



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE : (Master)

Filière : Génie Civil
Option : Matériaux

**THÈME : ETUDE DE L'INFLUENCE D'UN
SABLE PREPARE SUR LE COMPORTEMENT
MECANIQUE D'UN MORTIER A BASE DE
CIMENT PORTLAND**

Préparé par :
BEZTOUT SADDAM
BELFEROUM HICHEM
Soutenu le : 14 juin 2015

Devant le jury :

Président : BOUGLADA. M.S.
Encadreur : BELAGRAA .L
Co-Encadreur : AMMAR NOUI
Examineur : BEN AICHI .H.
Examineur : AMRIOU .R
Examineur : LOUMACHI .L.

Année Universitaire 2014-2015

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous tiens à remercions "ALLAH" le tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour terminer ce présent travail ainsi que nos parents qui nous toujours encouragés et soutenu durant toute la durée de nos études.

Nous adressons nos profonds remerciements à notre encadreur et Co-encadreur de mémoire Mr BELAGRAA. L et Mr NOUI .A, pour avoir accepté nous encadrer, pour leurs conseils et leurs orientations pour mieux élaborer ce travail de recherche et pour qu'ils nous guider sur le bon chemin durant l'accomplissement de ce travail.

Nous voudrions remercions l'ensemble de notre jury de mémoire, qui a bien voulu examiner ce travail : Ben Aichi. H_ Amriou. R _ Loumachi. L président : Mr BOUGLADA.

Et Tous les enseignements de : Génie Civil

Nous adressons nos remerciements à tous les responsables du laboratoire de Génie Civil qui ont toujours été disponibles pour nous donner un petit coup de main et beaucoup d'encouragement. Nous remercie aussi l'administration de génie civil.

Ecrit le 07/06/2015 par :

*BELFEROUM HICHEM
ET BEZTOUÏ SADDEM*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père et ma précieuse mère.

A mes frères et à mes sœurs.

A toute ma famille.

Beztout.

A tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin.

A tous mes amis

*hichem, Redouane, Abdennour, spécialement et tous les
Etudiants de GC promotion 2014/2015*

*A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, même qu'il soit un
mot d'encouragement, un conseil ou une sourire.*

A tous ceux qui connaissent Saddam beztout.

Saddam

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père et ma précieuse mère.

*A mon cher regretté frère MOUHAMMED qui nous a
quitté en AOÛT 2011*

A mon petit poussin ANES et ma marie

A mes frères et à ma sœur.

A toute ma famille.

Belferoum

A tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin.

A tous mes amis

*Saddem, Redouane, Abdennour, spécialement et tous les
Etudiants de GC promotion 2014/2015*

*A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, même qu'il soit un
mot d'encouragement, un conseil ou une sourire.*

A tous ceux qui connaissent HICHEM BELFEROUM

ABOU ANES

Résumé

Cette étude expérimentale concerne le comportement mécanique d'un mortier à base d'un sable composé des ajouts minéraux : le laitier et la chaux vive. 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 d'un sable préparé de oued souf (substitué la fraction 0.08-0.16 qui est de l'ordre de 15 % par le laitier et la chaux vive tout en gardant la granulométrie identique à celle d'un sable normalisé) et comparer avec un mortier normale (confectionnée à partir d'un sable normalisée) à base de deux types de ciments portland préparer, le premier est un ciment sans ajouts CEM I/A 42.5, la deuxième est un ciment à base d'ajout inerte (35% calcaire).

Dans le but de montrer et d'analyser l'influence de chaque constituant sur La résistance mécanique de mortier, on a substitué une quantité de ciment de l'ordre de 20% et 40% par une quantité équivalente en sable prépare.

Les résultats obtenus montrent une amélioration importante des propriétés mécanique des mortiers confectionnés à base des différents types de sables préparés et des deux types de ciments utilisée au cours du temps, avec une amélioration qui atteint pour les deux sables à base de 15% laitier et 10 %laitier +05 chaux vive les 144% ce qui nous offre une économie de 20% en matière de ciment pour un mortier à base de ciment CEM II 32.5 et une quantité plus grande pour un ciment portland sans ajout.

Mots clés : comportement mécanique, mortier, sable, ajouts minéraux, laitier, chaux, ciment.

Abstract:

This experimental study concerns the mechanical behavior of a mortar made of a sand composed with mineral additives: slag and quicklime. Knowing that the strength of a mortar is closely linked to its composition.

The aim of our research is to study the mechanical properties of mortar made of a prepared sand of oued souf (0.08-0.16 substituted the fraction that is of the order of 15% sand by the slag and lime keeping the size of sand used identical to that of standard sand) and compare with a normal mortar (crafted from a standard sand) based on two types of portland cements prepared, the first is a CEM I / A 42.5 cement without additions, the second one is based cement limestone addition (35%).

In order to demonstration and to analyze the influence of each component on the strength of mortar was substituted an amount of cement (20% and 40%) by an equivalent amount in sand prepared.

The results show a significant improvement in mechanical properties of mortars made based on various types of prepared sand and two types of cement used over time, with an improvement achieved for both sands containing 15% slag and 10slag and05% lime 144% which gives us a saving of 20% on cement for cement-based mortar CEM II 32.5 and a larger amount for a Portland cement without addition.

Key words: mechanical behavior, mortar, sand, mineral additives, slag, lime, cement.

ملخص

تتعلق هذه الدراسة التجريبية بالسلوك الميكانيكي للملاط لمصنوع من الرمال المكونة من الإضافات المعدنية التي تتمثل في خبث الأفران والجير. مع العلم أن قوة الملاط ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتكوينها.

والهدف من بحثنا هو دراسة الخصائص الميكانيكية للملاط المصنوع من رمال وادي سوف (0،08-0،16،

استبدال هذا الجزء الذي يمثل نسبة 15% بنظيره من الخبث والجير مع الحفاظ على الأحجام من الرمال المستخدمة مطابقة لتلك التي في الرمل القياسي) ومقارنتها مع التي صنعت باستعمال رمل قياسي على أساس نوعين من الأسمنت البورتلاندي، أعد الأول هو CEM I/A42.5 دون الإضافات، وأعد الثاني بالإضافة إلى ذلك بواسطة الحجر الجيري بنسبة (35%).

من أجل إظهار وتحليل تأثير كل مكون على قوة الملاط تم استبدال جزء من الاسمنت (20% و 40%) بنفس النسبة من الرمل.

وأظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في الخصائص الميكانيكية للملاط المحضر باستعمال أنواع مختلفة من الرمل ونوعي الاسمنت المستخدمة مع مرور الزمن خاصة المكونة من (15% خبث، و10% خبث+5% جير)، التحسن بنسبة 144% أعطانا اقتصاداً من مادة الاسمنت من نوع CEM II 32.5 بنسبة 20% وكمية أكبر من الاسمنت الخالي من الإضافات المعدنية.

الكلمات المفتاحية: السلوك الميكانيكي، الرمل، الملاط، الإضافات المعدنية، خبث الأفران، الجير، الإسمنت.

Table des matières

Résumé
Abstract
ملخص

Chapitre I : Introduction générale

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

Chapitre II : revue bibliographique

II.1.1. Introduction	03
----------------------------	----

Partie.1 : les ciments et les ajouts cimentaires

II.1.2. Définition	03
II.1.3. Fabrication du ciment	03
II.1.4. Composition chimique et minéralogique du ciment	03
II.1.5 Hydratation du ciment Portland	05
A) Hydratation des aluminates C_3A et C_4AF	05
B) Hydratation des silicates C_3S et C_2S	05
II.1.6. Classification des ciments	06
a) Classification suivant la composition	06
b) Classification des ciments suivant les résistances à la compression	06
II.1.7 Conservation et stockage du ciment	07
II.1.8. Les types d'ajouts cimentaires	07
II.1.8.1 Le laitier de haut fourneau (LHF)	07
II.1.8.1.1. Effet du laitier de haut fourneau	08
II.1.8.1.2. Types de laitier (propriétés et mode de fabrication)	08
II.1.8.1.3. Composition chimique	08
II.1.8.2. Les cendres volantes (CV)	09
II.1.8.3. La pouzzolane	10
II.1.8.3.1. Définition	10

Table des matières

II.1.8.3.2. Types de pouzzolane	10
II.1.8.3.3. Effet de La pouzzolane	11
II.1.8.4 La fumée de silice(FS)	11
II.1.8.4.2 Composition chimique de la FS	12
II.1.8.5 Les fillers de marbre	12
II.1.8.5.Le Gypse	12

partie 2: La chaux

II.2.1 Introduction	13
II.2.2 Définition	13
II.2.3 Les différents types de chaux	14

Partie 3 : Le mortier

II.3.1 Introduction	17
II.3.2 Définition	17
II.3.3 Propriétés des mortiers	17
II.3.4 Matériaux composant et propriétés de mortier dues à ces matériaux	18
II.3.5 Les type de mortier	21
II.3.6 Fonction de mortier	21
II.3.7 Emplois des mortiers	22

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisée et procédures expérimentale

Partie1 : Introduction	24
------------------------------	----

Partie 2 : Matériaux de base utilisé

III.2.1. Ciment	25
III.2.2. Eau utilisé	26

III.2.3. laitier et chaux	27
III.2.3.1. laitier	27
III.2.3.2. la chaux vive (broyer)	28
III.2.4. préparation des différent types de sable	29
III.2.4.2. Préparation des sacs de 1350 g	30
III.2.4.3. Préparation des sacs de 1454 g	33
III.2.4.4. Préparation des sacs de 1558 g	36

Partie 3 : Formulations des mortiers

III.3.1. Formulation et fabrication des mortiers	38
III.3.4. Déterminer des propriétés mécanique	40
III.3.4.1. Essai de rupture par flexion : norme NFP15- 451	40
III.3.4.2. Essai de rupture par compression : norme NFP 15-451	41

Chapitre IV : Résultats et analyses

IV.1. Introduction	43
IV.2.1.Mortiers 01	43
IV.2.1.1.Sable préparé (avec C.P.A CEMI 42.5 et E/C=0.5)	43
IV.2.1.1.1.Compression	43
IV.2.1.1.2.Flexion	44
IV.2.1.2.Sable préparé (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.5)	44
IV.2.1.2.1.Compression	44
IV.2.1.2.2.Flexion	45
IV.2.2.Mortiers 02	45
IV.2.2.1.Sable préparé (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.625)	45
IV.2.2.1.1.Compression	45
IV.2.2.1.2.Flexion	46

IV.2.3.Mortiers 03	46
IV.2.1.2.Sable préparé (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.833)	46
IV.2.3.1.1.Compression	46
IV.2.3.1.2.Flexion	47

Chapitre V : Interprétation des résultats

Introduction	49
V.1. Analyse et commentaire des résultats à la compression	49
V.1.1. Mortier 01 (avec C.P.A CEMI 42.5 et E/C=0.5)	49
V.1.2. Mortier 01 (avec C.P.J CEMI 32.5 et E/C=0.5)	53
V.1.3. Mortier 02 (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.625)	56
V.1.4. Mortier 03 (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.833)	57
V.2. Analyse et commentaire des résultats à la flexion	58
V.2.2. Mortier 01 (avec C.P.J CEMI 32.5 et E/C=0.5)	60
V.2.3. Mortier 02 (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.625)	62
V.2.4. Mortier 03 (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.833)	63

Chapitre VI : conclusion et recommandations

Conclusion	66
Recommandations	67

Chapitre I :

Introduction

Général

Introduction générale

➤ Problématique :

Dans le domaine de génie civil, les matériaux les plus utilisés dans la construction sont 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 obligent de faire des recherches scientifiques liées par des expériences réalisées au niveau de laboratoire de génie civil selon les normes internationales pour améliorer ces performances, par l'étude des différents paramètres, soit rhéologiques tel que l'ouvrabilité on se base 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, progresser à une activation mécanique par l'augmentation de la finesse des moutures (SSB) ce qui influe positivement sur le processus d'hydratation.

Notre étude vise l'intervention au niveau d'un composé qu'on estime négliger vis-à-vis la participation dans le développement des caractéristiques mécaniques des matériaux cimentaires vu son aspect plus au moins 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 à 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 issus d'un processus industriel comme produit fini (la chaux vive) ou comme un déchet d'une industrie lourde (laitier des hauts fourneaux), dans le squelette granulométrique d'un sable quartzéux.

➤ **Objectif :**

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 la chaux vive par fois d'une manière séparée et d'autre fois sous forme d'un mélange avec des proportions bien définies tout en gardant la granulométrie de sable utilisée identique à celle de sable normalisé et comparer les résultats obtenus avec les résultats de deux mortiers normalisés confectionnés à partir de deux sables des granulométries normalisées (sable localement préparé et le sable normalisé importé).

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.

➤ **Structure de mémoire :**

Chapitre I : Introduction générale

Chapitre II : Revue bibliographique

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et procédures expérimentales

Chapitre IV : résultats et analyses

Chapitre V : interprétation des résultats

Chapitre VI : conclusion générale

Chapitre II :

Revue

Bibliographique

Partie.1 : les ciments et les ajouts cimentaires

II.1.1. Introduction

L'industrie du ciment occupe une place prépondérante dans les économies de toutes les nations puisqu'elle est à la base du développement de nombreux secteurs vitaux dans l'économie des pays, par la production des matériaux les plus utilisés. Employé dans la construction des bâtiments, des ouvrages d'art et des infrastructures, le béton, principale application du ciment contribue à l'amélioration des conditions de vie et du bien-être individuel.

II.1.2. Définition

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. [16]

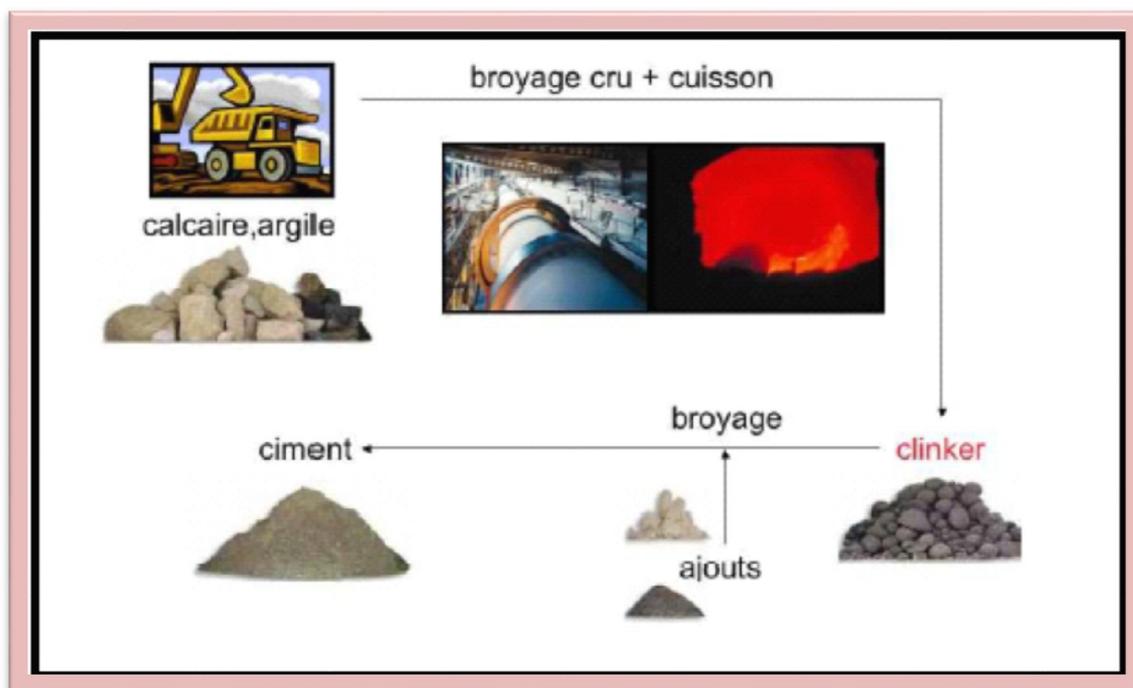
II.1.3. Fabrication du ciment

a. Extraction et concassage : Le calcaire est extrait par explosif dans des carrières généralement près de la cimenterie. L'argile, plus meuble, est extraite par des engins mécaniques et transportée en cimenterie. Le concassage, fait sur les lieux de l'extraction, réduit la granulométrie des matériaux à environ 50 mm.

b. Préparation de cru : Un mélange homogène d'argile et de calcaire est réalisé. Les proportions sont déterminées selon leurs compositions chimiques et sont toujours proches de 80 % de calcaire et 20% d'argile. Le mélange est broyé en une poudre de granulométrie inférieure à 200 microns. La poudre obtenue est homogénéisée par un mélangeur pneumatique ou mécanique. Le produit obtenu est appelé « le CRU ».

c. Cuisson : Réalisée dans des fours rotatifs à une température maximale d'environ 1450°C, la cuisson permet la transformation du cru en clinker (forme de grains de 0,5 à 4 cm de diamètre). A la sortie du four, le clinker est refroidi rapidement (à une température de 50 à 250°C) pour éviter une forte cristallisation.

d. Broyage : Le Clinker Portland est additionné de gypse et éventuellement d'ajouts cimentaires (Laitier, pouzzolane, calcaire, etc.) et est broyé en poudre fine d'une granulométrie inférieure à 80 µm, c'est le ciment Portland. [15]



Figure(II.1). Stade de fabrication de ciment [14]

II.1.4. Composition chimique et minéralogique du ciment Lors de la cuisson du CRU, les constituants principaux (Tableau 1.1) de la matière première réagissent entre eux pour former principalement quatre (04) composés minéralogiques (Tableau II.1).

