hydratation d'un mortier avec 10% de fines calcaires (Senhadji et al, 2015)	38
(Figure II.14) : Résistance mécanique des ciments aux fines calcaires (a) Compression, (b) Traction par flexion, (Nouari et Touguy, 1997)	39
(Figure II.15) : Retrait des ciments aux fines calcaires (Nouari et Touguy, 1997)	39
(Figure II.16) : L'origine des sulfates (interne ou externe)	43
(Figure II.17) : L'attaque par les sulfates	44

Chapitre III	
(Figure III.1) : Ciment Mokaouem CEM I 42,5 N-SR3	48
(Figure III.2) : Essai de consistance par appareille Vicat	49
(Figure III.3) : Essai de prise (A .début de prise B. fin de prise)	53
(Figure III.4) : Essai de stabilisé au chaud	55
(Figure III.5) : Essai d'analyse granulométrique	57
(Figure III.6) : La courbe granulométrique du sable (0/5)	59
(Figure III.7) : Essai d'équivalent de sable	61
(Figure III.8) : récipient rempli par l'agrégat et l'eau	63
(Figure III.9) : récipient rempli par le sable	65
(Figure III.10) : Analyse de diffraction aux rayons X de filler de gravier roulé	66
(Figure III.11) : Répartition granulométrique du filler calcaire	67
(Figure III.12) : Le malaxeur	70
(Figure III.13) : Moule métallique	71
(Figure III.14) : Le balance	71
(Figure III.15) : La table à chocs	72
(Figure III.16) : Le Sable	72
(Figure III.17) : Le Ciment	73
(Figure III.18) : L'eau	73
(Figure III.19) : Les trois milieux de conservation d'éprouvettes	75
(Figure III.20) : Machine d'essai de résistance	76
(Figure III.21) : Machine d'essai de résistance à la flexion	77
(Figure III.22) : Machine d'essai de résistance à la compression	78
(Figure III.23) : Essai d'absorption par capillarité	79
(Figure III.24) : Les échantillons en contact avec l'eau	80
(Figure III.25) : Échantillons du béton après l'immerge dans les solutions acides H₂SO₄ (A : 5% B : 2%)	81

Chapitre IV	
(Figure IV.1) : résistance de flexion dans l'eau	84
(Figure IV.2) : résistance de compression dans l'eau	85
(Figure IV.3) : résistance de flexion dans la solution d'acide sulfurique H₂SO₄ (2%)	87
(Figure IV.4) : résistance de flexion dans la solution d'acide sulfurique H₂SO₄ (5%)	89
(Figure IV.5) : résistance de compression dans la solution d'acide sulfurique H₂SO₄ (2%)	91
(Figure IV.6) : résistance de compression dans la solution d'acide sulfurique H₂SO₄ (5%)	92
(Figure IV.7) : Absorption capillaire d'eau	95
(Figure IV.8) : variation de la masse dans la solution 5% d'acide sulfurique H₂SO₄	96
(Figure IV.9) : variation de la masse dans la solution 2% d'acide sulfurique H₂SO₄	98

Liste des abréviations

Fe₂O₃ : L'oxyde ferrique

Al₂O₃ : L'alumine, ou oxyde d'aluminium

SiO₂ : La silice

MgO : La magnésie

K₂O : L'oxyde de potassium

Na₂, K₂O, Na₂O₃ : Les alcalis

CaO : Chaux vive

C₃S : Silicate tricalcique 'Alite'

C₂S : Silicate Bi calcique 'Belite'

C₃A : Aluminate tricalcique 'Aluminate'

C₄AF : Alumino-ferrite Tétra calcique

CaSO₄ : Le sulfate de calcium

H₂O : Monoxyde de dihydrogène (l'eau)

C-S-H : Silicate de calcium hydraté

Ca (OH) ₂ : L'hydroxyde de calcium

CaCO₃ : Carbonate de calcium

CO₂ : Le dioxyde de carbone

K₂SO₄ : Le sulfate de potassium

K₃Na(SO₄)₂ : L'aphtitalite

Ca₂K₂(SO₄)₃ : Langbeinite

SO₂ : Le dioxyde de soufre

H₂SO₄ : L'acide sulfurique

H₃PO₄ : L'acide phosphorique

pH : Le potentiel hydrogène

HCl : L'acide chlorhydrique

CaCl : Chlorure de calcium

EN : Norme européenne.

NA : Norme Algérienne

5FGR25FC : 5% de fillers du gravier roulé et 25% de fillers calcaire

10FGR20FC : 10% de fillers du gravier roulé et 20% de fillers calcaire

20FGR10FC : 20% de fillers du gravier roulé et 10% de fillers calcaire

25FGR5FC : 25% de fillers du gravier roulé et 5% de fillers calcaire

Liste des abréviations

ρ_{app} : La masse volumique apparente (g/cm^3).

ρ_{abs} : Masse volumique absolue (g/cm^3).

M : Masse.

V : Volume.

M_1 : Poids de récipient.

M_2 : Poids de granulat + récipient.

V_r : Volume de récipient (cm^3).

M_f : Module de finesse.

ES : Equivalent de sable.

E_{SV} : Equivalent de sable visuel en (%).

H_1 : Hauteur (sable + flocculat).

H_2 : Hauteur du sable en (cm).

E/C : Rapport eau sur ciment.

R_f : Résistance à la flexion.

R_c : Résistance de compression.

C_a : Coefficient d'absorption d'eau.

Introduction générale

Introduction générale

Le ciment est le matériau le plus utilisé dans la construction. La production de ciment nécessite une grande énergie qui conduit à la libération d'une quantité importante de CO₂. Le CO₂ contribue à environ 65% du réchauffement climatique.

L'industrie du ciment contribue à environ 7% à effet de serre des émissions de gaz à l'atmosphère de la terre.

La recherche d'un liant moins coûteux en utilisant des déchets et des ressources naturelles est devenue une préoccupation majeure pour obtenir un substitut de ciment à un prix inférieur. Cependant, malgré les avantages techniques, économiques et écologiques rapportés par l'utilisation des ciments composés, ces derniers restent associés à des inconvénients.

Les régions sahariennes montrent des gisements des ressources naturelles comme granulats roulés, les montagnes de calcaires, sable de dune qui peut être utilisé dans la construction et ce que nous pouvons obtenir gratuitement. Malgré cette disponibilité, ces ressources naturelles restent inexploitées jusqu'à ce jour dans le domaine de génie civil. En conséquence, il est nécessaire de remplacer une partie du ciment par quelques matériaux des ressources précédemment mentionnés en différents pourcentages au ciment permet d'améliorer certaines caractéristiques de ciment.

Objectif de l'étude :

L'objectif principal de ce travail est : étudier l'influence des caractéristiques mécaniques et physiques du mortier avec une substitution partielle de ciment par les ajouts « fillers du gravier roulé et fillers calcaire » avec des différents pourcentages, dans les environnements agressifs.

Introduction générale

Le présent travail est subdivisé en quatre (4) chapitres, répartis comme suit :

Une introduction générale pour notre sujet.

- Le chapitre I : Une étude bibliographique sur le ciment et les mortiers et ses composantes.
- Le chapitre II : Les ajouts cimentaires et son utilisation dans l'Algérie, aussi sur les attaques chimiques sur le béton et le mortier.
- Le chapitre III : Un procédé de caractérisation de chaque constituant du mortier, ainsi que la méthodologie suivie pour réaliser ce travail et les essais réalisés sur les mortiers.
- Le chapitre IV: Résultats et interprétations différents essais réalisés sur les mortiers .

Enfin, une conclusion générale qui clôture ce mémoire en synthétisant les principaux résultats obtenus dans notre travail.

Chapitre 1

**Recherche bibliographique sur
le ciment et le mortier**

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le ciment et le mortier

I-1 Introduction :

Le présent chapitre est une étude bibliographique des travaux de recherche sur le ciment et sur les mortiers.

I-2 Le ciment :

I.2.1- Définition et généralité sur le ciment :

Selon la Norme européenne (EN 197-1) [1] Le ciment est un liant hydraulique, en d'autres termes est une matière inorganique finement moulue, qui lorsque est gâchée à l'eau forme une pâte permettant de faire prise et qui durcit suite à des réactions et au processus d'hydratation.

Cette matière conserve, après durcissement, sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Les ciments sont constitués de petits grains individuels de différentes matières, mais ils doivent être statistiquement les moyennes en composition. Un haut degré de régularité dans toutes les propriétés du ciment est obtenu par un procédé continu de production en masse et en particulier, par des procédés convenables de broyage et d'homogénéisation.

Dans le langage courant, le terme de ciment peut être source de confusion lorsqu'il est utilisé pour désigner à la fois:

- La poudre de ciment (par exemple telle qu'elle est commercialisée en sac).
- La pâte de ciment au moment de son gâchage à l'eau.
- Le produit obtenu après durcissement. Dans tout ce qui suit, on distinguera ces différents états en appelant :
 - **Ciment anhydre** (sans eau) la poudre de ciment avant son gâchage à l'eau.
 - **Ciment hydraté** : les composés, insolubles dans l'eau, obtenus par combinaison chimique de l'eau avec le grain de ciment anhydre.
 - **Pâte fraîche de ciment** le mélange d'eau et de ciment anhydre avant que l'hydratation n'ait conduit à en faire un solide appelé pâte de ciment durcie. L'expression de : "pâte de ciment durcissant" sera utilisée pour désigner la pâte de ciment dans sa transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide [2].



(Figure I.1) : Poudre de ciment

I.2.2-Principe de fabrication des ciments courants :

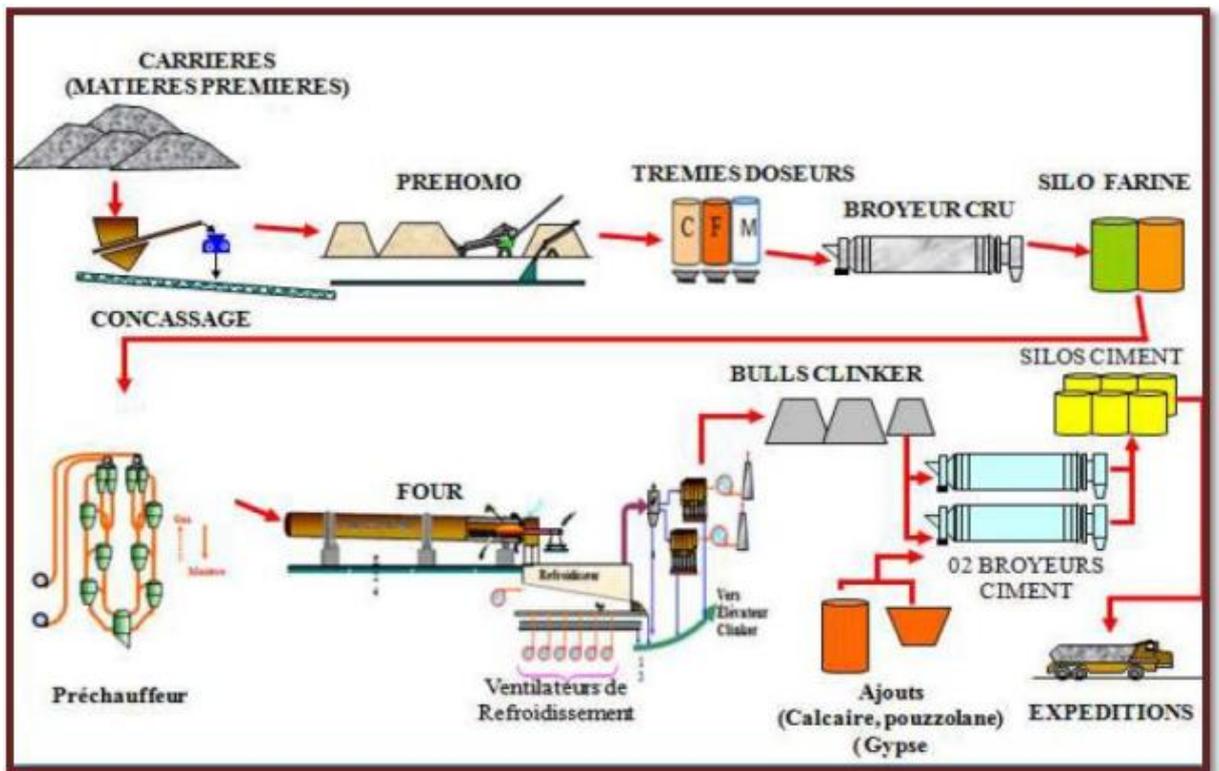
Sans vouloir entrer dans le détail de la fabrication des ciments, il est cependant nécessaire d'en connaître les principes généraux et les différentes phases.

Les matières premières entrant dans la fabrication du clinker sont le calcaire et l'argile dans des proportions proches, respectivement, de 80% et 20%.

Le calcaire apporte le calcium, l'argile apporte la silice SiO_2 , l'alumine Al_2O_3 et l'oxyde ferrique Fe_2O_3 nécessaires au processus de formation du clinker.

Ces matières premières contiennent par ailleurs d'autres éléments que ces oxydes fondamentaux, tels de la magnésie MgO , des sulfates, des sulfures, des alcalis K_2O et Na_2O_3 dont les pourcentages doivent être contenus en deçà des limites précises [3].

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes (figure I-2) :



(Figure I.2) : Schéma de la fabrication du ciment [CMC]

I.2.3 Les Constituants principaux des ciments :

I.2.3.1 Le clinker :

Le clinker, constituant de base des ciments portland est issu de la cuisson à haute température (1450 °C), appelée clinkérisation, d'un mélange d'environ 80% de calcaire et de 20% d'argile. Sa fabrication peut être réalisée selon quatre méthodes : par voie humide, semi-humide, sèche (la plus courante) et semi-sèche.

Le clinker est composé de quatre phases minérales majeures, dites hydraulique

Il renferme également de faible quantité d'alcalis (Na_2 , $\text{K}_2 \text{O}$) et des traces de métaux lourds, par ailleurs de faibles proportions de chaux vive (CaO) et / ou de magnésie (MgO).

Ces dernières sont strictement contrôlées, leur teneur est limitée par crainte de gonflement en présence d'eau.

A la sortie du four ; le clinker est finement broyé avec environ 5% de gypse (Sulfate de Calcium) afin de réguler sa prise le produit ainsi obtenu est le ciment portland.

Mélangé avec de l'eau le ciment donne une pâte de ciment composée de phase solide hydratées et une phase liquide interstitielle alcaline imprégnant un réseau de pores et de capillaire.

Il est établi que le clinker est principalement constitué en proportions variables de :

(Tableau I.1) : Les quatre phases cristallines principales de clinker [4]

Nom	Formule chimique	Notation symbolique	Teneur %
Silicate tricalcique 'Alite'	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S	45<60<79,7
Silicate Bi calcique 'Belite'	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S	5,7<25<29,8
Aluminate tricalcique 'Aluminate'	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	1,1<5<14,9
Alumino-ferrite Tétra calcique	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	2<10<16,5

I.2.3.2 Le Sulfate de Calcium (Le gypse - CaSO_4) :

Le gypse est une roche blanche, d'aspect mat, finement cristallin, tendre (rayable à l'ongle) et de densité 2,3. Quelques traces jaunes de soufre peuvent apparaître. Il est constitué en majeure partie de sulfate de calcium hydraté ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$). Le gypse est très pur (souvent 98%) et ne nécessite pas de purification lors de son exploitation.

Le sulfate de calcium (gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) est un régulateur de prise ajouté en faible quantité aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication de 3 à 5% de la masse du ciment. La teneur en SO_3 ne doit pas dépasser 3.5% dans le ciment. Pour chaque nature de clinker, il existe un pourcentage optimal de gypse qui donne à la fois les meilleurs résistances et le retrait minimal. Pendant le broyage sous l'effet de la température atteinte pendant le broyage et le stockage. Le gypse va se déshydrater en plâtre, éventuellement en anhydrite et modifier le comportement rhéologique du ciment [5,6].

I.2.3.3 Les ajouts minéraux :

Ces ajouts jouent le rôle suivant: d'après leur composition ils se présentent principalement par de la silice amorphe qui réagit activement avec l'hydroxyde de chaux qui se forme lors de l'hydratation des minéraux faisant partie du clinker [7].

I.2.4 Classification des ciments courants :

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme

Chapitre I Recherche bibliographique sur le ciment et le mortier

(NF EN 197 1). Le tableau (I.2) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d’eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu’ils comportent.

(Tableau I.2) : Les différents types de ciment courants [8]

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l’un de constituants suivant : laitier- pouzzolanes- cendres-calcaires- schistes- fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
C P A- CEM I	Ciment portland	95à100%		0 à 5%
C PJ-CEM II/A CPJ-CEMII/B	Ciment portland Composé	80à 94% 65 à79%	- de 6à20% de l’un quelconque des constituants, sauf dans les cas ou les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% - de 21à35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5% 0 à 5%
CHF-CEM III/A CHF-CEM III/B CLK-CEMIII/C	Ciment de haut- Fourneau	35 à 64 % 20 à 34 % 5 à 19 %	-35à65% de laitier de haute-fourneau -66à80% de laitier de haut-fourneau -81 à95% de laitier de haut-fourneau	0 à 5% 0 à 5%
CPZ-CEMIV/A CPZ-CEMIV/B	Ciment Pouzzolanique	65 à90% 45à64%	-10à35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36à55% comme ci-dessus	0 à 5% 0 à 5%
CLC-CEM V/A CLC-CEM V/B	Ciment au laitier et aux cendres	40à64% 20à39%	-18à30% de laitier de haut-fourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5% 0 à 5%

I.2.5 Propriétés des ciments :

I.2.5.1 Caractéristique physiques:

I. 2.5.1.1 Comportement physico –chimique de la pâte :

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

I.2.5.1.2 Prise :

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau.

La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32,5R.

1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

I.2.5.1.3 Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître.

Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ».il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistances [8].

I.2.5.1.4 Chaleur d'hydratation :

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C3A que l'on intérêt à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I [8].

I.2.5.1.5 Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment .elle est, d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g , certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500 cm^2/g [8].

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'évènement du Ciment sont accrus.

I.2.5.1.6 Retrait :

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait.

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et D'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% [8].

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour les ciments portland CPA-CEM I ET CPJ-CEMII de classe 32 ,5R.
- 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour des types de ciment identique mais des classes 32,5R-42,5 et 42,5R.

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

- la nature du ciment ;
- la finesse de mouture ;
- le dosage en ciment, dans le béton ;
- le dosage en eau ;
- la propreté et nature des granulats ;

I.2.5.1.7 Gonflement

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent ; c'est le gonflement.

Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes [8].

I.2.5.2 Caractéristiques chimiques du ciment :

Ciments courants :

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans le tableau (I.3) .ci-après, quant à leur composition chimique.

(Tableau I.3) : Caractéristique chimique de ciment courante [8].

Propriété	Type de ciment	Classe de résistance	Valeur maximale en% de la masse
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Oxyde de magnésium	CPA-CEM I	toutes classes	≤ 5
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Sulfates SO ₃ limite supérieure	CPA-CEM I Et CPJ-CEM II (A et B)	32,5 32,5 R 42,5	$\leq 3,5$
	CPZ – CEM IV et CLC – CEM V CHF-CEM III	42,5 52,5 52,5 R toutes classes	≤ 4 ≤ 4
Chlorures	Tous type de ciment (CHF- CEM III/A et B et les CLK- CEM III/C)	52.5 R toutes les autres classes	$\leq 0,05$ $\leq 0,10$

I.2.5.3 - caractéristiques mécaniques des ciments courants :

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPA à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes:

(Tableau I.4) : Caractéristique mécanique des ciments courants [8]

Classe de ciments	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jours (MPa)	Résistance maximale à 28 jours (MPa)
32,5		$\geq 32,$	$\leq 52,5$
32,5R	$\geq 13,$	$\geq 32,$	$\leq 52,5$
42,5	$\geq 12,$	$\geq 42,$	$\leq 62,5$
42,5R	≥ 20	$\geq 42,$	$\leq 62,5$
52,5	≥ 20	$\geq 52,$	-
52,5R	≥ 30	$\geq 52,$	-

Classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage trouvent par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.

Il y a lieu de distinguer les valeurs spécifiées pour chaque classe de ciment par la norme (tableau précédent), la probabilité étant statistiquement de 95 % pour les résistances minimales et de 90 % pour les résistances maximales, et les valeurs garanties que le fabricant doit respecter à 100 % et qui sont indiquées dans le tableau (1.5) ci-dessous :

(Tableau I.5) : Résistances garanties des ciments courants [8].

Classe de ciments	Résistances garanties à 2 jours (MPa)	Résistances garanties à 7 jours (MPa)	Résistances garanties à 28 jours (MPa)
32,5		17,5	30
32,5R	12	-	30
42,5	10	-	40
42,5R	18	-	40
52,5	18	-	50
52,5R	28	-	50

I.2.6 L'hydratation du ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, il se combine à l'eau en donnant des hydrates stables qui lui confèrent une résistance mécanique. La réaction chimique d'hydratation du ciment conduit donc à la formation d'une pâte qui, après prise, durcit progressivement à l'air ou dans l'eau.

Les mécanismes fondamentaux de l'hydratation du ciment ont été mis en lumière, dès la fin du siècle dernier, par Henri Le Chatelier. Il a notamment décrit les trois phénomènes concomitants qui concourent au phénomène de prise [9]:

- la dissolution des constituants du ciment dans l'eau.
- la formation de solutions sursaturées par rapport aux différents hydrates.
- la précipitation et la cristallisation de ces hydrates dans les vides inters granulaires

I.2.6.1 Hydratation des composants du ciment portland :

Lorsque le ciment entre en contact avec l'eau, une réaction exothermique instantanée se produit avec une forte libération de chaleur, cette période dite de pré-induction est de courte durée (10 – 20 minutes). Elle est suivie d'une période relative inactivée appelée période d'induction ou période dormante au cours de laquelle le dégagement de chaleur est faible, mais jamais nul.

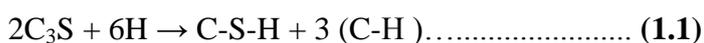
La durée de cette période peut varier entre 2 et 8 heures.

La période d'induction est très importante quant à l'ouvrabilité des bétons et mortiers, car à sa fin s'amorce la prise du ciment avec un fort dégagement de chaleur qui correspond à la période d'accélération associée au début de prise et de durcissement du ciment.

Pour comprendre les changements chimiques et physiques qui se produisent au cours de l'hydratation du ciment portland, il est essentiel d'étudier séparément les réactions des silicates et des aluminates.

I.2.6.1.1 Hydratation du silicate tricalcique C₃S :

L'hydratation des silicates produit des gels de silicate de calcium hydraté et l'hydroxyde de calcium. La réaction du C₃S avec de l'eau est la suivante:



Où C-S-H représente le 3CaO.2SiO₂. 3H₂O (Silicate de calcium hydraté) et (C-H) représente le Ca(OH)₂ (Portlandite).

Les hydrates ainsi obtenus au cours de l'hydratation du C₃S sont :

- les silicates de calcium hydratés (C-S-H) qui occupent entre 60 et 70% du volume de solide d'une pâte de ciment complètement hydratée. Ils ont une structure en feuillets formées de cristaux très petits et mal cristallisés.

- La surface spécifique est très élevée (100 - 700 m²/g).

- La cohésion des feuillets de C-S-H est due aux forces de Van Der Waals entre leurs parties colloïdales.

L'autre composant principal dans l'hydratation des silicates tricalciques est l'hydroxyde de calcium C-H (ou Portlandite) qui occupe entre 20 à 25% du volume des solides de la pâte de ciment complètement hydratée.

La Portlandite a une morphologie hexagonale prismatique. Elle participe peu au développement de la résistance. En fait, la présence de la portlandite peut être un risque, parce qu'elle est fortement soluble et susceptible à l'attaque d'acide et de sulfate [10].

