

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

**Mémoire**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**Spécialité : Génie Civil**

**Option : Structures**

**Présenté par :**

**GUEMMOUDA Khaoula**

**ZOUZOU Lina**

*Thème :*

***Contribution à l'étude de comportement de  
mortier à base des additions minérales***

**Soutenue publiquement devant le jury composé de :**

Mr .MANNAI A.	Université Ouargla	Président.
M <sup>elle</sup> MEZIANI N.	Université Ouargla	Examinatrice.
Mr. DAHMANI S.	Université Ouargla	Encadreur.
Mr. MOKHTARI A.	Université Ouargla	Co-Encadreur.

Année universitaire : 2018/2019

## Résumé

Ce travail expérimental permet à la valorisation de sable de dunes qui se trouve en abondance dans notre région sud-est algérienne et de l'utiliser d'une façon rationnelle dans la construction. Donc notre travail consacré à étudier l'influence des ajouts minéraux tel que le sable de dunes en poudre et le fumée de silice sur le comportement mécanique (résistance de compression et à la flexion) de mortier en faisant varié le pourcentage des ajoutes substitués de la masse de ciment.

La première étape de notre étude est la caractérisation des constituants utilisés à la perfection des mortiers. En suite on étudie l'effet des ajoutes de fumée de silice avec des pourcentage (2%,4%) et de sable de dunes en poudre de la région de Ouargla (5%,10%,15%) et la combinaison entre deux ajouts (2FS+5SDP, 2FS+10SDP, 2FS+15SDP, 4FS+5SDP, 4FS+10SDP et 4FS+15SDP).

L'ajout de fumée de silice au mortier représente une valeur inférieure a cèle du mortier de référence. Mais il y a une amélioration les caractéristiques physiques.

Ajout de (5SDP, 2FS+10SDP, 4FS+5SDP) au mortier présent à une valeur acceptable pour améliorer la résistance à la compression.

**Les mots clés :** mortier, sable de dunes en poudre, fumée de silice, ciment, résistance, additions minérales.

## Abstract

In this experimental work, we use the sand of dunes which exist in abundance in our Alegria southeast region and how to use it in a rational manner in building. Thus, we deal study the influence of mineral additions such as : powder of sand dunes and the fume of silica on the mechanical behavior of mortar (power of compressive and inflection) through exchanging percentage of cement with some mineral addition.

The first stage is the study of the characteristics of the constituents which are used in the perfection of mortar the ownership of these constituting materials. It is also study the influence of the additions of fume of silica (2%, 4%) and the powder of sand dunes (5%, 10%, 15%) and composition between two additions (2% FS + 5% SDP, 2% FS + 10% SDP, 2% FS + 15% SDP, 4% FS + 5% SDP 4% FS + 10% SDP, 4% FS + 15% SDP).

By adding the fume of silica to mortar give less values for resistance in comparison to the previous mortar. Though, there is improvement in the physical characteristics.

Addition of 5% SDP give good values for the improvement for the power of resistance in comparison to the previous mortar.

**Key words:** mortar, powder of sand of dunes, fume of silica, cement, mineral additions, resistance

## الملخص

في هذا العمل التجريبي استخدمنا رمل الكثبان المتواجد بكثرة في منطقتنا الجنوبية الشرقية من الجزائر والذي يلزم استخدامه بطريقة عقلانية في البناء. لذلك عملنا على دراسة تأثير الإضافات المعدنية مثل مسحوق الكثبان الرملية ودخان السيليكا على السلوك الميكانيكي للملاط (قوة الضغط والانحناء) عن طريق استبدال نسب من الاسمنت ببعض الإضافات المعدنية.

تتمثل الخطوة الأولى في تحديد خصائص المواد المستخدمة في تركيبة الملاط ، ثم تتم دراسة تأثير إضافات دخان السيليكا بنسب (2،4%) و مسحوق الكثبان الرملية (5،10،15%) والتركيب بين الإضافتين:

$$4\% \text{ FS} + 5\% \text{ SDP}, 2\% \text{ FS} + 15\% \text{ SDP}, 2\% \text{ FS} + 10\% \text{ SDP}, 2\% \text{ FS} + 5\% \text{ SDP}$$

$$. (4\% \text{ FS} + 15\% \text{ SDP}, 4\% \text{ FS} + 10\% \text{ SDP}$$

إن إضافة دخان السيليكا إلى الملاط أعطى قيم أقل للمقاومة مقارنة بالملاط المرجعي. في حين هناك تحسن في الخصائص الفيزيائية.

إضافة 5%SDP أعطت قيم مثالية لتحسن قوة الضغط مقارنة بالملاط المرجعي.

**الكلمات المفتاحية:** ملاط ، مسحوق رمل الكثبان ، دخان السيليكا ، الأسمنت ، مقاومة ، إضافات معدنية

## Table des matière

Résumé.....	II
Abstract.....	III
المخلص.....	IV
Liste des tableaux .....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des photos .....	XII
Liste des notations .....	XIII
INTRODUCTION GENERALE .....	- 2 -
Chapitre I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....	- 5 -
I-1- Introduction .....	- 5 -
I-2- Le ciment .....	- 5 -
I-2-1. Fabrication du ciment portland .....	- 5 -
I-2-2. Les ciments courants (NF EN 197-1) .....	- 6 -
I-2-3. Classification des ciments courants .....	- 7 -
I-2-4. Classification d'après leurs résistances.....	- 8 -
I-3- Les additions minérales .....	- 9 -
I-3-1. Classification des ajouts minéraux .....	- 9 -
I-3-2. Rôle de l'ajout cimentaire.....	- 9 -
I-3-3. Principaux ajouts minéraux inertes.....	- 10 -
I-3-4. Les ajouts minéraux actifs .....	- 11 -
I-4- Influence de sable de dune sur la matrice cimentaire.....	- 12 -
I-5- Influence de fumé de silice sur la matrice cimentaire .....	- 14 -
I-6- Conclusion.....	- 15 -
Chapitre II. ESSAIS ET LES MATERIAUX UTILISES .....	- 17 -
II-1- Introduction .....	- 17 -

## LISTE DE TABLEAU

II-2-	Méthodes expérimentales .....	- 17 -
II-2-1-	Equivalent de sable (NF P 18 598).....	- 17 -
II-2-2-	Analyse granulométrique par tamisage (NFP 18-560).....	- 18 -
II-2-3-	La masse volumique (NF P18-301) .....	- 19 -
II-2-4-	Mesure la consistance de la pâte (NF EN 196- 3).....	- 22 -
II-2-5-	Détermination du temps de prise (NF EN 196- 3) .....	- 24 -
II-2-6-	Mortier normalisé .....	- 26 -
II-2-7-	Essai au maniabilimètre B.....	- 27 -
II-2-8-	Essai des résistances à la compression et à la traction (EN 196-1).....	- 28 -
II-2-9-	Essai d'absorption d'eau .....	- 29 -
II-2-10-	Essai de porosité volumique.....	- 30 -
II-2-11-	Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques .....	- 31 -
II-3-	Les caractéristiques des matériaux .....	- 32 -
II-3-1-	Sable de construction .....	- 32 -
II-3-2-	Sable de dune broyé .....	- 33 -
II-3-3-	Fumé de silice.....	- 34 -
II-3-4-	Le ciment (NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3).....	- 35 -
II-4-	Les compositions utilisées .....	- 36 -
II-5-	Conclusion .....	- 37 -
Chapitre III.	RESULTATS ET DISCUSSIONS .....	- 39 -
III-1-	Introduction .....	- 39 -
III-2-	Masse volumique.....	- 39 -
III-2-1-	Mortier binaire.....	- 39 -
III-2-2-	Mortier ternaire .....	- 40 -
III-3-	L'absorption et la porosité.....	- 40 -
III-3-1-	Mortier binaire.....	- 40 -
III-3-2-	Mortier ternaire .....	- 41 -

## LISTE DE TABLEAU

III-4- La densité.....	- 42 -
III-4-1- Mortier binaire.....	- 42 -
III-4-2- Mortier ternaire .....	- 43 -
III-5- Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques.....	- 44 -
III-5-1- Mortier binaire.....	- 44 -
III-5-2- Mortier ternaire .....	- 44 -
III-6- Résistance à la flexion .....	- 45 -
III-6-1- Mortier binaire.....	- 45 -
III-6-2- Mortier ternaire .....	- 47 -
III-7- Résistance à la compression .....	- 49 -
III-7-1- Mortier binaire.....	- 49 -
III-7-2- Mortier ternaire .....	- 51 -
III-8- La consistance.....	- 53 -
III-9- Temps de prise de la pâte de mortier .....	- 53 -
III-10- Conclusion .....	- 54 -
Conclusion générale .....	- 56 -
Recommandation :.....	- 57 -
Référence bibliographique.....	- 59 -
Annexes.....	- 63 -

## Liste des tableaux

### Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I- 1 : Les différents types de ciment courants [ <i>FESTA.J et al, 2017, N 3</i> ]. ....	- 7 -
Tableau I- 2: Spécification et valeurs garanties en fonction de classe de résistance [ <i>DAHMANI.S, 2018</i> ].....	- 8 -
Tableau I- 3: caractéristique exigés dessous-classes de résistances [ <i>DAHMANI.S, 2018</i> ]	- 8 -
Tableau I- 4 : Classification des ajouts selon leur réactivité. [ <i>NAGOUDI. N et al, 2014</i> ]. -	- 9 -

### Chapitre II : ESSAIS ET LES MATERIAUX UTILISES

Tableau II- 1 : opération de malaxage [ <i>DUPAIN R. et al, 2000</i> ] .....	- 26 -
Tableau II- 2 : Les caractéristiques de sable de construction.....	- 32 -
Tableau II- 3 : Analyse chimique de sable de dunes en poudre.....	- 34 -
Tableau II- 4 : Les analyses chimiques de fumée de silice .....	- 34 -
Tableau II- 5 : Analyse chimique de ciment [fiche technique] .....	- 35 -
Tableau II- 6 : Propriétés physique de ciment .....	- 35 -
Tableau II- 7 : Résistance à la compression de ciment [fiche technique] .....	- 35 -
Tableau II- 8 : compositions utilisées pour le mortier .....	- 36 -
Tableau II- 9 : Les des quantités compositions de mortier en (m <sup>3</sup> ).....	- 37 -

## Liste des figures

### Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I- 1 : fabrication de ciment.....	- 5 -
Figure I- 2: Evolution de la résistance à la compression pour des différents pourcentages d'ajout de sable de dune broyé dans le milieu standard.[KADRI .A, 2014].....	- 13 -
Figure I- 3: Résistance à la compression des bétons en fonction du temps [GUETTALA.S, 2013] .....	- 13 -
Figure I- 4:Résistance à la flexion des bétons en fonction du temps [GUETTALA.S, 2013]..	- 13 -
Figure I- 5 : Evolution de la résistance à la compression pour les différents pourcentages d'ajout de fumée de silice dans le milieu sulfatique[KADRI.A, 2014]. .....	- 14 -
Figure I- 6: Evolution de la résistance à la compression fonction du temps d'un mortier avec $E/(C+FS)=0,40$ [KADRI. El, 2000] .....	- 14 -

### Chapitre II : ESSAIS ET LES MATERIAUX UTILISES

Figure II- 1 : essais d'équivalente de sable .....	- 17 -
Figure II- 2 : Machine d'Analyse Granulométrique Par Tamisage.....	- 18 -
Figure II- 3 : <i>Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau [BOULIFA. M et al 2017]</i> .....	- 19 -
Figure II- 4 : essai la masse volumique absolue. ....	- 19 -
Figure II- 5 : Essai la masse volumique apparente. ....	- 20 -
Figure II- 6 : La masse volumique absolue pour les poudres .....	- 21 -
Figure II- 7 : malaxeur de mortier .....	- 22 -
Figure II- 8 : essai de pénétration.....	- 23 -
Figure II- 9 : détermination du temps de début de prise .....	- 25 -
Figure II- 10 : détermination du temps de fin de prise.....	- 25 -
Figure II- 11 : table de choc et des moules. ....	- 27 -
Figure II- 12 : principe de fonctionnement du maniabilimètre B .....	- 27 -

## LISTE DE FIGURE

Figure II- 13 : dispositif pour l'essai de résistance à la flexion .....	- 28 -
Figure II- 14 : dispositif de rupture en compression [DUPAIN. R et al, 2000].....	- 29 -
Figure II- 15 : balancé hydrostatique .....	- 31 -
Figure II- 16 : essai de vitesse de propagation de son.....	- 32 -
Figure II- 17 : Analyse granulométrique de sable.....	- 33 -
Figure II- 18 : les étapes de broyage de sable de dune.....	- 33 -
Figure II- 19 : le ciment utilisé.....	- 35 -

## Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure III- 1 : masse volumique de mortier .....	- 39 -
Figure III- 2: masse volumique de mortier en mélange (FS + SDP) .....	- 40 -
Figure III- 3: évolution de la porosité et d'absorption d'eau de mortier.....	- 41 -
Figure III- 4 : évolution de la porosité et d'absorption d'eau de mortier en mélange de (FS + SDP) .....	- 42 -
Figure III- 5 : densité de mortier binaire .....	- 42 -
Figure III- 6 : la densité de mortier en mélange de poudre (FS + SDP) .....	- 43 -
Figure III- 7: vitesse de propagation de son de mortier .....	- 44 -
Figure III- 8: vitesse de propagation de son de mortier en mélange (FS + SDP) .....	- 45 -
Figure III- 9 : effet de fumée de silice sur la résistance à la flexion .....	- 45 -
Figure III- 10 : effet de Sable de dunes en poudre sur la résistance à la flexion .....	- 46 -
Figure III- 11: résistance à la flexion en fonction de l'âge de mortier avec FS .....	- 46 -
Figure III- 12 : effet de mélange (FS + SDP) à la résistance de mortier à la flexion.....	- 47 -
Figure III- 13 : résistance à la flexion en fonction de l'âge de mortier en mélange des poudres 2% FS avec pourcentage de SDP.....	- 48 -
Figure III- 14 : résistance à la flexion en fonction de l'âge de mortier en mélange des poudres 4% FS avec pourcentage de SDP .....	- 48 -
Figure III- 15 : effet de mortier avec FS sur la résistance à la compression.....	- 49 -
Figure III- 16 : résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier avec FS .....	- 49 -

## LISTE DE FIGURE

Figure III- 17: effet de mortier avec SDP sur la résistance à la compression .....	- 50 -
Figure III- 18 : résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier avec SDP ...	- 50 -
Figure III- 19: effet de mortier de mélange (FS + SDP) sur la résistance à la compression-	51
-	
Figure III- 20: résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en mélange des poudres 2% FS avec pourcentage de SDP .....	- 52 -
Figure III- 21 : résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en mélange des poudres 4% FS avec pourcentage de SDP .....	- 52 -
Figure III- 22: Essai de consistance de la pate de ciment avec et sans additions .....	- 53 -
Figure III- 23 : Temps de prise de la pâte de mortier.....	- 54 -

## Liste des photos

Photo 1: broyage de sable de dunes .....	- 63 -
Photo 2 : les analyses chimiques de fumée de silice et de SDP.....	- 63 -
Photo 3 : Les étapes de préparations et collage de mortier.....	- 64 -
Photo 4: Essai de flexion .....	- 64 -
Photo 5 : Essai de compression.....	- 64 -
Photo 6 : Fiche technique de ciment utilisé .....	- 64 -

## Liste des notations

- C** : Quantité de Ciment
- SC** : Quantité de sable de construction
- E** : Quantité d'eau
- SDP** : Quantité de Sable de dunes en poudre
- FS** : Quantité de Fumée de silice.
- E/L** : Le rapporte de l'eau sur liant.
- ESv** : Equivalent de sable visuel.
- ESp** : Equivalent de sable piston.
- Mf** : Module de la finesse.
- Rc(%)** : pourcentage de refus cumulés.
- Cu** : Facteur d'uniformité.
- Cc** : Facteur de courbure.
- F(%)** : Pourcentage de fines.
- Mv<sub>app</sub>** : La masse volumique apparente.
- Mv<sub>abs</sub>** : La masse volumique absolue.
- Mv** : La masse volumique de poudre.
- Ff** : La charge de rupture d'éprouvette à la flexion.
- Rf** : La contrainte de la résistance à la flexion.
- Fc** : La charge de rupture d'éprouvette à la compression.
- Rc** : La contrainte de la résistance à la compression.
- Hp** : Degré d'absorption d'eau.
- P** : La porosité d'eau.
- D** : La densité.
- SSB** : La surface spécifique de Blaine.

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

## INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui le mortier est un matériau le plus utilisé et très important dans le domaine de génie civil, exactement en domaine de construction. Le constituant principal de béton est le ciment, ce matériau nécessite une énergie importante durant leur fabrication et qui provoque une pollution de l'environnement.