Tableau (II.1): Teneur moyenne des oxydes constitutifs du clinker. [19]

Oxydes constitutifs	Teneur limites (%)	Sources (matière première)
CaO	60 à 69	Calcaire
SiO ₂	18 à 24	
Al ₂ O ₃	4 à 8	Argile
Fe ₂ O ₃	1 à 8	
MgO	0 à 5	
Alcali (K ₂ O et Na ₂ O)	0 à 2	Calcaire et Argile
SO ₃	0 à 3	

Tableau (II.2) : Composition minéralogique du ciment. [15]

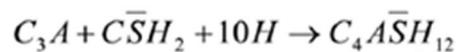
Composés	Composition	Appellation abrégée	Taux (%)
Silicates tricalcique	3CaO.SiO ₂	C ₂ S	45 à 65
Silicates bicalciques	2CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ S	15 à 35
Aluminate tricalciques	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	04 à 14
Aluminoferrite tétracalcique	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	10 à 18

II.1.5 Hydratation du ciment Portland :

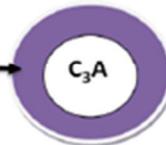
A) Hydratation des aluminates C₃A et C₄AF . [16]

C₃A + Eau → Réaction prompte ; induit une prise rapide limitant le temps de mise en œuvre.

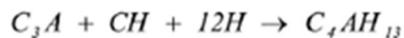
Mais, en présence de **gypse** (CaSO₄.2H₂O), la réaction suivante ce produit :



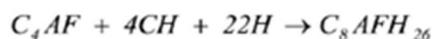
Couche protectrice d'Ettringite



Après consommation de gypse (2 à 3 heures) ;



aluminates de calcium hydraté (CAH).



B) Hydratation des silicates C₃S et C₂S . [16]

Les deux silicates s'hydratent immédiatement en présence de l'eau

L'hydratation des silicates conduit à 2 types d'hydrates :



✓ La portlandite occupe de 20 à 25%. Structure cristallisée. (non-liant)

✓ Les C-S-H : peu cristallisés ("gel") et liants, ce sont les hydrates les plus importants. (50% à 60% du volume de pâte de ciment hydratée)

II.1.6. Classification des ciments

a) Classification suivant la composition :

- **Ciment Portland: CEM I (Ciment Portland) :**

Il contient au moins 95% de clinker et au plus 5% de constituants secondaires.

- **Ciment portland composé : CEM II/A ou B (Portland composé) :**

Il contient au moins 65% de clinker et au plus 35% d'autres constituants : laitier de haut fourneau, fumée de silice (limitée à 10%), pouzzolane naturelle, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires. Il est à noter que les ciments portland composé englobent les ciments gris et les ciments blancs.

- **Ciment de haut fourneau : CEM III/A ou B ... (Ciment de haut fourneau) :**

Il contient entre 36% à 80% de laitier et 20 à 64% de clinker.

- **Ciment composé CEM III/C : (anciennement ciment de laitier au clinker) :**

Il contient au moins 81% de laitier et 5 à 19% de clinker.

- **Ciment composé : CEM IV/A ou B (anciennement ciment au laitier et aux cendres)**

Il contient de 20 à 64% de clinker, de 18 à 50% de cendres volantes et de 18 à 50% de laitier. [11]

b) Classification des ciments suivant les résistances à la compression :

La norme européenne [EN 197-1] classe les ciments courants d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme [EN 196-1], mesurée à 28 jours en six classes de résistance. Et exprimée en N/mm² (1 N/mm² = 1 MPa = 10 daN/cm² = 10 bars) [BOUTIBA.A, *sino dato*].

Tableau II.3 : Classification des ciments suivant les résistances à la compression.

[BOUTIBA.A *sino dato*].

Désignation de la classe de résistance	Résistance à la compression (en MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante à 28 jours	
	2 jours	7 jours		
32,5 N	-	×16	×32,5	Ö52,5
32,5R	×10	-		
42,5 N	×10	-	×42,5	Ö62,5
42,5R	×20	-		
52,5 N	×20	-	×52,5	-
52,5R	×30	-		

La classe R correspond à une résistance au jeune âge plus élevée que la classe normale correspondante (N).

II.1.7 Conservation et stockage du ciment

Le ciment, liant hydraulique, réagit avec l'eau, doit être protégés contre l'humidité et les intempéries. **Recommandations :**

- Stockage du ciment dans des silos (Grand chantier).
- Les sacs de ciment doivent être protégés contre l'humidité :
- Utiliser des palettes pour isoler du sol
- Stocker le ciment de préférence à l'intérieur de locaux secs.
- Couvrir de polyane. [13]

Tableau II.4 : Durée de stockage en fonction des conditions de stockage. [10]

Condition de stockage	Durée de stockage
Silo hermétiquement fermé	Durée limitée
Local sec + protection en polyane	10-12 mois
A ciel ouverte	2-4 mois en hiver 1-2 mois en été

II.1.8. Les types d'ajouts cimentaires ;

II.1.8.1. Le laitier de haut fourneau (LHF) :

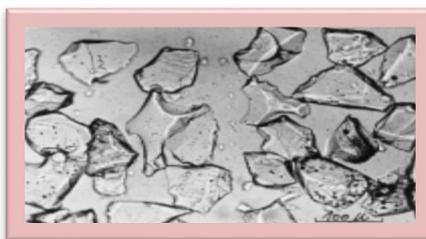


Photo (II.1) Laitier. [23]

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 [23]

II.8.1.1. 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. [25]

II.1.8.1.2. 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 à 2 m³ qu'on divise dans fausses de 200 à 300 mm de longueur, et de 10 à 12 mm de largeur, on laisse refroidir après concassage et criblage, on obtient un granulat normalisé et classé.

b) Laitier granule. C'est un sable vérifié, très poreux, jusqu'à 60%, il a une couleur grise jaunâtre, de granulométrie jusqu'à 2 mm, et de composition chimique. Silice = 29 à 38 %, chaux = 38 à 48%, alumine = 13 à 20 %, magnésie = 06 %. Pour avoir ce type de laitier, la coulée doit être refroidie brusquement dans un 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 = 10 à 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. [22]

II.1.8.1.3 Composition chimique

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

Tableau II.5. la composition chimique moyenne du laitier. [33]

	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O	Al ₂ O	MgO	MnO	K ₂	TiO ₂	Na ₂
LHF	37.31	36.77	0.85	7.77	13.91	1.02	0.4	0.36	0.31

II.1.8.2 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. [35]

II.1.8.2.1 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 ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), 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 $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$). Par ailleurs, la phase amorphe principale contient suffisamment de Ca pour accélérer la réactivité de l'aluminosilicate. [35]

II.1.8.2.2 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. [27]

II.1.8.3 La pouzzolane

II.1.8.3.1 Définition

Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés. Ceux 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. [26]

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.

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2$ (réactive) $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (CSH stable dans l'eau). [20]

II.1.8.3.2 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). [34]

b) Pouzzolane artificielle

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composée 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.1.8.3.3 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.1.8.4 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. [25]

II.1.8.4.1 Composition chimique de la FS

Le Tableau (II.6).représente la composition chimique typique de la fumée de silice.

Tableau (II.6): Composition chimique de la FS [18].

	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	MnO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PAF
FS	94.17	0.21	0.32	0.50	0.47	0.12	0.07	1.17	n.m	0.04	2.77

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 à 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. [21]

II.1.8.6 Le Gypse

Le gypse est un minéral composé de sulfate hydraté de calcium de formule CaSO₄, 2(H₂O) 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).[24]

Partie 2: La chaux

II.2.1 Introduction :

La chaux est à la fois le liant minéral majeur de l'histoire de la construction et un des produits minéraux les plus utilisés depuis le début de l'ère industrielle. Avant la chaux, le plâtre, fut la première matière cuite pour réaliser l'acte de construire. Issu du gypse, roche évaporitique, il fut notamment maîtrisé dès l'Ancien Empire de l'époque pharaonique. Puis, les mélanges avec des matériaux carbonatés apparurent. Le présent article ne cherchera pas à retracer l'histoire des liants minéraux et se focalisera sur la chaux seule. L'apparition des ciments dits « naturels » et des ciments dits « Portland » suivra dans le temps, même si cette chronologie linéaire n'est pas si simple : tous ces produits ont parfois cohabité et cohabitent encore.

II.2.2 Définition :

La chaux est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par calcination du calcaire, industriellement dans un four à chaux. Elle est utilisée depuis l'Antiquité, notamment dans la construction.

Chimiquement, c'est un oxyde de calcium avec plus ou moins d'oxyde de magnésium mais la désignation usuelle de chaux peut englober différents états chimiques de ce produit. [28]

Le cycle de la chaux :

Tableau (II.7) : Le cycle de la chaux. [29]

Décarbonatation		
Calcaire + Cuisson		Chaux vive + dioxyde de Carbone
$\text{CaCO}_3 + T^\circ$		$\text{CaO} + \text{CO}_2$
Hydratation		
Chaux vive + Eau		Chaux éteinte
$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$		$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Ré carbonatation		
Chaux éteinte + Dioxyde de Carbone		Calcaire + Eau
$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2$		$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

II.2.3 Les différents types de chaux :

a) La chaux vive :

La chaux vive est la chaux sortie du four à chaux. Elle prend l'apparence de pierres pulvérulentes en surface. Le principal constituant de la chaux vive est l'oxyde de calcium, qui a pour formule CaO .

La chaux vive est une chaux qui n'a pas été éteinte.

La chaux vive pouvait être amenée sous cette forme sur chantier où elle était éteinte ou transportée sur de longues distances dans des sacs, à l'abri de l'humidité. [32]

Précautions et utilisation :

La chaux vive est un produit potentiellement dangereux, principalement employé dans l'industrie et l'agriculture. Hydrophile, elle est utilisée pour assécher, détruire les matières organiques riches en eau. En cas de mélange de grandes quantités de chaux vive et d'eau, la chaleur dégagée est telle que l'eau peut se mettre à bouillir et projeter de la chaux, qui est corrosive. Il est de ce fait conseillé d'utiliser des lunettes et des gants lors de la manipulation.

Il est recommandé de verser progressivement la poudre dans l'eau et non pas l'inverse. Il est également recommandé de brasser le mélange eau/chaux vive tout au long de sa préparation, ceci afin de limiter les risques de projection. [12]

b) La chaux éteinte :

La chaux vive est transformée en chaux éteinte par immersion dans l'eau. Cette immersion, provoque une dislocation, un foisonnement, ainsi qu'une forte chaleur (autrement dit la réaction est exothermique). Le résultat est une pâte, qui prend le nom de chaux éteinte (*portlandite*), qui a pour formule, Ca(OH)_2 , soit de l'hydroxyde de calcium. [31]



Photo (II.2) : Chaux éteinte [31]

c) La chaux hydraulique :

La chaux hydraulique (chaux maigre) est obtenue à partir de calcaire contenant 10 à 20 % d'argile qui lors de la calcination donne des silicates et aluminates de calcium. Elle fait prise, en quelques heures, au contact de l'eau, d'où son appellation.

Plus une chaux est hydraulique, plus elle présente de résistance à la compression moins elle est plastique.

Sa masse volumique est d'environ 800 kg/m³. [30]

d) La chaux aérienne :

C'est de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂. Son nom minéralogique est portlandite.

La chaux aérienne (chaux hydratée, chaux éteinte, chaux grasse, chaux maigre) est obtenue par hydratation de chaux vive issue d'un calcaire très pur. On la trouve sous différentes appellations : chaux éteinte, CAEB (ancienne normalisation : chaux aérienne éteinte pour le bâtiment). L'appellation conseillée par la norme NF EN 459-1 est CL (*Calcic Lime* traduit par chaux calcique) pour les chaux contenant moins de 5 % d'oxyde de magnésium suivi d'un chiffre 90, 80 ou 70 indiquant le pourcentage de CaO. [31]

Utilisation :

Les usages de la chaux aérienne sont nombreux :

- Sidérurgie ;
- Travaux publics ;
- Agriculture ;
- Traitement des eaux ;
- Construction, bâtiment ;
- Absorption du dioxyde de carbone : appareils d'anesthésie et respiratoires de secours ;
- Alimentation. [03]

Extinction :

La transformation de chaux vive en chaux éteinte s'effectue par ajout d'eau (H₂O). Cette opération d'extinction produit l'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂, avec un fort dégagement de chaleur :



Après transformation, l'augmentation du volume est de près de 30 %.

L'extinction peut être réalisée de différentes manières :

- arrosage superficiel des blocs de chaux vive, puis terminaison de la réaction à l'air.
- immersion des blocs de chaux vive dans un grand volume d'eau puis terminaison de la réaction à l'air.
- mélange eau-chaux dans un malaxeur avec contrôle de la réaction exothermique (dans l'industrie).
- immersion des blocs de chaux vive dans un grand volume d'eau puis terminaison de la réaction dans l'eau. [28]

Partie 3 : Le mortier.

II.3.1 Introduction

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

II.3.2 Définition :

Le mortier est le mélange à consistance de pâte ou de boue, d'un liant et d'agréats avec de l'eau. Il est utilisé en maçonnerie comme élément de liaison, de scellement ou comme enduit. Techniquement parlant c'est une colle.

Les professionnels du bâtiment qui utilisent le mortier sont le maçon, le carreleur et le tailleur de pierre. [17]

II.3.3 Propriétés des mortiers

D'après leurs propriétés, les mortiers se subdivisent en deux catégories : les mortiers plastiques et les mortiers durcis. [02]

a) Mortier plastique

La propriété la plus importante du mortier plastique est son ouvrabilité.

On peut la définir comme la propriété du mortier à s'étaler à la truelle pour colmater toutes les fentes et fissures de l'élément de maçonnerie.

En réalité, c'est une combinaison de plusieurs propriétés, comprenant la plasticité, la compacité et la cohérence.

L'ouvrabilité ne se mesure pas avec précision en laboratoire mais le maçon peut l'évaluer en observant le comportement du mortier lorsqu'il l'étale avec sa truelle.

L'ouvrabilité est due à l'effet de « roulement à billes » résultant de la lubrification des granulats par le lait de ciment.

Bien que la classe des granulats et la proportion des matériaux jouent un rôle important, c'est la teneur en eau qui détermine les valeurs finales du retrait et le maçon peut la contrôler à la mise en œuvre.

La capacité d'un mortier à garder une certaine ouvrabilité sous l'influence de la succion des

blocs dépend de son pouvoir de rétention d'eau mesuré lors d'essais en laboratoire.

