



EMinistère de l'enseignement supérieur et
de la recherche scientifique
Université Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté de technologie
Département de GENIE CIVIL



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme
de MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : *Matériaux*

THEME

**Etude de comportement d' un mortier
adjuvanté à base de sable préparé**

Dirigé par :

Dr .BELAGRAA Larbi

Présenté par:

NOUR Linda

Promotion: 2018/2019.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

REMERCIEMENTS

A mon dieu le clément et miséricordieux

Je remercie avant tout mon dieu c'est grâce à lui seul que j'ai pu achevé ce modeste travail.

*Je remercie encadreur : Dr. BELAGRAA Larbi
Je remercie également : Mr BOUDIAF Ridha: ingénieur de laboratoire
BERM (M'sila).*

Ma collègue et mes amies : Bou djamaa yamina, Djilani Souad

Pour leurs aides jusqu' à l'aboutissement de ce travail.

Messieurs les membres de jury pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Mes enseignants (es) du département de génie civil et les responsables du laboratoire.

Tous les employés de BERM (M'sila).

-Tous les gens qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.



DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à

Pour ma mère et cher

Pour mon mari mimo

Pour le grand Docteur et cher à mon cœur BELAGRAA Larbi

Pour ma famille

Pour mes amis yamina, souad

**Pour mes amies de la spécialité, structure et géotechnique
nassima, Hanane**

Toutes mes connaissances.



SOMMAIRE

TABLE DE MATIÈRES

Dédicace

Remerciement

SOMMAIRE

Résumé

Abstract

ملخص

Chapitre I : Introduction générale

I. Introduction générale	01
➤ Problématique	02
➤ Contexte	02
➤ Objectifs	02
➤ Structure de mémoire	02

Chapitre II : revue bibliographique

II.1.1. Introduction

Partie 1 : les ciments et les ajouts cimentaires

II.1.2 le ciment.....	
II.1.2.1 Définition	04
II.1.2.2 Principe de fabrication ciment portland	04
II.1.2.3 Principales types des Ciments	04
II.1.2.4 Les constituants du ciment	05
II.1.2.5 Les réactions d'hydratation du ciment.....	06
II .1.2.5.1 Hydratation du silicate tricalcique C3S	06
II .1.2.5.2 Hydratation du silicate bi calcique C2S	07
II.1.2.5.3 Hydratation de l'aluminate tricalcique C3A.....	07
II.1.2.5.4 Hydratation de l'aluminoferrite tétracalcique C4AF.....	08
II.1.6 Ciment (CRS).....	08

II.1.6.1 Définition du ciment crs	09
II.1.6.2 Caractéristiques chimiques et minéralogiques	09
II.1.6.3 Caractéristiques physicomécaniques	09
II.1.6.4 Emplois habituel	09
II.1.7 Les types d'ajouts cimentaires	09
II.1.7.1 Le laitier de haut fourneau (LHF)	09
II.1.7.1.1 Effet du laitier de haut fourneau	10
II.1.7.1.2 Types de laitier (propriétés et mode de fabrication)	10
II.1.7.1.3 Composition chimique	10
II.1.7.2 Les cendres volantes (CV)	11
II.1.7.2.1 Les types de cendres volantes.....	11
II.1.7.2.2 Effet des cendres volantes	11
II.1.7.3 La pouzzolane	11
II.1.7.3.2 Types de pouzzolane	12
II.1.7.3.3 Effet de La pouzzolane	12
II.1.7.4 La fumée de silice(FS).....	13
II.1.7.4.1 Composition chimique de la FS	14
II.1.7.5 Les fillers de marbre	14
II.1.7.6 Le Gypse	14
II.2.1 Introduction	15
II.2.2 Définition	15
II.2.3 Les différents types de l'adjuvante	15
Partie 3 : Le mortier	
II.3.1 Introduction	16
II.3.2 Définition	16
II.3.3 Propriétés des mortiers	16
II.3.4 Matériaux composants et propriétés de mortier dues à ces matériaux	17
II.3.5 Les type des mortiers.....	17
II.3.6 Fonction des mortiers	17
II.3.7 Emplois des mortiers.....	17

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et procédures expérimentales

Partie 1

Introduction	19
--------------------	----

Partie 2 : Matériaux de base utilisés

III.2.1 Ciment	20
III.2.1.1 Caractéristique physique	20
III.2.1.2 Caractéristiques chimiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N-ES	20
III.2.1.3 Les caractéristiques minéralogiques du (CEM III/A 42.5N-ES	21
III.2.2 Eau utilisée	21
III.2.3 Laitier et l'adjuvante.....	22
III.2.4 L'adjuvant	22
III.2.4.1 Action du MEDAFLOW	22
III.2.4.2 Domaine d'application	23
III.2.4.3 Dosage	23
III.2.5 Sable	24
III.2.5.1 Préparation des différents types de sable	24
III.2.5.2 Préparation Des quartzs.....	24
III.2.5.4 Préparation des sacs de 1350 g	26
III.2.5.5 La préparation des sacs témoin	27
III.2.5.6 La préparation des sacs mixte	27

Partie 3 : Formulations des mortiers

III.3.1 Formulation et fabrication des mortiers	30
III.3.4 Déterminer des propriétés mécanique	30
III.3.4.1 Essai de rupture par flexion : norme NFP15- 451	32
III.3.4.2 Essai de rupture par compression : norme NFP 15-451	33
III.3.2.4 Essai de durabilité.....	34
III.3.2.5 Absorption	35

Chapitre IV : Résultats et analyses

IV.1 Introduction	38
IV.2 Réponses mécaniques.....	38
IV.2.1 Essai de Compression	38
IV.2.2 Essai Flexion	38
IV.2.3 La durabilité	40
IV.2.3.1 D'acide chlorhydrique (HCl)	40

IV.2.3.2 D'acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	40
IV.2.4 Absorbation	41

Chapitre V : Interprétation des résultats

Introduction	43
V.1 Analyse et commentaire des résultats à la compression.....	43
V.2 Analyse et commentaire des résultats à la flexion	45
V.3 Coefficient d'amélioration (Ca)	46
V.4 Analyse et commentaire des résultats a perte de masse.....	47
V.5 Analyse et commentaire des résultats a l'absorbation	48

Conclusion et recommandations

Conclusion	51
Recommandations	51

LISTE DES FIGURES

N° figures	Chapitre 02: Etude bibliographique	N° pages
Fig II-1	Fabrication du ciment.	5
Fig II-2	Les constituants du ciment.	6
Fig II-3	C-S-H fibreux avec Cristal de Portlandite (X) entre des C-S-H (#), La porosité est repérée par (O)	7
Fig II-4	Microscopie Electronique à Balayage, ettringite aciculaire (aiguille) dans un béton	8
FigII-5	Le laitier	9
Chapitre 03: Caractérisation des matériaux utilisées et procédures expérimentale		
FigIII.1	étuve de la cimenterie pour séchage de laitier	21
Fig III.2	broyeur à boulet de 5 kg.	22
Fig III.3	Super plastifiant utilisé dans notre étude.	23
Fig III.4	différent fraction des quarts	25
Fig III.5	Courbe granulométrique du sable d'OUED SOUF	26
Fig III.6	Sable normalisé	27
Fig III.7	Mode de conservation des éprouvettes	32
Fig II.8	Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.	33
Fig III.9	Dispositif de rupture en compression	33

LISTES DES TABLEAUX

N° detableaux	Chapitre 02 :étude bibliographique	N° pages
Tableau II-1	Principals categories de ciment	5
Tableau II-2	la composition chimique moyenne du laitier.	10
Tableau II-3	Composition chimiques de la FS	13

Chapitre 03 : Caractérisation des matériaux utilisées et procédures expérimentale		
Tableau III1	Caractéristiques physiques du (CEM III/A 42.5N-ES-)	20
Tableau III-2	Les compositions chimiques du (CEM III/A 42.5N-ES-	20
Tableau III-3	compositions minéralogiques du (CEM III/A 42.5N –ES	21
Tableau III-4	Composition chimiques du LHF	22
Tableau III-5	Caractéristiques du MEDAFLOW 30	23
Tableau III-6	Masse mole claire du super plastifiant	24
Tableau III-7	Série des tamis utilisés pour le tamisage du sable.	24
Tableau III-8	Analyse granulométrique par tamisage : [NA EN933-1]	25
Tableau III-9	Analyse granulométrique du sable d’OUED SOUF.	25
Tableau III-10	La composition du Sable des sacs de 1350 g	26
Tableau III-11	La composition du Sable(MT)	27
Tableau III-12	La composition du Sable(ML1)	28
Tableau III-13	La composition du Sable(ML2)	28
Tableau III-14	La composition du Sable(ML3)	29
Tableau III-15	La composition du Sable(ML1A1).	29
Tableau III.16	La composition du Sable (ML1A2).	30
Tableau III.17	Les compositions des mortiers étudiés.	30

ملخص:

تتعلق هذه الدراسة التجريبية بالسلوك الميكانيكي للمتانة وقوتها على أساس رمل محلي محضر من الإضافة المعدنية (الخبث) وبضم مادة مساعدة. مع العلم أن القوة الميكانيكية الملاط ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتكوينها.

الهدف من بحثنا هو دراسة الخصائص الميكانيكية لمواد بناءً على رمل واد سوف المجهز (استبدل الكسر من 0.08 إلى 16.0 mm و الذي هو في حدود 15 % من الخبث مع الحفاظ على حجم الجسيمات مطابق أن من الرمال موحدة). يتم استخدام المدنات الفائقة Medaflo SP 30 بجرعة 0 و 0.5 و 1 % من وزن الأسمنت. تتم مقارنة النتائج التي يتم صياغتها مع الملاط العادي دون إضافة أو خليط (مصنوع من رمل قياسي).

نهدف من خلال هذا البحث إلى عرض وتحليل تأثير كل مكون على القوة الميكانيكية والديمومة في الخلائط المحصلة في الأوساط المهاجمة (H₂SO) و(HCl) والمواد المساعدة المصنوعة من هذه الرمال المعدة.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها حتى الآن تحسناً ملحوظاً في الخواص الميكانيكية للملاط المصنوعة من أنواع مختلفة من الرمال المعدة مع مرور الوقت ، مع تحسن يصل إلى (40 MPa) للرمل المعد على أساس 15 % من خبث الأفران و 10 (الخبث +المضافات) والتي تعطي مقاومة جيدة وأكثر ملاءمة في أوساط كيميائية مهاجمة.

الكلمات المفتاحية: السلوك الميكانيكي ، الملاط ، الرمال ، المواد المساعدة ، الخبث ، المتانة

Résumé

Cette étude expérimentale concerne le comportement mécanique et la durabilité d'un mortier à base d'un sable local préparé d'ajout minéral(le laitier) et avec l'incorporation d'un adjuvant. Sachant que La résistance mécanique d'un mortier est étroitement liée à sa composition.

L'objectif de notre recherche est d'étudier les caractéristiques mécaniques de mortier à base de ce sable préparé de oued souf (substitué la fraction 0.08-0.16 qui est de l'ordre de 15 % par le laitier tout en gardant la granulométrie identique à celle d'un sable normalisé). Le super plastifiant Med flow SP 30 est utilisé à un dosage de 0,5 et 1 % du poids du ciment. Les mortiers formulés sont comparés avec un mortier normal sans ajout ni adjuvant (confectionnée à partir d'un sable normalisée).

On vise à travers ce sujet de recherche à montrer et analyser l'influence de chaque constituant sur la résistance mécanique et la durabilité dans le milieu agressif (H_2SO_4 et HCl) des mortiers son adjuvantes confectionnées à base de ce sable préparé.

Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent une amélioration importante des propriétés mécanique des mortiers confectionnés à base des différents types de sables préparés au cours du temps, avec une amélioration qui atteint (40 MPa) pour les deux sables à base de 15% laitier et 10 %(laitier + adjuvant) et qui donnent de bonnes résistances plus avantageuses par apport au témoin.

Mots clés : comportement mécanique, mortier, sable, adjuvant, laitier, durabilité.

Abstract:

This experimental study concerns the mechanical behavior and durability of a mortar based on a prepared local sand of mineral addition (slag) and with the incorporation of an adjuvant. Knowing that the mechanical strength of a mortar is closely related to its composition.

The objective of our research is to study the mechanical characteristics of mortar based on this prepared sand of wadisuf (substituted the fraction 0.08-0.16 which is of the order of 15 % by the slag while keeping the grain size identical to that of a standard sand). The super plasticizer Mudflow SP 30 is used at a dosage of 0,5 and 1 % of the weight of the cement. The formulated mortars are compared with a normal mortar without addition or adjuvant (made from standardized sand).