I.2.6.1.2 Hydratation du silicate bi calcique C₂S :

Une fois hydraté, C₂S donne aussi des C-S-H. La réaction est donnée par:



Les études calorimétriques ont montré des résultats semblables à ceux de l'hydratation de C₃S mais avec moins d'évolution de la chaleur. Selon des calculs de stoechiométrie, l'hydratation de C₃S produirait 61% de gel de C-S-H et 39% de CH alors que l'hydratation de C₂S produirait 82% de gel de C-S-H et seulement 18% de CH, donc une quantité plus élevée de C₂S dans le ciment aurait comme conséquence plus de résistance. Pour la résistance au jeune âge, cependant, plus de C₃S est nécessaire, parce que sa vitesse de réaction est plus élevée.

I.2.6.1.3 Hydratation de l'aluminate tricalcique C₃A :

L'hydratation des aluminates est considérablement influencée par la présence du gypse (CaSO₄ 2H₂O). En l'absence du gypse, la réaction de C₃A avec de l'eau est très violente et mène au raidissement immédiat de la pâte, connu sous le nom de prise rapide. En présence du gypse, les C₃A réagissent d'abord pour former le trisulfoaluminate hydraté (Ettringite) qui se cristallise en aiguilles à base Hexagonale. La réaction est donnée par:



Le gypse ajouté au clinker (3 à 5% en poids) n'est pas en teneur suffisante pour transformer tous les aluminates en éttringite.

I.3 Mortiers :

I.3.1 Définition :

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

[14]



(Figure I.3) : Mortier en état frais

I.3.2 Les différents types de mortiers :

I.3.2.1 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 [15].

I.3.2.2 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 [16].

I.3.2.3 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 [15].

I.3.2.4 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.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. 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.

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers).

Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables [15].

I.3.2.5 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.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants [17].

I.3.3 Les utilisations des mortiers de ciment :

La fonction principale d'un mortier est de lier les éléments de maçonnerie de manière à ce qu'ils constituent un seul bloc. Par ailleurs, le mortier sépare les éléments et remplit toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène.

Le rejointoiement doit permettre de renforcer les propriétés structurales des éléments et en même temps empêcher la pénétration de la pluie. Ceci exige une adhérence complète. Si elle est réalisée, le mur aura une durabilité suffisante pour résister aux éléments. Le mortier est employé de diverses manières [18] :

I.3.3.1. Les joints de maçonnerie :

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. On a généralement intérêt à utiliser des mortiers ne présentant pas un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il lie sans fissurer. Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudié et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente [18].

I.3.3.2. Les enduits :

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans le DTU 26.1, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants considérés encore comme non traditionnels [19].

I.3.3.3. Les chapes :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique [18].

I.3.3.4. Les scellements et les calages :

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, scellements de mobiliers urbains, scellements de regards de visite, assemblage d'éléments préfabriqués... [18]

I.3.3.5. Les coulis :

Le coulis est un mélange fluide, à base de charges fines inférieures à 0.3 mm, de liants hydrauliques et d'adjuvants. Outre les liants classiques, il existe aussi des liants spéciaux pour coulis d'injection. Les charges sont constituées par des suspensions d'argile, de bentonite (argile colloïdale). Les domaines d'utilisation des coulis sont les remplissages de cavités et fissures dans les roches, les sols ou les ouvrages béton ou maçonneries [18].

I.3.4. Les composants des mortiers :

I.3.4.1 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 [19].

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.3.4.2 Le sable :

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol.

Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements: il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut [20].

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide [20].

I.3.4.3 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 [20].

I.3.4.4 Les adjuvants :

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

- les plastifiants (réducteurs d'eau);
- les entraîneurs d'air;
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);
- les hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre [21].

I.3.4.5 Les ajouts :

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont:

- poudres fines Pouzzolanique (cendres, fumée de silice..);
- Fibres de différentes natures;
- colorants (naturels ou synthétiques);
- Polymères [21]

I.3.5 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 et divers éléments moulés.
- Etre le constituant essentiel du béton
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection [22].

I.3.6 Caractéristiques des mortiers :

Les caractéristiques principales des mortiers sont: [14]

I.3.6.1 Ouvrabilité :

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

- **Table à secousses:** Après le démoulage du mortier, ce dernier reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule : $E\% = 100 * \frac{D_r - D_i}{D_i}$

Avec: Dr: diamètre final

Di: diamètre initial



(Figure I.4) : Table à secousse

- **Maniabilimètre du LCPC:** est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule. [14]
- **Le cône:** Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur. [14]

I.3.6.2 Résistances mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression.

Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs:

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours. [8]

I.3.6.3 Prise :

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur. [14]



(Figure I.5) : Appareil de Vicat

I.3.6.4 Retraits et gonflements :

➤ Le Retrait :

Les retraits se mesurent sur des prismes 4x4x16cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours.

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment). [14]

➤ Le gonflement :

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Chatelier inférieure sur pâte pure à 10mm). [14]

I.4 Conclusion :

Cette première partie bibliographique nous a permis de rappeler la définition de ciment portland, ainsi que les principaux constituants, ensuite on à présenter les principes de base des mécanismes d'hydratation des matériaux à matrice cimentaire, et aussi sur le mortier et leur utilisation et constituant, et les types de mortier.

Chapitre 2

**Les ajouts minéraux et
les attaques chimiques**

Chapitre II : Les ajouts minéraux et les attaques chimiques

II.1 Introduction :

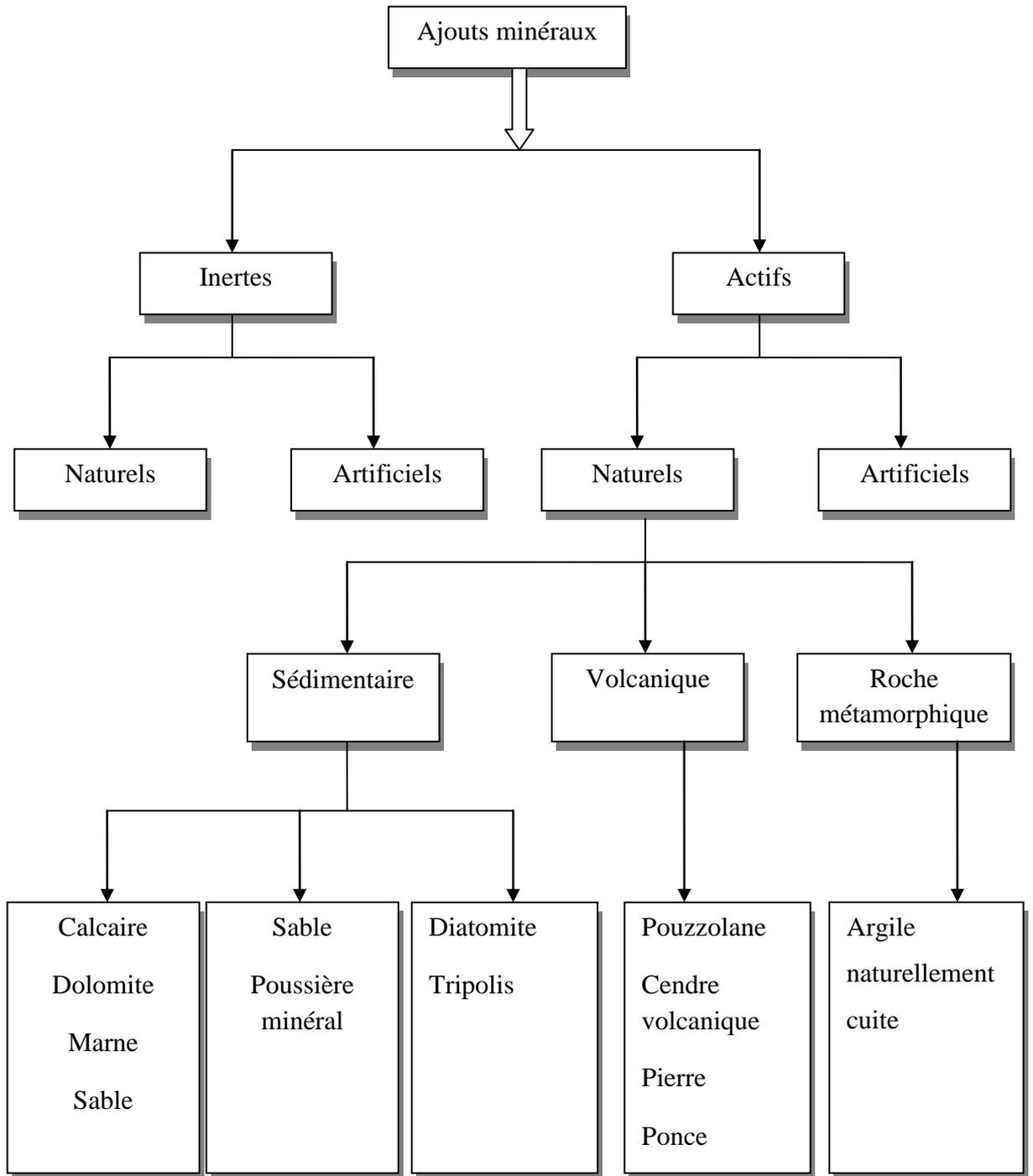
Les ajouts minéraux sont largement utilisés au remplacement du ciment portland à travers le monde. Le laitier du haut fourneau, les cendres volantes, la fumée de silice ...etc, sont les matériaux les plus fiables pour leur qualité ou la réaction pouzzolanique améliore la résistance des bétons aussi que leurs durabilité. [23,24]

De nos jours, l'utilisation des sous-produits minéraux est entrain de devenir un devoir national et un impératif économique dans certains pays. L'industrie du ciment et du béton s'est intéressée à cette nouvelle orientation en utilisant certains de ces produits au cours du processus de fabrication du ciment ou du béton. [25] Toutefois, cette utilisation est régie par certaines caractéristiques recommandées afin de ne pas nuire aux résistances et à la durabilité des bétons.

II.2 Définition des ajouts cimentaires :

Selon les normes (ASTM C125, ASTM C219), les ajouts minéraux sont, par définition, « des matériau autres que l'eau, agrégats, ciment et acier de renfort, utilisés comme ingrédient de béton ou de mortier, et ajoutés, immédiatement avant ou pendant le malaxage».

En outre, ce terme inclue des matériaux qui sont additionnés au ciment Portland, en quantités limitées et excédant 5 % de son poids, au cours de son fabrication ou de son utilisation pour modifier les propriétés d'usage du produit fini (mortier ou béton), telles que la maniabilité à l'état frais ou la résistance mécanique et la durabilité, à l'état durci. [26]



(Figure II.1) : Différents types d'ajouts cimentaires [14]

II.3 Rôle de l'ajout cimentaire :

II.3.1 Rôle de la granulométrie de l'ajout

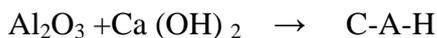
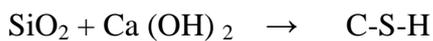
Les ajouts cimentaires finement broyés comblent les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide ce qui permet de diminuer la quantité d'eau. Le rôle propre du super plastifiant est essentiellement la défloculation (grâce à sa propriété dispersante), ce qui engendre des grappes d'ultrafines qui se forment lors du gâchage et leur permet ainsi de jouer leur rôle granulaire. [27]

II.3.2 Rôle pouzzolanique des ajouts cimentaire

L'hydratation du ciment portland libère une grande quantité de chaux à la suite de la réaction de l'hydratation du C_3S et C_2S (30 % de la masse du ciment). Cette chaux contribue peu à la résistance de la pâte cimentaire hydratée. Elle peut même être responsable de problème de durabilité puisqu'elle peut être assez facilement lessivée par de l'eau ; ce lessivage augmente alors la porosité dans le bétonné qui augmente la perméabilité de lessivage. [28]

Les ajouts cimentaires (actifs) réagissent avec cette chaux libérée par l'hydratation du ciment pour donner des C-S-H, véritable liant contribuant à l'augmentation des résistances mécaniques du matériau. L'idéal est d'avoir une ultrafine à grande cinétique de réaction, avec des grains lisses (à défloculation facile) et à très forte activité pouzzolanique. [29,27]

Les réactions pouzzolanique sont les suivantes :



II.4 Classification des ajouts minéraux :

Selon la norme NF EN 197 1, les ajouts minéraux sont classés en actifs et inertes. Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau (II.1) ci-dessous.

(Tableau II.1) : Classification des ajouts selon leur réactivité [30]

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent		Laitier granulé-cendres volantes riche en calcium (calciques)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement Réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, , terres a diatomées
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

II.4.1 Principaux ajouts minéraux inertes

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimension supérieure à 60 μ m ne subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes.

En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de micro agrégats.

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau). Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière. [31]

II.4.1.1 Fillers calcaire :

II.4.1.1.1 Propriétés Requises Du Filler Calcaire :

Un filler calcaire est une fine minérale obtenue par broyage d'une roche calcaire de manière à répondre aux critères de conformité de la norme sur les additions minérales calcaires (NF P18-508). L'appellation de filler calcaire vient du fait que cette addition, si elle est broyée assez finement, s'insère dans le squelette granulaire du ciment (Figure II-2) et permet donc de combler les vides entre les autres particules de dimensions plus importantes du béton (ciment, granulats). L'effet, appelé effet filler, se traduit par une compacité plus importante du squelette granulaire et va donc avoir des effets sur les propriétés aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.

II.4.1.1.2 L'utilisation Des Fillers Calcaires :

L'utilisation des fillers calcaires dans l'industrie du ciment et du béton est assez récente. Ils sont soit récupérés lors du concassage des granulats calcaires et peuvent alors contenir des résidus argileux et des matières organiques, soit obtenus par broyage du matériau cru. Leur composition chimique est celle du carbonate de calcium (CaCO_3). 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.

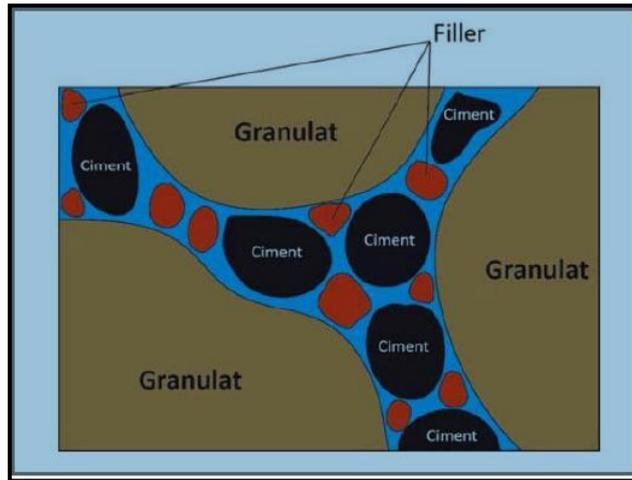
Le filler calcaire utilisé est de type ALCAL F50, composé essentiellement de carbonate de calcium CaCO_3 avec une teneur de 99 %, produit par l'entreprise nationale des granulats à l'usine de carbonate de calcium EL-khroub située à 12 km de Constantine.

II.4.1.1.3 Le Rôle Des Fillers Calcaires :

Les différents résultats montrent que les fillers calcaires peuvent jouer 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 .
- un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat.

Plusieurs auteurs ont étudié l'effet de l'ajout des fillers calcaires sur les performances rhéologiques des bétons. [32][33][34]



(Figure II.2) : Illustration de l'effet filler.

Les additions calcaires sont des additions de Type I classées comme quasiment inertes. Les critères qui les définissent dans la norme [NF P18-508] représentent des propriétés physiques et chimiques.

Si l'addition calcaire répond aux critères de conformité de la norme NF P18-508, elle peut alors être prise en compte lors de la formulation du béton pour des dosages prescrits par la norme [NF EN 206-1]. Dans ce contexte une partie du filler calcaire peut être utilisée dans le calcul du liant équivalent en respectant les restrictions.

$$Leq = C + KA$$

Avec :

Leq : Liant équivalent

C : dosage en ciment en kg/m³.

A : quantité de l'addition en kg/m³.

K: coefficient de prise en compte de l'addition à condition que l'indice d'activité de l'addition calcaire soit supérieur à 0,71.

II.4.1.1.4 Influence Des Fillers Calcaires Sur Les Propriétés Des Bétons :

Si un filler calcaire est essentiellement utilisé comme une addition inerte permettant de remplacer une partie du ciment et éventuellement d'augmenter le volume de poudre dans le béton, son influence sur les propriétés du béton depuis l'état frais jusqu'à l'état durci est un aspect important à prendre en compte pour limiter l'apparition de désordres (homogénéité, aspect de surface, baisse des résistances).

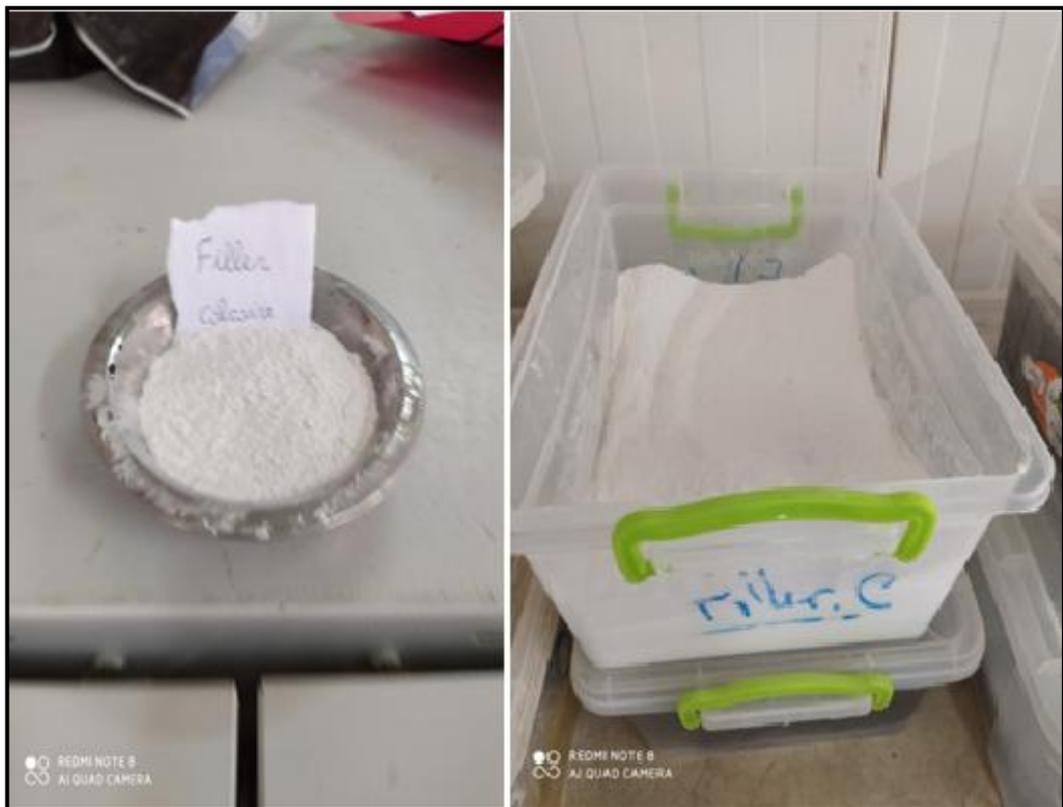
II.4.1.1.5 Fillers Calcaire Et Résistance Mécanique :

Selon les études faites par [35] , [36] , [37] montre que l'utilisation de filler permet l'amélioration des résistances mécaniques des mélanges cimentaires (pâte, mortier, béton). Cet effet positif dépend fortement du dosage en filler et le maximum de résistance est généralement atteint avec un taux de substitution de 10%. Au-delà, l'effet du filler n'entraîne pas de modification des résistances ou alors entraîne une diminution.

D'après Lawrence et dans son étude il a constaté qu'une augmentation de la finesse du filler permet d'améliorer les résistances des mélanges cimentaires sur mortier [38].

Cette influence positive du filler sur les résistances mécaniques des bétons peut être expliquée par deux phénomènes. Tout d'abord, l'ajout de filler fin permet d'améliorer la densité de la matrice générale du béton et plus spécifiquement de la zone de transition pâte-granulats.

D'un autre côté, bien que qualifié d'addition inerte, le filler calcaire influe sur l'hydratation du ciment en servant de site de nucléation.



(Figure II.3) : Filler de calcaire

II.4.1.2 Gravier roulé :

II.4.1.2.1 Définitions et Description :

Les granulats, dont le gravier roulé, sont définis comme étant un ensemble des grains chimiquement inertes, de dimensions allant jusqu' à 125 mm (NF P18-101). Les granulats sont classifiés selon plusieurs critères, tels que la provenance, la taille et la masse volumique. Le gravier roulé est un agrégat pierreux d'origine alluvionnaire, aux grains de dimension généralement comprise entre 2mm et 80 mm.

II.4.1.2.2 Origine :

Le gravier roulé provient soit du dragage de rivière, soit extrait dans des carrières, Le gravier de rivière est essentiellement composé de grains arrondis sous l'effet du courant d'eau. [39]

Le gravier roulé se présente sous divers aspects selon la région ou il est rencontré. Ci-dessous quelques exemples de gravier roulés.

Gravier roulé de marbre multicolore : Au Portugal, un gravier blanc roulé, nuancé de couleurs orangées, roses et bordeaux, existe en différents calibres. [40]

Dans la région d Ouargla existe deux principaux types de gravier :

Le gravier roulé de Hassi Sayeh comporte deux formes de particules : des particules de couleur gris Enrobées d'une couche de calcaire et des particules rougeâtres.

Des ponts d'extraction de ces matériaux sont observables à partir de 2km du chantier actuel d'extraction de sable.

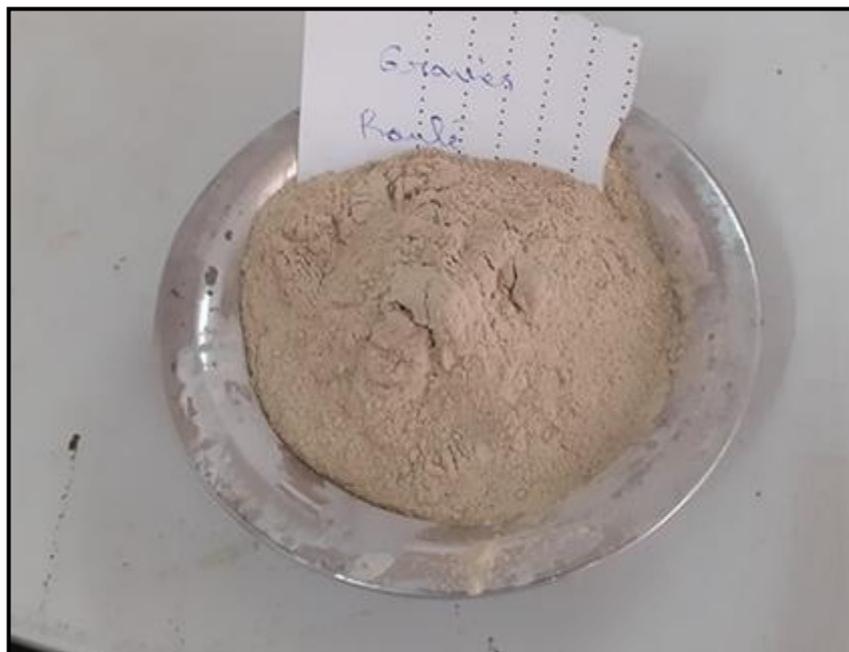
Le gravier roulé de Oued n'ssa Celui-ci est un ensemble des particules de nuance de gris à blanc. Ces dernières sont un peu plus volumineuses que celles de Hassi Sayeh.

L'extraction des graviers roulés dans les régions citées se fait de manière traditionnelle.