Une bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau sont essentiels à une qualité maximale du rejointoiement. [09]

b) Mortier durci

Le mortier durci possède un certain nombre de propriétés de résistance mécanique d'importance majeure.

La solidité du rejointoiement entre le mortier et l'élément est très importante.

Quant à l'ouvrabilité, il n'existe pas de méthode sûre pour la mesurer et par conséquent les mortiers sont évalués d'après les valeurs de résistance à la compression d'éprouvettes cubiques soumises à des conditions de moulage et de cure plus proche de celles que l'on rencontre avec le béton qu'avec le mortier.

La méthode d'essai est simple, les résultats sont reproductibles, et au cours des années les ingénieurs en maçonnerie ont appris à établir le lien entre la résistance à la compression et les propriétés de maçonnerie recherchées.

Peut-être surestime-t-on l'importance de la résistance du mortier à la compression à cause de la confusion entre béton et mortier notée précédemment.

La solidité du rejointoiement, la bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau donnent au rejointoiement une force maximale et par le fait même ces qualités sont plus importantes que la résistance du mortier à la compression.

La résistance à la flexion est également importante, parce qu'elle détermine la capacité d'un mortier à résister à la fissuration.

Les mortiers devraient toujours avoir moins de résistance que les éléments de maçonnerie pour que les fissures se produisent dans les joints, où elles peuvent être facilement colmatées. [07]

II.3.4 Matériaux composant et propriétés de mortier dues à ces matériaux

Par définition, les mortiers contiennent des liants, des granulats et de l'eau; des adjuvants ou des colorants peuvent aussi être ajoutés.

Les éléments de maçonnerie feront aussi l'objet de notre documentation, puisqu'il est essentiel, dans la composition du mortier, de tenir compte de l'effet de la maçonnerie sur les propriétés des mortiers.

1) Les liants

Le liant peut être du ciment portland, de la chaux ou du ciment de maçonnerie, ou un des divers mélanges de ces matériaux.

Ces trois sortes de liants doivent satisfaire aux normes respectives de l'AFNOR.

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier sa résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction.

Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont malaisés à travailler.

2) Les granulats(Le sable)

- **Définition :** Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur les qualités du béton et du mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs. Il convient de se méfier de la présence de sables granitiques, de micas en paillettes, d'argiles, de sulfates...et dans le cas de sable concassé : des poussières, des plaquettes, des aiguilles.[08]
- **Propriétés de sable :** C'est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 (silt) et 2 mm selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires de coquillage et de corail.

Le sable est le granule employé le plus fréquemment ; Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires; leur granulométrie est de préférence continue. Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants selon la caractéristique recherchée : plastifiants, entraîneurs d'air, retardateurs de prise, hydrofuges. L'incorporation de fibres de verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables.[04]

3) Les eaux

L'eau remplit un double rôle: elle sert à hydrater le ciment, et, ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité.

Il convient de noter que les exigences relatives à l'eau de gâchage diffèrent beaucoup pour les mortiers et le béton.

Dans le cas du béton un faible rapport eau-ciment est préférable.

Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale.

L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques.

Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser.

4) Les adjuvants

De nombreux adjuvants sont employés pour les mortiers de maçonnerie et dans certains cas leur emploi est certainement avantageux.

Cependant, leur emploi n'est généralement pas recommandé.

Une bonne composition du mélange, l'utilisation de matériaux de qualité et une bonne technique permettent habituellement d'obtenir une maçonnerie solide.

Une mauvaise composition, l'utilisation de matériaux de qualité inférieure et une technique défectueuse ne peuvent pas être corrigées par l'emploi d'adjuvants.

5) Les colorants

On peut donner de la couleur au mortier par des granulats ou des pigments minéraux. Ces derniers devraient avoir la composition d'oxydes minéraux et ne pas représenter plus de 6 % du poids du ciment portland.

Le noir de carbone ne devrait pas représenter plus de 2 %.

On doit soigneusement choisir les pigments et ne pas en employer plus qu'il n'en faut pour obtenir la couleur désirée.

Pour que la couleur ne varie pas beaucoup d'un lot à l'autre il est conseillé d'acheter des liants auxquels des colorants ont été ajoutés en usine coefficients d'absorption exigent des mortiers ayant une ouvrabilité et un pouvoir de rétention d'eau maxima.

Les conditions atmosphériques devraient aussi entrer en ligne de compte dans la composition du mortier.

Au cours des périodes estivales chaudes et sèches le mortier doit avoir un bon pouvoir de rétention pour compenser en partie la perte d'eau par évaporation.

En hiver, un pouvoir de rétention plus faible est souhaitable parce qu'il permet au mortier de perdre de l'eau avant que la congélation de celle-ci n'ait lieu. et de gâcher de grandes quantités de mortier. [07]

II.3.5 Les type de mortier :

- ✓ **Les mortiers de ciment** : Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1 m³ de sable.
- ✓ **Les mortiers de chaux** : Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, sur- tout lorsque la chaux est calcique.
- ✓ **Les mortiers bâtards** : Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. 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

Plus grande plasticité > plus de chaux

Plus grande résistance > plus de ciment [02]

II.3.6 Fonction de mortier :

La fonction principale d'un mortier est de liasonner 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.

Les mortiers à maçonnerie contiennent les mêmes constituants de base: des matériaux liants à base de ciment, des granulats et de l'eau.

Dans un mur de maçonnerie, le mortier constitue le liant qui unit les éléments (briques, blocs, etc.) qui confèrent à l'ensemble sa résistance mécanique.

Le mortier est placé entre des éléments de maçonnerie absorbants, et dès qu'il est en contact avec eux il commence à perdre de l'eau. [07]

II.3.7 Emplois des mortiers :**➤ Le hourdage 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.

➤ 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 la norme NF P 15-201-1, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants.

➤ 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. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.

➤ 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, de mobiliers urbains, de regards de visite. [01]

Chapitre III :
Caractérisation
Des Matériaux Utilisée et
Procédures
Expérimentales

Partie 1 : Introduction.

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, on présente en premier lieu les différents matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que leurs caractéristiques, la deuxième et la troisième partie sont consacrées à la formulation de différents types de mortier qui sont liées directement au type de sable utilisé à savoir sa composition chimique (avec et sans ajout minéraux) tout en gardant une granulométrie normalisée (continue).

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un mortier joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les propriétés essentielles d'un mortier sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

- **Période de préparation :** du 01 mars 2015 au 02 avril 2015.
- **Lieu de préparation :**

Dans le but de mettre en évidence le comportement physique, mécanique et la durabilité d'un mortier à base de différents types de sable. Les essais physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

- ✓ Laboratoire physique de la cimenterie d'Ain el kebira.
 - ✓ Laboratoire chimique de la cimenterie d'Ain el kebira.
 - ✓ Laboratoire de département de Génie Civil de l'université Mohamed EL Bachir EL Ibrahim; Bordj Bou Arreridj.
-
- **Remarque :** La plupart des essais de caractérisation des matériaux ont été réalisés au sein du laboratoire chimique de la cimenterie de Ain el kbira sous des conditions climatiques $T 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative $HR = 45\%$ à 55% .

Partie 2 : Matériaux de base utilisée

III.2.1. Ciment :

1- Le choix des ciments : On utilisé deux type de ciment préparé :

- CPA (95 % clinker + 05 % gypse). í í í } CEM I -42.5
- CPJ (65 % clinker/gypse + 35 % calcaire). í í í í } CEMII-32.5.

Les deux type de ciment préparé ont été effectués sur Laboratoire de département de Génie Civil de l'université Mohamed EL Bachir EL Ibrahima ; Bordj Bou Arreridj.

2- Préparation des matériaux primaire :

• **L'extraction des Ajout :**

Les' ajouts (clinker, gypse et calcaire) nous ont été fournis par les ingénieurs carrière de la cimenterie d'Ain-kbira (Sétif).

• **Le séchage et le broyage :**

Pour favoriser les réactions chimiques qui suivent, les ajouts doivent être séchées cøest effectué dans une étuve à 104 à 105°C pendant 24 heure.

Le broyage des ajouts cøest effectué dans un broyeur à boulets.

3- La composition de ciment : préparé le ciment à partir des poids suivant :

Tableau (III.01): la composition de ciment.

	Clinker(g)	Gypse(g)	Calcaire(g)	Poids total (g)
CPA (CEMI A)	427.5 (95%)	22.5 (5%)	00 (0%)	450
CPJ (CEMII B)	270(60%)	22.5 (05%)	157.5 (35%)	450

➤ **Remarque :**

le choix de ce type d'ajout n'est pas hasard car c'est le seul ajout qui n'est pas introduit dans la composition du sable préparé d'une part, et d'autre part c'est un ajout inerte qui ne participe pas dans le développement des caractéristiques physico-mécaniques des liant notamment la résistance mécanique ; pour cet aspect les cimenteries ne dépassent pas les 20% en matière de calcaire car au-delà de ce taux il y a lieu d'une chute très considérable en matière de résistance mécanique surtout cela compression, donc le choix d'un pourcentage assez élevée de ce type d'additif va nous valoriser la qualité du sable préparé.

4- Caractéristiques physiques des pâtes de ciment :

Tableau (III.02): Propriétés physiques du ciment utilisé [36].

Propriété	Valeur CPA	Valeur CPJ
Consistance normale	23.49 %	28.50 (%)
Surface spécifique Blaine	3670 cm ² /g	3670 cm ² /g
Retrait à 28 jours	Ö1000 m / m	Ö1000 m / m
Expansion	Ö10 mm	0.3 à 2.5 (mm)
Masse volumique absolue	3.16	3.16
Temps de prise	≥ 60 Min	≥ 60 Min

III.2.2. Eau utilisé :

Nous avons utilisés pour le gâchage de notre mortier l'eau de robinet disponible au niveau de notre université, d'où ces caractéristiques physico-chimiques sont les suivants :

L'analyse chimique de l'eau de gâchage a été réalisée au laboratoire de la chimie université d'Elbachir El Ibrahimy Bordj Bou Arreridj.

Tableau (III.03) : *Analyse physico-chimique de l'eau utilisé [27].*

Paramètre	Quantité	Commentaire
pH	8.18	Acceptable pour le gâchage.
Conductivité	1250 $\mu\text{s}/\text{cm}$	
Taux de (Cl^-)	0.24mg/l	0.05 à 0.50
Taux de (NO_2^-)	0,15 mg/l	> à la concentration max (0.1)
Taux de (NO_3^-)	1,8 mg/l	< à la concentration max (50)
Turbidité	1,44 NTU	
Dureté total	6,72 °F	15-50
Résidu sec	100 mg/l	

III.2.3. laitier et chaux :

III.2.3.1. laitier :

➤ L'extraction des Ajout :

Dans Notre etude 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 séchées c'est effectué dans une étuve à 104 à 105°C pendant 24 heure (Photo IV.3).



Photo (III.1) : *étuve de la cimenterie pour séchage de laitier.*

➤ **Le broyage :**

Ont été effectués au sein de Laboratoire de la cimenterie d'Ain-kbira.

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 cm^2/g



Photo (III.2) : broyeur à boulet de 5 kg.

➤ **Composition chimique du laitier :**

Tableau III.4: Composition chimique du LHF [33].

	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O	Al ₂ O	MgO	MnO	K ₂	TiO ₂	Na ₂
LHF	37.31	36.77	0.85	7.77	13.91	1.02	0.4	0.36	0.31

III.2.3.2. la chaux vive (broyer) :

La chaux utilisée est celle de l'entreprise de conditionnement de chaux De l'est wilaya de Saida



Photo (III.3) : chaux vive.

➤ **Caractéristiques :**

➤ **Tableau (III.05) :** Caractéristiques de la chaux vive.[27]

Paramètres	Valeur (%)
CaO	82,77
MgO	1,83
Fe ₂ O ₃	0,87
Al ₂ O ₃	3,27
SiO ₂	1,35
SO ₃	0,11
K ₂ O	0,151
Na ₂ O	0,064
Insoluble dans Hcl	<1,00
Densité	731g/l

III.2.4. préparation des différents types de sable :

III.2.4.1. 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 Bordj Bou Arreridj 463 km sur la route nationale RN48.
- **Lieu de préparation :** Laboratoire de département de Génie Civil de l'université Mohamed EL Bachir L'Abraham; Bordj Bou Arreridj.
- **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.



Photo (III.4) : différentes fractions des quarts.

III.2.4.2. Préparation des sacs de 1350 g :

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

Tableau(III.6) : la composition du Sable des sacs de 1350 g.

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

- conditionnés dans des sacs de 1350 g ± 5g.

III.2.4.2.1. La préparation des sacs témoin :

- **Sable témoin(ST1)** : pour témoin 1 on a utilisé le sable normalisé.



Photo (III.5) : *sable normalisé.*

- **Sable témoin2(ST2)** : toutes les fractions en quartz préparé.

Tableau(III.7) : *la composition du Sable(ST2) .*

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

III.2.4.2.2. La préparation des sacs mixte :

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

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 représentent les sables.

➤ Sable 5%laitier (SL1):

Tableau (III.8) : la composition du Sable(SL1).

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	chaux
0,08-0,16	15%	135(10%)	67.5 (5%)	00
0,16-0,5	20%	270g	00	00
0,5-1	36%	486g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00
1,6-2,0	10%	135g	00	00

➤ Sable 10%laitier(SL2) :

Tableau (III.9) : la composition du Sable(SL2) .

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	chaux
0,08-0,16	15%	67.5g (5%)	135(10%)	00
0,16-0,5	20%	270g	00	00
0,5-1	36%	486g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00
1,6-2,0	10%	135g	00	00

➤ **Sable 15%laitier (SL3) :****Tableau (III.10) : la composition du Sable(SL3) .**

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	chaux
0,08-0,16	15%	00	202.5 (15%)	00
0,16-0,5	20%	270g	00	00
0,5-1	36%	486g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00
1,6-2,0	10%	135g	00	00

➤ **Sable 5%laitier et 10%chaux (SLC1):****Tableau (III.11) : la composition du Sable(SLC1).**

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	chaux
0,08-0,16	15%	0g	67.5 (5%)	135(10%)
0,16-0,5	20%	270g	00	00
0,5-1	36%	486g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00
1,6-2,0	10%	135g	00	00

➤ **Sable 10%laitier et 5 % chaux (SLC2) :**➤ **Tableau (III.12) : la composition du Sable(SLC2) .**

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	chaux
0,08-0,16	15%	00g	135(10%)	67.5 (5%)
0,16-0,5	20%	270g	00	00
0,5-1	36%	486g	00	00
1-1,6	19%	256,5g	00	00
1,6-2,0	10%	135g	00	00

III.2.4.3. Préparation des sacs de 1454 g:

Dans cette phase on prends deux mélanges (15% laitier et 10% laitier+5%chaux) qui ont données à l'âge de 07 jours les meilleurs résistances a la compression ; faisons substituer un taux de ciment par un taux équivalent de sable prépare. ont été proposé que nous les concéderont assez élevée 20%, mais c'est une tentative expérimentale disons courageuse pour avoir une idée technico-économique sur l'effet du sable prépare vis-à-vis l'impact financière de ce nouveau produit proposé.

- 20% de ciment =90 g c-t-d la masse équivalente en sable= $90 \times 3 / 2.6 = 104$ g

(La masse volumique de ciment=3 et la masse volumique de sable=2.6)

C-T-D la masse de ciment=450-90=360g et la masse de sable=1350+104=1454g

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

Tableau(III.13) : la composition du Sable des sacs de 1454 g.

FRACTION	POURCENTAGE	Quantité
0,08-0,16	15%	218
0,16-0,5	20%	290.8
0,5-1	36%	523.44
1-1,6	19%	276.26
1,6-2,0	10%	145.5

- conditionnés dans des sacs de 1454 g \pm 5g.

III.2.4.3.1. La préparation des sacs témoin :

- **Sable témoin3(ST3) :** toutes les fractions en quartz préparé.