The aim of this research topic is to show and analyse the influence of each component on the mechanical resistance and durability in the aggressive medium (H₂SO₄ and HCl) of the mortars adjuvanted made from this prepared sand.

The results obtained so far show a significant improvement in the mechanical properties of mortars made from the different types of sand prepared over time, with an improvement which reaches (40 MPa) for the two sands based on 15% slag and 10% (slag + adjuvant) and which give good resistance more advantageous per contribution to the control.

Key words ; Mechanical behavior, mortar, sand, admixture, slag, durability.

Chapitre I

Introduction générale

Introduction générale

Problématique :

Dans le domaine de génie civil, les matériaux les plus utilisés dans la construction c'est le béton et le mortier, grâce à ses propriétés caractéristiques et domaine d'application étroit, ces derniers se présentent principalement dans les performances mécaniques, et la durabilité, dans les différentes constructions d'une grande hauteur de portées importantes, sans oublier l'aspect final de la forme et la couleur.

Ces exigences, nous oblige de faire des recherches scientifiques liées par des expériences réalisé au niveau de laboratoire de génie civil selon les normes internationaux pour améliorer ces performances, par l'étude des différents paramètres , soit rhéologiques tel que l'ouvrabilité on se basent sur le changement du rapport E/C et l'utilisation des adjuvants ou intervenir dans la composition elle-même par l'introduction des ajouts cimentaires, progressez à une activation mécanique par l'augmentation de la finesse des mouture (SSB) ce qui influe positivement sur le processus d'hydratation.

Notre étude vise l'intervention au niveau d'un composé qu'on l'estime négligé vis-à-vis la participation dans le développement des caractéristiques mécaniques des matériaux cimentaires(le sable) vu son aspect plus au mois inerte, ce matériau a purement une intervention physique et qui a été considéré toujours comme un matériau qui n'a aucune activité chimique (inerte).

La problématique dans notre mémoire est :

Est-ce qu'on peut donner une activité au matériau sable qui est par définition chimiquement inerte ?

Si oui, Quelle est l'intervention qui convient avec cette problématique afin d'assurer une certaine activité a cet ingrédient ?

Contexte :

La majorité des recherches scientifiques précédemment réalisées vise l'intervention directe sur la formulation du liant lui-même (introduction des ajouts plus ou moins actifs lors de la fabrication du ciment) soit dans un contexte technique ou économique au même temps.

Cette recherche est une continuité d'une action expérimentale récemment débutée en intégrant des ajouts minéraux laitier ou comme un déchet (laitier des hauts fourneaux), dans la squelette granulométrique d'un sable quartzueux à différents pourcentage à 5, 10 et 15 % en remplacement dans la partie fines (0,08 – 0,16 mm) du sable qui est restreinte à 15 %. L'adjuvant MEDAFLOW SP 30 étant utilisé pour confectionner les mortiers adjuvantés afin

d'estimer le comportement mécanique et la durabilité pour deux pourcentage 0,5 et 1 % (du poids du ciment).

Objectifs :

L'objectif de notre recherche est d'étudier les caractéristiques mécaniques des mortiers à base d'un sable préparé (remplacer certains fractions de sable par le laitier et l'adjuvant par fois d'une manière séparée et d'autre fois sous forme d'un mélange avec des proportions bien définis tout en gardant la granulométrie de sable utilisé identique à celle de sable normalisé et comparer les résultats obtenus avec les résultats d'un sable localement préparé témoin (0 % laitier, 0 % adjuvant).

L'étude traitera les objectifs suivants :

- L'effet de la nature et du taux de substitution des ajouts minéraux sur la réponse mécanique [compression, flexion] du mortier.
- le pouvoir d'un sable préparé d'être un facteur influant dans les processus d'hydratation par l'interaction avec le ciment à travers ses additions qui ont montré un pouvoir d'hydraulicité et de pouzzolanité déterminant.
- Ainsi, la durabilité a été étudié pour estimer la tenue des mortiers à base de sable préparé et avec adjuvant vis-à-vis le milieu agressif (H₂SO₄ et HCl).

Structure de mémoire :

Chapitre I : Introduction générale

Chapitre II : Revue bibliographique

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisée et procédures expérimentale

Chapitre IV : Résultats et analyses

Chapitre V : Interprétation des résultats

Conclusion générale.

Chapitre II

Revue bibliographique

Partie.1 : les ciments et les ajouts cimentaires

II.1.1 :INTRODUCTION

Les matériaux cimentaires sont les matériaux les plus utilisés au monde. Ce sont essentiellement eux qui façonnent notre environnement. Voies de circulation, ouvrages d'art et d'assainissement, bâtiments de toute nature, édifices historiques, rien n'échappe à leur omniprésence. Le ciment est un composant essentiel des matériaux cimentaires comme le béton et le mortier. Il assure une fonction mécanique, car il lie le squelette granulaire, mais il est aussi en grande partie responsable de la tenue à long terme du matériau béton. La conception d'un béton est extrêmement liée à l'environnement dans lequel va être exposé durant sa durée de vie.

II.1.2 : Le ciment :

II.1.2.1Définition:

Le ciment est un liant hydraulique, matériau inorganique finement broyé, lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, il forme une pâte qui fait prise, durcit et conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. [1]

Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker Portland, de gypse et éventuellement d'additions telles que les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau, la fumée de silice, pouzzolanes naturelles..., etc.

Une notation cimentière a été établie pour simplifier l'écriture des phases solides.

Les équivalences sont les suivantes :



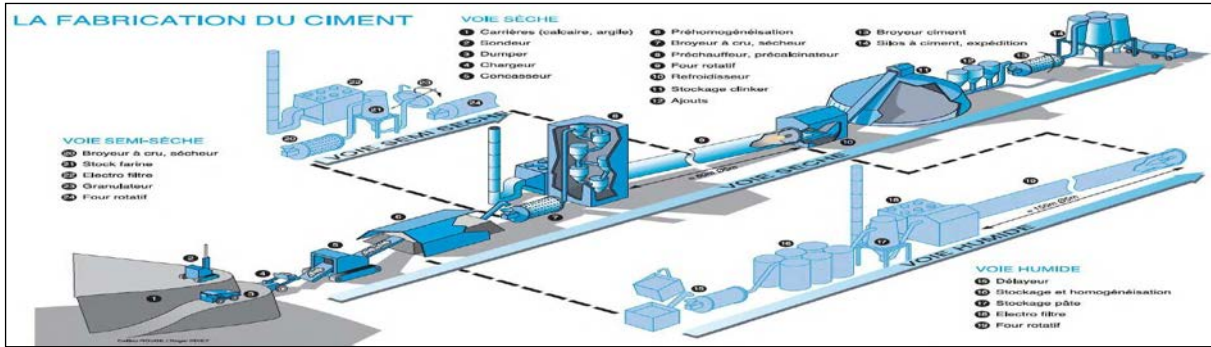
II.1.2.2 : Principe de fabrication ciment portland:

La fabrication de ciment se réduit schématiquement aux trois opérations suivantes:

- Préparation du cru.
- Caisson.
- Broyage et conditionnement.

Il existe 4 méthodes de fabrication du ciment :

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
- Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide).
- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
- Fabrication du ciment par voie semi-sèche (en partant de la voie sèche).



FigII.1 : Fabrication du ciment.

II.1.2.3: Principalestypes des Ciments:

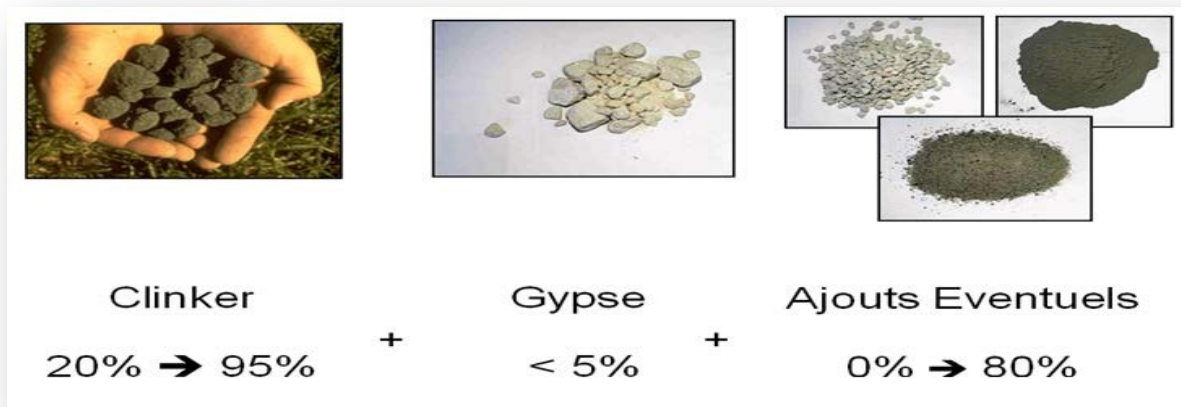
D'après la norme ENV 197-1 définit 5 types de ciment dont la composition doit être conforme au Tableau I-1. [1]

Désignations	Notation	Clinker	Autresconstituants	Constituantss econdaires
Ciment Portland	CPA -CEM I	95-100	----	0-5
Ciment Portland compose	CPJ-CEM II/A	80-94	6-20	----
	CPJ-CEM II/B	65-79	21-35	
Ciment de haut fourneau	CHF-CEM III/A	35-64	36-65	0-5
	CHF- CEM III/B	20-34	66-80	0-5
	CLK -CEM III/C	5-19	81-95	0-5
Cimentpouzzolaniqu es	CPZ-CEM IV/A	65-90	10-35	0-5
	CEM- CPZ IV/B	45-64	36-55	0-5

Tableau II.1 : Principales catégories de ciment.

Avec les notations abrégées correspondantes qui sont comme suit : CEM pour indiquer que le produit est un ciment. Un chiffre romain 1, 2, 3, 4 ou 5 pour indiquer le type de ciment Pour le ciment 2 ; 3 ; 4 et 5 une lettre A, B, C pour indiquer la proportion des constituants Le nombre indiquant la classe de résistance 32.5, 42.5, 52.5 suivi le cas échéant de la lettre R pour signaler une résistance élevée au jeune âge (2 jours) .[1]

II.1.2.4: Les constituants du ciment:



FigII.2: Les constituants

II.1.2.5 : Les réactions d'hydratation du ciment:

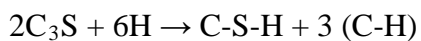
Lorsque le ciment entre en contact avec l'eau, une réaction exothermique instantanée se produit avec une forte libération de chaleur, cette période dite de pré-induction est de courte durée (10 – 20 minutes). Elle est suivie d'une période relative inactivée appelée période d'induction ou période dormante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

II.1.2.5.1 : Hydratation du silicate tricalcique C_3S :

L'hydratation des silicates produit des gels de silicate de calcium hydraté et l'hydroxyde de calcium. La réaction du C_3S avec de l'eau est la suivante:



Où C-S-H représente le $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ (Silicate de calcium hydraté) et (C-H) représente le $Ca(OH)_2$ (Portlandite).

Les hydrates ainsi obtenus au cours de l'hydratation du C_3S 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 formés de cristaux très petits et malcristallisés.
- ✓ La surface spécifique est très élevée (100 - 700m²/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 [2]

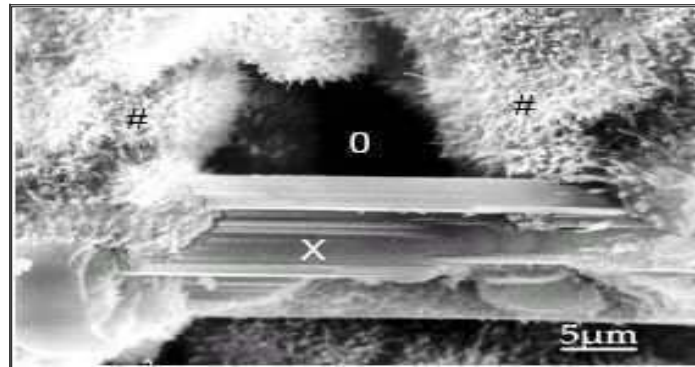
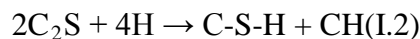


Fig II.3 : C-S-H fibreux avec Cristal de Portlandite (X) entre des C-S-H (#), La porosité est repérée par (O).