Notre pays est riche en minéraux en grande quantité, malgré cette disponibilité l'utilisation de ces minéraux reste insuffisante. Ces minéraux peuvent être incluse dans la fabrication de ciment. L'utilisation de ces minéraux nous donne des ciments spéciaux et au caractéristiques spécifiques. Dans les régions sud algérien, le sable de dune est disponible en grande quantité et les études de la valorisation de ce matériau est inexistante dans le domaine de construction.

Il est connait que le mortier ayant une bonne résistance à la compression, et une faible résistance à la flexion. Pour l'amélioration des caractéristiques mécaniques de béton ou mortier, il existe plusieurs des méthodes sont l'utilisation des additions minérales, les fibres, les adjuvants .....etc.

Dans notre travail nous avons utilisés des additions minérales telles que, le sable de dunes en poudre (5,10 et15% de masse de ciment), et la fumée de silice (2et4% de masse de ciment), et le mélange entre les deux. Et d'étudier l'influence de l'incorporation ces deux minéraux sur les caractéristiques mécanique de mortier.

Donc est-ce que ces additions donnés des résultats acceptables ?

L'objectif de notre recherche consiste et basé sur une contribution au comportement de ciment à base des additions minérales, pour étudier les caractéristiques mécaniques de mortier. Ce travail est composite à trois chapitres comme suit :

Dans le **premier chapitre**: généralité sur le mortier avec des additions minérales, définition pour tous les matériaux par la composition de mortier, les travaux précédents dans le même domaine de la recherche.

Et à la **deuxième chapitre**: les essais utilisés dans cette recherche, pour connaitre les caractéristiques des matériaux utilisés.

## INTRODUCTION GENERALE

En **dernier chapitre**: Nous avons résumé les résultats de tous les essais physique et mécanique, avec les discussions.

**Une conclusion générale** des principaux résultats dégagés lors de cette étude ainsi que des recommandations retenues sont présentées à la fin.

---

---

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

---

## Chapitre I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### I-1- Introduction

Le mortier est un matériau composé par mélange de sable de construction, l'eau et le ciment où ce chapitre qui représenté à trois parties :

Première partie, nous parlons sur le ciment, sa fabrication et ses différents types. La partie deuxième, nous citons les différents additions qui pouvant être ajoutés au ciment, sa classification..., et dernière partie présente des chaque résultats des travaux inertes sur l'influence des additions minérales (sable de dunes en poudre et fumée de silice).

### I-2- Le ciment

Les ciments sont des liants hydrauliques en forme des poudres fine chimiques constituées de silicates et d'aluminates de chaux qui s'hydratent en présence d'eau pour donner naissance à un matériau solide qui conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. [KADRI. A, 2014]

#### I-2-1. Fabrication du ciment portland

Le ciment portland est fabriqué essentiellement à partir de matière calcaires, comme le calcaire ou la craie (environ 80 %) et à partir d'alumine et silice présentés dans l'argile et schistes argileux (environ 20%).

Le procédé de fabrication du ciment consiste essentiellement à broyer des matières premières, à les mélanger dans certaines proportions puis à les cuire dans un four rotatif à une température atteignant environ 1450°C à laquelle le matériau fond partiellement jusqu'à former le clinker.

Le clinker est refroidi puis broyé en poudre fine, opération au cours de laquelle on ajoute le gypse (indispensable pour différer la prise) et des additions minérales éventuelles (pour certains ciments composites), le produit ainsi obtenu constitue le ciment portland universellement utilisé dans le monde. [BOULIFA. M et al, 2017]



Figure I- 1 : fabrication de ciment

**I-2-2. Les ciments courants (NF EN 197-1)****1- Les constituants****a) Les constituants principaux**

- **Le clinker Portland (K)**
- **Le laitier granulé (vitrifié) de haut fourneau (S)**
  - Sous-produits de la fabrication de l'acier (fusion des stériles présents dans le minerai de fer).
  - Matériau hydraulique mais durcissement très lent ⇒ utilisations d'activant (bases fortes (chaux) ou de sulfates de calcium).
- **Les pouzzolanes naturelles (Z) ou naturelles calcinées(Q)**
  - Ce sont des substances d'origine volcanique ou bien des roches sédimentaires ou des argiles et des schistes expansés thermiquement.
  - Pouzzolanique = durcissent en présence de  $\text{Ca(OH)}_2$  dissous dans l'eau.
- **Les cendres volantes de centrales thermiques**
  - Obtenues par le dépoussiérage des gaz des chaudières alimentées au charbon pulvérisé.
  - Les types des cendres :
    - ❖ **Les cendres volantes siliceuses (V)**: Pouzzolanique
    - ❖ **Les cendres volantes calciques (W)** : hydrauliques et/ou Pouzzolanique mais problèmes de gonflement (CaO et sulfate)
- **Les calcaires (L, LL)**
  - « Inertes » obtenues par broyage de roches calcaires.

**Les schistes calcinés (T)**

- Hydrauliques et Pouzzolanique mais problème de gonflement (présence de CaO).

**Les fumées de silice (D)**

- Dépoussiérage des fumées de fours élaborant du silicium ou des alliages tels que le Ferro-silicium.
- Pouzzolanique.
- Granularité très fine, comprise entre  $0.01 \mu\text{m}$  et quelques  $\mu\text{m}$  ( $D_{50} \approx 0.2 \mu\text{m}$ ).

**2- Les constituants secondaires (<5%)**

- Matériaux minéraux naturels,

- Du sulfate de calcium qui doit être ajouté en faible quantité en vue de réguler la prise du ciment.

*c) Les additifs*

- Constituants ajoutés pour améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment (agents de mouture, pigments, ...)
- Teneur < 1% en masse (exception faite des pigments).

### I-2-3. Classification des ciments courants

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197 1. Le tableau (I-1) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun deux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent [FESTA.J et al, 2017, N 3].

**Tableau I- 1 : Les différents types de ciment courants [FESTA.J et al, 2017, N 3].**

Désignations	Types de ciments	% clinker	% de l'un de constituants suivant:	% Gypse
C PA-CEM I	Ciment portland	95à100%	-	0 à 5%
C PJ-CEM II/A	Ciment portland composé	80à 94%	6à20% de l'un des constituants, sauf FS à10%	
CPJ-CEMII/B		65 à79%	De21à35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	
CHF-CEM III/A	Ciment de haut-fourneau	35à64%	-35à65% de L	
CHF-CEM III/B		20à34%	-66à80% de L	
CLK-CEMIII/C		5à19%	-81 à95% de L	
CPZ-CEMIV/A	Ciment Pouzzolanique	65 à90%	-10à35% de PZ, C ou FS	
CPZ-CEMIV/B		45à64%	36à55% comme ci-dessus	
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40à64%	-18à30% de L et 18 à30% de C ou de PZ.	
CLC-CEM V/B		20à39%	-31 à50% de chacun des 2constituants comme ci-dessus	
L :laitier - P : pouzzolanes - C : cendres - W : Calcaires - S : Schistes - FS : fumées de silice				

**I-2-4. Classification d'après leurs résistances**

Les ciments sont répartis en trois classes de résistance, 32,5 ; 42,5 ; 52,5, définies par la valeur minimale de la résistance normale du ciment à 28 jours en MPa. Pour chaque classe de résistance courante, deux classes de résistance à court terme sont définies, une classe avec résistance à court terme ordinaire (indiquée par la lettre N) et une classe avec résistance à court terme élevées (indiquée par la lettre R). La conformité d'un lot de ciment est appréciée pour ce qui concerne la résistance à la compression en fonction des valeurs du tableau suivant qui sont des limites absolues applicables à chaque résultat d'essai. [CIMBETON, c.t, fiche technique]

**Tableau I- 2: Spécification et valeurs garanties en fonction de classe de résistance [DAHMANI.S, 2018]**

Classe	Résistance à la compression (MPa)				Retrait à 28 j P 15-433	Début de prise EN 196-3	stabilité EN 196-3
	Au jeune âge 196-1		À 28 jours 196-1				
	2 jours	7 jours	Minimal	maximal	( $\mu\text{m}/\text{m}$ )	(min)	(mm)
32,5 N	8	17,5	32.5	42.5	$\leq 800$	90	$\leq 10$
32,5 R	12	-	32.5	42.5	$\leq 1000$	90	$\leq 10$
42,5 N	10	-	42.5	52.5	$\leq 1000$	60	$\leq 10$
42,5 R	15	-	42.5	52.5	$\leq 1000$	60	$\leq 10$
52,5 N	15	-	52.5		-	60	$\leq 10$
52,5 R	28	-	52.5		-	60	$\leq 10$

**Tableau I- 3: caractéristique exigées dessous-classes de résistances [DAHMANI.S, 2018]**

Propriétés	Type de ciment	Classe de résistance	Exigences recommandées
Perte au feu	CEM I - CEM III	Toutes classes	$\leq 5,00 \%$
Résidus insolubles	Tous types	Toutes classes	$\leq 5,00 \%$
Sulfates	CEM I - CEM II	32,5 N - 32,5 R - 42,5 N	$\leq 3,50 \%$
	CEM VI - CEM V	42,5 R - 52,5 N - 52,5 R	$\leq 4,00 \%$
	CEM III	Toutes classes	
Chlorure	Tous types	Toutes classes	$\leq 0,10 \%$
Pouzzolanicité	CEM IV	Toutes classes	Pas nécessaire

### I-3- Les additions minérales

Différents ajouts minéraux sont actuellement utilisés dans le béton. Ils sont utilisés en addition ou en substitution d'une partie du ciment comme matières cimentaires supplémentaires. [NAGOUDI. N et al, 2014]

#### I-3-1. Classification des ajouts minéraux

Ces matériaux proviennent principalement des sous-produits de l'industrie métallurgique, des centrales thermiques à charbon, de la nature et sont classés selon la norme NF EN 197 1 en ajouts minéraux inertes et actifs. [NAGOUDI. N et al, 2014]

Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau (I-4) ci-dessous.

Tableau I- 4 : Classification des ajouts selon leur réactivité. [NAGOUDI. N et al, 2014]

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

#### I-3-2. Rôle de l'ajout cimentaire

##### 1) Rôle de la granulométrie de l'ajout

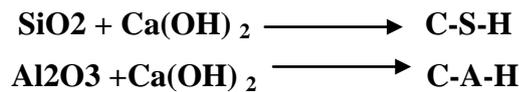
Les ajouts cimentaires finement broyés comblent les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide ce qui permet de diminuer la quantité d'eau. [NAGOUDI. N et al, 2014]

## 2) *Rôle pouzzolanique des ajouts cimentaire*

L'hydratation du ciment portland libère une grande quantité de chaux à la suite de la réaction de l'hydratation du C3S et C2S (30% de la masse du ciment). Cette chaux contribue peu où la résistance de la pâte cimentaire hydratée. Elle peut même être responsable de problème de durabilité puisqu'elle peut être assez facilement lessivée par de l'eau ; ce lessivage augmente alors la porosité dans le béton qui augmente la perméabilité de lessivage. [NAGOUDI. N et al, 2014]

Les ajouts cimentaires (actifs) réagissent avec cette chaux libérée par l'hydratation du ciment pour donner des C-S-H, véritable liant contribuant à l'augmentation des résistances mécaniques du matériau. L'idéal est d'avoir une ultrafine à grande cinétique de réaction, avec des grains lisses (à défloculation facile) et à très forte activité pouzzolanique. [NAGOUDI. N et al, 2014]

Les réactions pouzzolanique sont les suivantes :



### I-3-3. Principaux ajouts minéraux inertes

Ce sont des matériaux quasiment inertes, naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés et qui par leur composition granulométrique, améliorent les propriétés physiques du ciment Portland: ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau. Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et les Schistes calcinés. [NAGOUDI. N et al, 2014]

#### 1) **Fillers calcaires**

Les normes françaises (1979) définissent les fillers de la façon suivante : produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basaltes, laitiers, cendres volantes...) naturels ou non. Le filler calcaire est un matériau très finement broyé, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns, ayant une finesse à peu près identique à celle du ciment Portland. Il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers. Selon la norme NF P 15-301, la teneur en filler calcaire est limitée à 5% de la masse du ciment. Compte tenu des anions rompus par broyage du clinker et du gypse, on trouve à la surface des grains de ciment des sites chargés électriquement. Ces grains sont généralement chargés négativement, selon Bombléd : il y a trois fois plus de charges négatives que positives. Une des raisons qui motivent l'utilisation des fillers est la réduction du coût de production. [LABIAD. Y et al, 2016]

## 2) **Sable de dune**

Le sable est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie...etc. ce matériau se trouve en grande quantité dans les régions -sahariennes. Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers.

Le sable de dunes est un matériau d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter.

L'introduction de ce nouveau matériau dans la construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat, et contribuer au développement des régions du sud algérien, très riches en sable de dune. [NAGOUDI. N et al, 2014].

### **I-3-4. Les ajouts minéraux actifs**

#### **1. La pouzzolane [DAHMANI.S, 2018]**

Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés. Ce sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes.

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 internes et du retrait au séchage. Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment.

#### **2. Types de pouzzolane**

##### **a) Pouzzolane naturelle**

Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux d'origine naturelle qui peuvent avoir été calcinés dans un four ou transformés, puis broyés 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). [DAHMANI.S, 2018]

**b) Pouzzolane artificielle**

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composées de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolanique. Elles sont des déchets de différentes industries. 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 argiles pures à des températures modérées . On distingue aussi le schiste cuit, et les déchets de l'industrie à base de méta kaolinite. [DAHMANI.S, 2018]

**1- La fumée de silice**

La fumée de silice est un sous produit des usines de fabrication d'alliages de silicium (Si) et de ferrosilicium, obtenu dans un four à arc à partir de quartz de grande pureté et de charbon. Le SiO entraîne par le gaz depuis la zone de combustion des fours s'oxyde et se condense sous forme de particules de silice amorphe (SiO<sub>2</sub>) sphériques extrêmement fines, cette finesse accélère la réaction avec l'hydroxyde de calcium produit lors d'hydratation du ciment portland, la plus petite particule peuvent combler le vide entre les grains de ciment. Lorsque le four comprend un système de récupération de chaleur, la majeure partie du carbone est brûlé et on va obtenir une fumée de silice sans carbone et de couleur clair. Autrement on va obtenir une fumée de silice de couleur foncée (grise). [KADRIA, 2014]

**2- Le laitier de haut fourneau**

Est obtenu par refroidissement rapide (brusque) de la scorie fondue de composition convenable provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. Pour convenir à son emploi en cimenterie, il doit présenter des propriétés hydrauliques latentes, c'est-à-dire qui se manifestent quand le laitier subit une activation convenable (par le clinker, la chaux ou des hydroxydes alcalins). Néanmoins, on le qualifie de matériau hydraulique latent, puisqu'en présence d'eau uniquement, il ne forme pas de matériau durci. Il se compose principalement de silice (SiO<sub>2</sub>), chaux (CaO), alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et d'oxydes de magnésium (MgO). [BENIA.M, 2016]

**I-4- Influence de sable de dune sur la matrice cimentaire**

D'après l'étude de KADRIA, qui est basé sur l'utilisation des matériaux sont : sable de construction de Hassi-Essayah Ouargla ( $M_f\%=2.25$  ;  $M_{abs}=2600\text{Kg/m}^3$  ;  $M_{app}=1700\text{Kg/m}^3$ ) et 2 type de ciment (CPJ-CEM IIB42.5 et CPA-CEM I 42.5 de Ain

Touta Batna) pour construire un béton de bonne résistance avec l'ajout de sable de dune poudre de Hassi Ben Abd Allah Ouargla ( $F=3600\text{cm}^2/\text{g}$ ;  $M_{\text{abs}}=2600\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $M_{\text{app}}=0.915\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Et D'après l'étude de GUETTALA.S qui l'utilisation des matériaux sont : sable de construction de la région Biskra ( $M_f\%=2.37$ ;  $M_{\text{abs}}=2500\text{Kg}/\text{m}^3$ ;  $M_{\text{app}}=1440\text{Kg}/\text{m}^3$ ) et ciment CEM I 42.5 de Ain Touta Batna ( $F=3200\text{cm}^2/\text{g}$ ,  $M_{\text{abs}}=3050\text{kg}/\text{m}^3$   $M_{\text{app}}=1120\text{kg}/\text{m}^3$ ) et ajoute du sable de dune poudre de la région Biskra ( $F=4000\text{cm}^2/\text{g}$ ;  $M_{\text{abs}}=2770\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $M_{\text{app}}=1.3\text{g}/\text{cm}^3$ ).

On conclue que le bon résultat qui améliore la résistance à la compression ou à la flexion c'est le pourcentage de 10% ou 2% de sable de dune broyé.