Tableau(III.14) : *la composition du Sable(ST3) .*

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	laitier	chaux
0,08-0,16	15%	218	00	00
0,16-0,5	20%	290.8	00	00
0,5-1	36%	523.44	00	00
1-1,6	19%	276.26	00	00
1,6-2,0	10%	145.5	00	00

IV.2.4.3.2.La préparation des sacs mixte :

- **Sable 15%laitier (SL3') :**

Tableau (III.15) : *la composition du Sable (SL3') .*

FRACTION	POURCENTAGE	Quartz	laitier	chaux
0,08-0,16	15%	00	218(15%)	00
0,16-0,5	20%	290.8	00	00
0,5-1	36%	523.44	00	00
1-1,6	19%	276.26	00	00
1,6-2,0	10%	145.5	00	00

- **Sable 10%laitier et 5 % chaux (SLC2') :**

- **Tableau (III.16) :** *la composition du Sable (SLC2') .*

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	Laitier	chaux
0,08-0,16	15%	00g	145.5 (10%)	72.5 (5%)
0,16-0,5	20%	290.8	00	00
0,5-1	36%	523.44	00	00
1-1,6	19%	276.26	00	00
1,6-2,0	10%	145.5	00	00

III.2.4.4. Préparation des sacs de 1558 g :

Dans cette phase on prends deux mélanges (15% laitier et 10% laitier+5%chaux) qui ont données à l'âge de 07 jours les meilleurs résistances a la compression ; faisons substituer un taux de ciment par un taux équivalent de sable prépare. ont été proposé que nous les concéderont assez élevée 40%, mais c'est une tentative expérimentale disons courageuse pour avoir une idée technico-économique sur l'effet du sable prépare vis-à-vis l'impact financière de ce nouveau produit proposé.

- 40% de ciment =180 g c-t-d la masse équivalente en sable= $180 \times 3/2.6=208$ g

(La masse volumique de ciment=3 et la masse volumique de sable=2.6)

C-T D la masse de ciment=450-180=270g et la masse de sable=1350+208=1558g

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

Tableau(III.17) : la composition du Sable des sacs de 1558 g.

FRACTION	POURCENTAGE	Quantité
0,08-0,16	15%	233.7
0,16-0,5	20%	311.6
0,5-1	36%	560.5
1-1,6	19%	296
1,6-2,0	10%	155.5

- conditionnés dans des sacs de 1558 g \pm 5g.

III.2.4.4.1. La préparation des sacs témoin :

- **Sable témoin4(ST4)** : toutes les fractions en quartz préparé.

Tableau(III.18) : la composition du Sable(ST4).

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	Laitier	chaux
0,08-0,16	15%	233.7	00	00
0,16-0,5	20%	311.6	00	00
0,5-1	36%	560.5	00	00
1-1,6	19%	296	00	00
1,6-2,0	10%	155.5	00	00

III.2.4.4.2 La préparation des sacs mixte :

- **Sable 15%laitier (SL3'')** :

Tableau (III.19) : la composition du Sable (SL3'').

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	Laitier	chaux
0,08-0,16	15%	00	233.7 (15%)	00
0,16-0,5	20%	311.6	00	00
0,5-1	36%	560.5	00	00
1-1,6	19%	296	00	00
1,6-2,0	10%	155.5	00	00

- **Sable 10%laitier et 5 % chaux (SLC2'')** :

➤ **Tableau (III.20) : la composition du Sable (SLC2'').**

FRACTION	POURCENTAGE	quartz	Laitier	chaux
0,08-0,16	15%	00	155(10%)	78(5%)
0,16-0,5	20%	311.6	00	00
0,5-1	36%	560.5	00	00
1-1,6	19%	296	00	00
1,6-2,0	10%	155.5	00	00

Partie 3 : Formulations des mortiers

III.3.1. Formulation et fabrication des mortiers :

Mortiers 01 :

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.

Mortiers 02 :

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 : 1454g.
- ✓ Liant : 360 g.
- ✓ Eau : 225 ml.
- ✓ E/C=0.625.
- ✓ S/C=4.03.

Mortiers 03 :

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 : 1558g.
- ✓ Liant : 270 g.
- ✓ Eau : 225 ml.
- ✓ E/C=0.833.
- ✓ S/C=5.77.

III.3.2. Confection et conservation des éprouvettes :

ÉOn prépare un mortier conformément à la norme AFNOR NFR .15 ó 412.

ÉAvec un malaxeur selon norme AFNOR NFR .15 ó 412.

ÉLes moules des éprouvettes prismatiques et accessoires selon la norme AFNOR NFP.15-413.

ÉOn mélange les trois mortiers (sable + ciment +eau) dans le malaxeur normalisé.

ÉOn introduit le mortier dans le moule à éprouvettes prismatiques 4 x 4 x 16.

ÉOn fixe le moule sur la table à chocs pour le tassement (2 x 60 coups) selon la norme AFNOR NFR .15 ó 412.

ÉOn racle sur la surface supérieure l'excès de pâte, ensuite on introduit les moules dans une chambre humide à 20° + 1°C pendant 24 heures.

ÉAprès 24 heures on démoule, et introduit les éprouvettes dans un bain d'eau, Ces éprouvettes confectionnées sont :

- pour 2 jours.
- pour 7 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.



Photo (III.6) : *Mode de conservation des éprouvettes.*

III.3.2. Déterminer des propriétés mécanique :

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 . [37]

La résistance à la flexion est calculée suivant la formule :

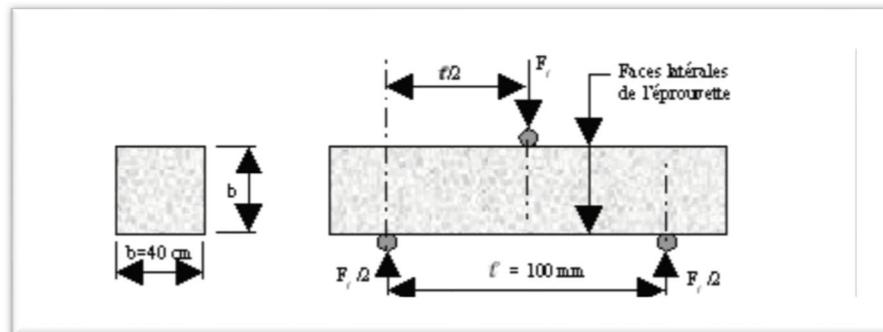
$$R_f = 3PL / 2bh^2 \text{ [KgF/cm}^2\text{]}.$$

P : force appliquée en [**Kgf**].

b : largeur de l'éprouvette.

h : hauteur de l'éprouvette.

L : distance entre les appuis (**cm**).



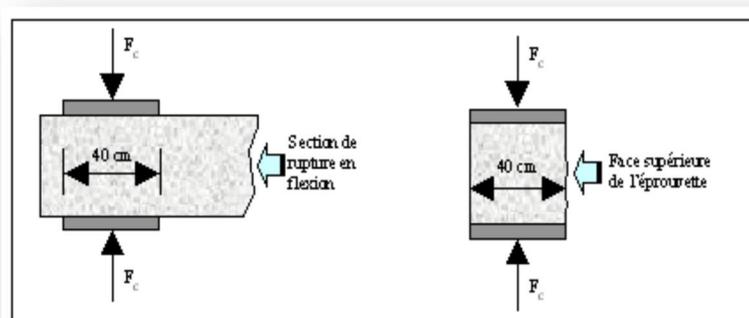
Figure(III.1) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

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

Chaque demi-échantillon 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-échantillon est placée entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'au moins 1cm et que les arrêtes longitudinales d'échantillon 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 à faces d'échantillon.[37] 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'échantillon égale à **16 cm²**.



Figure(III.2) : Dispositif de rupture en compression

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 chaux) suivant les tableaux représentés ci-dessous.

IV.2. Les résultats :

IV.2.1.Mortiers 01 :

IV.2.1.1.Sable préparé (avec C.P.A CEMI 42.5 et E/C=0.5)

IV.2.1.1.1.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 CEMI (mortier01).

Type de Sable	% Des ajouts	Résistance à la compression (MPA)		
		2J	7J	28J
ST 1	/ %	16,53	31,84	40,74
ST 2	/ %	10,44	15,18	29,74
SL 1	5 %	24,54	48,35	64,54
SL 2	10 %	24,83	48,44	67,46
SL 3	15 %	27,64	51,36	72,69
SLC1	5%L+10%C	31,08	45,68	52,61
SLC2	10%L+5%C	26,22	52,86	72,63

ST : sable témoin.

SL : sable à base d'ajout laitier.

SLC : sable à base d'ajout laitier + chaux vive.

IV.2.1.1.2.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 de CEMI (mortier01).

Type de Sable	% Des ajouts	Résistance à la flexion (MPa)		
		2J	7J	28J
ST 1	/	4,72	4,90	5,10
ST 2	/	4,54	5,05	5,23
SL 1	5 %	5,45	4,90	6,40
SL 2	10 %	5,22	5,37	7,10
SL 3	15 %	6,24	5,13	6,70
SLC1	5%L+10%C	6,24	5,09	6,80
SLC2	10%L+5%C	5,73	5,31	7,70

ST : sable témoin.

SL : sable à base d'ajout laitier.

SLC : sable à base d'ajout laitier + chaux vive.

IV.2.1.2.Sable préparé (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.5)

IV.2.1.2.1.Compression : les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .3) :

Tableau (IV.3): La résistance mécanique à la Compression de CEMII (mortier01).

Type de Sable	% Des ajouts	Résistance à la compression (MPa)		
		2J	7J	28J
ST 1	/	12,97	24,59	37,69
ST 2	/	6,79	11,76	19,94
SL 1	5 %	18,55	27,50	39,03
SL 2	10 %	19,80	36,31	45,75
SL 3	15 %	21,21	42,65	54,01
SLC1	5%L+10%C	20,68	33,97	46,41
SLC2	10%L+5%C	25,79	39,36	50,19

ST : sable témoin.

SL : sable à base d'ajout laitier.

SLC : sable à base d'ajout laitier + chaux vive.

IV.2.1.2.2.Flexion : 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 flexion de CEMII (mortier01).

Type de Sable	% Des ajouts	Résistance à la flexion (MPA)		
		2J	7J	28J
ST 1	/	2.82	4.77	5.61
ST 2	/	3,35	4,14	5.12
SL 1	5 %	4,26	5,07	6,60
SL 2	10 %	4,37	5,17	6,60
SL 3	15 %	4,94	5,64	5,70
SLC1	5%L+10%C	5,02	5,45	6,75
SLC2	10%L+5%C	5,28	5,86	5,90

ST : sable témoin.

SL : sable à base d'ajout laitier.

SLC : sable à base d'ajout laitier + chaux vive.

IV.2.2.Mortiers 02 :

IV.2.2.1.Sable préparé (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.625)

IV.2.2.1.1.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 CEMII (mortier02).

Type de Sable	% Des ajouts	Résistance à la compression (MPA)		
		2J	7J	28J
ST 3	/	9.20	12.75	17.32
SL3'	15 %	14,36	26,15	37,17
SLC2'	10%L+5%C	12.95	21.91	34.18

ST : sable témoin.

SL : sable à base d'ajout laitier.

SLC : sable à base d'ajout laitier + chaux vive.

IV.2.2.1.2.Flexion : les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .6) :

Tableau (IV.6) : *La résistance mécanique à la flexion de CEMII (mortier02).*

Type de Sable	% Des ajouts	Résistance à la flexion (MPA)		
		2J	7J	28J
ST 3	/	2,06	2,87	3,32
SL3'	15 %	3,75	5,36	8,25
SLC2'	10%L+5%C	4,26	5,21	6,40

ST : sable témoin.

SL : sable à base d'ajout laitier.

SLC : sable à base d'ajout laitier + chaux vive.

IV.2.3.Mortiers 03 :

IV.2.1.2.Sable préparé (avec C.P.J CEMII 42.5 et E/C=0.833)

IV.2.3.1.1.Compression : les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .7) :

Tableau (IV.7) : *La résistance mécanique à la Compression de CEMII(mortier03).*

Type de Sable	% Des ajouts	Résistance à la compression (MPA)		
		2J	7J	28J
ST 4	/	3,00	4,34	7,22
SL3''	15	7,65	14,25	28,29
SLC2''	10%L+5%C	6.85	12.55	23,15

ST : sable témoin.

SL : sable à base d'ajout laitier.

SLC : sable à base d'ajout laitier + chaux vive.

IV.2.3.1.2.Flexion : les résultats des essais effectués sur les différents types de mortier sont enregistrés dans le tableau (IV .8) :

Tableau (IV.8): *La résistance mécanique à la flexion de CEMII(mortier03).*

Type de Sable	% Des ajouts	Résistance à la flexion (MPa)		
		2J	7J	28J
ST 4	/	1,00	1,19	1,34
SL3"	15 %	2,82	4,62	5,75
SLC2"	10%L+5%C	3,16	4,07	5,27

ST : sable témoin.

SL : sable à base d'ajout laitier.

SLC : sable à base d'ajout laitier + chaux vive.

Chapitre V :
interprétations
Des résultats.

Interprétation des résultats

Introduction :

Le chapitre suivant est consacré à l'interprétation des résultats obtenus, qui sont basés sur l'influence de chaque type de sable sur les caractéristiques étudiées (les caractéristiques mécanique des mortiers).

V.1. Analyse et commentaire des résultats à la compression :

V.1.1. Mortier 01 (avec CPA CEMI 42.5 et E/C=0.5)

- L'histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier) aux différents âges : 2 et 28 jours.

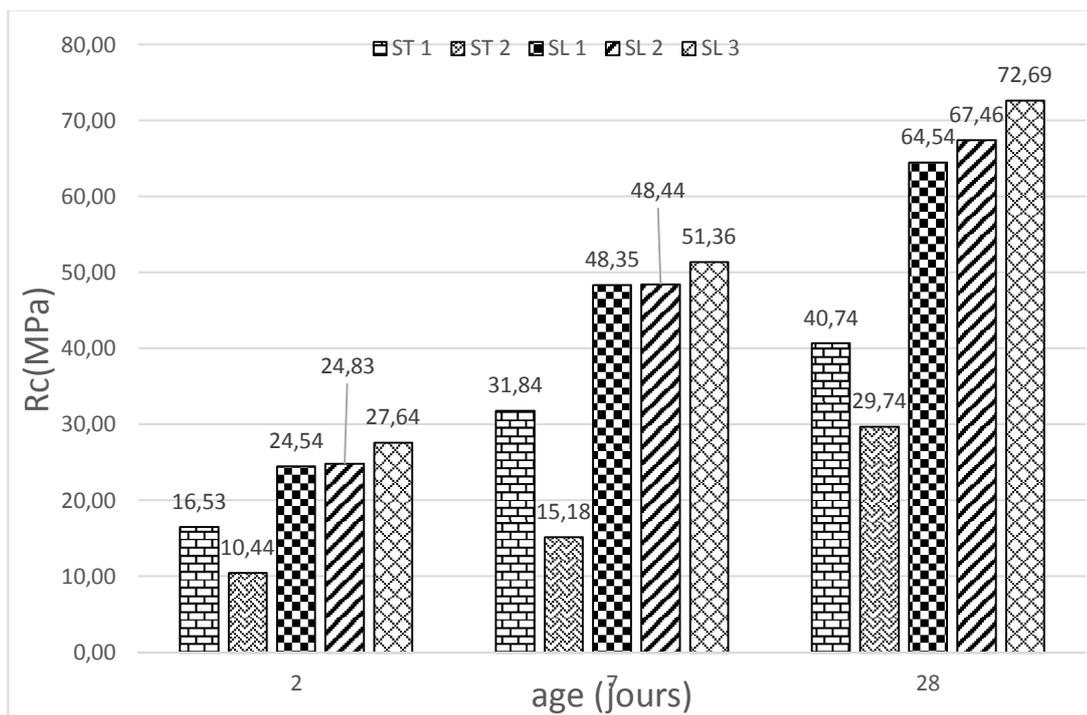


Figure (V .1) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMI.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SL : sable à base de ajout laitier (SL1 :5%, SL2 :10% et SL3 :15%).