II.1.2.5.2 : Hydratation du silicate bi calcique C₂S:

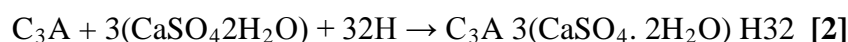
Une fois hydraté, C₂S donne aussi des C-S-H. La réaction est donnée par:



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 stœchiométrie, 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 [2]

II.1.2.5.3 : 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:



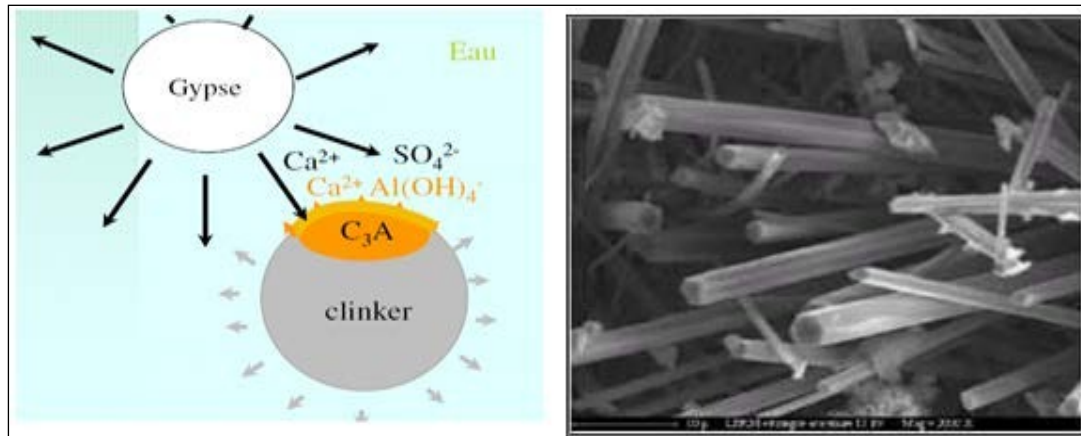


Fig II.4 : Microscopie Electronique à Balayage, ettringite aciculaire (aiguille) dans un béton.

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

Il apparaît donc secondairement un monosulfoaluminate qui se cristallise en plaquettes hexagonales [3].

La réaction est donnée par :



Les aluminates hydratés ainsi obtenus occupent 15 à 20% du volume de la pâte de ciment complètement hydratée [4].

II.1.2.5.4 : Hydratation de l'alumino ferrite tétracalcique C₄AF:

Le C₄AF réagit avec le gypse avec un mode semblable que celui de C₃A, mais dans ce cas, la réaction est beaucoup plus lente.

Dans la première étape de la réaction, le C₄AF produit une forme élevée de sulfoaluminate de calcium qui réagit avec l'excès de C₄AF pour donner une basse forme de sulfoaluminate.

Ces sulfoaluminates occupent environ 15-20% du volume de solides dans la pâte.

La réaction du C₄AF dégage peu de chaleur et participe peu au développement de la résistance [4].

II.1.6.1 : Définition du ciment CRS:

Le **Ciment CRS** (ciment résistant aux sulfates) est constitué de :

- 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans ce Ciment
- Du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise.[4]

II.1.6.2: Caractéristiques chimiques et minéralogiques :

- ✓ La proportion de la magnésie (MgO) dans le ciment est inférieure ou égale à 5%.
- ✓ La teneur en sulfates (SO₃) est inférieure ou égale à 3,5 %.
- ✓ La perte au feu est inférieure ou égale à 3%.
- ✓ Le résidu insoluble est inférieur ou égal à 0.75%.
- ✓ La teneur en C₃A est inférieure ou égale à 3%.
- ✓ La Somme de (C₄AF+2C₃A) est inférieure ou égale à 20%.

II.1.6.3 : Caractéristiques physicomécaniques:

- ✓ Expansion à chaud inférieur 10 mm surpate.
- ✓ Surface spécifique de Blaine 3200 cm²/g.
- ✓ Résistance à la compression à :

07 Jours 30Mpa

28 jours 40Mpa

- ✓ Temps de prise en minutes
Début : 1h30min

Fin : (mesuré) 4h20 min. [4]

II.1.6.4 : Emplois habituel:

- ✓ Il est utilisé comme ciment de base pour les travaux de génie civil en milieu agressif.
- ✓ Il est utilisé dans les travaux de béton nécessitant une faible chaleur d'hydratation.[4]

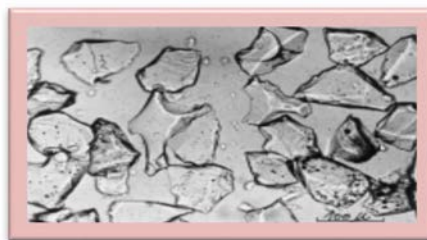
II.1.7. Les types d'ajouts cimentaires:**II.1.7.1. Le laitier de haut fourneau (LHF) :**

Fig II. 5 : Laitier. [5]

Le laitier de haut fourneau est un liant hydraulique fabriqué à partir du laitier de fonte et composé essentiellement de silicates et d'aluminosilicates de calcium qui se sont développés dans des conditions de fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. Le laitier en fusion, à une température d'environ 1500°C, est refroidi rapidement en le trempant dans l'eau pour former un matériau granuleux ressemblant à un sable vitreux. C'est un résidu de l'industrie sidérurgique. Il présente des caractéristiques hydrauliques latentes. Le laitier broyé s'hydrate en présence de l'eau et d'un activateur, le NaOH ou Ca(OH)₂ [5]

II.1.7.1.1. Effet du laitier de haut fourneau

En général, le laitier s'hydrate de la même manière que les cendres volantes de la classe C. Cependant, son effet sur la résistance commence à se faire sentir à partir de 7 jours, tandis que les cendres de la classe F ne développent des résistances qu'à partir de 4 semaines. Les particules de laitier $< 10 \mu\text{m}$ contribuent à la résistance à jeune âge (jusqu'à 28 j), tandis que les particules entre 10 et $45 \mu\text{m}$ contribuent au développement des résistances ultérieures. Les particules $> 45 \mu\text{m}$ ont de la difficulté à s'hydrater. [6]

II.1.7.1.2. Types de laitier (propriétés et mode de fabrication) :

- a) Laitier concasse. C'est un granulat lourds d'aspect anguleux, rugueux, de structure micro alvéolaire de couleur grise il est inattaquable par l'eau, et sa porosité est inférieure à 10% il s'obtient après le coulage des laitiers dans les poches de $1 \text{ a} 2 \text{ m}^3$ qu'on diverse dans fausses de 200 à 300 m de longueur, et de 10a12m de largeur, on laisse refroidir après concassage et criblage, on obtient un granulat normalise et classe.
- b) granule. C'est un sable vérifie, très poreux, jusqu'à 60%, il a une couleur grise jaunâtre, de granulométrie jusqu'à 2 mm, et de composition chimique. Silice = 29 a38 %, chaux = 38 a48%, alumine = 13 a20 %, magnésie = 06 %. Pour avoir ce type de laitier, la coulée doit être refroidie brusquement dans courant d'air ou d'eau. On obtient un sable sec et finement moulu, qui constitue la base du ciment de laitier. Cette opération a pour but d'empêcher la cristallisation, et de maintenir le laitier à l'état vitreux.
- c) Laitier expansé. Il a une structure scoriacée alvéolaire ; de teinte grise, après criblage il se présente en trois classes granulaires de densité variable. Il a une composition chimique proche de. Silice= 25 à 40%, chaux= 38 à 50%, alumine=10a 20%, soufre =01%. Il s'obtient par une puissante injection d'eau, en dessus du laitier en fusion, l'eau vaporise et on obtient des éléments alvéolaires légers. [5]

II.1.7.1.3 : Composition chimique

La composition du laitier peut varier dans de grandes limites, suivant la nature du minerais Généralement.

Tableau II.2. La composition chimique moyenne du laitier. [7]

II.1.7.2 : Les cendres volantes (CV)

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

Les impuretés du charbon telles que l'argile, le feldspath et le quartz entrent en fusion et sont évacués de la chambre à combustion par les gaz d'échappement. [8]

II.1.7.2.1 : Les types de cendres volantes :

a) Les cendres volantes de classe F

Elles ont une grande proportion de silice et d'alumine. C'est un verre d'aluminosilicate. Sa vitrification est souvent partielle. La présence de cristaux de mellite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), de quartz, d'hématite et de magnétite diminue la réactivité de cette cendre volante.

b) Les cendres volantes de classe C

Les cendres volantes de la classe C sont plus réactives que celles de la classe F, car tout le Ca est sous forme de phases cristallines réactives (C_3A , CS et C_4A_3S). Par ailleurs, la phase amorphe principale contient suffisamment de Ca pour accélérer la réactivité de l'aluminosilicate. [8]

II.1.7.2.2 Effet des cendres volantes

Les cendres volantes confèrent aux bétons les propriétés suivantes

- ✓ Le remplacement du ciment par des cendres volantes dans le béton réduit de façon significative la chaleur d'hydratation.
- ✓ La forme et la granulométrie des cendres volantes ont un effet important sur l'ouvrabilité et la demande en eau des bétons frais
- ✓ Démoulage amélioré.
- ✓ Diminue le ressuage.
- ✓ Réduit les risques de ségrégations.
- ✓ Améliore les performances mécaniques à longs termes.
- ✓ Réduit le coût des ciments, la quantité de fissures et de défauts.
- ✓ Diminue la perméabilité aux gaz et aux liquides.
- ✓ Améliore la durabilité en milieux agressifs.
- ✓ Un mariage avantageux pour l'environnement. [9]

II.1.7.3 La pouzzolane

II.1.7.3.1 Définition :

Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés. Ce sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux

en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes. [10]

Les avantages du remplacement partiel du ciment par les matériaux pouzzolaniques sont divers. Ils participent au renforcement de la résistance aux attaques chimiques et la durabilité, à la réduction des réactions alcalins agrégats et du retrait au séchage.

Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment.

Les ciments aux pouzzolanes sont obtenus en mélangeant les produits pouzzolaniques finement broyés avec le portland.



II.1.7.3.2 Types de pouzzolane

a) Pouzzolane naturelle

Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux d'origine naturelle qui peuvent avoir été calcinées dans un four ou transformées, puis broyées pour obtenir une fine poudre.

Les variétés de Pouzzolanes naturelles les plus fréquemment utilisées en Amérique du Nord à l'heure actuelle comprennent l'argile calcinée, le schiste calciné et le métakaolin. De la terre de diatomées est également utilisée en Californie. Les pouzzolanes naturelles, y compris le métakaolin, doivent satisfaire aux exigences de la norme CSA A 3001, Liants utilisés dans le béton (ASTM C 618). [12]

b) Pouzzolane artificielle

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composées de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Elles sont des déchets des efférentes industries. On distingue. Soit des résidus de fabrication industrielle tel que. Le mach fers, cendre de bois ou d'houille

Soit des débris de brique et de tuile fabriquées avec des argile pures des températures modérées. On distingue aussi le schiste cuite, et les déchets de l'industrie à base de méta kaolinite. [25]

II.1.7.3.3 Effet de La pouzzolane

La pouzzolane confère aux bétons les propriétés suivantes

✓ A l'état frais

Les pouzzolanes améliorent l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, Cet effet se traduit par une réduction sensible de la fissuration.

✓ **A l'état durci**

Les pouzzolanes améliorent la cohésion interne ainsi qu'une augmentation de compacité de la pâte de ciment. La réduction de porosité qui en découle pour toute la matrice ciment se traduit par une série d'effets très favorables.

- Accroissement de la résistance finale.
- Légère diminution du retrait et du fluage.
- Réduction de la perméabilité à l'eau jusqu'à des valeurs d'étanchéité.
- Amélioration de la résistance aux sulfates, aux chlorures et à d'autres types d'agressions chimiques.
- Protection des armatures contre la corrosion.
- Une réduction générale de la teneur en hydroxyde de calcium dans le béton avec deux conséquences bénéfiques.
- Une réduction notable du risque d'apparition d'efflorescences de chaux sur les faces Exposées du béton.
- Une très nette amélioration de la résistance du béton aux eaux douces. En effet, les Eaux naturelles contiennent souvent du gaz carbonique libre.

Celui-ci s'attaque à L'hydroxyde de calcium contenu dans la pâte de ciment en le solubilisant. Il en résulte Une augmentation de la porosité et donc une diminution générale de la résistance. [06]

II.1.7.4 La fumée de silice(FS)

Les fumées de silice (FS) sont un sous-produit industriel provenant de la fabrication du silicium métallique ou de divers alliages de Ferro-silicium. Les fumées de silice sont produites lors de la réduction du quartz très pur par du charbon dans un four à arc électrique. Les fumées de silice sont recueillies par filtration des gaz qui s'échappent lors de la combustion. Elle s'élève sous forme de vapeur oxydée émise par les fournaies chauffées à 2000°C. Une fois refroidie, elles se condensent pour être captée dans des poches de tissu. Ensuite, elles seront traitées pour enlever les impuretés et pour contrôler la taille des particules. [8]

II.1.8.4.1 Composition chimique de la FS

Tableau II 3: Composition chimique de la FS [4].

