



جامعة محمد بوضياف - المسيلة  
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure  
et de la recherche scientifique  
Université Mohamed Boudiaf - M'sila  
Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة  
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de  
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : *Matériaux*

***THEME***

**Formulation d'un mortier avec ajout  
de pouzzolane naturelle soumis à  
températures élevées**

Dirigé par :  
Pr RAHMOUNI Zine EL Abidine  
Melle TEBBAL Nadia

Présenté par :  
SAMAI SOUMIA

Promotion: 2015/2016.

## Remerciement

Au mon dieu le clément et miséricordieux

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

Je remercie mes encadreurs : Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine et Melle TEBBAL Nadia.

Je remercie : DAHMANI Bachir : ingénieur de laboratoire physique (Lafarge M'sila).

- Ma collègue et mon ami : Aouididi Lwiza

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

- Messieurs les membres de jury pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.
- Mes enseignants (es) du département de génie civil et les responsables du laboratoire.
- Tous les employés de CCR Lafarge (M'sila).
- Tous les gens qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.

# DEDICACE

**Je dédie ce modeste travail à**

**Pour ma mère et cher**

**Pour le grand professeur et cher à mon cœur RAHMOUNI Zine El  
Abidine**

**Pour ma famille**

**Pour mon neveu zino**

**Pour mes amis lwiza, khaira**

**Pour mes amis à Jijel**

**Toutes mes connaissances.**

## Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>CHAPITRE 1 : Etude bibliographique</b>	
I.1. Introduction.....	4
I.2. Généralités .....	4
I.3. Les mortiers .....	4
I.3.1. Définition.....	5
I.3.2. Constituants des mortiers.....	5
I.3.2.2. Le liant.....	5
I.3.2.2. Le sable.....	5
I.3.2.3. L'eau de gâchage.....	5
I.3.3. Le rôle d'utilisation de mortier.....	6
I.3.4. Classification des mortiers.....	6
I.3.4.1. Classification générale des mortiers.....	6
I.3.5. Classes des mortiers.....	7
I.3.6. Préparation des mortiers.....	8
I.3.7. Caractéristiques des mortiers.....	8
I.3.7.1. Ouvrabilité.....	8
I.3.7.2. Prise.....	8
I.3.7.3. Résistances mécaniques.....	9
I.3.7.4. Retraits et gonflements.....	10
I.3.7.5. Masse volumique apparente.....	10
I.3.7.6. Masse volumique absolue.....	10
I.3.7.7. Porosité et compacité.....	10
I.4. Les fillers cimentaires.....	10
I.4.1. Définition des caractéristiques des additions.....	11
I.4.2. Définition des fillers.....	11
I.4.2.1. Les laitiers de hauts fourneaux.....	11
I.4.2.2. Les cendres volantes.....	12
I.4.2.3. Les fumées de silice.....	12
I.4.2.4. Les pouzzolanes naturelles.....	13
I.4.2.5. Les fillers calcaires.....	13
I.4.2.6. Les argiles calcinées.....	14
I.4.3. Les fonctions des fillers.....	14
I.4.3.1. Dans les ciments.....	14
I.4.3.2. Dans les bétons.....	14
I.5. La température .....	15
I.5.1. Effets de la température sur la structure et les propriétés thermiques et physique du béton.....	15
I.5.2. Evolution des composants et de la structure du béton.....	15
I.5.2.1. Evolution de la pâte de ciment.....	15
I.5.2.2. Evolution des granulats.....	16
I.5.2.3. Perte de masse.....	19

I.5.2.4. Coefficient de dilatation thermique.....	19
I.6. Conclusion.....	19

## **CHAPITRE II : Matériaux et méthode expérimentale**

II.1 Introduction.....	21
II.2.Caractérisation des matériaux.....	21
II.2.1. Sable normalisé CEN certifié conforme EN 196.....	21
II.2.1.1. Caractéristiques.....	21
II.2.1.2.Utilisation.....	21
II.2.1.3.Controles.....	22
II.2.1.4.Conformité.....	22
II.2.1.5.Caractéristiques physiques du sable normalisé.....	23
II.2.2.Le ciment CPA.....	23
II.2.2.1.Analyses chimiques des ciments CPA.....	23
II.2.2.2.Analyses minéralogiques DRX des ciments.....	24
II.2.2.3.Analyses physiques des ciments.....	24
II.2.3. Pouzzolane naturelle.....	24
II.2.3.1.Analyse chimique de la pouzzolane naturelle.....	25
II.2.3.2. Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle.....	25
II.2.4.Eau de gâchage.....	25
II.3.Les essais sur les matériaux.....	26
II.3.1.Les essais sur ciment.....	26
II.3.1.1.Consistance (Ouvrabilité).....	26
II.3.1.2.Temps de prise.....	26
II.3.1.3.Surface spécifique.....	27
II.3.1.4.Chaleur d'hydratation.....	27
II.3.2. Les essais sur sable.....	28
II.3.2.1.Analyse granulométrique de sable normalisé.....	28
II.3.2.2.Module de finesse.....	28
II.3.3.Les essais sur mortier.....	29
II.3.3.1.Essai de compression par flexion.....	29
II.3.3.2.Retrait et gonflement.....	32
II.3.3.3.Estimation de perte de masse.....	33
II.4.Conclusion.....	33

## **CHAPITRE III : Résultats et interprétations des Mortiers**

III.1.Introduction.....	35
III.2.Composition du mortier.....	35
III.3.Résultats des essais sur ciments.....	36
III.3.1.Consistance (Ouvrabilité).....	36
III.3.2.Temps de prise.....	37
III.3.3.Surface spécifique.....	38
III.3.4.Chaleur d'hydratation.....	39
III.4.Résultats des essais sur sable.....	41

III.4.1. Analyse granulométrique de sable Normalisé [EN 196-1].....	41
III.5. Résultats des essais sur mortier.....	42
III.5.1. Essai de compression.....	42
III.5.2. Essai de flexion.....	43
III.5.3. Retrait.....	44
III.5.4. Gonflement.....	46
III.6. Conclusion.....	47

## **CHAPITRE IV : Résultats et interprétations des mortiers soumis à des températures élevées**

IV.1. Introduction.....	49
IV.2. Résultats des essais.....	49
IV.2.1. La résistance mécanique en compression.....	49
IV.2.2. Résultats de la résistance mécanique des mortiers à la flexion.....	51
IV.2.3. La perte de masse.....	53
IV.2.4. Perte de masse et la résistance en fonction de la température.....	55
IV.3. L'interprétation des résultats.....	57
IV.3.1. La résistance mécanique à la compression.....	57
IV.3.2. La résistance mécanique à la flexion.....	57
IV.3.3. La perte de masse.....	57
IV.3.4. Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température.....	58
IV.4. Conclusion.....	58
<b>Conclusion général.....</b>	<b>59</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I.1: Dosages des mortiers.....</b>	<b>8</b>
<b>Tableau II.1 : Composition granulométrique.....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau II.2 : Caractéristiques physiques du sable normalisé.....</b>	<b>23</b>
<b>Tableau II.3: Caractéristique chimique de ciment CPA utilisé (Lafarge M'sila).....</b>	<b>23</b>
<b>Tableau II.4 : Caractéristiques minéralogiques DRX des ciments utilisé.....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau II.5 : Caractéristique physique du ciment utilisé (Lafarge M'sila).....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau II.6 : Analyse chimique de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf.....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau II.7 : Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf.....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau II.8 : Classement de sable.....</b>	<b>28</b>
<b>Tableau III.1 : Les compositions des mortiers.....</b>	<b>35</b>
<b>Tableau III.2: Propriétés physiques des ciments préparés (consistance normale).....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau III.3 : Propriétés physiques des ciments préparés (Temps de Prise).....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau III.4: Surface spécifique des ciments préparés.....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau III.5 : La chaleur d'hydratation de mortier normal en fonction du taux d'ajout (Pouzzolane).....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau III.6: Analyse granulométrique du sable normalisé.....</b>	<b>41</b>
<b>Tableau III.7: Evolution des résistances à la Compression du Mortier en fonction du taux d'ajout pouzzolane (sable normalisé).....</b>	<b>42</b>
<b>Tableau III.8 : Evolution des résistances à la flexion du Mortier en fonction du taux d'ajout la pouzzolane (sable normalisé).....</b>	<b>43</b>
<b>Tableau III.9: Retrait du mortier normal en fonction du taux d'ajout (pouzzolane).....</b>	<b>44</b>
<b>Tableau III.10: Gonflement du mortier normal en fonction du taux d'ajout (pouzzolane).....</b>	<b>46</b>

## **LISTE DES FIGURES**

<b>Figure I.1: Constituants des mortiers.....</b>	<b>4</b>
<b>Figure I.2: Table à secousses.....</b>	<b>9</b>
<b>Figure I.3: Principe de fonctionnement du maniabilimètre.....</b>	<b>9</b>
<b>Figure I.4: Laitiers de hauts fourneaux.....</b>	<b>11</b>
<b>Figure I.5 : Cendres volantes.....</b>	<b>12</b>
<b>Figure I.6 : Fumées de silice.....</b>	<b>12</b>
<b>Figure I.7 : Pouzzolanes naturelles.....</b>	<b>13</b>
<b>Figure I.8 : Fillers calcaires.....</b>	<b>13</b>
<b>Figure I.9 : Argiles calcinées.....</b>	<b>14</b>
<b>Figure I.10 : ATD (analyse thermique différentielle) du gel CSH, C/S=1.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure I.11 : Transformations principales dues à la température entre la température ambiante et la température de la destruction du matériau béton.....</b>	<b>17</b>
<b>Figure I.12. Courbes ATD des différents types de granulats.....</b>	<b>18</b>
<b>Figure II.1: Sable Normalisé.....</b>	<b>22</b>
<b>Figure II.2 : Appareil de Vicat.....</b>	<b>26</b>
<b>Figure II.3 : Densimètre manuel.....</b>	<b>27</b>
<b>Figure II.4a : Les moules des mortiers.....</b>	<b>29</b>
<b>Figure II.4b: Malaxeur.....</b>	<b>30</b>
<b>Figure II.5 : Table vibrante.....</b>	<b>30</b>
<b>Figure II.6: Armoire d'humidité.....</b>	<b>30</b>

<b>Figure II.7 : Le four (Heraeus).....</b>	<b>31</b>
<b>Figure II.8 : Appareil de flexion et de compression (Toni Technic).....</b>	<b>32</b>
<b>Figure II.9 : Appareil de retrait et gonflement.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure III.1: Variation du rapport E/C (Consistance normale) en fonction du taux d'ajout (pouzzolane).....</b>	<b>36</b>
<b>Figure III.2: Variation des temps de prise en fonction de taux d'ajout (pouzzolane).....</b>	<b>37</b>
<b>Figure III.3 : Variation de la surface spécifique de ciment en fonction de taux d'ajout (Pouzzolane).....</b>	<b>39</b>
<b>Figure III.4 : Effet du taux d'ajout pouzzolane sur la chaleur d'hydratation.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure III.5 : La courbe granulométrique de sable normalisé.....</b>	<b>41</b>
<b>Figure III.6 : Effet du taux d'ajout de pouzzolane sur la résistance à la Compression.....</b>	<b>42</b>
<b>Figure III.7 : Effet du taux d'ajout de pouzzolane sur la résistance à la flexion.....</b>	<b>44</b>
<b>Figure III.8 : Evolution du retrait du mortier en fonction du taux d'ajout (pouzzolane).....</b>	<b>45</b>
<b>Figure III.9 : Evolution du gonflement du mortier en fonction du taux d'ajout (Pouzzolane).....</b>	<b>46</b>
<b>Figure IV.1 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition1).....</b>	<b>49</b>
<b>Figure IV.2 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition2).....</b>	<b>50</b>
<b>Figure IV.3 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition3).....</b>	<b>50</b>
<b>Figure IV.4 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition4).....</b>	<b>51</b>
<b>Figure IV.5 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition1).....</b>	<b>51</b>
<b>Figure IV.6 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition2).....</b>	<b>52</b>
<b>Figure IV.7 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition3).....</b>	<b>52</b>
<b>Figure IV.8 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition4).....</b>	<b>53</b>
<b>Figure IV.9: Perte de masse en fonction de la température (Composition 1).....</b>	<b>53</b>

<b>Figure IV.10: Perte de masse en fonction de la température (Composition 2).....</b>	<b>54</b>
<b>Figure IV.11: Perte de masse en fonction de la température (Composition 3).....</b>	<b>54</b>
<b>Figure IV.12: Perte de masse en fonction de la température (Composition 4).....</b>	<b>55</b>
<b>Figure IV.13 : Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température (Composition 1).....</b>	<b>55</b>
<b>Figure IV.14 : Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température (Composition 2).....</b>	<b>56</b>
<b>Figure IV.15 : Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température (Composition 3).....</b>	<b>56</b>
<b>Figure IV.16 : Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température (Composition 4).....</b>	<b>57</b>

## **LISTE DES SYMBOLES**

**CLC** : ciments aux laitiers et aux cendres

**CHF** : ciments de hauts fourneaux

**CLK** : ciments de laitier au clinker

**ATD** : Analyse thermique différentielle

**ATG** : Analyse thermogravimétrique

**E.S.V** : Equivalant de sable visuel

**E.S.P** : Equivalant de sable piston

**M<sub>f</sub>** : Module de finesse

**SSB** : Surface spécifique Blaine

## RESUME

Ce travail est une étude des pouzzolanes naturelles en tant que composants de base dans les matériaux de construction. Il est destiné à mettre en relief l'avantage thermique de ces matériaux. Il est économiquement intéressant d'utiliser la pouzzolane en substitution d'une partie du clinker comme ajouts hydrauliquement actives.

L'élévation de la température dans le mortier entraîne une destruction des hydrates constitutifs de la pâte de ciment durcie. Cette destruction implique un affaissement du matériau par dégradation de ses propriétés mécaniques : rigidité et résistance.

L'élévation de la température génère également des pressions de fluides importantes au niveau de la porosité du matériau pouvant conduire à l'endommagement de celui-ci. Cet endommagement se conjugue à l'endommagement généré par le chargement mécanique. La prévision du comportement aux hautes températures implique donc la connaissance de l'évolution des variations des propriétés mécaniques.

Cette étude s'articule sur la comparaison de l'évolution des résistances résiduelles, en flexion et en compression mécanique et la perte de masse de quatre formulations des mortiers avec des pourcentages différents de pouzzolane naturelle. Il s'agit de trois formulations des mortiers avec ajout de pouzzolane et la formulation d'un mortier de sans ajout (témoin).

Les résultats obtenus montrent le bon comportement des mortiers à haute température environ 400 °C alors que la diminution de la résistance en compression est négligeable par rapport à la résistance à la flexion qui est très influencé par la montée en température. L'effet de l'ajout de pouzzolane sur la perte de masse n'a été visible qu'à la première température (200 °C), car l'évaporation se produit à une température voisine de 100 °C.

**Mots clés :** Mortier, Résistance mécanique, Haute température, Perte de masse, pouzzolane naturelle.

## Abstract

This work is a study of natural pozzolans as basic components in building materials. It is intended to highlight the thermal advantage of these materials. It is economically interesting to use the pozzolan to replace a portion of the clinker as hydraulically active additions.

The rise in temperature in the mortar caused a destruction of the constituent carbohydrates of the cement paste hardened. This destruction implies a subsidence of the material by degradation of its mechanical properties: stiffness and strength. The temperature rise also generates significant fluid pressure at the level of the porosity of the material which may lead to damage to it. This damage is combined with the damage generated by mechanical loading.

This study is based on a comparison of the development of strength resistance with tensile, mechanical pressure and weight loss on four samples of mortar at different rates of substance Buzolan. We have studying three combinations with the addition of Buzolan and one composition without addition.

The results show the good behavior of mortars at high temperature approx. 400 ° C while the reduction in compressive strength is negligible compared to the resistance has flexion which is heavily influenced by the rise in temperature. The effect of the addition of slag on the mass loss was visible that has the first temperature (200 ° C), because the evaporation occurs at a temperature near 100 ° C.

**Key words:** mortar, mechanical strength, high temperature, loss of mass, natural pozzolan.

## الملخص

هذا العمل هو دراسة أساسية للبوزولان الطبيعي كمواد أساسي في مواد البناء. فإنه يهدف إلى تسليط الضوء على الإستفادة من الجانب الحراري لهذه المواد. إنها مثيرة للاهتمام من الناحية الاقتصادية لإستخدام البوزولان لتحل محل جزء من الكلنكر كإضافات هيدروليكية نشطة.

إن ارتفاع درجة الحرارة على الملاط يؤدي إلى تفكيك الروابط المهدرجة المكونة لعجينة الإسمنت المتصلب هذا التفكك يؤدي إلى تطبيق هبوط في المادة و ترهل في خصائصها الميكانيكية: الصلابة و المقاومة.

إن ارتفاع درجة الحرارة يؤثر على المادة بضغطات في المادة السائلة على مستوى مساميتها التي تحطم هذه الأخيرة. إن التطور الجيد لهيكل المادة الخاضعة لدرجات الحرارة العالية يسمح لنا بمعارف أكثر في معرفة التغيرات الميكانيكية.

ترتكز هذه الدراسة على مقارنة تطور المقاومات اللحظية، الانحناء مع الشد، الضغط الميكانيكي و فقدان الوزن على أربعة عينات من الملاط بنسب مختلفة لمادة البوزولان. الدراسة تخص ثلاثة تركيبات من الملاط المضاف لها مادة البوزولان و تركيبة بدون إضافة.

النتائج المتحصل عليها تظهر الهيكل الجيد للملاط تحت تأثير درجات الحرارة العالية في حدود 400 درجة مئوية تتبع في تناقص المقاومة الميكانيكية التي تكون مهمة مقارنة بمقاومة الانحناء. هذه الأخيرة التي تتأثر بارتفاع درجة الحرارة.

إن تأثير البوزولان على فقدان الكتلة ليس محسوسا إلا في درجة الحرارة 200 درجة مئوية بسبب تبخر الماء في درجة حرارة تقارب 100 درجة مئوية.

**المفاتيح:** الملاط ، المقاومة الميكانيكية ، الحرارة العالية ، فقدان الوزن ، البوزولان.

INTRODUCTION

GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE

Le mortier est le matériau le plus fréquemment utilisé dans le domaine de la construction. Dans ce type d'ouvrage le mortier est soumis à des sollicitations parfois extrêmes de température. La stabilité de la structure dépend alors des caractéristiques du mortier pendant et après exposition à de telles sollicitations: que deviennent les caractéristiques du mortier après son exposition à des températures élevées ?

L'évolution des propriétés des matériaux cimentaires en fonction de la température ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche. Généralement, ces travaux ont traité l'évolution de la résistance mécanique du mortier en fonction de la température. Peu, d'entre eux se sont intéressés à l'évolution des propriétés du mortier avec la température.

L'élévation de la température altère la résistance mécanique du béton et des mortiers du fait des désordres résultants d'une part, de la dilatation thermique, et d'autre part, de la transformation physique et chimique des granulats. La prévision du comportement aux hautes températures implique donc la connaissance de l'évolution des variations des propriétés mécaniques. Cette étude s'articule sur la comparaison de l'évolution des résistances résiduelles, en flexion et en compression de mortiers avec le sable normalisé.