Interprétation :

Le 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 et laitier avec des pourcentages différents (5%, 10% et 15%) par rapport au sable témoin (ST1 et ST2). D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que la résistance à la compression (R_{c2j} , R_{c7j} , R_{c28j}) croît progressivement à chaque fois que le pourcentage de laitier est élevé dans le sable par substitution du quartz, ce qui met en évidence l'influence du laitier sur la résistance du mortier. Ce développement de la résistance grâce à la réaction pouzzolanique : $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2 = \text{CaO-H}_2\text{O-SiO}_2$ (C-H-S)

C-H-S : silicate de calcium hydraté

- Le histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier-chaux) aux différents âges : 2, 7 et 28 jours.

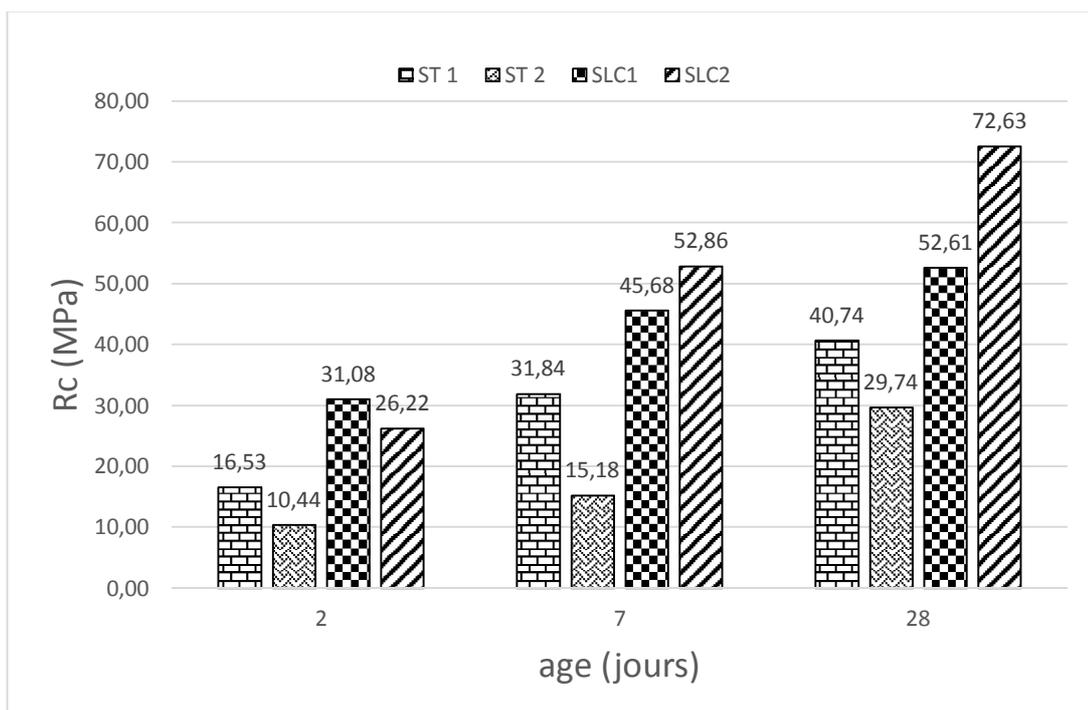


Figure (V.2) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEM I.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SLC : sable à base de ajout laitier avec chaux vive (SLC1 : 5%L10%C et SLC2 : 10%C5%L).

Interprétation :

L'histogramme V.2 présente l'évolution de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier-chaux avec des pourcentages différents (5%L10%C et 10%C5%L) par rapport au sable témoin (ST1 et ST2). D'après les résultats présentés par l'histogramme, on remarque clairement que la résistance à la compression (R_{c2j} , R_{c7j} , R_{c28j}) croît avec les deux pourcentages : 5%L10%C et 10%C5%L notant que le deuxième pourcentage offre une meilleure résistance. Ce développement de la résistance grâce à la réaction de hydratation de chaux $\text{CaO} : \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ (portlandite)

- L'histogramme ci-dessus présente le gain de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier-chaux) par rapport au sable témoin 2 au âge : 02 jours.

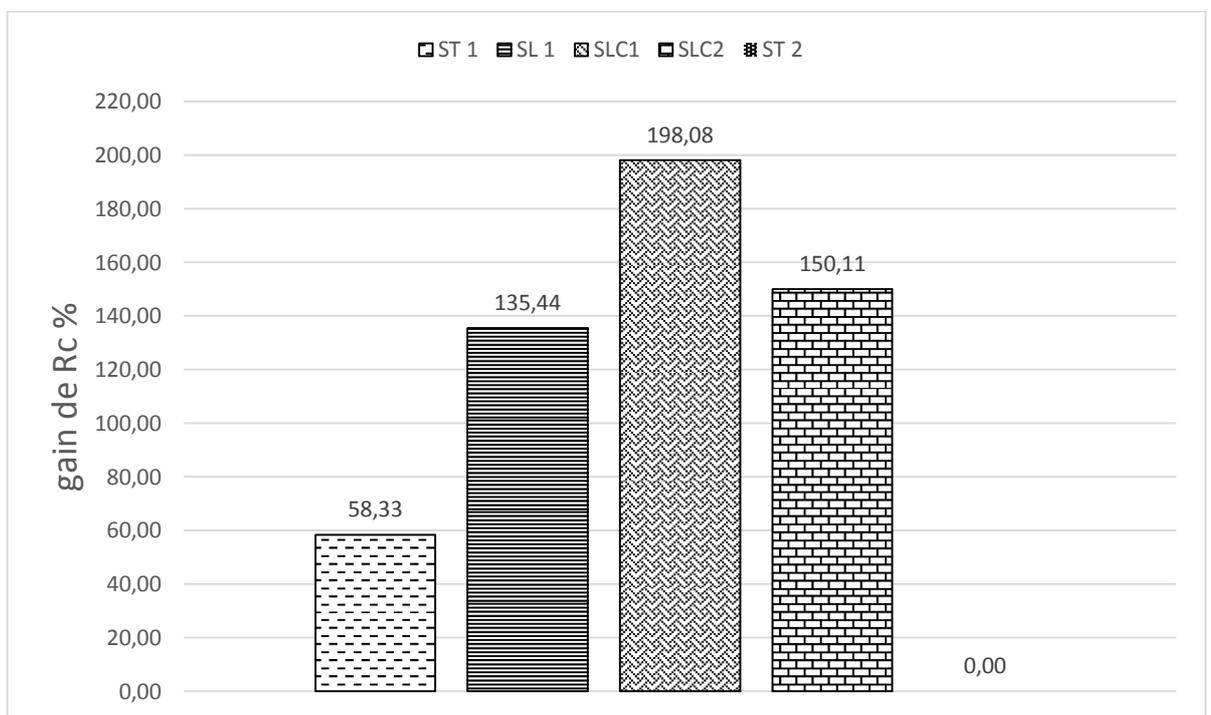


Figure (V .3) : gain de résistance à la compression en fonction des types de sable à 2 jours avec CEMI.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL1 :5%)

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux vive (SLC1 :5%L10%C et SLC2 :10%C5%L).

Interprétation :

Observons les réponses mécanique a la compression a très court terme (02 jours) on remarque que le sable (10% chaux+5%laitier) qui contient de la chaux présente une réponse plus importante 198.08% par rapport le sable témoin(100% quartz), cette évolution très rapide est due principalement à la chaleur dégager juste après le contact eau/chaux, cette température élevée aide les différents minéraux de clinker à maintenir le processus d'hydratation avec une vitesse plus ou moins rapide ce qui est traduit par la suite sous forme de résistance mécanique.

- L'histogramme ci-dessus présenté gain de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier-chaux) par rapport le sable témoin 2 au âge : 28jours.

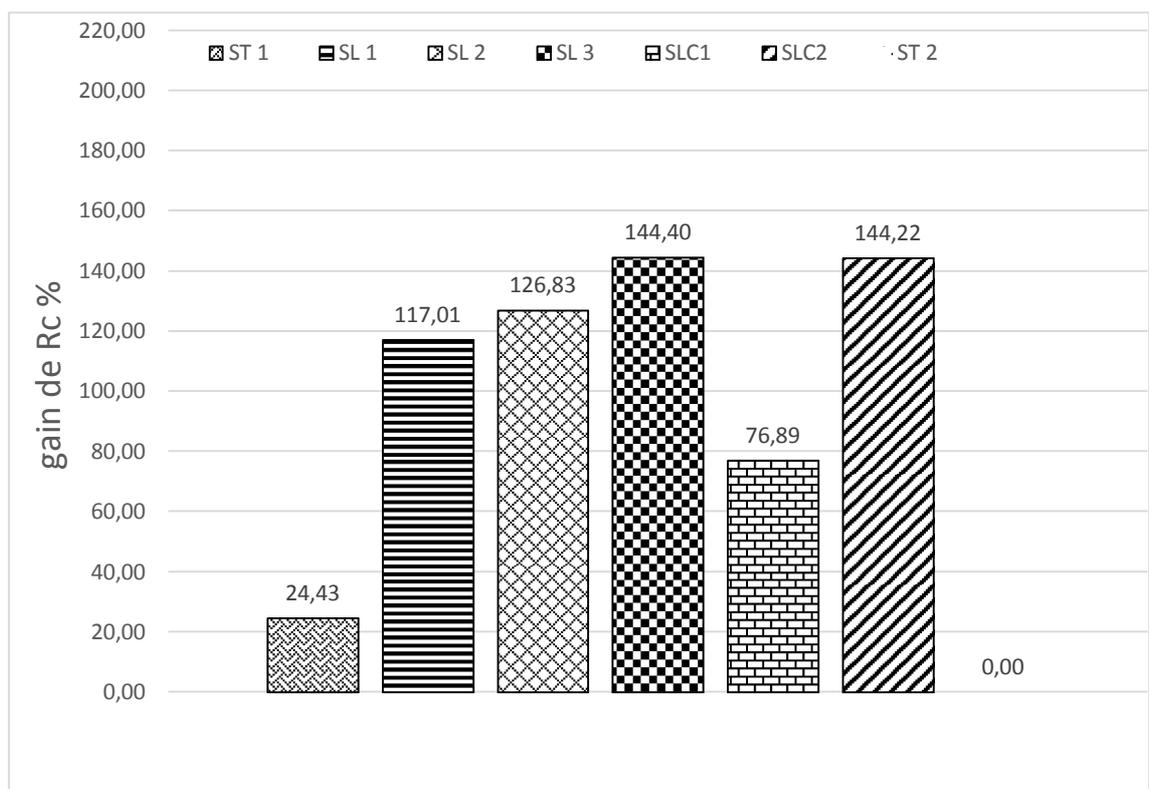


Figure (V.4) : gain de résistance à la compression en fonction des types de sable à 28 jours avec CEMI.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL1 :5%, SL2 :10% et SL3 :15%).

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux vive (SLC1 :5%L10%C et SLC2 :10%C5%L).

Interprétation :

Le histogramme V.4 présente le gain de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier ou de ciment avec des pourcentages différents (5%L, 10%L et 15%L) et (5%L, 10%C, 10%L) par rapport au sable témoin 2 (100% quartz). D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que nous avons eu un gain très important qui est atteint à 144 % pour les meilleurs sables à base de (15 % laitier, 10% laitier + 05% ciment) à 28 jours.

V.1.2. Mortier 01 (avec CPJ CEMI 32.5 et E/C=0.5)

- Le histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier) aux différents âges : 2, 7 et 28 jours.

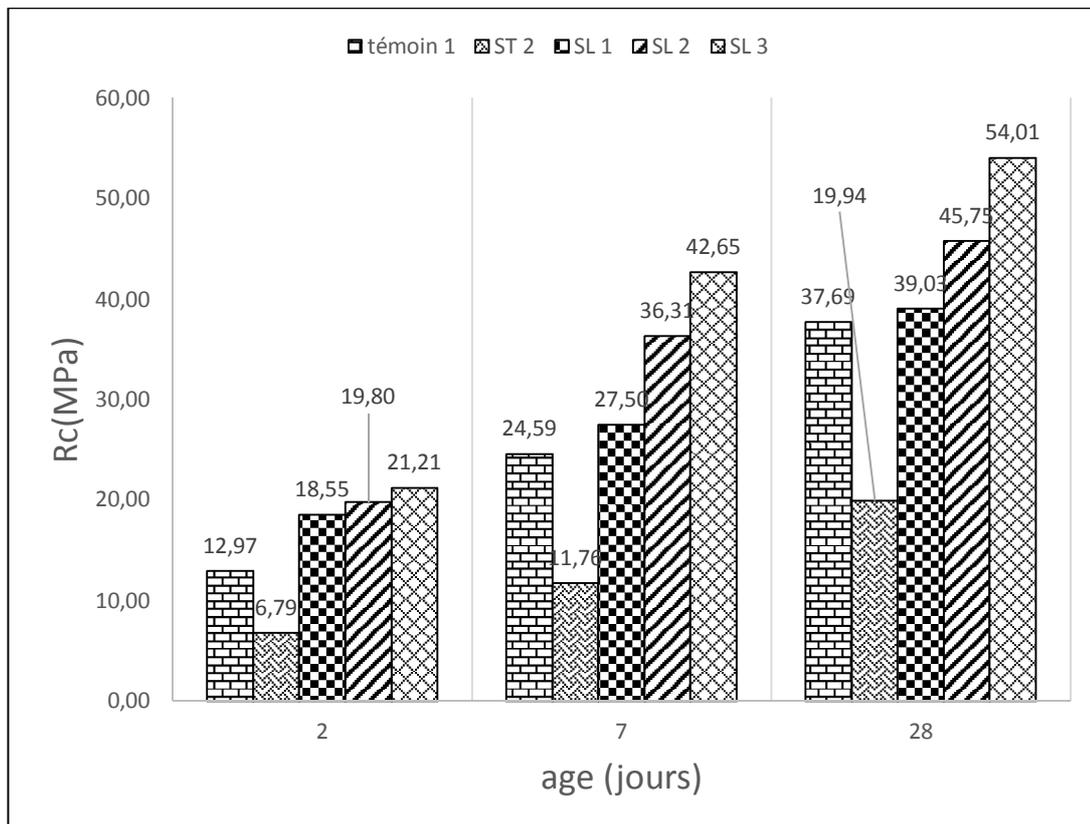


Figure (V.5) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SL : sable à base de ajout laitier (SL1 : 5%, SL2 : 10% et SL3 : 15%).

Interprétation :

Le histogramme V.5 présente l'évolution de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier avec des pourcentages différents (5%, 10% et 15%) par rapport au sable témoin (ST1 et ST2). D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que la résistance à la compression (R_{c2j} , R_{c7j} , R_{c28j}) croît progressivement à chaque fois que le pourcentage de laitier est élevé dans le sable par substitution du quartz, ce qui met en évidence l'influence du laitier sur la résistance du mortier. Ce développement de la résistance grâce à la réaction pouzzolanique : $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2 = \text{CaO-H}_2\text{O-SiO}_2$ (C-H-S)

- C-H-S : silicate de calcium hydraté.

- Le histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier-chaux) aux différents âges : 2, 7 et 28 jours.