	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
FS											

Les FS, de forme sphérique et de diamètre environ 100 fois plus petit que la dimension moyenne d'un grain de ciment, sont composées principalement de dioxyde de silicium amorphe. [05]

II.1.8.5 Les fillers de marbre :

Un filler est une fine minérale obtenue par broyage d'une roche calcaire de manière répondre aux critères de conformité de la norme sur les additions minérales calcaires [NF P18-508]. L'appellation « filler » vient du fait que cette addition, si elle est broyée assez finement, s'insère dans le squelette granulaire du ciment 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. [9]

II.1.8.6 Le Gypse

Le gypse est un minéral composé de sulfate hydraté de calcium de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ainsi qu'une roche évaporitique. Le nom vient du latin gypsum, emprunté au grec gypsos, de même sens. Le gypse est un minéral très commun des séries sédimentaires et peut former des roches mono minérales (régulateur de prise). [3]

Partie 2: L'adjuvant

II.2.1 Introduction :

La plupart des bétons (mortiers) modernes incorporent des supers plastifiants dans leur formulation. Ces produits "défoulant" améliorent l'ouvrabilité à quantité d'eau constante. Ils permettent d'atteindre des rapports eau/liant inférieurs à 0,50, en conformité avec les spécifications de la norme NF EN 206 [4]

D'eau fabriqué par la société Granite implanté à OUED SMAR (wilaya d'ALGER) et commercialisé sous le nom de

MEDAFLOW 30 », il est à base de poly carboxylates, sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5 à 2 % (en extrait sec) du poids de ciment, ajouter au béton gâchée lors du malaxage quelques minutes avant la fin du malaxage [13].

II.2.2 Définition :

Le MEDAFLOW 30 est un supé plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération, il est conçu à base de poly carboxylates qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Il permet d'obtenir des bétons de très haute qualité en plus de sa fonction principale de supèrplastifiant il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable et ne présente pas d'effet retardateur.

II.2.3 Les déférent type d'adjuvant :

- ✓ Plastifiant sréducteurs d'eau
- ✓ Superplastifiants haut réducteursd'eau
- ✓ Accélérateurs de prise
- ✓ Accélérateurs de durséssment
- ✓ Retarder de prise
- ✓ Entraîneurs de l'air

Sur le béton durci il permet :

- D'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme ;
- De diminuer la porosité ;
- D'augmenter la durabilité ;
- De diminuer le retrait et le risque de fissuration.

Partie 3 : Le mortier.

II.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, différent selon les réalisations. [7]

II.3.2: Composition du mortier:

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

II.3.3 :Les différents types de mortiers :

➤ Les mortiers de ciment:

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Ledosage 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. [8]

➤ 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. [8]

➤ Mortiers bâtards:

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées. [10]

➤ Les Mortier réfractaire:

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [10]

➤ Les Mortier rapide:

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements. [10]

➤ Les Mortier industriel:

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

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

II.3.4 : Selon leur domaine d'utilisation:

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

- ✓ Mortier de pose.
- ✓ Mortier de joints.
- ✓ Mortier pour les crépis.
- ✓ Mortier pour les sols.

- ✓ Mortier pour lesstucs.
- ✓ Pierresartificielles.
- ✓ Support pour les peinturesmurales.
- ✓ Mortierd'injection.
- ✓ Mortier de réparation pourpierres.

Selon la nature du liant:

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en:

- ✓ Mortier de cimentportland.
- ✓ Mortier dechaux.
- ✓ Mortiersbâtards.
- ✓ Mortier à base de cimentdemaçonnerie

Chapitre III :
Caractérisation des matériaux utilisés
et procédures expérimentales

Partie 2 : Matériaux de base utilisés

III.2.1. Ciment CRS:

On utilise dans cette recherche, **CEM III/A** (ciment résistance aux sulfates) de classe **42.5** provient de la cimenterie Lafarge de Sétif. Mokaouem (**CEM III/A 42.5N-ES-**) pour béton de haute performance et qualité destiné à la construction des ouvrages dans un milieu agressif, exemple : « béton structural, travaux maritimes, ouvrages massifs ».

III.2.1.1. Caractéristique physique :

Tableau III.2.1 : Caractéristiques physiques du (CEM III/A 42.5N-ES-).

Les Caractéristiques physiques		unité	Valeur
Masse volumique absolue		g/cm ³	3.1
Consistance normale		%	30 ± 2
La finesse (Blaine)		Cm ³ /g	3500 – 4500
Expansion le Chatelier		mm	< 10
Temps de prise	Début	Min	>60
	Fin		/
Résistance à la compression	2 jours	MPa	12 (>10)
	28 jours		50.15 entre (>42.5 et <62.5)

III.2.1.2. Caractéristiques chimiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N-ES-) :

Tableau III.2.2 : Les compositions chimiques du (CEM III/A 42.5N-ES-).

Oxyde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	So ₃	Na ₂ O
Teneur%	29.6	9.84	56.76	3.24	5.19	2.55	0.23

III.2.1.3. Les caractéristiques minéralogiques du (CEM III/A 42.5N-ES-) :

Tableau III.2.3: Les compositions minéralogiques du (CEM III/A 42.5N –ES-).

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Laitier
Teneur %	50	12	5	22	>60

III.2.2. Eau de gâchage:

Nous avons utilisé pour le gâchage de notre mortier l'eau de robinet disponible au niveau de notre université Mohamed Boudiaf M'sila.

III.2.3. L'ajout Laitier

➤ L'extraction des Ajout :

Dans Notre étude nous avons utilisé le laitier granulé de haut fourneau du complexe sidérurgique d'El-Hadjar, Wilaya d'ANNABA.

➤ Le séchage:

Pour favoriser les réactions chimiques qui suivent, les ajouts doivent être séchés c'est effectué dans une étuve à 104 à 105°C pendant 24 heure (**Fig III.1**)



Fig III.1: étuve de la cimenterie pour séchage de laitier.

➤ Le broyage :

- ✓ Ont été effectués au sein de Laboratoire de Génie civile M'sila
- ✓ Le broyage des ajouts c'est effectué dans un broyeur à boulets.
- ✓ Le broyage exécutée dans 1h 15 min pour SSB entre 3200 et 4000 cm²/g



Fig III.2: Broyeur à boulet de 5 kg.

➤ **Composition chimiques du laitier :**

Tableau III.2.4: Composition chimique du LHF

	%	%	%	%	%	%	%	%	%

III.2.4:L'adjuvant :

Il se présente sous forme de liquide jaunâtre et est conçu à base de poly carboxylates, appelé «MEDAFLOW 30». Sa densité absolue est de 1.07 et sa concentration en particule solide est de 30 %. Le contenant de super plastifiant a été agité avant chaque utilisation afin de bien homogénéiser la solution.

Les caractéristiques essentielles recueillies sur la fiche technique

Tableau III.2.5: Caractéristiques du MEDAFLOW 30

Forme	Couleur	P-H	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Liquide	Jaunâtre	6 – 6,5	1,07 ± 0,01	< 1g/l	30%

La chromatographie par permutation de gel est un essai qui permet la détermination de la masse moléculaire du super plastifiant.

Tableau III.2.6 : Masse mole claire du super plastifiant

Super plastifiant	Masse moléculaire Moyenne en nombre	Masse moléculaire Moyenne en masse	Indice de polydispersité
MEDAFLOW 30	44700	58714	1,31

III.2.4.1 : Action du MEDAFLOW 30

sur le béton frais il permet :

- L'obtention d'un E/C très faible ;
- L'amélioration considérable de la fluidité ;
- Une très bonne maniabilité ;
- Un long maintien d'ouvrabilité ;
- D'éviter la ségrégation ;
- De faciliter la mise en œuvre du béton.

III.2.4.2 : Domaine d'application :

- Béton à haute performance.
- Béton auto plaçant.
- Béton pompé.
- Béton précontraint.
- Béton architecturant.

III.2.4.3 : Dosage :

Le dosage de MEDAFLOW 30 varie entre 0.5 et 2% du poids de ciment d'après les prescriptions recommandées par le fabricant. Le pourcentage utilisé dans cette recherche pour Tous les mortiers et bétons est de 1%.

Remarque :



Fig III.3 : Super plastifiant utilisé dans notre étude.

On remarque que cet adjuvant est une solution neutre ($\text{Ph} \approx 7$) donc ne présente pas de danger pour une manipulation à main nue. Mais pour plus de sécurité on préconise l'utilisation des gants lors des manipulations.

III.2.5 Sable:

➤ **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

➤ **Principe de l'essai :**

L'analyse consiste à séparer et classer ces grains selon leur diamètre à l'aide de tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

➤ **Matériel utilisés:**

- Une colonne de tamis propres et correspondants à chaque fraction.

Tableau III.2.7 : Série des tamis utilisés pour le tamisage du sable.

Fraction	Tamis utilisés (exprimé en mm)
0/5	(5 – 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.32 – 0.16 – 0.08 et le fond)

III.2.5.1. Préparation Des quartz :

Le sable utilisé dans le cadre de notre étude expérimentale est un sable de dune, ce sable a été prélevé de la région de OUED SOUF, il est apprécié pour ses bonnes caractéristiques.

- **Le gisement de Oued Souf :** située au sud-est de l'Algérie, à 620 km au sud-est d'Alger et c'est loin de M'sila 428 km sur la route nationale RN48.

➤ **Lieu de préparation :** Laboratoire de département de Génie Civil de L'université Mohamed Boudiaf M'sila

➤ **les étapes de préparation des quartz** 

- ✓ **Lavage du quartz :** Le lavage s'effectue par l'utilisation d'une façon abondante et continue de l'eau chaude deux ou trois fois, pour éviter la présence de tous les éléments nocifs.
- ✓ **Séchage :** Le séchage est effectué à l'air libre.
- ✓ **tamisage :** on tamise le quartz suivant la norme «EN196-2009»

➤ **Méthode de préparation du quartz :**

La préparation doit être effectuée après lavage et séchage en suivant les étapes ci-dessus :

- ✓ Prélèvement d'une masse de matériau (Sable de Oued Souf sec). Constitution de colonne de tamis propres et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimée en mm) [2.0, 1.6, 1.00, 0.5, 0.16, 0.08].
- ✓ Versement du sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5 minutes.
- ✓ Les fractions ainsi obtenues dans chaque tamis ont été conditionnées dans des sacs séparés.

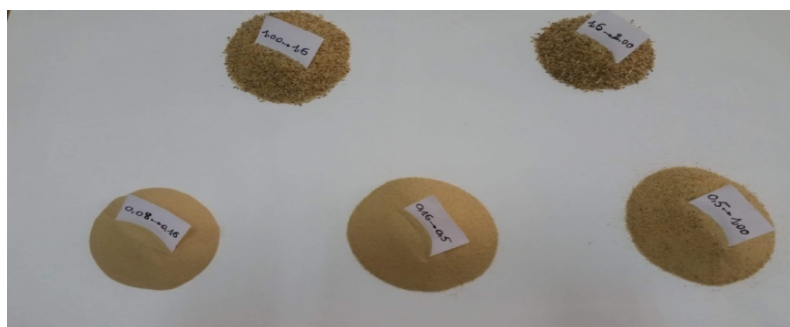


Fig III.4: différent fraction des quarts

Tableau III.2.8 : Analyse granulométrique par tamisage : [NA EN933-1]

Diamètre des tamis (mm)	Refus Élémentaires (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisé cumulés (%)
5	0	0	0	100
2.5	13	13	0.13	98.8
1.25	42	54	0.54	94.6
0.63	159	213	0.213	78.7
0.315	426	639	0.639	36.1
0.160	299	938.5	0.9385	6.15
0.08	53	991	0.991	0.9
Fond	8	999	0.999	0.1

Tableau III.2.9 Analyse granulométrique du sable d'OUED SOUF.