C'est-à-dire la pelle manuelle et grille de tamisage. Ce principalement, à cause de la faible demande en la matière. En effet, les domaines d'utilisation du gravier roulé sont très peu nombreux et consomment d'infimes quantités par rapport aux réserves existantes. Ceci rend l'industrialisation du procédé d'extraction non justifiée. D'une autre part, et à cause du caractère pénible d'extraction traditionnelle, le prix de revient du m³ de gravier roulé est comparable à celui du gravier concassé.



(Figure II.4) : gravier roulé de Hassi Sayeh



(Figure II.5) : Filler de gravier roulé

II.4.2 Les ajouts minéraux actifs :

II.4.2.1 Laitier granulé des hauts fourneaux :

C'est un résidu minéral de la préparation de la fonte dans les hauts fourneaux à partir du minerai et du coke métallurgique. C'est un matériau non ferreux, formé en majeure partie par des silicates et aluminosilicates de calcium. Il sort du trou de coulée à une température de l'ordre de 1500°C.

Figé par refroidissement brusque, ce processus de vitrification permet d'obtenir un produit granulé.

Pour acquérir les propriétés d'un ciment hydraulique, le refroidissement doit s'effectuer rapidement afin de réduire la température à 800°C. La première technique était très simple ; la versée du jet de laitier liquide dans un bassin rempli d'eau. La deuxième technique ; consiste au refroidissement du laitier par l'action conjuguée de l'eau et de l'air via un tambour rotatif. Les granulats résultants varient en taille de quelques millimètres à environ 15 mm. Les avantages de cette méthode pour le fabricant sont divers : limiter les émissions de gaz sulfureux, la formation d'un produit plus sec, qui peut également être vendu comme un agrégat léger et surtout la réduction du coût de traitement. [41]

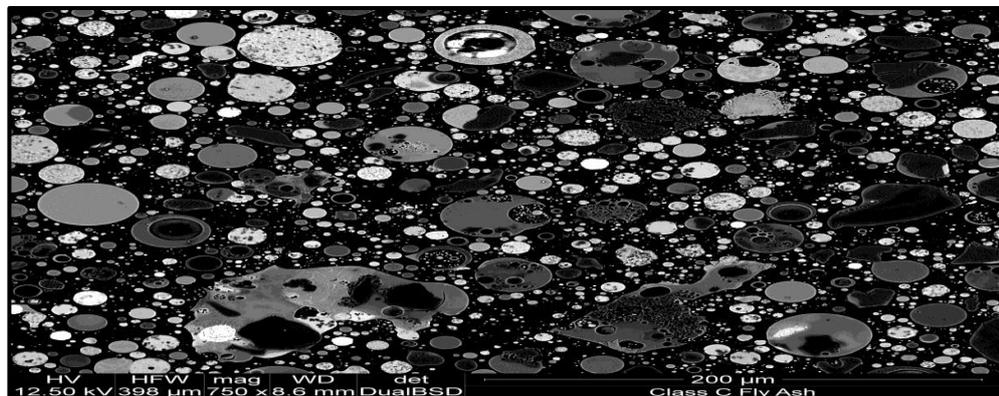


(Figure II.6) : Laitier de haut fourneau

II.4.2.2 Cendres volantes :

Ce sont des particules très fines récupérées par le système de dépolluissage des centrales thermiques. Les compositions chimiques et les compositions de phase, sont reliées aux matières contenues dans le charbon brûlé à la centrale thermique, Par exemple, dans son travail P. Adamiec et al. ont enregistré que la cendre volante contenait : du quartz hérité du charbon d'origine et la mullite issue de la transformation de la kaolinite [42]. Les cendres volantes peuvent avoir une forme sphérique avec une distribution granulométrique semblable à celle du ciment Portland, ou contenir des sphères creuses et même dans certains cas des particules angulaires.

Le remplacement en masse dans les matériaux cimentaires est souvent de 15-25% pour les cendres volantes de classe F et entre 15 à 40% en masse pour les cendres volantes de classe C. Cette addition a des effets bénéfiques sur les propriétés rhéologiques de la pâte de ciment, car les petites particules sphériques ($> 45\mu\text{m}$) et les particules de carbone poreux peuvent réduire les besoins en eau du matériau cimentaire. [43]



(Figure II.7) : Vue par MEB d'une cendre silico-alumineuse



(Figure II.8) : Les cendres volantes

II.4.2.3 Fumées de silice :

Sous-produit de la fabrication du silicium, du ferro-silicium ou des silico-alliages. La fumée de silice est généralement grise foncé à noir ou blanc cassé. La fumée de silice est une poudre très fine constituée principalement de particules sphériques ou des microsphères de diamètre moyen d'environ 0.15 microns, avec une surface spécifique très élevée (15000- 25000 m²/kg). Chaque microsphère est en moyenne 100 fois plus petite qu'un grain de ciment moyen. Par exemple un dosage de 10% en masse de ciment, il y aura 50-100 mille particules de fumée de silice par grain de ciment.

Jusqu'en 1985, cette silice n'était pas valorisée. Ces "poussières" étaient d'abord rejetées dans l'atmosphère puis, pour protéger l'environnement, récupérées par filtration des fumées et placées en décharge.

Dans le béton durci, la fumée de silice améliore la résistance mécanique et la résistance aux cycles gel/dégel, d'un autre côté elle réduit l'action des attaques chimiques, la porosité et la perméabilité. Cette amélioration est due à l'accélération de la réaction d'hydratation et l'effet pouzzolanique. [44]



(Figure II.9) : Poudre de Fumées de silice

II.4.2.4 Les pouzzolanes naturelles :

Au cours des éruptions volcaniques, une matière minérale fluide ou visqueuse d'une température comprise généralement entre de 700 à 1200 °C, contenant des gaz dissous et provenant de la fusion de roches en profondeur appeler « magma », est projeté en lambeaux de lave fluide et incandescente. Les formes de solidification adoptées par ces lambeaux de lave dépendent essentiellement de leur viscosité, la vitesse de refroidissement et de la teneur en gaz. [45]



(Figure II.10) : pouzzolanes naturelles

II.4.2.5 Les pouzzolanes artificielles

De nouveaux ajouts à caractère pouzzolanique voient le jour grâce aux techniques d'investigations. Les pouzzolanes artificielles peuvent être de la boue de papeteries, la cendre bagasse de la canne à sucre.

Le traitement thermique d'une boue de papeterie constituée principalement par la kaolinite, quartz, calcite, talc, géhlénite et clinochlore, à des degrés allant de 650°C à 800°C, améliore l'activité pouzzolanique et est meilleure pour des échantillons de cendre calcinée à 700°C. Par contre, les cendres obtenues à 800°C présentent une faible activité pouzzolanique.

Le mortier contenant 75% de ciment et 25% cendre de boues calcinées, présente une résistance relativement équivalente à un mélange de mortier standard. [46]

II.4.2.6 Le verre

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contient des quantités relativement appréciables de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est finement broyé.

Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement du ciment Portland dans les bétons.

Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons se gonflent et se fissurent. [48],[47]

Depuis, l'idée a été en partie abandonnée. Ce n'est que depuis une vingtaine d'année que le sujet est redevenu d'actualité. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables municipalités et celles-ci ont encouragé de nouvelles études. [49],[50]



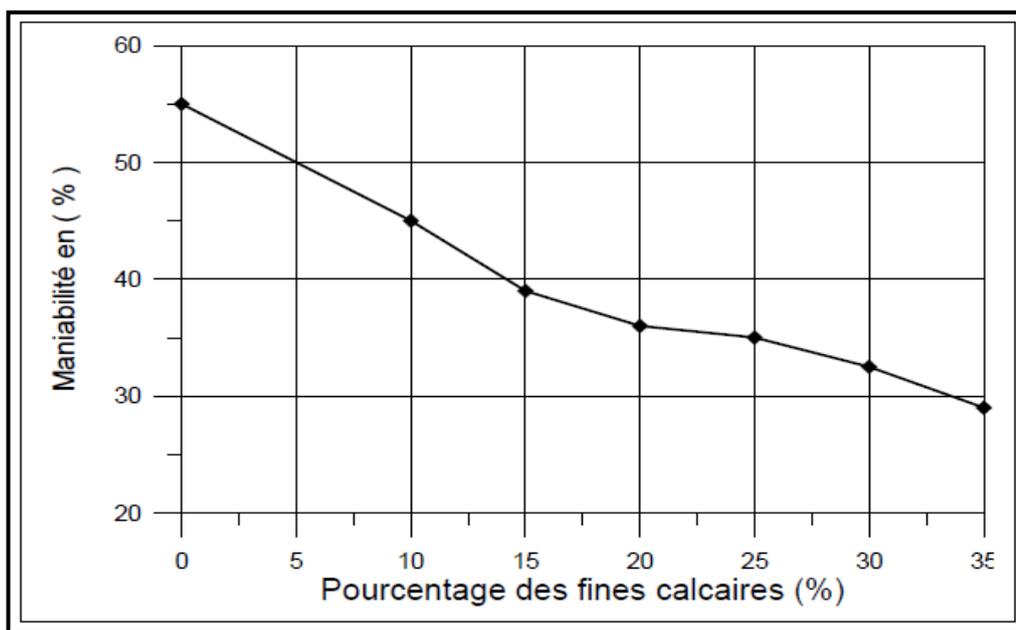
(Figure II.11) : La poudre de verre

II.5 Propriétés du béton aux fines calcaires :

II.5.1 Béton frais :

A- Consistance et maniabilité :

Dans leurs travaux de recherche, L. Nouari, M. Touguy et A. Aziz, ont constaté que la maniabilité des ciments et des mortiers contenant des fines calcaires est affectée d'une manière très sensible. Elle passe de 55%, pour le témoin (0% d'ajout calcaire) à 45 % pour une teneur de 10 %, et atteint 36 % pour 20 % de fines, (Figure II.12) (Nouari et Touguy, 1997) [51].



(Figure II.12) : Variation de la maniabilité en fonction du pourcentage des fines calcaires (Nouari et Touguy, 1997)

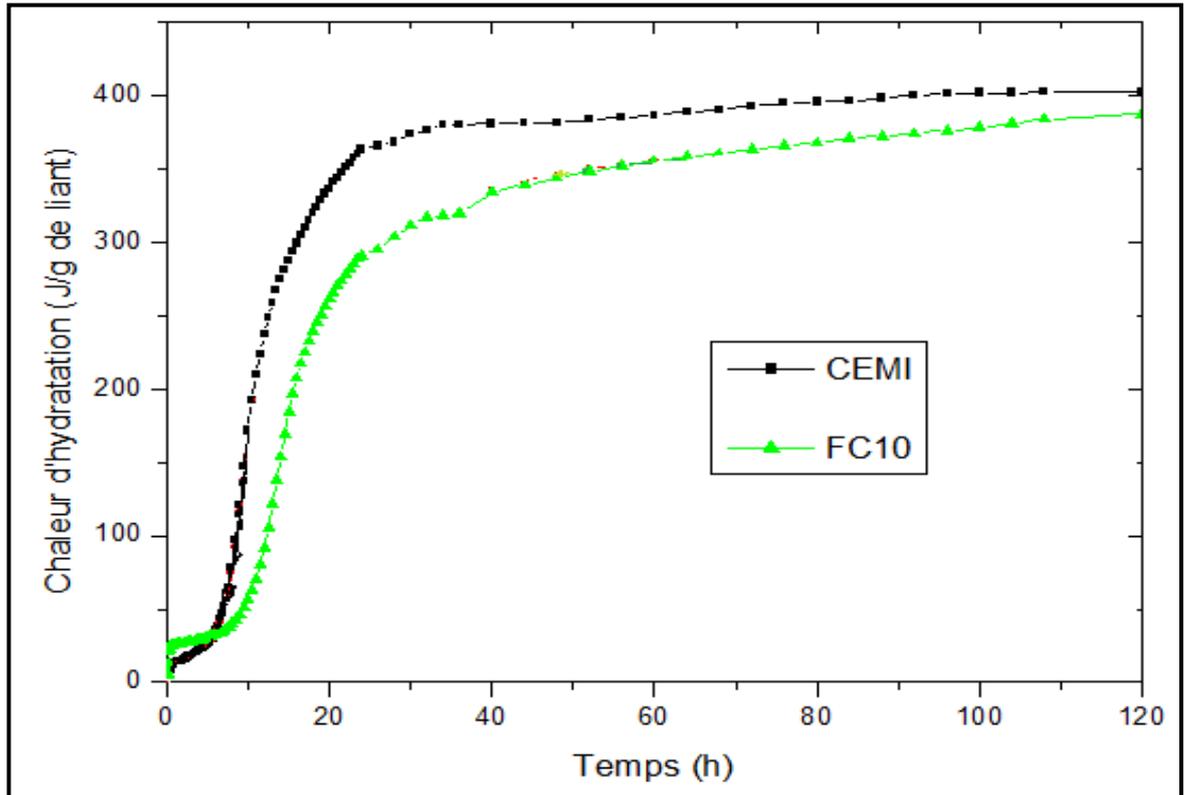
B- Chaleur d'hydratation

L'étude calorimétrique réalisée par Senhadji et al., (2015), leur permet de constater que le remplacement du ciment par les fillers calcaires diminue d'une façon significative la chaleur d'hydratation du ciment avec ajout, ce qui réduit l'effet du retrait de la pâte. En effet la chaleur d'hydratation ainsi que le flux de chaleur maximum diminuent avec la substitution des fines calcaires au CEM I (Figure II.13).

Cela est dû -selon les auteurs- à la quantité de chaleur dégagée pendant l'hydratation du ciment contenant de l'ajout.

La chaleur dégagée par le CEM I est plus importante que les chaleurs dégagées par les mortiers à 10% de fines calcaires. Ceci s'explique par le fait que la proportion de ciment contenue dans le CEM I est plus importante.

Le remplacement de 10% du ciment par les fillers calcaires, diminue le second pic du flux d'hydratation (Senhadji et al., 2015). [51]



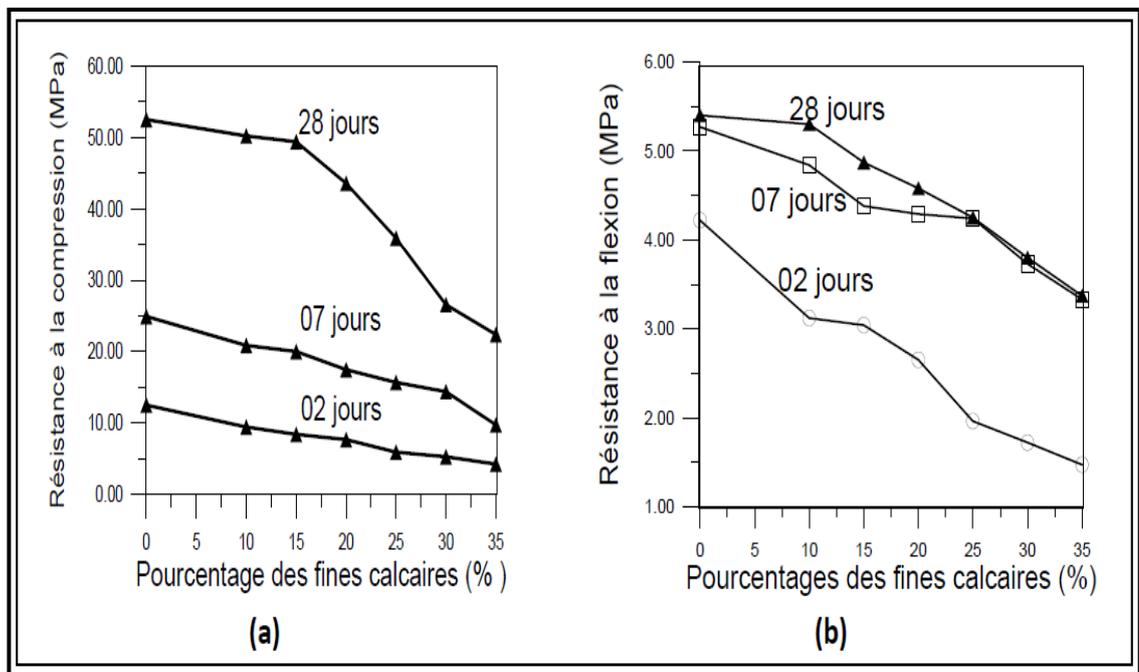
(Figure II.13) : Évolution de la chaleur d'hydratation d'un mortier avec 10% de fines calcaires (Senhadji et al, 2015).

II.5.2 Béton durci

A- Résistance mécanique

Plusieurs auteurs ont conclu que l'ajout des fines calcaires aux mortiers et aux bétons, engendre une chute des résistances qui n'est pas très importante lorsque la teneur en fines n'excède pas 20 %, (Figure II.14).

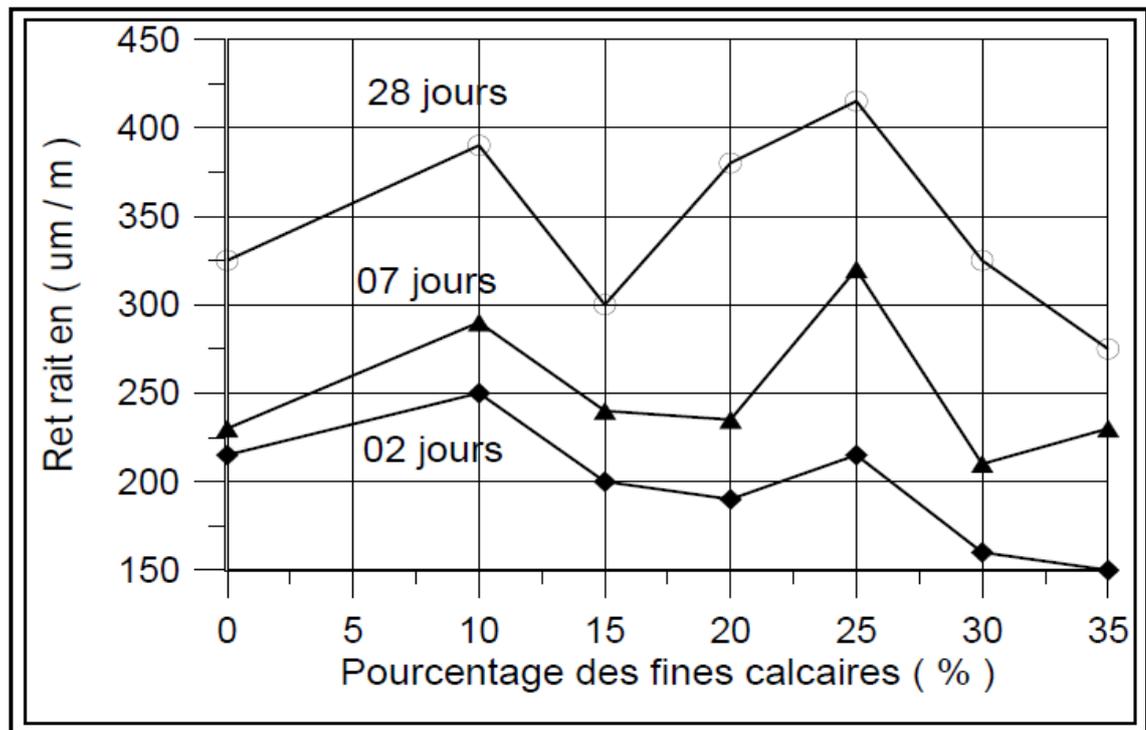
On note également que la cinétique d'évolution de la résistance à la flexion aux jeunes âges des ciments à l'ajout calcaire est plus élevée que celle du ciment témoin, avec une tendance asymptotique des ciments renfermant plus de 20 % des fines lorsqu'on approche de l'âge de 28 jours (Nouari et Tougy, 1997 ; Ramires et al., 1990 ; Paillère et Ravrdy, 1977). [51]



(Figure II.14) : Résistance mécanique des ciments aux fines calcaires.
(a) Compression, (b) Traction par flexion, (Nouari et Tougy, 1997).

B - Retrait

Les retraits des mortiers et des bétons renfermant des fines calcaires sont fluctueux, (Figure II.15). Toutefois, la variation du retrait reste généralement faible et comparable pour toutes les teneurs jusqu'à 35%, (Benna, 1995 ; Nouari et Touguy, 1997). [51]



(Figure II.15) : Retrait des ciments aux fines calcaires (Nouari et Touguy, 1997).

Tandis que Senhadji et al. (2015), confirment que 10% de fines calcaire diminue la chaleur d'hydratation et par conséquent, réduit l'effet du retrait de la pâte. [51]

II.6 L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil :

II.6.1 Intérêt du point de vue technique :

L'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux de très grande surface active, comme les fumées de silice). Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments composés, les ajouts minéraux améliorent la résistance à la fissuration. [30]

II.6.2 Intérêt du point de vue économique:

Le ciment Portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puis qu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plus part des ajouts susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou le béton sont des sous-produits, et à ce titre, nécessite relativement moins d'énergie, si non aucun, et sont moins coûteux que le ciment Portland. [30]

II.6.3 Intérêt du point de vue environnemental:

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO_2). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO_2 . Le taux de substitution de clinker est du même ordre que la diminution de rejet de CO_2 [30].

II.7 Effets des ajouts sur les propriétés des bétons :

II.7.1 Amélioration de l'ouvrabilité:

Si nous ajoutons une quantité d'une fine poudre à un béton, nous diminuons le ressuage et la ségrégation dans ce béton, en diminuant le volume des vides. L'utilisation des cendres volantes ou du laitier diminue le besoin en eau d'un béton pour obtenir une certaine consistance.

Pour cette même consistance l'utilisation de poudres ayant une très grande surface spécifique, comme les fumées de silice, tend à augmenter la quantité d'eau nécessaire. La demande en eau et la maniabilité d'un béton contenant des ajouts minéraux dépend de leur forme et de la granulométrie des particules. La norme ASTM C 618 limite la quantité des particules $> 45 \mu\text{m}$ à un maximum de 34 % [52].

II.7.2 Chaleur d'hydratation:

Le remplacement du ciment par une pouzzolane diminue de façon significative la chaleur d'hydratation du ciment, et par conséquent la fissuration d'origine thermique du béton

La chaleur d'hydratation des ajouts pouzzolanique est égale à environ la moitié de celle du ciment Portland.

II.7.3 Durabilité:

Par rapport au ciment Portland, les ciments aux ajouts pouzzolanique ont une meilleure résistance aux acides et aux sulfates. Cela est dû à l'effet combiné d'une meilleure imperméabilité pour un même rapport E/L, et à une diminution de la quantité de CH.

Les sulfates peuvent détruire le béton en se combinant avec les aluminates du ciment pour former de l'ettringite expansive.

Les conditions pour que cette réaction se passe sont. La perméabilité du béton, la quantité de CH et la quantité d'aluminate dans le mélange à cause de leur bonne imperméabilité et surtout d'une faible quantité de CH, des bétons faits à partir de ciment au laitier résistent très bien à l'attaque des sulfates, malgré une quantité importante de C_3A dans le ciment.

Les ajouts pouzzolanique tels que le laitier, diminuent l'expansion des bétons qui se produit par réactions entre les alcalis du ciment et les granulats réactifs. Les alcalis sont piégés dans le C-S-H formé par l'ajout.

II.7.4 Développement des résistances:

Bien que le développement des résistances soit lent, les résistances à long terme dépassent quelques fois celles du ciment Portland sans ajouts, à condition d'optimiser la quantité d'ajout. Cette Augmentation des résistances est due à l'affinage des pores et des grains ainsi qu'à l'augmentation de la quantité de C-S-H.

II.7.5 Développement des bétons à haute résistance :

L'utilisation des ajouts, pour des raisons d'ordre économique ainsi que pour améliorer la durabilité des bétons, en remplacement d'une partie du ciment, tend à diminuer les résistances initiales et à augmenter les résistances finales .Les pouzzolanes très réactives, comme les fumées de silice, sont capables de donner des bétons à haute résistance, tant à jeune âge d'eau. Tous les ajouts utilisés qu'à long terme, surtout si la quantité d'eau est diminuée par l'addition d'un agent réducteur en remplacement partiel des granulats fins augmentent les résistances à tous les âges.

