

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET.**

---



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**  
**DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master**

Spécialité : Génie civil

Option : structures

Présenté par :

Hamel Chourouk

&

Bouheka Abdia

*Sujet du mémoire*

**ÉTUDE DES MORTIERS à BASE D'UNE POUZZOLANE  
NATURELLE LOCALE**

*Soutenu publiquement le 29 juin 2022 devant le jury composé de :*

Mr. M. KHILOUN

President

Mr.: S BELMAHI

Encadreur

Mme : L. KHARROUBI

Examineur

Mr. : A. CHIKH

Examineur

PROMOTION : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# *Remerciements*

*Nous exprimons nos sincères Remerciements en premier lieu à notre dieu qui nous donne la force pour finir notre chemin d'enseignement*

*À notre professeur et encadreur monsieur BELMAHI Samir, pour Son encadrement, son aide mais également ses critiques qui m'ont permis de mener à bien cette étude., ainsi que pour leur rigueur scientifique*

*En deuxième lieu, je remercie les membres de jury, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail. Certes, leurs remarques et leurs conseils seront aussi utiles que nombreux, pour mes futurs travaux.*

*À l'ensemble des enseignants de la faculté des sciences appliquées en particulier le département de Génie Civil de Tiaret pour l'excellence formation qu'ils nous ont donnée.*

*L'ensemble des Ingénieurs et techniciens de laboratoires de département de Génie Civil, Pour leurs aides et j'ai eu le plaisir de travailler avec eux.*

## *Dédicace*

*A*mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien  
et leurs prières tout au long de mes études.

*A*ma chère sœur Sara pour ses encouragements permanents, et son soutien moral.

*A*mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

*A*toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que  
ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien  
infaillible.

*Merci* d'être toujours là pour moi

*CH&A*

## Résumé

Ce travail consiste à étudier l'effet de l'incorporation de la pouzzolane naturelle sur les propriétés mécaniques des mortiers à base de ciment et du sable.

L'idée principale consiste à fabriquer un mortier à divers pourcentages de pouzzolane pour savoir la limite de l'utilisation de cette dernière et de comparer ce mortier avec un mortier ordinaire. L'ajout de filler calcaire est un travail secondaire pour savoir le comportement du mélange filler-pouzzolane.

Les résultats ont montré que l'utilisation de la pouzzolane a donné des résultats acceptables à bons, mais sont faibles que le mortier témoin, ainsi, l'utilisation d'un ciment de classe de résistance de 42.5 MPa ou 52.5 est plus convenable à cette étude. Il est constaté aussi que l'ajout de filler calcaire a amélioré un peu la résistance à la traction.

Pour ce travail, le taux idéal de la substitution du ciment par la pouzzolane était de 10% pour les deux classes de ciment 32.5 et 42.5 ainsi pour le cas d'ajout de filler calcaire.

**Mots clés :** mortier, pouzzolane, filler calcaire, résistance, béton.

## **Abstract**

This work consists in studying the effect of the incorporation of natural pozzolan on the mechanical properties of cement-based mortars and sand.

The main idea is to make a mortar with various percentages of pozzolane to know the limit of the use of the latter and to compare this mortar with an ordinary mortar. The addition of limestone filler is a secondary work to know the behavior of the filler-pozzolan mixture.

The results showed that the use of pozzolan gave acceptable to good results, but are weaker than the control mortar, so the use of a cement with a strength class of 42.5 MPa or 52.5 is more suitable for this study. It is also found that the addition of limestone filler slightly improved the tensile strength.

For this work, the ideal rate of substitution of cement by pozzolan was 10% for the two classes of cement 32.5 and 42.5 as well as for the case of adding limestone filler.

**Key words:** mortar, pozzolan, limestone filler, strength, concrete.

## ملخص

يتكون هذا العمل من دراسة تأثير دمج البوزولان الطبيعي على الخواص الميكانيكية للملاط الأسمنت والرمل. الفكرة الرئيسية هي صنع ملاط بنسب مختلفة من البوزولان لمعرفة حدود استخدام هذا الأخير ومقارنة هذا الملاط مع ملاط عادي. تعد إضافة حشو الحجر الجيري عملاً ثانوياً لمعرفة سلوك خليط الحشو والبوزولان.

أوضحت النتائج أن استخدام البوزولان أعطى نتائج جيدة مقبولة، لكنه أضعف من ملاط عادي، لذلك فإن استخدام أسمنت بدرجة مقاومة 42.5 ميغا باسكال أو 52.5 أكثر ملاءمة لهذه الدراسة. ونجد أيضاً أن إضافة حشو الحجر الجيري أدى إلى تحسن طفيف في مقاومة الشد.

بالنسبة لهذا العمل، كان المعدل المثالي لاستبدال الأسمنت بالبوزولان 10٪ لنوعين من أسمنت 32.5 و42.5 وكذلك في حالة إضافة مادة حشو الحجر الجيري.

**الكلمات المفتاحية:** الملاط، البوزولان، حشو الحجر الجيري، المقاومة، الخرسانة.

# SOMMAIRE

---

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1

## CHAPITRE 01 : GÉNÉRALITÉ SUR LES MORTIERS

1.1 Introduction .....	2
1.2 Généralités .....	2
1.3 Constituants des mortiers .....	3
1.3.1 Le ciment .....	3
1.3.1.1 Définitions.....	3
1.3.1.2 Historique.....	4
1.3.1.3 La fabrication du ciment .....	4
1.3.1.4 Les différents types de ciment.....	5
1.3.2 Le sable.....	6
1.3.2.1 Rôle de sable dans le mortier .....	7
1.3.3 L'eau de gâchage.....	7
1.3.4 Les adjuvants .....	7
1.4 Types de mortier .....	8
1.4.1 Le mortier-ciment.....	8
1.4.2 Le mortier-hydrofuge .....	8
1.4.3 Le mortier réfractaire.....	8
1.4.4 Le mortier de chaux.....	9
1.4.5 Le mortier-colle.....	9
1.5 Classification des mortiers .....	10
1.5.1 Selon leur domaine d'utilisation .....	10



## SOMMAIRE

---

1.5.2 Selon la composition .....	10
1.6 Classes des mortiers .....	11
1.7 Les emplois des mortiers .....	12
1.7.1 Les enduits .....	12
1.7.2 Les chapes .....	12
1.7.3. Les joints de maçonnerie .....	13
1.7.4 Les scellements et les calages .....	13
1.8 Les ajouts et les additions.....	14
1.8.1 Définition des ajouts.....	14
1.8.1.1 Les laitiers de hauts fourneaux.....	14
1.8.1.2 Les cendres volantes .....	15
1.8.1.3 Les fumées de silice.....	15
1.8.1.4 Les pouzzolanes naturelles.....	16
1.8.1.5 Les fillers calcaires .....	16
1.8.1.6 Les argiles calcinées .....	17
1.9 Conclusion .....	17

### **CHAPITRE02: LES AJOUTS ET LA POUZZOLANE NATURELLE**

2.1 Introduction .....	18
2.2 Historique .....	18
2.2.1 L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil .....	18
2.2.2 L'utilisation des ajouts en Algérie.....	18
2.3 La pouzzolane .....	19
2.3.1 Réaction pouzzolanique.....	20
2.3.2 Liants pouzzolaniques .....	20
2.4 Formulation de pouzzolane .....	21
2.5 Activation des pouzzolanes .....	21

## SOMMAIRE

---

2.5.1 Estimation de l'activité pouzzolanique.....	21
2.5.2 Nature des hydrates formés lors de la réaction pouzzolanique .....	22
2.5.2.1 Hydratation des ciments aux pouzzolanes .....	22
2.6 Types de pouzzolane .....	23
2.6.1 Pouzzolane naturelle.....	23
2.6.1.1 Matériaux d'origine volcanique (Les roches Pyroclastiques) .....	24
2.6.1.2 Matériaux d'origine sédimentaire.....	24
2.6.1.3 Matériaux d'origine mixte (roche hybride).....	25
2.6.2 Pouzzolane artificielle .....	25
2.6.2.1 Cendres volantes.....	26
2.6.2.2 Argiles, Schistes, Terres de diatomées torréfiées .....	26
2.7 Propriété de la pouzzolane.....	27
2.7.1 Propriétés hydrauliques .....	27
2.7.2 Propriétés physiques de remplissage .....	27
2.8 Effet de La pouzzolane.....	27
2.8.1 A l'état frais.....	27
2.8.2 A l'état durci.....	27
2.9 L'influence de la pouzzolane naturelle sur la qualité des mortiers .....	28
2.9.1 L'effet chimique.....	28
2.9.2 L'effet physique .....	28
2.9.3 L'effet mécanique .....	28
2.10 Caractéristique d'une pouzzolane naturelle .....	29
2.10.1 Caractéristiques chimique.....	29
2.10.2 Caractéristiques physiques.....	29
2.11 Principales utilisations de la pouzzolane.....	30
2.12 Conclusion .....	31

## SOMMAIRE

---

### CHAPITRE03: CARECTÉRISATION DES MATÉRIEUAU UTILISÉS

3.1 Introduction .....	32
3.2 Caractéristiques des matériaux .....	32
3.2.1 Le ciment .....	32
3.2.1.1 Ciment CHAMIL.....	32
3.2.1.2 Ciment AWTED.....	34
3.2.2 Le sable.....	35
3.2.2.1 Masse volumique.....	36
3.2.2.2 Essai d'analyse granulométrique .....	37
3.2.2.3 Essai d'équivalent de sable .....	38
3.2.3 La pouzzolane naturelle .....	38
3.2.3.1 Broyage de la pouzzolane .....	39
3.2.3.2 Tamisage de granulométrique .....	39
3.2.3.3 Masse volumique.....	40
3.2.3.4 Caractérisation technique de pouzzolane .....	41
3.2.4 Les fillers calcaires .....	41
3.2.4.1 Masse volumique de filler calcaire .....	42
3.2.4.2 Analyse granulométrique de filler calcaire .....	42
3.2.5 Eau de gachage.....	43
3.2.6 L'adjuvant.....	43
3.2.6.1 Adjuvant MEDAFLOW.....	43
3. 3 Conclusion.....	46

### CHAPITRE 04 : LA CONFECTION DES MORTIERS ET ESSAIS MÉCANIQUES

4.1 Introduction .....	47
4.2 Partie expérimentale.....	47
4.2.1 Formulation des mortiers .....	47

## SOMMAIRE

---

4.2.1.1 Mortiers ordinaires témoins .....	47
4.2.1.2 Mortiers à base de pouzzolane .....	48
4.2.1.3 Mortiers à base de pouzzolane et de filler calcaire.....	49
4.2.2 Préparation des mortiers .....	49
4.2.3 Préparation des éprouvettes .....	50
4.2.4 Conservation des éprouvettes.....	52
4.3 Caractéristiques mécaniques des éprouvettes.....	53
4.3.1 Résistance à la traction par flexion.....	53
4.3.2 Résistance à la compression.....	54
4.4 Conclusion .....	55

### **CHAPITRE 0 5 : RÉSULTATS ET INTERPÉTATION**

5.1 Introduction .....	57
5.2 Résultats .....	57
5.2.1 Mortier ordinaire (témoin) .....	57
5.2.2 Mortier à base de pouzzolane.....	58
5.2.3 Mortiers à base de pouzzolane et de fillers calcaire .....	59
5.3 Discussions .....	59
5.4 Conclusion .....	63

## LISTE DES TABLEAUX

---

### Chapitre 02

Tableau 2. 1. caractéristique chimique de la pouzzolane .....	29
Tableau 2. 2. caractéristique physique de la pouzzolane naturelle [37] .....	30

### Chapitre 03

Tableau 3. 1. Caractéristique technique du ciment CHAMIL .....	33
Tableau 3. 2. Caractéristique technique de ciment « AWTED » .....	35
Tableau 3. 3. résultats de la masse volumique « sable » .....	36
Tableau 3. 4. résultats de l'analyse granulométrique de « sable » .....	37
Tableau 3. 5. résultats de l'analyse granulométrique de « sable » .....	40
Tableau 3. 6. résultats de la masse volumique « pouzzolane » .....	40
Tableau 3.7. Caractéristique technique de la pouzzolane naturelle .....	41
Tableau 3. 8. masse volumique « filler calcaire » .....	42
Tableau 3. 9. Analyse granulométrique sur le filler calcaire .....	42
Tableau 3. 10. caractéristique de l'adjuvant MEDA FLOW .....	44

### Chapitre 04

Tableau 4. 1. compositions massiques des mortiers témoins.....	47
Tableau 4. 2. Compositions massiques des mortiers à divers pourcentages de pouzzolane.....	47
Tableau 4. 3. Compositions massiques des mortiers à divers pourcentages de mélange (pouzzolane +filler). .....	48

## LISTE DES TABLEAUX

---

### Chapitre 05

Tableau 5. 1. Résultats des mortiers ordinaires après 28 jours. ....	57
Tableau 5. 2. Résultats des mortiers à base de pouzzolane après 28 jours (Ciment CHAMIL). .....	57
Tableau 5. 3. Résultats des mortiers à base de pouzzolane après 28 jours (Ciment AWTED). .....	58
Tableau 5. 4. Les Résultats du mortier à base de pouzzolane et filler calcaire après 28 jours (Ciment AWTADE). ....	58

# LISTE DES FIGURES

---

## Chapitre 01

Figure 1. 1. Mélange de mortier .....	3
Figure 1. 2. le ciment .....	4
Figure 1. 3. Les composantes de ciment .....	5
Figure 1. 4. Le sable .....	6
Figure 1. 5. Les adjuvants .....	7
Figure 1. 6. les enduits .....	12
Figure 1. 7. les chapes .....	12
Figure 1. 8. le joint maçonneries .....	13
Figure 1. 9. Laitiers de hauts fourneaux. ....	14
Figure 1. 10. Cendres volantes .....	15
Figure 1. 11. Fumées de silice.....	15
Figure 1. 12. la pouzzolane naturelle.....	16
Figure 1. 13. Fillers calcaires. ....	17
Figure 1. 14. Argiles calcinée. ....	17

## Chapitre 02

Figure 2. 1. Origines des pouzzolanes .....	19
Figure 2. 2. la pouzzolane naturelle .....	19
Figure 2. 3. Hydrates issus de la réaction pouzzolanique .....	20
Figure 2. 4. Les roches Pyroclastiques .....	24

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 2. 5. Les roches sédimentaires .....25