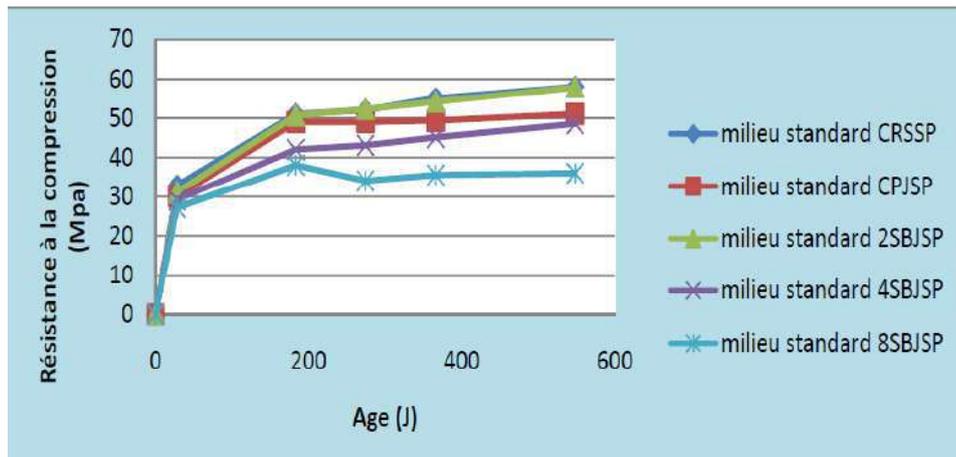


Figure I- 2: Evolution de la résistance à la compression pour des différents pourcentages d'ajout de sable de dune broyé dans le milieu standard. [KADRI .A, 2014]

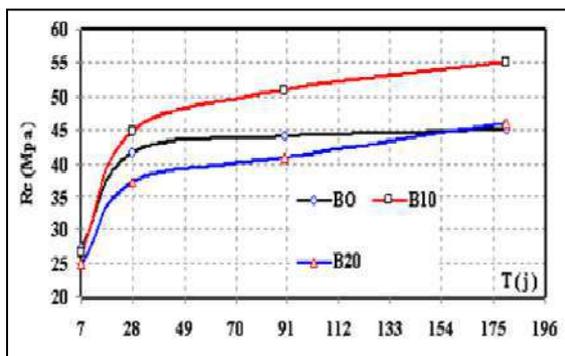


Figure I- 3: Résistance à la compression des bétons en fonction du temps [GUETTALA.S, 2013]

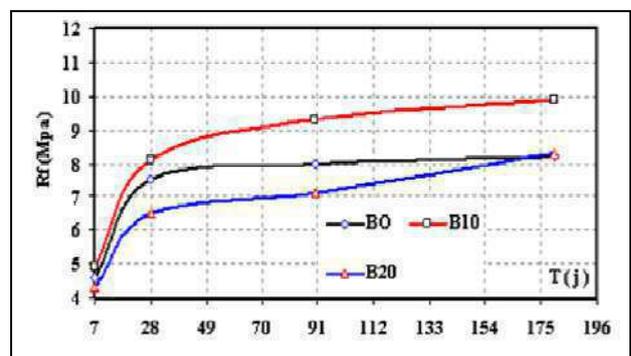


Figure I- 4: Résistance à la flexion des bétons en fonction du temps [GUETTALA.S, 2013]

### I-5- Influence de fumé de silice sur la matrice cimentaire

D'après l'étude de KADRI A., il est utilisé les mêmes matériaux du paragraphe (I-4) et avec l'ajout de la fumée de silice à la finesse  $=150000 \text{ cm}^2/\text{g}$ , il conclue que la résistance du béton augmente avec l'augmentation les pourcentages de fumée de silice, et le bon résultat qui améliore la résistance à la compression ou à la flexion est obtenu par le pourcentage de 10% de fumée de silice.

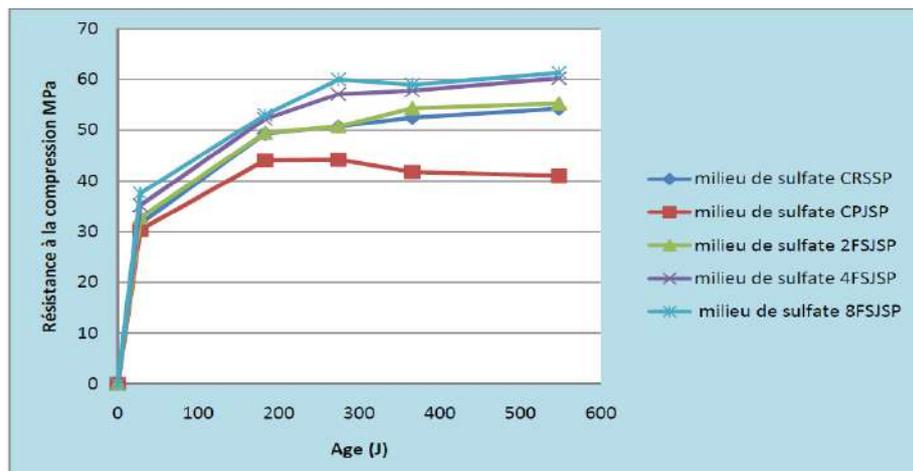


Figure I- 5 : Evolution de la résistance à la compression pour les différents pourcentages d'ajout de fumée de silice dans le milieu sulfatique[KADRI.A, 2014].

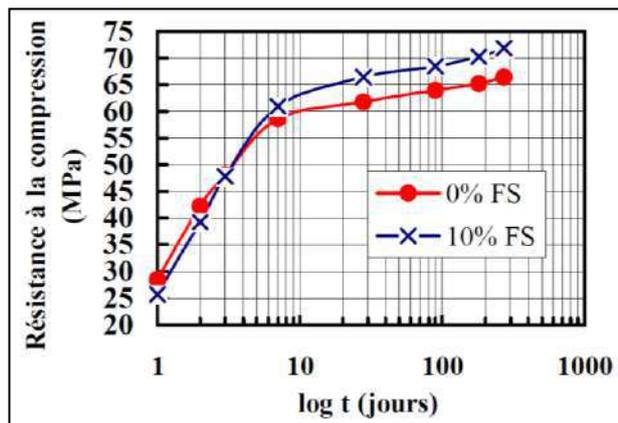


Figure I- 6: Evolution de la résistance à la compression fonction du temps d'un mortier avec  $E/(C+FS)=0, 40$ [KADRI. EI, 2000]

**I-6- Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons parlé en générale sur le ciment et mortier, connaitre les différentes additions minérales sur le ciment. Enfin, permet l'influence des additions qui utilisant de notre recherche sur les matrice cimentaires: sable de dunes en poudre, le fumée de silice qui base sur les travaux précédents.

---

---

## CHAPITRE II : ESSAIS ET LES MATERIAUX UTILISES

---

---

## Chapitre II. ESSAIS ET LES MATERIAUX UTILISES

### II-1- Introduction

Dans ce chapitre nous avons étudié les caractéristiques des différentes composantes utilisés dans la formulation du mortier tel que : ciment, poudre de sable de dunes, fumée de silice, sable de construction et l'eau de gâchage.

### II-2- Méthodes expérimentales

#### II-2-1- Equivalent de sable (NF P 18 598)

##### 1. But d'essai

L'essai de l'équivalent de sable utilise de manière courante pour évaluer la propreté des sables.

Une procédure normalisée permet de terminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté.

##### 2. Principe de manipulation

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre les éléments fins.

$$E_s = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

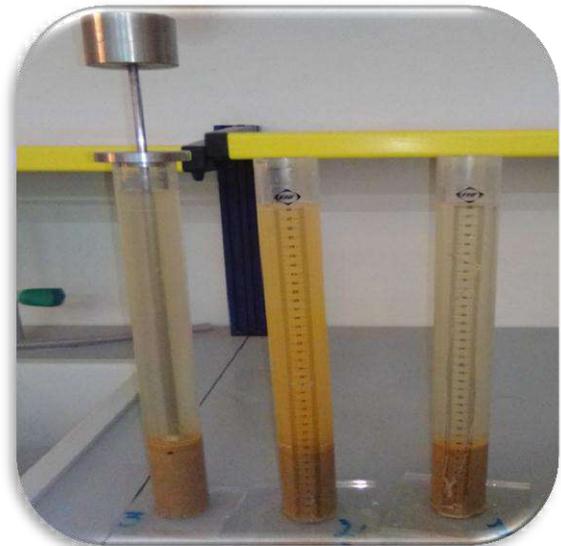
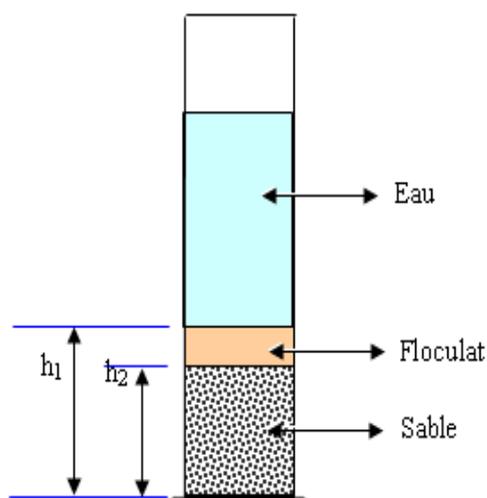


Figure II- 1 : essais d'équivalente de sable

### II-2-2- Analyse granulométrique par tamisage (NFP 18-560)

L'analyse Granulométrique par tamisage est une méthode d'essai qui consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. On trace ensuite la Courbe Granulométrique, courbe exprimant les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

#### 1. Module de finesse :

C'est un module qui nous permet de caractériser la finesse des différents types de sable par la somme des pourcentages des refus cumulés pour les tamis de série suivant (0.16 ,0.315, 0.63 ,1.25, 2.5, 5 mm).

$$M_F = \frac{\sum R_C \%}{100}$$

#### 2. Facteur d'uniformité Cu

C'est un coefficient pour la classification des agrégats. On définit l'uniformité d'une granulométrie par le coefficient de HAZEN ou coefficient d'uniformité.

D60: représente l'ouverture du tamis auquel passe 60% du poids des grains, De même pour D10.

Pour  $(D60/D10) > 2$ , la granulométrie est dite étalée.

ET pour  $(D60/D10) < 2$ , la granulométrie est dite serrée

#### 3. Le pourcentage de fines (F)

Le pourcentage de fines (F) passant à travers le tamis de 0.08 mm est égale à :

$$F(\%) = \frac{M_1 - M_2 + P}{M_1} \times 100$$

M1 : masse de la prise d'essai, en Kg.

M2 : masse séchée du refus à 0.08 mm, en Kg.

P : masse du tamisât dans le fond, en Kg.



Figure II- 2 : Machine d'Analyse Granulométrique Par Tamisage.

### II-2-3- La masse volumique (NF P18-301)

#### 1. La masse volumique absolue

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.

La masse volumique absolue est :

$$M_{V\ abs} = \frac{M_s}{(V_2 - V_1)}$$

$M_{V\ abs}$ : Masse volumique absolue.

$M_s$ : Masse des grains solides

$V_1$ : volume de l'eau

$V_2$ : volume total (grains solides+ eau).

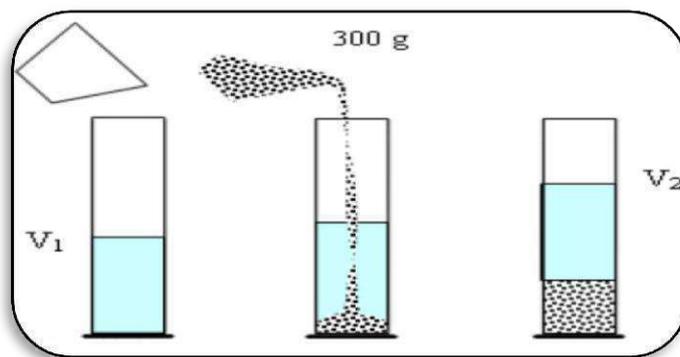


Figure II- 3 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau [BOULIFA. M et al 2017]



Figure II- 4 : essai la masse volumique absolue.

## 2. *La masse volumique apparente*

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique apparente à partir de la formule suivante:

$$M_{V\ app} = \frac{M_T - M_0}{V}$$

Avec :

M<sub>0</sub>: La masse du récipient de mesure vide.

M<sub>T</sub>: La masse du récipient avec l'échantillon.

V : le volume du récipient de mesure.



Figure II- 5 : Essai la masse volumique apparente.

## 3. *Masse volumique absolue pour les poudres (NF P18-558)*

### ➤ **Objectif de l'essai**

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue du ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment, tout en restant comprise entre 2,9 et 3,20 g/ cm<sup>3</sup>.

### ➤ **Principe de l'essai**

On repère en comparant la masse (m<sub>c</sub>) d'un volume connu de ciment (V<sub>c</sub>) à la masse (m<sub>t</sub>) d'un même volume d'un liquide dont la masse volumique (ρ<sub>t</sub>) est connue.

➤ **Mode d'opérateur**

Remplir l'appareil par le liquide inerte jusqu'à ce que le niveau parvienne entre les divisions zéro et 1. Éviter de mouiller les parois lors du remplissage. Immerger le voluménomètre dans un récipient contenant de l'eau à  $20 \pm 1$  °C. Pendant l'équerrage de température, peser une masse de ciment de 64 g à 0,1 g près.

Repérer exactement le niveau atteint  $N_0$ . Verser le ciment très lentement (en  $\frac{1}{4}$  d'heure environ) dans l'appareil en prenant garde à ne pas laisser de dépôt sur les parois.

Déplacer le voluménomètre contenant le ciment, de récipient et le poser sur la table. Boucher le voluménomètre, l'incliner à  $45^\circ$  par rapport à la table et le faire rouler avec un mouvement de va-et-vient de manière à faciliter le départ de l'air.

Replacer l'appareil dans le bain et lire le niveau  $N_1$  du liquide après équilibrage de température.

La masse volumique absolue est donnée par le rapport:

$$M_V = \frac{64}{(N_1 - N_0)}$$



Figure II- 6 : La masse volumique absolue pour les poudres

**II-2-4- Mesure la consistance de la pâte (NF EN 196- 3)****1. Principe d'essai**

La pate de ciment de consistance normalisée à une résistance spécifiée à la pénétration d'une sonde normalisée. L'eau nécessaire à une telle pate est déterminée par des essais de pénétration sur pates à quantités d'eau différentes.

**2. Mode d'opérateur****➤ Malaxage de la pâte de ciment**

Peser 500 g de ciment à 1 g près. Peser une quantité d'eau, par exemple 125 g, dans la cuve de malaxeur ou l'introduire dans celle-ci après l'avoir mesurée au moyen du cylindre ou de la burette graduée.

Ajouter le ciment à l'eau et ceci soigneusement afin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment. La durée de cette opération ne doit être ni inférieure à 10 s. Noter la fin de cette opération comme temps zéro servant de référence aux mesures de temps ultérieures. Mettre le malaxeur en route immédiatement du malaxeur de 3 min.



**Figure II- 7 : malaxeur de mortier**

➤ **Essai de pénétration**

Régler l'appareil Vicat muni au préalable de la sonde par abaissement de celle-ci jusqu'à la plaque de base et par ajustement du repère au zéro de l'échelle. Relever la sonde en position d'attente.

Placer le moule et la plaque de base aussitôt après arasement de la pâte dans l'axe de la sonde de l'appareil Vicat. Abaisser la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte. Observer une pause de 1 s à 2 s à cette position de manière à éviter une vitesse initiale ou une accélération forcée des parties mobiles. Lâcher alors rapidement les parties mobiles et laisser la sonde pénétrer verticalement au centre de la pâte. La libération de la sonde doit avoir lieu 4 min après l'instant zéro. Effectuer la lecture de l'échelle à la fin de la pénétration ou 30 s après la libération de la sonde, selon que l'une ou l'autre de ces deux limite de temps se présente la première.

Enregistrer la lecture de l'échelle, qui indique la distance entre la face inférieure de la sonde et la plaque de base, conjointement avec la teneur en eau de la pâte exprimée en pourcentage de la masse du ciment. Nettoyer la sonde immédiatement après chaque pénétration.

Répéter l'essai avec des pâtes ayant des teneurs en eau différentes jusqu'à ce qu'il s'en trouve une donnant une distance de  $(6 \pm 1)$  mm entre la sonde et la plaque de base. Enregistrer la teneur en eau de cette pâte exprimée à 0,5 % près comme teneur en eau pour l'obtention de la consistance normalisée.



Figure II- 8 : essai de pénétration

**II-2-5- Détermination du temps de prise (NF EN 196- 3)****1. Détermination du temps de début de prise**

Régler l'appareil de Vicat muni au préalable de l'aiguille par abaissement de celle-ci jusqu'à la plaque de base et par ajustement du repère au zéro de l'échelle. Relever l'aiguille en position d'attente.

Remplir un moule Vicat de pâte de consistance normalisée.

Placer le moule rempli ainsi que sa plaque de base dans la salle ou dans l'armoire humide spécifiées et/ au bout d'un temps convenable, les placer au-dessous de l'aiguille de l'appareil Vicat. Abaisser l'aiguille avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte. Observer une pause de 1 s à 2 s à cette position de manière à éviter une vitesse initiale ou une accélération forcée des parties mobiles. Lâcher alors rapidement les parties mobiles et laisser l'aiguille pénétrer verticalement dans la pâte. Effectuer la lecture de l'échelle à la fin de la pénétration ou 30 s après la libération de l'aiguille, selon que l'une ou l'autre de ces deux limites de temps se présente la première.