Les résistances à jeune âge se développent à cause de l'accélération de l'hydratation du ciment, tandis que celles à long terme se développent grâce à la réaction pouzzolanique qui cause l'affinage des pores et le remplacement du CH par du C-S-H. [13]

II.8 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 Béni – Saf. [7]

II.9 Les attaques chimiques des bétons et mortiers :

II.9.1 Attaque des sulfates :

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

L'attaque sulfatique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimico-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé. [53]

II.9.1.1 Sources des sulfates :

-On distingue deux types d'attaques : les attaques par les sulfates externes présents dans l'environnement du béton et les attaques sulfatiques internes pour lesquelles les sulfates proviennent des composants du béton lui même. [54]

-Lorsqu'il s'agit d'une attaque par les sulfates provenant de l'extérieur, il y a formation de couches de gypse et d'ettringite secondaire ainsi que la thaumasite à partir de la surface exposée aux sulfates.

L'attaque par les sulfates externes est souvent combinée avec l'attaque par le cation correspondant, selon la provenance des sulfates, qui peuvent réagir avec certains granulats ou fillers, ou avec les C-S-H ou la portlandite, et contribuer davantage à la dégradation du béton.

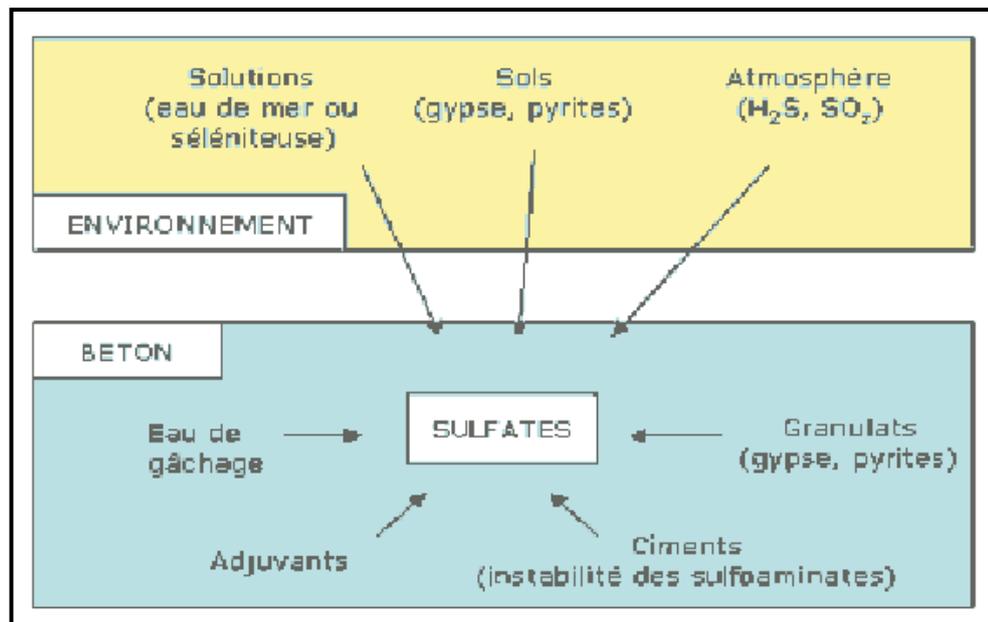
De plus, l'attaque par les sulfates externes peut être combinée à une attaque par l'acide ce qui accélère également la destruction de la pâte hydratée.

-Lorsqu'il s'agit d'une attaque interne par les sulfates, ces derniers proviennent presque uniquement des sulfates de calcium qui se trouvent dans le béton dès sa confection.

Par conséquent, ces sulfates sont uniformément répartis dans la pâte hydratée et le seul produit expansif de la réaction est l'ettringite.

L'ettringite secondaire qui est le résultat d'une attaque par les sulfates externes, n'est pas seule à endommager le béton, c'est plutôt la formation du gypse qui contribue à la fissuration, la lixiviation et le délaminage des couches superficielles. [7]

L'origine des sulfates peut être : externe (environnement) ou interne (composants du béton ou mortier).



(Figure II.16) : L'origine des sulfates (interne ou externe). [55]

Les sulfates peuvent avoir différentes origines:

- Ils peuvent d'abord provenir du régulateur de prise ajouté au ciment (gypse, hémihydrate, anhydrite) auquel s'ajoutent, en proportions variables, les sulfates contenus dans le clinker lui-même : sulfates alcalins (arcanite K_2SO_4 , aphaltalite $K_3Na(SO_4)_2$, langbeinite $Ca_2K_2(SO_4)_3$) et solutions solides dans les silicates de calcium.
- Ils peuvent également provenir de l'utilisation de granulats pollués par des sulfates d'origine naturelle ou artificielle (gypse, plâtre, anhydrite ou encore pyrites).

- Ils peuvent venir du milieu extérieur où ils se trouvent sous forme solide (sols gypseux), liquide (eaux naturelles percolant à travers les sols et solutions plus ou moins concentrées d'origine diverses), ou gazeuse (pollution atmosphérique par le SO_2):

Les sols peuvent parfois contenir des sulfures de fer (pyrites) qui, par oxydation, peuvent donner naissance à l'acide sulfurique H_2SO_4 , puis au gypse s'ils sont en contact de carbonate de calcium ou de chaux.

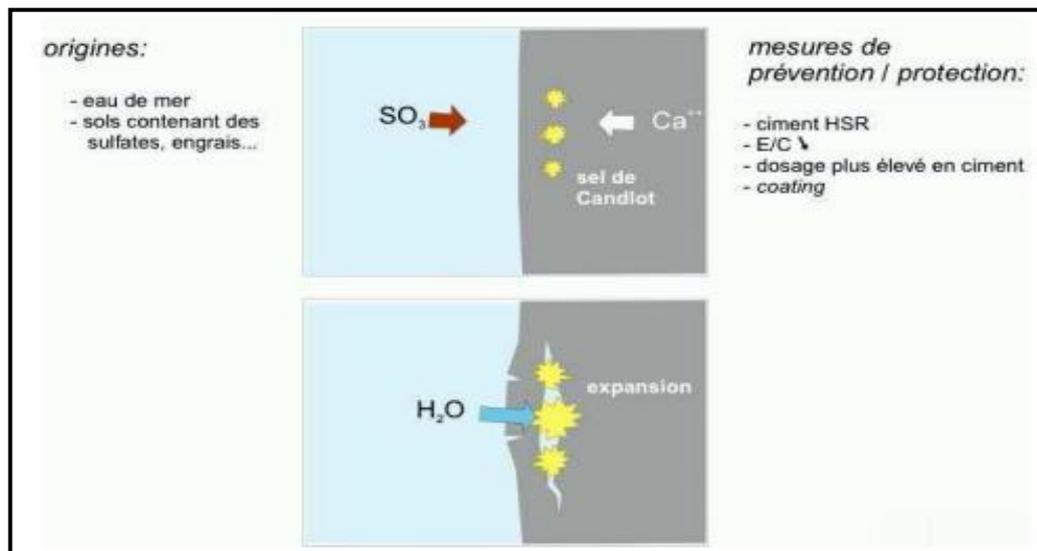
- Les eaux d'infiltration peuvent se charger en ions SO_4^{2-} au contact des sols ou des remblais contenant des sulfates.

- Les fermentations anaérobies qui se produisent dans les ouvrages d'assainissement conduisent également à la formation d'acide sulfurique à partir de l'hydrogène sulfuré dégagé.

- L'eau de mer contient des sulfates en solution. [56]

II.9.1.2 Mécanismes d'attaques :

Le schéma suivant résume les différentes étapes de l'attaque sulfatique.



(Figure II.17) : L'attaque par les sulfates. [57]

Les sulfates peuvent détériorer le béton selon deux mécanismes physico-chimiques :

- Expansion ;
- Perte des propriétés liantes des C-S-H.

Les aluminates et la portlandite sont les deux produits les plus sensibles à l'attaque par les sulfates.

II.9.2 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. [58]

II.9.2.1 Sources des acides :

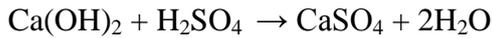
Les milieux acides les plus fréquents sont :

- 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. [58]

II.9.2.2 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.

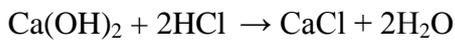
L'acide sulfurique est relativement inoffensif, car les sulfates de calcium sont difficilement solubles dans l'eau. Mais les ions de sulfate jouent en l'occurrence un rôle nuisible pour le béton (gonflement dû aux sulfates).



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'aluminate de calcium et les cristaux formés de gypse. Ces deux produits forment l'ettringite ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 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 ci-dessous décrit la réaction entre l'acide chlorhydrique 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). [58]

II.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a donné la définition des ajouts minéraux et les types d'ajouts et On a parlé de l'utilisation des additions minérales en Algérie, On a parlé aussi sur les attaques chimiques de bétons et mortiers, les sources et les mécanismes de ces attaques.

Chapitre 3

**Caractérisation des matériaux
et méthodologie de travail**

Chapitre III : Caractérisation des matériaux et méthodologie de travail

III.1 Introduction :

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 de filler de gravier roulé et de filler calcaire dans la formulation des mortiers dans des environnements agressifs.

Le ciment est substitué par le filler de gravier roulé et le filler calcaire (0,08) mm (30% du poids de ciment) à des proportions.

L'objectif de cette technique est d'avoir un Mortier comparable à un mortier témoin.

(Tableau III.1) : Pourcentages de ciment et des ajouts

Pourcentages	TEMOIN	5FGR25FC	10FGR20FC	20FGR10FC	25FGR5FC
Filler Gravier roulé	0%	5 %	10%	20 %	25 %
Filler calcaire	0%	25 %	20 %	10 %	5 %
Ciment	100%	70 %	70 %	70 %	70 %
Totale	100%	100 %	100 %	100 %	100 %

III.3 Méthodologie du travail pratique :

La caractérisation de tous les matériaux utilisés en premier lieu :

- Le ciment NA 442 -CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1
- Le sable (0/2,5) mm de la région d'Ouargla
- Le filler de gravier roulé (0,08) mm
- Le filler calcaire (0,08) mm;
- L'eau de gâchage (l'eau de robinet).
- L'adjuvant

En second lieu, nous avons déterminé la composition du mortier témoin ainsi que toutes les variantes des mortiers étudiés à partir de la proportion de filler du gravier roulé et de filler calcaire. Des essais physico-mécaniques, ont été ensuite réalisés sur des mortiers afin d'évaluer l'effet de l'environnement agressifs sur ce mortier.

Enfin, une conclusion générale est présentée qui traitera l'ensemble des points issus

III.4 Caractérisation des matériaux utilisés :

III.4.1 Caractérisation de Ciment :

III.4.1.1 Définition de ciment 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 [59].



(Figure III.1) : Ciment Mokaouem CEM I 42,5 N-SR3

III.4.1.2 Caractérisation physiques de Ciment :

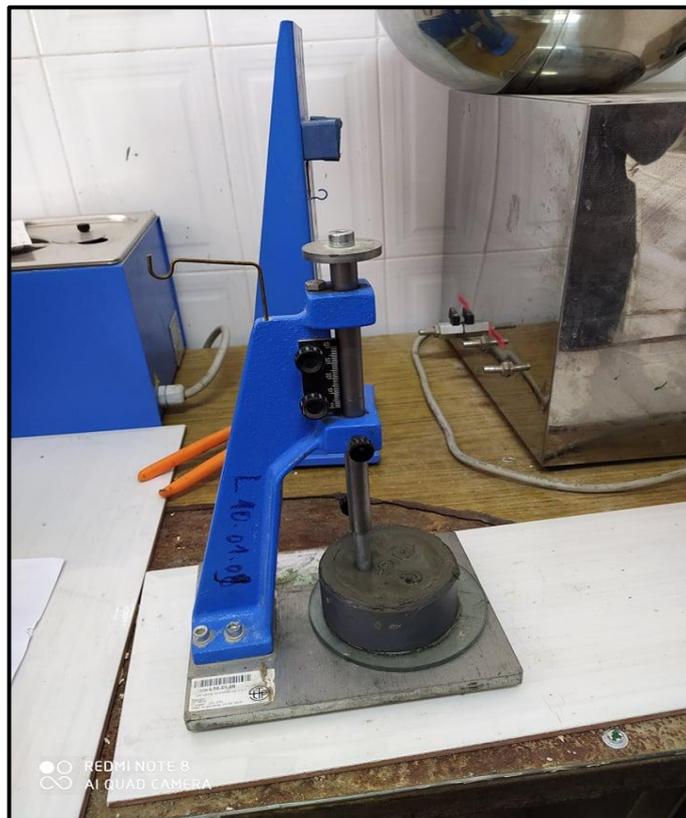
III.4.1.2.1 Essais de consistance normalisée : [60]

➤ **Objet :**

La consistance de la pâte de ciment est une caractéristique qui évolue au cours du temps. Pour pouvoir apprécier cette évolution qui est fonction de la teneur en ajout (calcaire) dans le ciment et la quantité d'eau de gâchage ; il faut partir d'une consistance qui soit la même pour toutes les pâtes étudiées.

➤ **Appareillage :**

- Balance de précision 1,0 g.
- Cylindre ou burette graduée à 1 % près.
- Malaxeur, conforme à la norme EN 196-1.
- Moule tronconique doit répondre aux spécifications à la norme EN 196-3.
- L'appareil de Vicat conforme spécifications à la norme EN 196-3. (Voir figure III.2).



(Figure III.2) : Essai de consistance par appareil Vicat

➤ Mode opératoire :

Préparation la prise d'essai

- Peser 500 g de ciment.
- Peser une quantité d'eau, par exemple 125g d'eau.

Préparation de la pate

- Le malaxeur étant en position de marche.
- Introduire l'eau et le ciment dans le bol, éviter la perte effectuer l'opération en 10 s au maximum.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et lancer en même temps le chronométrage, enregistrer le temps de démarrage, comme étant le temps zéro
- Après 90 S, arrêter le malaxeur pendant 30 s. Pendant ces 30 s, enlevé au moyen d'une raclette en toute la pâte de ciment adhérant aux parois et au fond du bol et placer cette pate au milieu du bol : remettre le malaxeur en marche à petite vitesse pendant 90 s.

Remplissage du moule

- Verser la pâte immédiatement dans le moule légèrement huilé, préalablement placé sur la plaque de base légèrement huilée également et remplir le moule à refus sans tassement ni vibration excessifs.
- Éliminer les vides dans la pâte en tapotant doucement le moule, légèrement trop rempli, avec la paume de la main. Avec une règle plate, enlever L'excès de pâte par un léger mouvement de scie, de manière à laisser la pâte remplir totalement le moule et à obtenir une surface supérieure lisse.

Détermination de la consistance normalisée :

- Régler l'appareil de Vicat manuel équipé de la sonde, en abaissant la sonde jusqu'à contact avec la plaque de base et en calant l'indicateur ou l'échelle à zéro. Relever la sonde en position d'attente.
- Placer le moule et la plaque de base sous la sonde de l'appareil de Vicat.
- Abaisser doucement la sonde jusqu'à ce qu'elle soit en contact avec la pâte. Marquer une pause de 1 s à 2 s puis, lâcher rapidement les parties mobiles et laisser la sonde pénétrer verticalement au centre de la pâte

- La libération de la sonde doit avoir lieu $4 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$ après le temps zéro lire l'échelle 5s au moins après la fin de la pénétration ou 30 s après la libération de la sonde.
- Enregistrer la valeur lue sur l'échelle, ainsi que la teneur en eau de la pâte, exprimer au pourcentage 0,5 % en masse de ciment.
- Nettoyer la sonde immédiatement après chaque pénétration.
- Refaire l'essai avec des pâtes contenant des quantités d'eau différentes, jusqu'à ce que l'une d'elle produise une distance de (6 ± 1) mm entre la sonde et la plaque de base.

Les résultats dont le tableau suivant :

(Tableau III.2) : Résultats de l'essai de la consistance normalisée obtenu

Caractéristique	Ciment CEM I 42,5 N-SR3
Consistance	27,5 %

Le résultat de consistance normalisée de ciment CEM I 42,5 N-SR3 utilisé est conforme à la norme.

III.4.1.2.2 Essais de Temps de Prise : [60]

➤ **Objet :**

Cette instruction a pour objet la détermination du temps de prise du ciment selon les spécifications de la norme européenne EN 196-3.

➤ **Appareillage :**

- Balance de précision 1,0 g.
- Cylindre ou burette graduée à 1 % près.
- Malaxeur, conforme à la norme EN 196-1.
- Moule tronconique doit répondre aux spécifications à la norme EN 196-3.
- L'appareil de Vicat conforme spécifications à la norme EN 196-3. (Voir Figure III.2)

➤ Mode opératoire :

Préparation de la pâte et remplissage du moule :

- Préparer une pâte de ciment de consistance normalisée.
- Remplir le moule comme a été défini dans le mode d'opératoire de la consistance normalisée,
- Placer le moule rempli et la plaque de base dans le conteneur (assiette), ajouter de l'eau de manière que la surface de la pâte soit recouverte. De 5 mm d'eau au minimum, et entreposer dans le bain à température contrôlée à $(20,0 \pm 1,0)$.

Le début de prise :

- Après un temps approprié (Ex 15 min), placer le moule, la plaque de base et le conteneur sous l'aiguille de l'appareil de Vicat.
- Abaisser l'aiguille doucement jusqu'à ce qu'elle soit en contact avec la pâte. Marquer une pause de 2s
- Lâcher rapidement les parties mobiles et laisser l'aiguille pénétrer verticalement dans la pâte.
- Lire l'échelle à la fin de la pénétration ou 30 s après la libération de l'aiguille.
- Enregistrer la valeur lue sur l'échelle qui indique la distance entre l'extrémité de l'aiguille et la plaque de base, ainsi que le temps écoulé depuis le temps zéro.
- Recommencer l'opération de pénétration sur la même éprouvette en des points régulièrement espacés, situés à 8 mm au moins du bord du moule ou à 5 mm les uns des autres, et à 10 mm au moins du dernier point de pénétration, et à intervalles de temps appropriés, par exemple, de 10 min.

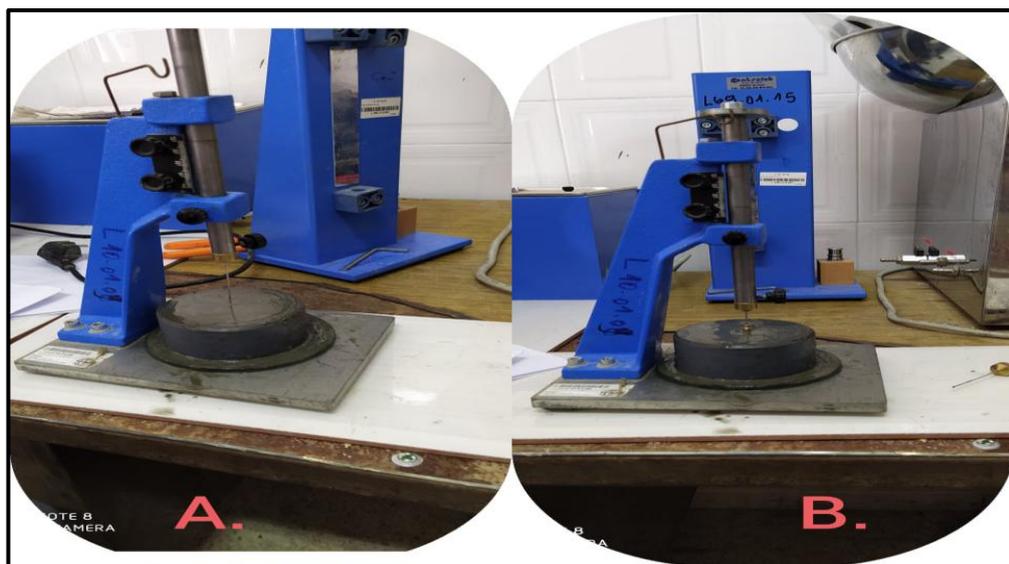
Entre les opérations de pénétration,

- Conserver l'éprouvette dans le conteneur dans l'enceinte à température
- Nettoyer l'aiguille de Vicat aussitôt après chaque pénétration.

Le temps de début de prise du ciment est le temps écoulé entre le temps zéro (malaxage) et le temps auquel la distance entre l'aiguille et la plaque de base est de $(6 + 3)$ mm, arrondi à la minute la plus proche.

La fin de prise :

- Retourner le moule rempli, sur sa plaque de base de façon de l'éprouvette qui était à l'origine en contact avec la plaque de base.
- Immerger le moule et la plaque de base dans le conteneur et entreposer dans l'enceinte à température régulée à $(20,0 \pm 1,0) \text{ C}^\circ$.
- Après un temps approprié, placer le moule, la plaque de base et le conteneur sous l'aiguille de l'appareil de Vicat.
- Abaisser l'aiguille doucement jusqu'à ce qu'elle soit en contact avec la pâte. Marquer une pause de 2s Puis, lâcher rapidement les parties mobiles et laisser l'aiguille pénétrer verticalement dans la pâte.
- Lire l'échelle à la fin de la pénétration ou 30 s après la libération de l'aiguille,
- Recommencer l'opération de pénétration sur la même éprouvette en des points régulièrement espacés, Situés à 8 mm au moins du bord du moule ou à 5 mm les uns des autres, et à 10 mm au moins du dernier point de pénétration, et à intervalles de temps appropriés, par exemple, de 10 min. Entre les opérations de pénétration, conserver l'éprouvette dans le conteneur dans l'enceinte à température régulée
- Nettoyer aiguille de Vicat
- Enregistrer le temps mesuré depuis le temps zéro au bout duquel l'aiguille ne pénètre, pour la première fois que de 0,5 mm dans l'éprouvette.
- Le temps de fin de prise doit être confirmé en recommençant l'essai en deux autres points.



(Figure III.3) : Essai de prise
A .début de prise B. fin de prise

Les résultats dont le tableau suivant :

(Tableau III.3) : Résultats de l'essai de temps de prise

Caractéristique	Ciment CEM I 42,5 N-SR3
Début de pris	3h : 00 min
Fins de pris	5h : 20 min
temps de prise	2h : 20 min

Le résultat de temps de prise de ciment CEM I 42,5 N-SR3 utilisé est conforme à la norme

III.4.1.2.3 Essais la stabilité a chaud : [60]

➤ **OBJET :**

Il s'agit d'apprécier l'augmentation du volume que seraient susceptible de provoquer, au cours de la réaction d'hydratation, les oxydes de calcium ou de magnésium contenus dans le ciment

➤ **PRINCIPE :**

La réaction d'hydratation est accélérée par un traitement thermique de la pate, de façon à pouvoir constater l'expansion éventuelle du ciment dans un délai très court.

➤ **RESUME :**

- **Préparation de la pate**

Préparer une pate de ciment de consistance normalisée (l'eau de consistance prédéfini).