Figure 2. 6. les cendres volantes .....26

### **Chapitre 03**

Figure 3. 1. Le sac de ciment CHAMIL .....34

Figure 3. 2. Le sac de ciment « AWTED ».....35

Figure 3. 3. Matériel pour déterminer la masse volumique .....36

Figure 3. 4. Matériel d'analyse granulométrique. ....37

Figure 3. 5. essai d'équivalent de sable .....38

Figure 3. 6. pouzzolane naturelle. ....38

Figure 3. 7. Broyage et préparation de la pouzzolane. ....39

Figure 3. 8. analyse granulométrique de pouzzolane .....39

Figure 3. 9. filler calcaire.....41

Figure 3.10. Courbe granulométriques de différents granulats utilisés. ....43

Figure 3. 11. Adjuvant MEDA FLOW.....44

### **Chapitre 04**

Figure 4. 1. Fabrication des Mortiers. ....46

Figure 4. 2. Matériels utilisé de malaxage. ....49

Figure 4. 3. Malaxage et préparation des moules.....50

Figure 4. 4. Éprouvette de mortiers à l'état frais et durci. ....50



## LISTE DES FIGURES

---

Figure 4. 5. Marquage des éprouvettes.....	51
Figure 4. 6. Démoulage et conservation des éprouvettes dans l'eau.....	51
Figure 4. 7. Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion .....	52
Figure 4. 8. Machine de flexion .....	53
Figure 4. 9. Schéma type de l'essai de compression. ....	53
Figure 4. 10. essai de compression.....	54

### Chapitre 05

Figure 5. 1. Éprouvettes conservées pendant 28 jours. ....	56
Figure 5. 2. Effet de la pouzzolane sur la résistance à la compression (ciment CHAMIL).....	59
Figure 5. 3. Effet de la pouzzolane sur la résistance à la traction (ciment CHAMIL). ....	59
Figure 5. 4. Effet de la pouzzolane sur la résistance à la compression (Ciment AWTED).....	60
Figure 5. 5. Effet de la pouzzolane sur la résistance à la traction (Ciment AWTED). ....	61
Figure 5. 6. Influence de pourcentage de filler calcaire sur la résistance à la compression (Ciment AWTED). ....	62
Figure 5. 7. Influence de pourcentage de filler calcaire sur la résistance à la Traction (Ciment AWTED).....	62

## NOTATION

---

E/C : Le rapport d'eau sur le liant

Rt : Résistance à la traction en (MPa)

Ft : Charge de rupture en (N).

RC : Résistance à la compression en (MPa).

FC : Charge de rupture en (N).

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm

# *Introduction Générale*

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

Les ajouts font actuellement partie des développements les plus récents dans la production des matériaux cimentaires (mortier et béton), car leurs utilisations apportent d'une part une amélioration des propriétés physico-chimique et mécanique de ces derniers. D'autre part leurs utilisations ont pour objectif de réduire la consommation de clinker, en contribuant de manière simple et économique à résoudre les problèmes liés à l'environnement.

Cette étude expérimentale consiste à étudier l'effet de l'incorporation de la pouzzolane naturelle sur les propriétés mécaniques des mortiers à base de ciment ordinaire et du sable.

L'idée principale consiste à fabriquer un mortier à divers pourcentages de pouzzolane pour savoir la limite de l'utilisation de cette dernière et de comparer ce mortier avec un mortier ordinaire. L'ajout de filler calcaire est un travail secondaire pour savoir le comportement du mélange filler-pouzzolane.

Les matériaux utilisés sont : la pouzzolane de la carrière ENG Beni-Saf – Ain T'émouchent, ciments de Lafarge Msila avec les deux classes de résistance (32.5 et 42.5 MPa) et un filler calcaire de la carrière ENG- EL Bourdj –Tlemcen.

Ce mémoire a été structuré en cinq chapitres rédigés comme suit :

**1<sup>ère</sup> Chapitre :** Généralité sur les mortiers (définition, les types des mortiers, les emplois des mortiers et Classification des mortiers).

**2<sup>ème</sup> Chapitre :** Les ajouts et la pouzzolane naturelle

**3<sup>ème</sup> Chapitre :** La caractérisation des matériaux utilisées

**4<sup>ème</sup> Chapitre :** La confection des mortiers et les essais mécaniques.

**5<sup>ème</sup> Chapitre :** La résultats et interprétations

Ce travail se termine par une conclusion générale et des perspectives

# **Chapitre -1-**

## 1.1 Introduction

Le mortier est indispensable à presque de tous les travaux de maçonnerie, notamment pour monter un mur de brique ou de pierres, pour lequel il jouera le rôle essentiel, Dans une construction.

## 1.2 Généralités

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

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

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau, etc. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et dosages sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

✚ Les mortiers peuvent être :

- Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants, adjuvants compris.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire).
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi tel que les mortiers retardés stabilisés qui ont un temps d'emploi supérieur à 24 heures.

Les mortiers industriels permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers parfois exigus et difficiles d'accès : rénovation, travaux souterrains.

✚ Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants :

- Réducteurs d'eau-plastifiants
- Plastifiants
- Entraîneurs d'air
- Modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs).
- Hydrofuges.

Dans tous les cas, des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre. [1]



Figure 1.1. Mélange de mortier [1]

## 1.3 Constituants des mortiers

### 1.3.1 Le ciment

#### 1.3.1.1 Définitions

Le ciment est un liant, une matière pulvérulente, formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte homogène et plastique, capable d'agglomérer en durcissant, des substances variées appelées « agrégat » ou « granulat ». Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous

forme de poudre, mélangé à de l'eau, pour associer du sable fin, des graviers, pour produire du mortier, ou encore du béton. [2]



**Figure 1.2. Le ciment [2]**

### **1.3.1.2 Historique**

La fabrication du ciment est toujours plus ancienne mais en réalité ; le français Louis Vicat en 1817, a étudié et découvert scientifiquement et non plus empiriquement, les principes chimiques des ciments et définit leurs règles de fabrication. Aussi en est-il considéré comme l'inventeur. En 1824, l'anglais Aspdin prit un brevet pour la fabrication d'un ciment de Portland, mais celui-là comportait encore beaucoup de points obscurs. C'est seulement en 1845 que l'anglais Johnson indiqua de façon précise les règles de fabrication de ce produit. À la fin du XIXème siècle, en France, Le Chatelier étudia la composition chimique des divers constituants des ciments ; son œuvre fut perfectionnée et achevée par l'américain Bogue au XXème siècle. En 1890, on comprit l'intérêt du laitier granulé ajouté au ciment, et après 1945, celui des cendres volantes. Les ciments spéciaux sont d'invention plus récente : le ciment alumineux fut découvert par Bied en 1908. [3]

### **1.3.1.3 La fabrication du ciment**

Pour fabriquer du ciment Portland, on fait cuire à température très élevée (1450°C), dans un four rotatif, un mélange de pierre calcaire broyée et d'argile (ou de matériaux similaires). La pierre calcaire fournit la chaux, et l'argile fournit principalement la silice et l'alumine. Le produit obtenu à la sortie du four s'appelle clinker. Le ciment Portland est



ensuite fabriqué en ajoutant au clinker pulvérisé (grosseur des particules varie à peu près entre 1 et 80 $\mu$ m) une faible quantité (5%) de gypse. [4]

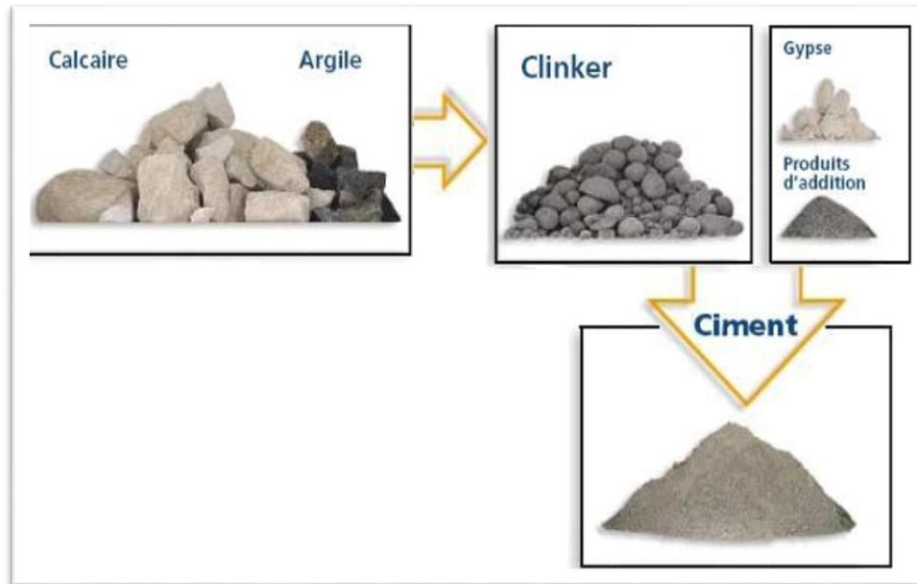


Figure 1.3. Les composantes de ciment [4]

#### 1.3.1.4 Les différents types de ciment

Les ciments incorporent les composants suivants en diverses proportions : clinker et laitier de haut fourneau, éventuellement cendres volantes siliceuses et calcaire. Suivant la proportion de chacun de ces éléments on peut les classer de manière standardisée. La désignation des ciments est en effet normalisée. Les ciments peuvent être classés en cinq grandes familles et vingt-sept variantes principales (normée EN-197-1-2000). [5]

- Ciment Portland (note CEM I) – Clinker
- Ciment Portland composé (noté CEMII) -Clinker principalement, associé à un deux ou trois des autres composants.
- Ciments de hauts fourneaux (noté CEM III) - Mélanges de clinker et de laitier de haut fourneau
- Ciments pouzzolaniques (noté CEM IV).

- Ciments au laitier et aux cendres ou ciment composé (noté CEM V).
- Ciment blanc (différent des précédents par sa composition chimique et la méthode de fabrication. [5])

### 1.3.2 Le sable

Le sable est un matériau solide granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique (coquilles, squelettes de coraux, etc.) dont la dimension est comprise entre 0,063 mm (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths, etc.) ainsi que des débris calcaires.

Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit :

- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire. [6]



Figure 1.4. Le sable [6]

### 1.3.2.1 Rôle de sable dans le mortier

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant de ça, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. [1]

### 1.3.3 L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [7]

### 1.3.4 Les adjuvants

Les adjuvants pour béton sont des produits chimiques ajoutés au béton pour modifier leurs caractéristiques. Les ajouts d'adjuvants du mortier, réalisés lors du malaxage, sont le plus souvent inférieurs à 5 % en masse de ciment. [8]



Figure 1.5. Les adjuvants [8]

## 1.4 Types de mortier

IL est bon de savoir qu'il existe de multiples types de mortiers, plus ou moins adaptés en fonction des usages. Voici les mortiers les plus fréquemment utilisés sur les chantiers. On peut classer les mortiers selon leurs origines fabriquées en usine ou sur chantier comme suit. Voici les mortiers les plus fréquemment utilisés sur les chantiers.

### 1.4.1 Le mortier-ciment

Le mortier-ciment est le produit le plus basique qui soit, indispensable pour construire un mur et lier les pierres ou briques entre elles. Il s'agit d'un mélange classique de ciment, de sable et d'eau. Pour les jointements et les scellements, on peut envisager de se passer de sable. Ce matériau reste utile pour toutes les constructions classiques (murs, chapes, etc.), qui ne nécessitent pas l'usage d'un mortier spécifique. L'avantage du ciment est qu'il profite d'une excellente résistance à la compression. Il sèche également plus vite que la plupart des autres solutions. [9]

### 1.4.2 Le mortier-hydrofuge

Comme son nom l'indique, le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface.

Il permet de :

- Boucher des fissures,
- Enduire un mur,
- Réaliser des chapes.

✚ On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine. [9]

### 1.4.3 Le mortier réfractaire

Le mortier réfractaire est un mortier résistant aux hautes températures. Selon les préparations, il peut généralement résister à des températures de 900° ou moins. En toute

logique, il est uniquement utilisé pour les constructions qui sont exposées à ce type de Températures, à savoir pour le montage et le jointement des :

- Foyers de cheminée,
- Des barbecues maçonnés

Ce matériau protège ainsi les joints et la structure des constructions exposées aux flammes et à la chaleur. [9]

#### **1.4.4 Le mortier de chaux**

La chaux est l'un des liants les plus utilisés dans les anciennes constructions. A tel point qu'on utilise encore fréquemment des mortiers à la chaux. Il faut dire que ce type de mortier permet au mur de mieux respirer et dispose également de capacités hydrofuges (idéales pour les pièces humides). [9]

On trouve deux types de chaux :

- La chaux aérienne : elle a l'avantage de durcir lentement, et uniquement au contact de l'air
- La chaux hydraulique : elle durcit au contact de l'eau, puis de l'air.

L'usage de chaux dans un mortier permet généralement une application plus facile, grâce à un temps de séchage un peu plus long. Ces mortiers sont cependant plus complexes à doser que le ciment.

#### **1.4.5 Le mortier-colle**

Citons enfin l'existence du mortier-colle, Il s'agit, comme son nom l'indique, d'un mortier adhésif, qui permet de coller un revêtement contre un mur ou un sol. Ce matériau est utilisé pour coller des plaquettes de parement, des carrelages muraux ou au sol, ou encore des dalles. Selon le mortier-colle choisi, l'utilisation peut se faire en intérieur et/ou en extérieur. [9]

## 1.5 Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suite : [10]

### 1.5.1 Selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut citer les catégories suivantes :

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales.
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierres. [10]

### 1.5.2 Selon la composition

✚ Les mortiers se partagent en différents types : [1]

#### - Mortier de ragréage

Le mortier de ragréage est un mélange de sable 0/1, de ciment et d'eau. L'ajout d'adjuvants est recommandé, notamment l'hydrofuge pour les façades extérieures

#### - Mortier de montage

Le mortier de montage se fabrique en mélangeant du sable, du ciment et de l'eau. Pour monter un mur et assembler des blocs de béton entre eux, c'est le mortier de montage qui est utilisé car il est d'une grande résistance et d'une prise rapide, Le sable à utiliser doit être plutôt fin : partir sur du 0/1 ou du 0/4.

– **Mortier bâtarde**

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

– **Mortier d'imperméabilisation**

Les mortiers d'imperméabilisation sont utilisés dans le cadre de travaux situés dans des lieux humides comme la salle de bain, les abords de piscine. Ils ont une plus grande résistance à l'humidité.

Ils sont aussi utilisés pour tous les travaux de cuvelage, fondation et bassins.

– **Mortier rapide**

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

– **Mortier industriel**

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

## 1.6 Classes des mortiers

- **Classe 1** : Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2** : Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3** : Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.