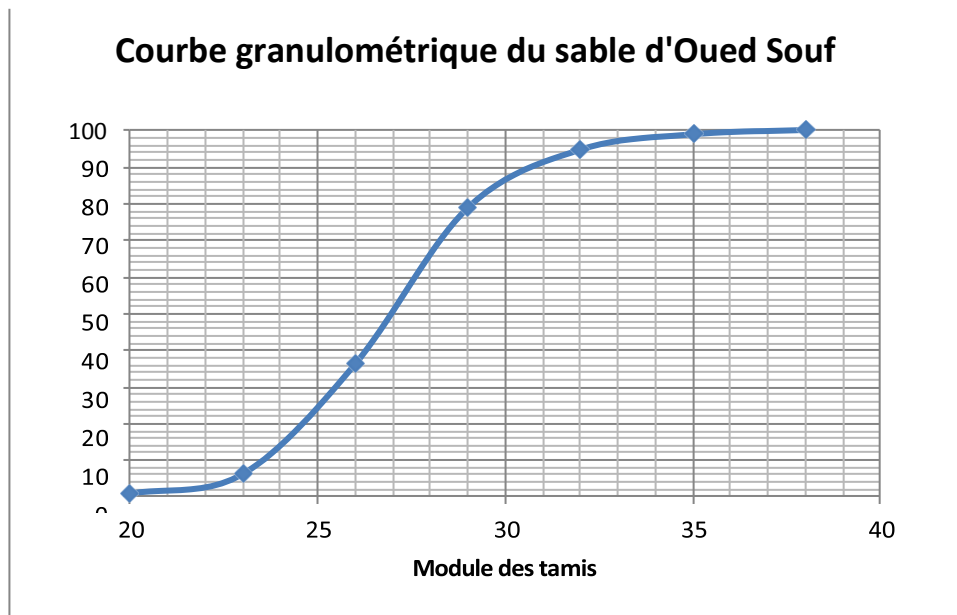


Figure III.5 Courbe granulométrique du sable d'OuedSouf.

III.2.5.4 : Préparation des sacs de 1350 g :

Les fractions du quartz ont été mélangées *sur* la norme « EN 196-1 Et : 2009 », selon la composition suivant:

Tableau III.2.10: la composition du Sable des sacs de 1350 g.

Fraction	Pourcentage	Quantité
0,16-0,5	20%	270g
1-1,6	19%	256,5g

- conditionnés dans des sacs de 1350 g \pm 5g.

III.2.5.5 La préparation des sacs témoin :

- **Sable témoin(SN)** : pour témoin 1 on a utilisé le sable normalisé.



Fig III 6 : sable normalisé

- **Sable témoin (MT)** : toutes les fractions en quartz préparé.

Tableau(III.11) : la composition du Sable(MT).

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	adjuvant
0,16-0,5	20%	270g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00

III.2.5.6 La préparation des sacs mixte :

Le sable mixte est un matériau composite constitué essentiellement d'un ou plusieurs composent.

On parle de sable actif ; lorsque le matériau de base est le Sable (quartz).

- ✓ Les mélanges des sables sont basés sur les variations dimensionnelles dont une partie est appelée à participer à l'hydratation.
- ✓ on remplace le pourcentage de la fraction 0,08-0,16 avec le pourcentage de l'ajout.
- ✓ Les tableaux ci-dessous représenté les sables.

➤ **Sable 5%laitier (ML1):****Tableau III.2.11: la composition du Sable(ML1).**

Fraction	Pourcentage	Quartz	Laitier	Adjuvant
0,16-0,5	20%	270g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00

➤ **Sable 10%laitier(ML2) :****Tableau III.2.12: La composition du Sable(ML2).**

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	adjuvant
0,16-0,5	20%	270g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00

➤ **Sable 15%laitier (ML3) :****Tableau III.2.13: la composition du Sable(ML3) .**

Fraction	Pourcentage	quartz	laitier	adjuvant
0,16-0,5	20%	270g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00

➤ Sable 15 %laitier et 1 % adjuvants(ML1A1):

Tableau III.2.14: la composition du Sable(ML1A1).

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	Adjuvant
0,08-0,16	15%	00	202,5	1%
0,16-0,5	20%	270g	00	1%
0,5-1	36%	486g	00	1%
1-1,6	19%	256,5g	00	1%
1,6-2,0	10%	135g	00	1%

Remarque : l'adjuvant qui donnée1%

➤ Sable avec 15 %laitier et 0.5 %adjuvant (ML1A2) :

Tableau III.15 : la composition du Sable(ML1A2).

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	adjuvant
0,16-0,5	20%	270g	00	0.5%
1-1,6	19%	256,5g	00	0.5%

Remarque : l'adjuvant qui est adopté à 0.5%

Partie 3 : Formulations des mortiers

III.3.1. Formulation et fabrication des mortiers :

Mortiers :

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques des ciments et notamment la résistance à la compression. Ce mortier est réalisé conformément à la norme EN 196-1.

Le mortier se compose d'une partie du liant et parties en sable préparés. Avec Une quantité d'eau.

Dans le cas de la préparation des trois éprouvettes 4 x 4 x 16, les quantités sont respectivement les suivantes :

- ✓ Sable préparé : **1350g.**
- ✓ Ciment : **450g.**
- ✓ Eau : **225g.**
- ✓ E/C=**0.5.**
- ✓ S/C=**3.**

III.3.2 Les compositions des mortiers :

	Ciment (g)	Sable normalisée	Le laitier	L'eau (g)	E/C
Composition(MT)	450	1350	0	225	0,5
Composition(ML1)	450	1282,5	67,5	225	0,5
Composition(ML2)	450	1215	135	225	0,5
Composition (ML3)	450	1147,5	202,5	225	0,5
Composition (ML1A1)	450	1350	202,5	215,55	0,48
Composition (ML2A2)	450	1350	202,5	220,27	0,49

Tableau III.17: Les compositions des mortiers étudiés.

Remarque :

- ✓ L'écoulement (ML1A1):d=5cm
- ✓ L'écoulement (ML2A2):d=6cm

III.3.2. Confection et conservation des éprouvettes :

- On prépare un mortier conformément à la norme EN 196-1
- Avec un malaxeur selon norme AFNOR NFR .15 – 412.
- Les moules des' éprouvettes prismatiques et accessoires selon la norme AFNOR NFP.15-413.
- On mélange les trois mortiers (sable + ciment +eau) dans le malaxeur normalisé.
- On introduit le mortier dans le moule à éprouvettes prismatiques 4 x 4 x 16.
- On fixe le moule sur la table à chocs pour le tassement (2 x 60 coups) selon la norme AFNOR NFR .15 – 412.
- On racle sur la surface supérieure l'excès de pâte, ensuite on introduit les moules dans une chambre humide à $20^{\circ} + 1^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures.
- Après 24 heures on démoule, et introduit les éprouvettes dans un bain d'eau, Ces éprouvettes confectionnées sont :
 - pour 7 jours.
 - pour 14 jours.
 - pour 28 jours.
- Les éprouvettes doivent être sorties de l'eau moins de 15 minutes avant chaque essai, elles sont alors essuyées avec un chiffon propre.



Fig III.7: Mode de conservation des éprouvettes.

III.3.2. Déterminer des propriétés mécaniques :

III.3.2.1. Essai de rupture par flexion : norme NFP15- 451.

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à section semi-cylindrique de 10mm de diamètre, distant de 100 ou 106.7 mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une force latérale de moulage, et un troisième appui de même diamètre, équidistant de deux premiers et transmettant de la charge F, pour faire une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, deux des appuis doivent pouvoir légèrement tournés autour de leur centres, dans le plus vertical perpendiculaire aux axes des éprouvettes .

La résistance à la flexion est calculée suivant la formule :

$$R_F = 3PL / 2bh^2 \text{ [KgF/cm}^2\text{]}.$$

P : force appliquée en [Kgf].

b : largeur de l'éprouvette.

h : hauteur de l'éprouvette.

L : distance entre les appuis (cm).

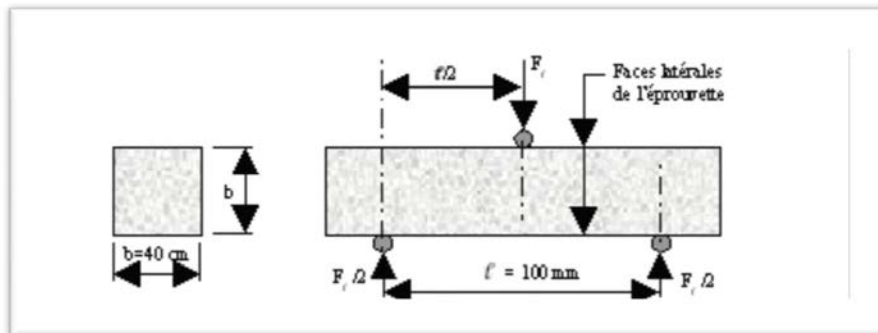


Fig III.8 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

III .3.2.2. Essai de rupture par compression : norme NFP 15-451. EN

Chaque demi-éprouvette est essayé en compression sur ces faces latérales de moulage, sous une section de 4 x 4 cm², entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de 40mm + -0.1mm de largeur, ces plaques sont en carbure de tungstène, la demi-éprouvette est placée entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'au moins 1cm et que les arrêtes longitudinaux d'éprouvettes soient perpendiculaires à celle des plaques. Les plaques sont guidées sans frottement appréciable au cours de l'essai , de manière à avoir la même projection horizontale, l'une d'elles peut s'incliner légèrement pour permettre le contact parfait, plaque – faces d'éprouvette.

La résistance à la compression et calculer suivant la formule :

$$R_c = F/S \text{ [Kgf/ cm}^2\text{]}.$$

F : charge appliquée en Kgf.

S : section latérale de l'éprouvette égale à 16 cm².

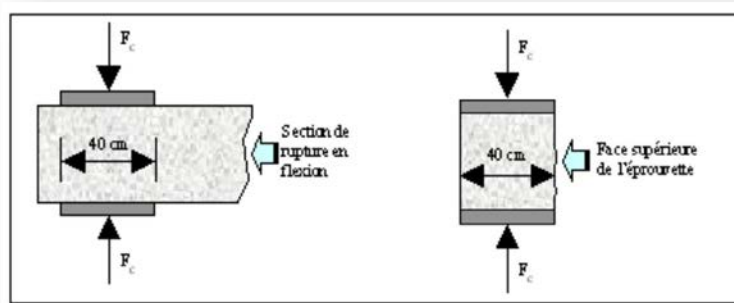


Fig III.9:Dispositif de rupture en compression

III.3.2.4 Essai de durabilité:

Après 28 jours de cure sous l'eau, les éprouvettes sont pesées pour déterminer M_1 , puis elles sont immergées dans les différentes solutions suivantes :

- 5% d'acide chlorhydrique (HCl) acide fort;
- 5% d'acide sulfurique (H_2SO_4) acide fort;

L'acide sulfurique (H_2SO_4) et l'acide chlorhydrique (HCl) sont des acides inorganiques, et l'acide acétique (CH_3COOH) est un acide organique. Les acides inorganiques sont plus nuisibles pour les bétons et mortiers que les acides organiques.

Les acides inorganiques forment avec le $Ca(OH)_2$ (hydroxyde de calcium) contenu dans la pâte de ciment durcie des composés facilement solubles dans l'eau. Concernant les acides inorganiques utilisés dans notre étude, on a :



Hydroxyde de calcium + acide chlorhydrique → chlorure de calcium



Hydroxyde de calcium + acide sulfurique → sulfate de calcium

La résistance due aux agressions chimiques des échantillons immergés dans ces solutions est évaluée selon la norme ASTM C 267-96 [14], les éprouvettes sont nettoyées 3 fois avec de l'eau douce pour éliminer le mortier et/ou composite altéré et puis on les laisse sécher pendant une ½ heure. Ensuite on procède à la pesée de ces dernières d'où la masse M_2 . Cette opération est effectuée après 45 jours après l'immersion. La solution d'attaque est renouvelée chaque 7 jours (selon la valeur du pH).

Enfin la résistance chimique est évaluée par la mesure de la perte de masse de l'éprouvette:

L'attaque est évaluée par la formule:

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100$$

Avec M_1 , M_2 les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

III.3.2.5 Absorption :

Mesure le taux d'absorption d'eau: (NF B10-504)

a. Objet :

La présente norme a pour objet d'exposer la technique de la mesure du coefficient

d'absorption d'eau des pierres calcaires.

b. Méthode d'essai

b.1- Préparation des éprouvettes :

Les essais sont effectués au moins cinq éprouvette, prélevées sur le banc où, à défaut, sur la même livraison.

Les éprouvettes sont de forme cylindrique, cubique ou prismatique.

Dans le cas des carottes, le diamètre minimal doit être de 50mm, et l'élanement de 1 à 4.

Dans notre travail nous avons utilisés les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion.

Avant tout essai, les éprouvettes sont séchées à la température de 80°C jusqu'à masse constante. On considère que cette masse est atteinte lorsque l'écart entre deux pesés effectués à une heure d'intervalle est au plus égale à 1/1000 (Généralement, il suffit de 15heures à l'étuve pour éteindre cette masse).