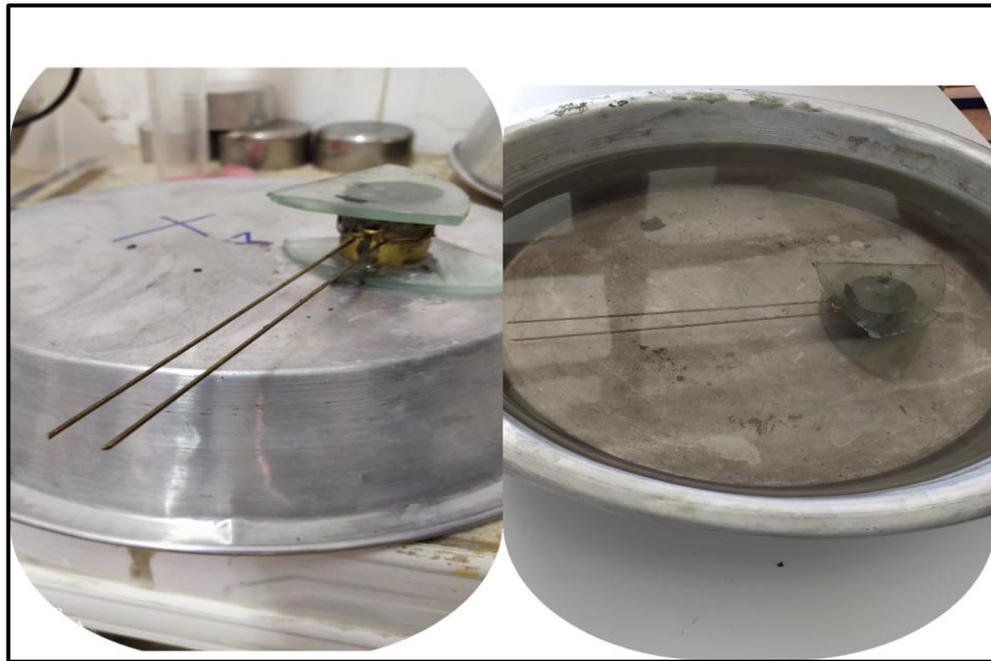
- **Remplissage du moule**

Placer un moule Le Chatelier légèrement huilé sur la plaque inférieure légèrement huilée également et remplir le moule immédiatement, sans tassement ni vibration excessifs, lisser la surface supérieure. Pendant le remplissage, empêcher l'ouverture accidentelle de la fente du moule par une légère pression des doigts ;

Couvrir le moule avec la plaque Supérieure légèrement huilée, ajouter le poids supplémentaire si nécessaire, et placer immédiatement l'appareil complet dans la salle ou l'armoire humide (ou un bain d'eau). Le laisser pendant 24 ± 30 min a une température de (20 ± 1) C et à une humidité relative minimale de 90 %.

- **Détermination de la consistance normalisée**

Au bout de $24 \text{ h} \pm 30$ min, mesurer l'écartement (A) entre les pointes des aiguilles, à 0,5 mm près. Chauffer le moule progressivement pour porter a ébullition en (30 ± 5) min et maintenir le bain d'eau à la température d'ébullition pendant $3 \text{ h} \pm 5$ min. Retirer du bain chaud et laisser refroidir le moule température ambiante. Mesurer l'écartement (C) entre les pointes des aiguilles, à 0,5 mm près ; Calculer la différence (C - A), au millimètre près. Si l'expansion est supérieure à 5 mm. On doit procéder à une nouvelle déterminions, Rapporter la valeur de (C - A) au millimètre pré.



(Figure III.4) : Essai de stabilisé au chaud

Résultats obtenus :

$A = 1,3 \text{ cm}$	$C = 1,4 \text{ cm}$	$C - A = 1,4 - 1,3 = 0,1 \text{ cm} = 1 \text{ mm}$
----------------------	----------------------	---

Le résultat de stabilité a chaud de ciment CEM I 42,5 N-SR3 utilisé est conforme à la norme

III.4.1.3 Caractérisation chimiques de Ciment :

(Tableau III.4) : Caractérisation chimiques de Ciment [59]

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

III.4.1.4 Composition minéralogique de Ciment :

(Tableau III.5) : Composition minéralogique de Ciment [59]

Elément	Taux d'aluminate C3A
(%)	≤ 3,00

III.4.2 Caractérisation de sable :

III.4.2.1 Analyse granulométrique (NF P 18-560) : [61]

Mode opératoire :

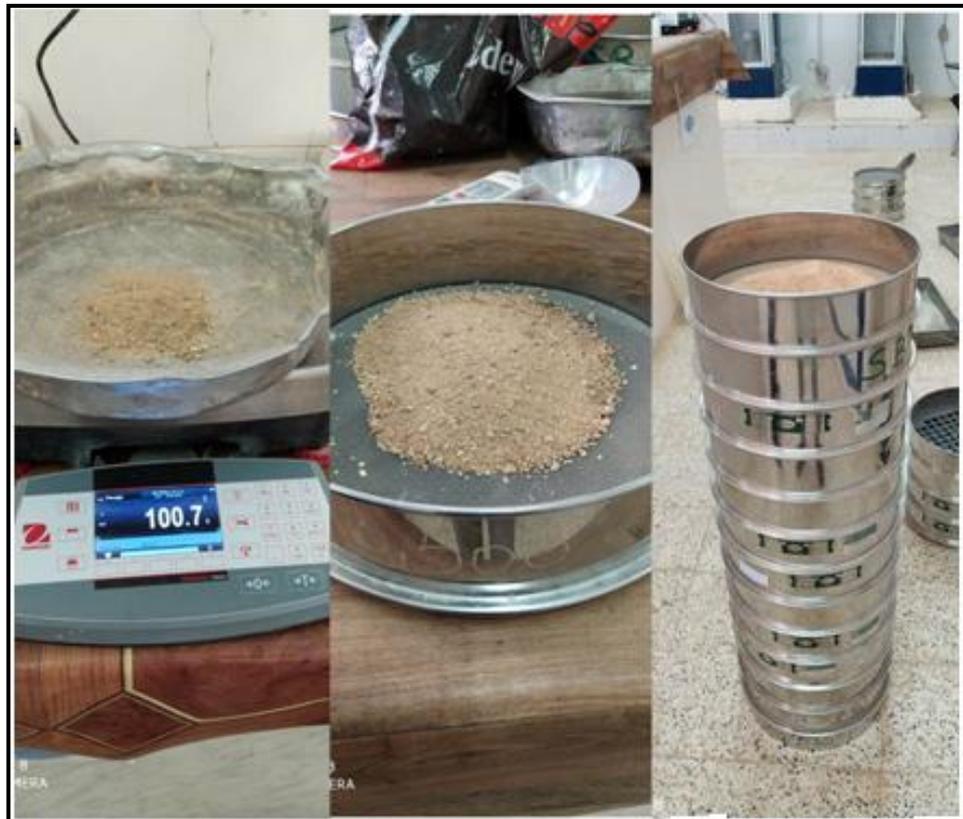
- Prélever (1 kg) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : **5-2,5-2-1,60-1,25-1-0,63-0,500-0,400-0,315-0,250-0,200-0,160-0,125-0,100** et éventuellement **0,08** mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis i .
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.

- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R1, soit R2 la masse du refus cumuler du tamis 2 ($R2=R1+\text{Refus partiel sur tamis}$).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R3, R4,

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

Où :

- T: Tamisât en %
- RC : Refus cumulés en %



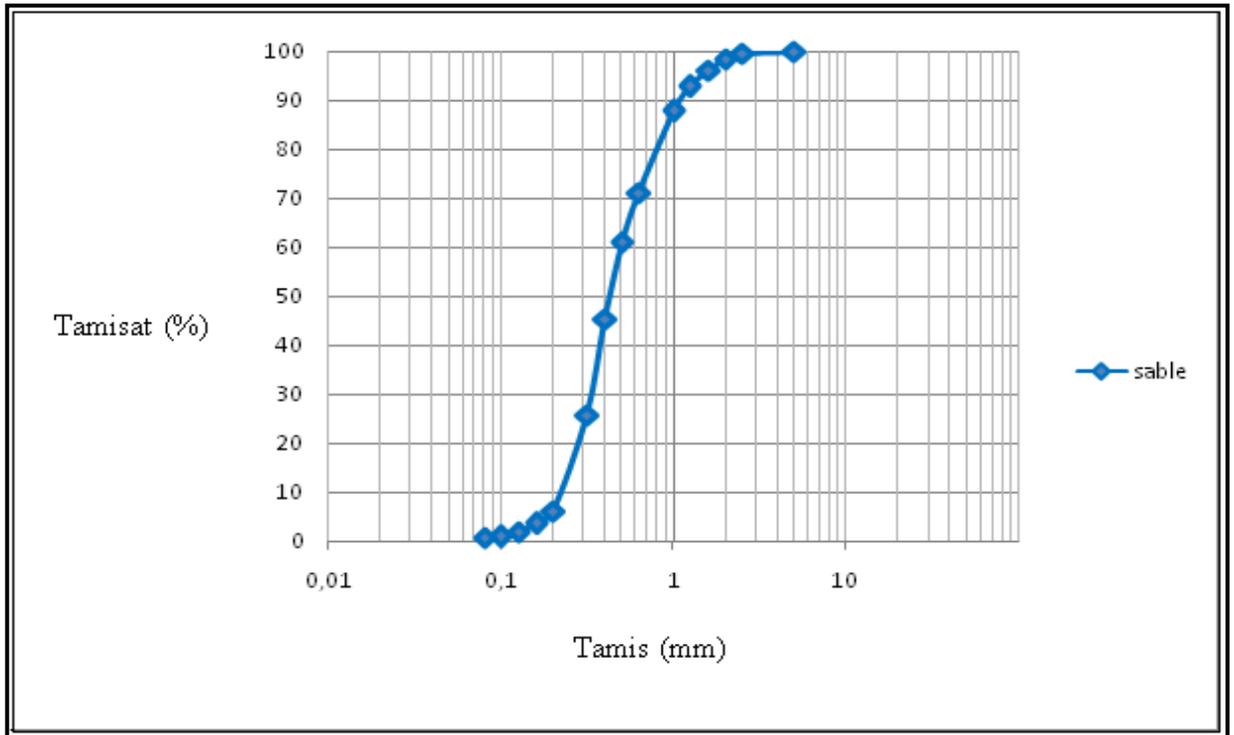
(Figure III.5) : Essai d'analyse granulométrique

Chapitre III Caractérisation des matériaux et méthodologie de travail

Les résultats sont dans le tableau suivant :

(Tableau III.6) : Analyse granulométrique de sable

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage refus %	Pourcentage passant %
5,000	-	-	-	100
2,500	4,00	4,00	0,400	99,600
2,000	11,66	15,66	1,566	98,434
1,600	21,64	37,30	3,730	96,270
1,250	33,82	71,12	7,112	92,888
1,000	49,56	120,68	12,068	87,932
0,630	167,13	287,81	28,781	71,213
0,500	100,76	388,57	38,857	61,143
0,400	159,23	547,80	54,780	45,220
0,315	194,04	741,84	74,184	25,816
0,200	198,69	940,53	94,053	5,947
0,160	23,95	964,48	96,448	3,552
0,125	17,90	982,38	98,238	1,762
0,100	8,60	990,98	99,098	0,902
0,080	2,68	993,66	99,366	0,634
Les fines	4,30	997,96	99,796	0,204



(Figure III.6) : La courbe granulométrique du sable (0/5)

III.4.2.1.1 Module de finesse : [62]

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

[0,16-0,315-0,63-1,25-2,5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$Mf = \sum \frac{Rc}{100}$$

Où : Rc : Refus cumulé.

$$Mf = \frac{96,448+74,184+28,781+7,112+0,4+0}{100} = 2,07$$

La norme de conformité et codification [63] spécifient le Mf des sables comme suit :

- ✓ FF pour un sable 'fin' ; $0,6 \leq Mf \leq 2,1$
- ✓ MF pour un sable 'moyen' ; $1,5 \leq Mf \leq 2,8$
- ✓ CF pour un sable gros ; $Mf \geq 2,4$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

Pour le sable de Ouargla : $1,5 \leq Mf \leq 2,8$: C'est un **sable moyen**.

III.4.2.2 Equivalent de sable (NF EN 933-8) : [64]

Mode opératoire :

➤ Remplissage des cylindres gradués

Siphonner la solution lavante (5.2) dans chaque cylindre gradué, jusqu'au trait repère inférieur figurant sur le cylindre.

À l'aide de l'entonnoir, verser une éprouvette dans chaque cylindre gradué, en maintenant le cylindre dans une position verticale.

Taper le fond de chaque cylindre à plusieurs reprises sur la paume de la main afin de déloger les bulles d'air et de favoriser le mouillage de l'éprouvette.

Laisser reposer pendant (10 ± 1) min pour humidifier l'éprouvette.

➤ Agitation des cylindres gradués

À la fin de cette période de 10 min, boucher un cylindre à l'aide du bouchon en caoutchouc, puis fixer ce cylindre sur la machine d'agitation.

Agiter le cylindre pendant (30 ± 1) s puis replacer le cylindre sur la table de travail dans la position verticale.

NOTE Il convient que le temps d'agitation corresponde à (90 ± 3) cycles en utilisant l'appareil spécifié en 6.13.

Répéter le processus d'agitation avec le second cylindre.

➤ Lavage

Oter le bouchon en caoutchouc de l'un des cylindres gradués et le rincer au-dessus du cylindre gradué avec la solution lavante, en s'assurant que tout le matériau retombe dans le cylindre.

En descendant le tube laveur dans le cylindre, rincer tout d'abord les parois du cylindre avec la solution lavante, puis enfoncer le tube de façon à ce qu'il traverse le sédiment au fond du cylindre.

Maintenir le cylindre en position verticale tout en laissant la solution lavante agiter le contenu et en favorisant la remontée des fines et des éléments argileux.

Ensuite, tout en faisant subir au cylindre un lent mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur.

Quand le niveau de liquide avoisine le trait repère supérieur gravé sur le cylindre, relever lentement le tube laveur et réguler le flux de façon à maintenir le liquide au niveau du trait repère supérieur jusqu'à ce que le tube soit complètement retiré et le flux interrompu.

Lancer le chronométrage du temps de repos au moment du retrait du tube laveur.

Répéter le mode opératoire de lavage avec le second cylindre.

➤ Mesurages

Laisser reposer chaque cylindre gradué sans dérangement ni vibration, pendant $(20,00 \pm 0,25)$ min.

À la fin de cette période et à l'aide du régle (6.5), mesurer la hauteur h_1 du niveau supérieur du floculat par rapport au fond du cylindre gradué

Abaisser soigneusement l'ensemble du piston dans le cylindre, jusqu'à ce que l'embase repose sur le sédiment.

NOTE : Pendant cette opération, le manchon coulissant encore non bloqué sur la tige du piston, entre en contact avec le sommet du cylindre gradué.

Placer le manchon sur le cylindre, puis le bloquer sur la tige du piston.

Déterminer la hauteur du sédiment h_2 en mesurant la distance entre la face inférieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon, en introduisant le régle dans l'encoche du manchon.

Enregistrer les hauteurs h_1 et h_2 au millimètre près.

De la même manière, mesurer et enregistrer les hauteurs h_1 et h_2 sur le second cylindre.



(Figure III.7) : Essai d'équivalent de sable

- **Calcul et expression des résultats**

Calculer le rapport $(h_2/h_1) * 100$ pour chaque cylindre avec un chiffre après la virgule.

Chapitre III Caractérisation des matériaux et méthodologie de travail

Si les deux valeurs obtenues diffèrent de plus de 4, le mode opératoire d'essai doit être répété. Calculer l'équivalent de sable (SE) comme la moyenne des rapports $(h_2/h_1) * 100$ obtenus sur chaque cylindre et enregistrer au nombre entier le plus proche.

(Tableau III.7) : Résultat de l'essai de l'équivalente de sable

	Hauteur totale H1 cm	Hauteur sable H2 cm	ES = % (H1/H2) *100	ES moyen %	Observation
Essai 1	13,5	8,8	65,18	67,55	68
Essai 2	13,3	9,3	69,92		

(Tableau III.8) : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable. Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable. [3]

ESV	ESP	Nature et qualité du sable
$ES \leq 65\%$	$ES \leq 65\%$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
$65\% \leq ES \leq 75\%$	$60\% \leq ES \leq 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$75\% \leq ES \leq 85\%$	$70\% \leq ES \leq 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$ES \geq 85\%$	$70\% \leq ES \leq 80\%$	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Pour le sable d'Ouargla :

C'est un sable de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.

III.4.2.3 Masse volumique absolue (NF P 18-555) : [65]

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

Mode opératoire :

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité **1000 ml**.

On prend **01** échantillon de masse **250g**.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000 ml** et on y verse un volume d'eau pour pleine le récipient préparé préalablement dans **2ème** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe.

Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (P4) ce volume.

Sachant que le volume d'eau versé+récipient (P3) est connu, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable : $V = P3 - P4$ (cm³)

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

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

Avec : $M = 250g$.



(Figure III.8) : récipient rempli par l'agrégat et l'eau

Résultats obtenus :

(Tableau III.9) : Masse volumique absolue du sable d'Ouargla

Poids des agrégats Sec	Poids du récipient plein d'eau	$P3 = P1 + P2$	Poids récipient + agrégats + eau	Volume des agrégats $V=P3-P4$	Masse volumique absolue $\rho = \frac{M}{V}$
P1 (g)	P2 (cm ³)	P3 (cm ³)	P4 (cm ³)	V (cm ³)	ρ (g / cm ³)
250	2185,42	2435,42	2339,42	96	2,604

Pour le sable de Ouargla la masse volumique absolue est : 2,604 g / cm³

III.4.2.4 Masse volumique apparente (NF P 18-555) : [65]

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

Mode opératoire :

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1 .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids.
- Volume de récipient $V_r = 2000 \text{ cm}^3$.

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

$$\rho = \frac{(M2 - M1)}{V_r}$$



(Figure III.9) : récipient rempli par le sable

(Tableau III.10) : Masse volumique apparente du sable d'Ouargla

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M ₂ -M ₁ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³) moyen
02	2238	5470	3232	1,616	1,612
03	2238	5451	3213	1,606	
04	2238	5466	3228	1,614	

Pour le sable de Ouargla la masse volumique apparent est : 1,612 g / cm³

III.4.3 Caractérisation de filler de gravier roulé :

Le gravier roulé utilisé est de la région d'Ouargla.

III.4.3.1 Composition chimique :

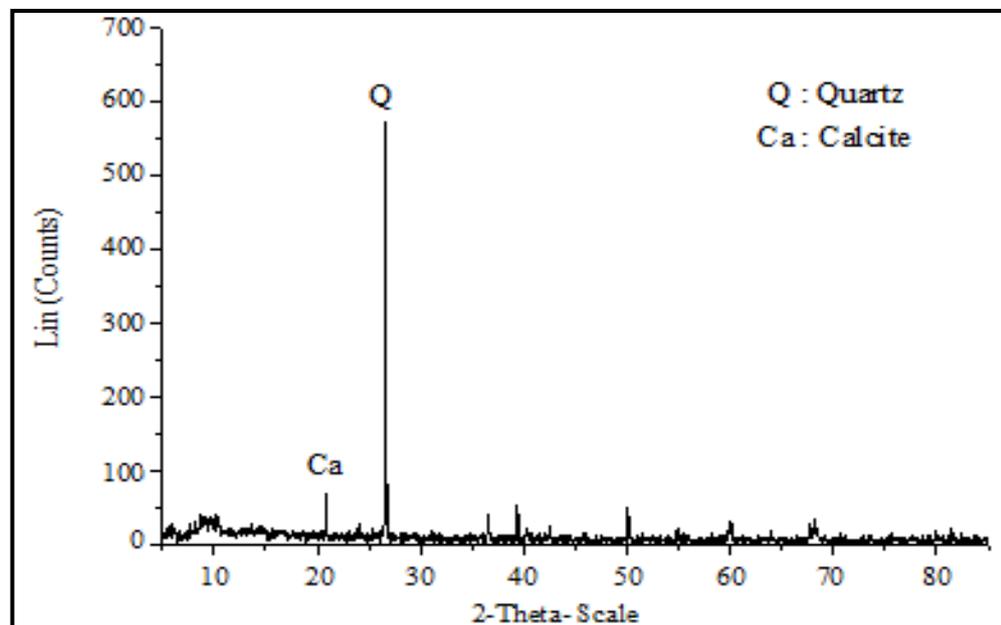
La détermination des caractéristiques chimiques de l'addition minérale a été réalisée et dont les résultats sont représentés dans le tableau (III.11) ci-dessous.

(Tableau III.11) : Composition chimique de filler de gravier roulé en (%)

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	Na ₂ O ₃	CaCO ₃	P.F
(%)	94,02	1,02	0,58	1,02	0,29	0,20	0,22	0,01	2,52	1,12

III.4.3.2 Composition minéralogique :

La composition minéralogique de filler du Gravier Roulé est déterminée par l'analyse de diffraction des rayons X. Le diffractogramme de la poudre utilisée (figure 10) montre qu'il est exclusivement composé du quartz SiO₂ (Q) avec quelques traces de calcite CaCO₃ (Ca), le Al₂O₃ et le CaO sont présents à des faibles pourcentages.



(Figure III.10) : Analyse de diffraction aux rayons X de filler de gravier roulé

III.4.4 Caractérisation de Filler calcaires :

Le filler calcaire utilisé est de type ALCAL F50, composé essentiellement de carbonate de calcium CaCO_3 avec une teneur de 99 %.

III.4.4.1 Caractéristiques physiques de Filler calcaires :

(Tableau III.12) : Caractéristiques physique du filler calcaire [66]

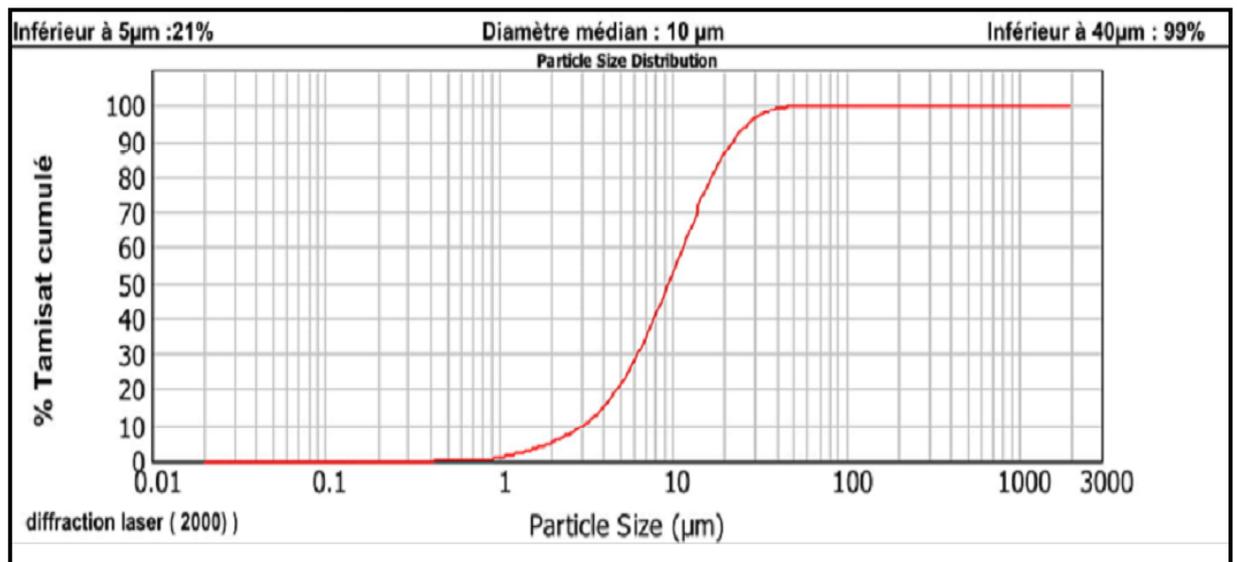
Dureté	Poids spécifique	Densité apparente non tassée	Prise d'huile (NF.T 30.220)	Prise D O P (NF.T 30.220)	Humidité à l'ensachage	Indice de réfraction
3	2,7	0,90	24g/100g de poudre	34g/100g de poudre	0,02%	1,71

III.4.4.2 Caractéristiques chimiques du filler calcaire

(Tableau III.13) : Caractéristiques chimique du filler calcaire [66]

Elément	CaCO_3	CaO	SiO_2	Na_2O	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	K_2O	P_2O_5	TiO_2
(%)	0,01	0,01	0,01	55,88	0,14	0,20	0,22	0,01	2,52	1,12
	Chlorure		Soufre totale		Solubilité dans l'eau			Perte au feu		PH
	0,005		0,0137		0,38			43,90		9,24

III.4.4.3 Répartition granulométrique du filler calcaire :



(Figure III.11) : Répartition granulométrique du filler calcaire [66]

III.4.5 L'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 L'adjuvant (superplastifiant) : [67]

Le superplastifiant utilisé est un adjuvant de SIKA ® de type VISCOCRETE ® TEMPO 12 Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi. Conforme à la norme NF EN 934-2. Cet adjuvant est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalente de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

III.4.6.1 Domaines d'application :

- 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.
- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait).