- **Classe 4** : Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5** : Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis. [11]

## 1.7 Les emplois des mortiers

### 1.7.1 Les enduits

Un enduit en construction consiste en une couche de mortier appliquée sur un mur ou D en extérieur sur le manteau d'isolation de ce mur. Le crépi est un enduit qui se fait sur une muraille avec du mortier ou du plâtre et qu'on laisse raboteux (relief, picot) au lieu de le rendre uni. Ils sont traditionnellement des enduits minéraux : des mortiers de ciment, des mortiers de chaux, et des plâtres. [12]



**Figure 1.6. les enduit [12]**

### 1.7.2 Les chapes

En construction, une chape est une couche de mortier à base de ciment, de résine ou de chaux appliquée au sol, destinée à aplanir, niveler ou surfacer un support et/ou enrober des éléments pour ensuite recevoir les couches supérieures, par exemple du carrelage, un sol souple ou un parquet, flottant. [13]



**Figure 1.7. les chapes [13]**



### 1.7.3. Les joints de maçonnerie

Dans un mur ou un ouvrage de maçonnerie, un joint désigne généralement un intervalle qu'on maintient entre deux pierres naturelles ou artificielles (bloc de béton, brique, etc.) et qui se trouve rempli éventuellement de mortier et anciennement aussi de plâtre. De manière générale, on s'arrange pour que les joints ne soient pas superposés verticalement. [14]



Figure 1.8. Les joints maçonneries [14]

### 1.7.4 Les scellements et les calages

La norme NF EN 1504-6 définit les mortiers de scellements. Grâce à une résistance très élevée, un mortier classé par cette norme permet de placer des ancrages (fixation de barres métalliques) fortement sollicités. Ils sont utilisés pour tout type de configuration. La norme NF P 18-821 définit les mortiers de calage. Ce type de mortier permet de définir un support résistant pour le calage de machines : centrifugeuses, turbines, etc. Ce mortier est également indispensable pour le calage de platines d'ancrage. Les opérations de scellement et de calage s'effectuent à l'aide de mortiers utilisant des liants hydrauliques. Après un gâchage à l'eau, le mortier obtenu est de consistance très fluide. [15]

Il peut utiliser pour tout type de scellement et de calage. il existe plusieurs types de scellements de calage :

- Calage d'équipements industriels divers.
- Calage de dalles
- Calage de rails
- Calage de charpente.

- Etanchéité et calage de tuyauteries.
- Calage de pompe.
- Scellement de poutres, poteaux
- Scellement d'ancrages.

## 1.8 Les ajouts et les additions

Les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé, la fumée de silice et les pouzzolanes naturelles, telles que le schiste calciné, l'argile calcinée ou le métakaolin sont des matériaux qui, combinés au ciment portland, contribuent aux propriétés du béton et mortiers durci par action hydraulique ou pouzzolanique ou les deux à la fois. [1]

### 1.8.1 Définition des ajouts

#### 1.8.1.1 Les laitiers de hauts fourneaux

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieux l'appeler est un sous- produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, C'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 % de la silice entre 25 à 35 % de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker. [16]



Figure 1.9. Laitiers de hauts fourneaux. [16]

### 1.8.1.2 Les cendres volantes

Les cendres volantes sont des particules très fines récupérées par les systèmes de dépoussiérages des gaz des chaudières des centrales thermiques. Les cendres volantes peuvent avoir différentes compositions chimiques et différentes compositions de phase parce que celles-ci sont reliées exclusivement au type d'impuretés qui sont contenues dans le charbon que l'on brûle dans la centrale thermique. [17]



Figure 1.10. Cendres volantes [17]

### 1.8.1.3 Les fumées de silice

Les fumées de silice sont un sous-produit de l'industrie de silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de  $0,1 \mu\text{m}$ ). Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principale, elles doivent être présentes pour au moins 85% (en masse). Les fumées de silices ont des propriétés Pouzzolaniques. [17]



Figure 1.11. Fumées de silice. [17]

#### 1.8.1.4 Les pouzzolanes naturelles

Les pouzzolanes naturelles sont des produits généralement d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés pouzzolaniques. Elles sont essentiellement composées de silice réactive (dans des proportions supérieures à 25%), d'alumine et d'oxyde de fer. [18]



Figure 1.12. La pouzzolane naturelle. [18]

#### 1.8.1.5 Les fillers calcaires

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

- Leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leur défaut de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
- Leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- Leur dureté, leur porosité. Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. [16]



Figure 1.13. Fillers calcaires. [16]

### 1.8.1.6 Les argiles calcinées

Elles sont obtenues par cuisson de certaines argiles. Leurs propriétés liantes intéressent les pays en voie de développement qui ne possèdent pas les matières premières nécessaires à la production du ciment. Leur composition dépend de celle de l'argile ou de la latérite d'origine. [19]



**Figure 1.14.** Argiles calcinée. [19]

## 1.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu que le mortier est l'un des matériaux de construction de grande importance et d'utilisation dans la construction grâce à leur diversité. Les composés Principaux de ce dernier ainsi que les exigences de son utilisation sont bien décrites dans ce chapitre.

L'utilisation de quelques ajouts comme le cas de la pouzzolane et du filler calcaire da le mortier a pour but tout simplement de savoir l'apport de ces derniers aux mortiers vis-à-vis la résistance ainsi que les couts de production.

# **Chapitre -02-**

## 2.1 Introduction

La recherche d'un liant moins coûteux en utilisant des déchets et/ou des ressources naturelles est devenue une préoccupation majeure dans la construction. Cependant, malgré les avantages techniques, économiques et écologiques rapportés par l'utilisation des ciments composés, ces derniers restent associés à des inconvénients liés à l'environnement et à la sécurité des habitants. Il est donc nécessaire de savoir si des matériaux bio-sources peuvent remplacer particulièrement ou complètement le ciment dans la construction

## 2.2 Historique

### 2.2.1 L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil

L'introduction des ajouts dans la confection du ciment présente un facteur bénéfique car la consommation en clinker baisse en fonction des taux d'ajouts. En effet, le clinker étant obtenu par transformation de la crue (argile calcaire) nécessite une dépense d'énergie très importante pouvant être réduite par l'introduction de cet ajout

La réaction pouzzolanique étant à base de produits de faible coût et la durabilité est garantie puisque les romains utilisaient déjà ce mécanisme chimique dans leurs ciments pour la confection d'ouvrages qui ont fait leur preuve depuis de nombreux siècles.

Des sous-produits industriels tels que les cendres volantes et fumées de silice condensées sont de plus en plus utilisées dans les pays industrialisés parce qu'ils sont des déchets d'usine. Contrairement aux pouzzolanes naturelles, il n'est pas nécessaire de les pulvériser ou de les soumettre à un traitement thermique avant de s'en servir. Plusieurs pays comme la Chine, la Grèce, l'Italie, l'Inde et le Mexique, utilisent encore des millions de tonnes de pouzzolanes naturelles pour fabriquer des ciments CPA. Pour des raisons d'épargne d'énergie, il y a tout lieu de croire que l'utilisation de ces matériaux se poursuivra et se développera de plus en plus. [20]

### 2.2.2 L'utilisation des ajouts en Algérie

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter

La production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El - Hadjar le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni - Saf. [20]

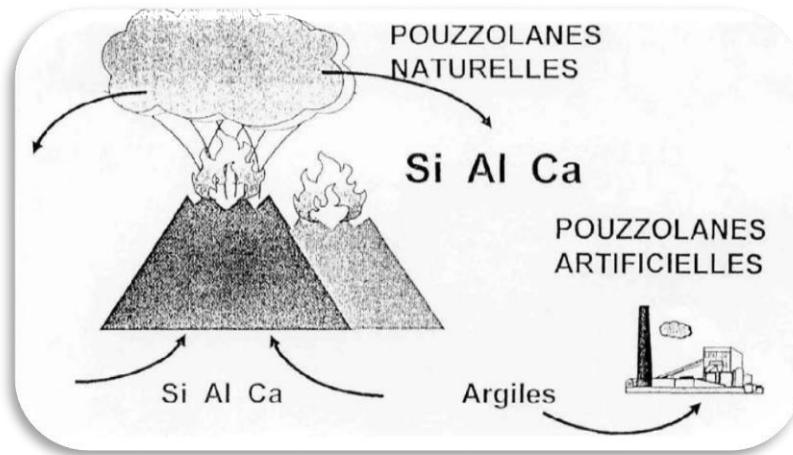


Figure 2.1. Origines des pouzzolanes [21]

### 2.3 La pouzzolane

La pouzzolane est une roche d'origine volcanique, friable et peu dense, de composition essentiellement basaltique. Le terme provient de Pouzzoles, une ville italienne de la région de Naples où ce matériau a beaucoup été utilisé comme ciment naturel lors de l'Antiquité. C'est elle qui a notamment fait la réputation du fameux « béton romain ». [22]

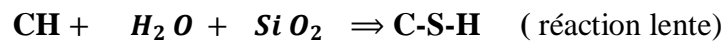


Figure 2.2. La pouzzolane naturelle [23]

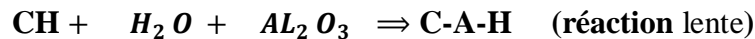


### 2.3.1 Réaction pouzzolanique

La réaction pouzzolanique se produit en solution (dissolution / précipitation) entre la silice et l'alumine provenant de la dissolution de la pouzzolane, et l'hydroxyde de calcium CH issu de l'hydratation du ciment, en formant des silicates calciques hydratés (C-S-H) et aluminates calciques hydratés (C-A-H) qui précipitent sous forme de gel durcissant en une structure amorphe. [24]



Hydroxyde de calcium    eau    pouzzolane    Silicate de calcium hydraté



Hydroxyde de calcium    eau    Aluminium    Aluminate de calcium hydraté

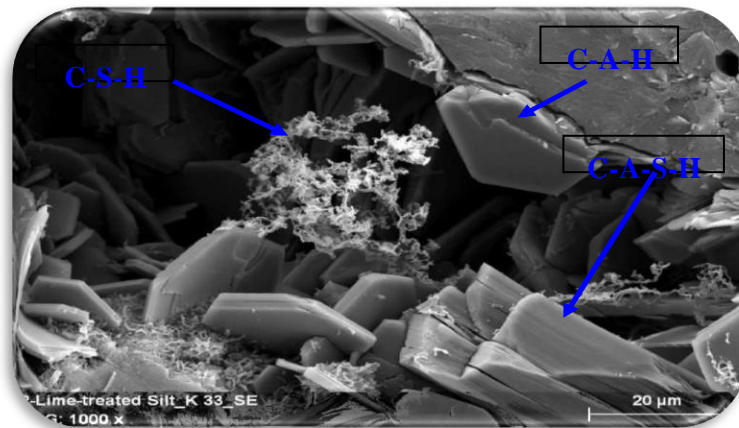


Figure 2.3. Hydrates issus de la réaction pouzzolanique [25]

### 2.3.2 Liants pouzzolaniques

Les liants pouzzolaniques sont des mélanges de ciment Portland et de pouzzolane dont les proportions doivent être telles que la chaux libérée lors de l'hydratation du clinker corresponde à la quantité que peut combiner la pouzzolane. L'étude de l'évolution chimique des hydrates formés montre qu'il y a d'abord hydratation du clinker et formation de portlandite suivie de la réaction pouzzolanique. Cependant, la réaction pouzzolanique ne commence qu'en présence d'une quantité suffisante de portlandite [26]

## 2.4 Formulation de pouzzolane

La pouzzolane est formée de fragments de magma (cendres, lapilli, bombes...) projetés dans l'atmosphère lors d'éruptions volcaniques et refroidis au cours de leur parcours aérien. Ce refroidissement étant relativement rapide, le verre volcanique amorphe et non cristallisé est l'un des composants majeurs de la pouzzolane. Les autres constituants sont les minéraux magmatiques (feldspath, pyroxène, olivine, amphibole, oxyde de fer...) et les xénolites, les roches étrangères au milieu arrachées aux formations géologiques antérieures au volcanisme. La pouzzolane est généralement de couleur noire ou rouge selon le degré d'oxydation du fer. [26]

## 2.5 Activation des pouzzolanes

L'activité pouzzolanique ou pouzzolanité est l'aptitude de certains matériaux dépourvus de propriétés hydrauliques propres, à fixer l'hydroxyde de calcium en présence d'eau pour donner des hydrates analogues de ceux du ciment Portland. Cette propriété se constate à des degrés variables dans les matériaux riches en silice libre non quartzreuse, quelle que soit leur origine : matériaux naturels (gaize, diatomites, cendres volantes) matériaux artificiels (cendres volantes, fumées de silice, argiles calcinées, cendres de balles de riz) L'action pouzzolanique se caractérise par deux aspects distincts.

- La quantité totale d'hydroxyde de calcium qu'une pouzzolane est capable de fixer
- La rapidité de fixation d'hydroxyde de calcium par la pouzzolane.

Les différents matériaux pouzzolanique décrits ci-dessus possèdent tous la propriété, selon la définition, de réagir avec l'hydroxyde de calcium, en présence d'humidité, pour former des composés possédant des propriétés liantes. L'influence de la silice et de l'alumine ne peut pas être négligée, la silice participe dans le mélange par la fixation de la chaux et l'alumine augmente la résistance mécanique du matériau à court terme. [27]

### 2.5.1 Estimation de l'activité pouzzolanique

L'estimation de l'activité pouzzolanique de l'ajout est déterminée par plusieurs méthodes connues. Citons quelques-unes :

- Déterminations chimiques (L'indice d'activité Chapelle).

- Méthodes physiques.
- Essais mécaniques et analyses chimiques.
- Evaluation la pouzzolanité d'un mélange argile calcinée/ $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 1$ . [28]

## 2.5.2 Nature des hydrates formés lors de la réaction pouzzolanique

### 2.5.2.1 Hydratation des ciments aux pouzzolanes

Un ciment composé à la pouzzolane doit satisfaire les spécifications de l'activité pouzzolanique. Notamment la résistance à la compression du ciment composé qui doit présenter un indice d'activité pouzzolanique au moins égal à 75% de la résistance du ciment Portland de référence à 28 jours selon la norme ASTM C618.

La réaction des constituants du ciment à base de pouzzolane se fait par l'intermédiaire d'un processus de dissolution des produits anhydres dans l'eau interstitielle suivi d'une cristallisation (ou une précipitation) des hydrates, par combinaison des ions présents dans la solution ainsi formée (théories de le Chatelier). [29]

Les hydrates formés lors de la réaction pouzzolanique sont en général des minéraux mal cristallisés. La nature chimique de ces minéraux dépend :

- Des conditions d'hydratation des pâtes mixtes (température, teneur en eau)
- De la nature cristallographique et composition chimique des matériaux pouzzolanique.
- De la concentration des ions présents dans la solution.