Enregistrer la lecture de l'échelle, qui indique la distance entre l'extrémité de l'échelle et la plaque de base, conjointement avec le temps écoulé depuis l'instant zéro. Répéter l'essai de pénétration sur la même éprouvette à des positions convenablement espacés, à plus de 10 mm du bord du moule, ou l'une de l'autre, et à des intervalles de temps convenablement espacés, par exemple à des intervalles de 10 min. Conserver l'éprouvette entre les essais de pénétration dans une salle ou une armoire humide. Nettoyer l'aiguille de Vicat aussitôt après chaque pénétration. Enregistrer le temps mesuré depuis l'instant zéro, au bout duquel la distance entre l'aiguille et la plaque de base est de  $(6 \pm 3)$  mm comme temps de début de prise du ciment à 5 min près. On peut obtenir la précision requise en réduisant l'intervalle de temps entre les essais de pénétration à l'approche du dernier et en observant que les résultats successifs ne varient pas excessivement.

**2. Détermination du temps de fin de prise**

Retourner le moule rempli sur sa plaque de base de façon que les essais de fin de prise soient faits sur la face de l'éprouvette primitivement en contact avec la plaque de base. Munir l'aiguille d'un accessoire annulaire pour faciliter l'observation précise de faibles pénétrations. Suivre le mode opératoire décrit en détermination du temps de début de

prise. Les intervalles de temps entre les essais de pénétration peuvent être augmentés jusqu'à 30 min par exemple.

Conserver l'éprouvette entre les essais de pénétration dans une salle ou une armoire humide. Nettoyer l'aiguille de Vicat aussitôt après chaque pénétration.

Enregistrer, à 15 min près, le temps mesuré depuis l'instant zéro, au bout duquel l'aiguille ne pénètre pour la première fois qu'à 0,5 mm dans l'éprouvette comme temps de fin de prise du ciment. Ce temps est celui au bout duquel l'accessoire cesse de laisser une trace sur l'éprouvette et peut être déterminé avec précision en réduisant l'intervalle de temps entre les essais à l'approche du dernier et en observant que les résultats successifs ne varient pas excessivement.



**Figure II- 9 : détermination du temps de début de prise**



**Figure II- 10 : détermination du temps de fin de prise**

**II-2-6- Mortier normalisé**

Le mortier normalisé est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme EN196-1. [DUPAIN R. et al, 2000]

Ce mortier doit être composé en masse d'une partie de ciment, de trois parties de sable normalisé et d'un demi-partie d'eau (le rapport eau/ciment=0.5).

Avant d'être utilisé pour les différents essais de maniabilité, de prise ou de résistance, ce mortier est malaxé pendant 4 min conformément aux prescriptions de la norme :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur, y verser ensuite le ciment, aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30 s suivantes. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30 s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci .
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau ci-dessous. [DUPAIN. R et al, 2000]

**Tableau II- 1 : opération de malaxage [DUPAIN R. et al, 2000]**

opérations	Introduction De l'eau	Introduction Du ciment		Introduction Du sable		Raclage de la cuve		
Durée			30s	30s	30s	15s	1min 15s	60s
Etat du Malaxeur	Arrêt		Vitesse lente		Vitesse rapide	Arrêt		Vitesse rapide

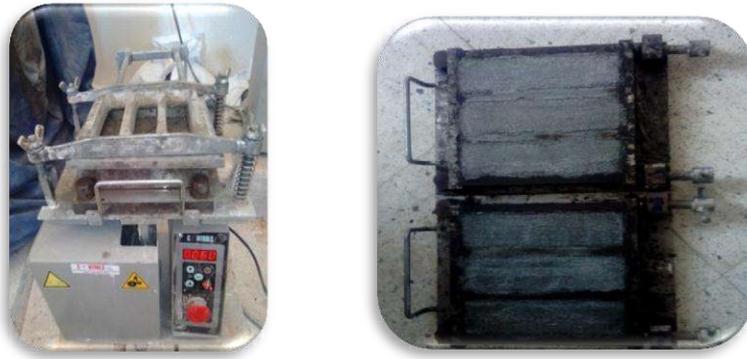


Figure II- 11 : table de choc et des moules.

### II-2-7- Essai au maniabilimètre B

#### ➤ Objectif de l'essai

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou super plastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. [DUPAIN. R et al, 2000]

#### ➤ Principe d'essai

Dans ces essais la consistance est caractérisée par le temps que le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. [DUPAIN. R et al, 2000]

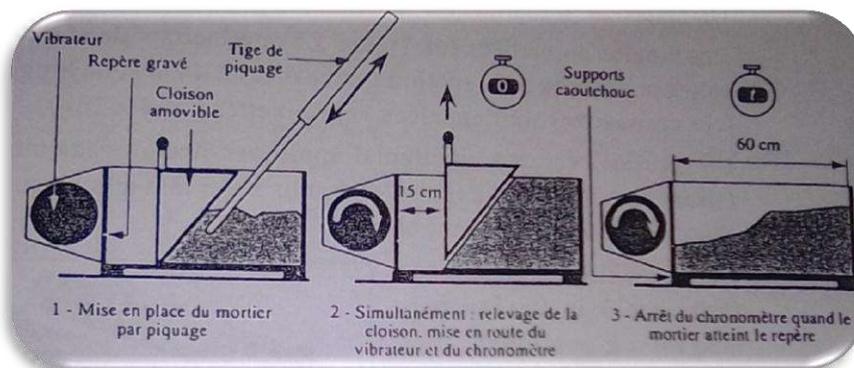


Figure II- 12 : principe de fonctionnement du maniabilimètre B

#### ➤ Mode d'opérateur

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison son et mis en place en 4 couches, chaque couche étant soumise à 6coups au moyen de la tige de piquage. 4minutes après la fin du malaxage la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps  $t$  mis par le mortier pour s'écouler

caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide (ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil). [DUPAIN. R et al, 2000]

### II-2-8- Essai des résistances à la compression et à la traction (EN 196-1)

#### ➤ Objectif de l'essai

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

#### ➤ Principe de l'essai

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

#### ➤ Conduite de l'essai

- La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai. Avec le mortier normal, on remplit un moule 4\*4\*16. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux couches et en appliquant au moule 60chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide.
- Entre 20h et 24h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  jusqu'au moment de l'essai de rupture.
- La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif

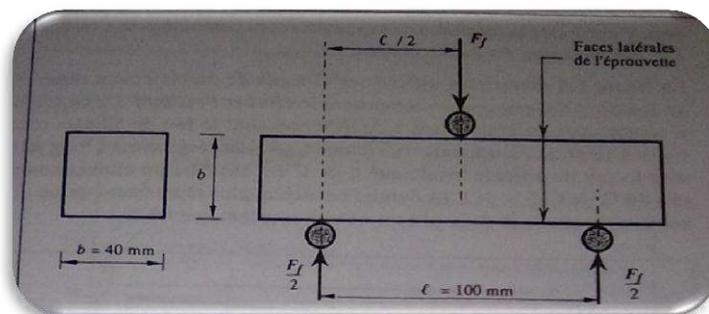


Figure II- 13 : dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

Si  $F_f$  est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut  $F_f l/4$  et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{1.5 * F_f l}{b^3}$$

Cette contrainte est appelé la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions  $b$  et  $l$ , si  $F_f$  est exprimé en newtons(N), cette résistance exprimée en mégapascals (MPa) vaut :

$$R_f = 2.34 * 10^{-3} * F_f \text{ (N)}$$

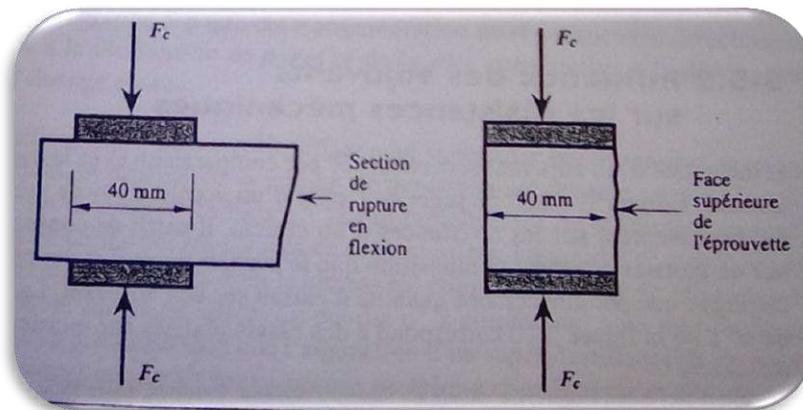


Figure II- 14 : dispositif de rupture en compression [DUPAIN. R et al, 2000]

Les demi- prismes de l'éprouvettes obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression .si  $F_c$  est la charge de rupture vaudra :

$$R_c \text{ (MPa)} = \frac{F_c}{b^2}$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si  $F_c$  est exprimée en newtons, cette résistance exprimée en mégapascals vaut :

$$R_c \text{ (MPa)} = \frac{F_c \text{ (N)}}{1600}$$

### II-2-9- Essai d'absorption d'eau

Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau des éprouvettes de mortier saturée, mises en contact avec de l'eau. Nous faisons qui ce suit :

- Sécher les éprouvettes du mortier dans l'étuve ventilée à une température 32°C jusqu'à 24h et mesurer le masse sèche ( $M_s$ ).
- Après l'étuvage d'éprouvette nous avons immergé totalement dans l'eau pendant un duré jusqu'à la saturation du matériau et mesurer le nouveau poids ( $M_{ab}$ ) après 24h.

On peut déterminer le degré d'absorption calculée suivant la masse d'échantillon notée  $H_p(\%)$  :

$$H_p = \frac{M_{ab} - M_s}{M_s} \times 100$$

Où :

$M_s$  : est la masse sèche d'échantillon.

$M_{ab}$  : est la masse absorbante.

#### II-2-10- Essai de porosité volumique

Indique que la prosimètre à l'eau peut être une méthode plus réaliste que la prosimètre par intrusion. Car l'eau peut pénétrer dans des espaces d'une taille de 5.0 $\mu$ m. A partir du volume de l'éprouvette, on peut alors calculer sa porosité volumique représentant le rapport de son volume poreux à son volume total. [BOULIFA M. et al, 2017]

Premièrement la masse de l'échantillon à l'état sec a été prélevée ( $M_{sec}$ ). Ensuite les éprouvettes ont été immergées dans l'eau. Tout d'abord, les éprouvettes sont mises dans un récipient, puis l'immersion est réalisée sur la moitié de la hauteur des échantillons. Après 15 minutes, les échantillons sont complètement immergés. Ce procédé réduit l'enfoncement de l'air au cœur des échantillons. [Hager, 2004].

Des mesures de masse sont effectuées au fils du temps jusqu'à saturation complète. Nous considérons qu'un échantillon est saturé lorsque l'écart entre deux mesures successives de masse espacées de 24 heures est de l'ordre de la précision de la balance utilisée, soit 0.01 g. [HACHEMI. S, 2015]

Une fois que l'échantillon est saturé, la pesée en état saturé immergé dans l'eau est réalisée sur une balance hydrostatique ( $M_{sat}^{imm}$ ), puis elle est suivie par le pesage en état saturé d'eau ( $M_{sat}$ ). Avant cette pesée, chaque éprouvette est essuyée avec un linge afin

d'enlever les surplus d'eau de la surface. Cette opération doit être rapide afin de ne pas enlever l'eau dans les pores proches de la surface de l'éprouvette. [HACHEMI. S, 2015]

La porosité à l'eau est déterminée selon l'équation : (NF P 18-150)

$$P = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sat} - M_{sat}^{imm}} \times 100$$

P s'exprime en % (c'est un rapport volumique). La connaissance de la masse de l'éprouvette dans ces trois états (sèche, saturée immergée et saturé dans l'air) nous permet également de déterminer la densité  $D$  des échantillons. [HACHEMI. S, 2015]

$$D = \frac{M_{sat}}{(M_{sat} - M_{sat}^{imm}) \cdot \gamma}$$



Figure II- 15 : balancé hydrostatique

### II-2-11- Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques

#### ➤ Principe

Il s'agit d'évaluer la résistance du béton à partir de la vitesse de propagation d'ondes. Il est en effet reconnu et prouvé qu'il existe un rapport étroit entre la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques à l'intérieur de matériaux homogènes, et la qualité de ceux-ci. [YAGOUBI. M, 2016]

La vitesse est le quotient entre la distance séparant les transducteurs émetteur et récepteur par le temps de propagation de l'onde. [YAGOUBI. M, 2016]

➤ *Mode d'opérateur*

En a effectuer les mesures sur les éprouvettes après les faire sortir du bac de conservation et laisser sécher pendant 24h. Les éprouvettes prismatiques sont préparées pour effectuer des essais d'auscultation dynamique. Cette préparation consiste à faire certaines opérations préliminaires à savoir la calibration de l'appareil et marquer les points d'essais sur les éprouvettes afin de centrer les ondes dans la structure béton. Sur chaque éprouvette cubiques nous avons effectué 3 mesures, La vitesse (V) du parcour est lu directement sur un écran digital au moment de leur stabilisation. [YAGOUBI. M, 2016]



Figure II- 16 : essai de vitesse de propagation de son

## II-3- Les caractéristiques des matériaux

### II-3-1- Sable de construction

On utilisant un sable de construction de provenance de SIDI SLIMANE – TOUGGOURT situé à 160 km au Nord de OUARGLA, est un sable alluvionnaire à couleur jaune.

Tableau II- 2 : Les caractéristiques de sable de construction

$M_f$	F %	$C_u$	$C_c$	$M_{app}(g/cm^3)$	$M_{abs}(g/cm^3)$	$ES_v(\%)$	$ES_p(\%)$
2.122	2.56	2.30	1.18	1.47	2.50	93.6	91.52

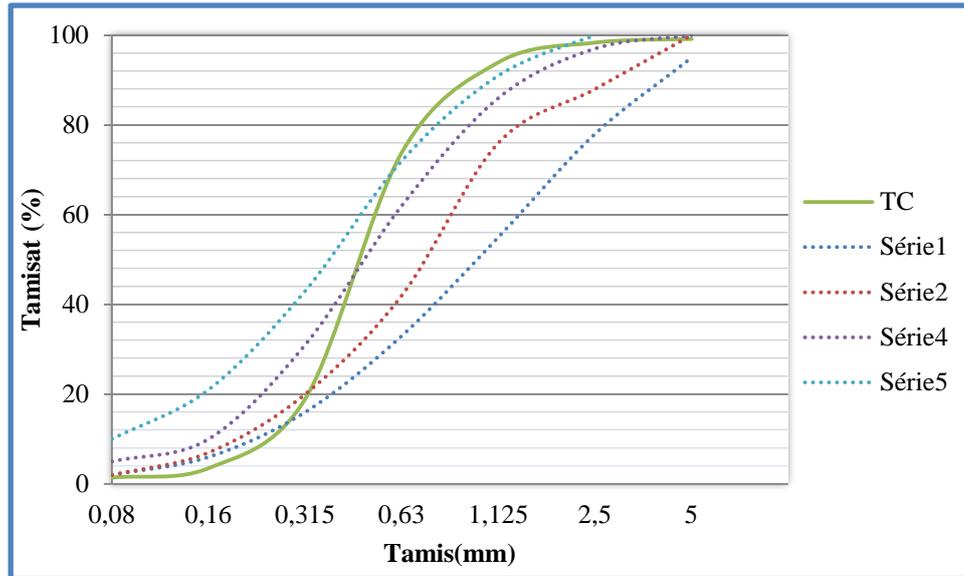


Figure II- 17 : Analyse granulométrique de sable

D'après les résultats obtenus nous remarquons que notre sable est un sable moyen régulier et propre.

### II-3-2- Sable de dune broyé

On utilise un sable de dune de Ain El- Beida Ouargla c'est un sable fine doré dont la dimension maximale des gros grains est de 2mm. Nous avons utilisé le sable sous forme de poudre à travers un broyeur de l'université OUARGLA et tamisages au tamis de diamètre 80 $\mu$ m.