Notre étude consiste à suivre l'évolution de la résistance d'un mortier avec différents pourcentages de Pouzzolane naturelle en fonction de la température.

### **Objectif :**

Le présent travail a pour but d'étudier la formulation d'un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle sur l'évolution des propriétés mécaniques des mortiers à hautes températures par une approche expérimentale.

## **Structure du mémoire :**

Notre mémoire est structuré en une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion.

### **Introduction générale.**

**1<sup>ère</sup> chapitre :** Etude bibliographique

**2<sup>ème</sup> chapitre :** Matériaux et méthode expérimentale

**3<sup>ème</sup> chapitre :** Résultats et interprétations des Mortiers

**4<sup>ème</sup> chapitre :** Résultats et interprétations des mortiers soumis à des températures élevées

### **Conclusion générale.**

# CHAPITRE I

## Etude

## Bibliographique

## Chapitre I : Etude bibliographique :

### I.1. Introduction :

Le présent chapitre est une étude bibliographique des travaux de recherche sur l'ajout des fillers (pouzzolane naturelle) dans la formulation d'un mortier soumis à une température élevée.

### I.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.

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage 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 prédosés (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire) ;
- livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi, dont les dernières années, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur à 24 heures.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, 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.

### I.3. Les mortiers :

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon. [1]

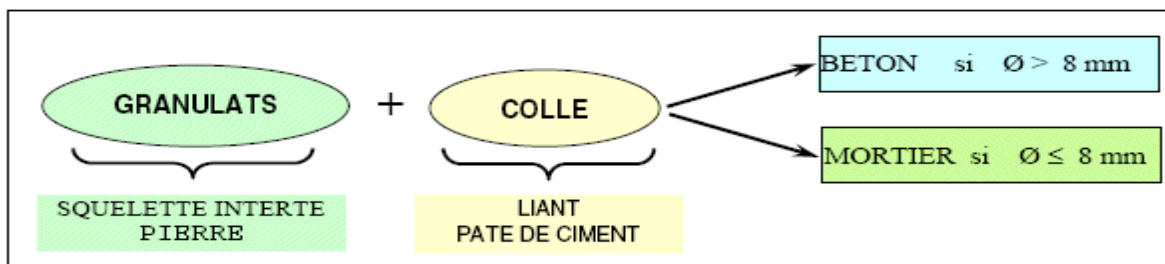


Figure I.1: Constituants des mortiers [1].

### **I.3.1. Définition :**

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

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait. [1]

### **I.3.2. Constituants des mortiers :**

#### **I.3.2.1. Le Liant :**

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson. [2]

Généralement, on peut utiliser:

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes.

#### **I.3.2.2. Le sable :**

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol. Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements: il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut. [3]

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. [3]

#### **I.3.2.3. 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. [3]

### I.3.3. Le rôle d'utilisation de mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- sous forme d'enduits aériens.
- sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.

Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés. [4]

### I.3.4. Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suite: [6]

#### I.3.4.1. Classification générale des mortiers

##### - 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. [6]

##### - Selon la nature du liant

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

##### ➤ Mortier de ciment portland :

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. [6]

##### ➤ Mortier de chaux :

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide. [6]

➤ **Mortiers bâtards :**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées. [6]

➤ **Mortier à base de ciment de maçonnerie :**

C'est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants. [6]

➤ **Les Mortier réfractaire :**

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [5]

➤ **Les Mortier rapide :**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements. [5]

➤ **Les Mortier industriel :**

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

- ✓ Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- ✓ Mortiers d'imperméabilisation.
- ✓ Mortier d'isolation thermique.
- ✓ Mortier de jointoiement.
- ✓ Mortier de ragréage.
- ✓ Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- ✓ Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- ✓ Mortier de réparation. [5]

### **I.3.5. 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.
- **Classe 6:** Adjuvant modifiant des propriétés spéciales. [13]

### I.3.6. Préparation des mortiers :

Les quantités nécessaires en fonction des dosages et des travaux à faire comme le montre tableaux ci-dessous : [7]

Sable	Ciment	Eau
Unité(g)	Unité(g)	Unité (ml)
1350	450	225

**Tableau I.1: Dosages des mortiers. [7]**

- Prévoir une surface de gâchage plate et assez grande, balayer cette aire de gâchage au balai de chantier, elle doit être propre et surtout sans débris végétaux.
- Installer la bétonnière ou le seau de maçon à proximité des produits.
- Prévoir un tuyau d'alimentation en eau muni d'un robinet d'arrêt.
- Déposer sur l'aire prévue à cet effet la quantité de sable.
- Verser le ciment (ou la chaux) sur le sable.
- Commencer à mélanger à la pelle le sable et le ciment. Afin d'obtenir un bon mélange, déplacer le tas deux ou trois fois. Le mélange doit être de couleur homogène.
- Creuser le tas en cratère et verser 2/3 de l'eau prévue.
- Faire tomber peu à peu les bords du cratère dans l'eau pour humidifier le mélange.
- Mélanger le tas afin de répartir l'eau. Pour homogénéiser le mélange, le déplacer deux ou trois fois comme pour le mélange à sec.
- Couper le dessus du tas de mortier avec la pelle. S'il ne se forme pas de *boudins*, ajouter un peu d'eau et mélanger à nouveau.
- Le mortier est correctement humidifié lorsqu'on passe le plat de la pelle dessus, il se lisse et l'eau remonte en surface. [7]

### I.3.7. Caractéristiques des mortiers :

Les caractéristiques principales des mortiers sont [8] :

#### I.3.7.1. Ouvrabilité :

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

##### ❖ Table à secousses

Après le démoulage du mortier, ce dernier reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100 * \frac{Dr - Di}{Di}$$

Avec : Dr: diamètre final

Di: diamètre initial

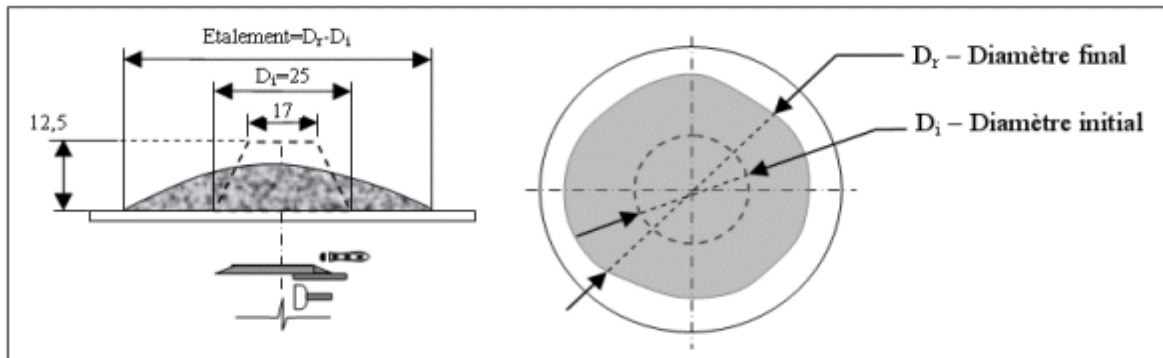


Figure I.2: Table à secousses. [8]

### ❖ Maniabilimètre du LCPC :

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.

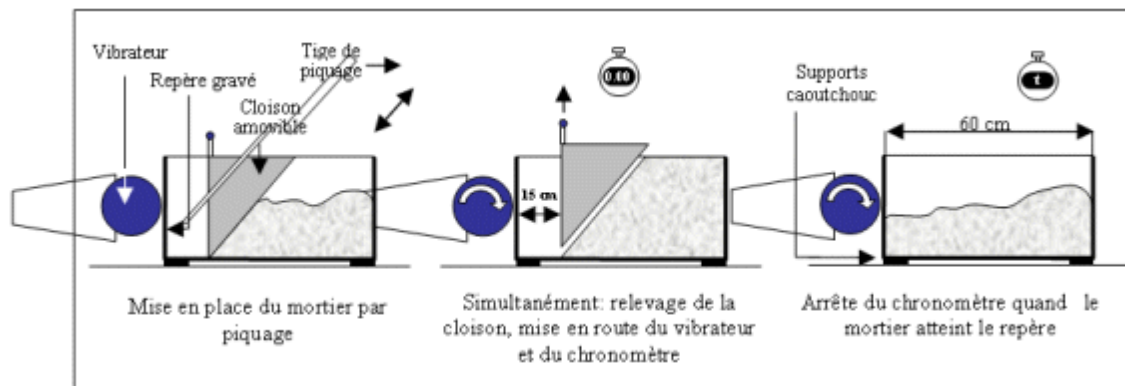


Figure I.3: Principe de fonctionnement du maniabilimètre. [8]

### ❖ Le cône

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le Cône peut aussi être muni d'un vibreur. [8]

#### I.3.7.2. Prise :

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance Normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même Appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur. [8]

#### I.3.7.3. Résistances mécaniques :

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

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

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs:

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

#### **I.3.7.4. Retraits et gonflements :**

##### **❖ Le Retrait :**

Les retraits se mesurent sur des prismes 4x4x16cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours. Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la Pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment). [8]

##### **❖ Le gonflement :**

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Chatelier inférieure sur pâte pure à 10mm). [8]

#### **I.3.7.5. Masse volumique apparente :**

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup> ou t/m<sup>3</sup>). [8]

#### **I.3.7.6. Masse volumique absolue :**

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en (g/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup> ou t/m<sup>3</sup>). [8]

#### **I.3.7.7. Porosité et compacité :**

##### **❖ La porosité**

La porosité est le rapport du volume vide sur le volume total. [8]

**P = volume de vide / volume totale**

##### **❖ La compacité**

La compacité est le rapport du volume des pleins sur le volume total. [8]

#### **I.4. Les fillers cimentaires :**

Les ajouts cimentaires finement broyés comblent les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide ce qui permet de diminuer la quantité d'eau. Le rôle propre du superplastifiant est essentiellement la défloculation (grâce à sa propriété

dispersante), ce qui engendre des grappes d'ultrafines qui se forment lors du gâchage et leur permet ainsi de jouer leur rôle granulaire. Les normes s'accordent pour définir comme « fines » les éléments passant à travers un tamis de 80  $\mu$  m. On adopte aussi le terme « filler » pour désigner les éléments bruts de concassage inférieurs à 80  $\mu$  m. Il s'agit donc de produits fins obtenus par fragmentation pouvant d'ailleurs contenir des éléments de pollution.

#### **I.4.1. Définition des caractéristiques des additions :**

La norme européenne EN 206-1(NF P 18-325) de février 2002, distingue les additions en deux types : celles quasiment inertes (de type I) et celles à caractère pouzzolanique ou à caractère hydraulique latent (de type II).

Comme additions de type I sont considérés en premier lieu les fillers dont les caractéristiques spécifiques sont déterminées par le pré-nome prEN 12620 (2000) ainsi que les pigments pour le béton conformes à la norme EN 12878.

Comme additions de type II sont considérés les fumées de silice conformes à la pré-norme prEN 13263(1998) et les cendres volantes conformes à la norme EN 450.

Par ailleurs, le cadre normatif français propose six matériaux minéraux répondant à la définition ((additions pour béton hydraulique)) à savoir :

- Additions de type I selon la norme EN 206-1 :
  - Les additions calcaires (NF P 18308)
  - Les additions siliceuses (NF P 18- 509)
  - Les fillers (NF P 18-501)
- Additions de type II selon la norme EN 206-1 :
  - La fumée de silice (NF P 78-502)
  - Les cendres volantes de houille (NF P 18505)
  - Le laitier vitrifié moulu de haut fourneau (NF P 18-506). [14]

#### **I.4.2. Définition des fillers**

##### **I.4.2.1. 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. [9]



**Figure I.4: Laitiers de hauts fourneaux.**

#### I.4.2.2. 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. [10]



**Figure I.5 : Cendres volantes.**

#### I.4.2.3. 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. [10]



**Figure I.6 : Fumées de silice.**

#### I.4.2.4. 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. [11]



**Figure I.7 : Pouzzolanes naturelles.**

#### I.4.2.5. 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 défauts 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. [9]



**Figure I.8 : Fillers calcaires.**

#### I.4.2.6. 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. [12]



Figure I.9 : Argiles calcinées.

#### I.4.3. Les fonctions des fillers :

##### I.4.3.1. Dans les ciments

Les ciments dans lesquels on introduit les fillers appartiennent à une classe de résistance inférieure ou moyenne.

- Les ciments fillérisés, CPJ sont avant tout des ciments d'intérêt économique et écologique. Ils permettent l'utilisation des cendres volantes et des laitiers qui sont des sous-produits industriels. Ils peuvent contenir aussi des fillers naturels (calcaires, pouzzolanes). Leur fabrication ne doit pas entraîner de surcoût.
- Les ciments aux laitiers et aux cendres (CLC), les ciments de hauts fourneaux (CHF) et les ciments de laitier au clinker (CLK) dont la chaleur d'hydratation est faible et dont les ajouts ont des propriétés pouzzolaniques confèrent au matériau final une durabilité intéressante. Ils sont utilisés dans les milieux agressifs : constructions en eau de mer. [12]

##### I.4.3.2. Dans les bétons

F. de Larrard [18] et J.P. Bomble [19] montrent que les fillers sont indispensables pour la confection de bétons hauts performances. Ils agissent comme :

- correcteur de la granulométrie : Les fumées de silice et les fines calcaires sont ajoutées à la composition du béton pour rendre l'empilement granulaire plus compact.
- apport d'une cohésion intergranulaire l'utilisation des fines et ultra-fines ne se fait pas sans l'emploi d'adjuvant organique. Le couple filler et adjuvant organique modifie la rhéologie du béton frais dans le sens d'une amélioration de sa maniabilité. [12]

## **I.5. La température :**

Une haute température accélère le développement de la résistance durant les premiers jours, et cela à cause de l'hydratation rapide du ciment, les défavorables de la température sur la résistance du béton, ont été détaillés par Verbeck et Helmoth. Ces derniers ont conclu que lorsque l'hydratation initiale est accélérée la distribution des produits d'hydratation responsables de la résistance du béton sera effectuée par la suite. Il s'ensuit donc, que le béton doit être gardé à une température minimale mais suffisamment chauds pour réduire le taux de fissuration du au refroidissement ultérieur, et pour obtenir les résistances désirées à des âges spécifiques. [15]

### **I.5.1. Effets de la température sur la structure et les propriétés thermiques et physique du béton :**

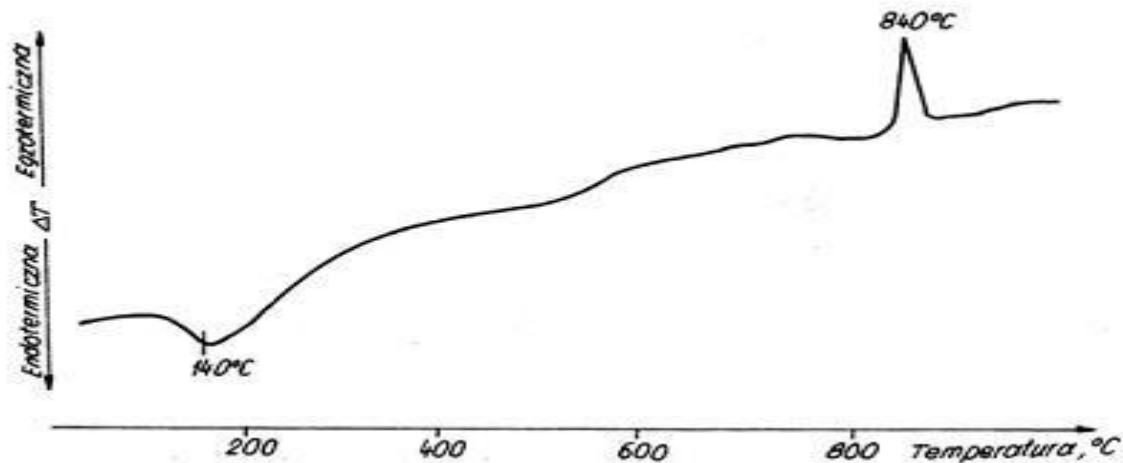
En cours de l'échauffement du béton, on observe de nombreux phénomènes physico-chimiques et des transformations qui modifient sa microstructure. Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons les transformations des composants du béton : granulats et pâte de ciment au fur et à mesure de leur échauffement. Et dans la deuxième, l'évolution de l'état hydrique du matériau au cours du séchage sera analysée aussi bien que les processus de changement de phases de l'eau en gaz, l'apparition des pressions de vapeur, l'évaporation et le séchage suivis par la déshydratation. [15]

### **I.5.2. Evolution des composants et de la structure du béton :**

#### **I.5.2.1. Evolution de la pâte de ciment :**

D'après des études effectuées sur les bétons l'analyse d'évolution de la pâte de ciment durci pendant l'échauffement depuis la température ambiante jusqu'à 900 °C, température à laquelle le matériau se décompose. Cette évolution est fortement liée à l'évaporation de l'eau et les processus de déshydratation des hydrates formant la matrice cimentaire. Les transformations qui accompagnent le processus de la déshydratation enregistrées sur la courbe issue de l'analyse thermique différentielle d'un gel CSH caractérisé par le coefficient  $C/S=1$  ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) sont présentés sur le graphique suivant (Figure.I.10).

Ils sont observés deux pics caractéristiques, un pic endothermique à 140 °C, dû au départ d'eau et un pic exothermique aux alentours de 840 °C correspondant aux changements morphologique de la phase du gel CSH. [15]



**Figure I.10 : ATD (analyse thermique différentielle) du gel CSH, C/S=1. [15]**

Dans la pâte de ciment chauffé, tous les changements commencent par l'évaporation de l'eau libre et la décomposition de l'ettringite, avant la température de 100 °C. On observe les premiers signes de la décomposition du gel CSH à 180°C. Selon certains auteurs sont même observés avant. Jusqu'à la température 300 °C, la déshydratation est assez rapide.

Notamment dans la gamme des températures 80 °C – 200 °C (avant 90 °C selon certaines sources) se produit la déshydratation de l'ettringite conduisant à la libération de 32 molécules d'eau. Lorsque l'on dépasse 300 °C, l'eau la plus fortement liée qui participe à la constitution des hydrates, commence à s'évaporer. [15]

### **I.5.2.2. Evolution des granulats :**

Les granulats constituent le squelette en principe inerte du béton aux températures ambiantes (sauf cas pathologique, comme celui d'une réaction alcali-granat), mais aux températures élevées leur comportement est totalement différent. La montée en température provoque des changements de la structure des minéraux qui constituent la roche. Prenons les granulats siliceux fréquemment utilisés pour la fabrication du béton (minéraux: quartz, calcédoine, opale, silex). Dans la structure de ces minéraux contiennent de l'ordre de 20% d'eau combinée. Cette eau, entre 120°C - 600°C est capable de se libérer partiellement en réduisant la résistance de ce matériau. Ce départ de l'eau peut entraîner un clivage des granulats. Un autre phénomène concerne le quartz à 575 °C. Un changement de phases avec un changement de volume de 1 à 5,7%. [15]

Les granulats calcaires présentent un bon comportement thermique jusqu'à 700°C. Cette température est le début de la transformation de  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{CO}_2$  et  $\text{CaO}$ . Le  $\text{CaO}$  libre Présent dans les bétons chauffés puis refroidis réagit avec l'humidité et se transforme en  $\text{Ca(OH)}_2$  en multipliant son volume par 2,5. Cette réaction peut expliquer la diminution de la résistance résiduelle (résistance mesurée après refroidissement) par rapport à la résistance à chaud des bétons à granulats calcaires chauffés au-delà de 700 °C.