L'hydroxyde de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  libéré en grande quantité pendant l'hydratation du ciment Portland ne se combine pas toujours sous forme d'hydrate et reste disponible pour d'autres réactions avec d'autres composants du ciment, il présente la principale source d'alcalinité pour l'activité hydraulique nécessaire à la conversion de  $\text{SiO}_2$  de la pouzzolane en C-S-H.

Les hydrates formés lors de la réaction d'hydratation d'un ciment portland sont pratiquement des C-S-H amorphes et non stœchiométriques contenant une quantité d'atomes d'aluminium moins importante que Les C-S-H formés lors de la réaction pouzzolanique. [Blombled.J. P]. La vitesse d'hydratation des composés minéraux est d'autant plus grande que la température de conservation des pâtes mixte est élevée. Blombled.J. J.P (1985) a étudié

L'impact de la température sur la formation des produits hydratés lors de la réaction pouzzolanique entre l'argile calcinée et l'hydroxyde de calcium.

De plus d'après Barron J. et Sauterey R (1982) le C2ASH8 (géhénite hydratée) se décompose en présence d'une solution saturée en hydroxyde de calcium en C-S-H et C4AH13 stable selon l'équation suivante.



Aussi selon plusieurs travaux de recherches effectués par Barron J. et Sauterey R (1982), ils affirment que la cinétique de l'hydratation des ciments aux pouzzolanes se fait en deux phases.

- La première phase est très rapide, est due à la réaction des alcalins (CaO, K<sub>2</sub>O et Na<sub>2</sub>O) produits par l'hydratation du ciment Portland.
- La deuxième phase est lente est due aux réactions d'hydroxyde de calcium lors de l'hydratation des pouzzolanes.

## 2.6 Types de pouzzolane

### 2.6.1 Pouzzolane naturelle

La Pouzzolane naturelle est un produit d'origine volcanique (verre volcanique, pierre ponce, zéolite...) ou sédimentaire, composé essentiellement de silice alumine et fer. Elle est formée d'une phase mal cristallisée, amorphe et de grande surface spécifique, qui réagit rapidement avec la chaux libérée pendant l'hydratation du ciment pour former de nouveaux cristaux de silices et d'aluminate de calcium hydraté qui participent au développement des résistances mécaniques et chimiques. Selon la norme DE L'ASTMC 18, la pouzzolane se définit comme étant un matériau siliceux et alumineux qui ne possède en lui-même aucune ou à peu près aucune valeur liante mais qui sous forme de poudre très fine et en présence d'humidité réagit chimiquement avec l'hydroxyde de calcium, Ca(OH)<sub>2</sub> à des températures ordinaires pour former des composés possédant des propriétés liantes. [30]

### 2.6.1.1 Matériaux d'origine volcanique (Les roches Pyroclastiques)

Les roches pyroclastiques résultent des éruptions volcaniques explosives qui projettent les particules minutieuses du magma fondu dans l'atmosphère. La diminution rapide de pression se produisant pendant l'éruption conduit à libérer le gaz dissous dans le magma Liquide. Par conséquent, chaque particule contiendra un certain nombre de bulles et de conduits microscopiques formant une structure microporeuse. Simultanément, les particules

Sont sujettes à une trempe qui est responsable de leur état vitreux. Le matériau peut être déposé au sol ou dans l'eau. Généralement, les dépôts au sol, qui sont lâches et hétérogènes, se composent de cendres mélangées aux fragments venant des murs des conduits volcaniques ou de la base du volcan. [31]



Figure 2.4. Les roches Pyroclastiques [32]

### 2.6.1.2 Matériaux d'origine sédimentaire

Les argiles et les terres de diatomées sont des roches sédimentaires capables de se combiner avec la chaux. Les premières proviennent du changement de roches magmatiques tandis que les dernières se forment à partir des squelettes siliceux des micro-organismes (diatomées) déposés en eaux douces ou de mer. Puisque les deux matériaux (matières) résultent de la déposition dans l'eau malgré leur origine différente, il n'est pas étonnant que les diatomées et les minerais d'argile se produisent mélangés ensemble. Les minerais d'argile, particulièrement ceux qui appartiennent au groupe de montmorillonite, peuvent réagir avec la chaux donnant des hydrates de silicate et d'aluminate de calcium mais ils ne peuvent pas remplacer la pouzzolane à mesure qu'ils augmentent la demande en eau et abaissent la résistance du mortier et du béton.

Le plus grand dépôt de diatomites se trouve en Californie, aux USA. D'autres dépôts importants se trouvent en ancienne URSS, au Canada, en l'Algérie, en l'Allemagne et dans d'autres pays. [31]

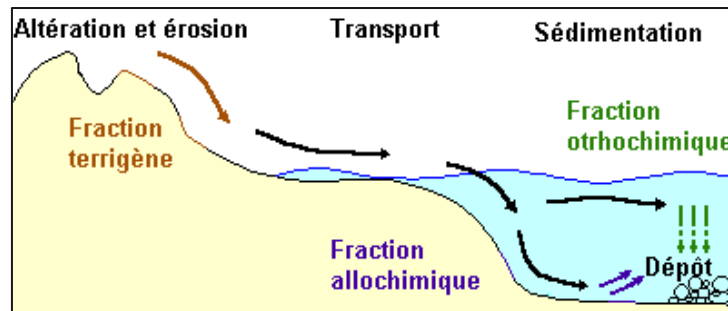


Figure 2.5. Les roches sédimentaires [33]

### 2.6.1.3 Matériaux d'origine mixte (roche hybride)

Au nord de Rome il y a les dépôts stratifiés d'une roche friable (Sacrofanite) composée de matériaux d'origine différente (volcanique, sédimentaire et organique). Les couches supérieures contiennent une teneur en silice jusqu'à 90 %, perte considérable au feu et un peu d'autres oxydes. En ce qui concerne les couches plus profondes, la teneur en silice est sensiblement moindre, l'alumine peut atteindre environ 20%, mais d'autres oxydes sont présents seulement en petites quantités. La faible teneur en fer explique la couleur légère de ces matériaux, généralement connue sous le nom de « terre blanche ». [31]

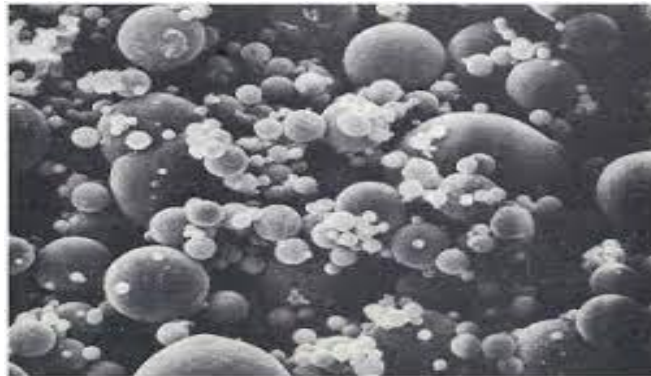
### 2.6.2 Pouzzolane artificielle

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Elles sont des déchets des efférentes industries. On distingue. Soit des résidus de fabrication industrielle tel que. Le mach fers, cendre de bois ou d'houille, soit des débris de brique et de tuile fabriquées avec des argiles pures des températures modérées. On distingue aussi la schiste cuite, et les déchets de l'industrie à base de méta kaolinite. [34]

### 2.6.2.1 Cendres volantes

Les cendres volantes sont le résidu finement divisé résultant de la combustion d houille pulvérisée, dans les centrales thermiques. Comme matériau pouzzolanique à débiter aux USA en 1937. On définit trois types de cendres volantes, calcium (CaO). Les cendres volantes celles allant de 8 % à 20 % et celles supérieures à 20 %. En général, plus la teneur en CaO est élevée, plus les propriétés d'auto cimentaire, La constituante majeure e phase vitreuse formée de silice et d'alumine de 50 à 90%. [34]

- Les cendres volantes se divisent en trois catégories :
- Les cendres silico- alumineuses (cendre de houille).
- Les cendres sulfocalciques (cendre de lignite).
- Des cendres non typifiées de composition irrégulière ou de propriétés assez incertaines.



**Figure 2.6. Les cendres volantes [34]**

### 2.6.2.2 Argiles, Schistes, Terres de diatomées torrifiées

Le chauffage des argiles, à des températures correspondant à celles de la démolition thermique des minéraux qui les caractérisent provoque la rupture du réseau et par conséquent la formation d'un mélange de silice et d'alumine amorphe, dans les proportions stœchiométriques des minéraux d'origine. Puisque l'accroissement du désordre structural entraîne l'augmentation de l'instabilité du système, on remarque une réactivité de la chaux et une perte de plasticité des Pâtes de ciment aux proportions convenables et peuvent révéler des

Résistances mécaniques de même ordre que celles qu'on peut obtenir par l'utilisation de pouzzolanes ou de cendres volantes.

## 2.7 Propriété de la pouzzolane

Les pouzzolanes sont des roches " acides " ayant des teneurs élevées en silice et en alumine (entre 70 et 80% pour les deux composants ensemble), puis en fer, en alcalins, en magnésie et en chaux. [35]

### 2.7.1 Propriétés hydrauliques

La pouzzolane réagit avec l'eau, en présence d'une quantité suffisante de chaux, pour former des hydrates stables, peu solubles et résistants à long terme.

### 2.7.2 Propriétés physiques de remplissage

En plus de leur effet pouzzolanique, elles jouent un rôle de remplissage des pores des produits hydratés et de correcteurs granulaires, ce qui améliore la compacité et diminue la perméabilité.

## 2.8 Effet de La pouzzolane

✚ La pouzzolane confère aux bétons les propriétés suivantes :

### 2.8.1 A l'état frais

Les pouzzolanes améliorent l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, Cet effet se traduit par une réduction sensible de la fissuration. [35]

### 2.8.2 A l'état durci

Les pouzzolanes améliorent la cohésion interne ainsi qu'une augmentation de compacité de la pâte de ciment. La réduction de porosité qui en découle pour toute la matrice ciment se traduit par une série d'effets très favorables. [36]

- Accroissement de la résistance finale



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

## **2.9 L'influence de la pouzzolane naturelle sur la qualité des mortiers**

### **2.9.1 L'effet chimique**

L'effet chimique de la pouzzolane, par fixation de la chaux  $\text{Ca(OH)}_2$  libérée par le ciment et formation d'un silicate de calcium hydraté CSH supplémentaire, contribue à l'augmentation de la résistance du mortier à la compression.

### **2.9.2 L'effet physique**

L'effet physique de la pouzzolane, par remplissage des micropores, contribue lui aussi à l'augmentation de la résistance du mortier à la compression.

### **2.9.3 L'effet mécanique**

L'effet mécanique de la pouzzolane donne des meilleures résistances mécaniques des (B.T.C) stabilisés par la chaux et durcis par la vapeur. [36]

## 2.10 Caractéristique d'une pouzzolane naturelle

### 2.10.1 Caractéristiques chimiques

Un PH neutre Une composition chimique de, en moyenne :

45% de silice.

15% d'alumine.

15% d'oxyde de fer.

Elle contient également, de la chaux, du sodium, du potassium, et de nombreux oligoéléments. [37]

**Tableau 2.1. Caractéristique chimique de la pouzzolane naturelle [37]**

Les Composante	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>4</sub>	Cl	PF	T
Les teneurs(%)	74.48	12.83	1.51	3.92	0.34	Nul	Nul	0.21	100.29

### 2.10.2 Caractéristiques physiques

- Une forte porosité.
- Une faible densité.
- Une capacité d'absorption d'eau et d'odeurs.
- Une aptitude à la rétention d'eau.
- Une faculté à l'isolation phonique et thermique.
- Une grande surface spécifique.
- Une résistance à la chaleur et au gel.
- Une action filtrante et drainante.
- Une fonction décorative, qu'elle soit noire ou rouge.

Tableau 2.2. Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle [37]

Caractéristique physique	Valeurs
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.98
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.75
Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> )	3560
Pouzzolanité (%)	85
Porosité (%)	58.70
Humidité (%)	2.50
Absorption (%)	57.10
Perte au feu	5.60

### 2.11 Principales utilisations de la pouzzolane

Le rôle de la pouzzolane est multiple, et ce malgré un manque d'adhésion des centres de contrôle et d'expertise, notamment pour la proposer comme matériau d'ossature. En effet, le béton à base de pouzzolane présente une durée de durcissement plus élevée, ce qui le rend moins économique pour les constructeurs.

Hormis cet inconvénient, ce matériau est très sollicité dans les domaines suivants :

- assainissement : traitement des fosses septiques et des eaux usées, drains et filtres pour assises de jardins.
- agriculture : traitement des sols pour les différentes cultures, drainage et amendement des sols .

- Réseaux routiers : sablage hivernal et revêtement des routes.
- Terrains de sport : aires de tennis, sous-sol de gazon, pistes de course.
- bâtiment : chapes de hérisson, parpaings et blocs préfabriqués, lits de dalles et revêtement de sols, bétons allégés .
- Aménagement extérieur : végétalisation des dalles pour toiture et aménagement paysager. [38]

## 2.12 Conclusion

L'utilisation des additions minérales, comme substitutions au ciment, aussi bien sur les chantiers que dans les bétons prêts à l'emploi est une pratique n'est pas encore bien définie et maîtrisée, c'est pourquoi, il nous a paru important d'étudier et d'évaluer l'influence de ces additions, comme substitutions au ciment, sur les propriétés des mortiers et des bétons durcis.

L'addition minérale utilisée est la pouzzolane naturelle qui se trouve en quantité considérable dans l'ouest algérien (Béni-Saf) et qui nécessite de trouver des utilisations autres que dans la fabrication du ciment.

# **Chapitre -03-**

### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter et définir les différentes caractéristiques des matériaux utilisés pour la composition et la confection des mortiers. Ces matériaux sont purement locaux :

- Le ciment Chamil CPJ-CEM II/B 32.5 N de la cimenterie LAFARGE.
- Le ciment Awted CEM II /A-L de résistance 42.5 de la cimenterie AMOUDA ciment à « **EL BAYDHA** »
- Sable naturel
- Les ajouts : pouzzolane naturelle de Béni-Saf.et filler calcaires de Tlemcen.
- Eau de gâchage.
- L'adjuvant.