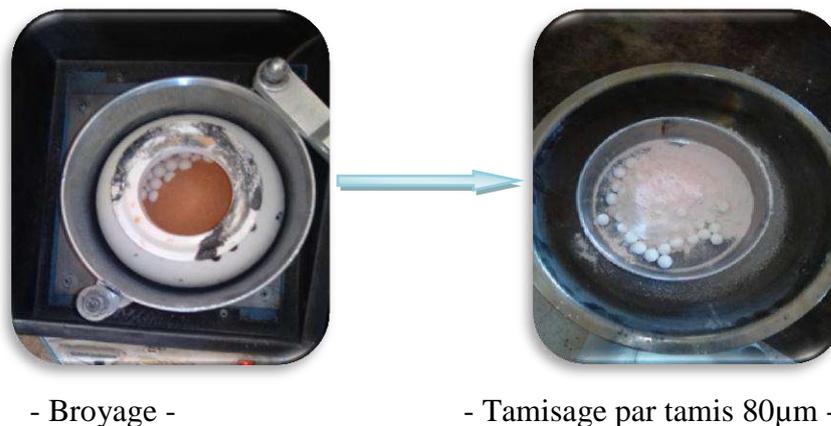


Figure II- 18 : les étapes de broyage de sable de dune

L'analyse chimique du sable de dune en poudre qui effectuée au niveau de LTPS Ouargla est représentée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II- 3 : Analyse chimique de sable de dunes en poudre**

	NaCl %	CaSO <sub>4</sub> %	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> %	CaCO <sub>3</sub> %	Insoluble
SDB	0.418	6.263	1.166	1.400	0	102.2

➤ **Les propriétés physiques**

- Masse volumique apparente : 0,960 g/cm<sup>3</sup>
- Masse volumique absolue : 2,55 g/cm<sup>3</sup>
- Surface spécifique de Blaine : 5304 cm<sup>2</sup>/g

**II-3-3- Fumé de silice**

Les fumées de silice sont un sous –produite de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible de diamètre (de l'ordre de 0.1µm). Pour être dans la composition d'un ciment en tant que constituant principale, elles doivent comporter au moins 85%(en masse) de silice amorphe. Les fumées de silice ont des propriétés pouzzolanique. L'analyse chimique du fumé de silice qui effectuée au niveau de LTPS Ouargla est représentée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II- 4 : Les analyses chimiques de fumée de silice**

	NaCl %	CaSO <sub>4</sub> %	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> %	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> %	CaCO <sub>3</sub> %	Insoluble %
FS	0.865	2.763	0.514	0.618	0	95.7

➤ **Les propriétés physiques**

- Masse volumique apparente : 0,603 g/cm<sup>3</sup>
- Masse volumique absolue : 2,12 g/cm<sup>3</sup>
- Surface spécifique de Blaine : 8100 cm<sup>2</sup>/g

**II-3-4- Le ciment (NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3)**

Le ciment utilisé est celui de la cimenterie de M'sila est un ciment gris résistant aux sulfates, le clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.



Figure II- 19 : le ciment utilisé

La composition chimique du ciment utilisé est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau II- 5 : Analyse chimique de ciment [fiche technique]

Perte au feu(%) (NA5042)	Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> )(%)	Teneur en Oxyde de magnésium MgO (%)	Teneur en chlorures (NA5042)(%)
0.5 à 3%	1.8 à 3	1.2 à 3	0.01 à 0.05

Tableau II- 6 : Propriétés physique de ciment

Consistance normale (%)	Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	Masse volumique absolue g/cm <sup>3</sup>	Masse volumique apparente g/cm <sup>3</sup>	Temps de début de prise (min)	Temps de fin de prise (min)
27.5	3454	3.14	1.0374	180	285

Tableau II- 7 : Résistance à la compression de ciment [fiche technique]

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

## II-4- Les compositions utilisées

Dans notre travail, nous avons préparé environ 144 éprouvettes pour la caractérisation physique et mécanique des mortiers confectionnés en différent pourcentage de fumée de silice et de sable de dunes en poudre. On donne les nomenclatures nommé dans le travail :

- **C** : Ciment.
- **SDP** : Sable de Dunes en Poudre
- **FS** : Fumée de silice
- **E** : Eau.
- **SC** : sable de construction

Tableau II- 8 : compositions utilisées pour le mortier

Composition	E/L	C %	SDP %	FS %
C01	0.5	100	0	0
C02	0.49	98	0	2
C03	0.48	96	0	4
C04	0.49	95	5	0
C05	0.49	90	10	0
C06	0.49	85	15	0
C07	0.5	93	5	2
C08	0.5	88	10	2
C09	0.5	83	15	2
C10	0.5	91	5	4
C11	0.5	86	10	4
C12	0.5	81	15	4

Le tableau suivant présent les quantités des compositions en mètre cube (m<sup>3</sup>) de mortier :

**Tableau II- 9 : Les des quantités compositions de mortier en (m<sup>3</sup>)**

Composition	C (kg)	Sc (Kg)	E (Kg)	FS (Kg)	SDP (Kg)
C01	488.9	1466.7	244.4	0	0
C02	479.1	1466.7	239.5	9.8	0
C03	469.3	1466.7	234.6	19.6	0
C04	464.46	1466.7	239.5	0	24.44
C05	440.02	1466.7	239.5	0	48.88
C06	415.58	1466.7	239.5	0	73.32
C07	454.66	1466.7	244.4	9.8	24.44
C08	430.22	1466.7	244.4	9.8	48.88
C09	405.78	1466.7	244.4	9.8	73.32
C10	444.86	1466.7	244.4	19.6	24.44
C11	420.42	1466.7	244.4	19.6	48.88
C12	395.98	1466.7	244.4	19.6	73.32

## II-5- Conclusion

Les essais effectués, nous permettons de prendre une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux utilisés pour les formulations des mortiers, et d'étudier les propriétés mécaniques.

---

---

# CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

---

---

## Chapitre III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### III-1- Introduction

Dans ce chapitre, nous allons résumer et analyser tous les résultats des expériences obtenues au cours de cette recherche sur mortier. Des essais physiques et mécaniques (maniabilité, absorption, la porosité, la masse volumique, lustration, la résistance à la compression et à la flexion...) ont été exécutés sur les mortiers à l'état frais et sec à l'aide des appareils disponibles au sein du laboratoire de département de génie civil et hydraulique et le laboratoire travaux publics sud (LTPS) unité de Ouargla et le laboratoire de (LNHC) unité de Ouargla.

### III-2- Masse volumique

#### III-2-1- Mortier binaire

L'histogramme de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, présente la variation de la masse volumique apparente de mortier à l'état frais en fonction du pourcentage de fumée de silice et sable de dunes en poudre respectivement.

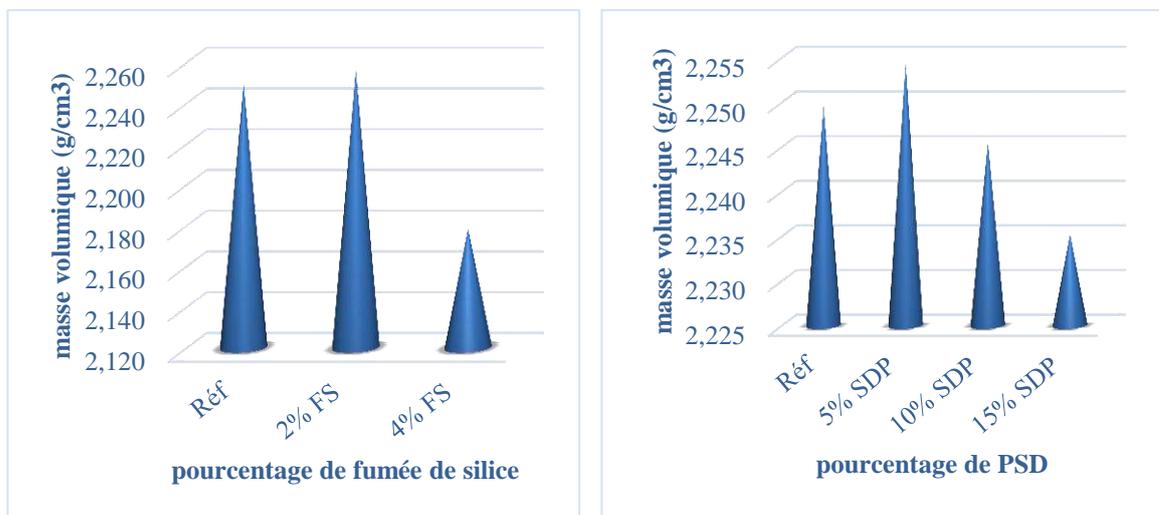


Figure III- 1 : masse volumique de mortier

Nous remarquons que dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** : l'effet de l'ajout de FS sur la masse volumique est important par rapport au mortier témoin, sauf pour les cas de mortier contenant 2% FS présente une faible masse volumique. L'effet de l'ajout de SDP sur la masse volumique est important par rapport au mortier témoin sauf

pour le cas de mortier contient 15% SDP a donné une faible masse volumique de 0.64% par rapport de référence.

### III-2-2- Mortier ternaire

L'histogramme de la Figure III-2, représente la variation de la masse volumique apparente de mortier à l'état frais en fonction du pourcentage de mélange de poudre (FS+SDP).

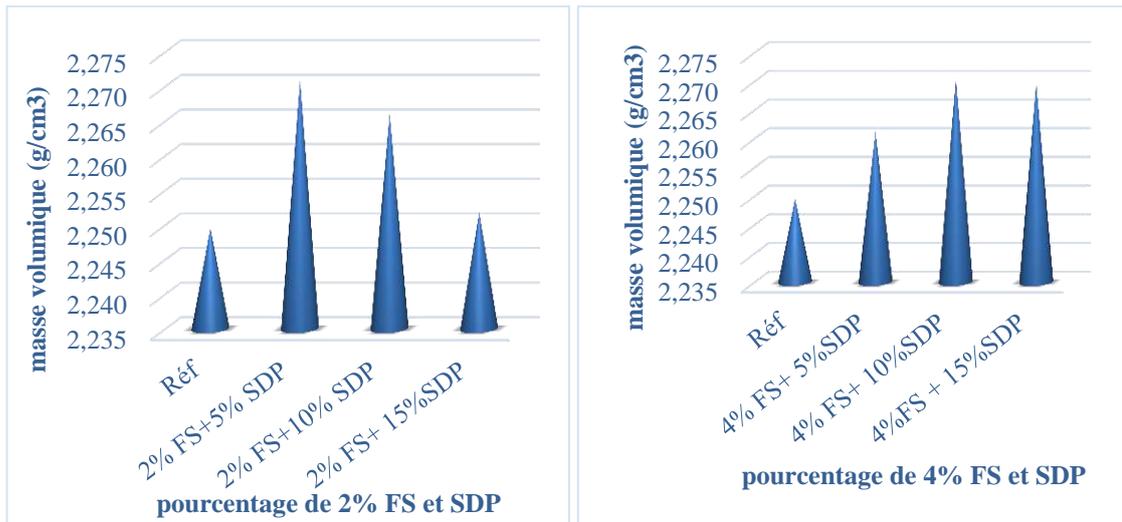


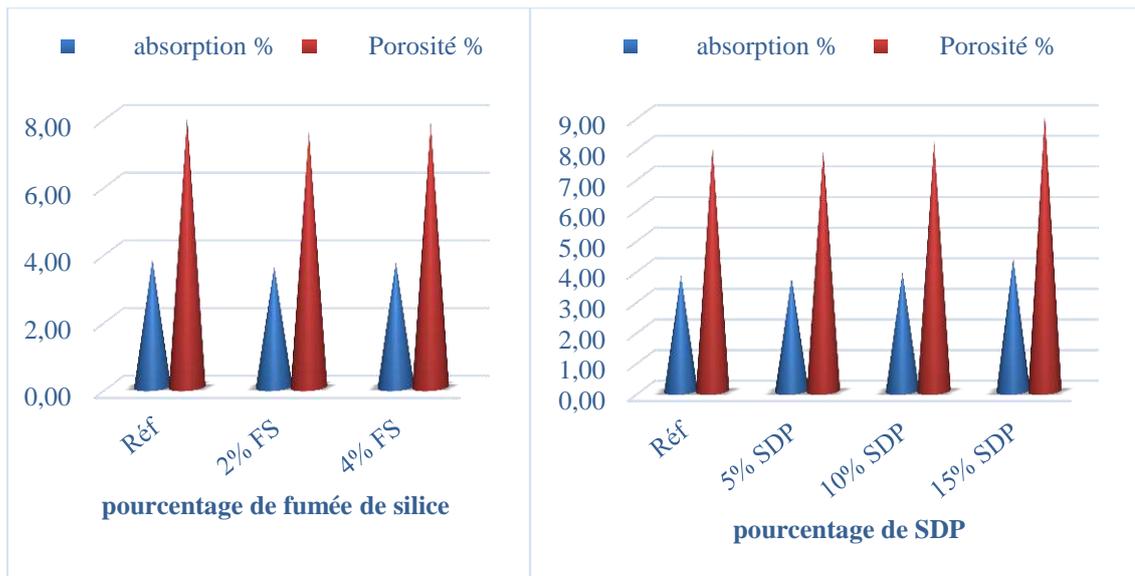
Figure III- 2: masse volumique de mortier en mélange (FS + SDP)

D'après la Figure III- 2, Nous remarquons que l'effet de l'ajout du mélange (FS + SDP) sur la masse volumique est important par rapport au mortier témoin. La composition 2FS+5SDP et 2FS+10SDP représentent les plus grandes valeurs de la masse volumique par rapport au mortier témoin d'un taux au plus de 8 %. Parallèlement, l'ajout de 4% de fumée de silice avec 5, 10 et 15% de sable de dune en poudre a augmenté la masse volumique des mortiers confectionnés de l'ordre de 4, 8 et 7.5% respectivement

### III-3- L'absorption et la porosité

#### III-3-1- Mortier binaire

L'histogramme de la Figure III- 3 présente la variation de l'absorption d'eau ( $H_p$ ) et de la porosité ( $P$ ) des éprouvettes durcis en fonction du pourcentage de fumée de silice et de sable de dunes en poudre respectivement.



**Figure III- 3: évolution de la porosité et d'absorption d'eau de mortier**

D'après la Figure III- 3, Nous observons que la porosité et l'absorption d'eau diminuent dans les différentes compositions de mortiers de FS par rapport à celle de référence. Le mortier avec 2% de FS donne une compacité élevée et par conséquent une faible porosité qui conduit à une faible absorption. La porosité et l'absorption d'eau de mortier à 5%SDP proportionnellement similaire à celle de mortier témoin, ces résultats s'accroissent par 'augmentation de SDP de 10 et 15%. Quoique le mortier avec 15% SDP donne le plus grand pourcentage de la porosité et l'absorption ce qui peut être expliqué par la bonne compacité de mortier avec 5%SDP et 2%FS.

### III-3-2- Mortier ternaire

L'histogramme de la Figure III- 4 présente la variation de l'absorption d'eau ( $H_p$ ) et la porosité ( $P$ ) en fonction du pourcentage de mélange de poudre (FS + SDP).

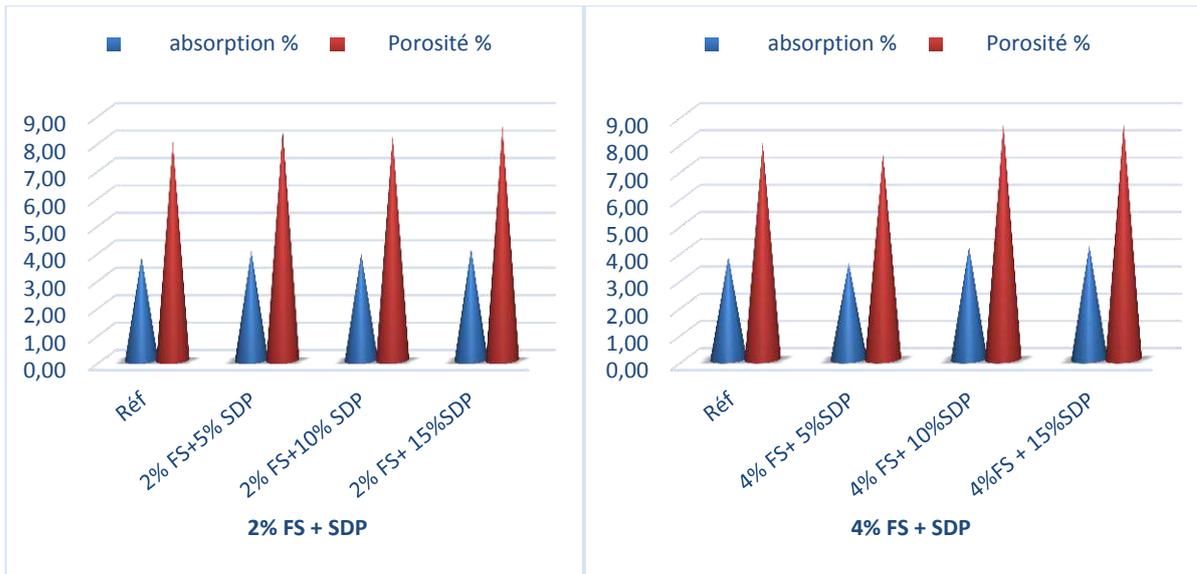


Figure III- 4 : évolution de la porosité et d'absorption d'eau de mortier en mélange de (FS + SDP)

D'après la Figure III- 4, nous observons que l'incorporation de 2% de FS avec (5, 10 et 15%) de SDP et 4% de FS avec 5% de SDP présentent des pourcentages de porosité et d'absorption d'eau proportionnellement similaire à celle de mortier de référence. Par contre nous remarquons une augmentation de porosité et de l'absorption pour les compositions (4FS+10SDP et 4FS+15SDP) de 6.5% de porosité et 12% d'absorption par rapport à la composition témoin.