Les granulats constituent 60-80% du volume du béton. Les variations de leurs propriétés durant l'échauffement ont une grande influence sur les propriétés du composite.

Les propriétés d'un « bon » granulats du point de vue de l'utilisation à haute température sont:

- ❖ un faible coefficient de déformation thermique,
- ❖ l'absence de déformations résiduelles après refroidissement,
- ❖ une stabilité thermique, c'est à dire, un faible nombre de pics sur les courbes d'analyse thermique différentielle et d'analyse thermo gravimétrique ; soit peu ou pas de changements des phases,
- ❖ une structure mono minérale de la roche composante du granulats. [15]

20°	Début du départ de l'eau		
100°C	Départ de l'eau libre 80°C-150°C déshydratation de l'ettringite 150-170°C décomposition du gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 171°C fusion des fibres polypropylène Début de la déshydratation du CSH	éclatement	réactions hydrothermiques
200°C	Augmentation de la pression interne Petits pics endothermiques indiquant des effets de décomposition et d'oxydation d'éléments métalliques (ferriques) peuvent apparaître.		
300°C	Clivage des granulats silico-calcaires Température critique de l'eau (374°C)		
400°C	Décomposition de la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	fissuration	
500°C	Changement des phases du quartz $\beta$ - $\alpha$ (573°C)		
600°C	Deuxième phase de la décomposition du gel CSH avec la formation de $\beta$ - $\text{C}_2\text{S}$ . C'est la seconde étape de la déshydratation des silicates de calcium hydratés qui produit une nouvelle forme de silicates bicalciques		
700°C	Décomposition du carbonate de calcium. Le calcaire se décompose autour de 700°C en $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ , réaction fortement endothermique qui libère du gaz carbonique		
800°C			
.....			
1200°C			
1300°C	Destruction complète du béton et apparition de la phase liquide		

**Figure I.11 : Transformations principales dues à la température entre la température ambiante et la température de la destruction du matériau béton. [16]**

A haute température, les granulats se décomposent et subissent des transformations chimiques et minéralogiques importantes qui modifient les caractéristiques microstructurales du matériau.

Une analyse thermique différentielle (ATD) permet de déterminer, par des pics endothermiques et exothermiques, les températures auxquelles une instabilité peut survenir dans les granulats. Les analyses thermogravimétriques (ATG), donnent des indicateurs de la progression des réactions de décomposition en mesurant les variations de masse des granulats au cours du chauffage.

Comme le montre la (figure I.12), la majorité des granulats est généralement stable jusqu' à 600 °C. La structure des granulats siliceux contient dans ces minéraux environ de 20% d'eau combinée. Entre 120 °C et 600 °C, cette eau est capable de se libérer partiellement en réduisant la résistance de ce matériau. Ce départ de l'eau peut entraîner un clivage des granulats.

Un autre phénomène concerne le quartz à 575 °C : un changement de phases avec un changement de volume de 1 à 5,7 %. Le quartz présent dans les granulats siliceux  $\text{SiO}_2$  est un édifice de tétraèdres soudés par les sommets, en chaînes. C'est une forme stable à basse température de la silice. Au-dessus de 573 °C à la pression ambiante une légère rotation de liaisons entre tétraèdres, conduit à une forme cristalline de symétrie hexagonale : le quartz  $\beta$ . La température de transition du quartz  $\alpha$ - $\beta$  peut augmenter avec la pression. Volume de 1 à 5,7 %. Le quartz présent dans les granulats siliceux  $\text{SiO}_2$  est un édifice de tétraèdres soudés par les sommets, en chaînes. C'est une forme stable à basse température de la silice. Au-dessus de 573 °C à la pression ambiante une légère rotation de liaisons entre tétraèdres, conduit à une forme cristalline de symétrie hexagonale : le quartz  $\beta$ . La température de transition du quartz  $\alpha$ - $\beta$  peut augmenter avec la pression.

Ainsi ces deux phénomènes qui apparaissent dans les granulats à base de quartz, peuvent provoquer l'endommagement de la structure du béton.

Les granulats calcaires présentent un bon comportement thermique jusqu'à 700 °C. Cette température est le début de la décarbonatation ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) qui se produit entre 600 °C et 900 °C. Le CaO libre présent dans les bétons chauffés puis refroidis réagit avec l'humidité et se transforme en  $\text{Ca(OH)}_2$  avec une augmentation de volume de 44%. Cette réaction peut expliquer la diminution de la résistance résiduelle (résistance mesurée après refroidissement) par rapport à la résistance à chaud des bétons à granulats calcaires chauffés au-delà de 700 °C. [17]

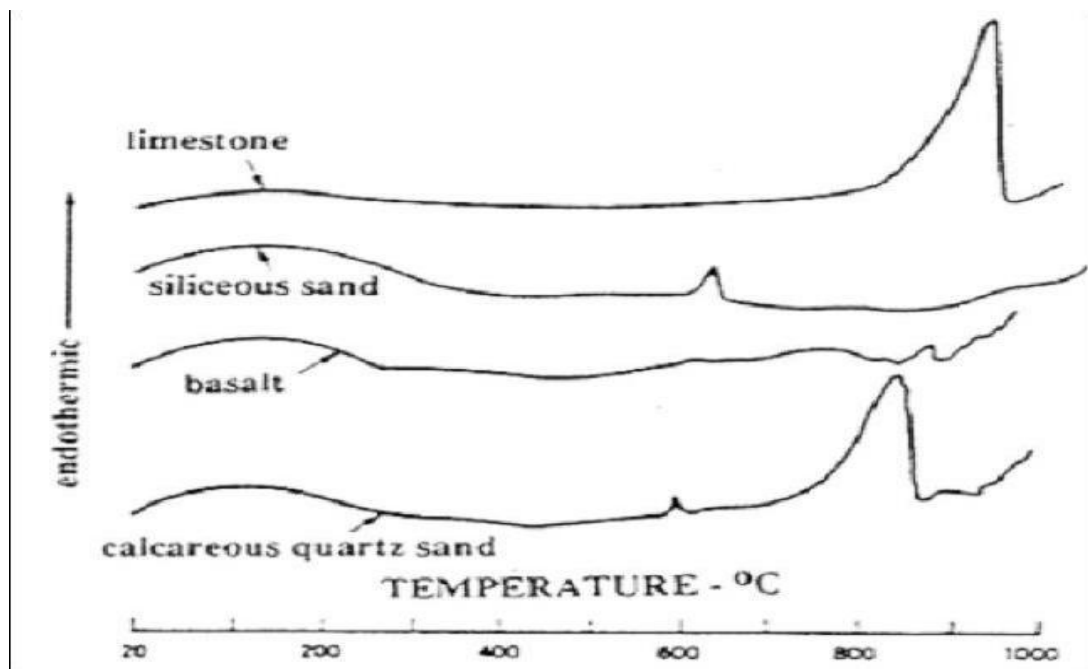


Figure I.12. Courbes ATD des différents types de granulats. [17]

**I.5.2.3. Perte de masse :**

Durant l'échauffement du béton, sa masse est soumise à une variation due à l'évaporation de l'eau et la déshydratation progressive du gel CSH. [15]

**I.5.2.4. Coefficient de dilatation thermique :**

[Pimienta et Hager 2003] ont montré, à partir d'une étude réalisée sur des mortiers à base de deux types de granulats (calcaire, silico-calcaire), que la déformation thermique des mortiers formulés avec des granulats silico-calcaires est environ 2 fois supérieure à celle des mortiers de granulats calcaires. La déformation thermique des granulats siliceux est en effet supérieure à celle des granulats calcaire ce qui conduit ces auteurs à conclure que la déformation thermique des bétons dépend principalement de la nature des granulats, et de façon marginale de la pâte de ciment hydratée. [3]

**I.6. Conclusion :**

La synthèse, tirée de la bibliographie, observations ont montré que les matériaux cimentaires exposés à une forte variation de température beaucoup des processus et des transformations physiques et chimiques entraînent un changement de l'état et la structure de l'eau.

# CHAPITRE III

Matériaux

Et

Méthode

Expérimentale

## Chapitre II : Matériaux et méthode expérimentale

### II.1. Introduction:

Dans ce chapitre nous présenterons les différentes caractéristiques des matériaux utilisés, entrant dans la composition des mortiers à confectionner et cela par des essais au laboratoire, ces matériaux sont purement locaux.

#### Les matériaux utilisés sont :

- Sable normalisée [EN 196-1].
- Eau de gâchage.
- Les ajouts : pouzzolane naturelle de Béni-Saf.
- Le ciment CPA de la cimenterie LAFARGE de Hamam Dhalâa wilaya de M'SILA.

### II.2. Caractérisation des matériaux :

#### II.2.1. Sable normalisé CEN certifié conforme EN 196-1 :

Le sable utilisé est un sable normalisé CEN EN 196-1, de nature siliceuse, à grains arrondis, dont la teneur en silice est égale à 98%. Il est délivré en fractions mélangées en sacs plastiques d'un contenu de  $1350 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ .

##### II.2.1.1. Caractéristiques :

Le sable normalisé CEN (sable normalisé ISO) est un sable naturel, siliceux notamment dans ses fractions les plus fines. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie. Il est séché, criblé et préparé dans un atelier moderne offrant toutes garanties de qualité et de régularité.

Les livraisons se font à l'unité carton de 16 sachets pesant 21.6 kg et sur palette de 2 à 54 cartons, protégés par une housse en polyéthylène (transport routier) ou en carton renforcé (transport maritime).

##### II.2.1.2. Utilisation :

**Sable normalisé pour contrôle de la résistance mécanique des ciments et autres liants hydrauliques :** Les méthodes d'essais des ciments visant à mesurer leur résistance mécanique nécessitent l'utilisation de sables normalisés de référence.

### II.2.1.3. Contrôles :

La composition granulométrique déterminée par tamisage est conforme aux exigences des normes EN 196-1 et ISO 679 : 2009.

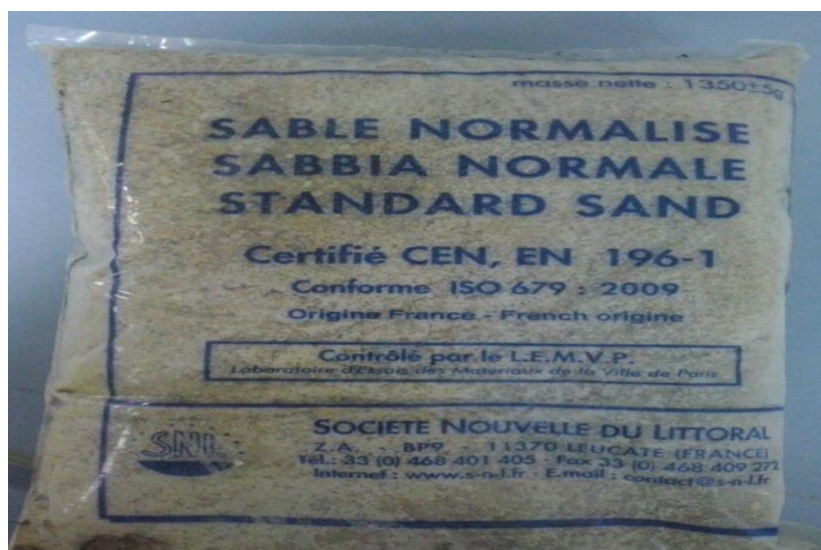
Tamis ouverture des mailles (mm)	Refus cumulés (%)
0.08	99 ± 1
0.16	87 ± 5
0.50	67 ± 5
1.00	33 ± 5
1.60	7 ± 5
2.00	0

**Tableau II.1 : Composition granulométrique.**

### II.2.1.4. Conformite :

La conformité à la norme est contrôlée par le L.E.M.V.P. (Laboratoire d'Essais des Matériaux de la Ville de Paris), 4 Avenue du Colonel Henri Rol-Tanguy - 75014 PARIS

Le certificat de conformité à la norme Européenne est délivré par l'AFNOR (Association Française de Normalisation), 11 Rue Francis de Pressensé – 93571 La Plaine Saint Denis Cédex.



**Figure II.1: Sable Normalisé.**

### II.2.1.5. Caractéristiques physiques du sable normalisé :

Caractéristiques		Sable
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )		1,70
Masse volumique absolue (g/c m <sup>3</sup> )		2,63
Equivalent de sable	E.S.V(%)	94
	E.S (%)	93
Teneur en eau(%)		-

Tableau II.2 : Caractéristiques physiques du sable normalisé.

### II.2.2. Le ciment CPA :

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment Portland (CEMI/42.5R) préparé au niveau de laboratoire physique de la cimenterie de LAFARGE de M'sila composé seulement par le clinker et le gypse.

#### II.2.2.1. Analyses chimiques des ciments CPA :

Les compositions chimiques élémentaires du ciment sont données dans le tableau suivant :

POZZ (%)	Sample Name	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	PAF
0	CEM-III-CPA	20,87	5,10	3,42	62,36	1,88	2,92	0,68	0,11	0,017	1,80
10	CEM-III-CPA 01	27,25	5,22	2,89	48,85	1,65	2,74	0,55	0,45	0,019	2,31
20	CEM-III-CPA 02	30,23	6,21	3,60	47,58	1,45	2,65	0,65	0,48	0,020	2,95
30	CEM-III-CPA 03	33,23	6,05	3,73	46,80	0,98	2,61	0,68	0,52	0,022	3,43

Tableau II.3: Caractéristique chimique de ciment CPA utilisé (Lafarge M'sila).

### II.2.2.2. Analyses minéralogiques DRX des ciments :

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX) :

Pozz (%)	Alite – Sum	Belite – beta	Alum – cubic	Alum – Sum	Ferrite	Lime	fCaO – XRD	Langbeinite	Gypsum
0	60,03	13,86	2,57	2,57	13,03	2,22	2,3	0,09	4,49
10	62,25	7,5	2,12	2,33	13,65	1,15	1,19	1,31	3,84
20	61,25	5,22	2,02	2,23	14,52	0,92	1,05	3,53	4,57
30	51,24	4,21	1,02	1,51	12,87	0,68	0,78	4,41	5,04

Tableau II.4 : Caractéristiques minéralogiques DRX des ciments utilisés.

### II.2.2.3. Analyses physiques des ciments :

Les caractéristiques physiques de ciment sont dans le tableau suivant :

Caractéristiques physiques	unités	Valeurs
Surface spécifique Blaine (Perméabilimètre Blaine)	cm <sup>2</sup> /g	4000
Masse volumique absolue	g/cm <sup>3</sup>	3,15

Tableau II.5 : Caractéristique physique du ciment utilisé (Lafarge M'sila).

### II.2.3. Pouzzolane naturelle :

La pouzzolane naturelle utilisée est une lave rougeâtre, extraite du gisement de Bouhamidi de la région de Béni-Saf de l'Ouest de l'Algérie. L'analyse physico-chimique de la poudre résultante du broyage et du tamisage est reportée dans le (tableau II.6) et (tableau II.7).

**II.2.3.1. Analyse chimique de la pouzzolane naturelle :**

<b>Composants</b>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Perte au feu	Total
<b>(%)</b>	56,25	9,83	1,81	16,98	8,57	6,54	99,98

**Tableau II.6 : Analyse chimique de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf.****II.2.3.2. Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle :**

<b>Caractéristiques physiques</b>	<b>Valeurs</b>
<b>Surface spécifique Blaine (Perméabilité Blaine) (cm<sup>2</sup>/g)</b>	5500
<b>Masse volumique absolue (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,75
<b>Masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,02
<b>Porosité (%)</b>	57,1
<b>Absorption (%)</b>	32
<b>Humidité (%)</b>	2,5

**Tableau II.7 : Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf.****II.2.4. Eau de gâchage :**

L'eau de gâchage utilisé est l'eau distillée.

## II.3. Les essais sur les matériaux :

### II.3.1. Les essais sur ciment :

#### II.3.1.1. Consistance (Ouvrabilité) :

❖ **Objet :**

Cette instruction a pour objet la détermination de la consistance normalisée de la pâte de ciment selon les spécifications de la norme européenne EN 196-3.

❖ **Principe de l'essai.**

Dans cet essai, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet de la vibration.

#### II.3.1.2. Temps de prise :

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat).

❖ **Objet :**

Cette instruction a pour objet la détermination du temps de prise du ciment selon les spécifications de la norme européenne EN 196-7.

**Remarque :**

- Le temps de début prise correspond à la lecture de **6 ± 3 mm** noté à partir du temps zéro.
- Le temps de fin de prise correspond à la lecture de **0,5 mm** noté à partir du temps zéro.

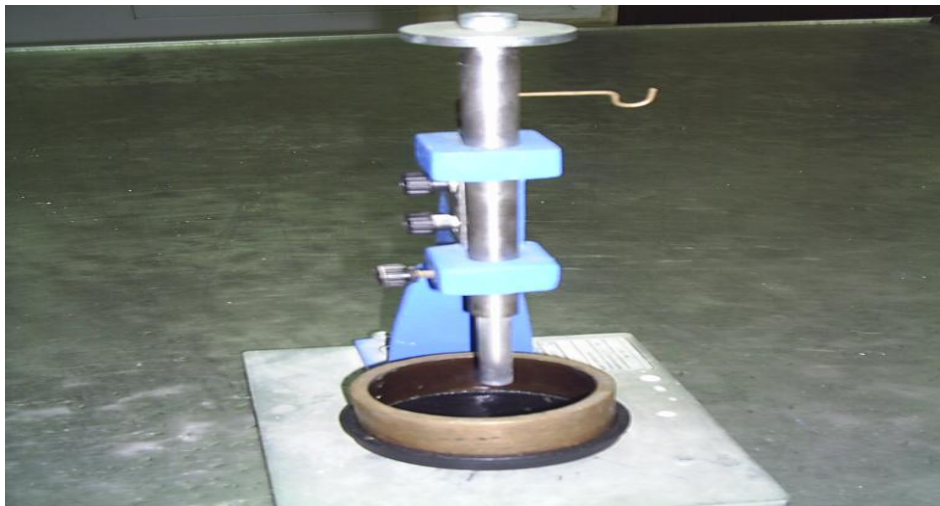


Figure II.2 : Appareil de Vicat.

### II.3.1.3. Surface spécifique :

#### ❖ **Objet :**

Cette instruction a pour objet la détermination de la surface spécifique Blaine selon les spécifications de la norme européenne EN 196-6.

#### ❖ **Principe :**

La détermination de la Surface Spécifique (SSB) est une méthode relative, basée sur la perméabilité à l'air, découlant du temps nécessaire pour le passage d'un volume d'air donné à travers un lit compacté de ciment, de dimensions et de porosités spécifiées.

Cette méthode est fortement influencée par l'étalonnage et les opérateurs.