### 3.2 Caractéristiques des matériaux

#### 3.2.1 Le ciment

Nous avons utilisé dans ce travail deux types de ciment :

##### 3.2.1.1 Ciment CHAMIL

Le ciment portland courant CPJ-CEM II/B 32.5 N CHAMIL de la cimenterie de LAFARGE. C'est un ciment gris, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (Si) à caractère acide. On trouve également l'alumine ( $Al_2O_3$ ) et le fer ( $Fe_2O_3$ ). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro- cristaux de silicates de calcium hydratés.

Il présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442 et la norme EN197 [35]

Tableau 3.1. Caractéristiques techniques du ciment CHAMIL

Caractéristiques techniques	CHAMIL
<b>Analyse chimique</b>	
Perte au feu (%) (NA5042)	13.0 ± 2
Teneur en sulfate (SO <sub>3</sub> ) %	2.5 ± 0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO %	1.7 ± 0.5
Teneur en chlorures (NA5042) %	0.02-0.04
<b>Composition minéralogique du clinker</b>	
C <sub>3</sub> S (%)	60 ± 3
C <sub>3</sub> A (%)	
<b>Propriétés physique</b>	
Consistance normale (%)	27 ± 2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine cm <sup>2</sup> /g (NA231)	4300 à 5500
Retrait à 28 jours (µm/m)	≤ 1000
Expansion (mm)	≤ 3
<b>Temps de prise à 20°C</b>	
Début de prise (min)	150 ± 30
Fin de prise (min)	250 ± 50
<b>Résistance à la compression</b>	
2 jours (MPa)	≥ 10
28 jours (MPa)	≥ 32.5

Le ciment CHAMIL, Avec son sac de couleur orange (figure 3.1) est dédié aux constructions de masse.



Figure 3.1. Le sac de ciment CHAMIL

- **Utilisation de ciment**

C'est un ciment de haute qualité pour tous les usages courants. Il représente le choix idéal pour des constructions à usage habitation et commercial : construction général, finitions, éléments préfabriqués. Prise rapide, meilleure maniabilité, forte résistance initiale...etc. il est utilisé en générale pour tous les travaux courants qui ne présentent pas un besoin spécifique en bétons exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau et qui n'exigent pas de hautes résistances mécaniques. [35]

### 3.2.1.2 Ciment AWTED

C'est un ciment composé CEM II /A-L de résistance 42.5. Il est fabriqué à l'usine AMOUDA à « EL BAYDHA » C'est un ciment gris conforme à la norme algérienne NA 442 ainsi que la norme européenne EN 197-1.

Ce ciment convient parfaitement pour :

- Le coulage par temps chaud ainsi que le transport du béton prêt à l'emploi.
- Pour les fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Pour les ouvrages en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).



- Pour les dallages en béton, montage de mure et maçonnerie et scellements de carrelage (dalles, pierres et carrelage), chape (mortier de ciment). [36]



Figure 3.2. Le sac de ciment « AWTED »

Les caractéristiques techniques de ciment « AWTED » sont représentés dans le tableau 3.2 suivante :

Tableau 3.2. Caractéristiques techniques de ciment « AWTED »

Caractéristiques techniques	AWTAD
<b>Analyse chimique</b>	
$SO_3$	$\leq 3.5 \%$
Chlorure	$\leq 0.1 \%$
<b>Expansion (mm)</b>	$\leq 10$
<b>Temps de prise à 20°C</b>	
Début de prise (min)	$> 60$
Fin de prise (min)	$> 240$
<b>Résistance à la compression</b>	
2 jours (MPa)	$> 10$
28 jours (MPa)	$> 42.5$

### 3.2.2 Le sable

Le sable utilise est un sable naturel, provenant de la wilaya de Relizane ses caractéristiques sont les suivantes

### 3.2.2.1 Masse volumique

Cet essai qui s'effectue sur la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains le constituant.



**Figure 3.3. Matériel pour déterminer la masse volumique**

Les résultats de la masse volumique sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau 3.3. Résultats de la masse volumique « sable »**

Masse volumique	Mesures	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Absolue	Volume d'eau $V_1$ (ml)	300	280	345
	Masse de l'échantillon $M_1$ (g)	175	175	175
	Volume d'échantillon $V_2$ (ml)	370	350	410
	Masse volumique absolu $M/V_{aps}$ (kg/cm <sup>3</sup> )	2500	2500	2692
		3846		
	Masse de l'échantillon $M_1$ (g)	1398	1403	1400
Apparente	Volume d'échantillon V (litre)	1 litre	1 litre	1 litre
	Masse volumique apparente $M/V_{aps}$ (kg/cm <sup>3</sup> )	1398	1403	1400
		1400.33		
<b>d'équivalent de sable</b>		62.63		

### 3.2.2.2 Essai d'analyse granulométrique

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série des tamis, emboîtées les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. (Figure 3.4)

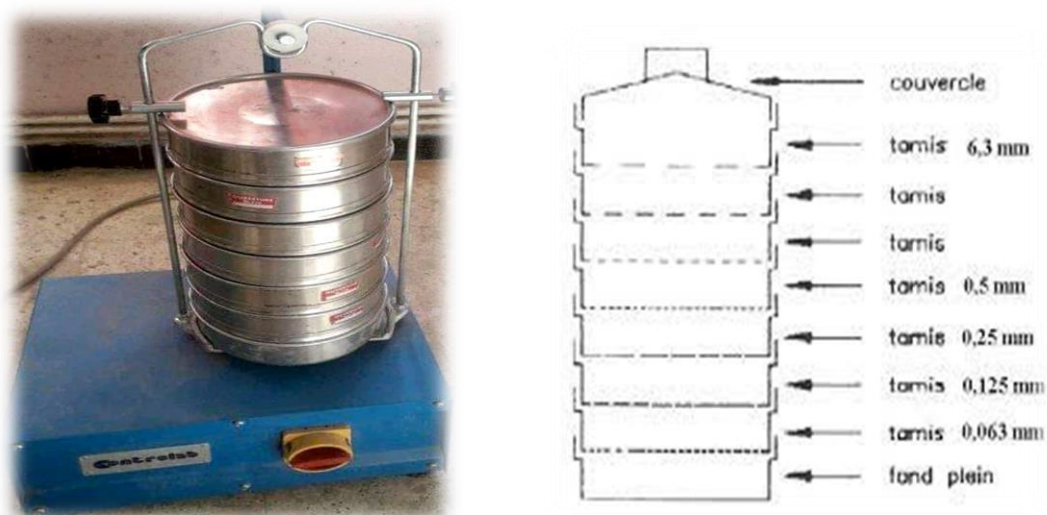


Figure 3.4. Matériel d'analyse granulométrique.

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable sont montrés dans le tableau 3.4 et la figure 3.10

Tableau 3.4. Résultats de l'analyse granulométrique de « sable »

Ouverture des Tamis	Pourcentage des refus cumulés %	Pourcentage des tamisât cumules
(mm)	Mc (g)	Pt =100-I
5	0,2	99,8
2.5	40	60
1.25	74	26
0.63	80	20
0.315	90	10
0.16	94	6
0.063	99,47	0,53
Fond	99,5	0,5

### 3.2.2.3 Essai d'équivalent de sable

Cet essai s'effectue sur la fraction de sol ou de granulat passant au tamis à mailles carrés de 5 mm Il est réalisé pour déterminer le degré de pollution d'un sol ou d'un sable (figure 3.5).

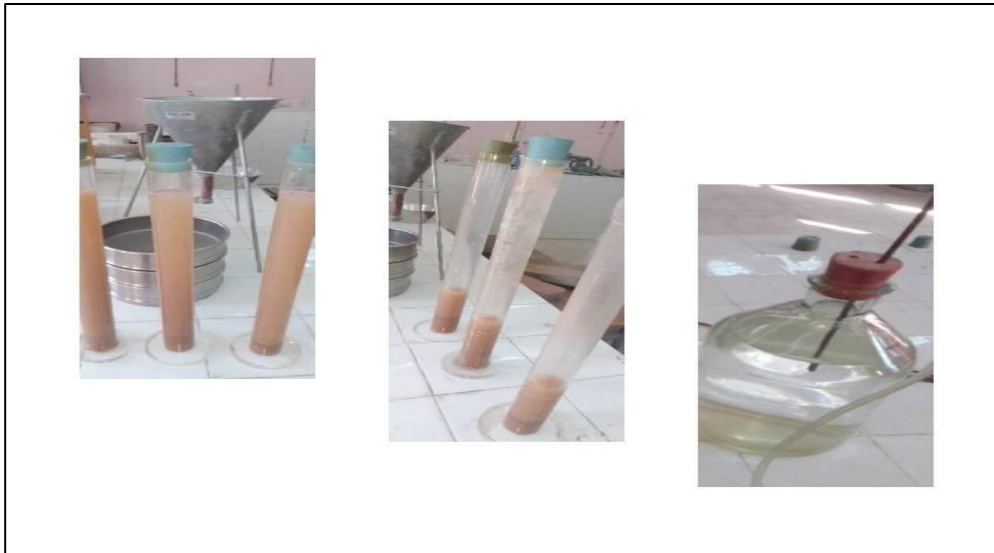


Figure 3.5. Essai d'équivalent de sable

### 3.2.3 La pouzzolane naturelle

L'addition minérale utilisée est la pouzzolane naturelle qui se trouve en quantités considérables dans l'Ouest algérien (Béni-Saf).



Figure 3.6. pouzzolane naturelle

### 3.2.3.1 Broyage de la pouzzolane

Le broyage se fait en utilisant la machine Los-Angeles au niveau de notre laboratoire de génie civil (figure 3.7) :



Figure 3.7. Broyage et préparation de la pouzzolane.

### 3.2.3.2 Tamisage de granulométrie

Le tamisage se fait à l'aide des tamis d'analyse granulométrique



Tableau 3.8. analyse granulométrique de pouzzolane

Les résultats de l'analyse granulométrique de la pouzzolane sont montrés dans le tableau 3.5 et la figure 3.10.

**Tableau 3.5. Résultats de l'analyse granulométrique de la pouzzolane**

Ouverture des Tamis	Pourcentage des refus cumulés %	Pourcentage des tamisât cumules
5	0.65	99,35
2.5	0.6	99.4
1.25	0.6	99.4
0.63	0.7	99.3
0.315	11.1	88.9
0.16	73.6	26.4
0.063	99.4	0.6
Fond	99.5	0,5

### 3.2.3.3 Masse volumique

**Tableau 3.6. Résultats de la masse volumique « pouzzolane »**

Masse volumique	Mesures	Essai1	Essai 2	Essai 3
Absolue	Volume d'eau $V_1$ (ml)	300	300	300
	Masse de l'échantillon $M_1$ (g)	200	175	150
	Volume d'échantillon $V_2$ (ml)	365	360	365
	Masse volumique absolu $M/V_{aps}$ (kg/ $cm^3$ )	3076	2916	2307
		2766		
	Masse de l'échantillon $M_1$ (g)	1164	1160	1166
Apparente	Volume d'échantillon V (litre)	1 litre	1 litre	1 litre
	Masse volumique apparente $M/V_{aps}$ (kg/ $cm^3$ )	1164	1160	1166
		1163		



### 3.2.3.4 Caractérisations techniques de pouzzolane

Il représente les caractéristiques suivantes (Tableau 3.7)

**Tableau 3.7. Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle**

Caractéristiques physiques	Valeurs
Masse volumique apparente (kg/cm <sup>3</sup> )	1163
Masse volumique absolue (kg/cm <sup>3</sup> )	2766
Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> )	3560
Pouzzolanité (%)	85
Porosité (%)	58.70
Humidité (%)	2.50
Absorption (%)	57.10

### 3.2.4 Les fillers calcaires

Les fillers calcaires proviennent de la carrière « Entreprise national de granulats ENG » Tlemcen. Situé à 30 km de la ville de Tlemcen. La roche est de nature calcaire dolomitique.



**Figure 3.9. filler calcaire**

### 3.2.4.1 Masse volumique de filler calcaire

Les résultats de la masse volumique sont représentés dans le tableau :

**Tableau 3.8. Masse volumique « filler calcaire »**

Masse volumique	Mesures	Essai 1	Essai 2
Absolue	Volume d'eau $V_1$ (ml)	350	350
	Masse de l'échantillon $M_1$ (g)	400	400
	Volume d'échantillon $V_2$ (ml)	500	499
	Masse volumique absolu $M/V_{aps}$ ( $kg/m^3$ )	2660	2680
		2670	
Apparente	Masse de l'échantillon $M_1$ (g)	1006	996
	Volume d'échantillon V (litre)	1 litre	1 litre
	Masse volumique apparente $M/V_{aps}$ ( $kg/m^3$ )	1006	996
		1001	

### 3.2.4.2 Analyse granulométrique de filler calcaire

Les résultats de l'analyse granulométrique de filler calcaire sont représentés dans le tableau 3.8 et la figure 3.10.

**Tableau 3.9 : Analyse granulométrique du filler calcaire.**

Ouverture des Tamis	Pourcentage des refus cumulés %	Pourcentage des tamisât cumules
5	0	100
2,5	0	100,0
1,25	16,47	83,53
0,63	74	26
0,315	87,2	12,8
0,16	94,53	5,47
0,08	99,4	0,6
0,063	99,47	0,53



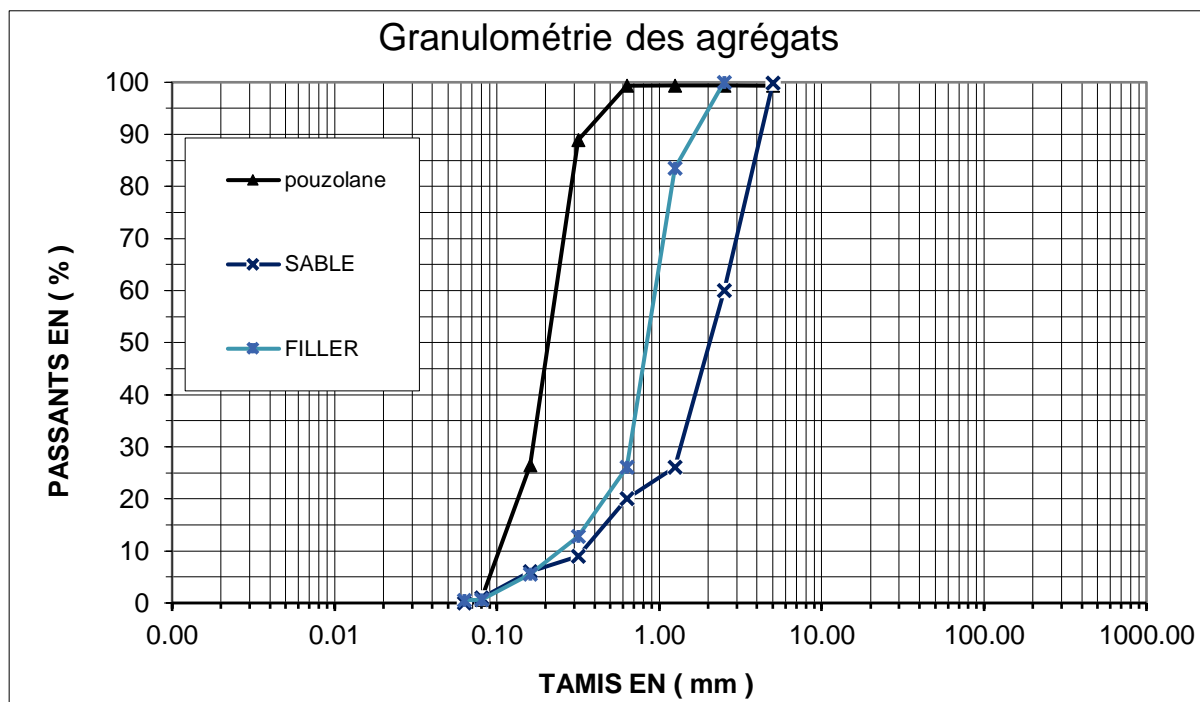


Figure 3.10. Courbe granulométriques de différents granulats utilisés.