Par la suite la précision admise sur les pesées est de 1/1000.

b.2- Mode opératoire :

On note la masse M_1 (en gramme) de chaque éprouvette sèche.

Au temps t , on place les éprouvettes dans l'eau potable jusqu'au quart de leur hauteur de façon que l'eau remonte perpendiculairement au lit de carrière.

à $[t+1 \text{ heures}]$, on ajoute la quantité d'eau nécessaire pour que le niveau atteigne la moitié de la hauteur des éprouvettes.

à $[t+22\text{heures}]$ on ajoute de l'eau jusqu'à ce que les éprouvettes soient complètement immergées.

à $[t+48\text{heures}]$, les éprouvettes sont sorties de l'eau, rapidement essuyées à l'aide d'un chiffon ou d'une peau de chamois humide, puis pesées, soit M_2 la masse (en grammes) de chaque éprouvette saturée d'eau à la pression atmosphérique.

b.4- Expression des résultats :

L'absorption d'eau à la pression atmosphérique est $M_2 - M_1$.

Alors le taux d'absorption sera calculer a partir cette formule :

$$A_{bs} = (M_2 - M_1) / M_1$$

A_{bs} : taux d'absorption.

M_1 : masse d'éprouvette après l'étuvage.

M_2 : masse d'éprouvette saturés d'eau

Chapitre IV

Résultats et analyses

Résultats et analyses

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des différents essais effectués sur les mortiers confectionnés à base des sables avec ajouts (laitier et l'adjuvant) suivant les tableaux représentés ci-dessous.

IV.2. Réponses mécaniques :

IV.2.1. Essai de Compression : les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .1) :

Tableau (IV.1) : La résistance mécanique à la Compression de CRS (mortier).

Type de Sable	Ajouts %	Adjuvant %	Résistance à la compression (MPa)		
			7j	14j	28j
MT	0%	00	15.44	22.65	29.68
ML1	L 5%	00	29.01	37.45	43.29
ML2	L 10%	00	29.30	33.84	58.64
ML3	L 15%	00	28.55	33.56	52.41
ML1A1	15% Adjuvante	1%	56.68	62.66	69.90
ML2A2	15% Adjuvante	0.5%	43.55	56	65

MT : sable témoin.

ML : sable à base d'ajout laitier.

MLA : sable à base d'ajout laitier + Adjuvant

IV.2.2.Essai Flexion :

Les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .2) :

Tableau (IV.2) : La résistance mécanique à la flexion des mortiers étudiés.

Type de Sable	Ajouts %	Adjuvant %	Résistance à la flexion (MPa)		
			7j	14j	28j
MT	0%	00	4.	4.41	4.52
ML1	L 5%	00	3.85	6.28	6.3
ML2	L 10%	00	4.47	6.32	7.4
ML3	L 15%	00	5.07	6.32	5.6
ML1A1	15% Adjuvante	1%	5.25	6.66	7.84
ML2A2	15% Adjuvante	0.5%	6.61	7.59	7.13

MT : sable témoin.

ML : sable à base d'ajout laitier.

MLA : sable à base d'ajout laitier + Adjuvant

IV.2.3. Coefficient d'amélioration (Ca) :

Les résultats des essais de Coefficient d'amélioration sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .3)

Tableau (IV.3) : Coefficient d'amélioration

Type de Sable	Ajouts %	Adjuvant %	Coefficient d'amélioration
MT	0%	00	1
ML1	L 5%	00	1.43
ML2	L 10%	00	1.43
ML3	L 15%	00	1.06
ML1A1	15% Adjuvante	1%	2.33
ML2A2	15% Adjuvante	0.5%	2.16

MT : Sable témoin.

ML : Sable à base d'ajout laitier.

MLA : sable à base d'ajout laitier + Adjuvant

IV.2.3 La durabilité :

IV.2.3.1 D'acide chlorhydrique(HCl) :

a : Compression :

les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .4) :

Tableau (IV.4) : La résistance mécanique à la compression de CRS (HCL).

Type des Sable	Ajouts %	M1(g)	M2(g)	Perte de masse (%)
MT	0%	556.9	552	1
ML1	L 5%	572.2	569	1
ML2	L 10%	563.8	560.5	1
ML3	L 15%	546.1	541	1
ML1A1	15% Adjuvante	578.15	577.1	1
ML2A2	15% Adjuvante	581.8	580.7	1

MT : sable témoin.

ML : sable à base d'ajout laitier.

MLA : sable à base d'ajout laitier + Adjuvant

IV.2.3.2 D'acide sulfurique (H₂SO₄) :

a : Compression : les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .5) :

Tableau (IV.5) : La résistance mécanique à la compression de CRS (H₂SO₄).

Type des Sable	Ajouts %	M1(g)	M2(g)	Perte de masse (%)
MT	0%	549.8	533	1
ML1	L 5%	571.8	569	1
ML2	L 10%	569.4	566.5	1
ML3	L 15%	551.55	546	1
ML1A1	15% Adjuvante	574.75	573	1
ML2A2	15% Adjuvante	558.1	574.85	1

MT : sable témoin.

ML : sable à base d'ajout laitier.

MLA : sable à base d'ajout laitier + Adjuvant

IV.2.4 Absorbation : les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .6) :

Tableau (IV.6) :L'absorption des mortiers étudiés

Type des Sable	Ajout (%)	M1(g)	M2(g)	A _{bs} (%)
MT	0%	511.85	552.3	8
ML1	L 5%	526.3	569.7	8.2
ML2	L 10%	538.4	577.75	7.4
ML3	L 15%	516.75	560.9	8.6
ML1A1	15% Adjuvante	537.4	576.35	7.3
ML2A2	15% Adjuvante	532.885	574.12	7.8

MT : sable témoin.

ML : sable à base d'ajout laitier.

MLA : sable à base d'ajout laitier + Adjuvant

Remarque : les éprouvettes est conservées à l'aire libre

Chapitre V

Interprétation des résultats

Interprétation des résultats

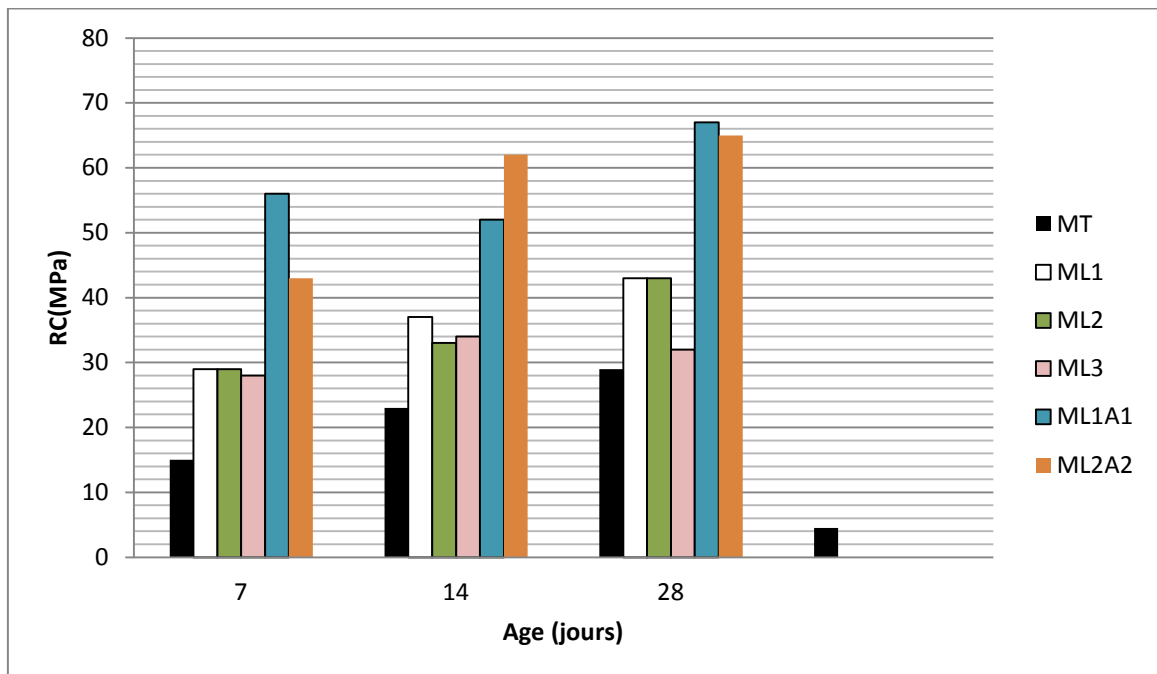
Introduction :

Le chapitre suivant est consacré à l'interprétation des résultats obtenus, qui sont basés sur l'influence de de l'ajout (laitier et adjuvant) pour un sable préparé sur les caractéristiques étudiées (les caractéristiques physiques et mécaniques des mortiers).

V.1. Résistance à la compression :

L'histogramme ci-dessous présente l'évolution de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier et l'adjuvant) à différents âges : 7,14 et 28jours.

Figure (V .1) : Variation de la résistance à la compression des mortiers étudiés.



Interprétation :

L'histogramme V.1 présente l'évolution de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de (quartz , laitier et l'adjuvant) avec des pourcentages différents (5%,10% et 15% d'ajout de laitier dans la fraction fine 0.08 à 0.16) par rapport au sable témoin(MT).D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que les résistances à la compression (Rc7j ,Rc14j ,Rc28j) croit progressivement à chaque fois que le pourcentage du laitier est élevé dans le sable par substitution du quartz avec du laitier ou l'adjuvant , ce qui mis en évidence l'influence du laitier sur la résistance du mortier et d'autre part l'effet considérable du super plastifiant Med flow SP 30.

Vis-à-vis de la résistance à la compression des mortiers (ML1),(ML2),(ML3) donnent des résultats de résistance nettement supérieures à celles du mortier témoin à des valeurs 43.26 ,58.64 et 52,41 en compression à celui du témoin avec 29.68 à l'âge de 28 jours.

On peut constater que l'augmentation de la résistance à la compression est pratiquement le double dans le cas du mélange (ML2).

Le pourcentage de l'ajout laitier de 5% et 10% enregistre des réponses mécaniques similaires à tout âge 7,14 et 28j. et qui reste supérieure par rapport au mélange de 15% laitier.

Pour les mortiers adjuvants avec un dosage de 0,5% et 1% (ML1A1, ML2A2) de Med flow 30 (super plastifiant SP30); les résistances obtenues sont très importantes en comparaison avec le mortier témoin (MT). Aussi, ces résultats sont toujours supérieurs par rapport aux mortiers sans adjuvant (ML1, ML2, ML3). Donc l'effet de l'ajout laitier est remarquable et est attribué à un remplissage comme fillers et une activation par la formation de nouvelles hydrates qui favorisent l'augmentation de la résistance de la matrice cimentaire à base d'un sable préparé par ajout dans sa fraction fine.

La résistance à la compression du mortier avec 1% adjuvant (ML1A1) donne une valeur d'environ 70 MPa par rapport au témoin (MT) 30 MPa avec un coefficient d'amélioration de 2,33.

Les résultats obtenus dans cette étude sont en concordance avec d'autres chercheurs en termes d'amélioration de réponse mécanique avec des mortiers de sable préparé [16], [17], [18].

V.2. Résistance à la flexion :

L'histogramme ci-dessous présente l'évolution de la résistance à la flexion des mortiers avec un sable (quartz, laitier et l'adjuvant) aux différents âges : 7-14 et 28 jours.