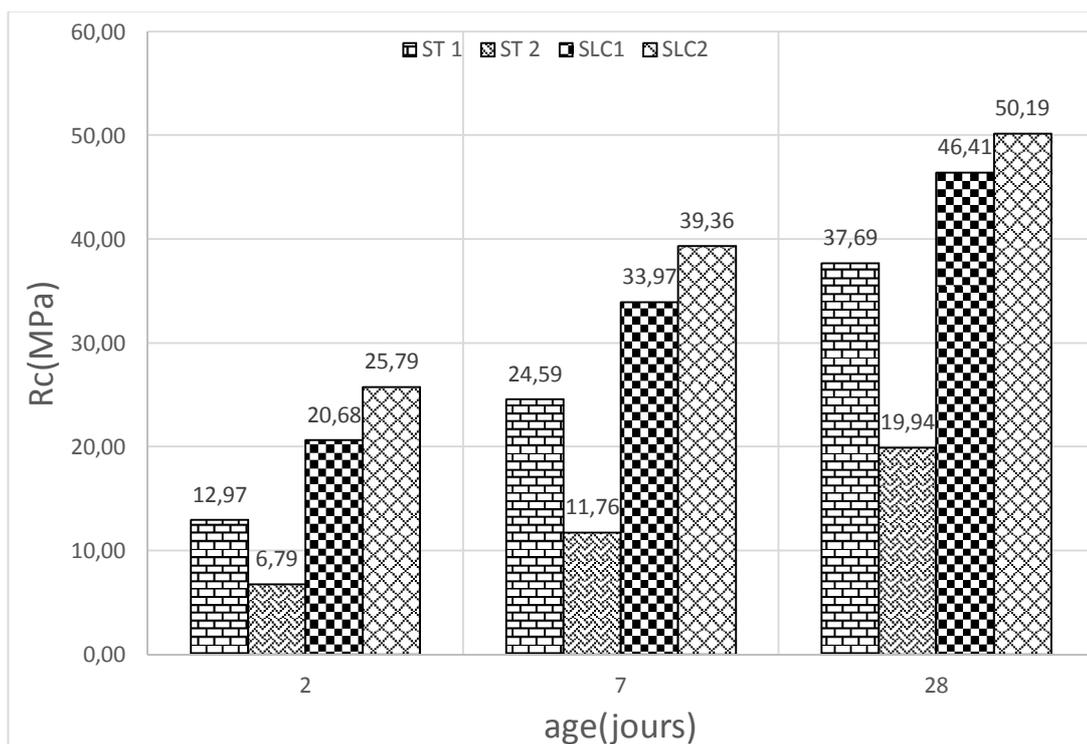


Figure (V .6) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SLC : sable à base de ajout laitier avec chaux vive (SLC1 : 5%L10%C et SLC2 : 10%C5%L).

Interprétation :

L'histogramme V.6 présente l'évolution de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier-chaux avec des pourcentages différents (5%L10%C et 10%C5%L) par rapport au sable témoin (ST1 et ST2). D'après les résultats présentés par l'histogramme, on remarque clairement que la résistance à la compression (R_{c2j} , R_{c7j} , R_{c28j}) croît avec les deux pourcentages : 5%L10%C et 10%C5%L notant que le deuxième pourcentage offre une meilleure résistance. Ce développement de la résistance grâce à la réaction de hydratation de chaux $\text{CaO} : \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ (portlandite)

- L'histogramme ci-dessus présente le gain de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier-chaux) par rapport le sable témoin 2 au âge : 28 jours.

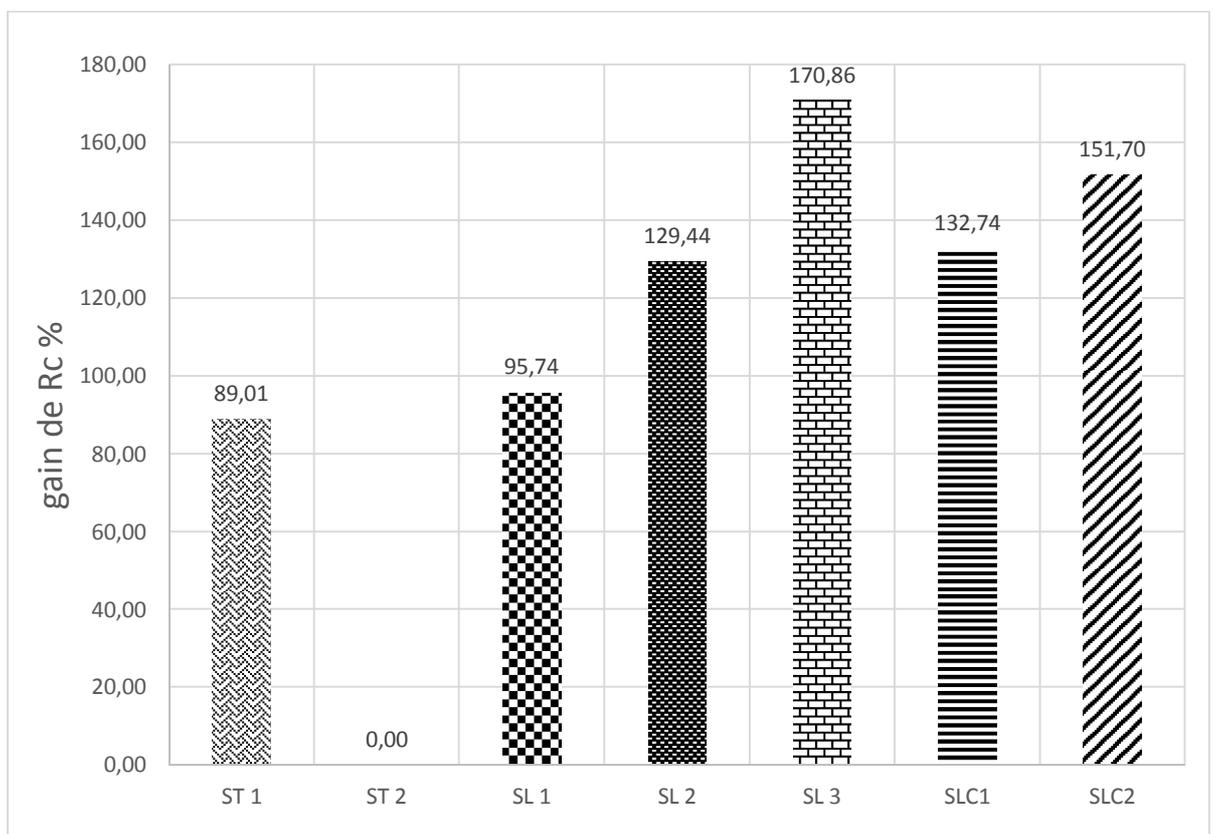


Figure (V.7) : gain de résistance à la compression en fonction des types de sable à 28 jours avec CEMII.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL1 :5%, SL2 :10% et SL3 :15%).

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux vive (SLC1 :5%L10%C et SLC2 :10%C5%L).

Interprétation :

Le histogramme V.7 présentent le gain de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier ou chaux avec des pourcentages différents (5%L,10%L et 15%L) et (5%L10%C,10%C5%L) par rapport le sable témoin 2 (100% quartz). D'après les résultats obtenus, on remarque clairement que nous avons eu un gain très important qui est atteint les 151.7 % et 170.86 % pour le meilleur sable a base de 10% laitier + 05% chaux et 15 % laitier à 28 jours.

V.1.3. Mortier 02 (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.625) :

- Le histogramme ci-dessus présent l'évolution de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier et chaux) aux différents âges : 2, 7 et 28 jours.

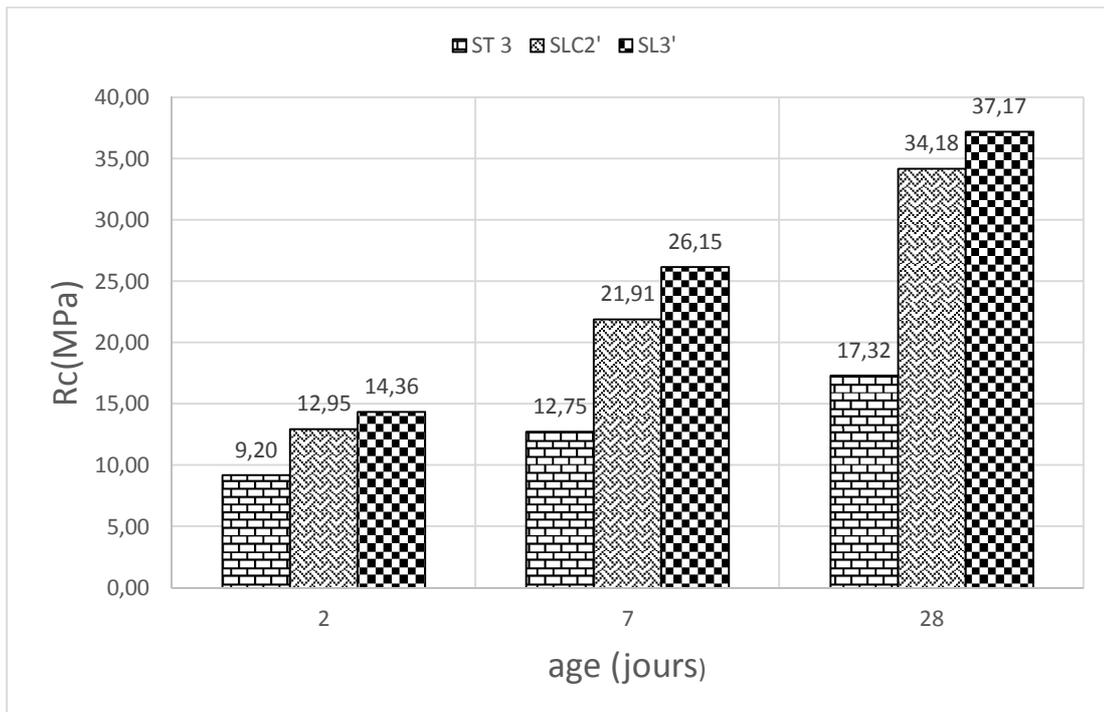


Figure (V .8) : la variation de la résistance à la compression en des types de sable au cours du temps avec CEMII (-20%).

ST : sable témoin (st3 : 100% quartz).

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux vive (SLC2' :10%C5%L).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL3' :15%L).

Interprétation :

L'histogramme V.8 présente l'évolution de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier-chaux avec des pourcentages : 15%L et 05%C10%L. D'après les résultats présentés par l'histogramme, on remarque clairement un apport de résistance des sables préparés par rapport au sable témoin (ST3), ou l'augmentation est de l'ordre de 114.26% et 97.34%, ainsi pour le sable préparé à base de 15 % laitier et 10% laitier+5% chaux avec une diminution de 20% de la quantité de ciment normalisée (450 g) qui a assuré à 28 jours une résistance plus grande que la résistance minimale garantie pour un ciment de classe 32,51 (37.17 et 34.18 MPA).

V.1.4. Mortier 03 (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.833) :

- L'histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier et chaux) aux différents âges : 2, 7 et 28 jours.

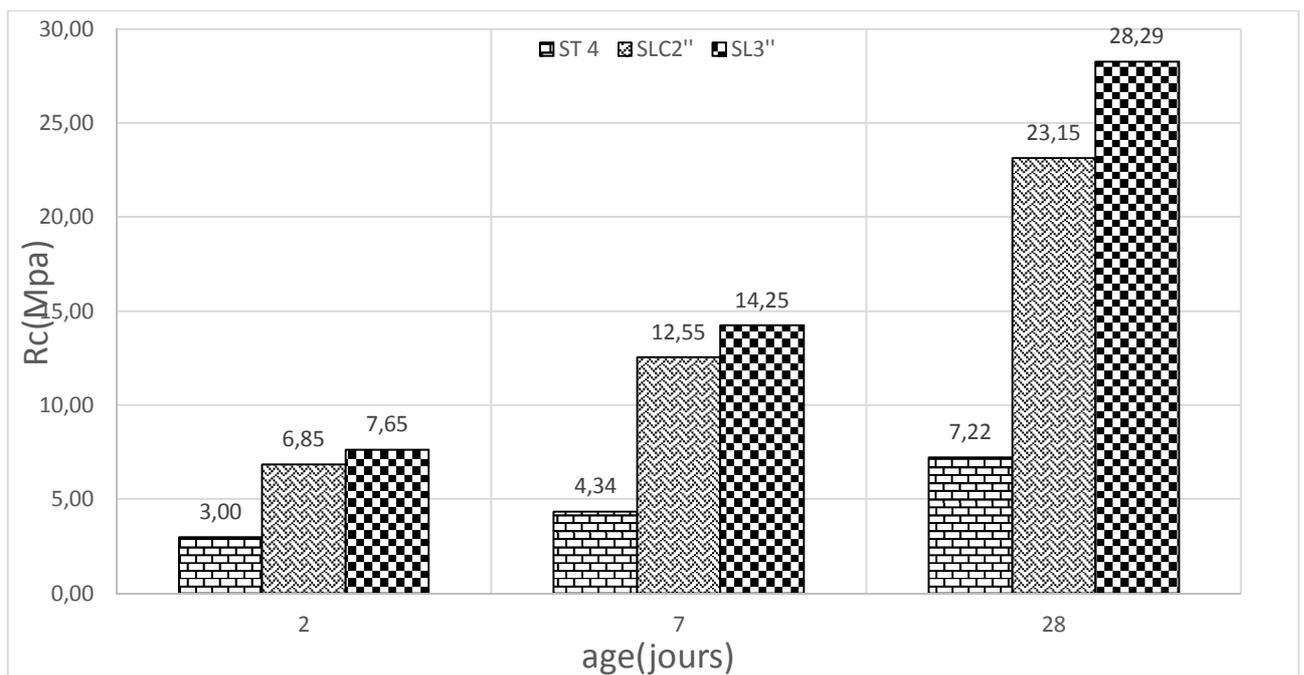


Figure (V.9) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII (-40%).

ST : sable témoin (st4 : 100 % quartz).

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux vive (SLC2'' : 10%C5%L).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL3'' : 15%L).

Interprétation :

L'histogramme V.9 présente l'évolution de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier-chaux avec des pourcentages : 15%L et 05%C10%L. D'après les résultats présentés par l'histogramme, on remarque clairement un apport de résistance des sables préparés par rapport au sable témoin (ST4), ou l'augmentation est de l'ordre de 292% et 220%, ainsi pour le sable préparé à base de 15 % laitier et 10% laitier+5%chaux avec une diminution de 40% de la quantité de ciment normalisée (450 g) qui a assuré à 28 jours une résistance plus grande que la résistance minimale garantie pour un ciment de classe 32,5_I (29.28 et 23.15 MPA).

V.2. Analyse et commentaire des résultats à la flexion :**V.2.1. Mortier 01 (avec CPA CEMI 42.5 et E/C=0.5) :**

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

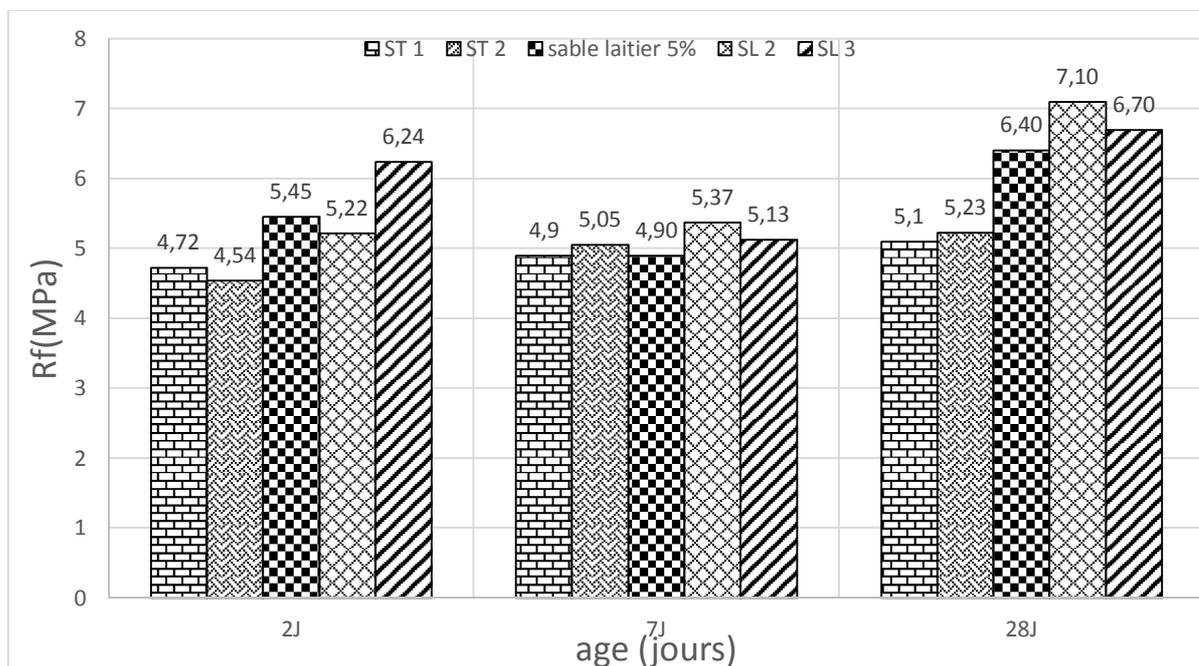


Figure (V .10) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMI.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL1 :5%, SL2 :10% et SL3 :15%).