### 3.2.5 Eau de gachage

L'eau utilisée pour la confection du mortier et celui du robinet distribuée par le réseau public de la ville de Tiaret .

### 3.2.6 L'adjuvant

L'emploi de l'adjuvant dans ce travail à pour but de minimiser la quantité d'eau pour avoir un rapport E/C faible ou moyen.

- L'adjuvant utilisé :

#### 3.2.6.1 Adjuvant MEDAFLOW

C'est un super plastifiant de la marque MEDAFLOW 3041 R, haut réducteur d'eau formulé à base de polymères de synthèse et combinés, ce qui améliore considérablement les propriétés des bétons et des mortiers. Fabriqué à GRANITEX Zone industrielle Oued Smar, Alger. [38]



**Figure 3.11. Adjuvant MEDA FLOW**

Il représente les caractéristiques suivantes (Tableau 3.10)

**Tableau 3.10. Caractéristiques techniques de l'adjuvant MEDA FLOW**

Caractéristiques techniques	Valeur
Aspect	Liquide
Couleur	Brun clair
Ph	6-6.5
Densité	1.8 ± 0.01
Teneur en chlorure	< 0.1 g/l
Extrait sec	30% +1

Le MEDAFLOW 3041 est conditionné dans des bidons de 10 kg en futs Il peut être conservé durant une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ( $5^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$ ). Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer. Il est utilisé pour la fabrication des mortiers ou des bétons tel que : [38]

- Bétons à hautes performances.
- Bétons architecturaux
- Bétons précontraints.
- Autres.

## Les propriétés du MEDAFLOW

- L'état frais :
  - Obtention d'un rapport E /C très bas
  - Amélioration de la fluidité
  - Avoir une bonne ouvrabilité
  - Eviter la ségrégation
  - Faciliter la mise en œuvre du béton
  
- Sur béton durci :
  - Diminuer la porosité.
  - Augmenter la durabilité
  - Diminuer le retrait.

La plage de dosage recommandée est 1.0 à 2.5% du poids de ciment soit 0,93 litres à 2,36 litres. Pour 100 Kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

Il est recommandé d'ajouter le MEDAFLOW RE 25 dans le béton après introduction des  $\frac{3}{4}$  de l'eau de gâchage. Il est conseillé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage adéquat pour les résultats recherchés. Il peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), puis malaxer à grande vitesse : 1min/m<sup>3</sup>.

Par temps chaud, le MEDAFLOW SR25 peut être combiné à un retardateur de prise (MEDARETARD GR). [39]

### 3.3 Conclusion

Les essais d'identification présentés ci-dessus nous a permis de juger la qualité des matériaux choisis pour la réalisation de ce mémoire. La connaissance de différentes caractéristiques principales des matériaux nous facilite le choix des dosages pour pouvoir fabriquer un mortier de qualité et nous aident par la suite et d'une façon significative de commenter et d'argumenter les résultats des essais mécaniques.

# **Chapitre -04-**

### 4.1 Introduction

Après avoir discuté les différentes caractéristiques des matériaux qui rentrent dans la fabrication des mortiers, après la sélection des matériaux à utiliser et l'identification de ces derniers, on a procédé à réaliser un programme expérimental pour répondre à la problématique de ce sujet.

### 4.2 Partie expérimentale

#### 4.2.1 Formulation des mortiers

Les mortiers confectionnés sont de type 1/2 (une masse de ciment CPJ CEMII/B 32.5R CAHMIL avec deux masses de sable).



**Figure 4. 1. Fabrication des Mortiers.**

Pour atteindre l'objectif visé par l'étude, nous avons procédé comme suit :

##### 4.2.1.1 Mortiers ordinaires témoins

Nous avons confectionné deux mortiers de référence (sans additions) dont la composition est inspirée de celle du mortier normal défini par la norme EN 196-1.

La différence entre les deux mortiers réside dans le type de ciment, donc les mortiers fabriqués dans cette étape seront nommés par :

- MTC1 : Mortier témoin en utilisant le ciment 1 (CPJ CEMII /B 32.5R CAHMIL).
- MTC2 : Mortier témoin en utilisant le ciment 2 (CPJ CEM II /A-L 42.5 AWTED).

## CHAPITRE 04 CONFECTION DES MORTIERS ET ESSAIS MÉCANIQUES

Le rapport Eau/Liant et la quantité de l'adjuvant de type super plastifiant ont été fixé expérimentalement afin d'obtenir une consistance normale de référence et de ne pas nuire à la résistance des éprouvettes.

Les compositions retenues sont résumées dans le tableau 4.1 ci-dessous :

**Tableau 4. 1. Compositions massiques des mortiers témoins.**

Mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	E/C	Adjuvant (g)	Eau (ml)
MTC1	675	1350	0.45	4	304
MTC2	675	1350	0.45	4	304

### 4.2.1.2 Mortiers à base de pouzzolane

La deuxième étape, consiste à remplacer ou bien de substituer une quantité de ciment par une quantité de pouzzolane selon les pourcentages suivants (10%, 20%,30% ; 35% et 40%). Ce travail a été fait pour les deux types de ciment choisis (Chamil et AWTED). Les mortiers fabriqués dans cette étape ont été nommés par : M1, M2, M3, M4 et M5. Ils sont composés respectivement de (10% ; 20% ; 30% ; 35% et 40%) de pouzzolane.

Les compositions massiques retenues sont résumées dans les tableaux 4.2 ci-dessous :

**Tableau 4. 2. Compositions massiques des mortiers à divers pourcentages de pouzzolane.**

Mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	Pouzzolane (g)	E/C	Adjuvant (g)	Eau (ml)
M1/C ou A	607.5	1350	10% = 67.5	0.45	4	304
M2 /C ou A	540	1350	20% = 135	0.45	6.75	304
M3/C ou A	472.5	1350	30% = 202.5	0.45	10.1	304
M4/C ou A	438.75	1350	35% = 236	0.45	11.8	304
M5/C ou A	405	1350	40% = 270	0.45	14	304

## CHAPITRE 04 CONFECTION DES MORTIERS ET ESSAIS MÉCANIQUES

☒ **Remarques :** pour faire la différence entre les mortiers fabriqués avec le ciment 01 ou le ciment 02 nous avons ajouté la lettre C : Chamil ou la lettre A : AWTED.

**Exemples :** M1/C : mortier N°1 fabriqué avec le ciment Chamil.

M1/A : mortier N° 1 fabriqué avec le ciment Awted.

### 4.2.1.3 Mortiers à base de pouzzolane et de filler calcaire

La troisième étape consiste à remplacer une masse de ciment par un mélange de pouzzolane et de filler calcaire avec des masses égales. Les pourcentages retenus sont les suivants (10%, 20%, 30% et 40%) en utilisant le ciment (CEM II /A-L 42.5 AWTED). Les mortiers fabriqués dans cette étape seront nommés par : M6, M7, M8, M9 et M10.

Les compositions massiques retenues sont résumées dans les tableaux 4.3 ci-dessous :  
La lettre P désigne la pouzzolane et la lettre F désigne le filler calcaire.

**Tableau 4. 3. Compositions massiques des mortiers à divers pourcentages de mélange (pouzzolane +filler).**

Mortiers	Ciment (g)	Pouzzolane (g)	Filler calcaire (g)	E/C	Adjuvant (g)	Eau (g)
MTC2	675	0	0% = 0	0.45	4.0	304
M P-F 1	607.5	33.75	10% = 33.75	0.45	4.0	304
M P-F 2	540	67.5	20% = 67.5	0.45	6.75	304
M P-F 3	472.5	101.25	30% = 101.25	0.45	10.1	304
M P-F 4	405	135	40% = 135	0.45	14.0	304

L'augmentation du dosage de l'adjuvant de 0.6 à 2 % a pour objet de garder une bonne consistance des mortiers.

### 4.2.2 Préparation des mortiers

On mélange la composition d'un mortier pendant 4 minutes selon les prescriptions décrites ci-dessous et conformément à la norme :



## CHAPITRE 04 CONFECTION DES MORTIERS ET ESSAIS MÉCANIQUES

---

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30 s de malaxage, introduire régulièrement le sable pendant les 30 s suivants.
- Puis mettre le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30s. 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. [39]



**Figure 4. 2. Matériels utilisé de malaxage.**

### 4.2.3 Préparation des éprouvettes

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

- Enduire les faces latérales intérieures et le fond du moule d'une légère couche d'huile de décoffrage.
- Fixer le moule et la hausse sur la table à chocs
- Remplir le moule (4 x 4 x 16), le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois.
- Arasé la surface du moule avec la règle plate à araser.
- Etiqueter les moules (date/groupe...etc.) et couvrir la surface par une plaque de verre

## CHAPITRE 04 CONFECTION DES MORTIERS ET ESSAIS MÉCANIQUES

---

- Après 24 heures ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à  $20\text{ C}^\circ \pm 1\text{ C}^\circ$  jusqu'au moment de l'essai de rupture (noter les informations de l'étiquette sur les éprouvettes)
- Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à (2 ou 7 jours) et 28 jours. [39]



Figure 4. 3. Malaxage et préparation des moules.



Figure 4. 4. Éprouvette de mortiers à l'état frais e

### 4.2.4 Conservation des éprouvettes

- Poser une plaque en verre ou en acier sur le périmètre du moule.
- Placer le moule dans une pièce humide pendant 24 heures.
- Démouler ensuite les éprouvettes et procéder au marquage (figure 4.5).
- Conserver les éprouvettes dans l'eau à 20°C (figure 4.6).



Figure 4. 5. Marquage des éprouvettes.



Figure 4. 6. Démoulage et conservation des éprouvettes dans l'eau.

### 4.3 Caractéristiques mécaniques des éprouvettes

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion doivent être soumis à une force de compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 40 mm x 40 mm.

#### 4.3.1 Résistance à la traction par flexion

La machine utilisée est la machine de flexion trois points (deux appuis et un une force concentrée au milieu). (Figure 4.7)

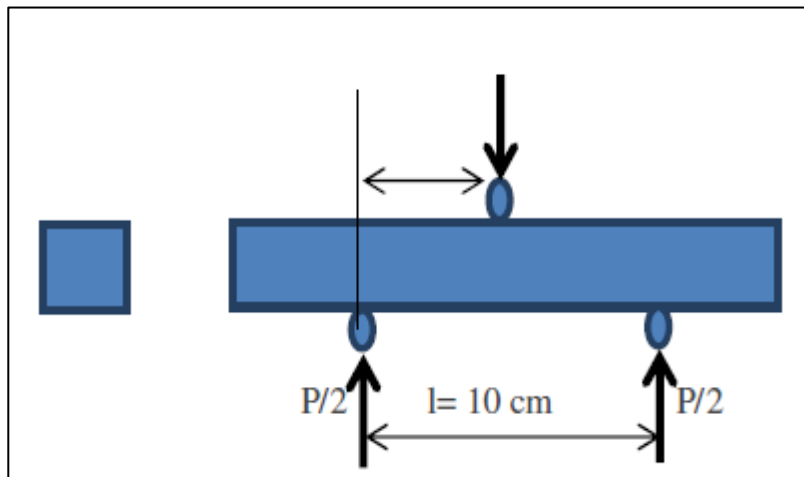


Figure 4. 7. Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

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

Rf (en N/mm<sup>2</sup>) est calculée au moyen de la formule :

$$Rf = 1.5 * \frac{P * l}{b^3}$$

D'où :

Rf : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.



$P$  : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

$L$  : est la distance entre les appuis, en millimètres

La machine utilisée est la machine de flexion trois points (deux appuis et un une force concentrée au milieu). (Figure 4.8).



Figure 4. 8. Machine de flexion

### 4.3.2 Résistance à la compression

Les éprouvettes récupérées après essai de flexion sont sujets encore fois à un autre essai de compression. Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à  $\pm 0.5$  mm en utilisant le dispositif comportant la surface d'application de  $4 \times 4$  cm<sup>2</sup> puis la charge sera appliqué en augmentation avec une vitesse providence jusqu'à la rupture (figure 4.9).

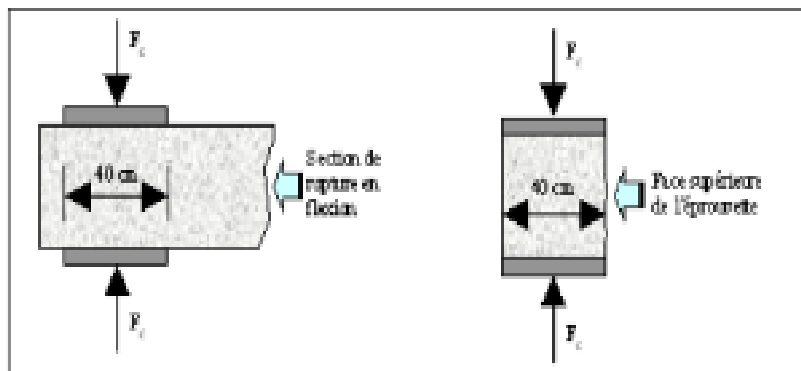


Figure 4. 9. Schéma type de l'essai de compression

- ✚ La machine utilisée est la machine de compression, conforme à la norme EN 12390-4 avec un dispositif de surface 4x4 cm<sup>2</sup> (figure 4.10).