Figure II.3 : Densimètre manuel.

### II.3.1.4. Chaleur d'hydratation :

#### ❖ **Principe :**

La méthode semi-adiabatique consiste à introduire un échantillon de mortier fraîchement préparé, dans un calorimètre afin de déterminer, d'après l'évolution de la température, la quantité de chaleur dégagée. à une échéance donnée, la chaleur d'hydratation du ciment contenu dans l'échantillon est égale à la somme de la chaleur accumulée dans le calorimètre et de la chaleur dissipée vers le milieu ambiant pendant toute la durée de l'essai.

L'échauffement du mortier est comparé à la température d'un échantillon inerte dans un calorimètre de référence.

L'échauffement qui dépend principalement des caractéristiques du ciment est généralement compris entre 10 K et 50 K.

### II.3.2. Les essais sur sable :

#### II.3.2.1. Analyse granulométrique de sable normalisé :

##### ❖ But de l'essai:

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la répartition d'un matériau suivant leurs dimensions.

##### ❖ Principe de l'essai :

- L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.
- Les masses des différents refus et tamisâtes sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

#### II.3.2.2. Module de finesse :

Le module de finesse ( $M_f$ ) est une facture très importante qui nous de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \frac{\sum Ri}{100}$$

Quantité de sable	Modèle de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2.0
Très fin	11.0 à 1.5

Tableau II.8 : Classement de sable.

### II.3.3. Les essais sur mortier :

#### II.3.3.1. Essai de compression par flexion :

##### ❖ But de l'essai :

Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton. Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

##### ❖ Objet :

Cette instruction a pour objet la détermination des résistances mécaniques à la compression sur mortier de ciment, selon les spécifications de la norme européenne EN 196-1.

##### ❖ Principe de l'essai :

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

##### ❖ la confection des éprouvettes :

Pour la préparation des éprouvettes, nous avons procédé de la façon suivante :

- Préparer une série des moules des dimensions 4×4×16 cm (Figure II.4a) convenables, avec la quantité du mortier ;



Figure II.4a : Les moules des mortiers.

- Huiler les moules et vérifier leurs serrages ;
- Placer les moules sur une table vibrante ;
- Remplir les moules par le mortier, l'exécuter en deux couches ;
- Compacter le mortier à l'aide d'une table vibrante (Figure II.5), en appliquant 120 secondes.

Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule ;

- Conserver les moules dans la chambre d'humidité jusqu'au démoulage (Figure II.6) ;
- Démouler les moules après 24 heures de leur confection.



Figure II.4b : Malaxeur.



Figure II.5 : Table vibrante.



Figure II.6: Armoire d'humidité.

### ❖ Conservation des éprouvettes :

Après 24 h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans l'eau: de robinet.

Le temps de conservation dans l'eau est 2 jours, 7 jours et 28 jours.

Après la conservation dans le l'eau dans la chambre de conservation pendant le temps nécessaire.

Finalement les éprouvettes ont été exposées à une température élevée variant de 20 °C, 200 °C, 400 °C et 600 °C avec une vitesse de la montée en température de 10°C/min (Figure II.7).

Le procédé expérimental appliqué repose sur chargement thermique puis mécanique.



Figure II.7 : Le four (Heraeus).

### ❖ Expression des résultats :

On retient pour charge de rupture, la charge maximale enregistrée au cours de l'essai et on calcule la résistance (R) par la relation suivante :

$$R = F/S$$

Où :

*F* : est la charge maximale (en KN).

*S*: est la surface de compression de l'éprouvette exprimée en millimètre carrée.

*R*: la résistance à la compression exprimée en MPa.



Figure II.8 : Appareil de flexion et de compression (Toni Technic).

### II.3.3.2. Retrait et gonflement:

#### ❖ Objectif de l'essai :

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal.

#### ❖ Principe de l'essai :

On compare, à différents temps  $t$ , la variation de longueur d'une éprouvette  $4 \times 4 \times 16$  cm, par rapport à sa longueur à un temps  $t_0$  pris pour origine.



Figure II.9 : Appareil de retrait et gonflement.

### II.3.3.3. Estimation de perte de masse :

Les éprouvettes conservées dans l'eau ont été pesées d'abord, ensuite elles sont exposées aux fortes températures 20 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C.

Les taux de diminution de la masse des éprouvettes est déterminé à partir :

$$T(\%) = (\Delta m \cdot 100) / m_1$$

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

**T**: taux de perte de masse.

**m<sub>1</sub>** : poids avant expositions à la température.

**m<sub>2</sub>** : poids après expositions à la température.

### II.4. Conclusion :

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les méthodes expérimentales de caractérisation des matériaux utilisés du point de vue physique et mécanique ainsi l'effet de la haute température sur le mortier.

# CHAPITRE III

Résultats

Et

Interprétations

Des

Mortiers

## Chapitre III : Résultats et interprétations des Mortiers

### III.1. Introduction :

Le but de notre travail est l'étude de l'effet de pouzzolane naturelle sur les propriétés des mortiers et ciments et sable normalisé, ce chapitre est consacré à la recherche expérimentale des résultats obtenus du programme d'essais sont présente une discussion de ces résultats.

Dans ce travail nous avons étudié les caractéristiques mécaniques de 4 compositions de mortier à savoir :

- Composition 1 : mortier formulé avec 0% de pouzzolane naturelle;
- Composition 2 : mortier formulé avec 10% de pouzzolane naturelle;
- Composition 3 : mortier formulé avec 20% de pouzzolane naturelle;
- Composition 4 : mortier formulé avec 30% de pouzzolane naturelle;

### III.2. Composition du mortier :

- Pourcentage de pouzzolane naturelle (de 0% à 10% à 20% et 30%).
- Pourcentage de gypse (5%) et clinker (95% et 85% et 75% et 65%).
- Avec sable normalisé.

	Ciment (g)	Sable normalisée	Pouzzolane Naturelle (g)	L'eau (g)	E/C
Composition 1	450	1350	0	225	0,5
Composition 2	405	1350	45	225	0,5
Composition 3	360	1350	95	225	0,5
Composition 4	315	1350	135	225	0,5

**Tableau III.1 : Les compositions des mortiers.**

### III.3. Résultats des essais sur ciments :

#### III.3.1. Consistance (Ouvrabilité) :

	Pozz (%)	E/C (%)
CEM 1	CPA 0%	26,8
CEM 2	10% Pozz	27
CEM 3	20% Pozz	27,4
CEM 4	30% Pozz	27,9

Tableau III.2: Propriétés physiques des ciments préparés (consistance normale).

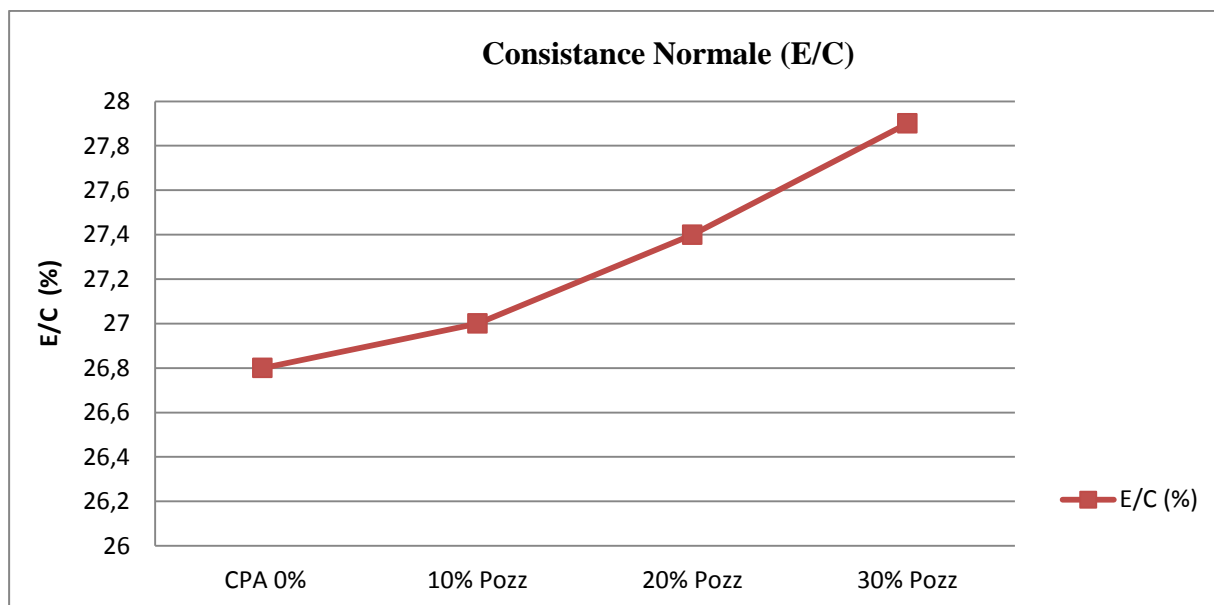


Figure III.1: Variation du rapport E/C (Consistance normale) en fonction du taux d'ajout (pouzzolane).

Les résultats expérimentaux obtenus présentent l'effet du taux d'ajout pouzzolane sur la consistance normale de ciment.

La demande en eau des pâtes de ciments préparées avec les différents pourcentages d'ajout pouzzolane : (0%, 10% ,20%, 30%) est mesurée en utilisant l'essai d'aiguille de Vicat manuel.

L'influence de la quantité de l'ajout (pouzzolane) sur la pâte de ciment est exprimée par les variations du rapport de demande en eau pour obtenir une consistance normale.

Selon les résultats obtenus (Figure III.1), on note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout incorporé dans le ciment a l'effet suivant:

- augmentation de la quantité d'eau requise pour avoir une consistance normale de la pâte de ciment.

### III.3.2. Temps de prise :

	Pozz (%)	DP (min)	FP (min)
CEM 1	CPA 0%	140	200
CEM 2	10% Pozz	170	240
CEM 3	20% Pozz	175	245
CEM 4	30% Pozz	180	265

Tableau III.3 : Propriétés physiques des ciments préparés (Temps de Prise).

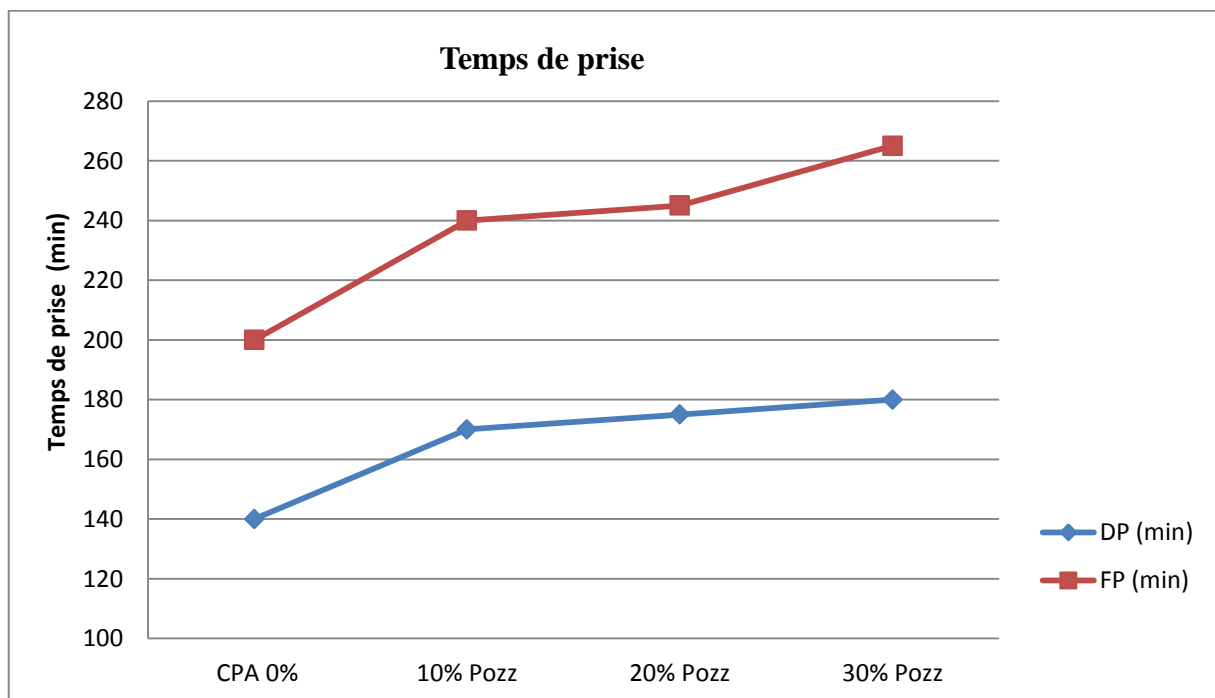


Figure III.2: Variation des temps de prise en fonction de taux d'ajout (pouzzolane).

Les résultats expérimentaux obtenus dans cette (Figure III.2) présentent l'effet du taux d'ajout (pouzzolane) sur le temps de prise de la pâte de ciment.

L'essai consiste à suivre l'évolution de la viscosité de la pâte en utilisant l'appareil de Vicat automatique.

Selon les résultats obtenus (Figure III.2) On note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout de pouzzolane incorporé dans le ciment a l'effet suivant:

-augmentation des temps de début et fin de prise.

Pour la pâte avec 0 % pouzzolane, le temps de début de prise est égal à 140 minutes, tandis que les pâtes avec 10 % et 20 % d'addition commencent à faire prise après 170 et 175 minutes respectivement.

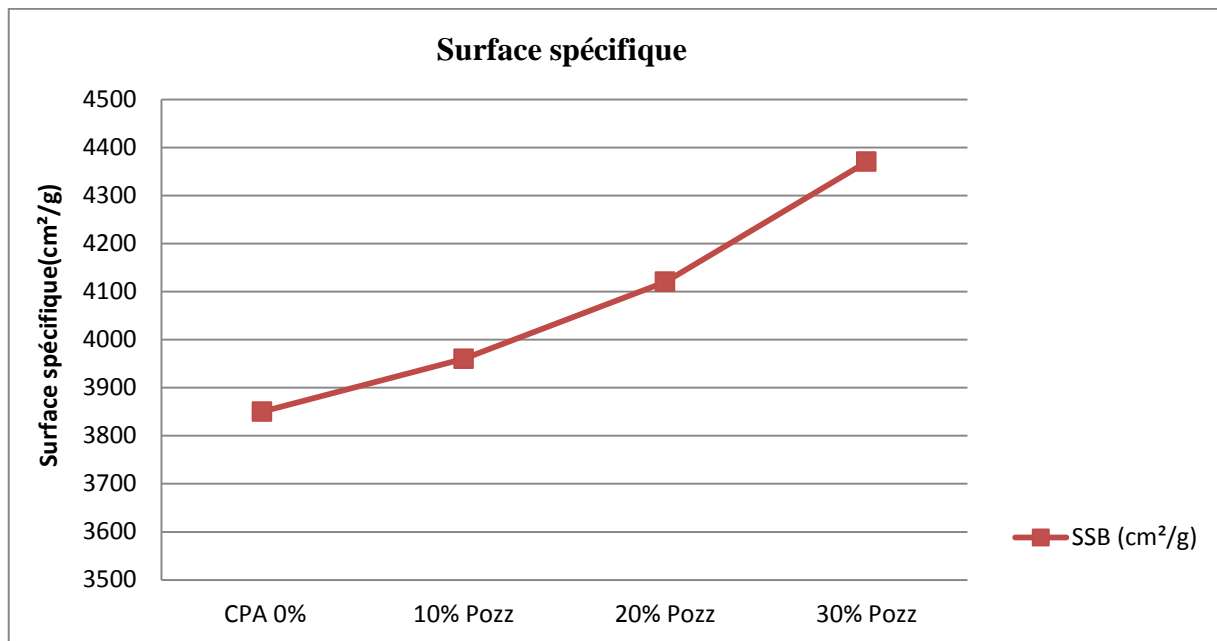
Le temps de fin de prise pour 10%, 20 % et 30 % varie de 240 à 250 minutes, et 0% de pouzzolane sans (ajout) égale à 200 minutes.

L'augmentation de la finesse de la pouzzolane décroît le temps de prise pour toutes les pâtes étudiées. Cette décroissance est due à l'accélération des réactions de l'hydratation du ciment.

### III.3.3. Surface spécifique :

	<b>Pozz (%)</b>	<b>SSB (g/cm<sup>2</sup>)</b>
CEM 1	CPA 0%	3850
CEM 2	10% Pozz	3960
CEM 3	20% Pozz	4120
CEM 4	30% Pozz	4370

**Tableau III.4: Surface spécifique des ciments préparés.**



**Figure III.3 : Variation de la surface spécifique de ciment en fonction de taux d'ajout (Pouzzolane).**

Les résultats obtenus dans la Figure (III.3) présentent l'effet de l'addition d'ajout pouzzolane sur la surface spécifique du ciment.

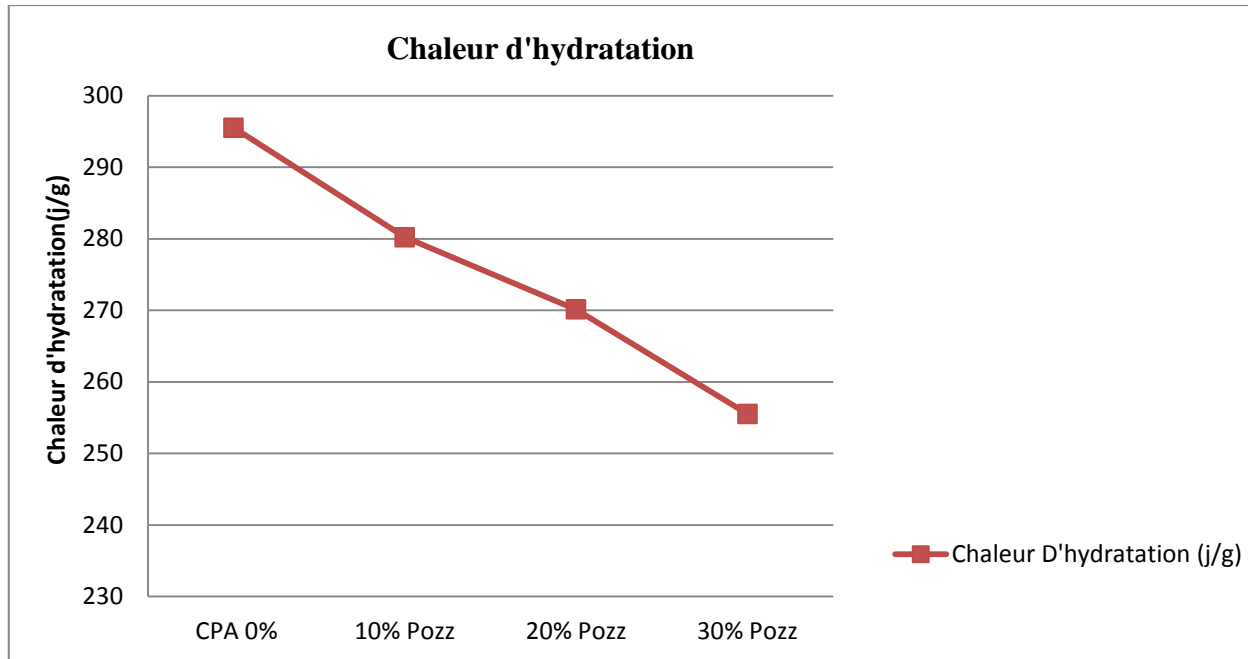
Les Conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Une augmentation de la surface spécifique avec l'augmentation du pourcentage d'ajout pouzzolane dans le ciment. Selon les résultats obtenus, on note que l'augmentation de la quantité de l'ajout pouzzolane incorporé dans le ciment à un effet significatif sur la surface spécifique (Blaine) de ciment.