III.4.6.2 Caractères généraux :

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- Longue rhéologie (>2h),
- Robustesse à la ségrégation,
- Qualité de parement.

III.4.6.3 Stockage

Le stockage se fait dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °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.

III.4.6.4 Caractéristiques :

- Données techniques densité $1,06 \pm 0,01$
- PH 4,5 à 6,5
- Teneur en Na_2O Eq. $\leq 1 \%$
- Extrait sec 28,0 à 31,0 %
- Teneur en ions Cl - $\leq 0,1 \%$

III.4.6.5 Conditions d'application :

Dosage 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.

III.4.6.6 Propriétés et effets :

Grace à ces propriétés le SIKA ® TEMPO 12 permet d'avoir les effets suivants :

A. Sur béton frais

- Obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- Une très bonne maniabilité
- Un long maintenu de l'ouvrabilité
- De facilité la mise en œuvre du béton

B. Sur béton durci :

- Bonne résistances initiale et finales
- De diminuer la porosité
- Bel aspect de parement au décoffrage
- De diminuer le retrait

III.5 Confection d'éprouvettes 4x4x16 en mortier normal : [68]

Principe :

Fabriquer des 3 ou 6 éprouvettes parallélépipédiques en mortier normal (utilisation des 3 moules) de dimensions 4 cm x 4 cm x 16 cm.

* Intérêt en Génie Civil :

L'essai de rupture en compression des éprouvettes parallélépipédiques permet de trouver la contrainte de rupture en compression à 'j' jours d'âge du mortier normal : la classe vraie du ciment.

La classe vraie du ciment est un paramètre important influant la résistance d'un béton hydraulique, elle est d'ailleurs nécessaire pour l'élaboration d'une composition de béton.

* Matériel nécessaire

- un malaxeur conforme à la Norme NF EN 196-1 ou NF P 15-471 avec récipient en acier inoxydable (cuve), batteur. Le malaxeur est pourvu de plusieurs vitesses : lente, moyenne, rapide



(Figure III.12) : Le malaxeur

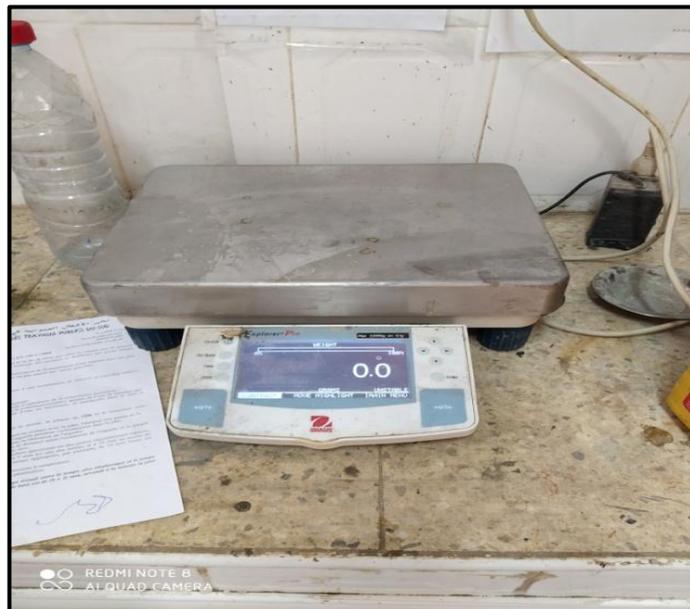
- une spatule
- un chronomètre

- des moules métalliques numérotés pour la conception de 3 éprouvettes prismatiques 4x4x16 - une hausse métallique adaptable aux moules



(Figure III.13) : Moule métallique

- une grande et une petite spatule
- une règle plate à araser
- un pinceau
- des éprouvettes graduées en plastique
- une balance de portée 5 kg, précision 1 g



(Figure III.14) : Le balance

- des bacs en plastique pour effectuer les essais
- une table à chocs automatique fixée sur un bloc en béton



(Figure III.15) : La table à chocs

*** Matériaux utilisés :**

- de l'huile de décoffrage
- un sable normalisé de Ouargla de masse 1350 g



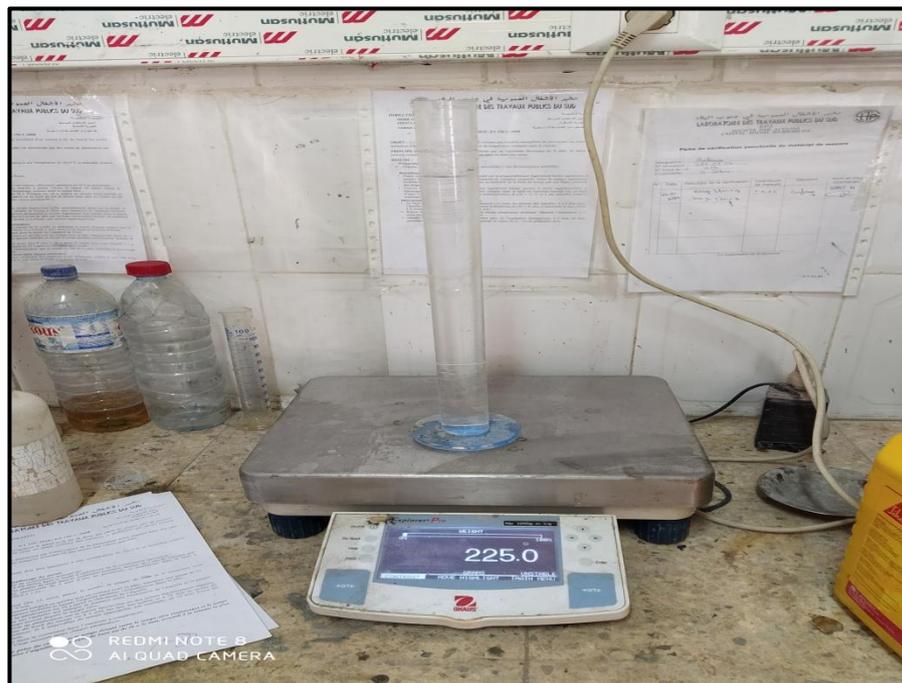
(Figure III.16) : Le Sable

- un ciment du type CEM I 42,5 N-SR3 (Mokaouem)



(Figure III.17) : Le Ciment

- de l'eau



(Figure III.18) : L'eau

*Mode opératoire :

Préparation de la pâte de ciment :

- nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur, cuve...)
- introduire la quantité d'eau choisie : $E / C = 0,50$
- introduire 450 g de ciment
- mettre le malaxeur en route, vitesse lente pendant 60 s, introduire régulièrement le sable entre la 30ème et la 60ème seconde
- stopper le malaxeur, mettre la vitesse rapide et relancer le malaxeur pendant 30 s
- stopper le malaxeur pendant 1 min 30 s et nettoyer les parois du récipient avec le batteur pendant les 15 premières secondes
- remettre le malaxeur en route, vitesse rapide durant 60 s

(Tableau III.14) : Opération de la Préparation de la pâte de ciment

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment		Introduction du sable		Raclage de la cuve		
Durée			30 second	30 second	30 second	15 second	1 min 15 sec	60 sec
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente		Vitesse rapide	Arrêt		Vitesse rapide

Préparation des éprouvettes : (à effectuer immédiatement après préparation du mortier)

- enduire les parois latérales des moules d'une légère couche d'huile de décoffrage
- fixer le moule et la hausse sur la table à chocs
- introduire la première des deux couches de mortier dans chaque compartiment
- étaler la couche en utilisant la plus grande spatule tenue verticalement
- serrer la première couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine)
- introduire la seconde couche de mortier
- étaler la couche en utilisant la petite spatule tenue verticalement
- serrer la deuxième couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine)

- retirer le moule et la hausse de la machine à chocs
- ôter la hausse et enlever l'excédent de mortier avec la règle plate à araser
- étiqueter les moules pour identifier les éprouvettes (noms, date, caractéristiques)

Conservation des éprouvettes :

- poser une plaque en verre ou en acier sur le périmètre du moule
 - placer le moule dans une pièce humide pendant 24 heures
 - démouler ensuite les éprouvettes avec précautions et marquer les éprouvettes
 - conserver les éprouvettes dans l'eau à 20°C
- Pour cette étude on a travaillé avec trois milieux de conservation :
- ✓ Dans les conditions normales (l'eau)
 - ✓ Dans 2 % de la solution acides H_2SO_4 (pour la durabilité de mortier)
 - ✓ Dans 5 % de la solution acides H_2SO_4 (pour la durabilité de mortier)



(Figure III.19) : Les trois milieux de conservation d'éprouvettes

III.6 Essais sur le mortier à l'état durci :

III.6.1 : Détermination des résistances mécaniques : [68]

- **Principe**

La méthode comprend la détermination des résistances à la compression et à la flexion (facultative) d'éprouvettes de forme prismatique et de dimensions 40 mm×40 mm×160 mm.

Ces éprouvettes sont prélevées d'une gâchée de mortier plastique contenant en masse une partie de ciment et trois parties de sable normalisé avec un rapport eau sur ciment de 0,50. Des sables normalisés de différentes sources et régions peuvent être utilisés à condition qu'ils fassent apparaître des résultats de résistance qui ne diffèrent pas d'une façon significative de ceux obtenus en utilisant le sable de référence CEN (voir article 11).

Le mortier est préparé par mélange mécanique et serré dans un moule en utilisant un appareil à chocs normalisé. D'autres équipements et techniques de serrage peuvent être utilisés à condition qu'ils fassent apparaître des résultats qui ne diffèrent pas d'une façon significative de ceux obtenus en utilisant l'appareil à chocs normalisé (voir article 11).

Le moule contenant des éprouvettes est conservé en atmosphère humide pendant 24 h et les éprouvettes démoulées sont ensuite conservées sous l'eau jusqu'au moment des essais de résistance.

À l'âge requis, les éprouvettes sont retirées de leur milieu de conservation humide, elles sont brisées en deux moitiés par flexion et chaque moitié est soumise à l'essai de compression.



(Figure III.20) : Machine d'essai de résistance

III.6.1.1 Résistance à la flexion :

Placer le prisme dans un dispositif de flexion (voir 4.7) avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter sans à-coups à raison de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à rupture.

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression.



(Figure III.21) : Machine d'essai de résistance à la flexion

Calculer la résistance à la flexion R_f (en N/mm^2) au moyen de la formule :

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

Où :

R_f : est la résistance à la flexion, en newtons par millimètre carré (N/mm^2) (MPa) ;

b : est le côté de la section carrée du 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).

III.6.1.2 Résistance à la compression :

Essayer les demi-prismes en compression sur les faces latérales de moulage à l'aide d'un matériel conforme à 4.8 et 4.9.

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à $\pm 0,5$ mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux ou aux plaques auxiliaires d'environ 10 mm.

Augmenter la charge sans à-coups à la vitesse de $2\ 400\ \text{N/s} \pm 200\ \text{N/s}$ durant toute la durée d'application de la charge jusqu'à la rupture.

Quand l'accroissement de charge est réglé manuellement, compenser la décroissance de la vitesse de la charge à l'approche de la rupture.



(Figure III.22) : Machine d'essai de résistance à la compression

Calculer la résistance à la compression R_c (en N/mm^2) au moyen de la formule :

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

Où :

R_c : est la résistance à la compression, en newtons par millimètre carré (N/mm^2) (MPa);

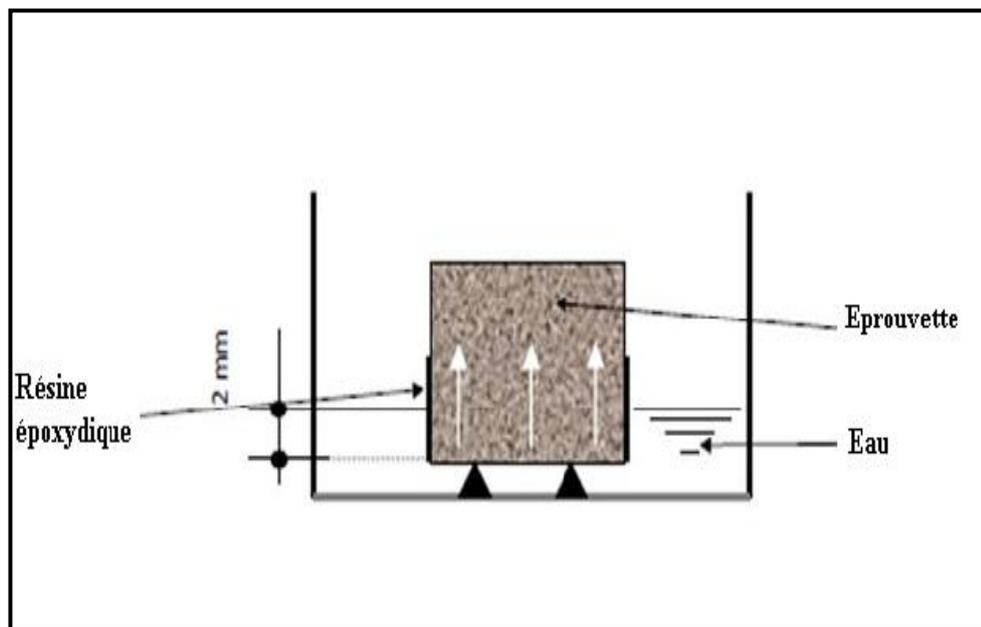
F_c : est la charge maximale à la rupture, en newtons ;

b^2 : $1\ 600 = 40\ \text{mm} \times 40\ \text{mm}$ est l'aire des plateaux ou des plaques auxiliaires, en millimètres carrés (mm^2).

III.6.2 La détermination du coefficient d'absorption capillaire d'eau (durabilité) : [69]

A. Préparation et prétraitement des échantillons :

- Eprouvettes de béton 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.23).



(Figure III.23) : Essai d'absorption par capillarité

B. 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 minutes, de même qu'après 1, 2, 3, 4, 5, 6, 24 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.

C. Coefficient d'absorption :

L'absorption d'eau par unité de surface Ca_t , après un temps t d'absorption est déterminée par l'équation suivante :

$$Ca_t = \frac{Mt - M_0}{A} \quad \text{avec :}$$

M_t ; masse après un temps t ;

M_0 : masse sèche.

$$A = 4 \times 4 = 16 \text{ cm}^2$$

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

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

- Tracer $Ca_t = f(t)$.
- 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.



(Figure III.24) : Les échantillons en contact avec l'eau

III.6.3 Essai de perte de masse (durabilité) : [58]

L'essai de la résistance aux attaques des acides consiste à suivre l'évolution de la masse et de la résistance mécanique et chimique d'échantillons immergés dans une solution saturée en acide (2% et 5% en volume). La résistance due aux agressions chimiques des bétons et des mortiers est évaluée selon la norme ASTM C 267- 96.

Les échantillons sont disposés et espacés de 2cm et recouverts de 2cm de la solution acide. Les éprouvettes sont rincées 3 fois à l'eau de robinet pour éliminer le mortier altéré puis laissées sécher jusqu'à une masse constante M_1 . Cette opération est effectuée dans 3 périodes : 7 jours, 48 jours et 90 jours.

La variation de la masse est calculée à partir de l'équation :
$$VM (\%) = \frac{M_0 - M_i}{M_0} * 100$$

VM : variation de la masse en (%).

M_0 : La masse de l'éprouvette avant exposition à l'attaque acide en (g).

M_i (i=7, 48, 90,) : la masse 7, 48,90 jours d'attaque en (g).



A

B

(Photo III.25) : Échantillons du béton après l'immersion dans les solutions acides H_2SO_4
A : 5% B : 2%

III.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons caractérisé tous les matériaux entrant dans la composition des Mortiers, la formulation des mortiers. Les essais réalisés sur les mortiers à l'état durcis ainsi que les essais de durabilité ont été présentés.

Chapitre 4

Résultats et interprétations

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus à partir des différents essais cités dans le chapitre III. Ils permettent d'interpréter l'effet des ajouts (Filler calcaire FC, filler du gravier roulé FGR) sur les propriétés physiques et mécaniques des différents liants étudiés ainsi que sur la durabilité des mortiers à base de ces différents ajouts minéraux dans les milieux chimiquement agressifs.

On a utilisé les abréviations suivantes :

Mortier de référence 100 % ciment (témoin) —————> combinaison : **TEMOIN**.

Mortier avec 70 % ciment + 05 % FGR + 25 % FC —————> combinaison : **5FGR25FC**.

Mortier avec 70 % ciment +10 % FGR + 20 % FC —————> combinaison : **10FGR20FC**.

Mortier avec 70 % ciment +20 % FGR + 10 % FC —————> combinaison : **20FGR10FC**.

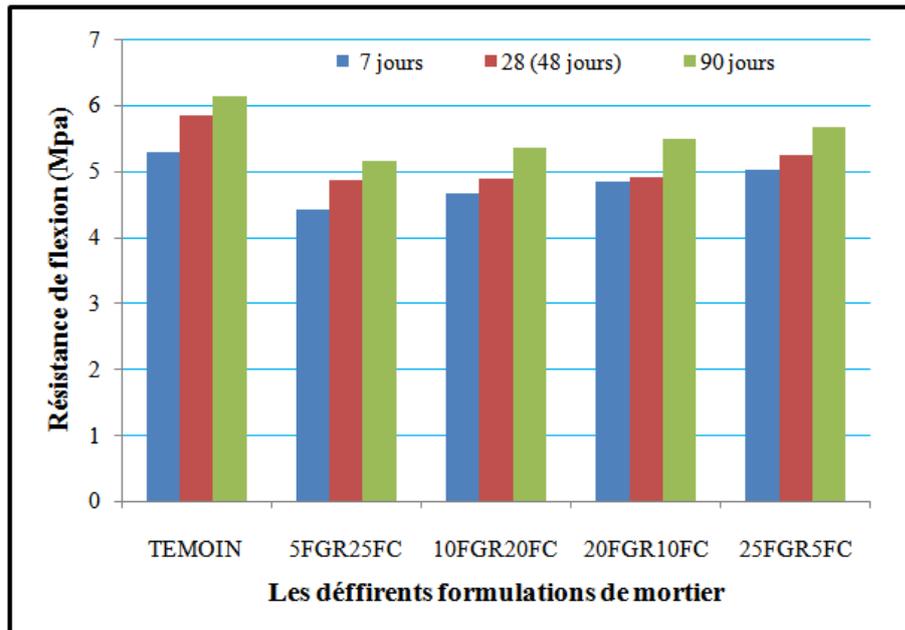
Mortier avec 70 % ciment +25 % FGR + 05 % FC —————> combinaison : **25FGR5FC**.

IV.2 Influence de la substitution partielle du ciment par fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur le mortier dans un milieu normal (eau):

IV.2.1 Flexion :

(Tableau IV.1) : Résultats de flexion dans le milieu normal (l'eau)

	Rf pour 7 jours (Mpa)	Rf pour 28 (48jours) (Mpa)	Rf pour 90 jours (Mpa)
TEMOIN	5,29	5,83	6,14
5FGR25FC	4,41	4,86	5,15
10FGR20FC	4,66	4,88	5,34
20FGR10FC	4,84	4,91	5,49
25FGR5FC	5,02	5,23	5,67



(Figure IV.1) : résistance de flexion dans l'eau

La figure IV.1 permet de dire que la résistance à la flexion augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes.

D'après la figure IV.1, on remarque que :

Pour 7 jours :

Pour une durée de 7 jours, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire est faible par rapport à celle de témoin. Les taux de diminution sont estimés à l'ordre de 16,64% , 11,91% , 8,51% et 5,10% pour les compositions 5FGR25FC , 10FGR20FC , 20FGR10FC et 25FGR5FC .

Pour 48 jours :

Pour l'effet de fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur la flexion du mortier après 48 jours, nous remarquons que la résistance à la flexion pour toutes les éprouvettes est faible par rapport à celle de témoin. Les taux de diminution sont estimés à 16,64% , 16,29% , 15,78% et 10,29% pour les compositions 5FGR25FC , 10FGR20FC , 20FGR10FC et 25FGR5FC .

Pour 90 jours :

Après 90 jours, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de mortier de fillers du gravier roulé et fillers calcaire est faible dans les compositions 5FGR25FC , 10FGR20FC , 20FGR10FC et 25FGR5FC par rapport à celle de témoin ; et les taux de diminution sont respectivement 16,12% , 13,03% , 10,59% et 7,65% .

Chapitre IV Résultats et interprétations

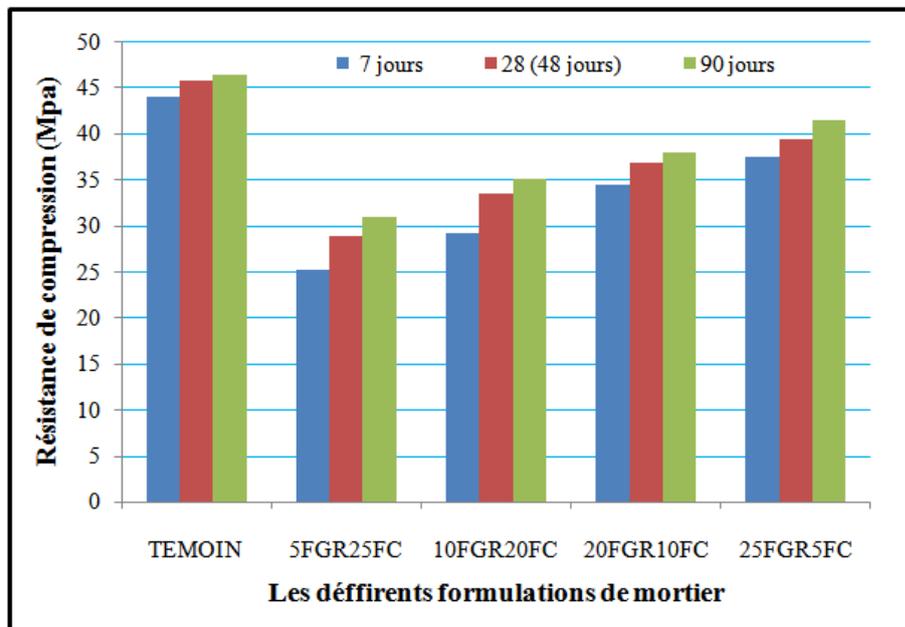
On remarque que la résistance de flexion augmente parallèlement avec l'augmentation de la quantité de fillers du gravier roulé et la diminution de la quantité fillers calcaire dans la composition de mortier pour toutes les périodes.

La nature de substitutions semble être un paramètre plus important pour la diminution et l'augmentation de la force de résistance de flexion.

IV.2.2 Compression

(Tableau IV.2) : Résultats de compression dans le milieu normal (l'eau)

	Rc pour 7 jours (Mpa)	Rc pour 28 (48 jours) (Mpa)	Rc pour 90 jours (Mpa)
TEMOIN	43,90	45,78	46,40
5FGR25FC	25,12	28,84	30,87
10FGR20FC	29,18	33,50	34,98
20FGR10FC	34,43	36,71	37,86
25FGR5FC	37,37	39,35	41,40



(Figure IV.2) : résistance de compression dans l'eau

La figure IV.2 montre que la résistance à la compression augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes, on remarque que :

Pour 7 jours :

Dans le cas de 7 jours, la résistance à la compression du mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire est faible dans les compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC par rapport à celle de témoin avec des taux de 42,78% , 33,53% , 21,57% et 14,87% .