Interprétation :

Le histogramme V.10 présente l'évolution de la résistance à la flexion d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier avec des pourcentages différents (5%, 10% et 15%). D'après les résultats obtenus, on remarque que l'évolution de la résistance (R_{f2j} , R_{f7j} , R_{f28j}) n'a pas d'allure stable avec une variation légère et insignifiante de 0,1 MPA en diminution ou en augmentation d'un mélange à un autre d'où on peut aligner la résistance des différents mélanges dans un même ordre.

- Le histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la flexion des mortiers avec un sable (quartz, laitier-chaux) aux différents âges : 2, 7 et 28 jours.

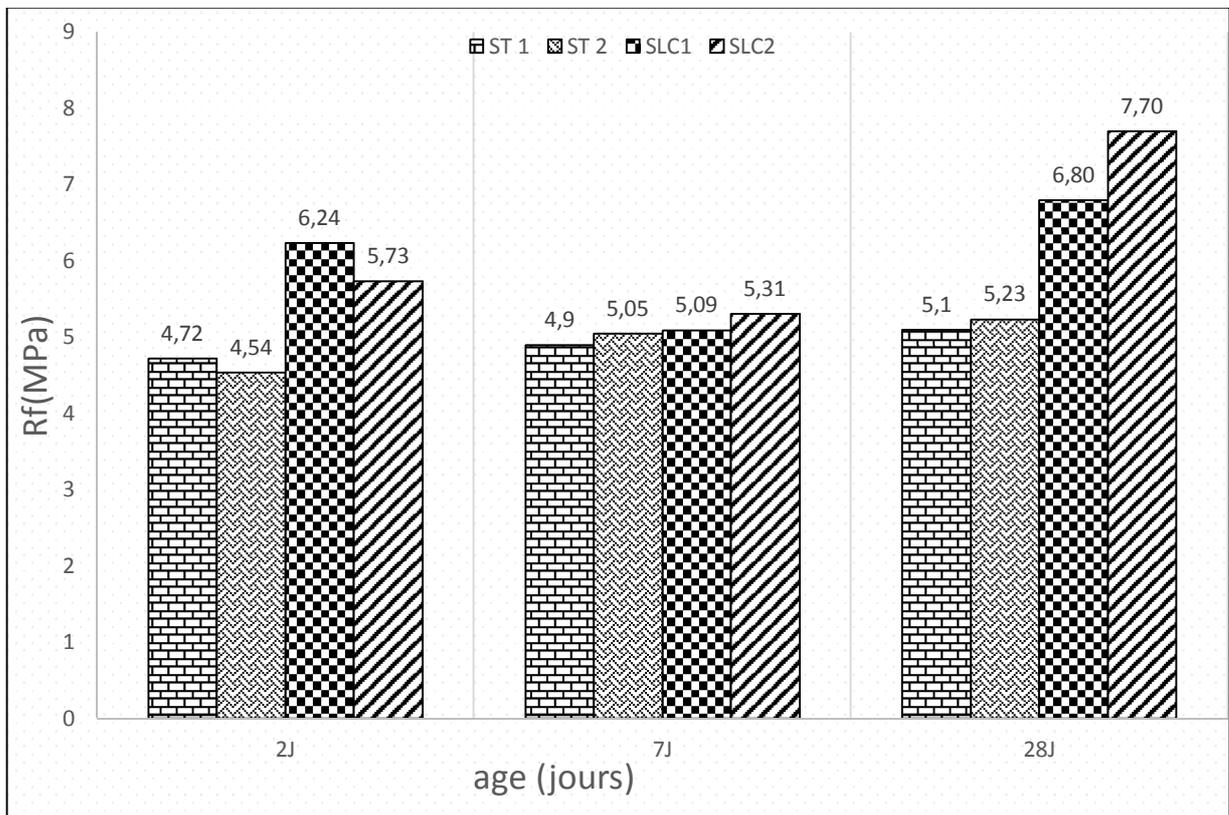


Figure (V.11) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMI.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux (SLC1 : 5%L10%C et SLC2 : 10%C5%L).

Interprétation :

Le histogramme V.11 présente l'évolution de la résistance à la flexion d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier-chaux avec des pourcentages différents (5%L10%C et 10%C5%L). D'après les résultats présentés par l'histogramme, on remarque que l'évolution de la résistance (R_{f2j} , R_{f7j}) n'a pas d'allure stable avec une variation légère et insignifiante de 01 MPA en diminution ou en augmentation d'un mélange à un autre d'où on peut aligner la résistance des différents mélanges dans un même ordre, contrairement à l'évolution de la résistance (R_{f28j}) qui montre un ordre relativement croissant en des deux pourcentages (5%L10%C et 10%C5%L).

V.2.2. Mortier 01 (avec CPJ CEMI 32.5 et E/C=0.5)

- L'histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la flexion des mortiers avec un sable (quartz, laitier) aux différents âges : 26 et 28 jours.

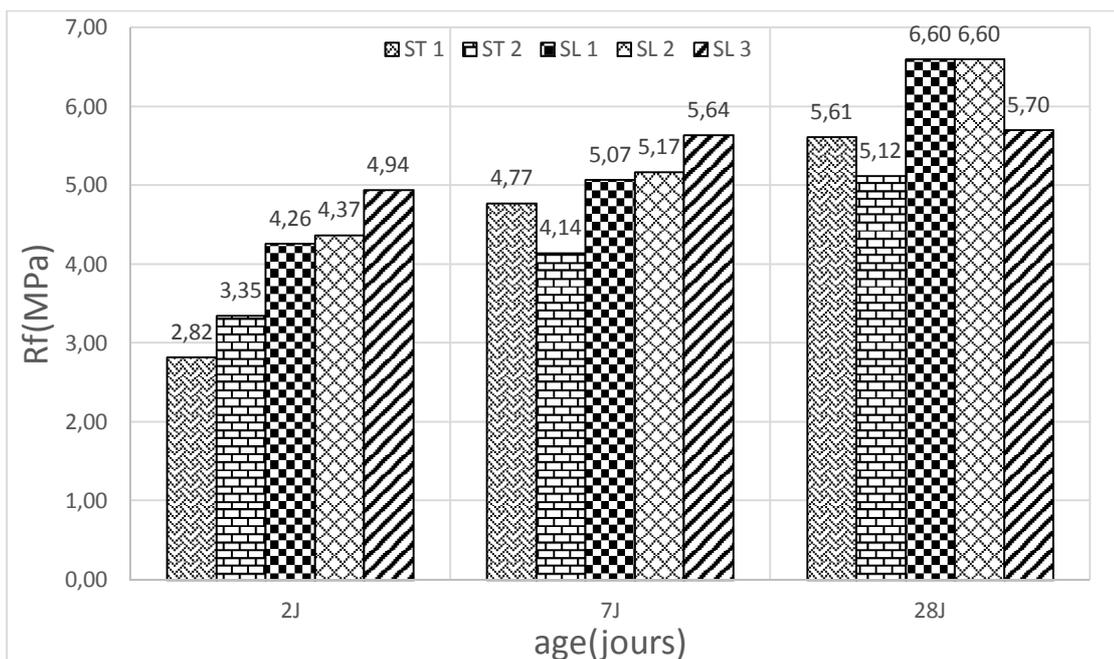


Figure (V .12) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 :100% quartz).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL1 :5%, SL2 :10% et SL3 :15%).

Interprétation :

Le histogramme V.12 présentent l'évolution des résistances à la flexion d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier avec des pourcentages différents (5%,10% et 15%). D'après les résultats obtenus, on remarque que l'évolution de la résistance (R_f 28j) n'a pas d'allure stable avec une variation légère et insignifiante de 01 MPA en diminution ou en augmentation d'un mélange a un autre d'où on peut aligner la résistance des différents mélanges dans un même ordre . contrairement à l'évolution de la résistance (R_f 2j R_f 7j,) qui montre un ordre relativement croissant en fonction de l'augmentation du taux de remplacement du quartz par le laitier.

- Le histogramme ci-dessus présenté l'évolution de la résistance à la flexion des mortiers avec un sable (quartz, laitier-chaux) aux différents âges : 2,7 et 28 jours.

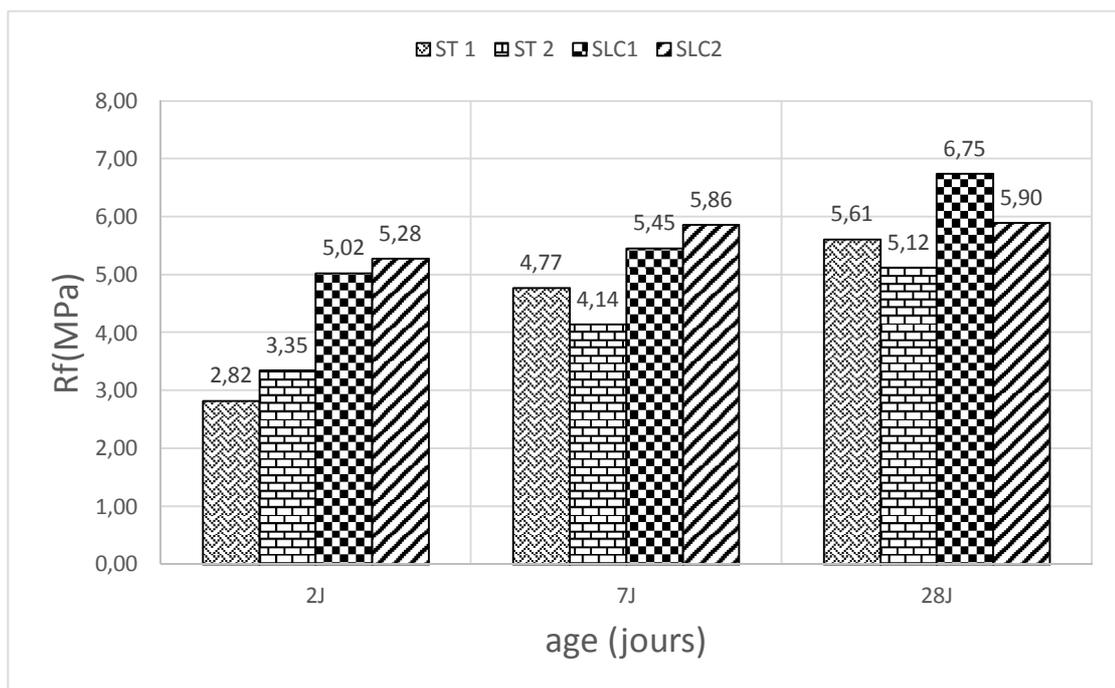


Figure (V .13) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.

ST : sable témoin (st1 : sable normalisé et st2 : 100% quartz).

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux vive (SLC1 :5%L10%C et SLC2 :10%C5%L).

Interprétation :

Le histogramme V.13 présente l'évolution de la résistance à la flexion d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier-chaux avec des pourcentages différents (5%L10%C et 10%C5%L). D'après les résultats présentés par l'histogramme, on remarque que l'évolution de la résistance (R_{f2j} , R_{f7j} , R_{f28j}) n'est pas d'allure stable avec une variation légère et insignifiante de 01 MPA en diminution ou en augmentation d'un mélange à un autre d'où on peut aligner la résistance des différents mélanges dans un même ordre.

V.2.3. Mortier 02 (avec CPJ CEMII 32.5 et E/C=0.625)

- L'histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la flexion des mortiers avec un sable (quartz, laitier et chaux) aux différents âges : 2, 7 et 28 jours.

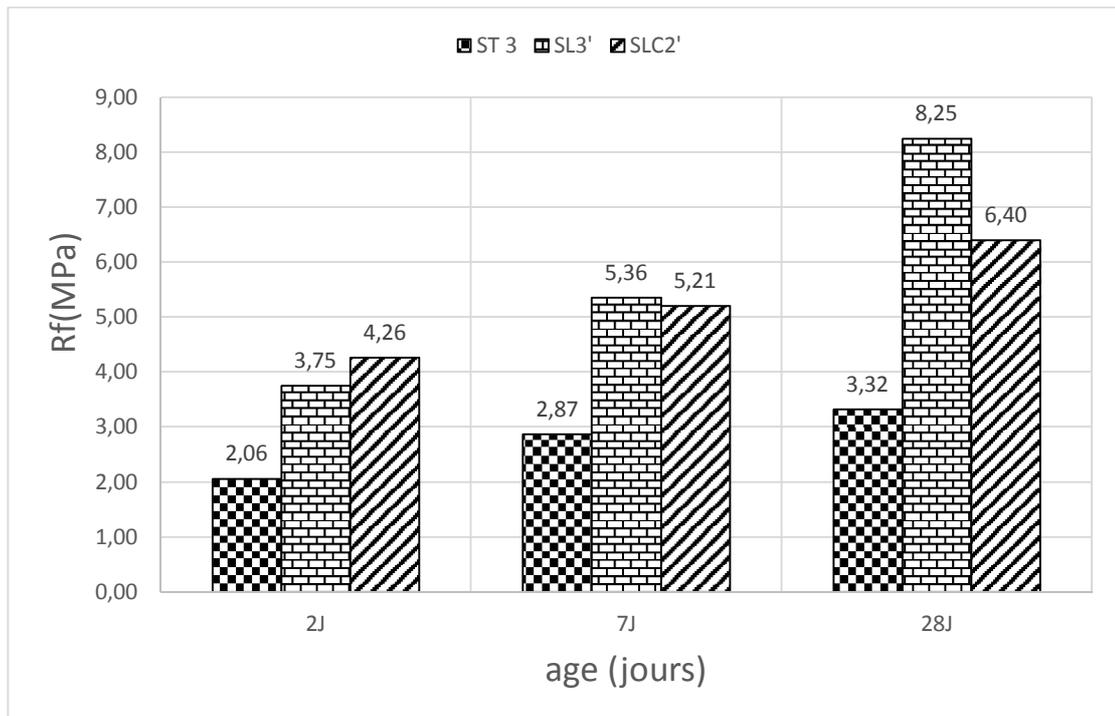


Figure (V.14) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII (-20%).

ST : sable témoin (st3 : 100% quartz).

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux vive (SLC2' : 10%C5%L).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL3' : 15%L).

Interprétation :

L'histogramme V.14 présente l'évolution de la résistance à la flexion d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier-chaux avec des pourcentages : 15%L et 05%C10%L préparé par rapport au sable témoin (ST3). D'après les résultats présentés par l'histogramme, on remarque avec une diminution de 20% de la quantité de ciment normalisée (450 g) que l'évolution de la résistance à la flexion (R_{f2j} , R_{f7j} , R_{f28j}) n'est pas d'allure stable avec une variation légère et insignifiante de 01 MPA en diminution ou en augmentation d'un mélange à un autre d'où on peut aligner la résistance des différents mélanges dans un même ordre. Sauf à l'évolution de la résistance à la flexion R_{f28j} de sable 15%L qui donne une meilleure résistance 8.25 MPA.

V.2.4. Mortier 03 (avec C.P.J CEMII 32.5 et E/C=0.833) :

- L'histogramme ci-dessus présente l'évolution de la résistance à la compression des mortiers avec un sable (quartz, laitier et chaux) aux différents âges : 267 et 28 jours.