#### III.3.4. Chaleur d'hydratation :

	Pozz (%)	Chaleur D'hydratation (j/g)
CEM 1	CPA 0%	296
CEM 2	10% Pozz	280
CEM 3	20% Pozz	270
CEM 4	30% Pozz	256

**Tableau III.5 : La chaleur d'hydratation de mortier normal en fonction du taux d'ajout (Pouzzolane).**



**Figure III.4 : Effet du taux d'ajout pouzzolane sur la chaleur d'hydratation.**

Les résultats expérimentaux obtenus dans cette Figure (III.4) présentent l'effet du taux d'ajout pouzzolane sur la chaleur d'hydratation des échantillons de mortier normalisé.

L'essai consiste à suivre le dégagement de chaleur de mortier en utilisant l'appareil de langavant (semi-adiabatique).

On note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout (pouzzolane) incorporé dans le ciment a un effet :

- Diminué le taux de dégagement de chaleur d'hydratation.

Le phénomène de prise du ciment s'accompagne d'une réaction exothermique dont l'importance dépend de différents paramètres, en particulier :

- la nature et taux d'ajout utilisé dans le ciment dans notre cas la pouzzolane.

Chaleur d'hydratation: Le remplacement du ciment par une pouzzolane diminue de façon significative la chaleur d'hydratation du ciment, et par conséquent la fissuration d'origine thermique du béton. La chaleur d'hydratation des ajouts pouzzolaniques est égale à environ la moitié de celle du ciment.

### III.4. Résultats des essais sur sable :

#### III.4.1. Analyse granulométrique de sable Normalisé [EN 196-1] :

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats (%)
2	0	0	100
1,6	110,2	8,16	91,84
1	465,3	34,47	65,53
0,5	911,1	67,49	32,51
0,16	1162,3	86,10	13,90
0,08	1348,5	99,89	0,11

Tableau III.6: Analyse granulométrique du sable normalisé.

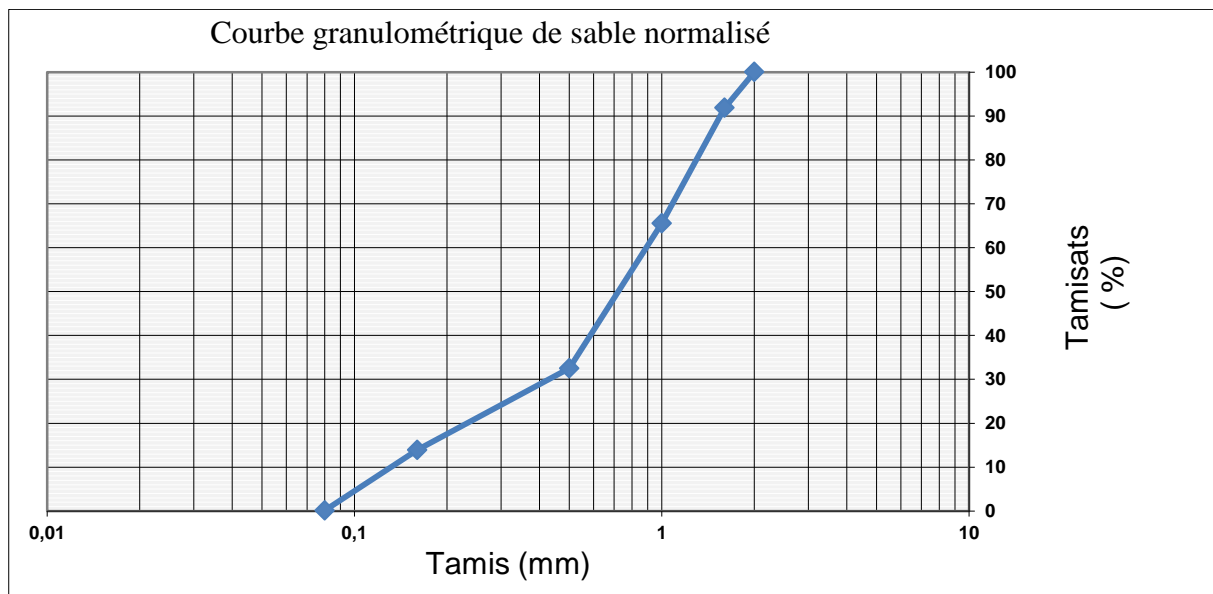


Figure III.5 : La courbe granulométrique de sable normalisé.

Une analyse granulométrique de ce type de sable a été effectuée et la courbe granulométrie correspondante est présentée en Figure (III.5). Elle révèle qu'il s'agit d'un sable dont la majorité des grains ont une taille comprise entre 0,315 mm et 2,5 mm.

Pour le sable normalisé, le module de finesse est supérieur à 2,5 % ; ce qui caractérise les sables moyen.

Le sable normalisé :  $M_f=2,5$

### III.5. Résultats des essais sur mortier :

#### III.5.1. Essai de compression :

	Pozz (%)	Rc 01j (MPa)	Rc 02j (MPa)	Rc 07j (MPa)	Rc 14j (MPa)	Rc 28j (Mpa)	Rc 60j (MPa)
<b>CEM 1</b>	<b>CPA 0%</b>	22,70	27,50	44,40	50,50	58,80	61,40
<b>CEM 2</b>	<b>10% Pozz</b>	9,90	21,20	37,50	41,10	46,20	48,10
<b>CEM 3</b>	<b>20% Pozz</b>	8,20	20,20	36,60	38,50	43,20	45,50
<b>CEM 4</b>	<b>30% Pozz</b>	7,10	18,50	35,50	37,20	40,20	43,40

Tableau III.7: Evolution des résistances à la compression du mortier en fonction du taux d'ajout pouzzolane (sable normalisé).

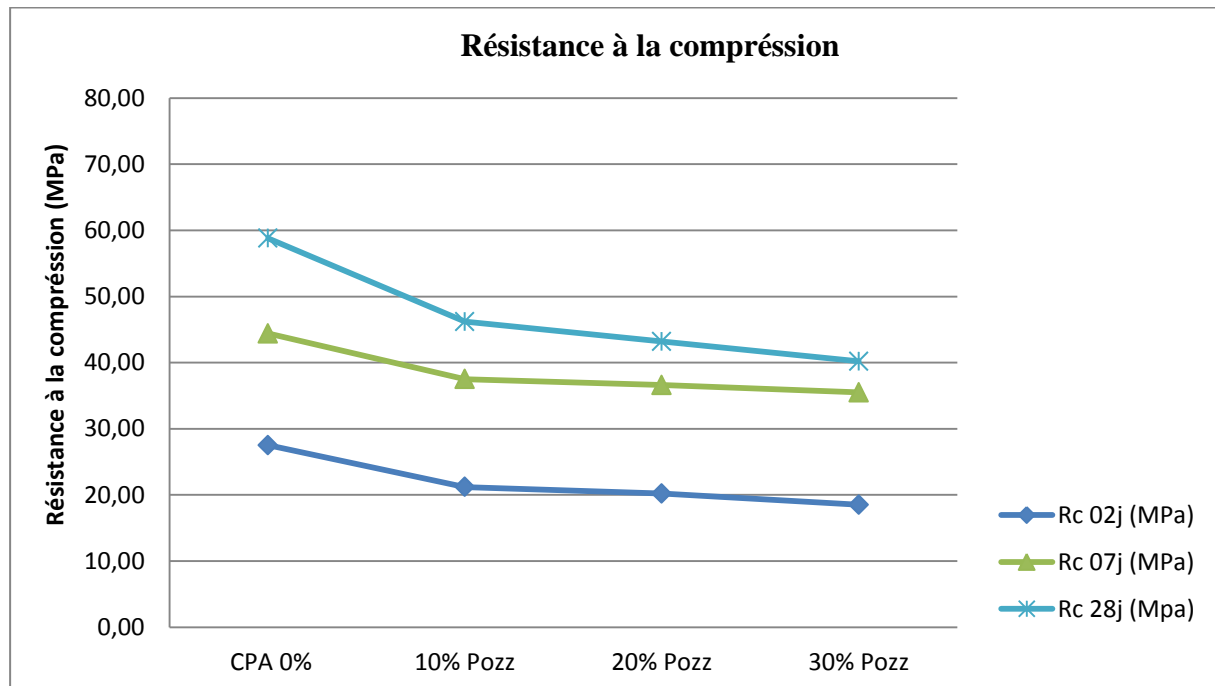


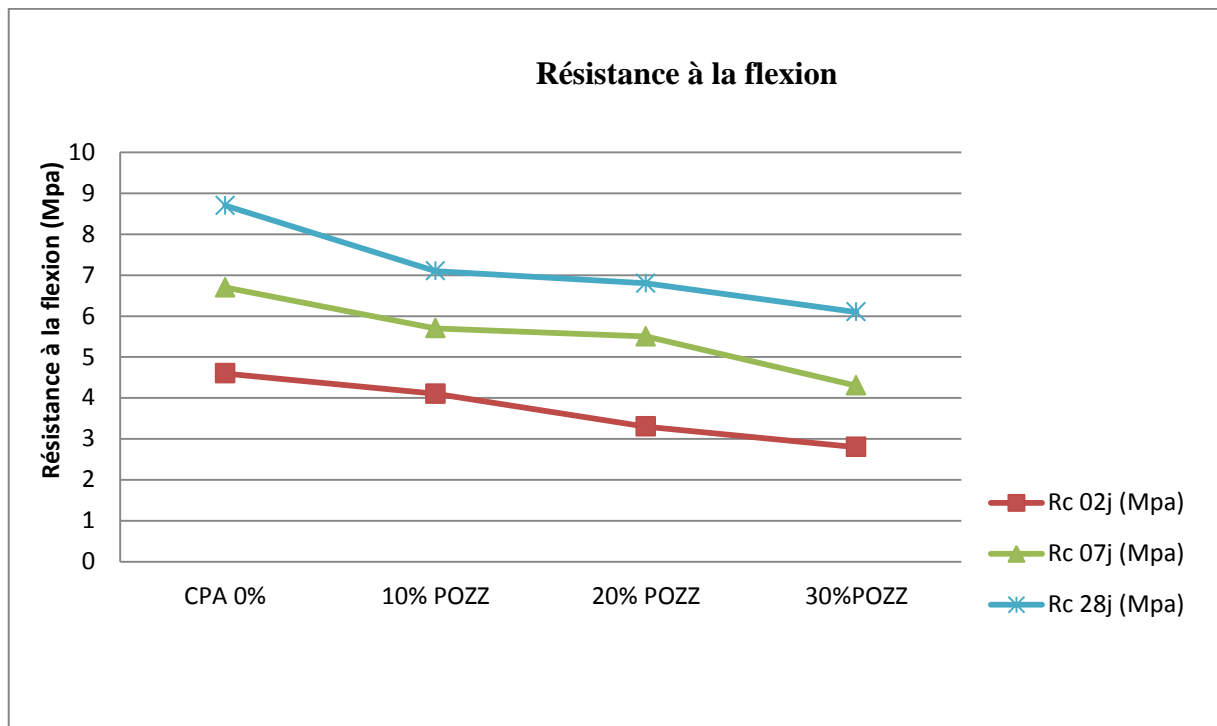
Figure III.6 : Effet du taux d'ajout de pouzzolane sur la résistance à la compression.

- Les résistances à la compression diminuent en général avec l'augmentation du pourcentage d'ajout de pouzzolane.
- Tandis que pour les dosages en pouzzolane allant de 10% à 20% la diminution passe de 17% à 20% à l'âge de 2 jours et de 13% à 28% à l'âge de 7 jours par rapport à celle du témoin respectivement.
- A long terme les mortiers (10%,20% et 30% de pouzzolane) développent des résistances comparables à celle du mortier de contrôle.

### III.5.2. Essai de flexion :

	<b>Pozz (%)</b>	<b>Rc 01j (Mpa)</b>	<b>Rc 02j (Mpa)</b>	<b>Rc 07j (Mpa)</b>	<b>Rc 14j (Mpa)</b>	<b>Rc 28j (Mpa)</b>	<b>Rc 60j (Mpa)</b>
<b>CEM 1</b>	<b>CPA 0%</b>	4	4,6	6,7	7,3	8,7	8,9
<b>CEM 2</b>	<b>10% Pozz</b>	2,8	4,1	5,7	6,5	7,1	7,5
<b>CEM 3</b>	<b>20% Pozz</b>	2,5	3,3	5,5	6,3	6,8	7
<b>CEM 4</b>	<b>30%Pozz</b>	1,9	2,8	4,3	4,6	6,1	6,5

**Tableau III.8 : Evolution des résistances à la flexion du mortier en fonction du taux d'ajout la pouzzolane (sable normalisé).**



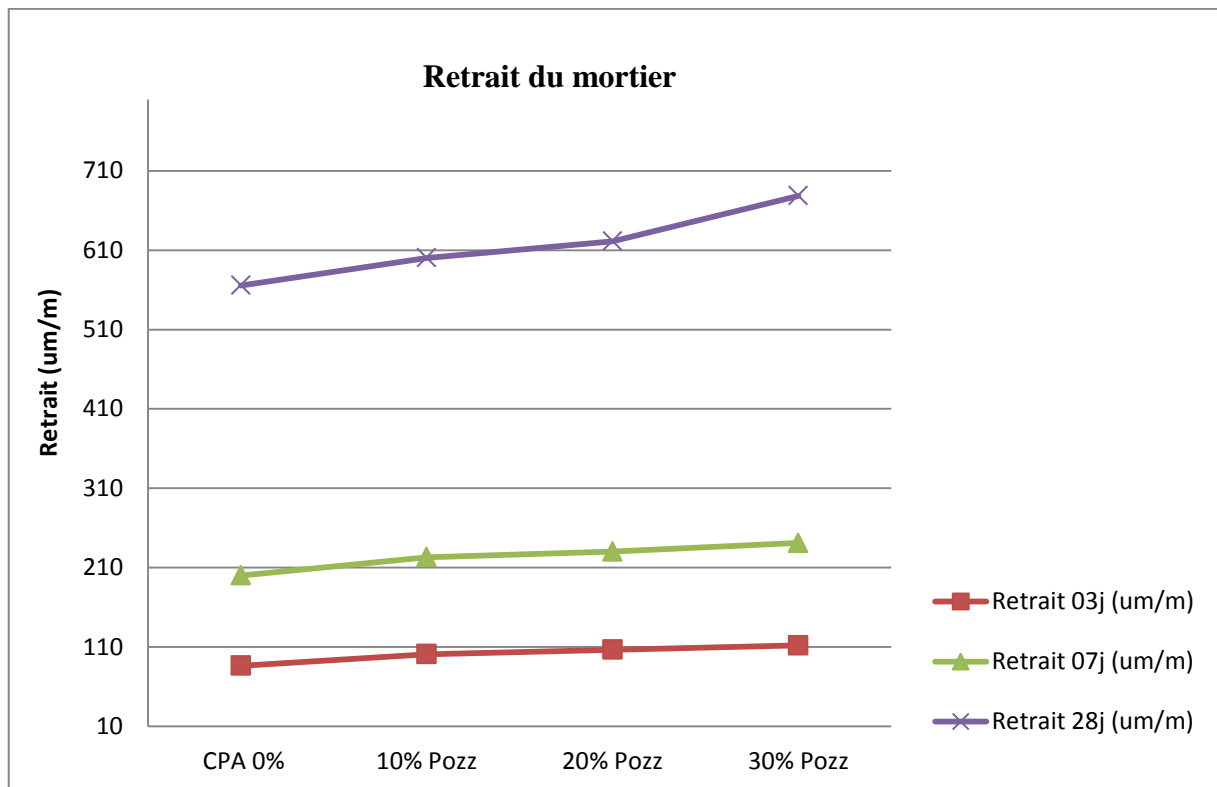
**Figure III.7 : Effet du taux d'ajout de pouzzolane sur la résistance à la flexion.**

- Les résistances à la flexion diminuent légèrement en général avec l'augmentation du pourcentage d'ajout de pouzzolane.
- On remarque que les résistances de tous les mortiers diminué régulièrement à jeune âge (02 j ; 07j), par rapport à mortier témoin 0% à 28j et le pourcentage 10% ,20% ,30% la résistance diminué.

### III.5.3. Retrait:

	<b>Pozz (%)</b>	<b>Retrait 03j (um/m)</b>	<b>Retrait 07j (um/m)</b>	<b>Retrait 28j (um/m)</b>
<b>CEM 1</b>	<b>CPA 0%</b>	86,5	200,2	565,5
<b>CEM 2</b>	<b>10% Pozz</b>	101	223,2	600,2
<b>CEM 3</b>	<b>20% Pozz</b>	106,5	230,2	621,2
<b>CEM 4</b>	<b>30% Pozz</b>	112	241,2	678,5

**Tableau III.9: Retrait du mortier normal en fonction du taux d'ajout (pouzzolane).**



**Figure III.8 : Evolution du retrait du mortier en fonction du taux d'ajout (pouzzolane).**

Les principales remarques relatives au retrait observé pour les différents ciments étudiés sont :

- Le retrait augmente avec l'âge du mortier surtout à 28j, ceci est dû à l'hydratation du ciment qui génère un fin réseau des pores capillaires des amas d'hydrates formés et à la dessiccation.
- Les retraits des ciments avec ajouts de pouzzolane sont supérieurs à ceux du ciment Portland (sans ajout).

Ceci peut s'expliquer par la diminution du nombre et du diamètre des pores de la pâte du ciment hydraté, ainsi qu'à la formation d'un C-S-H secondaire.

La Figure (III.8) illustre la variation des déformations de retrait des ciments; on remarque que la vitesse de retrait est lente jusqu'à 3 jours et rapide entre l'âge de 3 à 28 jours.

## III.5.4. Gonflement :

	Pozz (%)	Gonflement 03j (um/m)	Gonflement 07j (um/m)	Gonflement 28j (um/m)
CEM 1	CPA 0%	22,2	42,2	79,5
CEM 2	10% Pozz	31,2	47,5	91,4
CEM 3	20% Pozz	39,5	52,5	105,5
CEM 4	30% Pozz	52,5	66,8	107,8

Tableau III.10: Gonflement du mortier normal en fonction du taux d'ajout (pouzzolane).