**Figure 4. 10. Essai de compression.**

La résistance en compression  $R_C$  (en N/mm<sup>2</sup>) est calculée au moyen de la formule :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2}$$

Avec :

$R_C$  : Résistance à la compression en (MPa).

$F_C$  : Charge de rupture en (N).

$b$  : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

### 4.4 Conclusion

Le travail élaboré dans cette partie expérimentale, nous a permis de réviser une bonne partie des essais qu'on a vu durant notre graduation et de maîtriser ces derniers : calcul des mélanges et des compositions, confection des mortiers, malaxage, choix de la proportion de l'adjuvant et manipuler des essais mécaniques.

## CHAPITRE 04 CONFECTION DES MORTIERS ET ESSAIS MÉCANIQUES

---

L'élaboration d'un bon programme expérimental qui répond à nos objectifs est la clé de réussite de ce travail, il nous a permis de confectionnés plusieurs types de mortiers de différentes compositions et de pourcentage en pouzzolane et de filler calcaire, ainsi de voir de près la différence entre tel ou tel mortier.

# **Chapitre -05-**



## 5.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude, l'analyse et l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus durant le programme expérimental. Les résultats obtenus nous permettront de savoir et de juger le comportement des mortiers composés de différents pourcentages de pouzzolane et de filler-calcaire.

Pour donner une meilleure lisibilité aux résultats, ces derniers seront présentés dans des tableaux et par des courbes. Une conclusion sera exploitée à la fin de ce chapitre.

## 5.2 Résultats

Après une conservation des éprouvettes sous l'eau pendant de 28 jours (figure 5.1), nous avons procédé à faire des essais de traction par flexion et des essais de compression.

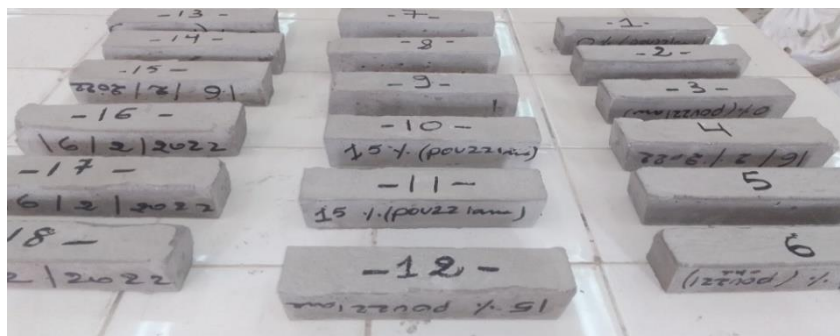


Figure 5. 1. Éprouvettes conservées pendant 28 jours.

### 5.2.1 Mortier ordinaire (témoin)

Les résultats des essais de flexion et de compression sur les mortiers ordinaire témoin (MTC1 et MTC2) sont représentés dans le tableau 5.1.

Tableau 5. 1. Résultats des mortiers ordinaires après 28 jours.

Mortier	Force de Traction (KN)	Contrainte de Traction (MPA)	Force de Compression (KN)	Contrainte de Compression (MPA)
MTC1	2,09	4,89	68,7	42,93
MTC2	2,03	4,75	86,05	53,75

### 5.2.2 Mortier à base de pouzzolane

Les résultats des essais de flexion et de compression sur les mortiers à base de pouzzolane sont résumés ci-dessous comme suit :

- Tableau 5.2 : mortiers à base de pouzzolane et fabriqués avec le ciment 01 (ciment Chamil).
- Tableau 5.3 : mortiers à base de pouzzolane et fabriqués avec le ciment 02 (ciment AWTAD).

**Tableau 5. 2. Résultats des mortiers à base de pouzzolane après 28 jours (Ciment CHAMIL).**

Mortiers	Force de Traction (KN)	Contrainte de Traction (MPa)	Force de Compression (KN)	Contrainte de Compression (MPa)
M1/C	2,00	4,68	41,04	25,65
M2/C	1,86	4,36	24,64	15,40
M3/C	1,83	4,30	24,32	15,20
M4/C	1,40	3,28	23,73	14,83
M5/C	1,30	3,05	21,92	13,70

**Tableau 5. 3. Résultats des mortiers à base de pouzzolane après 28 jours (Ciment AWTED).**

Mortiers	Force de Traction (KN)	Contrainte de Traction (MPa)	Force de Compression (KN)	Contrainte de Compression (MPa)
M1/A	1,81	4,24	67,44	42,15
M2/A	1,75	4,10	61,18	38,24
M3/A	1,70	3,98	55,10	34,44
M4/A	1,63	3,83	53,54	33,46
M5/A	1,63	3,81	42,83	26,77

### 5.2.3 Mortiers à base de pouzzolane et de fillers calcaire

Ces mortiers ont été fabriqués avec le ciment AWTAD et les résultats sont représentés dans le tableau suivant (tableau 5.4)

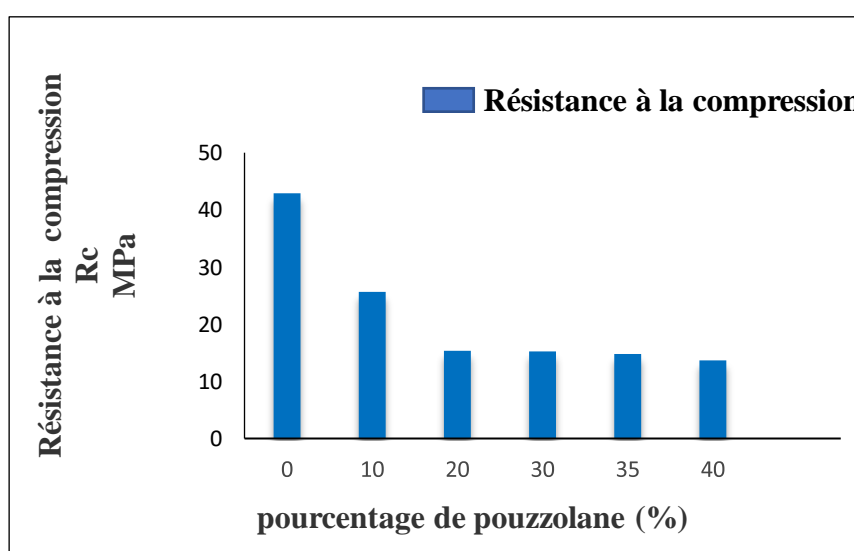
**Tableau 5. 4. Résultats du mortier à base de pouzzolane et filler calcaire après 28 jours (Ciment AWTADE).**

Mortiers	Force de Traction (KN)	Contrainte de Traction (MPa)	Force de Compression (kN)	Contrainte de Compression (MPa)
M P-F 1	2,06	4.82	59.72	41.73
M P-F 2	1,83	4,29	57,22	34,93
M P-F 3	1,83	4,28	44,59	32,05
M P-F 4	1,44	3,38	46,89	26,64

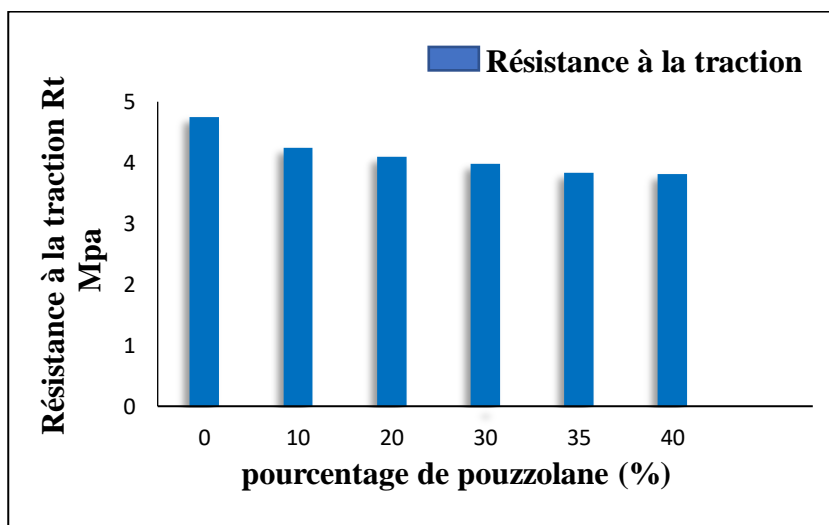
### 5.3 Discussions

- Influence de la pouzzolane et du type de ciment**

Les figures 5-2 et 5.3 représentent respectivement les résultats de la résistance à la compression et à la traction (à 28 jours) des mortiers fabriqués avec le ciment Chamil et Awted avec les différents pourcentages de pouzzolane cités ci-dessus.



**Figure 5. 2. Effet de la pouzzolane sur la résistance à la compression (ciment CHAMIL)**



**Figure 5. 3. Effet de la pouzzolane sur la résistance à la traction (ciment CHAMIL).**

Sur les figure 5.2 et 5.3, On remarque et on constate qu'à chaque fois qu'on ajoute la pouzzolane les résistances diminuent, donc l'ajout de pouzzolane n'a pas apporté une amélioration aux mortiers en comparaison avec le mortier témoin fabriqué avec le même type de ciment 01 Chamil.

On faisant varier le pourcentage de pouzzolane de 0% à 40%, nous avons enregistré une diminution d'environ de 37.5% varie de 4.83 MPa à 3.05 MPa pour la résistance à la traction et une diminition d'environ de 75% varie de 42.93 à 13.7 pour la résistance à la compression.

La valeur optimale dans ce cas est de 10% où la résistance à la traction a donnée une bonne valeur 4.68 contre 4.89 pour un mortier témoin et la résistance à la compression a été atteint environ 25.5 MPa qui reste acceptable mais avec attention pour la réalisation de plusieurs éléments d'une structure (longrines, poutrelles, des raidisseurs, acrotères...etc).

En effet, les autres résultats obtenus sont très faibles et ne peuvent pas considérer pour des travaux importants comme les éléments porteurs ou en général les éléments necessitant une résistance élevée pour une structure, par contre, ils peuvent etre utilisés pour fabriquer des bétons de propreté, des plate-formes, les linteaux, des enduits ...etc.

Il faut noter dans ce cas que le deuxième point est le plus favorable vis à vis nos objectifs parceque l'utilisation de la pouzzolane à la place du ciment sera élevée et representative et le pouzzolane est un matériau économique et écologique par rapport au ciment.

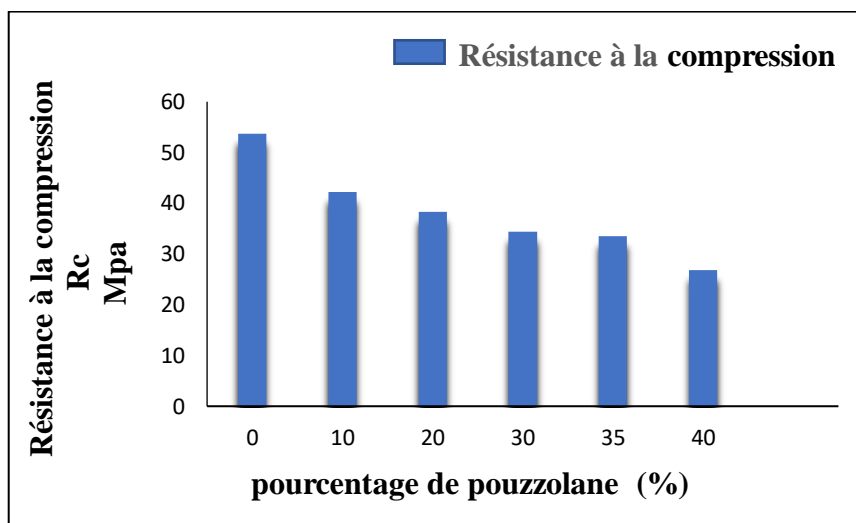


Figure 5. 4. Effet de la pouzzolane sur la résistance à la compression (Ciment AWTED).

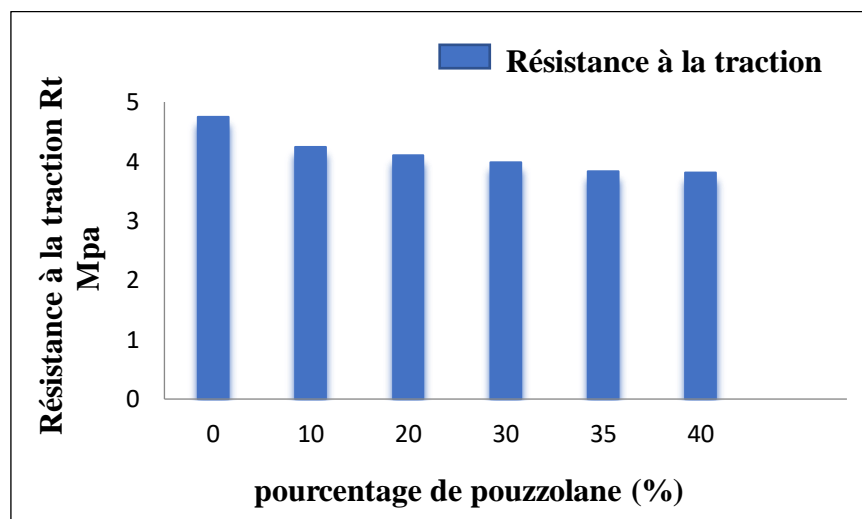


Figure 5. 5. Effet de la pouzzolane sur la résistance à la traction (Ciment AWTED).

Egalement pour le deuxième type de ciment, les résistances ont été diminuées par rapport au mortier ordinaire de 21 à 50% passant de 42.15 MPa à 26.77 MPa pour la résistance à la compression et légèrement diminuent de 10 à 19% pour la résistance à la traction. On ce qui concerne les chantiers de bâtiments et de génie Civil, ces résistances sont excellentes à bonnes et peuvent être utilisées pour la totalité des chantiers indiqués.

En effet, l'utilisation de ciment AWTED est plus favorable et très satisfaisante par rapport au ciment CHAMIL et permet une utilisation large de la pouzzolane qui peut aller jusqu'à une substitution de 40% de la masse du ciment.

Il faut noter ici un double résultats : un mortier résistant et une consommation élevée d'un matériau économique et écologique par rapport au ciment.