Pour 48 jours :

Après 48 jours la résistance à la compression du mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire pour différentes proportions diminue pour toutes les compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC par rapport au témoin et les taux de diminution sont respectivement 37,00% , 26,82% , 19,81% et 14,04%.

Pour 90 jours :

Pour l'effet de fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur la compression du mortier après 90 jours, nous remarquons que la résistance à la compression pour toutes les éprouvettes est faible par rapport à celle de témoin. Les taux de diminution sont estimés à 33,47% , 24,61% , 18,40% et 10,77% pour les compositions 5FGR25FC , 10FGR20FC , 20FGR10FC et 25FGR5FC.

On note que la résistance de compression augmente parallèlement avec l'augmentation de la quantité de fillers du gravier roulé et la diminution de la quantité fillers calcaire dans la composition de mortier pour toutes les périodes.

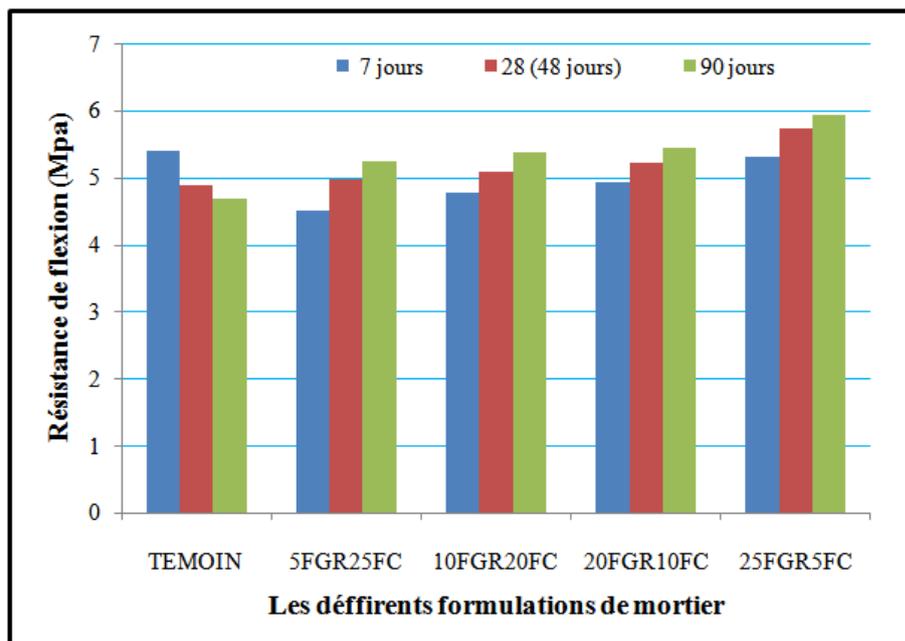
La nature de substitutions semble être un paramètre plus important pour la diminution et l'augmentation de la force de résistance de compression.

IV.3 Influence de la substitution partielle du ciment par fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur la durabilité de mortier (acide sulfurique H_2SO_4) :

IV.3.1 Flexion :

(Tableau IV.3) : Résultats de flexion dans la solution 2% d'acides sulfurique (H_2SO_4)

	Rf pour 7 jours (Mpa)	Rf pour 28 (48 jours) (Mpa)	Rf pour 90 jours (Mpa)
TEMOIN	5,40	4,88	4,69
5FGR25FC	4,50	4,97	5,25
10FGR20FC	4,76	5,09	5,38
20FGR10FC	4,93	5,21	5,45
25FGR5FC	5,31	5,74	5,93



(Figure IV.3) : résistance de flexion dans la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 (2%)

D'après la figure IV.3, on remarque que la résistance à la flexion augmente régulièrement en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes de mortier immergé dans 2% de la solution d'acide H_2SO_4 , à l'inverse pour les mortiers témoin qui marquent une diminution de résistance de flexion.

Pour 7 jours :

Dans 2% de la solution d'acide H_2SO_4 , on remarque que l'échantillon TEMOIN à la grande résistance par rapport aux les autres compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC avec des taux d'augmentations de : 16,66% , 11,85% , 08,70% et 01,66% par apport au mortier témoin.

Pour 48 jours :

Après 48 jours dans 2% de la solution d'acide H_2SO_4 la résistance à la flexion du mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire pour différentes proportions garde la même tendance pour toutes les compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC mais on note par une diminution de résistance du mortier témoin.

Pour 90 jours :

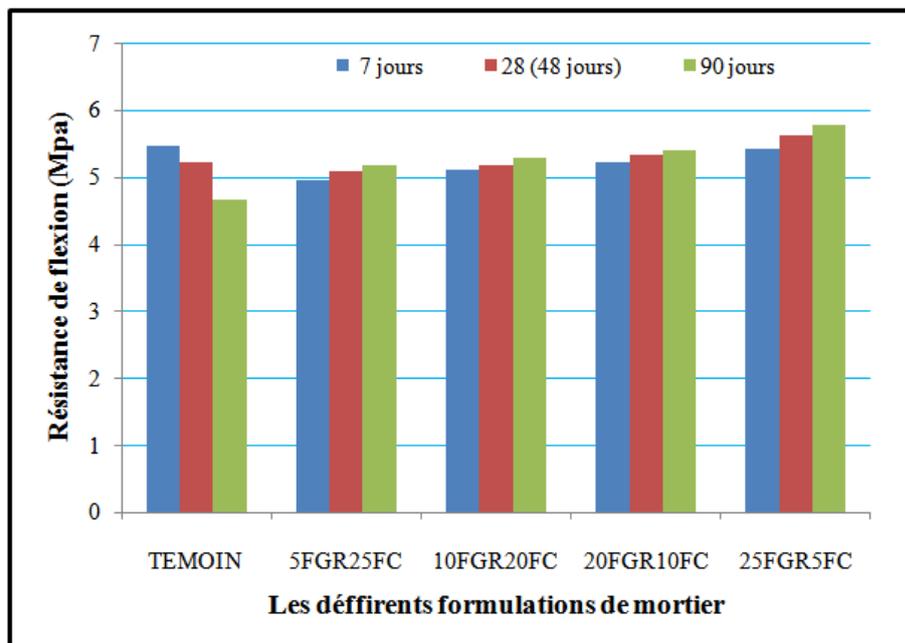
Pour l'effet de fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur la flexion du mortier dans 2% de d'acide H_2SO_4 après 90 jours, nous avons remarqué que la résistance à la flexion pour toutes les éprouvettes garde aussi la même tendance d'augmentation pour toutes les compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC comme nous avons remarqué une diminution de la résistance du mortier témoin face à l'attaque acide.

On note que la résistance de flexion diminue parallèlement avec l'augmentation de la quantité de fillers calcaire et la diminution de la quantité de fillers du gravier roulé dans la composition de mortier pour toutes les périodes.

On note aussi que les valeurs de résistance de flexion de mortiers immergés dans 2% de la solution d'acide H_2SO_4 presque dans toutes les périodes sont plus que les valeurs de résistance de flexion de mortiers dans les conditions normale (l'eau) sauf les mortiers témoin.

(Tableau IV.4) : Résultats de flexion dans la solution 5% d'acides sulfurique (H_2SO_4)

	Rf pour 7 jours (Mpa)	Rf pour 28 (48 jours) (Mpa)	Rf pour 90 jours (Mpa)
TEMOIN	5,46	5,21	4,65
5FGR25FC	4,96	5,08	5,18
10FGR20FC	5,1	5,17	5,29
20FGR10FC	5,21	5,33	5,4
25FGR5FC	5,42	5,61	5,78



(Figure IV.4) : résistance de flexion dans la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 (5%)

La figure IV.4 montre que la résistance à la flexion augmente régulièrement en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes de mortier immergé dans 5% de la solution d'acide H_2SO_4 sauf les mortiers témoin qui marqués une diminution de résistance.

Pour 7 jours :

Dans 5% de la solution d'acide H_2SO_4 , on remarque que l'échantillon TEMOIN à la grande résistance par rapport aux les autres compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC avec des taux d'augmentations de : 09,15% , 06,59% , 04,58% et 00,73% par apport au mortier témoin.

Pour 48 jours :

Après 48 jours dans 5% de l'acide H_2SO_4 la résistance à la flexion du mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire pour différentes proportions garde la même tendance pour toutes les compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC mais on note par une diminution de résistance du mortier témoin.

Pour 90 jours :

Pour l'effet de fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur la flexion du mortier dans 5% de d'acide H_2SO_4 après 90 jours, nous avons remarqué que la résistance à la flexion pour toutes les éprouvettes garde aussi la même tendance d'augmentation pour toutes les compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC comme nous avons remarqué une diminution de la résistance du mortier témoin face à l'attaque acide.

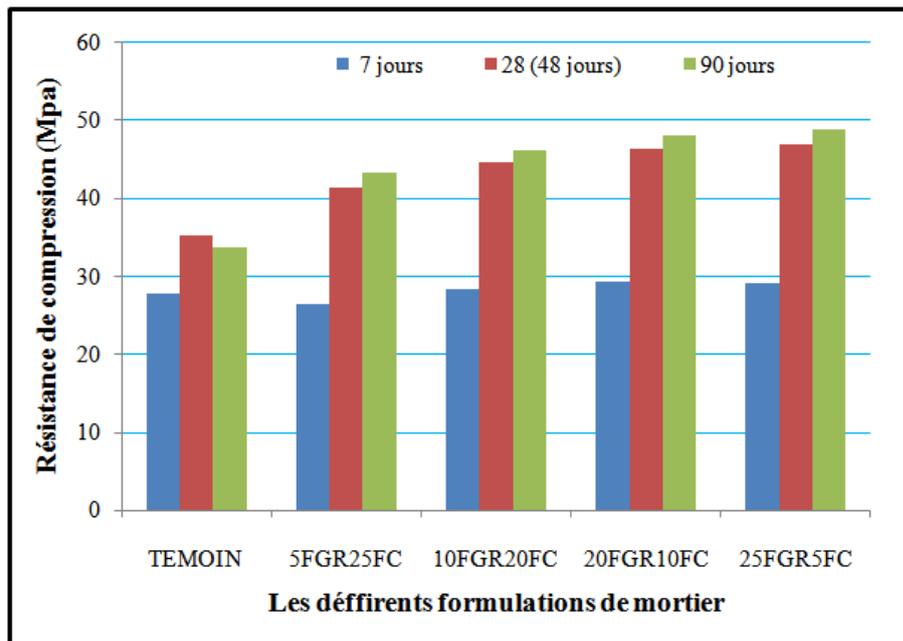
On note que la résistance de flexion diminue parallèlement avec l'augmentation de la quantité de fillers calcaire et la diminution de la quantité de fillers du gravier roulé dans la composition de mortier pour toutes les périodes.

On note aussi que les valeurs de résistance de flexion de mortiers immergés dans 5% de la solution d'acide H_2SO_4 pour 90 jours sont diminuées comparativement aux valeurs de résistance de flexion des mortiers immergés dans 2% de la solution d'acide H_2SO_4 face à l'attaque acide.

IV.3.2 Compression :

(Tableau IV.5) : Résultats de compression dans la solution 2% d'acides sulfurique (H_2SO_4)

	Rc pour 7 jours (Mpa)	Rc pour 28 (48 jours) (Mpa)	Rc pour 90 jours(Mpa)
TEMOIN	27,65	35,25	33,65
5FGR25FC	26,3	41,35	43,2
10FGR20FC	28,34	44,59	46,12
20FGR10FC	29,33	46,32	48,02
25FGR5FC	29,12	46,87	48,66



(Figure IV.5) : résistance de compression dans la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 (2%)

D'après la figure IV.5, on remarque que la résistance à la compression augmente régulièrement en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes des mortiers additionnés immergé dans 2% de la solution d'acide H_2SO_4 .

On note que La résistance à la compression du mortier témoins marque une diminution à l'âge de 90 jours.

Pour 7 jours :

Dans le cas de 7 jours, la résistance à la compression du mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire dans 2% de l'acide H_2SO_4 montre une augmentation régulière parallèlement à l'augmentation du taux du (PGR).

Pour 48 jours :

Après 48 jours dans 2% de l'acide H_2SO_4 la résistance à la compression du mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire pour différentes proportions garde la même tendance d'augmentation pour toutes les compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC, comme nous notons également que la résistance du mortier témoin, a montré la plus faible valeur de résistance.

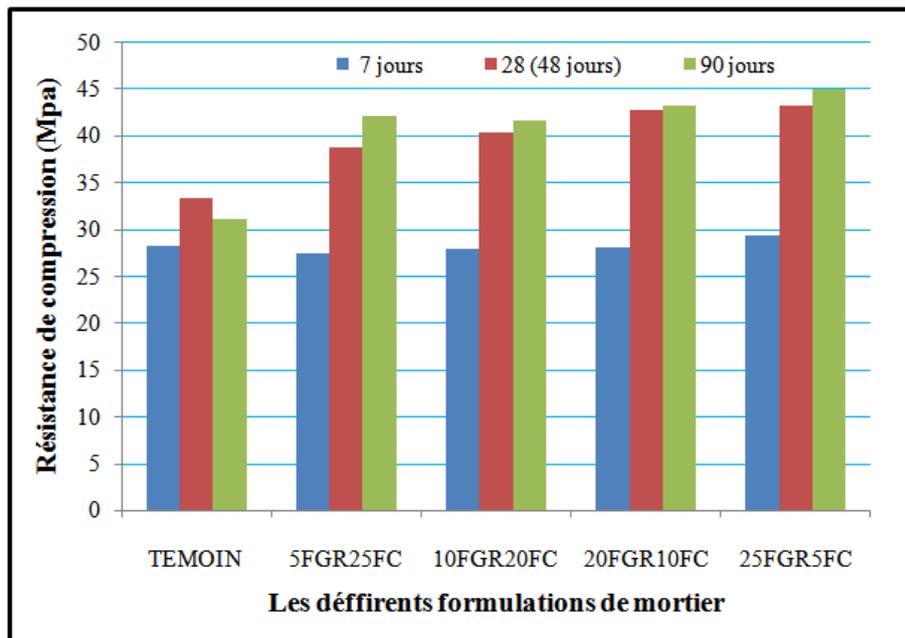
Pour 90 jours :

Pour l'effet de fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur la compression du mortier après 90 jours dans 2% de la solution d'acide H_2SO_4 , nous remarquons que la résistance à la compression pour toutes les éprouvettes a gardé la même tendance d'augmentation.

On note que la résistance de compression augmente parallèlement avec l'augmentation de la quantité de fillers du gravier roulé et la diminution de la quantité de fillers calcaire dans la composition de mortier pour toutes les périodes.

(Tableau IV.6) : Résultats de compression dans la solution 5% d'acides sulfurique (H_2SO_4)

	Rc pour 7 jours (Mpa)	Rc pour 28 (48 jours) (Mpa)	Rc pour 90 jours (Mpa)
TEMOIN	28,25	33,25	31,02
5FGR25FC	27,44	38,65	42,02
10FGR20FC	27,88	40,35	41,64
20FGR10FC	28,03	42,65	43,2
25FGR5FC	29,36	43,21	44,88



(Figure IV.6) : résistance de compression dans la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 (5%)

D'après la figure IV.6, on remarque que la résistance à la compression augmente régulièrement en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes des mortiers additionnés immergé dans 5% de la solution d'acide H_2SO_4 .

On note que La résistance à la compression du mortier témoins marque une diminution à l'âge de 90 jours.

Pour 7 jours :

Dans le cas de 7 jours, la résistance à la compression du mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire dans 5% de l'acide H_2SO_4 montre une augmentation régulière parallèlement à l'augmentation du taux du (PGR).

Pour 48 jours :

Après 48 jours dans 5% de l'acide H_2SO_4 la résistance à la compression du mortier avec fillers du gravier roulé et fillers calcaire pour différentes proportions garde la même tendance d'augmentation pour toutes les compositions 5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC, comme nous notons également que la résistance du mortier témoin, a montré la plus faible valeur de résistance.

Pour 90 jours :

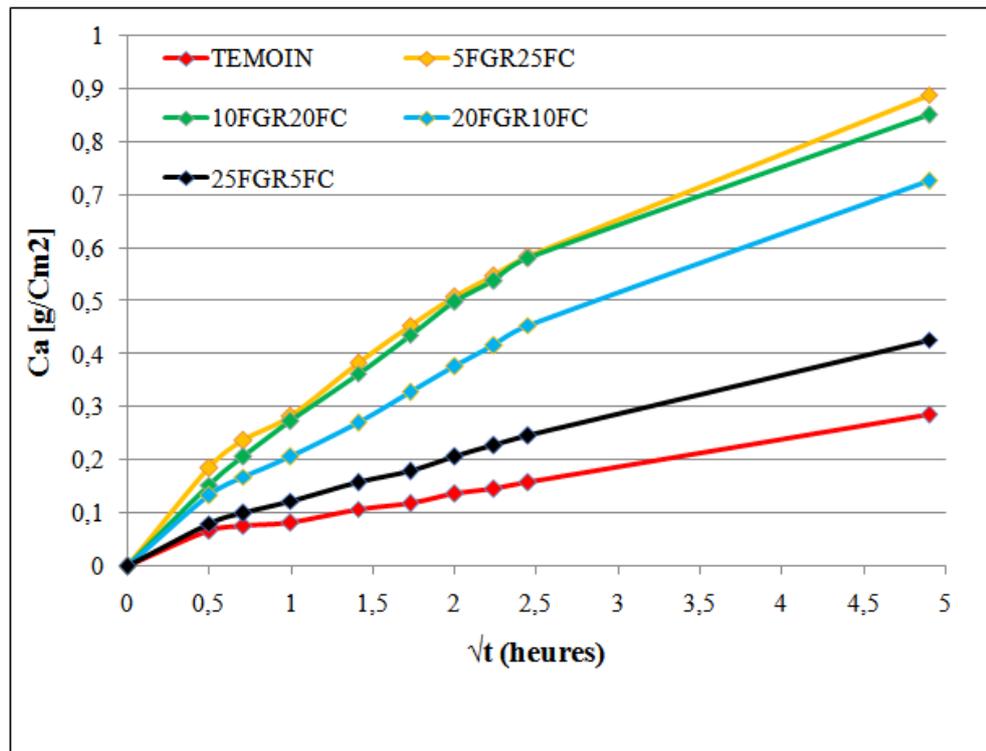
Pour l'effet de fillers du gravier roulé et fillers calcaire sur la compression du mortier après 90 jours dans 5% de la solution d'acide H_2SO_4 , nous remarquons que la résistance à la compression pour toutes les éprouvettes a gardé la même tendance d'augmentation.

On note que la résistance de compression augmente parallèlement avec l'augmentation de la quantité de fillers du gravier roulé et la diminution de la quantité de fillers calcaire dans la composition de mortier pour toutes les périodes.

IV.4 Résultats de l'essai de l'absorption capillaire (durabilité):

(Tableau IV.7) : Résultats de l'absorption capillaire d'eau

	t(heures)	0	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	24
	\sqrt{t}	0	0,5	0,71	1	1,41	1,73	2	2,24	2,45	4,90
	A (cm ²)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
TEMOIN	M [g]	517,97	519,03	519,20	519,30	519,70	519,87	520,13	520,30	520,50	522,53
	Ca [g/cm ²]	0,000	0,067	0,077	0,083	0,108	0,119	0,136	0,146	0,158	0,286
5FGR25FC	M [g]	529,26	532,23	533,07	533,80	535,40	534,35	537,40	538,03	538,60	543,48
	Ca [g/cm ²]	0,000	0,186	0,238	0,283	0,383	0,454	0,508	0,548	0,583	0,889
10FGR20FC	M [g]	530,50	532,97	533,80	534,87	536,30	537,47	538,47	539,13	539,80	544,13
	Ca [g/cm ²]	0,000	0,154	0,206	0,273	0,363	0,436	0,498	0,539	0,581	0,852
20FGR10FC	M [g]	523,37	525,50	526,07	526,67	527,70	528,30	529,40	530,03	530,63	535,00
	Ca [g/cm ²]	0,000	0,133	0,169	0,206	0,271	0,329	0,377	0,417	0,454	0,727
25FGR5FC	M [g]	539,20	540,50	540,80	541,17	541,73	542,07	542,50	542,83	543,13	546,03
	Ca [g/cm ²]	0,000	0,081	0,100	0,123	0,158	0,179	0,206	0,229	0,246	0,427



(Figure IV.7) : Absorption capillaire d'eau

La figure IV.7 permet de dire que l'absorption capillaire augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes.

D'après la figure IV.7, on remarque que :

Les résultats montrent une absorption plus importante pour le mortier 5FGR25FC rapport à les autres compositions dans toutes les périodes (t) saufs le mortier 10FGR20FC qui est comparable avec lui .

Aussi, on remarque que les échantillons de **TEMOIN** marqués les plus faible valeurs d'absorption (Ca) dans tous les périodes (t).

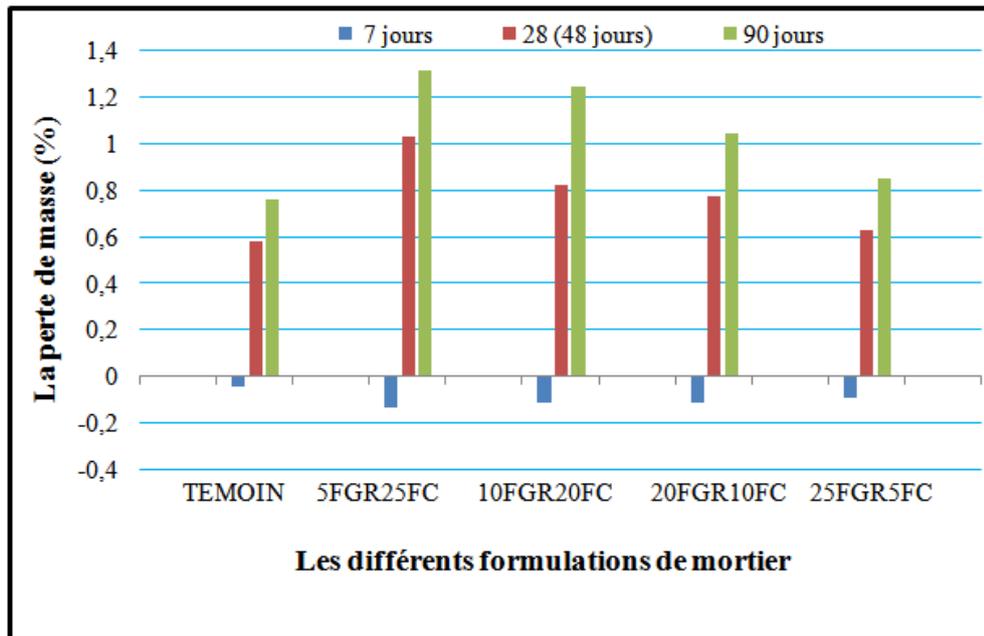
La diminution du fillers calcaire et ou même temps l'augmentation de fillers du gravier roulé dans la composition de mortier à conduit à une diminution systématique de l'absorption d'eau par capillarité.

IV.5 Résultats de l'essai de variation de masse (durabilité) :

IV.5.1 Variation de la masse dans la solution 5% d'acide :

(Tableau IV.8) : Résultats de perte de masse dans la solution 5% d'acide sulfurique H₂SO₄

	Perte de masse pour 7 jours (%)	Perte de masse pour 28 (48jours) (%)	Perte de masse pour 90 jours (%)
TEMOIN	- 0,04	0,58	0,76
5FGR25FC	- 0,13	1,03	1,31
10FGR20FC	- 0,11	0,82	1,24
20FGR10FC	- 0,11	0,77	1,04
25FGR5FC	- 0,09	0,63	0,85



(Figure IV.8) : variation de la masse dans la solution 5% d'acide sulfurique H₂SO₄

La figure IV.2 montre que toutes les échantillons ne perte pas une masse 7 jours, mais pris du poids, au contraire pour les périodes de 48 jours et 90 jours, il y a une perte de masse dans toutes les compositions de mortiers immergé dans la solution 5% d'acide sulfurique.