### III-4- La densité

#### III-4-1- Mortier binaire

L'histogramme de la Figure III- 5, présente la variation de la densité des éprouvettes durcis en fonction du pourcentage de fumée de silice et de sable de dunes en poudre respectivement.

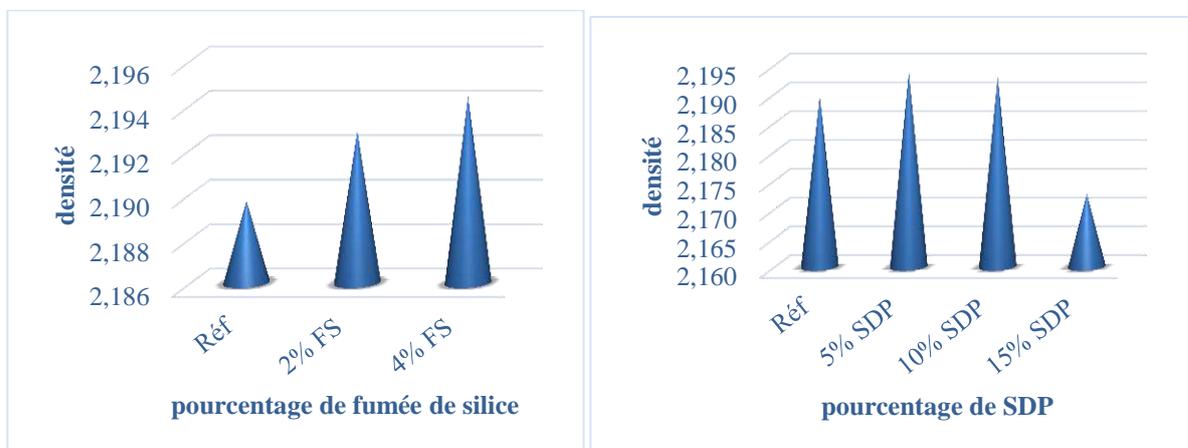
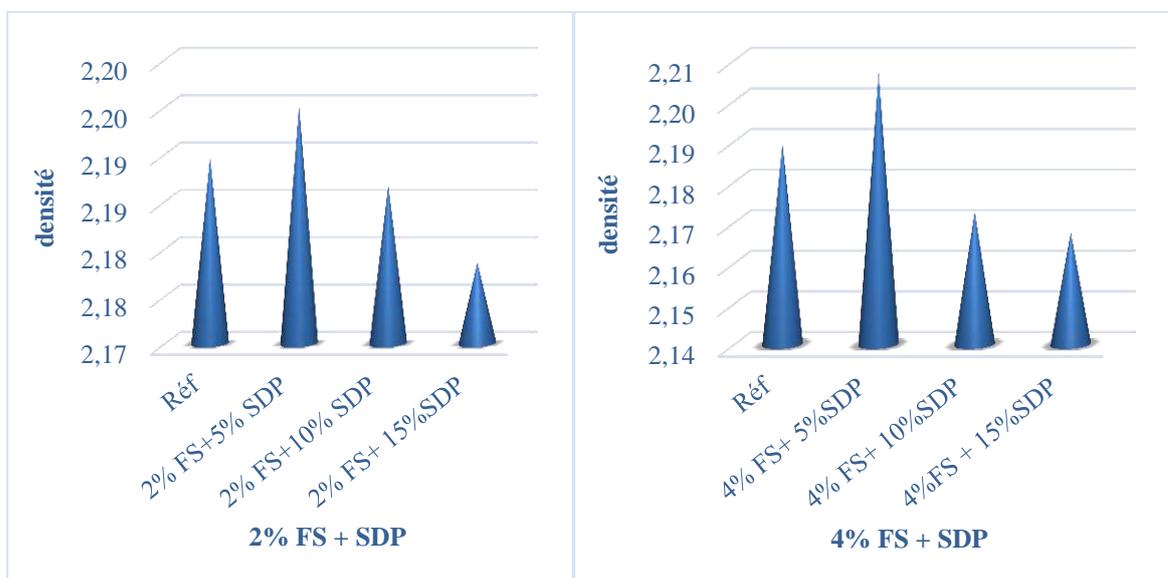


Figure III- 5 : densité de mortier binaire

Dans la Figure III- 5 nous remarquons que la densité de mortier à base de FS est développée en plus par rapport au mortier de référence ; plus le pourcentage de FS augmente, la densité augmente jusqu'au 2.194. D'autre part, la densité des compositions de (5 et 10% de SDP) figurent une augmentation de (0.22 et 0.13%) par rapport au témoin respectivement. Effectivement, la densité est diminuée d'ordre de 0.6% pour la **composition de 15% de sable de dune en poudre.**

### III-4-2- Mortier ternaire

L'histogramme de la Figure III- 6, représente la variation de la densité des éprouvettes en fonction du pourcentage de mélange de poudre (FS + SDP).



**Figure III- 6 : la densité de mortier en mélange de poudre (FS + SDP)**

Au la Figure III- 6, la variation de la densité comme suite :

La fixation de pourcentage de FS à la valeur 2% provoque une évolution de la densité des mortiers ternaire. Nous remarquons une progression de la densité de la composition (2FS+5SDP) de 0,22% au témoin ; puis elle va diminuer progressivement pour la composition (2FS+10SDP) et (2FS+15SDP) d'ordre de 0.22 et 0.54% successivement par rapport au mortier de référence.

La fixation de pourcentage de FS à la valeur 4% provoque la même allure de la densité du mortier ternaire ; une augmentation de 0.7% puis une chute de densité de 0.8 et 1% par rapport au témoin pour l'addition de SDP en (5, 10 et 15%) successivement. Cette évolution peut être causée par la variation de la densité des matériaux utilisés.

### III-5- Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques

#### III-5-1- Mortier binaire

L'histogramme de la Figure III-7, présentent la variation de la vitesse de propagation d'onde sonore en fonction du pourcentage de fumée de silice (FS) et de sable de dunes en poudre (SDP) respectivement.

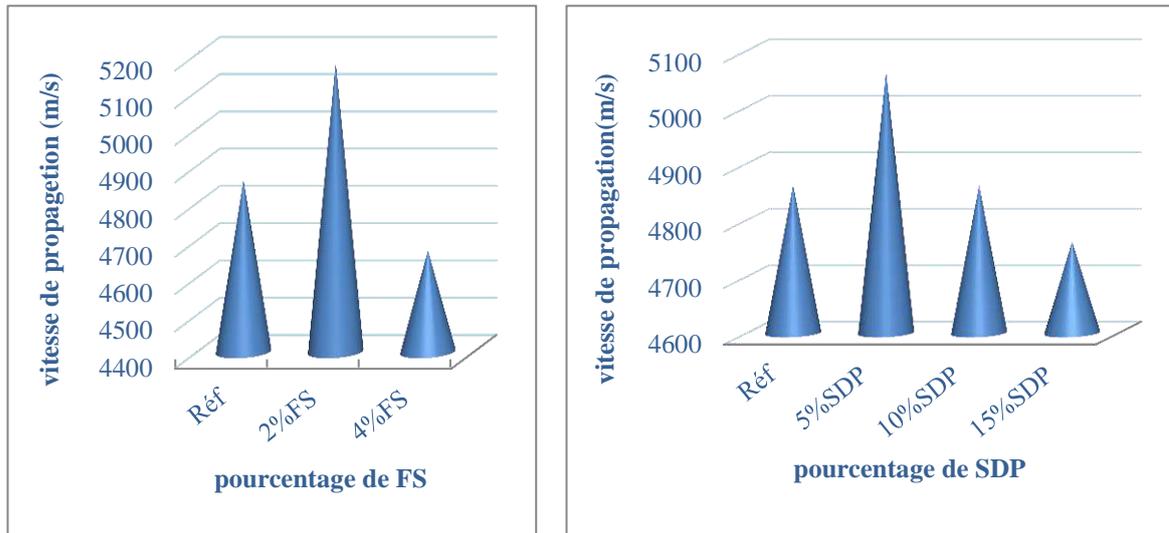


Figure III- 7: vitesse de propagation de son de mortier

La Figure III- 7 montre que la vitesse de propagation d'ondes onique est augmenté par l'ajout de 2% FS avec une augmentation par 6,47%, et parallèlement 4.13% pour l'addition de 5% SDP. Cette augmentation montre l'existence des vides dans le mortier. Par contre, l'incorporation de 4%FS et 15%SDP a réduit la vitesse de son de 4.7 et 1.8% par rapport au mortier de référence. La réduction de la vitesse de son illustre la grande compacité de mortier et la faible porosité de mortier.

#### III-5-2- Mortier ternaire

L'histogramme de la Figure III- 8 représente la variation de la vitesse de propagation de son des éprouvettes en fonction du pourcentage de mélange de poudre (FS + SDP)

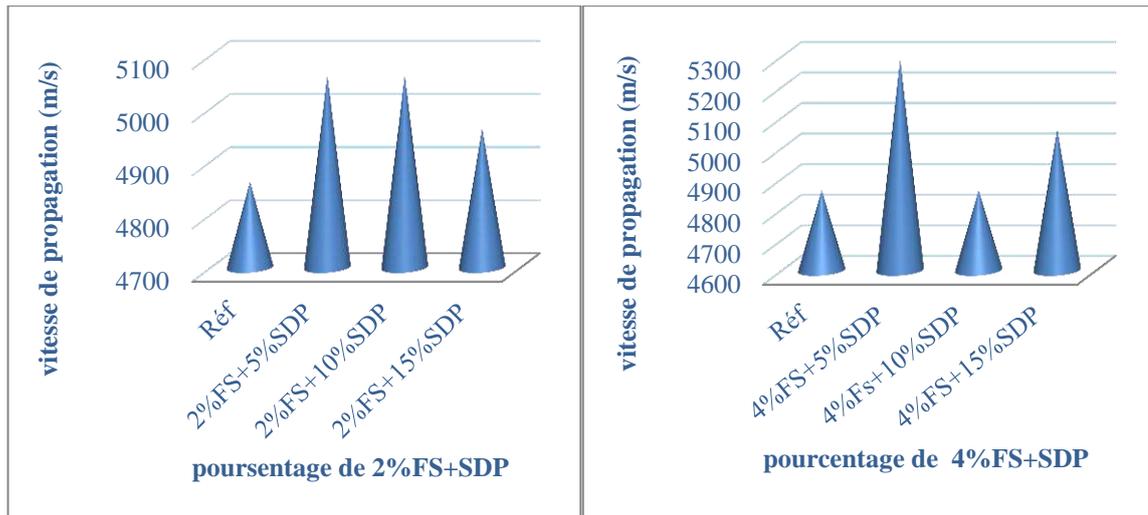


Figure III- 8: vitesse de propagation de son de mortier en mélange (FS + SDP)

Dans la Figure III- 8, nous notons que la vitesse de propagation de son est augmenté par l'addition de FS et SDP en proportion ternaire. La vitesse de son est évolué de 3 à 7.8% pour l'ajout de FS en 2 et 4% avec 5et 10% de SDP. Nous remarquons que le fumée de silice et le sable de dune en poudre influe négativement sur la vitesse de propagation de son.

### III-6- Résistance à la flexion

#### III-6-1- Mortier binaire

L'histogramme de la figure III-9, présente la résistance à la flexion en fonction du pourcentage de fumée de silice pour les jours suivants : 7 j, 14 j et 28.

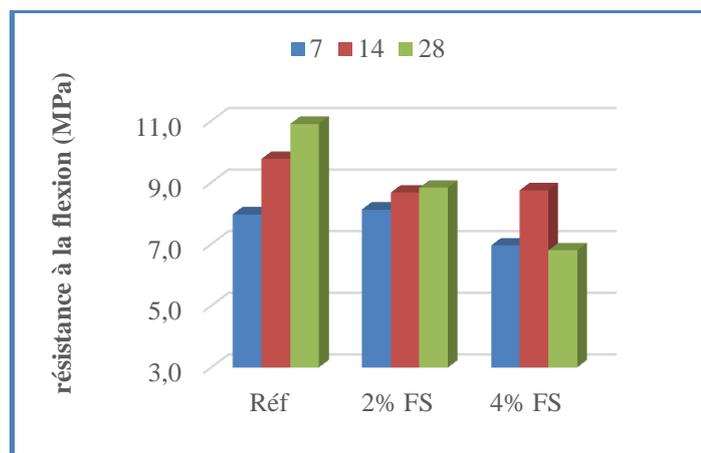
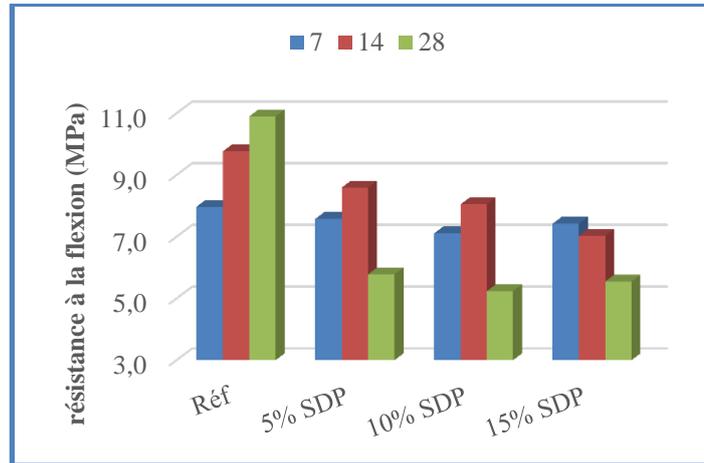


Figure III- 9 : effet de fumée de silice sur la résistance à la flexion

D'après la Figure III- 9, Pour 7 jours, nous avons noté que la valeur optimale de la résistance à la flexion était à la composition de 2%FS est plus importante par rapport a

mortier de référence d'ordre de 2%. A 14 jours, l'effet de FS sur le mortier à la résistance est diminué par rapport au mortier de référence. Par contre, l'ajout de fumée de silice influe négativement sur la résistance à la flexion à l'âge de 28 jours.

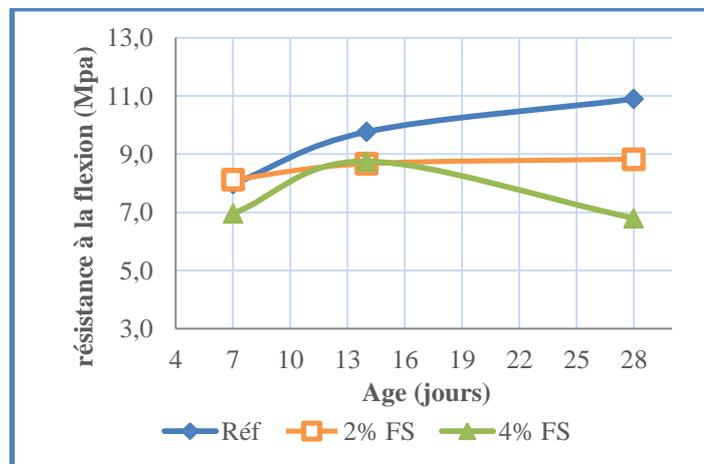
L'histogramme de la Figure III- 10, présente la résistance à la flexion en fonction du pourcentage de sable de dunes poudre pour les jours suivants : 7j, 14j et 28j.



**Figure III- 10 : effet de Sable de dunes en poudre sur la résistance à la flexion**

Pour l'ajout de SDP importé dans la Figure III- 10 ; nous observons que la résistance à la flexion de mortier à base de sable de dune en poudre est inférieure à celle de mortier de référence. L'effet de l'ajout de SDP est influé négativement sur la résistance à la flexion des compositions de mortier.

La courbe de la Figure III-11, représente la variation de la résistance à la flexion en fonction du temps pour la poudre de fumée de silice.

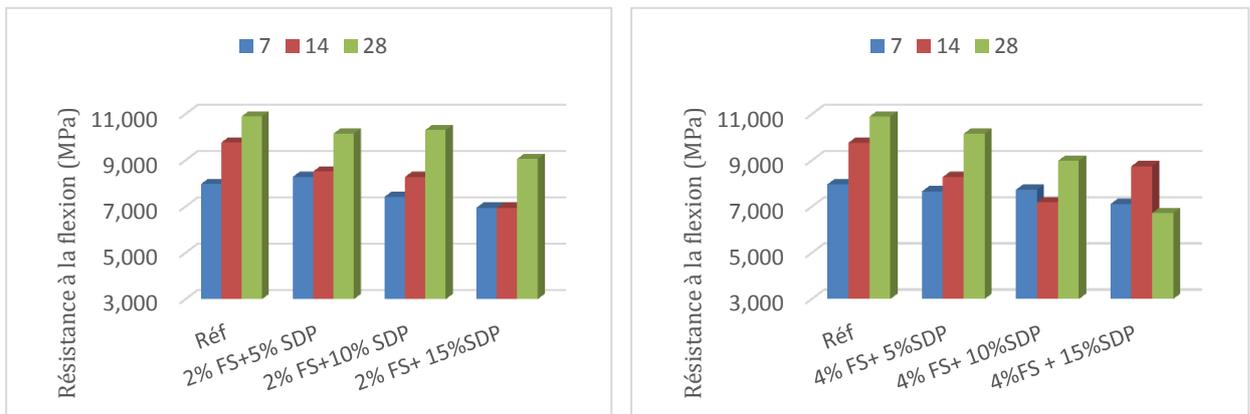


**Figure III- 11: résistance à la flexion en fonction de l'âge de mortier avec FS**

D'après la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** III-11, nous observons que la résistance à la flexion est évoluée progressivement en fonction l'âge de durcissement des mortiers sauf pour la composition de 4%FS. L'addition de fumée de silice influe négativement sur la résistance à la flexion par rapport au mortier de référence dans tous les âges de durcissements,

### III-6-2- Mortier ternaire

L'histogramme de la Figure III- 12 représente la variation de la résistance à la flexion des éprouvettes en fonction du pourcentage de mélange de poudre (FS + SDP).