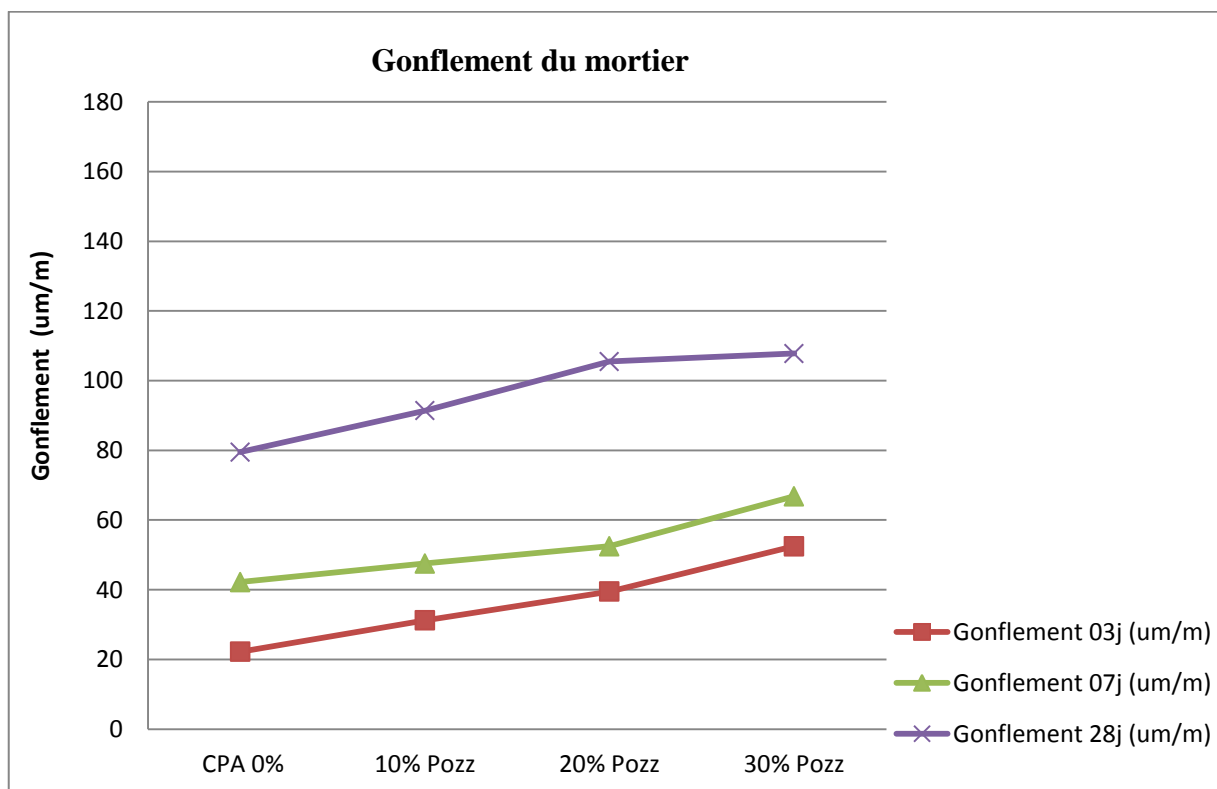


Figure III.9 : Evolution du gonflement du mortier en fonction du taux d'ajout (Pouzzolane).

Les principales remarques relatives au gonflement observé pour les différents ciments étudiés sont :

- Le gonflement observé sur les éprouvettes contenant comme ajout de pouzzolane est supérieur au gonflement dû au ciment Portland, ceci est dû à la consommation de la portlandite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  et à la combinaison de l'oxyde de magnésium et à l'épuisement de la chaux libre pendant les réactions d'hydratation avec l'ajout incorporé dans le ciment à long terme (formation du deuxième (C-S-H).
- Le Gonflement augmente avec l'âge du mortier surtout à 28j.
- La Figure (III.9) illustre la variation des déformations de gonflement des ciments; on remarque que la vitesse de gonflement est lente et serré 3 et 7jours.

### **III.6. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des travaux expérimentaux sur les mortiers formulés du point de vue caractéristiques mécaniques en compression et en flexion ainsi que le comportement en retrait, en gonflement, chaleur d'hydratation, consistance, temps de prise et surface spécifique qui ont été réalisés dans le cadre de notre projet de fin d'études et de donner des interprétations à ces résultats et les justifier.

# CHAPITRE IV

Résultats

Et

Interprétations

Des

Mortiers

Soumis

À des

Températures

élevées

## Chapitre IV : Résultats et interprétations des mortiers soumis à des températures élevées

### IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous abordons les différents essais effectués sur les matériaux utilisés pour la formulation du mortier avec la pouzzolane naturelle, ainsi que les essais réalisés sur le mortier confectionné pour évaluer ses propriétés à l'état durci.

Avec les compositions suivantes :

- Composition 1 : mortier formulé avec 0% de pouzzolane naturelle ;
- Composition 2: mortier formulé avec 10% de pouzzolane naturelle ;
- Composition 3 : mortier formulé avec 20% de pouzzolane naturelle;
- Composition 4: mortier formulé avec 30% de pouzzolane naturelle;

### IV.2. Résultats des essais :

#### IV.2.1. La résistance mécanique en compression :

Les figures suivantes présentent les résultats de la résistance mécanique à la compression en fonction de température.

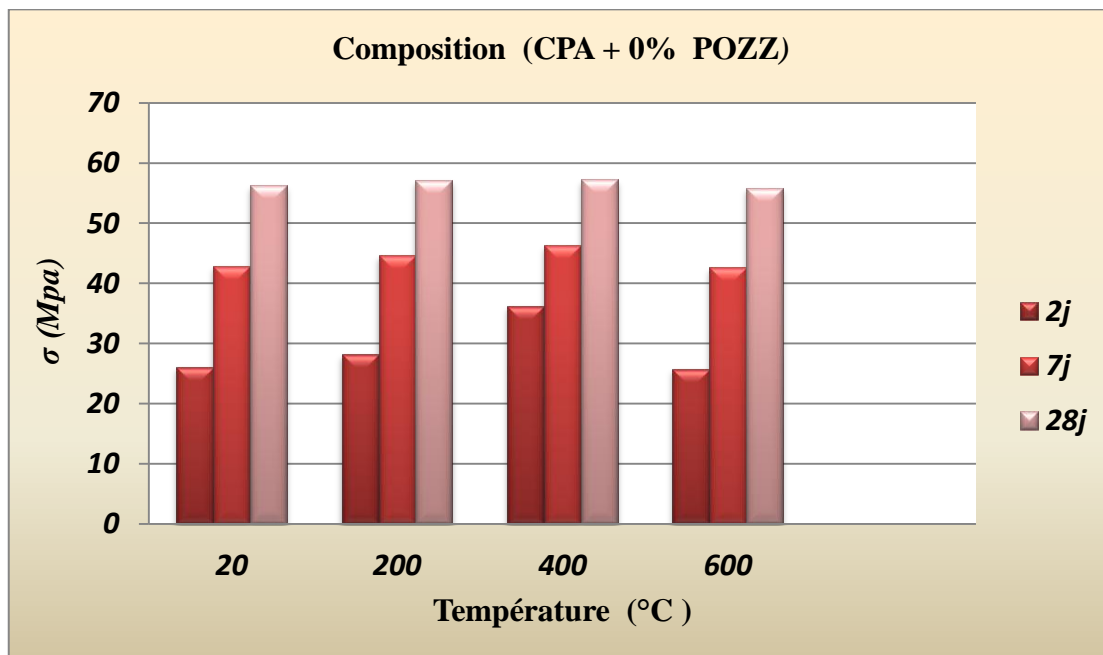


Figure IV.1 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition 1).

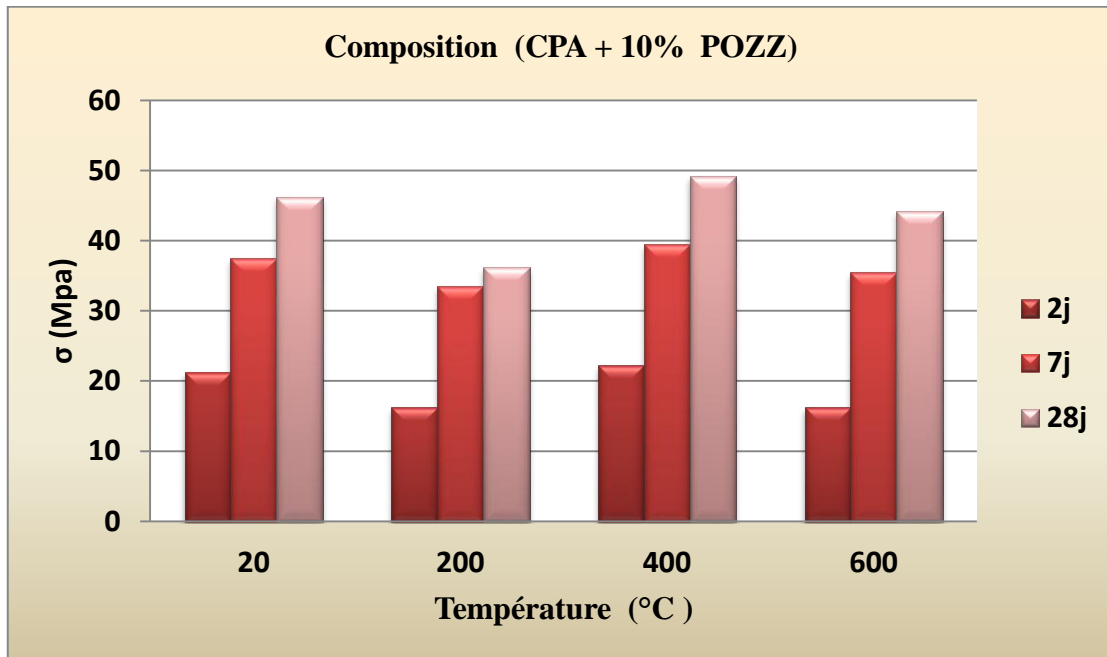


Figure IV.2 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition 2).

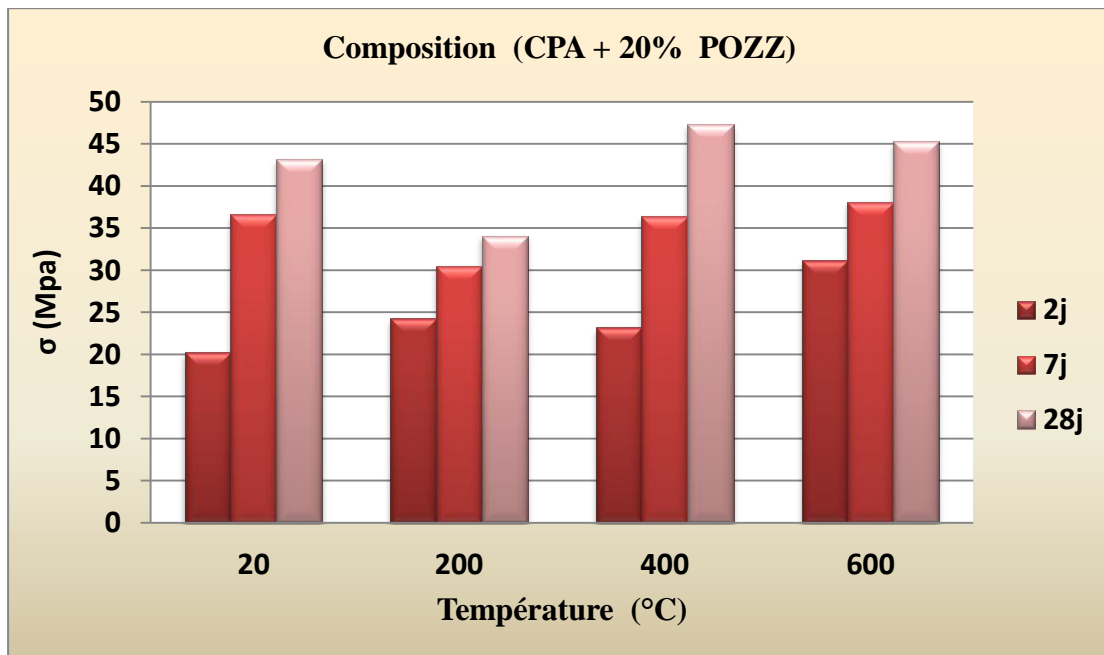


Figure IV.3 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition 3).

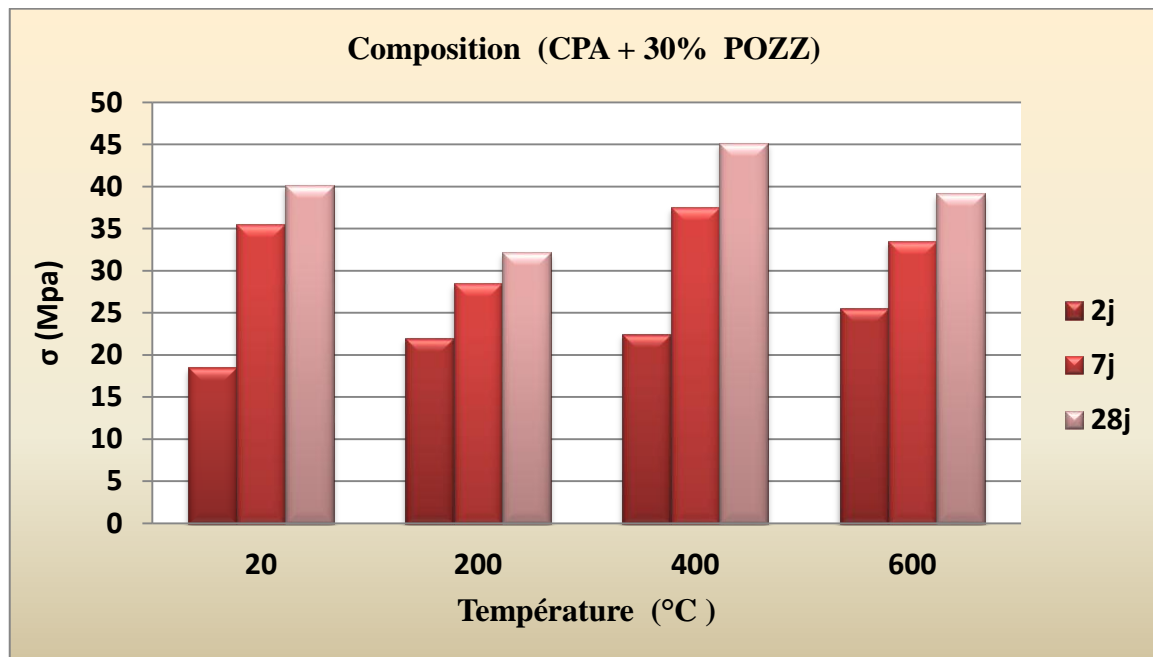


Figure IV.4 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition 4).

#### IV.2.2. Résultats de la résistance mécanique des mortiers à la flexion :

Les figures suivantes présentent les résultats de la résistance mécanique à la flexion en fonction de température.

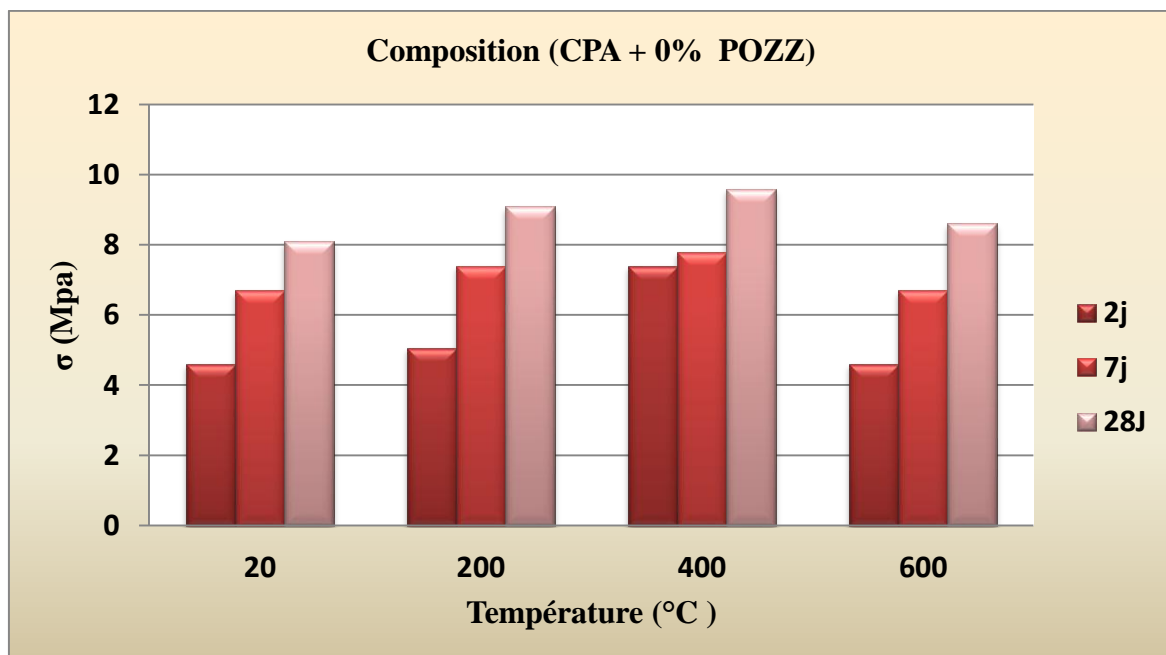


Figure IV.5 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition 1).

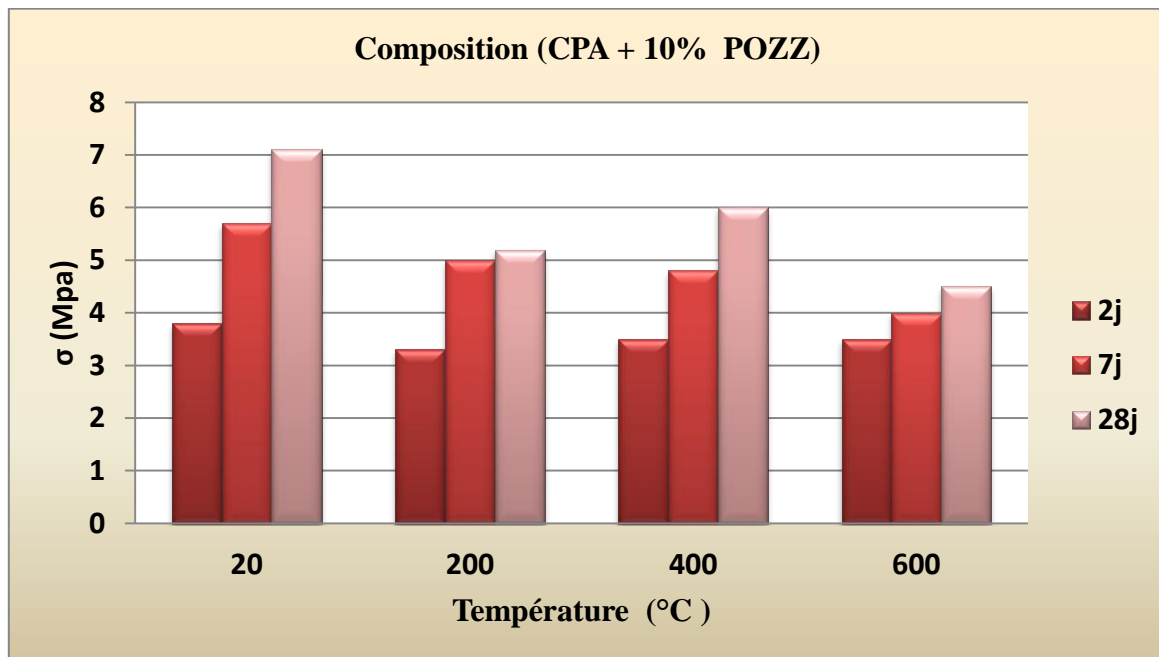


Figure IV.6 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition 2).