Chapitre IV Résultats et interprétations

En remarque que tous les formulations de mortier étudié pour 7 jours présentent un gain de masse, ce gain traduit un début de gonflement des mortiers parce que avant d'immersion les mortiers dans la solution 5% d'acide sulfurique H_2SO_4 , les mortiers étaient très sec et absorbés une quantité de la solution H_2SO_4 .

En note aussi que les compositions de mortier immergé dans la solution 5% d'acide sulfurique Pour une durée de 48 jours marqués une perte de masse, et le mortier 5FGR25FC présente une perte de masse maximale de 1,03% de son poids, au contraire le mortier TEMOIN présente une perte de masse minimale à 0,63% de son poids.

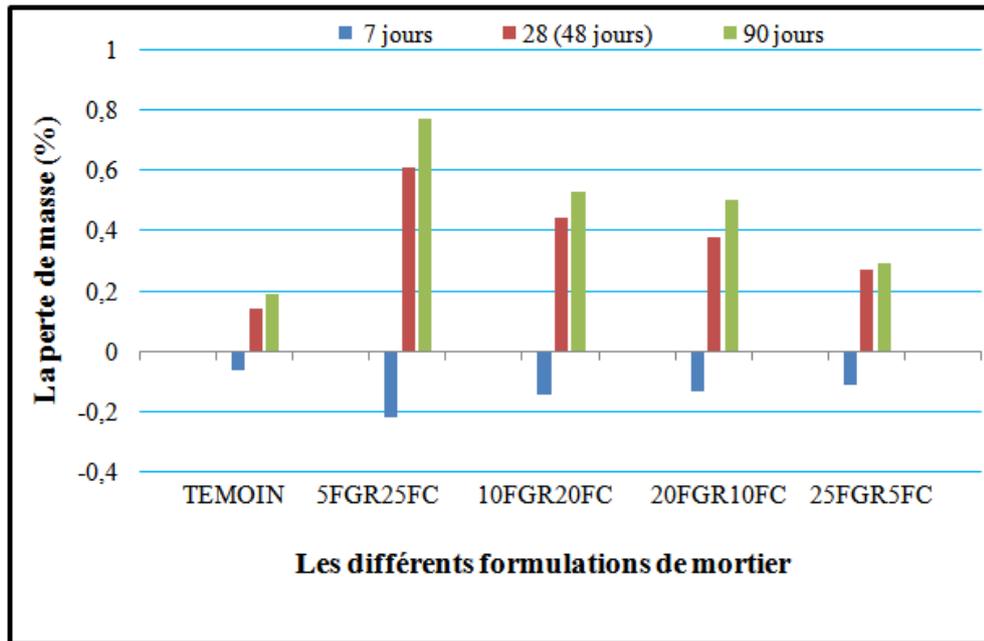
Pour 90 jours, en remarque que les échantillons ont continué à perdre du poids pour toutes les compositions, avec une perte maximale pour le mortier 5FGR25FC et une perte minimale pour le mortier TEMOIN de son poids.

On note que la perte de masse augmente avec l'augmentation de quantité de fillers calcaire et la diminution de fillers du gravier roulé dans les deux périodes 48 jours et 90 jours.

IV.5.2 Variation de la masse dans la solution 2% d'acide :

(Tableau IV.9) : Résultats de perte de masse dans la solution 2% d'acide sulfurique H_2SO_4

	Perte de masse pour 7 jours (%)	Perte de masse pour 28 (48jours) (%)	Perte de masse pour 90 jours (%)
TEMOIN	- 0,06	0,14	0,19
5FGR25FC	- 0,22	0,61	0,77
10FGR20FC	- 0,14	0,44	0,53
20FGR10FC	- 0,13	0,38	0,50
25FGR5FC	- 0,11	0,27	0,29



(Figure IV.9) : variation de la masse dans la solution 2% d'acide sulfurique H_2SO_4

La figure IV.2 montre que toutes les échantillons y a une perte de masse dans toutes les compositions de mortiers immergé dans la solution 2% d'acide sulfurique pour les périodes de 48 jours et 90 jours, mais pour 7 jours les compositions de mortier prix du poids .

En remarque que tous les formulations de mortier étudié pour 7 jours présentent un gain de masse, ce gain traduit un début de gonflement des mortiers parce que avant d'immersion les mortiers dans la solution 2% d'acide sulfurique H_2SO_4 , les mortiers étaient très sec et absorbés une quantité de la solution H_2SO_4 .

Pour 48 jours, les compositions de mortier immergé dans la solution 2% d'acide sulfurique marqués une perte de masse maximale de 0,61% de son poids, au contraire le mortier TEMOIN présente une perte de masse minimale à 0,14% de son poids.

En note aussi que les compositions de mortier Pour une durée de 90 jours ont continué à perdre du poids pour toutes les compositions, avec une perte maximale pour le mortier 5FGR25FC et une perte minimale pour le mortier TEMOIN de son poids.

On note que la perte de masse augmente avec l'augmentation de quantité de fillers calcaire et la diminution de fillers du gravier roulé dans les deux périodes 48 jours et 90 jours.

IV.6 Conclusion :

Nous avons vu dans cette chapitre que le pourcentage de le filler de gravier roulé et de filler calcaire utilisé comme ajout, ainsi que la variation de quantité ont des effets considérables sur le ciment favorables pour certaines et défavorables pour certaines d'autre.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et Perspectives

Dans le présent travail on a fait une étude sur l'influences des caractéristiques mécaniques et physiques du mortier avec une substitution partielle de ciment par les ajouts « fillers du gravier roulé et fillers calcaire » dans les environnements agressifs. Le ciment est substitué avec 30% du poids par les ajouts à des proportions :(5FGR25FC, 10FGR20FC, 20FGR10FC et 25FGR5FC) et comparé par rapport au mortier témoin.

Les mortiers sont immergés dans trois milieux pour la conservation :

- Dans les conditions normales (l'eau).
- Dans 2% de la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 .
- Dans 5% de la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 .

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Nos résultats ont permis de mettre en évidence, à partir des essais mécaniques et chimiques sur mortiers, qu'il est possible d'obtenir des ciments composés en substituant une partie du ciment par des matériaux minéraux locaux finement broyé (FGR et FC).
- L'utilisation des granulats roulés en poudre et le filler calcaire rendent potentiellement admissibles au rang d'additions minérales pour mortier.
- Les granulats roulés en poudre de teneurs de 20 à 25 % combiné avec filler de calcaire en taux de moins de 10% à un effet bénéfique sur la résistance à la compression et à la traction de mortier immergé dans d'acide H_2SO_4 à deux concentrations 2% et 5%.
- La poudre de granulats roulés (local), et filler de calcaire, améliorent la résistance à la compression à long terme, à cause de l'amélioration du remplissage des pores produit par la réaction entre les silicates de calcium hydratés (CSH) et les cristaux de la portlandite $Ca(OH)_2$.

Conclusion générale et perspectives

- L'addition de filler calcaire (taux > 10%) aux mortiers substituer avec poudre de gravier roulés soumis à l'attaque par l'acide sulfurique (H_2SO_4) n'est pas préconisée, où on peut argumenter que les mécanismes qui améliorent la résistance à la compression et réduit la porosité n'ont pas réussi à améliorer la résistance du béton à l'attaque par l'acide sulfurique à une concentration relativement élevée.
- Il apparait clairement que les mortiers avec un taux de 20 et 25% de FGR et de 5 à 10% du filler calcaire ont bien résisté à l'attaque d'acide sulfurique (H_2SO_4) que le mortier témoin (sans FGR). C'est le mortier à 25% F. Calcaire qui a la mauvaise résistance. Plus le taux de filler calcaire est grand plus la résistance de mortier à la solution acide est mauvaise.

Perspectives et Recommandations :

Le filler du gravier roulé va jouer un grand rôle dans le futur vu la possibilité de prévoir la qualité du produit pour les caractéristiques mécaniques et physiques du mortier, ce qui va aboutir à une grande économie.

Afin de compléter cette étude nous recommandons pour un futur travail, d'aborder les points suivants :

- Effet des ajouts minéraux sur le comportement de la pâte de ciment.
- Influence du rapport E/C sur la réponse physico-mécanique du mortier à base de ciment et des ajouts minéraux.
- Etude de l'influence des méthodes d'activation (chimique et thermique) des ajouts minéraux cimentaires (fillers du gravier roulé et fillers calcaire).
- Influence des ajouts minéraux cimentaire sur la durabilité de béton.
- Valorisation des ressources naturelle des zones sahariennes dans le domaine de génie civil.

Références

Références

- [1] : La norme NF EN 197-1 Avril 2012 Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
- [2] : TECHNO –BETON « bullerai technique publier par association béton octb 1988 et 2005 ».
- [3] : Jean Fasta « Georges Dreux. Nouveau Guide Du Béton Et Ses Constructions » 8^{ème} Edition, Eyrolles, 2007.
- [4] : NOUIDER .M « influence e d'eau de gâchage sur la résistance mécanique d'un mortier à sable des dunes master hydraulique urbain université kasdi merbah Ouargla 2011».
- [5] : Z. BEN GHAZI, L. ZEGHICHI «Le ciment au laitier sans clinke (activation mixte) » ; université de M'SILA.
- [6] : A .BENCHEIKH « contribution à la caractérisation d'un ciment à base de laitier +5% de calcaire » Mémoire de master université de M'SILA 2014/2015.
- [7] : Kerbouche1 A.Mouli1 M., « Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers ». Mémoire de Magister. ENSET Oran 2009.
- [8] : G. Dreux "Nouveau guide du béton " Edition, Eyrolles - Paris- 1998.
- [9] : L. PLISKIN : « La fabrication du ciment » - Edition Eyrolles – 217p- Paris1993.
- [10] : Kiran Pokkuluri « Effect of admixtures, chlorides, and moisture on dielectric properties of Portland cement concrete in the low microwave frequency range» - Master thesis – Virginia University – 210p - October 1998.
- [11] : Y. Older , « Hydration, setting and hardening of Portland cement », dans Lea's - Chemistry of Cement and Concrete, chap.6, Arnold, 4th éd- 1998.
- [12] : R. Gané « Cours de durabilité et Réparation des bétons » - Chapitre 2- Université de Sherbrooke - Canada 2002.
- [13] : Belhocine Aida, Nagoudi Nadjat, « Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux », mémoire master en génie civil, université Kasdi Merbah-Ouargla, 2013/2014.
- [14] : BOUALI Khaled «Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires» mémoire de magister BOUALI Khaled Université Du BOUMERDES, 2013/2014.
- [15] : L. Baali, Cours de MDC, Licence Université de M'sila.

Références

- [16] : CIMBETON, les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, Tome2, 137p, janvier 2013.
- [17] : GCI712 « Durabilité et réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril, 2009.
- [18] : KHELAIFA Hamad & TAGBA Maléki «Etude expérimentale sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc, de déchets de brique et d'adjuvant résineux » Mémoire de Master l'Université de Guelma juin 2015.
- [19] : KOMMAR. A. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
- [20] : R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN « Granulat, sols, ciment et béton » Edition CASTEILLA-PARIS-2004.
- [21] : EMILE O."Les matériaux de construction" Cours.
- [22] : Salmi sara, «Etude de l'influence du laitier granulé sur le comportement des mortiers à haute température», mémoire de master en génie civil, université de M'sila, juin 2014.
- [23] : L. Zeghichi, B. Mezghiche, A. Merzougui. « L'influence de l'activation du laitier sur le comportement mécanique des bétons », Lebanese science journal, 8, N° 2, (2007).
- [24] : R. Khelifa, N. Rahim, A. Muzahim. « L'influence des ciments à base d'ajouts minéraux locaux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons ». XXIIèmes rencontres AU GC – ville et génie civil, 2004.
- [25] : Manai K., « Etude de l'effet d'ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivelants », Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Sherbrooke, Canada, 1995.
- [26] : Soroka I., « Concrete in hot environment», Edition Taylor & Francis e-Library, 2004.
- [27] : A. K. Ramezani pour. « Engineering properties and morphology of pouzzolanic cementconcrete », PhD Thesis, University of Leeds, 310 pages - April 1987.
- [28] : H. Scholze. « Le verre, nature, structure et propriétés» ; institut du verre, Paris 1980.
- [29] : R. Chaid. « Formulation, caractérisation et durabilité des BHP aux ajouts cimentaires locaux ».Thèse de doctorat d'état en génie civil ENP décembre 2006.
- [30] : Djobo Yankwa Jean Noël. « Effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments gépolyinères a base scories volcanique ».
- [31] : J. Baron, J.P. Olivier et J.C. Weiss. « Les ciments courants, Les bétons, Bases et données pour leur formulation », sous la direction de Jacques Baron, Jean-Pierre Olivier, Ed. Eyrolles, 1996.

- [32] : P. Billberg. Fine mortar rheology in mix design of scc. In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete. RILEM, 1999.
- [33] : Gibbs J.C and ZHU W., « Strength of hardened self-compacting concrete », Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting (PRO 7), Stockholm, Suède, septembre (1999).
- [34] : Kara-Ali R., «influence des additions minérales sur le besoin en eau et les résistances mécaniques des mélanges cimentaires », Thèse de doctorat de l'université de Cergy-Pontoise, 2002.
- [35] : Michel, «Influence of physic-chemical characteristics of limestone fillers on fresh and hardened mortar performances», Proceedings of the International RILEM Symposium on SCC, Ghent, Belgium, September 2007.
- [36] : Topçu, «Effect of the use of mineral filler on the properties of concrete», Cement and Concrete Research , 2003.
- [37] : Felekoglu B, « utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case) », Resources, conservation and recycling, 2007.
- [38] : Lawrence. P «sur l'activité des cendres volantes et des additions minérales chimiquement inertes dans les matériaux cimentaires», Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier, Toulouse III, 2000.
- [39] : (Cherait. Y & Nafa.Z, 2006).
- [40] : [www.sable-gravier-galet-decoratif.com].
- [41]: Taylor HFW. «Cement chemistry. 2ème edition. London»; Edition Thomas Telford 1997.
- [42] : Adamiec P, Benezet JC, Benhasseine A. «Relation entre une cendre volante silico-alumineuse et son charbon. Poudre et grains»; Vol.15. N°3 2005.
- [43] : Feng X, Clark B. « Evolution of the physical and chemical properties of fly ash products for use in Portland cement concrete». World of coal ash conference, Denver Colorado USA, 9-11 Mai 2011.
- [44] : Ollivier JP, Carles-Gibergues A, Hanna B. « Activité pouzzolanique et action de remplissage d'une fumée de silice dans la matrice de béton de haute résistance». Cem Concr Res 1988.
- [45] : Geoffray J-M, Valladeau R. « Morphologie et couleur des pouzzolanes. Bulletin de liaison du laboratoire de ponts et chaussées ». 92 nov. -dec. 1977- Ref 2116.

- [46] : C. El-Ouazzani D, Mansouri K, B. Fokam C. « Etude préliminaire de la valorisation des boues de papeterie comme matières premières secondaires dans les mortiers de ciment Portland ». Revue Nature et technologie 2013 .
- [47] : Melle. Kaouane Malika « Analyse des contraintes mécaniques et de la fissuration des éléments en béton armé sous l'effet thermo mécanique» Mémoire de Magister. Université Mouloud Mammeri, tizi ousou, 2011.
- [48] : V. K. R. Kodur, M. A. Sultan. « Effect of Temperature on Thermal Properties of High-Strength Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering » ASCE, Vol. 15, No. 2, 2003.
- [49] : Y. Collet. « Etude des propriétés du béton soumis à des températures levées ». Annales des travaux publics belges, 1977.
- [50] : R. Felicitti, P.G. Gambarova, M.N. Sora, G.A. Khoury. Mechanical behaviour of HPC and UHPC in direct tension at high temperature and after cooling. Fifth Rilem symposium on fibre-reinforced concretes N° 5 Lyon, France, 2000.
- [51] : LOGBI Abdelaziz, « effet des ajouts minéraux actifs et inertes sur les propriétés physique mécanique et chimique du mortier», THÈSE de DOCTORAT 2018/2019.
- [52] : BOUGLADA Mohamed Salah, «Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier», Mémoire de Magister, Université de M'sila, Année 2007 / 2008.
- [53] : Saida BOUALLEG : «Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires » (Mémoire de Magister- Université Mohamed Boudiaf de M'sila-2004).
- [54] : CHIHAOUI Ramdane : Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif (Mémoire de Magister- USTMB d'Oran -2008).
- [55] : HAUSMANN D.A. – « Steel corrosion in concrete: how does it occur? » Materials protection, vol. 4, 11, 1967.
- [56] : J. P Olivier : livre de " Durabilité des bétons." (A.NONAT :chapitre2 ; V BAROGHEL-BOUNY, B. CAPRA, S. LAURENS : chapitre 9 ; A. CARLES-GIBERGUES H.HORNAIN :chapitre11 ; G. ESCADEILLAS, H. HORNAIN: chapitre 12). (Edition : Press de l'école nationales des ponts et chaussées -2008).
- [57] : Dr. Ir. P. Boeraeve : Cours de Béton armé.
- [58] : AZRAR Taous «Influence du PH sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier autoplaçant » mémoire de master université Akli Mohand Oulhadje-BOUIRA ; 2018.
- [59] : Fiche technique_produit_ciment_moukaouem_plus_fr.
- [60] : la norme NA 230 :2010 / EN 196-3 : 2008.

Références

- [61] : Norme française, Analyse granulométrique par tamisage NF P 18-560, Septembre 1990.
- [62] : (NF P 18-540 Granulats - Définitions, conformité, spécifications).
- [63] : Norme française (XP P 18-545 Granulats Éléments de définition, conformité et codification).
- [64] : NF EN 933-8 Août 1999 Partie 8 : Évaluation des fines — Équivalent de sable.
- [65] : Norme français, « Mesure des masses volumique, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables » NF P 18-555 décembre 1990.
- [66] : fiche technique de l'usine carbonate de calcium EL –khroub W. Constantine.
- [67] : DEHBI Nacera Melissa et CHAIBET Cylia « Comportement rhéologique et physico-mécanique des mortiers autoplacants avec ajouts minéraux » mémoire de master université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ; 2018/2019.
- [68] : Norme française (NF EN 196-1) Méthodes d'essais des ciments — Partie 1 : Détermination des résistances septembre 2016.
- [69] : M : AHMED Faycel «Conception d'un béton destiné aux ouvrages hydrotechniques » mémoire de master Ecole nationale supérieure d'hydraulique –ARBAOUI Abdellah- Avril-2015.

Annexes

1. Fiche technique de ciment mokaouem :



ALGÉRIE

Mokaouem مقاوم بلوس Plus

50kg



Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3

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.

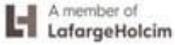
Mokaouem
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

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.



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.



Conditionnement: /

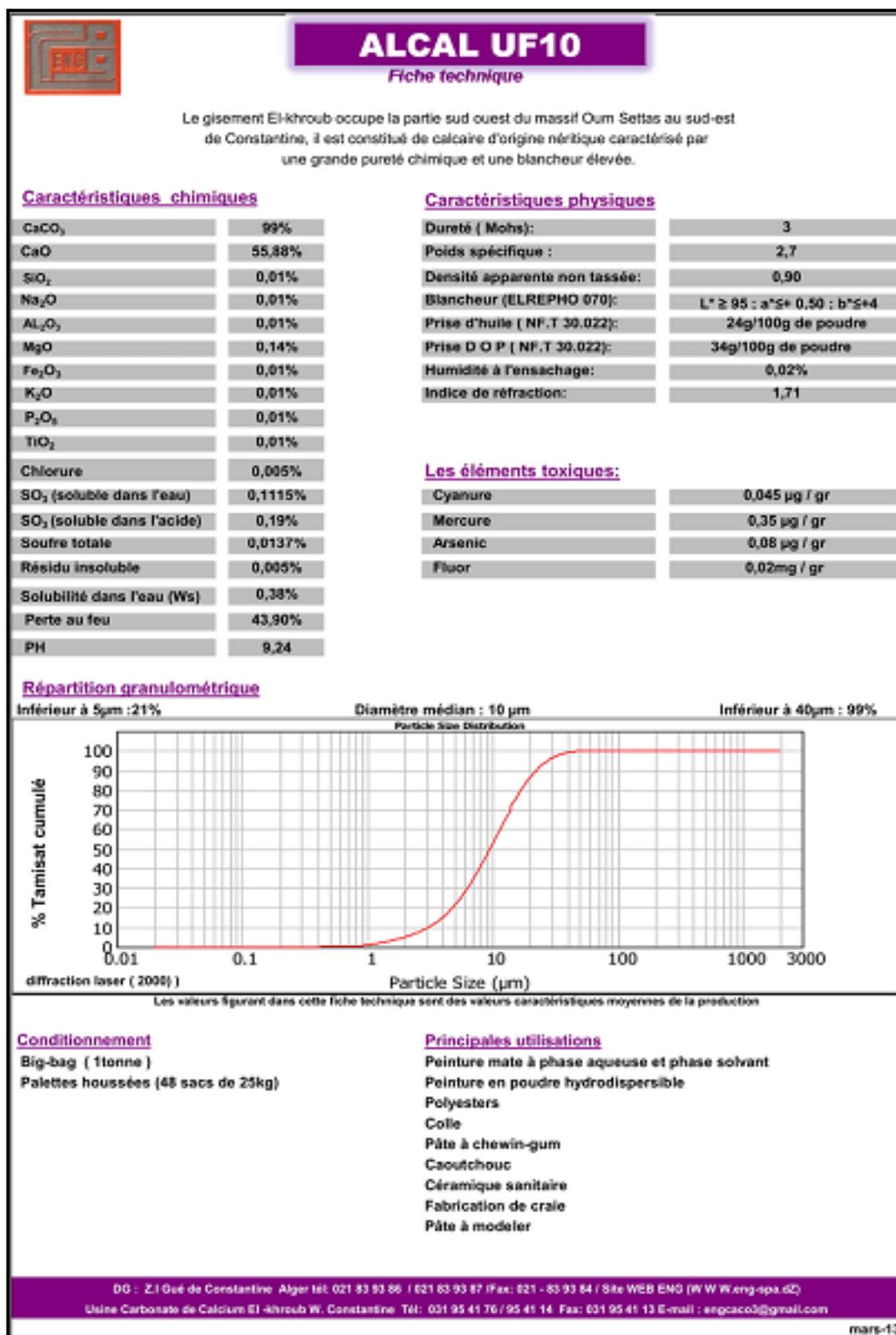
A member of **LafargeHolcim**

LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva, les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
 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



2. Fiche technique de calcaire :



3. Fiche technique de calcaire :

Construction	Notice technique	
	SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12	
	Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.	
	Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.	
		
	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"> ■ Fûts de 230 kg ■ CP de 1000 L ■ Vrac 	
Stockage	<p>Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °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 en emballage intact	
Données techniques		
densité	1,06 ± 0,01	
pH	6 ± 1	
Teneur en Na₂O Eq.	≤ 1 %	
Extrait sec	30,2 ± 1,3 %	
		
1		
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12 1/2		

Construction

Teneur en ions Cl ⁻	≤ 0,1 %
Conditions d'application	
Dosage	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.
Mise en œuvre	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. Consulter la fiche de données de sécurité.
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA® a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Organisme de certification :
AFNOR CERTIFICATION
11, avenue Francis de Pressensé
93571 Saint-Denis La Plaine cedex
France



Sika El Djazair,
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
www.sikaeldjazair.com

Tel : 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08
Email: sika.commercial@dz.sika.com