**Figure III- 12 : effet de mélange (FS + SDP) à la résistance de mortier à la flexion**

D'après la Figure III- 12, Pour 7 jours, nous avons noté que la valeur optimale de la résistance à la flexion était à la composition (2FS + 5SDP) est plus importante par rapport le référence par 3,91%. Pour 14j, l'effet de l'ajoute de FS avec SDP est négative par rapport la référence.

- On ajoutant une valeur fixe de FS (2%) et modifiant la proportion de SDP : dans cette état la résistance diminue continuellement.
- On ajoutant une valeur fixe de FS (4%) : dans cette état la variante de la résistance irrégulière où le bon résultat à(4FS+15SDP) par rapport les autre. Mais le meilleur reste pour la référence.

Pour 28j, la résistance à la flexion pour cette composition négative par rapport la référence, mais la réduire irrégulièrement, et toujours la meilleure de résultat reste au mortier référence.

La courbe de la Figure III- 13, représente la variation de la résistance à la flexion en fonction du temps pour le mélange des poudres 2% FS avec pourcentage de SDP.

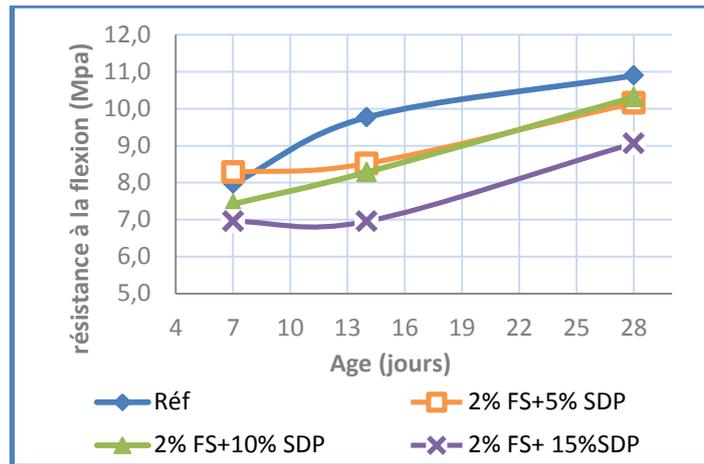


Figure III- 13 : résistance à la flexion en fonction de l'âge de mortier en mélange des poudres 2% FS avec pourcentage de SDP

D'après la Figure III- 13, nous remarquons que la résistance à la flexion est influée négativement par rapport au mortier de référence dans tous les jours, sauf pour la composition de (2 FS + 5 SDP) est augmentée que la référence à 7 jours. Mais à 28 jours, la résistance à la flexion des compositions (2FS+5SDP) et (2FS+10SDP) représentent des résultats plus proches que celle de mortier de référence. Par contre, la composition (2FS+15SDP) représente une résistance faible de 22% par rapport au témoin.

La courbe de la Figure III- 14 représente la variation de la résistance à la flexion en fonction du temps pour le mélange des poudres 4% FS avec pourcentage de SDP.

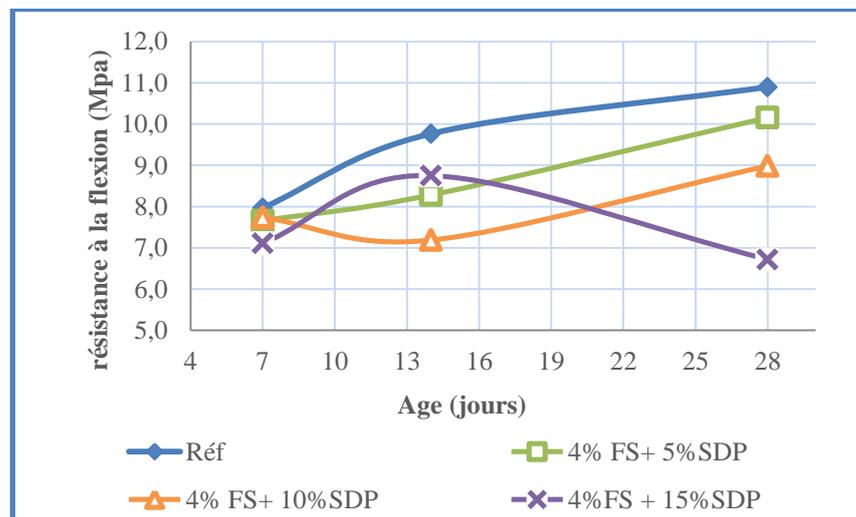


Figure III- 14 : résistance à la flexion en fonction de l'âge de mortier en mélange des poudres 4% FS avec pourcentage de SDP

D'après la Figure III- 14, nous remarquons que la résistance à la flexion des compositions à 4%FS+SDP n'est pas influée positivement sur le comportement mécanique par rapport au mortier référence. À 7 jours, la résistance des compositions

(4FS+5SDP) et (4FS+10SDP) est proportionnellement égale à la résistance de mortier témoin. Par contre, à 28 jours nous remarquons une diminution importante de la résistance en augmentant le pourcentage de l'ajout.

### III-7- Résistance à la compression

#### III-7-1- Mortier binaire

L'histogramme de la Figure III- 15 présente la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fumée de silice pour les jours suivants : 7j, 14j et 28j.

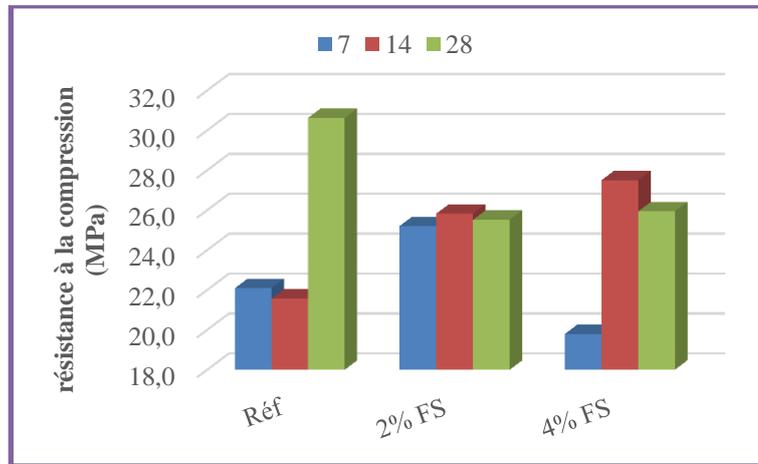


Figure III- 15 : effet de mortier avec FS sur la résistance à la compression

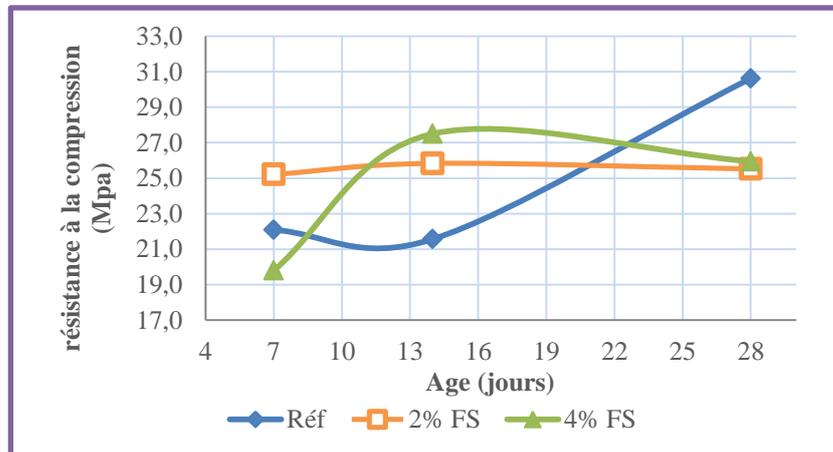


Figure III- 16 : résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier avec FS

D'après la Figure III- 15 et la Figure III- 16, nous observons que la résistance à la compression est évoluée progressivement en fonction de temps. L'ajout de 2% de fumée de silice influe positivement sur la résistance à 7 et 14 jours. Par contre, l'ajout de 4% de fumée de silice influe positivement à cette résistance. A 28 jours, l'addition de fumée de silice est influée négativement sur la résistance à la compression.

La Figure III- 17 et la Figure III- 18, présentent la résistance à la compression des compositions à base de sable de dune en poudre en différents pourcentages.

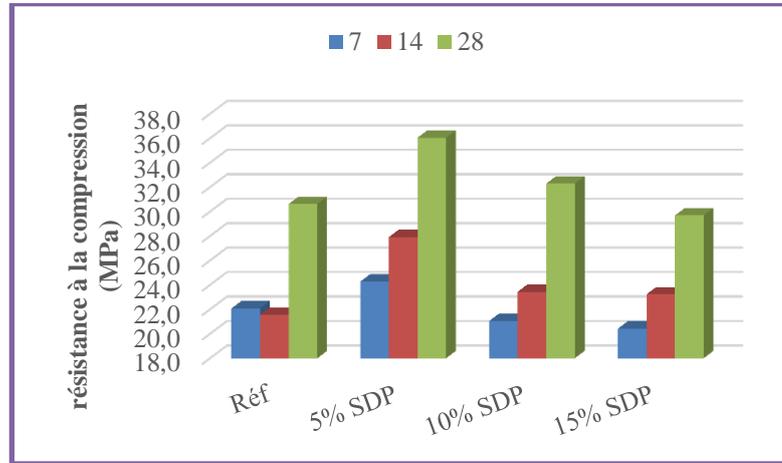


Figure III- 17: effet de mortier avec SDP sur la résistance à la compression

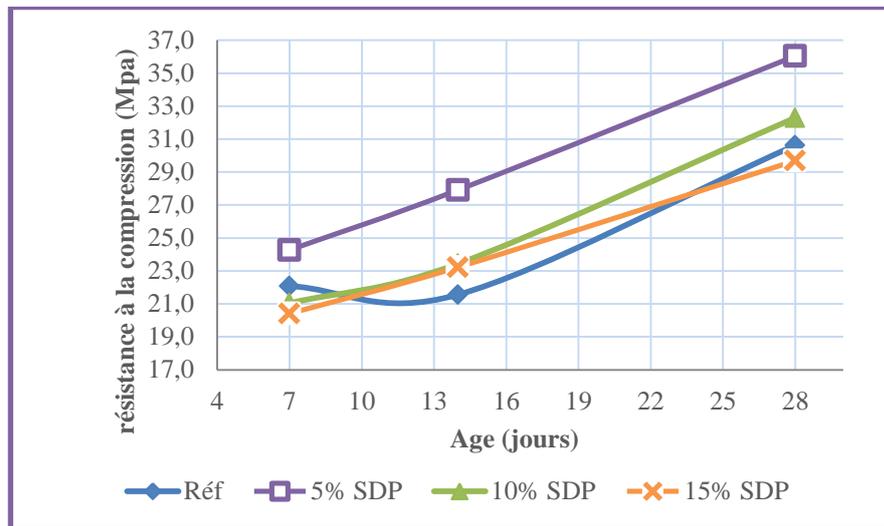


Figure III- 18 : résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier avec SDP

D'après la Figure III- 17 et la Figure III- 18, nous constatons que l'évolution de la résistance à la compression est progressivement en fonction de l'âge de durcissement de mortier. A 7 jours, la résistance à la compression du mortier augmente par rapport au mortier référence par l'augmentation de pourcentage de sable de dune en poudre de 5% de l'ordre de 11.3%. Par contre elle est diminuée avec l'augmentation de SDP à 10 et 15%.

L'addition de sable de dune en poudre en (5, 10 et 15%) influe positivement sur la résistance à la compression à 14 jours, soit. Par contre, l'addition de (5 et 10%) évolue la résistance à la compression par rapport au mortier de référence soit d'un taux de 18 et 5% respectivement.

Le sable de dunes en poudre proportions de 5% nous donne les meilleur résultats de la résistance en compression, au delà de cette proportion la résistance décroît.

### III-7-2- Mortier ternaire

L'histogramme de la Figure III- 199, représente la variation de la résistance à la flexion des éprouvettes en fonction du pourcentage de mélange de poudre (FS + SDP)

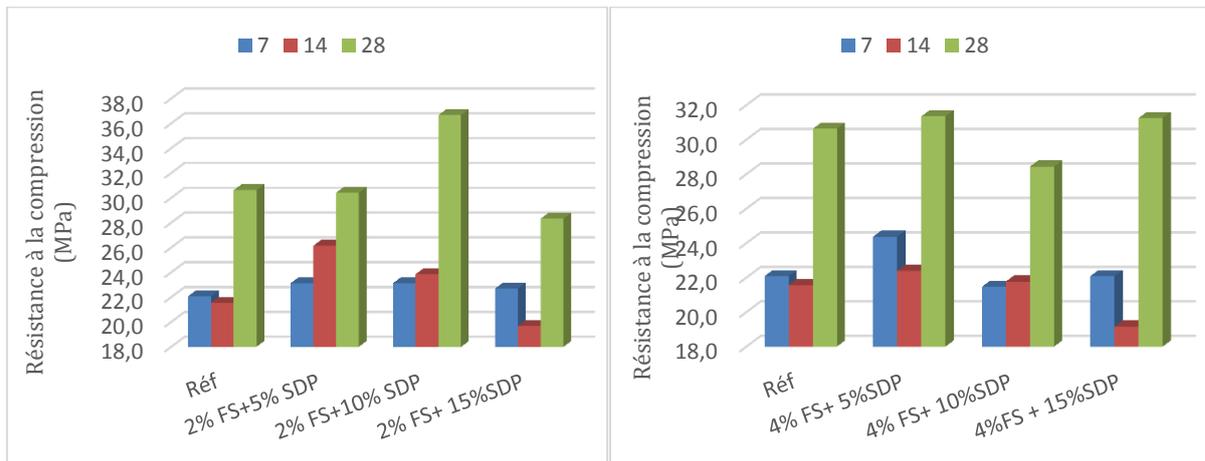


Figure III- 19: effet de mortier de mélange (FS + SDP) sur la résistance à la compression

D'après la Figure III- 19, la résistance à la compression du mortier à 7 jours de différentes compositions de (2%FS+SDP) sont augmentés par rapport au mortier référence, par contre, les résistances des compositions de (4%FS+SDP) sont proportionnellement à la résistance de composition témoin sauf pour la composition (4FS+5SDP) est augmentée de 2,83% par rapport au mortier témoin. A l'âge de 14jours, la composition de (2FS+5SDP), (2FS+10SDP), (4FS+5SDP) et (4FS+10SDF) illustrent une amélioration de résistance à la compression de l'ordre de 1 à 20% par rapport au mortier de référence. La meilleure résistance à cet âge est celle de (2FS+5SDP et 4FS+5SDP).

A 28jours, nous remarquons que la résistance à la compression du différent mortier, c'est comme suivant :

- La résistance est décroisé pour les composantes (2FS+5SDP, 2FS+15SDPet 4FS+10SDP) par 0,8% ; 7,8% ; 7,1% respectivement par rapport au mortier de référence.
- La résistance est influée positivement à mortier de référence pour les compositions (2FS+10SDP, 4FS+5SDP et 4FS+15SDP)par un taux

d'augmentation de 19,7% ; 2,3% ; 2, % successivement. Et la valeur optimale de la résistance est celle de (2FS+10SDP).

La courbe de la Figure III- 20 et Figure III- 21, représentent la variation de la résistance à la compression en fonction du temps pour le mélange des poudres 2% FS et 4% FS avec pourcentage de SDP.