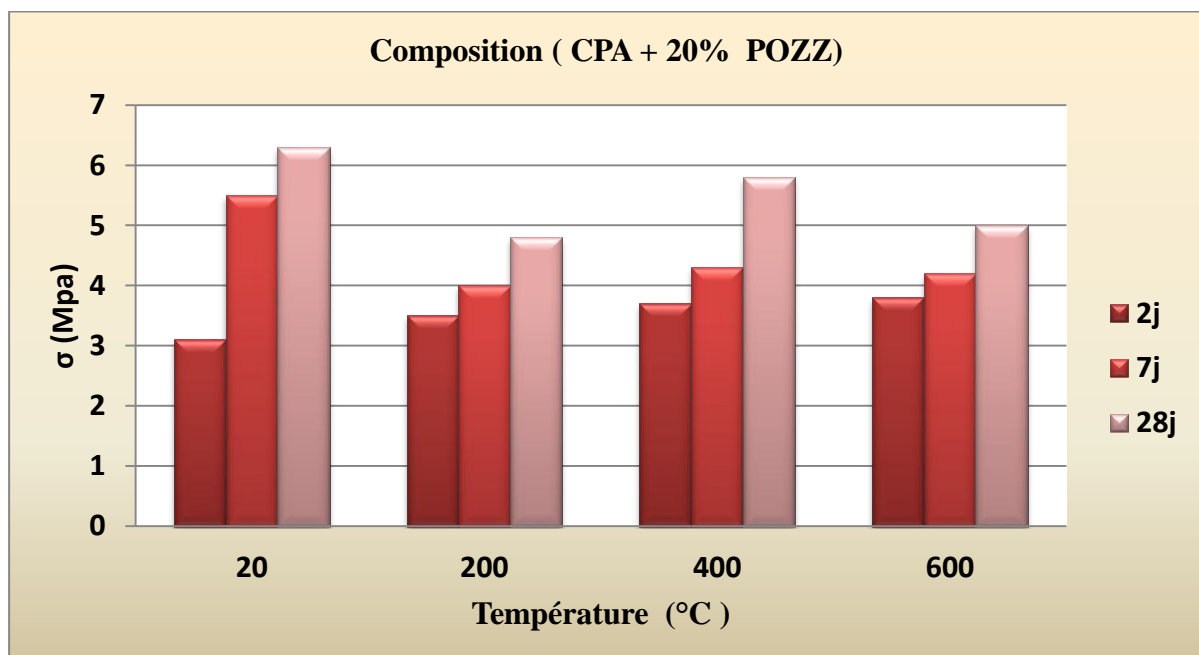


Figure IV.7 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition 3).

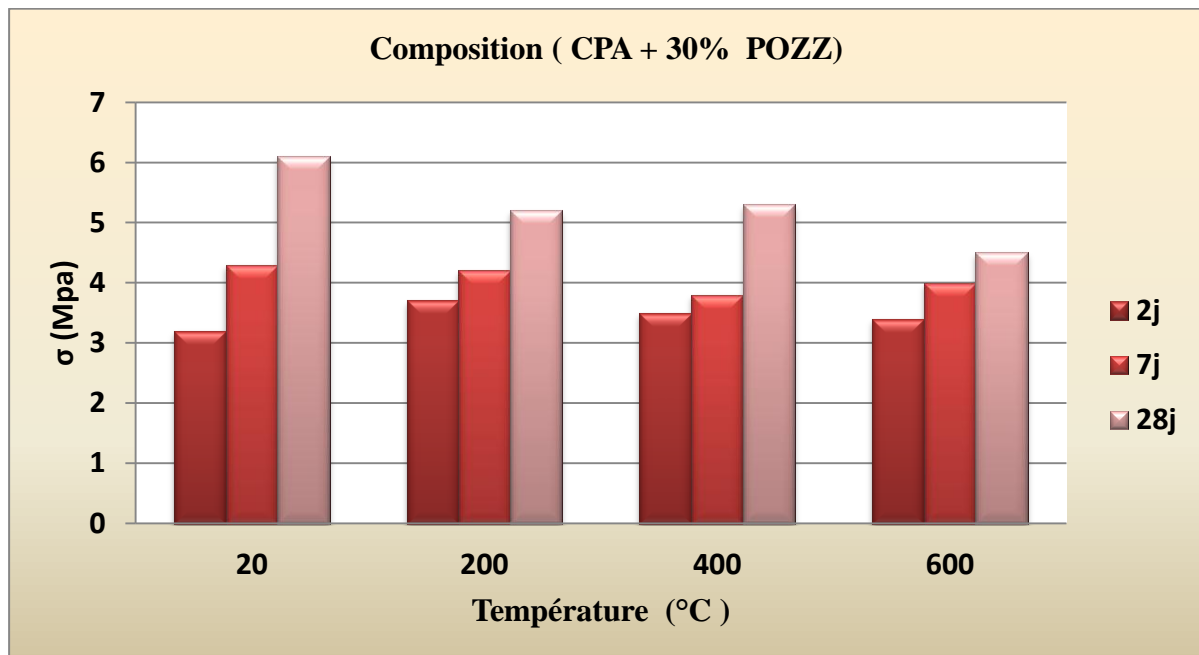


Figure IV.8 : Résistance mécanique en fonction de la température (composition 4).

#### IV.2.3. La perte de masse :

Les figures suivantes présentent les résultats de la perte de masse en fonction de la température.

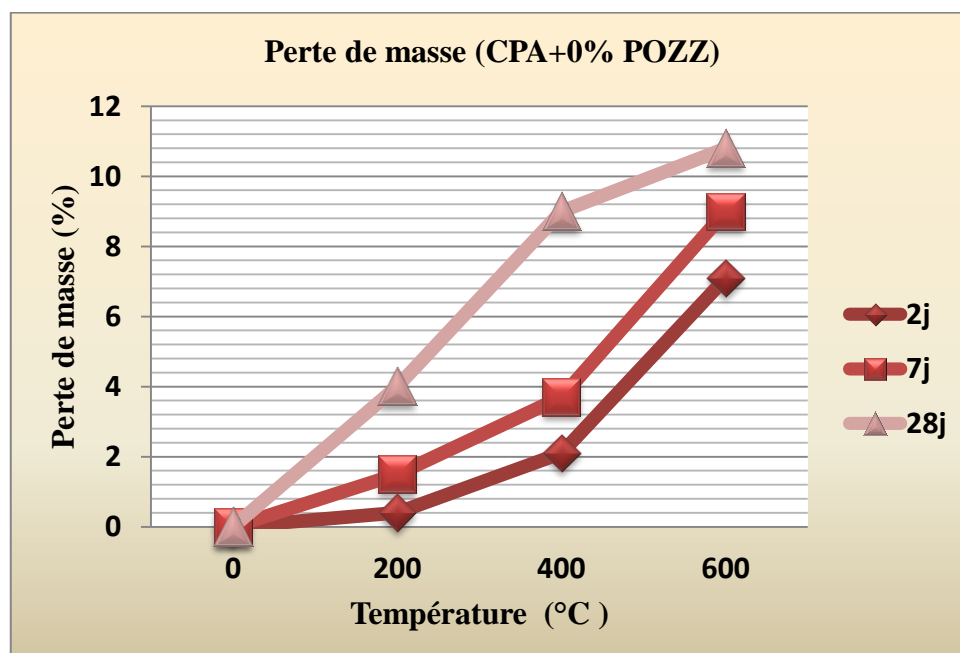


Figure IV.9: Perte de masse en fonction de la température (Composition 1).

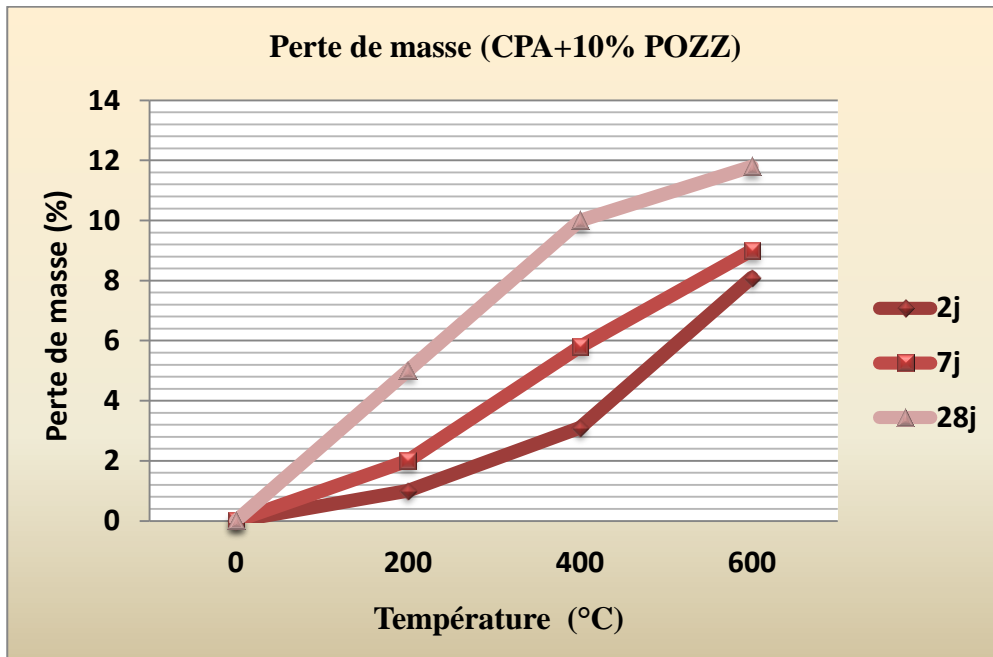


Figure IV.10: Perte de masse en fonction de la température (Composition 2).

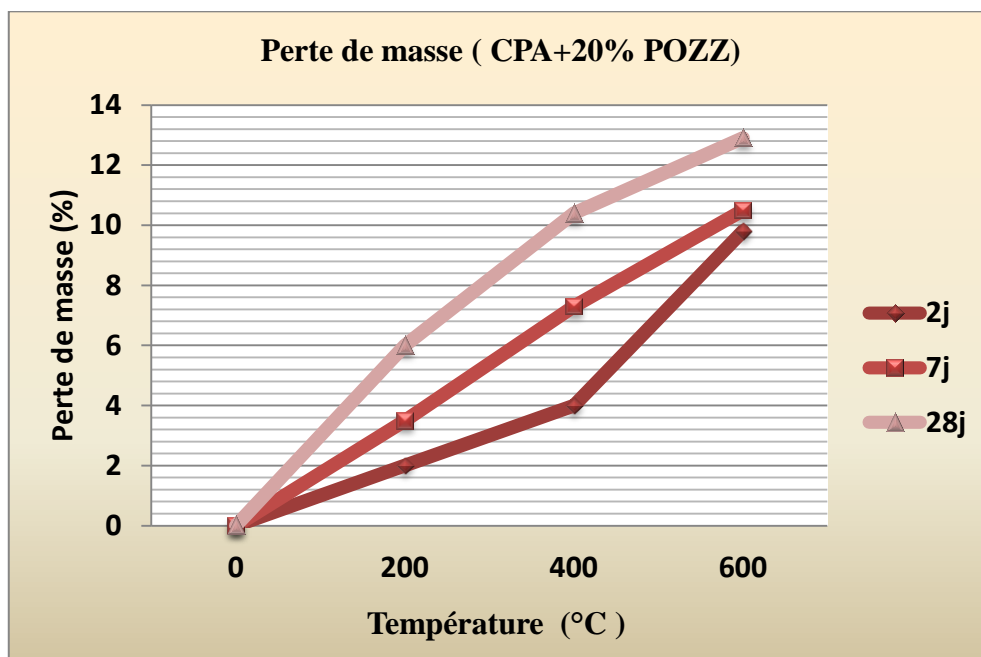


Figure IV.11: Perte de masse en fonction de la température (Composition 3).

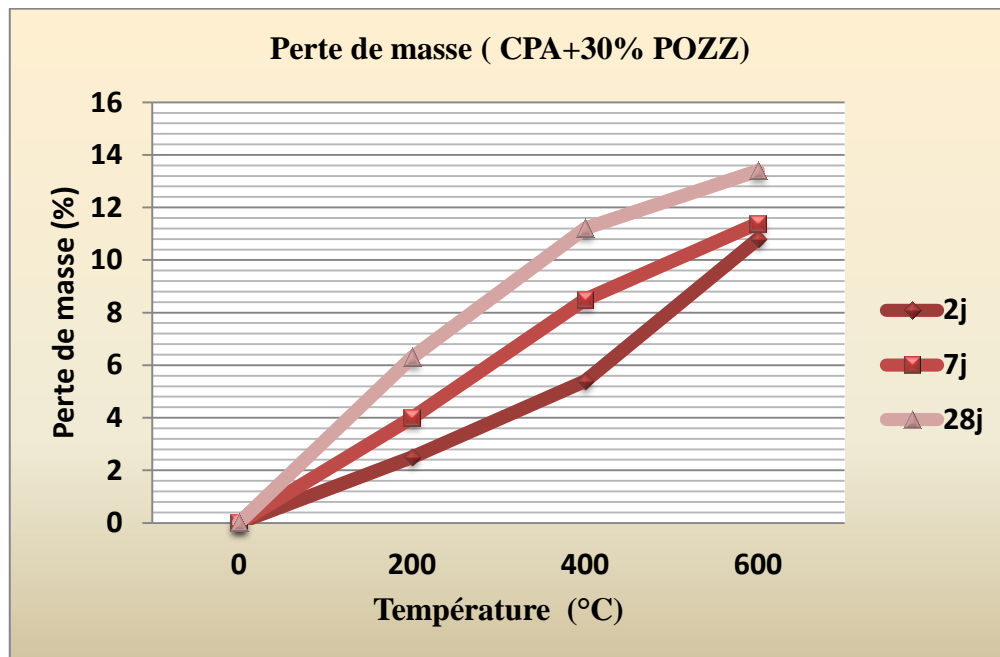


Figure IV.12: Perte de masse en fonction de la température (Composition 4).

#### IV.2.4. Perte de masse et la résistance en fonction de la température :

Les figures suivantes représentent les résultats de la résistance mécanique, la perte de masse en fonction de la température.

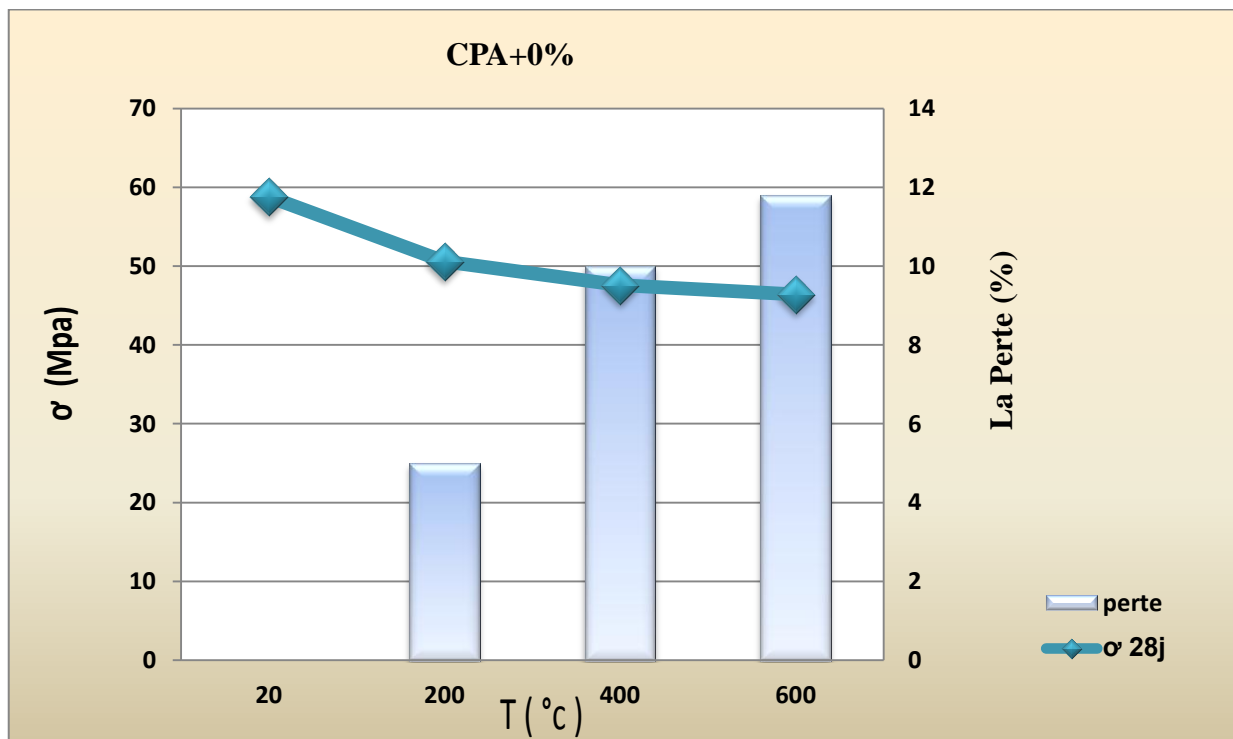


Figure IV.13 : Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température (Composition 1).

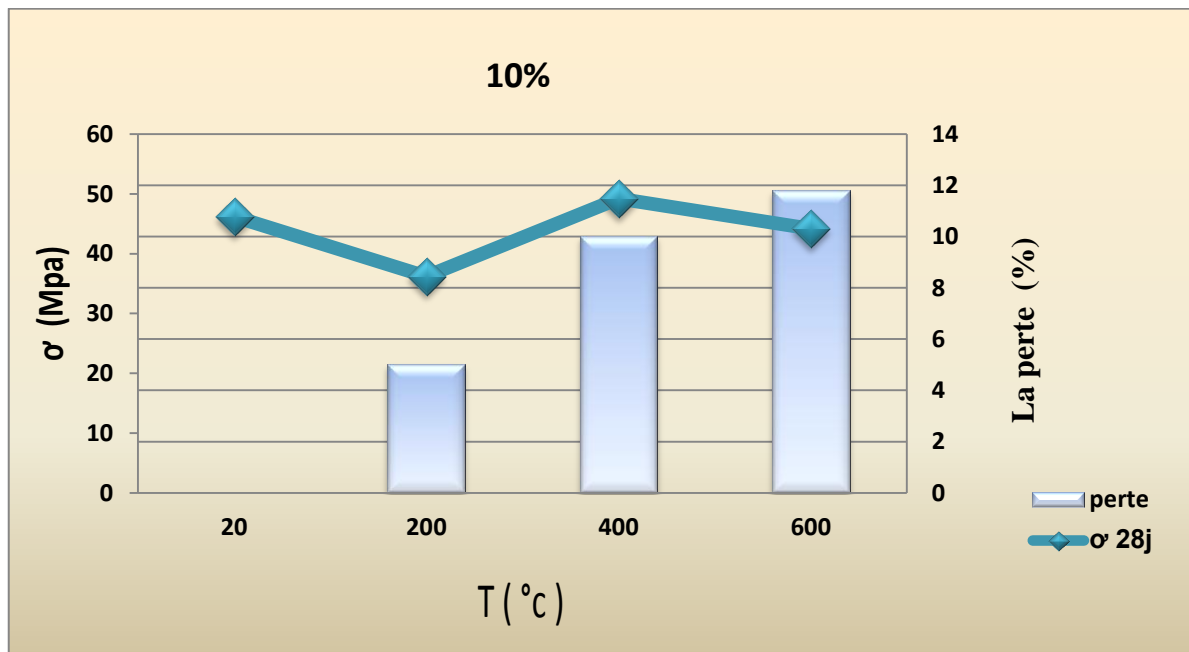


Figure IV.14 : Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température (Composition 2).