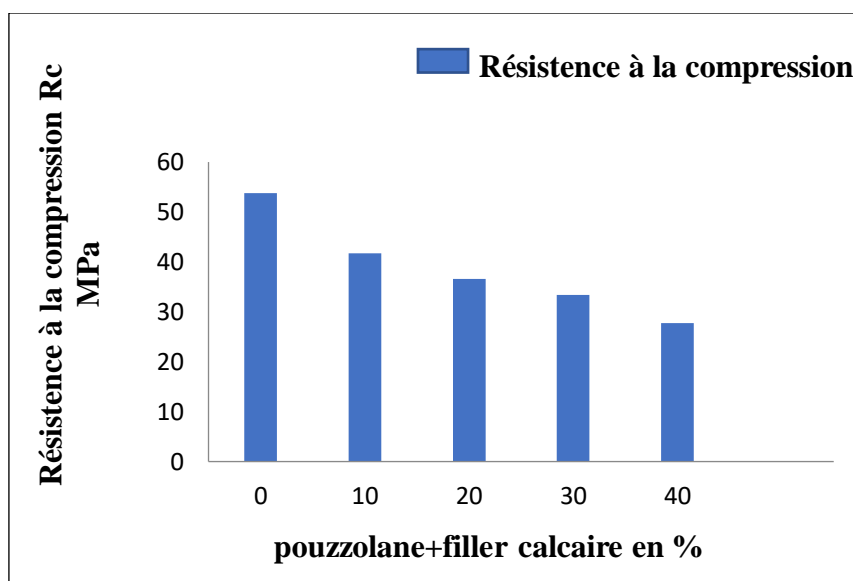


Figure 5. 6. Influence de pourcentage de filler calcaire sur la résistance à la compression (Ciment AWTED).

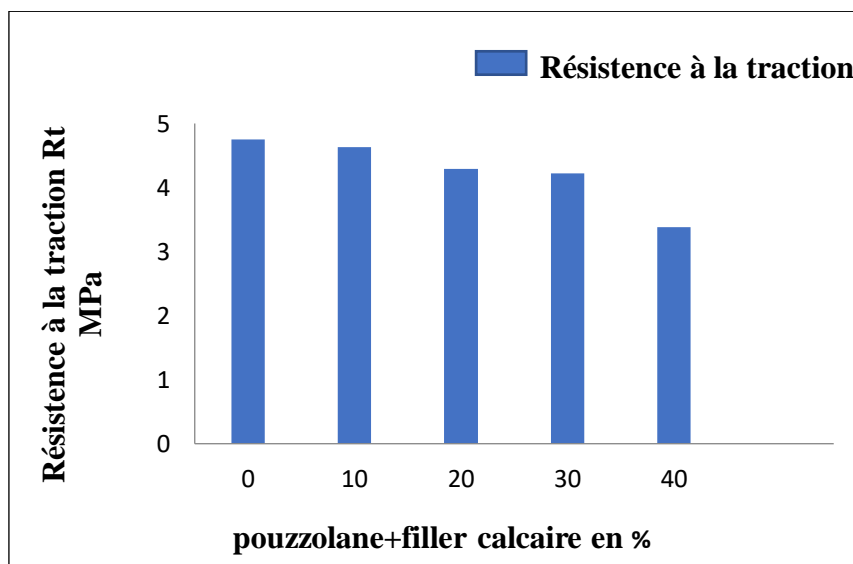


Figure 5. 7: Influence de pourcentage de filler calcaire sur la résistance à la Traction (Ciment AWTED)

L'ajout d'un mélange de filler calcaire et de pouzzolane n'a pas apporté un grand changement de la résistance à la compression, une diminution de 21 à 50 % passant de 41.7

MPa à 26.64 MPa par rapport aux mortiers témoins et un comportement presque le meme avec mortier précédent (mortier avec seulement la pouzzolane en utilisant le ciment 02).

Par contre, nous avons constaté pour l'ensemble des dosages une amélioration de la résistance à la traction avec un dosage idéal de 10% ( $R_t = 4.82$  MPa).

## 5.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu l'effet de différents dosages de la pouzzolane et un mélange de pouzzolane +filler calcaire sur les résistances à la traction et à la compression de mortiers fabriqués avec deux types de ciment (le ciment Chamil et le ciment Awted).

Nous avons constaté que l'utilisation du ciment Awted et le filler est le plus convenable pour avoir un mortier résistant et avec une consommation représentative de la pouzzolane qui reste une matière écologique.

# *Conclusion Générale*



## Conclusion Générale

---

Le travail principal de cette étude est de trouver la possibilité de remplacer un matériau industriel ciment par un matériau naturel, car l'industrie du ciment provoque l'émission d'énormes quantités de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), ce qui a un effet multiplicateur. Le matériau de remplacement doit donner un comportement répondant à certaines exigences de construction et doit être un matériau plus économique. Pour cela des mortiers ont été confectionnés par la substitution du ciment par différents pourcentages de la pouzzolane et autre avec un mélange pouzzolane- filler calcaire.

Les conclusions les plus importantes peuvent être relevées comme suit :

La substitution d'un ciment par une masse de pouzzolane naturel n'a pas amélioré la résistance des mortiers. Cette dernière est faible par rapport à la résistance d'un mortier ordinaire (100% ciment), néanmoins, les avantages suivants sont retenus :

- Les résistances obtenues sont acceptables à bonne
- L'emploi d'un ciment d'une résistance élevée (42.5 ou 52.5 MPa) est mieux adapté par rapport à un ciment 32.5 MPa.
- Les meilleures résistances ont été obtenues avec le rapport de substitution de 10% de la masse de ciment.
- Les classes de ciment indiquées ci-dessus permettent d'augmenter le taux de substitution Jusqu'à 30 à 40 % de la masse du ciment.
- L'emploi de filler calcaire dans le mélange améliore mieux la résistance à la traction

Enfin, on peut dire que les résultats sont très satisfaisants et que l'utilisation d'un ciment d'une résistance élevée avec une substitution de 20 à 40% par la pouzzolane est le choix idéal de cette étude.

En perspectives, il est souhaité d'étudier le comportement de ce matériau vis-à-vis les conditions d'isolation thermiques ainsi que sa durabilité.

# *Références bibliographiques*

## Les références bibliographiques

- [1] BOUALI Khaled. (2014). « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires ». Mémoire de magister université m'Hamed Bougara-Boumerdes.
- [2] BENHAMOU. (1994). « Comportement rhéologique des coulis de liants hydrauliques ultrafins destinée à l'injection », Thèse de doctorat en géologie de L'Ingénieur.
- [3] Laldji. (2015). Cours-Béton -ETS S-
- [4] Jean-Pierre Adam. Sixième édition. La construction romaine. Matériaux et technique Grands manuels picards.
- [5] Dr. A. MERDAS. Cours de MDC U.F.A. de Sétif.
- [6] <http://www.guidebeton.com/eau-gachage>
- [7] Elbaremostapha-zelit Mohamed « comportement sur les bétons à l'état frais et durci en présence l'adjuvants » Mémoire d'ingénieur d'état, école nationale travaux public.
- [8] [Users.skynet.be/15102/mortiers.htm](http://Users.skynet.be/15102/mortiers.htm)
- [9] SYLVER.P. (2005 ,2006). «science des matériaux» université pierre et marie curie
- [10] Mr. BERRAIH MIMOUN. (ENSET Oran 2009/2010). « Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en Génie Civil, option géo matériaux.
- [11] Charles A.S, Marcel Dekker, Inc. (2004). Herd-book.
- [12] Source de l'image <http://www.rectavit.be/fr/easyfix/Toepassingen.aspx>
- [13] <http://www.materiaux-produits.fr>
- [14] Fédération Européenne calages. Statistique mondiales écologique

[15] Hakmi Mohamed amine (2011). Valorisation des déchets en verre dans l'industrie des briques réfractaire. Mémoire de magister université Dr Moulay Tahar de Saida.

[16] ZEROUB Hamid. (15/02/2012). « Valorisation du verre l'élaboration de Béton durable (approche expérimentale) » mémoire de magister (spécialité SCIENCES ET GENIE MATERIAUX) option physico-chimie des matériaux minéraux Boumerdes

[17] AKERBOUCHE. (ST Oran 2009). « Influence des ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des bétons » mémoire de magister.

[18] M VENUAT. (Édition 2-Collection moniteur.1989). La pratique des ciments, mortiers et bétons-Tome 1 : « caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers ».

[19] SOPHIE Houssons « étude physique chimique et mécanique des interactions ciment filler. Application aux mortiers ». Thèse de l'institut national polytechnique de Grenoble et de l'école nationale supérieure des mines de Saint –Etienne (spécialité Génie des procédés).

[20] A. MEBROUKI. (Juin 2003). « Influence de la pouzzolane de Beni-Saf sur les caractéristiques mécaniques des mortiers » thèse de Magister- Université Mostaganem.

[21] Abdelaziz S. (2006). Valorisation des sédiments de dragage. Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug, Université de Reims Champagne-Ardenne

[22] A. ALI AICHOUBA. (IGCM ORAN – 2005). Effets des pouzzolanes naturelles sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire. Thèse de magister.

[23] <https://www.mineral-deco.fr/wp-content/uploads/2021/03/POUZZOLANE-R-7-15-1-2-scaled.jpg>

[24] <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/jardin-pouzzolane-17941>

[25] Dimitri D. (2008). La physico-chimie des sols traités (LCP). Paris.

[26] Cabrera J. Rojas M.F. (2000). Mécanisme of hydrations of métakaolin-lime-water system CCR (31- 4) pp177-182

[27] Reverdy M. Brivot F. Pailler AM, DRON R. (1980). Appréciation de l'activité pouzzolanique des constituants secondaires. 7th congres on cementchemistry, Paris vol 4, p36.

[28] <https://qualitexpert-dz.com/divers/la-pouzzolane/>

[29] Dron. R 78. (1978) : L'activité pouzzolanique. Bull. liaison Labo. Ponts et Chaussées, vol. p66- p69.

[30] Gardner.E.M, Gaidis.W.R. R 91. (1991): Hydrations mécanismes I, Materials Science of Concrete, Edite by Skalny, p 95-125.]

[31] R. SERSALE. (1980). « Structure et caractérisation des pouzzolanes et des cendres volantes ». Sous thème IV-1.7eme Congrès International de la chimie des ciments. Vol I. Paris.

[32] <https://thumbs.dreamstime.com/b/roche-pyroclastique-ign%C3%A9e-scoria-du-volcan-rinjani-indon%C3%A9sie-sp%C3%A9cimen-igneous-couleur-rouge-brun%C3%A2tre-oxydation-basaltique-de-209727697.jpg>

[33] <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQxIlhwYKxpx1LGyDGxYzRDIxBNvDDoh6YTZF1ybRhqah9rLIY6AIGWY1-allqXrqIChVA&usqp=CAU>

[34] (2006), Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug, P84 ; 110.

[35] Nabil Bouzoubaâ et Simon Foo. (Canada, 2005). Utilisation de cendres volantes et de laitier dans le béton : guide des règles de l'art, laboratoire de la technologie des matériaux.

[36] B. Hanna. (Ghardaïa 22-24 mars 1994). "Contribution à l'étude de là sur le comportement mécanique des mortier structuration des mortiers de ciment Portland contenant des fillers pouzzolaniques". Séminaire. Contenant des particules ultrafines". Doctorat de International sur la "qualité du béton en clima l'INSA, Toulouse, 1987. Chaud".

[37] <https://www.a2bpouzzolanes.com/index.php/caracteristiques-de-la-pouzzolane>

[38] <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/583457/pouzzolane>

[39] copy M. BLMAHI.SAMIR « confection des éprouvettes (4cm× 4 cm× 16cm) en mortier ordinaire et essai de compression (NF EN 1966-1) » Travaux pratique MDC TP 01-S5 faculté des sciences appliquées département de génie civil.

## Résumé

Ce travail consiste à étudier l'effet de l'incorporation de la pouzzolane naturelle sur les propriétés mécaniques des mortiers à base de ciment et du sable.

L'idée principale consiste à fabriquer un mortier à divers pourcentages de pouzzolane pour savoir la limite de l'utilisation de cette dernière et de comparer ce mortier avec un mortier ordinaire. L'ajout de filler calcaire est un travail secondaire pour savoir le comportement du mélange filler-pouzzolane.

Les résultats ont montré que l'utilisation de la pouzzolane a donné des résultats acceptables à bons, mais sont faibles que le mortier témoin, ainsi, l'utilisation d'un ciment de classe de résistance de 42.5 MPa ou 52.5 est plus convenable à cette étude. Il est constaté aussi que l'ajout de filler calcaire a amélioré un peu la résistance à la traction.

Pour ce travail, le taux idéal de la substitution du ciment par la pouzzolane était de 10% pour les deux classes de ciment 32.5 et 42.5 ainsi pour le cas d'ajout de filler calcaire.

**Mots clés :** mortier, pouzzolane, filler calcaire, résistance, béton.

## Abstract

This work consists in studying the effect of the incorporation of natural pozzolan on the mechanical properties of cement-based mortars and sand.

The main idea is to make a mortar with various percentages of pozzolane to know the limit of the use of the latter and to compare this mortar with an ordinary mortar. The addition of limestone filler is a secondary work to know the behavior of the filler-pozzolane mixture.

The results showed that the use of pozzolan gave acceptable to good results, but are weaker than the control mortar, so the use of a cement with a strength class of 42.5 MPa or 52.5 is more suitable for this study. It is also found that the addition of limestone filler slightly improved the tensile strength.

For this work, the ideal rate of substitution of cement by pozzolan was 10% for the two classes of cement 32.5 and 42.5 as well as for the case of adding limestone filler.

**Key words:** mortar, pozzolan, limestone filler, strength, concrete.

## ملخص

يتكون هذا العمل من دراسة تأثير دمج البوزولان الطبيعي على الخواص الميكانيكية للملاط الأسمنت والرمل. الفكرة الرئيسية هي صنع ملاط بنسب مختلفة من البوزولان لمعرفة حدود استخدام الأخير ومقارنة هذا الملاط مع ملاط عادي. تعد إضافة حشو الحجر الجيري عملاً ثانوياً لمعرفة سلوك خليط الحشو والبوزولان. أوضحت النتائج أن استخدام البوزولان أعطى نتائج جيدة مقبولة، لكنه أضعف من ملاط التحكم، لذلك فإن استخدام أسمنت بدرجة مقاومة 42.5 ميغا باسكال أو 52.5 أكثر ملاءمة لهذه الدراسة. وجد أيضاً أن إضافة حشو الحجر الجيري أدى إلى تحسن طفيف في مقاومة الشد. بالنسبة لهذا العمل، كان المعدل المثالي لاستبدال الأسمنت بالبوزولان 10% لفتي الأسمنت 32.5 و42.5 وكذلك في حالة إضافة مادة حشو الحجر الجيري.

**الكلمات المفتاحية:** الملاط، البوزولان، حشو الحجر الجيري، المقاومة، الخرسانة.