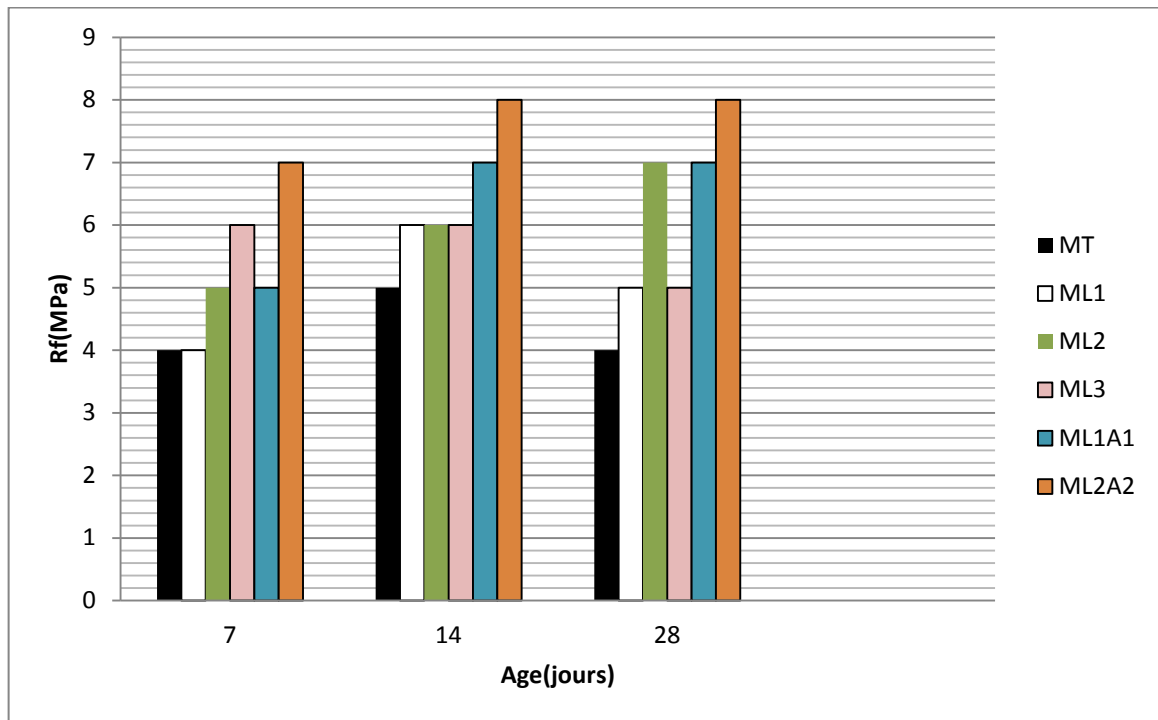


Figure (V .2) : Variation de la résistance à la flexion des mortiers étudiés.

Interprétation :

L'histogramme V.2 présente l'évolution de la résistance à la flexion d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de (quartz , laitier et l'adjuvant) avec des pourcentages différents (5%,10% et 15% d'ajout de laitier dans la fraction fine 0.08 à 0.16) par rapport au sable témoin(MT).D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que les résistances à la flexion (R_{c7j} , R_{c14j} , R_{c28j}) croit progressivement à chaque fois que le pourcentage du laitier est élevé dans le sable par substitution du quartz avec l'adjuvant , ce qui mis en évidence l'influence du laitier sur la résistance du mortier avec ajout.

La réponse mécanique en traction par flexion des mortiers (ML1), (ML2),(ML3) est plus grande comparé à celle du mortier témoin (MT) des valeurs 6,3 ,7,4et 5,4MPaen flexion à celui du témoin avec 5 MPa à l'âge de 28 jours.

On peut constater que l'augmentation de la résistance à la flexion est pratiquement le double dans le cas du mélange (ML2).

Le pourcentage de l'ajout laitier de 5% et 10% enregistre des réponses mécaniques similaires à tout âge 7,14et28j.et qui reste supérieur par rapport au mélange de 15% laitier.

Pour mortier les adjuvants avec un dosage de 0,5% et 1% (ML1A1, ML2A2) de Med flow 30(super plastifiant SP30).les résistances obtenus sont très importantes en comparaison avec

Le mortier témoin (MT). Aussi ses résultats sont toujours supérieures par rapport aux mortiers son adjuvant (ML1, ML2, ML3).

La résistance à la flexion du mortier avec 1% adjuvant (ML1A1) dans une valeur 8MPa par rapport ou témoin(MT) 5 MPa avec un coefficient d'amélioration de 1,6.

Les résultats obtenus dans cette étude est en concordance avec d'autres chercheurs en terme d'amélioration de réponse mécanique avec des mortiers de sable préparé [16], [17], [18].

V.3. Coefficient d'amélioration (Ca) :

L'histogramme ci-dessous présente le taux du Coefficient d'amélioration (Ca) des mortiers avec un sable (quartz, laitier, l'adjuvant) à l'âge de 28 jours vis-à-vis de la réponse mécanique (comme rapport de résistance à la compression de mélange donné calculée en relativement à celle du mortier témoin MT à 28 jours)

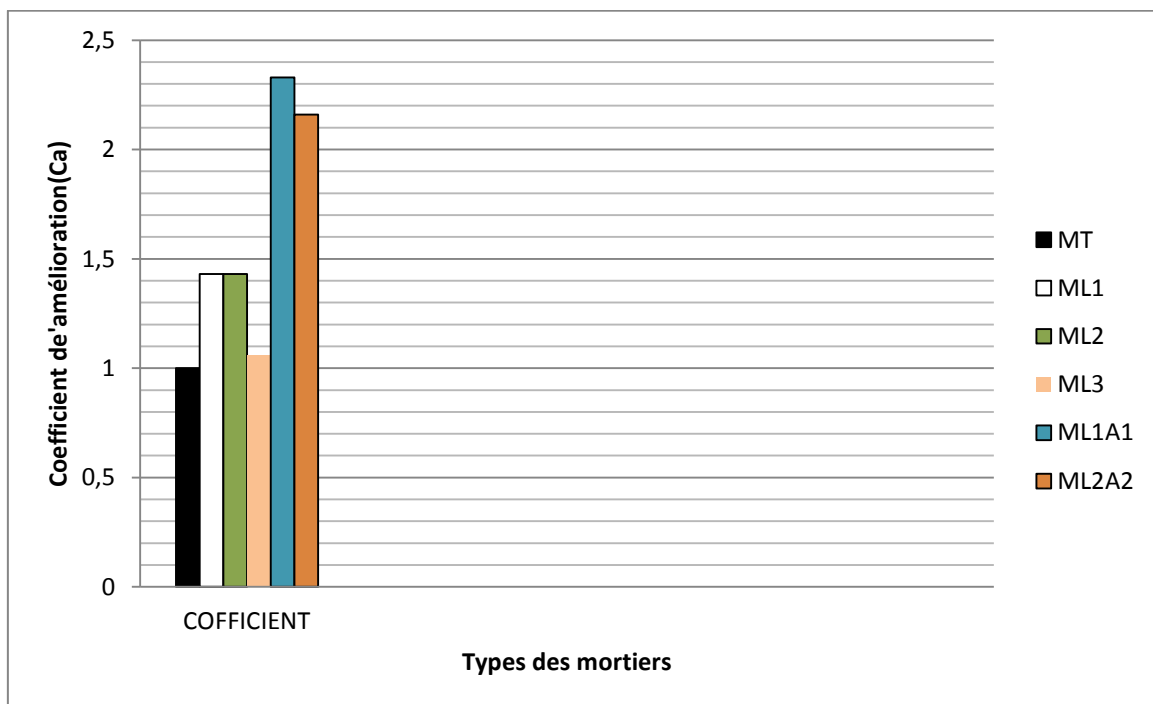


Figure (V .3) : Variation de Coefficient d'amélioration

Interprétation :

L'histogramme V.3 présente l'évolution de Coefficient d'amélioration d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de (quartz, laitier et l'adjuvant) avec des pourcentages

Différents (5%,10% et 15% d'ajout de laitier dans la fraction fine 0.08 à 0.16) par rapport au sable témoin(MT).D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que

Coefficient d'amélioration (R_{c7j}/R_{c14j} , R_{c28j}) croit progressivement à chaque fois que le pourcentage du laitier est élevé

dans le sable par substitution du quartz avec l'adjuvant, ce qui mis en évidence l'influence du laitier sur la résistance du mortier.

Coefficient d'amélioration des mortiers (ML1), (ML2),(ML3) donnent des résultats de résistance nettement supérieures à celles du mortier témoin des valeurs 1,43 ,1.43et 1.06 à l'âge de 28 jours.

Pour mortier les adjuvants avec un dosage de 0,5% et 1% (ML1A1, ML2A2) de Med flan 30(super plastifiant SP30).Coefficient d'amélioration obtenus sont très importantes en comparaison avec Le mortier témoin (MT).Aussi ses résultats sont toujours supérieure par apport aux mortiers son adjuvant (ML1, ML2, ML3).

Coefficient d'amélioration du mortier avec 1% adjuvant (ML1A1) dans une valeur élevée par apport ou témoin(MT) avec un coefficient d'amélioration de2.33.Ceci montre l'effet avantageux de l'ajout laitier comme substitution dans le sable préparé de oued souf et aussi l'influence de l'adjuvant comme réducteur d'eau et qui donne lieu à des mortiers compactes et résistant.

V.4 Durabilité :

V.4.1Perte de masse:

L'histogramme ci-dessous présente l'évolution de perte de masse des mortiers avec un sable (quartz, laitier, l'adjuvant) après conservation dans un milieu agressif (H_2SO_4 et HCl) les pesées de perte de masse ont été effectuées après 45 jours d'exposition dans cet environnement.

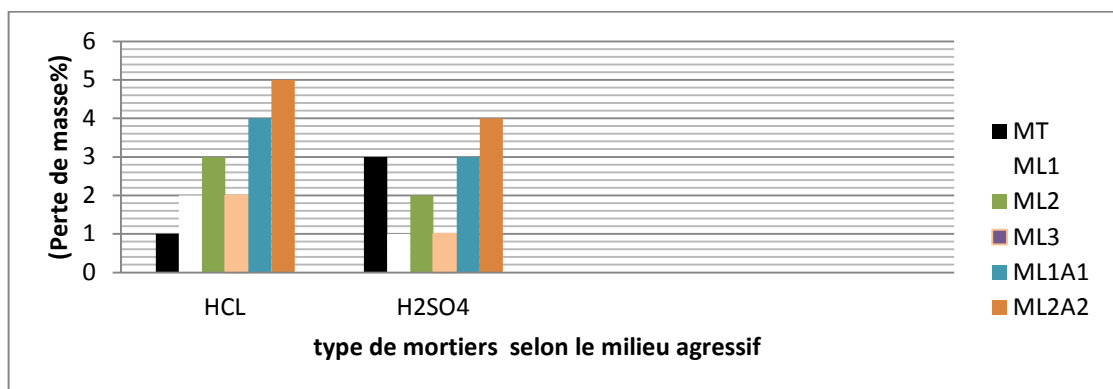


Figure (V.4) : Variation Perte de masse au milieu agressif.

Interprétation :

L'histogramme V.4 présente l'évolution de la perte de masse d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de (quartz , laitier et l'adjuvant) avec des pourcentages différents (5%,10% et 15% d'ajout de laitier dans la fraction fine 0.08 à 0.16) par rapport au sable témoin(MT).D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que les mortiers formulés expriment une perte de masse négligeable ce qui traduit la bonne tenue vis-à-vis des attaques chimiques et la bonne durabilité.

A chaque fois que le pourcentage du laitier est élevé dans le sable par substitution du quartz avec l'adjuvant, ce qui mis en évidence l'influence du laitier sur la résistance du mortier dans le milieu agressif (H_2SO_4 et HCl) et ce en comparaison avec celui du mortier témoin sans ajout de laitier et même sans adjuvant.

Pourmortier les adjuvants avec un dosage de 0,5% et 1% (ML1A1, ML2A2) de Medaflan 30(super plastifiant SP30).les résistance obtenus sont très importantes en comparaison avec

Le mortier témoin (MT).Aussi ses résultats sont toujours supérieure par apport aux mortiers son adjuvant (ML1, ML2, ML3).

Le mortier avec 1% adjuvant (ML1A1) dans une valeur 1.4MPa par apport ou témoin(MT) 1MPa avec une perte de masse négative.

Les résultats obtenus dans cette étude est en concordance avec d'autres chercheurs en terme d'amélioration de réponse mécanique avec des mortiers de sable préparé [16], [17], [18].

V.5. Analyse et commentaire des résultats à l'absorption:

L'histogramme ci-dessus présent l'évolution de l'absorption des mortiers avec un sable préparé (quartz, laitier et adjuvant) à 28 jours d'âge.