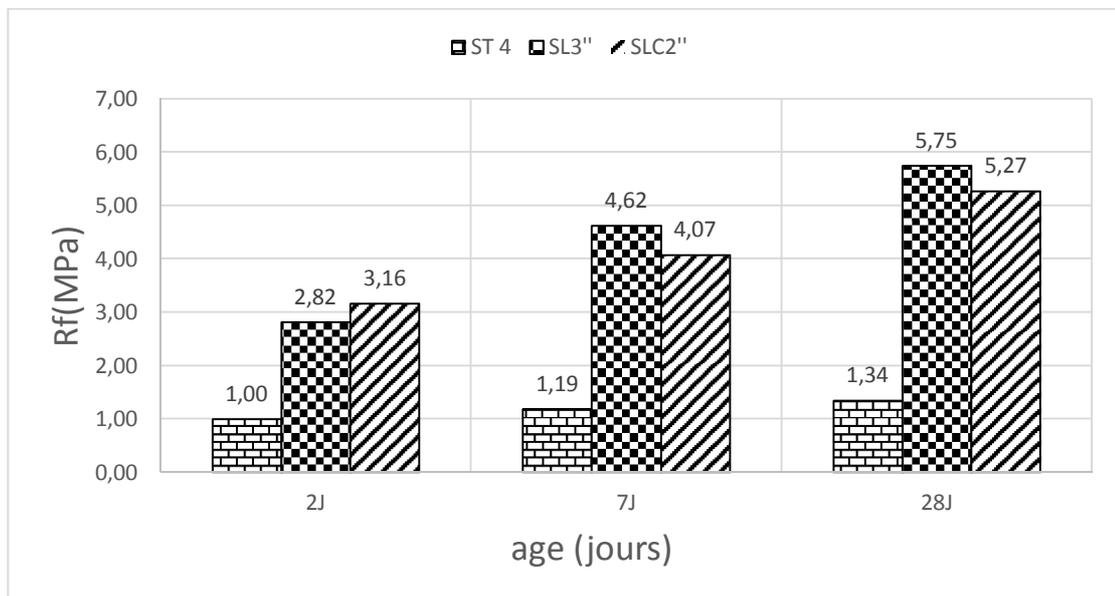


Figure (V .15) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII. (-40%).

ST : sable témoin (st4 : 100% quartz).

SLC : sable à base d'ajout laitier avec chaux vive (SLC2'' : 10%C5%L).

SL : sable à base d'ajout laitier (SL3'' : 15%L).

Interprétation :

L'histogramme V.15 présente l'évolution de la résistance à la flexion d'un mortier formulé avec un sable composé d'un mélange de quartz et laitier-chaux avec des pourcentages : 15%L et 05%C10%L préparé par rapport au sable témoin (ST4). D'après les résultats présentés par l'histogramme, on remarque avec une diminution de 20% de la quantité de ciment normalisée (450g) que l'évolution de la résistance (R_{f2j} , R_{f7j} , R_{f28j}) n'est pas d'allure stable avec une variation légère et insignifiante de 01 MPA en diminution ou en augmentation d'un mélange à un autre d'où on peut aligner la résistance des différents mélanges dans un même ordre .

Chapitre VI :
Conclusion
Générale

Conclusion générale

D'après les résultats de cette investigation expérimentale qui vise d'étudier l'influence d'un sable préparé sur le comportement mécanique d'un mortier à base d'un ciment portland, les conclusions suivantes pourront être tirées :

- L'augmentation de taux substitution des ajouts minéraux dans les sables préparé provoque une augmentation considérable de la résistance mécanique des mortiers.
- la chaux vive joue le rôle d'un accélérateur de prise grâce à la chaleur qu'elle dégage juste après le contact avec l'eau.
- A court terme les mixtes qui contiennent plus de chaux vive assure une augmentation importante par rapport aux autres mélanges, c'est grâce à la température dégager lors du premier contact eau /chaux vive qui influe positivement sur la vitesse d'hydratation et par la suite sur les délais de prises qui n'ont pas été étudié durant notre travail.
- A moyen terme les réponses mécanique des mixtes préparé ont eu une augmentation au cours du temps, cette augmentation est différents d'un mixte a un autre, pour 15 % d'ajout laitier nous avons une amélioration de **144.4% et 170.86%** de résistance à la compression pour les deux types de ciment utilisée CEM I et CEM II respectivement par rapport au mortier témoin², de même le mélange qui contient 10% laitier et 05% chaux a eu la même tendance de croisement de la réponse mécanique au cours du temps cet résultat est comparable à celle du pourcentage recommandé pour la laitier (15%) ou nous avons une amélioration de **144.2% et 151.70%** de résistance à la compression pour les deux types de ciment utilisée CEM I et CEM II respectivement par rapport au mortier témoin², donc le laitier à forte teneur seul ou avec la chaux vive s'avère le plus influent,
- Le sable préparé à base de 15 % laitier et le mixte 10% laitier +05% chaux vive avec la diminution de 20% de la quantité de ciment normalisée (450 g) CEMII 32.5 (35% ajout calcaire) ont dépassé à 28 jours 34.00 Mpa qui est plus grande que la résistance minimale garantie pour un ciment de classe 32.5, ce résultat nous permettre de conclure que l'introduction d'une quantité de laitier seul ou avec une quantité qui ne dépasse pas 05% de chaux vive au sein de la squelette granulométrique d'un sable quartzéux peut nous offrir une économie de 20% en matières de ciment, et avec un ciment CEM I 42.5 on peut avoir un gain plus important.

Recommandation pour des travaux de future

- Refaire cette étude avec des pourcentages supérieurs à 15% d'ajouts
- Etudier la durabilité des mortiers et de bétons à base de sable réparé.
- Etudier le comportement d'un mortier à base d'un sable préparé à long terme

Bibliographie :

- [01]. A.ADJTOUTAH-PDG du CETIM, Info cetim , Utilisation de la chaux pour les sols et les bétons bitumineux ,thème extrait de la communication présentée par M. ADJTOUTAH à l'occasion des ateliers de l'USTHB, , octobre 2005.
- [02]. ASSOCIATION FRANÇAISE DE LA CONNAISSANCE ET DE L'APPLICATION DES NORMES, Actualité technologique et scientifique, Les ciments, disponible sur site web <http://www.techno-science.net/> (Consulte le 12/04/2006).
- [03]. A.LAFUMA, chimie appliquée aux matériaux de construction, Masson et Cie Editeurs, pp 18,22,34
- [04]. ADAMM-NEVILLE, Propriétés des bétons ,Edition Eyrolles 2000, pp 7,9,10.
- [05]. ASHBY M.F, JONES D.R.H, « Matériaux.2 », Dunod, édition 1991.
- [06]. ARYA C, Buenfeld N.R and Newman J.B, « Factors influencing chloride-binding .
- [07]. AMOURI Chahinez « Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts
Sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité) », thèse doctorat, université de Constantine, 2009.
- [08]. BAI J, CHAIPANICH KINUTHIA J. M, O'FARRELL M, SABIR B.B, WILD S.LEWIS M.A, (2003), «Compressive strength and hydration of waste paper sludge ash ground granulated blast furnace slag blended paste », Ciment and Concrete Research 33, PP.1189-1202.
- [09]. BELAGRAA. L: cours matériaux de construction, à l'Université El Bachir Ibrahim, 3ème Année, département de génie civil, 2011.
- [10]. BIDJOCKA C, TUSSET J, MESSI A, PERRA J, (1993), « Etude et évaluation de l'activité pouzzolanique des pouzzolanes de Djoungo (Cameroun) », Ann. Fac. Sc. HSI, Chimie et Sciences de la Terre, PP. 133-145.
- [11]. Bouguellada M.S : Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier ; thèse de master, université de M'sila, année 2007.
-
-

-
- [12]. BOYNTON, ROBERT S. Chemistry and Technology of Lime and Limestone. Second Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1980.
- [13]. COURS EN LIGNE, Matériaux de construction, Les ciments, Chapitre 2, Disponible sur site web <<http://www.coursenligne.refer.org/>>, (Consulte le 06/09/2006)
- [14]. DAMIEN DEMAILLY, LES enjeux du développement durable au sein de l'Industrie du Ciment réduction des émissions de CO₂, Rapport Final Octobre 2005 - Février 2006.
- [15]. Dr.GHOMARI.FOUAD, Science des matériaux de construction, Université Aboubaker Belkaid, Faculté des Sciences département génie civil, (2006)
- [16]. Dr Hadj Sadok, A.
- [17]. DJEKRI.F.D, BENCHIKH.A « ETUDE DE COMPORTEMENT PHYSIQUE ET MECANIQUE DU MORTIER ET BETON A BASE DES CIMENTS TERNAIRES » PEF master- université bordj Bou Arreridj, 25-06-2013.
- [18]. ELKEM MICROSILICA FOR SUPERIOR CONCRETE, «How to improve Strength
- [19]. F.ROUESSAC & A.ROUESSAC, « analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales modernes », 4^{ème} Edition, Dunod, Paris, 1998
- [20]. F. GABRYSIAK ó Matériaux ó Les bétons ó Chapitre 4.
- [21]. H. Weigler, S. Karl ò Béton: arten -herstellung -eigenschaf-tenö Verlag Ernest and Sohn, Berlin, pp 383-404 ó 1989.
- [22]. GEORGE DREUX, JEANFESTA ,nouveau guide du beton et de ses constituants, Eddition eyrolles 1998 ,pp,8 :20.
- [23]. GROUPE CIMENTS LUXEMBOURGEOIS, Séminaire ó BETON 2001: Journée d'information technique 23 novembre 2001 *Carlo KIRPACH*
- [24]. K. Krenkler ò Chemie des bauwesens ö tome I:anorganische chemie, springer- Verlag, Berlin, pp : 346-380 -1980
- [25]. læmploi d'ajouts cimentaires dans les revêtements de chaussée en béton exposés aux cycles de gel-dégel et aux produits chimiques de déglçage * CEMENT ASSOCIATION OF CANADA * Par Norman F. MacLeod, Mars 2005 page 10-12
-

-
- [26]. MILLER E. W, « Blended cements - Applications and implications », Cément and Concrete Composites, Vol. 15, No. 4, PP. 237-245, 1993.
- [27]. N.MAAFI, A.ZEMMIT : « Etude de l'effet du type d'agrégats sur le comportement mécanique du béton » Thèse de master, 2013, université Elbahir El Ibrahimy de Bordj Bou Arreridj, Algérie.
- [28]. PIERRE CHAUFOUR, La Chaux (histoire-fabrication propriétés), disponible sur site web <la-chaux.net > (consulte le 30/11/2004)
- [29]. Pierre Chaufour, Les utilisations de la chaux, disponible sur site web <http://members.aol.com/pierrotbj/private/utilisations.pdf> (Consulte le 11/06/2006)
- [30]. REALISATION ASSOCIATION GEOLOGIQUE D'ALES ET DE SA REGION (AGAR), Utilisation du calcaire,
- [31]. Rev. Future. sciences ,matériaux de construction, disponible sur site <http://www.futura-ciencs.com/fr/comprendre/glossaire/definition/t/terre> (Consulte le 06/09/2006)
- [32]. SOCIETE SUISSE DES INGENIEURS ET ARCHITECT, Norme SIA 215 , « liant minéraux », ,zurich 1978
- [33]. THE CEMENT ASSOCIATION OF CANADA, les ciments avec ajouts disponible sur site web <<http://www.cement.ca/cement.nsf>> (Consulte le 10/06/2007)
- [34]. These An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans, Canadian Journal of Civil Engineering ./ Caijun Shi / Rev. can. génie civ. 28(5): 778786 (2001)
- [35]. Y. Fujiwara, T. Mayura, E. Owki. « Dégradation de béton enterré dans un sol avec de l'eau souterraine salée ». Nuclear Engineering and Design, 138, pp143-150-1992.
- [36] ,Fiche technique ciment, « S.C.AEK », AIN EL KABIRA, SETIF, mars 2014.
- [37] REGOURD M., Cristallisation et réactivité des aluminates tricalciques dans les ciments Portland, II Cemanto.3, 1978, p.323-336.
-

INTITULEE	PAGE
INDEX DES TABLEAUX	
CHAPITRE II : Revue bibliographique	
Tableau (II.1): Teneur moyenne des oxydes constitutifs du clinker	04
Tableau (II.2) : Composition minéralogique du ciment	05
Tableau II.3 : Classification des ciments suivant les résistances à la compression	06
Tableau II.4 : Durée de stockage en fonction des conditions de stockage	07
Tableau II.5. la composition chimique moyenne du laitier	08
Tableau (II.6): Composition chimique de la FS	12
Tableau (II.7) : Le cycle de la chaux	13
CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux utilisée et procédures expérimentale	
Tableau (III.01): la composition de ciment.	25
Tableau (III.02): Propriétés physiques du ciment utilisé	26
Tableau (III.03) : Analyse physico-chimique de l'eau utilisé	27
Tableau(III.4): Composition chimique du LHF	28
Tableau (III.05) : Caractéristiques de la chaux vive	29
Tableau(III.6) : la composition du Sable des sacs de 1350 g.	30
Tableau(III.7) : la composition du Sable(ST2)	31
Tableau (III.8) : la composition du Sable(SL1).	32
Tableau (III.9) : la composition du Sable(SL2)	32
Tableau (III.10) : la composition du Sable(SL3)	33
Tableau (III.11) : la composition du Sable(SLC1)	33
Tableau (III.12) : la composition du Sable(SLC2)	33
Tableau(III.13) : la composition du Sable des sacs de 1454 g	34
Tableau(III.14) : la composition du Sable(ST3)	35
Tableau (III.15) : la composition du Sable (SL3')	35
Tableau (III.16) : la composition du Sable (SLC2')	35
Tableau(III.17) : la composition du Sable des sacs de 1558 g	36
Tableau(III.18) : la composition du Sable(ST4).	37
Tableau (III.19) : la composition du Sable (SL3'')	37
Tableau (III.20) : la composition du Sable (SLC2'')	37
CHAPITRE IV : résultats et analyses	
Tableau (IV.1) : La résistance mécanique à la Compression de CEMI (mortier01).	43
Tableau (IV.2): La résistance mécanique à la flexion de CEMI (mortier)	44

Tableau (IV.3): La résistance mécanique à la Compression de CEMII (mortier01).	44
Tableau (IV.4): La résistance mécanique à la flexion de CEMII (mortier01).	45
Tableau (IV.5): La résistance mécanique à la Compression de CEMII (mortier02)	45
Tableau (IV.6) : La résistance mécanique à la flexion de CEMII (mortier02).	46
Tableau (IV.7) : La résistance mécanique à la Compression de CEMII (mortier03).	46
Tableau (IV.8): La résistance mécanique à la flexion de CEMII (mortier03).	47

INDEX DES FIGURES

CHAPITRE II : Revue bibliographique	
Figure(II.1). Stade de fabrication de ciment	04
CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux utilisée et procédures expérimentale	
Figure(III.1) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.	41
Figure(III.2) : Dispositif de rupture en compression	41
CHAPITRE V :interprétation des résultats	
Figure (V .1) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMI.	49
Figure (V.2) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMI.	50
Figure (V .3) : gain de résistance à la compression en fonction des types de sable à 2 jours avec CEMI.	51
Figure (V.4) : gain de résistance à la compression en fonction des types de sable à 28 jours avec CEMI.	52
Figure (V .5) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.	53
Figure (V .6) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.	54
Figure (V .7) : gain de résistance à la compression en fonction des types de sable à 28 jours avec CEMII.	55
Figure (V .8) : la variation de la résistance à la compression en des types de sable au cours du temps avec CEMII (-20%).	56

Figure (V.9) : la variation de la résistance à la compression en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII (-40%).	57
Figure (V .10) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMI.	58
Figure (V.11) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMI.	59
Figure (V .12) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.	60
Figure (V .13) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.	61
Figure (V.14) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII (-20%).	62
Figure (V .15) : la variation de la résistance à la flexion en fonction des types de sable au cours du temps avec CEMII.(-40%).	63

INDEX DES PHOTOS

CHAPITRE II : Revue bibliographique	
Photo (II.1) Laitier	07
Photo (II.2) : Chaux éteinte	14
CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux utilisée et procédures expérimentale	
Photo (III.1) : étuve de la cimenterie pour séchage de laitier.	27
Photo (III.2) : broyeur à boulet de 5 kg.	28
Photo (III.3) : chaux vive.	28
Photo (III.4) : différent fraction des Quarts.	30
Photo (III.5) : sable normalisé.	31
Photo (III.6) : Mode de conservation des éprouvettes.	40