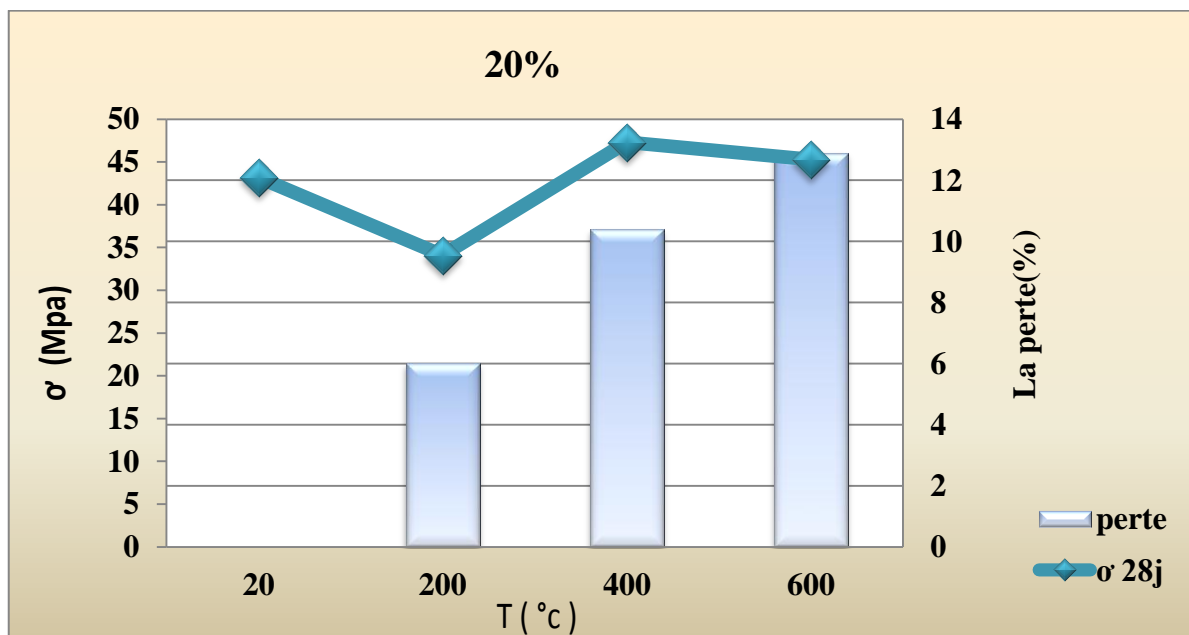


Figure IV.15 : Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température (Composition 3).

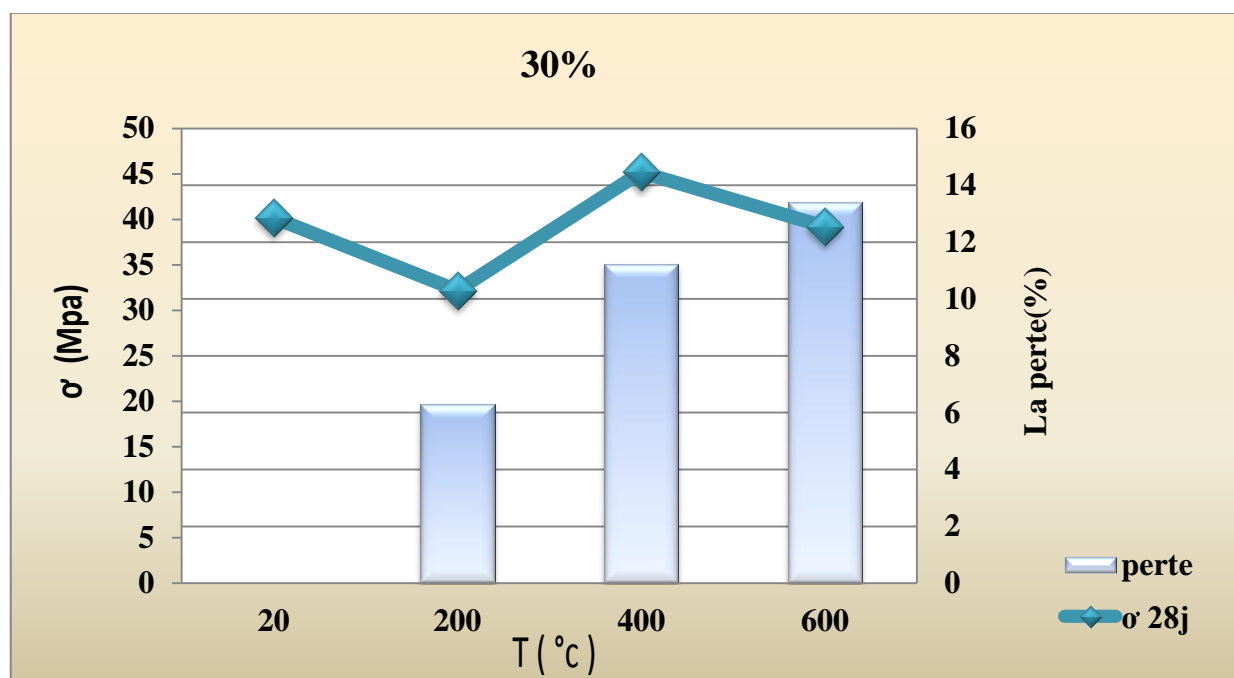


Figure IV.16 : Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température (Composition 4).

### IV.3. L'interprétation des résultats :

#### IV.3.1. La résistance mécanique à la compression :

On remarque qu'à 400 °C les compositions (1, 2, 3,4) des mortiers présentent un pic de résistance.

Au-delà de ce pic la résistance chute à 600 °C comme le montre les figures (IV.1), (IV.2), (IV.3) et (IV.4).

L'analyse des résultats des figures (IV.1), (IV. 2), (IV.3) et (IV.4) montre que la résistance mécanique à 2j et 7j augmente simultanément avec l'augmentation à 28j quelque soit la température.

#### IV.3.2. La résistance mécanique à la flexion :

On observe une diminution de la résistance à la flexion avec l'augmentation de la température par rapport à 20 °C. En comparaison avec la compression on peut dire que la résistance à la flexion est plus influencé par la montée de la température comme le montre les figures (IV.5), (IV, 6), (IV.7), (IV.8)

#### IV.3.3. La perte de masse :

On remarque que la perte augmente progressivement avec l'augmentation de la température jusqu'à 600 °C avec une valeur maximale environ 12% dans les compositions (1, 2,3, 4) voir les Figures (IV.9), (IV.10), (IV.11) et (IV.12).

La perte augmente à la cour de temps en fonction de température.

**IV.3.4. Perte de masse et résistance à la compression en fonction de la température :**

D'après les figures de IV.13 à IV.16 on peut dire que :

- La perte de masse est maximale à 600 °C quelque soit la formulation.
- La composition (1) donne des valeurs minimales en perte et des valeurs maximales des résistances en compression.
- La composition (1) présente une perte de masse importante.
- L'augmentation de la perte de masse est accompagnée avec une chute de résistance mécanique.
- Par contre, on remarque que les résistances à la compression chutent à 200 °C par rapport à 20 °C et 400 °C.

**IV.4. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous examinons le changement de résistance à la compression et la perte de masse en fonction de la température des quatre composantes (0%, 10%, 20%, 30%) :

- La résistance à compression de la (composition 1) à 20 °C est notable, au-delà de cette température la résistance à la compression baisse jusqu'à 600 °C.
- Mais pour les compositions 10% ,20% ,30% (avec ajout) sera faible à 200 °C et la valeur maximale sera enregistrée à 400 °C, puis diminuer progressivement jusqu'à 600 °C.
- Le mortier formulé avec 10% de pouzzolane naturelle présente la perte la plus faible à 200 °C, ce qui implique que la quantité d'eau liée aux grains est plus importante que dans les autres cas ainsi que la quantité d'eau nécessaire à la réaction.
- La variation de la perte de masse des mortiers entre 200 °C et 400 °C est plus considérable qu'entre 400 °C et 600 °C. Au-delà de 200 °C et jusqu'à 400 °C, Ceci peut être expliqué par une perte de l'eau libre à 200 °C, une perte de l'eau chimiquement liée entre 200 °C et 400 °C et une perte liée aux dégradations des granulats entre 400 °C et 600 °C.

## CONCLUSION GENERALE :

L'élévation de la température entraîne une déshydrations des composés hydratés de la pâte de ciment durcie. On a une formation d'eau libre dans les réseaux poreux du matériau successible de s'évaporer et donc de générer une perte de masse pour un échantillon donné.

L'effet de la température élevée sur la perte de masse n'a été visible qu'à la première température (200 °C), car l'évaporation se produit à une température voisine de (100 °C). Cette déshydrations provoque des modifications microstructurales qui influent sur les résistances mécaniques. On a pu noter qu'à 200 °C, les valeurs des résistances en flexion sont plus faibles que celles à la température ambiante. En compression toutes les formulations de mortier présentent une augmentation de la résistance à 400 °C comparativement à celle à 200 °C.

Au-delà de 400 °C, toutes les compositions subissent des chutes de la résistance. à 600 °C la chute des résistances continue, on note toutefois un regain de la résistance par rapport à celle à 200°C cela pourrait s'expliquer par une rigidification de la matrice et une accélération de l'hydratation.

- Aux températures 400 °C et 600 °C, les pertes de masse des différents mortiers sont voisines.
- La variation de la perte de masse des mortiers entre 200 °C et 400 °C est plus considérable qu'entre 400 °C et 600 °C. Au-delà de 200 °C et jusqu'à 400 °C, la porosité totale croit progressivement.
- On remarque que les résistances à la compression chutent à 200 °C par rapport à 20 °C et 400 °C, avec un meilleur résultat à 400 °C pour les formulations sans ajout et avec ajout.
- Notez que la résistance à la compression est élevée sans ajout (composition 1) par contre la résistance à la compression faible avec ajout (composition 2, 3,4).
- Les phénomènes de perte de masse au cours de l'augmentation de la température s'expliquent par la perte progressive de l'eau contenue dans le mortier : une perte de l'eau libre à 200 °C, une perte de l'eau chimiquement liée entre 200 °C et 400 °C et une perte liée aux dégradations des granulats entre 400 °C et 600 °C.
- Lorsqu'on augmente la proportion de pouzzolane on note une détérioration de la résistance.
- Nous recommandons de poursuivre ce travail par des études avec des pourcentages inférieurs de 10% de Pouzzolane naturelle.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: **BOUALI Khaled** « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires », **mémoire de magister** (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux **UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES 2013/2014.**
- [2]: **WILLIAM.D, CALLISTER.JR** « Science et génie des matériaux » modulu Editeur, **2001.**
- [3]: **R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN** «Granulat, sols, ciment et béton» **Edition CASTEILLA-PARIS-2004.**
- [4]: **Mounir Bellem** « Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers »**mémoire de master**, université de M'sila, juin 2013.
- [5]: **GCI712** « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril **2009.**
- [6]: **SYLVER.P** «science des matériaux», université pierre et marie curie **2005 ,2006.**
- [7]: PDF réalisé par Zile-Marie Durosier Richard Bonneville.
- [8]: **Georges Dreux, Jean Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Paris, Edition Eyrolles, 2009.**
- [9]:**ZEROUB hamid** « 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 15/02/2012
- [10]:**A.KERBOUCHE.** « Influence des ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des bétons » mémoire de magister .UST Oran 2009.
- [11]: **M VENUAT.** La pratique des ciments, mortiers et bétons-Tome 1 : « caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers »- édition2-Collection moniteur.1989
- [12]: **SOPHIE Housson** « étude physique chimique et mécanique des interactions ciment-filler. Application aux mortiers ».thèse de l'institut national polychnique de grenoble et de l'école national supérieure des mines de **Saint –Etienne** (spécialité : Génie des procédés).
- [13]: **Mr. BERRAIH MIMOUN** « 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 géomatériaux (ENSET Oran 2009/2010).**
- [14]: **Anissa BESSA-BADREDDINE** « ETUDE DE LA CONTRIBUTION DES ADDITIONS MINERALES AUX PROPRIETES PHYSIQUES, MECANIQUES ET DE DURABILITE DES MORTIERS » **.THESE présentée pour obtenir le grade de docteur de l'université de Cergy – pontoise (spécialité de Génie Civil) soutenue le 25 juin 2004.**

**[15]: ABDALLAH HASSAN HAROUN** « influence de la nature du sable sur le comportement d'un BHP a température élevées » mémoire de master ABDALLAH HASSAN HAROUN M'sila. 2012/2013

**[16]: MENNAI AMOR** « contribution à l'étude rhéologique d'un béton à hautes Performances (BHP) local » mémoire de **SIKDA**

**[17]: TOUMI Belkacem** « étude de l'influence des hautes températures sur le comportement du béton » thèse de doctorat TOUMI Belkacem **CONSTANTINE** 2009

**[18]: (F.) De LARRARD.** « Formulation et propriétés des bétons à très hautes Performances ». Thèse. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, rapport de Recherche des laboratoires des Ponts et Chaussées, 1987.

**[19]: (J.P.) BOMBLED** « Rhéologie du béton frais : influence des ajouts de fillers au ciment ». 8th Congrès Int. De Chimie des Ciments, RIO DE JANEIRO, IV, 190-196, Sept 1986.

## RESUME

Ce travail est une étude des pouzzolanes naturelles en tant que composants de base dans les matériaux de construction. Il est destiné à mettre en relief l'avantage thermique de ces matériaux. Il est économiquement intéressant d'utiliser la pouzzolane en substitution d'une partie du clinker comme ajouts hydrauliquement actives.

L'élévation de la température dans le mortier entraîne une destruction des hydrates constitutifs de la pâte de ciment durcie. Cette destruction implique un affaissement du matériau par dégradation de ses propriétés mécaniques : rigidité et résistance.

L'élévation de la température génère également des pressions de fluides importantes au niveau de la porosité du matériau pouvant conduire à l'endommagement de celui-ci. Cet endommagement se conjugue à l'endommagement généré par le chargement mécanique. La prévision du comportement aux hautes températures implique donc la connaissance de l'évolution des variations des propriétés mécaniques.

Cette étude s'articule sur la comparaison de l'évolution des résistances résiduelles, en flexion et en compression mécanique et la perte de charge de quatre formulations des mortiers avec des pourcentages différents de pouzzolane naturelle. Il s'agit trois formulations des mortiers avec ajout de pouzzolane, et la formulation d'un mortier de sans ajout (témoin).

Les résultats obtenus montrent le bon comportement des mortiers à haute température environ 400°C alors que la diminution de la résistance en compression est négligeable par rapport à la résistance à la flexion qui est très influencé par la montée en température. L'effet de l'ajout de laitier sur la perte de masse n'a été visible qu'à la première température (200°C), car l'évaporation se produit à une température voisine de 100°C.

**Mots clés :** Mortier, Résistance mécanique, Haute température, Perte de masse, pouzzolane naturelle.

### Abstract

This work is a study of natural pozzolans as basic components in building materials. It is intended to highlight the thermal advantage of these materials. It is economically interesting to use the pozzolan to replace a portion of the clinker as hydraulically active additions.

The rise in temperature in the mortar caused a destruction of the constituent carbohydrates of the cement paste hardened. This destruction implies a subsidence of the material by degradation of its mechanical properties: stiffness and strength. The temperature rise also generates significant fluid pressure at the level of the porosity of the material which may lead to damage to it. This damage is combined with the damage generated by mechanical loading.

This study is based on a comparison of the development of strength resistance with tensile, mechanical pressure and weight loss on four samples of mortar at different rates of substance Buzolan. We have studying three combinations with the addition of Buzolan and one composition without addition.

The results show the good behavior of mortars at high temperature approx. 400 ° C while the reduction in compressive strength is negligible compared to the resistance has flexion which is heavily influenced by the rise in temperature. The effect of the addition of slag on the mass loss was visible that has the first temperature (200 ° C), because the evaporation occurs at a temperature near 100 ° C.

**Key words:** mortar, mechanical strength, high temperature, loss of mass, natural pozzolan.

### المخلص

هذا العمل هو دراسة أساسية للبوذولان الطبيعية كمكونات أساسية في مواد البناء. فاعنه يهدف إلى تسليط الضوء على الاستفادة من الجانب الحراري لهذه المواد. إنها مثيرة للإهتمام من الناحية الإقتصادية لإستخدام البوزولان لتحل محل جزء من الكلنكر كإضافات هيدروليكية نشطة.

إن إرتفاع في درجة الحرارة على الملاط يؤدي إلى تفكيك الروابط المهدرجة المكونة لعجينة الإسمنت المتصلب هذا التفكك يؤدي إلى تطبيق هبوط في المادة و ترهل في خصائصها الميكانيكية: الصلابة و المقاومة.

إن إرتفاع في درجة الحرارة تؤثر على المادة بضعغوطات في المادة السائلة على مستوى مساميتها التي تحطم هذه الأخيرة. إن التطور الجيد لهيكل المادة الخاضعة لدرجات الحرارة العالية يسمح لنا بمعارف أكثر في معرفة التغيرات الميكانيكية.

ترتكز هذه الدراسة على مقارنة تطور المقاومات اللحظية، الانحناء مع الشد ، الضغط الميكانيكي و فقدان الوزن على أربعة عينات من الملاط بنسب مختلفة لمادة البوزولان. الدراسة تخص ثلاثة تركيبات من الملاط المضاف لها مادة البوزولان و تركيبة بدون إضافة.

النتائج المتحصل عليها تظهر الهيكل الجيد للملاط تحت تأثير درجات الحرارة العالية في حدود 400 درجة مئوية تتبع في تناقص المقاومة الميكانيكية التي تكون مهمة مقارنة بمقاومة الانحناء. هذه الأخيرة التي تتأثر بارتفاع درجة الحرارة.

إن تأثير البوزولان على فقدان الكتلة ليس محسوسا إلا في درجة الحرارة 200 درجة مئوية بسبب تبخر الماء في درجة حرارة تقارب 100 درجة مئوية.

**المفاتيح:** الملاط ، المقاومة الميكانيكية ، الحرارة العالية ، فقدان الوزن ، البوزولان.