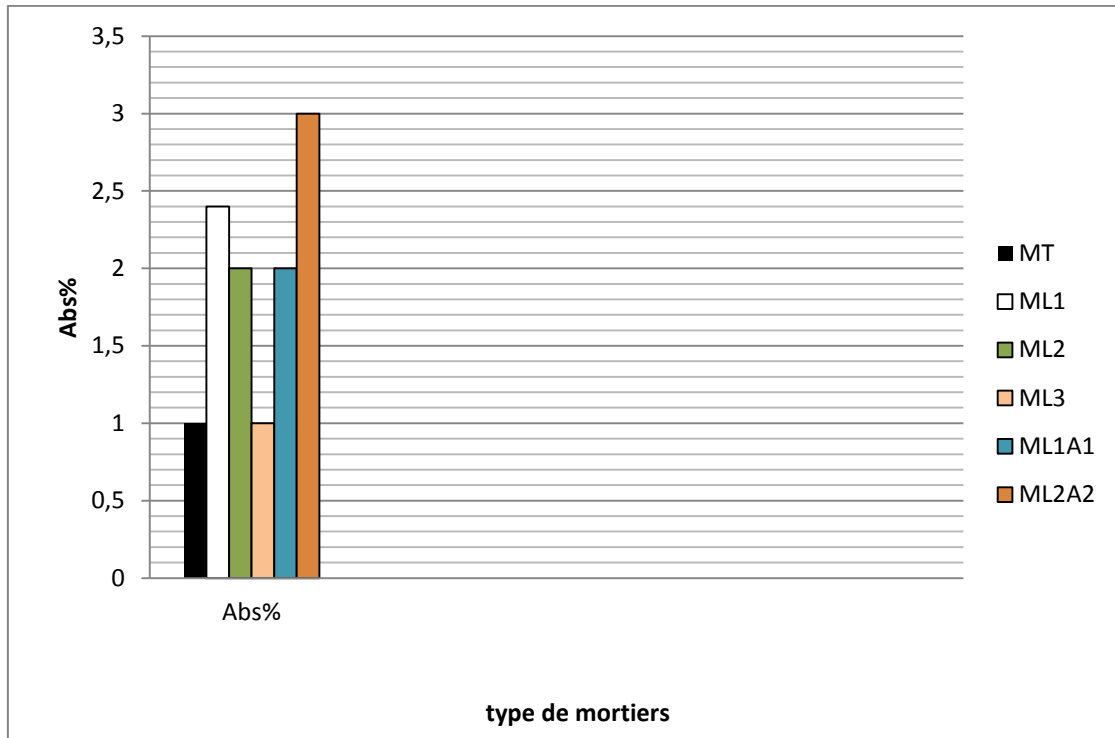


Figure (V.5) : Variation de l'absorption pour les mortiers étudiés

L'histogramme V.5 présente l'évolution de l'absorption d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de (quartz , laitier et l'adjuvant) avec des pourcentages différents (5%,10% et 15% d'ajout de laitier dans la fraction fine 0.08 à 0.16) par rapport au sable témoin(MT).D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que l'absorption à 28jours croit progressivement à chaque fois que le pourcentage du laitier est élevé dans le sable par substitution du quartz avec l'adjuvant , ce qui mis en évidence l'influence du laitier sur la résistance du mortier.

L'absorption des mortiers, (ML3 et ML2A2 donnent des taux élevés 2.5 à 3 % en comparaison aux mortiers témoin. Ceci peut être justifier par le pourcentages de laitier important qui demande une quantité d'eau supplémentaire qui donne lieu à une porosité importante ou un effet inverse de l'adjuvant jouant le rôle d'entraînement d'air.

On peut constante que l'augmentation de l'absorption est pratiquement de double dans le cas du mélange (ML2).

Les résultats obtenus dans cette étude est en concordance avec d'autres chercheurs en terme d'amélioration de réponse mécanique avec des mortiers de sable préparé [16], [17], [18].

Chapitre VI

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail d'étude est une contribution à l'amélioration des propriétés des mortiers par substitution partielle du sable préparée normalisée par l'ajout minéral (laitier) ainsi, nous avons utilisé l'adjuvant super plastifiant du MEDAFLOW SP 30. Les différents dosages (0 %, 5 %, 10% et 15%-laitier avec l'adjuvant de 1% et 0.5 % du poids de ciment).

- ❑ Les résultats obtenus dans cette investigation expérimentale nous a permis de tirer les conclusions suivantes :
- ❑ La substitution de la partie fine (0.08 -0.16 mm) du sable de oued Souf à hauteur de 15 % par 5%, 10 % et 15% de laitier, influe positivement en terme d'augmentation de la résistance à la compression et en flexion par rapport à celle du témoin, et qui son effet semble évident à long terme.
- ❑ L'incorporation de 15% de laitier combiné avec un dosage d'adjuvant SP 30 a un effet très efficace sur la réponse mécanique et qui enregistre des valeurs maximales d'environ 70 MPa en compression pour un taux de SP de 1 % par rapport à celle u témoin.
- ❑ Le coefficient d'amélioration (Ca) est de 1.43 à 2.33 par apport au témoin en termes de gain de résistance.
- ❑ Pour la durabilité, dans les deux milieux agressifs (H_2SO_4 , HCl) on a remarqué que l'ajout laitier donne une perte de masse et une absorption capillaire de faible valeurs des mortiers avec laitier et adjuvantes ; ceci est du à l'effet physique 'eau pouzzolaniques de l'ajout laitier ; ainsi le rôle du super plastifiant réducteur d et (l'essai est effectué à 45 jours d'âge).

En fin ; on peut conclure que l'introduction du laitier comme ajout dans la partie fine du sable préparé local ainsi que l'utilisation combiné avec l'adjuvant local MEDAFLOW SP 30 est très bénéfique du point de vue résistance et durabilité pour les mortiers à base de sable préparés local de Oued Souf.

Perspectives :

Pour de futures travaux de recherche en perspectives, on propose ;

- Une étude microstructurale des mortiers avec sable préparé en utilisant les ATD et ATG et DRX.
- Une étude de durabilité pour estimer la résistance dans les milieux agressifs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Peter lunk et al, guide pratique du béton, 6^{ème} édition (français. Edition soumise), janvier 2015.
- [2] 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.
- [3] Older Y , Hydration, setting and hardening of Portland cement , dans Lea's - Chemistry of Cement and Concrete, chap.6, Arnold, 4th éd- 1998.
- [4] downloade (414 kb) , thèse-univ-biskra.dz/1105/6/, chapitre %, 2004 , pdf.
- [5] GROUPE CIMENTS LUXEMBOURGEOIS, Séminaire – BETON 2001: Journée d'information technique 23 novembre 2001 *Carlo KIRPACH*
- [6] CEMENT ASSOCIATION OF CANADA l'emploi d'ajouts cimentaires dans les revêtements de chaussée en béton exposés aux cycles de gel-dégel et aux produits chimiques de déglçage, Par Norman F. MacLeod, Mars 2005 page 10-12.
- [7] GEORGE Dreux, JEAN Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Edition eyrolles 1998, pp. 8 :20.
- [8] THE CEMENT ASSOCIATION OF CANADA, les ciments avec ajouts disponible sur site web <http://www.cement.ca/cement.nsf> (Consulte le 10/06/2007)
- [9] Fujiwara Y, Mayura T, Owki E., Degradation of concrete buried in soil with saline ground water". Nuclear Engineering and Design, 138, pp143-150-1992.
- [10] MAAFI N., ZEMMIT A. Etude de l'effet du type d'agrégats sur comportement mécanique d'un béton, Thèse de master, Université Elbahir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj, Algéri, 2013.
- [11] MILLER E. W, Blended cements - Applications and implications », Cément and Concrete Composites, Vol. 15, No. 4, P, P. 237-245, 1993.
- [12] GABRYSIK F., Matériaux – Les bétons – Chapitre 4.
- [13] These An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans, Canadian Journal of Civil Engineering ./ Caijun Shi / Re v. can. génie civ. 28(5): 778786 (2001)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[14] Bandsman A S., Taib H., Mouli M., Belbachir M., Application of Infrared Fourier Transform (IRTF) Spectrometry for Characterizing Anhydrous Cement and the Hydration of Polymer-Mortar Composites , **Phys. Chem. News (PCN)**, 26, pp. 109-117, Nov. 2005. (International).

[15] ABDALLAH Hassan Haroun, Influence de la nature du sable sur le comportement d'un BHP a température élevées, Mémoire de master, Université de M'sila, 2012/2013

[16] Noui A., Bouglada M S., Belagraa L., Achour Y., Bouzid A., Etude des caractéristiques physicomécanique d'un bap à base d'un sable préparé, International Symposium on Construction Management and Civil Engineering (ISCMCE- 2017), November 15 - 16, 2017 - Skikda, Algeria

[17] Bouglada M S., Nouai A., Belagraa L., Achour Y, Bouzid A., Benyaiche, T. Etude des caractéristiques physico-mécaniques d'un béton à hautes performances (BHP) à base d'un sable préparé, Conférence Internationale sur les Matériaux, 19-23 Novembre 2018, Strasbourg, France.

[18] Noui A, Bouglada M S., Blagraà L., ACHOUR Y., Bouzid A., Lamrani M, L'influence d'un sable préparé sur les caractéristiques physico-mécaniques des bétons autoplacants (BAP), Conférence Internationale sur les Matériaux, 19-23 Novembre 2018, Strasbourg, France.

Résumé

Cette étude expérimentale concerne le comportement mécanique et la durabilité d'un mortier à base d'un sable local préparé d'ajout minéral (le laitier) et avec l'incorporation d'un adjuvant. Sachant que La résistance mécanique d'un mortier est étroitement liée à sa composition.

L'objectif de notre recherche est d'étudier les caractéristiques mécaniques de mortier à base de ce sable préparé de oued souf (substitué la fraction 0.08-0.16 qui est de l'ordre de 15 % par le laitier tout en gardant la granulométrie identique à celle d'un sable normalisé). Le super plastifiant MEDAFLOW SP 30 est utilisé à un dosage de 0,5 et 1 % du poids du ciment. Les mortiers formulés sont comparés avec un mortier normal sans ajout ni adjuvant (confectionnée à partir d'un sable normalisé).

On vise à travers ce sujet de recherche à montrer et analyser l'influence de chaque constituant sur la résistance mécanique et la durabilité dans le milieu agressif (H_2SO_4 et HCl) des mortiers adjuvantes confectionnés à base de ce sable préparé.

Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent une amélioration importante des propriétés mécanique des mortiers confectionnés à base des différents types de sables préparés au cours du temps, avec une amélioration qui atteint (40 MPa) pour les deux sables à base de 15% laitier et 10 % (laitier + adjuvant) et qui donnent de bonnes résistances plus avantageuses par rapport au témoin.

Mots clés : comportement mécanique, mortier, sable, adjuvant, laitier, durabilité.

Abstract:

This experimental study concerns the mechanical behavior and durability of a mortar based on a prepared local sand of mineral addition (slag) and with the incorporation of an adjuvant. Knowing that the mechanical strength of a mortar is closely related to its composition.

The objective of our research is to study the mechanical characteristics of mortar based on this prepared sand of wadi suf (substituted the fraction 0.08-0.16 which is of the order of 15 % by the slag while keeping the grain size identical to that of a standard sand). The super plasticizer MUDAFLOW SP 30 is used at a dosage of 0,5 and 1 % of the weight of the cement. The formulated mortars are compared with a normal mortar without addition or adjuvant (made from standardized sand).

The aim of this research topic is to show and analyse the influence of each component on the mechanical resistance and durability in the aggressive medium (H_2SO_4 and HCl) of the mortars adjuvanted made from this prepared sand.

The results obtained so far show a significant improvement in the mechanical properties of mortars made from the different types of sand prepared over time, with an improvement which reaches (40 MPa) for the two sands based on 15% slag and 10% (slag + adjuvant) and which give good resistance more advantageous per contribution to the control.

Key words ; Mechanical behavior, mortar, sand, admixture, slag, durability.

ملخص:

تتعلق هذه الدراسة التجريبية بالسلوك الميكانيكي للمنتان وقوتها على أساس رمل محلي محض من الإضافة المعدنية (الخبث) وبضم مادة مساعدة. مع العلم أن القوة الميكانيكية للملاط ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتكوينها.

الهدف من بحثنا هو دراسة الخصائص الميكانيكية لمواد بناءً على رمل واد سوف المجهز (استبدال الكسر من 0.08 إلى 16.0 mm والذي هو في حدود 15 % من الخبث مع الحفاظ على حجم الجسيمات مطابق أن من الرمال موحدة). يتم استخدام المدنات الفائقة Medaflo SP 30 بجرعة 0 و 0.5 و 1 % من وزن الأسمنت. تتم مقارنة النتائج التي يتم صياغتها مع الملاط العادي دون إضافة أو خليط (مصنوع من رمل قياسي).

نهدف من خلال هذا البحث إلى عرض وتحليل تأثير كل مكون على القوة الميكانيكية والديمومة في الخلائط المحصلة في الأوساط المهاجمة (H_2SO_4) و (HCl) والمواد المساعدة المصنوعة من هذه الرمال المعدة.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها حتى الآن تحسناً ملحوظاً في الخواص الميكانيكية للملاط المصنوعة من أنواع مختلفة من الرمال المعدة مع مرور الوقت ، مع تحسن يصل إلى (40 MPa) للرمل المعد على أساس 15 % من خبث الأفران و 10 (الخبث + المضافات) والتي تعطي مقاومة جيدة وأكثر ملاءمة في أوساط كيميائية مهاجمة.

الكلمات المفتاحية: السلوك الميكانيكي ، الملاط ، الرمال ، المواد المساعدة ، الخبث ، المنتان