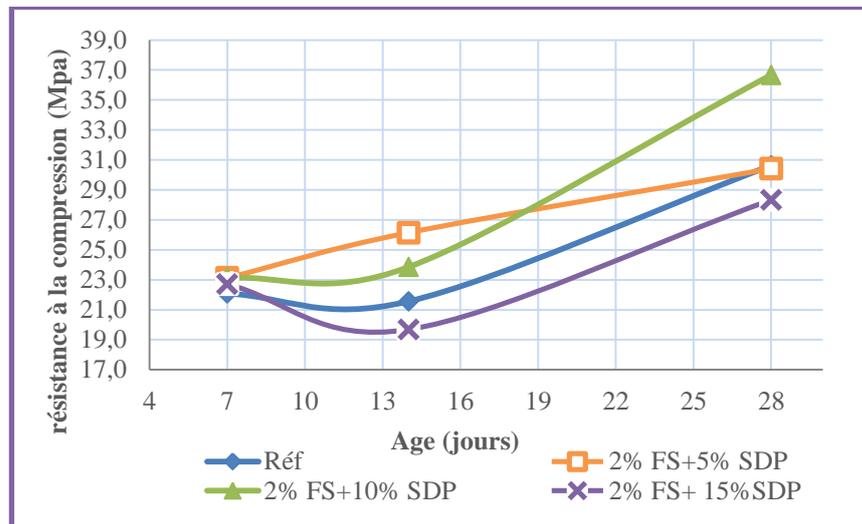


Figure III- 20: résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en mélange des poudres 2% FS avec pourcentage de SDP

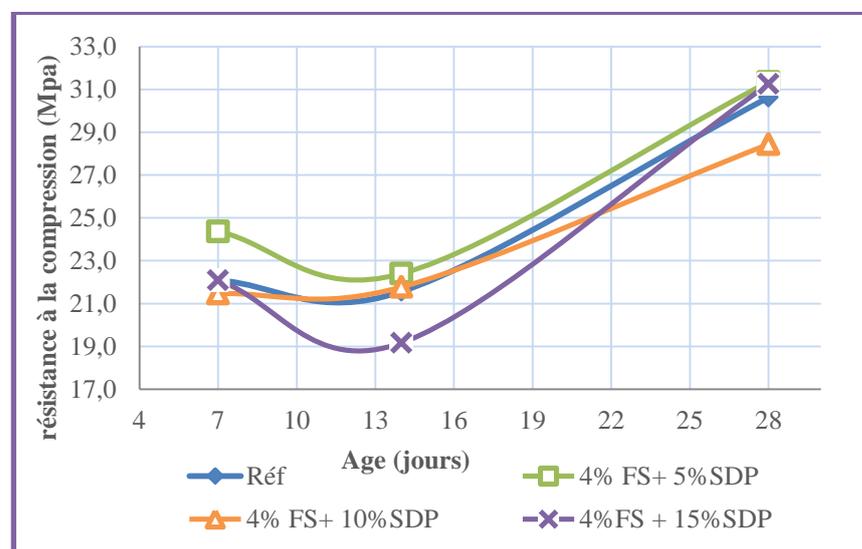


Figure III- 21 : résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en mélange des poudres 4% FS avec pourcentage de SDP

D'après la Figure III- 20, nous remarquons que la résistance à la compression est influée négativement pour l'ajout (2 FS + 15 SDP) par rapport au mortier de référence pour tous les âges de durcissements, par contre la de composition de (2 FS + 10 SDP) est

augmentée que la référence par 19,73% à 28j qui nous avons enregistrées comme bon résultat.

D'après la Figure III- 21, nous observons que la résistance à la compression est influée positivement par rapport au mortier référence par l'ajout de (4FS+5SDP) au toute âge de durcissement. Par contre l'ajout de (4FS+10SDP) et (4FS+15SDP) influe négativement sur le comportement de mortier.

### III-8- La consistance

Les histogrammes de la Figure III- 23, présentent la variation de la consistance de la pâte de ciment en fonction du pourcentage de fumée de silice et sable de dunes en poudre respectivement.

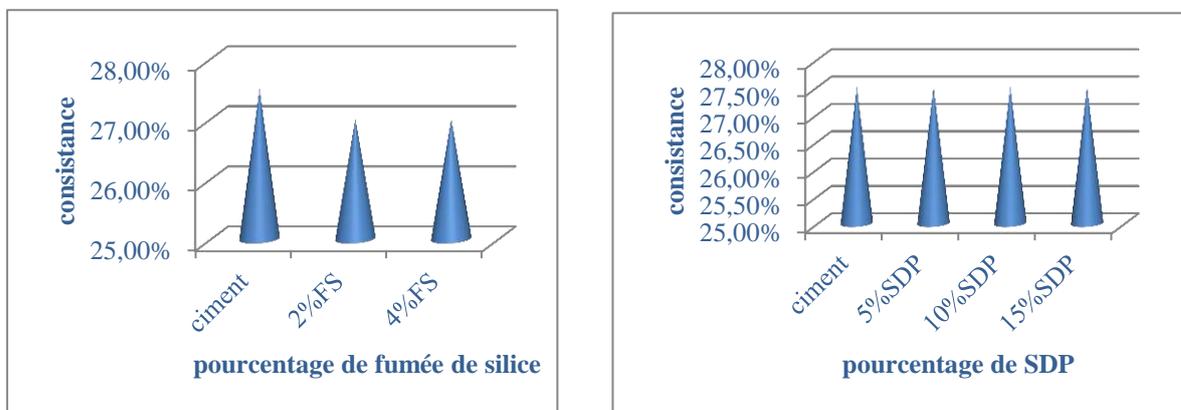


Figure III- 22: Essai de consistance de la pate de ciment avec et sans additions

D'après la Figure III- 23, nous avons notés que l'addition de fumée de silice diminue la consistance de la pate de ciment pure. Par contre que l'addition de SDP n'a aucune influence sur la consistance.

### III-9- Temps de prise de la pâte de mortier

Les histogrammes de la Figure III- 23, présentent la variation de temps de prise de la pâte de mortier en fonction du pourcentage de fumée de silice et sable de dunes en poudre respectivement.

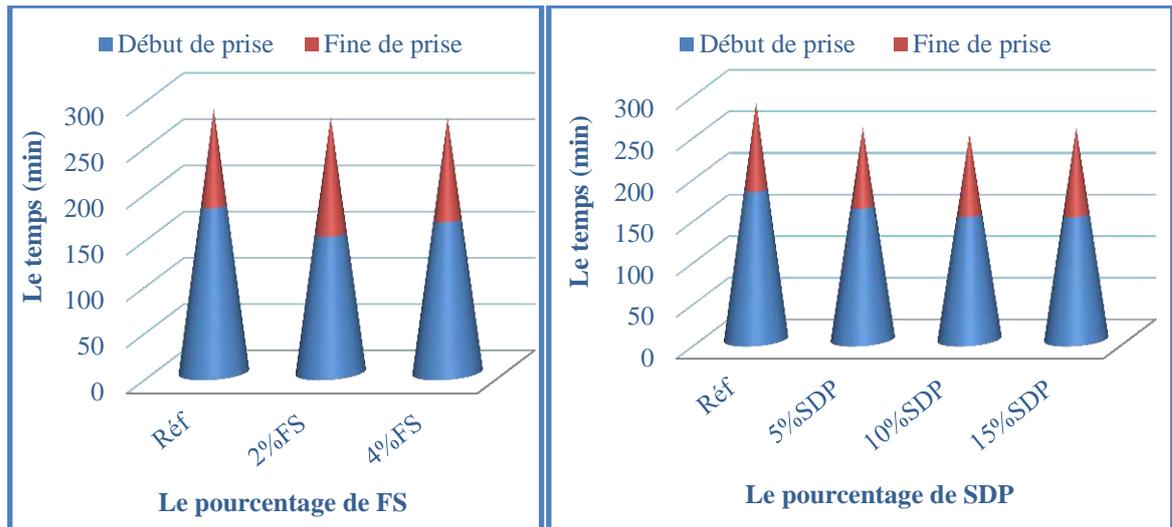


Figure III- 23 : Temps de prise de la pâte de mortier

D'après la Figure III- 23, nous remarquons que l'addition de sable de dune en poudre a diminué le temps de début et fin de prise, en augmentant le pourcentage de SDP le temps de début et fin de prise réduit. Par contre, la fumée de silice décroît le temps de début et fin de prise de dizaine de minute. Nous constatons que la fumée de silice et de sable de dune en poudre a accéléré la prise de ciment par rapport au ciment témoin.

### III-10- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié l'effet des additions minérales tel que le fumée de silice et le sable de dunes en poudre sur les caractéristiques physiques et mécaniques de mortier.

D'après les résultats de notre recherche on peut conclure que:

- ↪ L'ajout de FS améliore la consistance de pâte de ciment par contre de l'ajout SDP n'a aucune influence sur la consistance.
- ↪ L'ajout de SDP améliore la résistance à la compression et le pourcentage de 5% SDP donne le meilleur résultat, et cela est en accord par les résultats obtenues par CHABIS et all.

---

---

## CONCLUSION ET RECOMENDATION

---

---

## Conclusion générale :

L'objectif de la présente mémoire est d'étudier expérimentalement l'effet de l'utilisation des produits naturels existant dans le pays pour confectionner un ciment composé localement en utilisant les minéraux et produits locaux existant en Algérie notamment le sable de dune. La valorisation des ressources naturelles dans la construction et dans les matériaux de constructions peut réduire la grande demande des produits.

De ce fait, nous avons utilisé le sable de dune sous forme de poudre (broyage de sable) et la fumée de silice Afin d'exploiter les minéraux locaux et de contribuer à une éventuelle production d'un ciment composée ou un ciment spécial.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer des conclusions suivantes :

- L'utilisation de sable de dune en poudre en faible proportion (0 à 10%) améliore la résistance à la compression et physiques de ciment, ces résultats sont confirmés par l'étude de S. GUETTALA 2012 et S. DAHMANI 2018.
- L'addition de fumée de silice au béton de 2% présente une amélioration de la résistance mécanique de compression de ciment à long terme (+ 28 jours). Ce qui confirme les résultats d'A. KADRI 2014.
- L'incorporation des additions minérales, tel que le sable de dunes en poudre et le fumée de silice améliorent la maniabilité.
- L'utilisation de fumée de silice seul n'améliore pas les caractéristiques mécaniques et cela peut être à cause de faible activité de ce dernier.
- Pour la résistance à la compression, l'ajout de SDP, et (FS+SDP) donne des bonnes résultats par rapport à cela du mortier de référence dans les compositions suivante : (5%SDP ; 10%SDP ; 2%FS+10%SDP ; 4%FS+5%SDP ; 4%FS+15%SDP).

## Recommandation :

À la lumière des conclusions rapportées de ce mémoire, nous recommandons :

- ↪ Étude rhéologique et durabilité de ciment avec ajout.
- ↪ L'influence d'autres types d'ajouts minéraux disponibles en Algérie sur la résistance mécanique et la durabilité des mortiers et bétons.
- ↪ Contribution des ajouts minéraux aux attaques chimiques (acides et sulfuriques) des ciments ternaires.
- ↪ L'effet de séchage de ciment composé sur la durabilité des matériaux cimentaires aux zones arides et humides.
- ↪ L'influence des ajouts minéraux sur le comportement rhéologique des mortiers et bétons dans les milieux chimiques.
- ↪ Améliorer la finesse de sable de dunes en poudre ;
- ↪ Utiliser d'autre pourcentage ;
- ↪ Mélanger entre le sable de dunes et sable de construction avec différentes pourcentages.

---

---

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

---

---

## Référence bibliographique

**AFNOR.** Béton : Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètre .NF P 18-452.paris : AFNOR ,1988.13p.

**AFNOR.** Ciment : Composition, Spécifications et critères de conformité des ciments courants.NF EN 197-1.paris : AFNOR ,2001.27p.

**AFNOR.** Granulats : Détermination de la masse volumique absolue des fines.NF P18-558 .paris : AFNOR ,1990.4p.

**AFNOR.** Granulats : Equivalent de sable.NF P18-598.paris : AFNOR ,1991. 8 p.

**AFNOR.** Granulats: Analyse granulométrique par tamisage.NF P18-560 paris : AFNOR ,1990.9p.

**AFNOR.** Guide de rédaction des références bibliographiques. Z 44-005 –. Bibliothèques de l'Université d'Orléans : AFNOR, 2016/2017. 22 p.

**AFNOR.** Méthodes d'essais des ciments : Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques.NF EN 196-1.paris : AFNOR ,1995.25p.

**AFNOR.** Méthodes d'essais des ciments : Partie 3 : Détermination du temps de prise et de la stabilité. NF EN 196-3 .paris : AFNOR ,1995.11p.

**BELHOCINE,A et NAGOUDI,N.** Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux.2014. Master : génie civil : université. Ouargla.

**BENIA, M.** Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux sur le comportement mécanique du mortier et du béton à base de matériaux locaux.2016. Magister : génie civil : université. Ouargla.

**BOULIFA,M et DEBABI,A.** Utilisation de poudre de verre dans le mortier. 2017. Master :génie civil : université. Ouargla.

**CHABI S. MEZGHICHE B., ZEGHICH L.** Etude de l'influence de l'addition du sable broyé d'oued et de dune de la région de Biskra sur les bétons. 2005. colloque méditerranéen sur les matériaux CMEDIMAT.

**CIMBETON.** Fiches techniques, les constituants du béton et mortier. G10. paris : Amprincipe paris, 2005,71 p

**DAHMANI,S.** contribution à la production d'un ciment pétrolier à base de poudre de sable de dunes et d'autres minéraux. 2018. Doctorat : génie civil : université. Ouargla.

**DUPAIN,R ;LAHCHAN,R ;et SAINT AROMAN,J.C .**Granulats, sols, ciment et bétons.2<sup>ème</sup> édition. Paris : CASTELLA, 2000, 236 p.

**FISTA, J et DREAX, G.** nouveau guide du béton et de ses constituants. 8<sup>ème</sup> édition. EYROLLES, 1998, 406.

**GUETTALA, S.** contribution à l'étude de l'influence de l'ajout du sable de dunes finement broyé au ciment, sur les performances physico-mécaniques, la déformabilité et la durabilité du béton. 2012. Doctorat : génie civil : université. Ouargla.

**HACHEMI, S.** Etude de comportement du béton soumis à haute température : Influence du type de béton et de la nature des constituants.2015.Doctorat : génie civil : université. Ouargla.

**HAGER, G I.** Comportement à haute température des bétons à haute performance-évolution des principales propriétés mécaniques. 2004. Doctorat : Structures et matériaux : l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et l'Ecole Polytechnique de Cracovie.

**KADRI, El-H.** prévision de la résistance en compression des BHP avec fumée de silice. 2000. Magister : génie civil : université. Ouargla.

**KADRI,A.** contribution à l'amélioration de la durabilité du béton dans les zones enterrée de la wilaya d'Ouargla par l'ajout des minéraux locaux.2014. Magister :génie civil :université. Ouargla.

**LABAID.Y et SBAI. N.** L'effet de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire sur la résistance en compression des bétons contenant des fillers calcaires. 2016. Master académique : Géotechniques et Djelfa. Matériaux de construction [en ligne]. cours. 2013.

**YAGOUBI, M E.** Etude de caractérisation et corrélation aux moyens des essais non-destructifs (NDT) et essai direct d'un béton à haute performance (BHP) à base de matériaux locaux. 2016. Master : Matériaux : Université. Mohamed Boudiaf - M'sila.

---

---

# ANNEXES

---

---

## Annexes



Photo 1: broyage de sable de dunes



Photo 2 : les analyses chimiques de fumée de silice et de SDP



Photo 3 : Les étapes de préparations et collage de mortier



Photo 4: Essai de flexion



Photo 5 : Essai de compression

ALGÉRIE



# Mokaouem Plus

موكاويم بلس



## Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

**Mokaouem** est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mesure d'un ciment combinant un type base d'ouvrages de calcul avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

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

**Mokaouem** NA 442-CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 + 2013 et la EN 1267-11 est conforme à la norme nationale NA 442 + 2013 et à la norme Européenne EN 1267-1 avec un teneur en C3A = 3%.

### AVANTAGES PRODUIT

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



A member of LafargeHolcim

#### APPLICATIONS RECOMMANDÉES

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

#### FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)	Eau (litres)
<b>Dosage pour béton</b>	c29/30	X 1		25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

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

#### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques		Temps de prise à 20° (NA 230)	
	Valeur		Valeur
Perte au feu (%) (NA 5042)	0,5 à 3,0%	Début de prise (min)	> 60
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3	Fin de prise (min)	240 à 400
Teneur en oxyde de magnésium, MgO (%)	1,2 à 3		
Teneur en Chlorure (Cl) (%)	0,01 à 0,05		

Composition minéralogique		Résistance à la compression	
	Valeur		Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3,0%	2 jours (MPa)	>10
		28 jours (MPa)	>42,5

Propriétés physiques	
	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Fluxus suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA 311)	3200 à 3600
Retrait à 28 jours (mm/m)	< 0,050
Expansion (mm)	< 0,2
Chaleur d'hydratation	< 270 J/g

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

#### CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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

LAFARGE ALGÈRE  
Centre commercial Bab Ezzouar, Boite n° 03,  
Ergas, 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie  
Tél. + 213 (0) 21 98 54 54  
Fax. + 213 (0) 21 92 42 94  
www.lafarge.com  
dz.zach@lafarge.com  
Tél. 021 98 55 55

Photo 6 : Fiche technique de ciment