

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

Mohamed Boudiaf University of M'sila

Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة المسيلة

كلية التكنولوجيا



Département de Génie Civil

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

**MASTER**

En Génie Civil

**Option : Matériaux**

Présenté par :

Djablahi El Khnsa & Dehimene Chaima

**Thème**

Effet des températures élevées sur les mortiers renforcés  
de fibre métallique contenant les déchets de brique

| NOM et Prénom            | Grade      | Qualité      |
|--------------------------|------------|--------------|
| MAZA Mekki               | MCA        | Président    |
| RAHMOUNI Zine El Abidine | Professeur | Encadreur    |
| BELOUADAH Messaouda      | MCA        | Co-Encadreur |
| DJEBRI Noura             | MCB        | Examineur    |

*Année Universitaire : 2021 / 2022*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# *Remerciement*

**Au mon dieu le clément et miséricordieux**

**Tout d'abord, Nous tenons à remercions Dieu qui nous a permis d'achever ce**

**Projet de fin d'études et d'avoir cette formation.**

**Mes parents et les parents de mon camarade qui se sont efforcés de nous faire  
réussir**

**Merci, « Pr Rahmouni Zine El Abidine » et « Belouadah MESSAOUDA » qui  
ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens  
tout au long de réalisation de ce projet, sans oublier leur gentillesse.**

**Nous remercions toutes les personnes de qui ont contribué chacun à sa manière  
dans la réalisation de ce mémoire de fin d'études**

**Et toutes mes amies de la promotion « Matériaux de construction » juin 2022.**

**Et tous mes enseignants du département de génie civil.**



## *Dédicaces*

*Je tiens à dédier ce mémoire :*

*A ma très chère Mère et à mon cher Père, en témoignage et en gratitude*

*De leurs dévouements, de leurs soutien permanent durant toutes mes  
Années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconforts moraux, eux  
qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et  
pour m'avoir permis d'atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne  
peut être dit, mes affections sans limite.*

*A mes frères*

*A mes neveux : Djinan*

*A toute la famille : Djablahi*

*Je remercie mon amie et binôme Chaïma qui a contribué à la*

*Réalisation de ce modeste travail.*

*A tous mes Amis*

*A toute la promotion de G.C 2022*

*Djablahi EL KHNSA*

*They say a person needs just three things to be truly happy in this world:  
someone to love, something to do, and something to hope for.*

## *DEDICASE*

*Je tiens à dédier ce mémoire :*

*A ma très chère Mère et à mon cher Père, en témoignage et en gratitude  
De leurs dévouements, de leurs soutien permanent durant toutes mes  
Années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconforts moraux, eux  
qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et  
pour m'avoir permis d'atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne  
peut être dit, mes affections sans limite.*

*A mes frères : Yakoub et Rahil*

*A mes neveux : Mohamed Aya wassim*

*A toute la famille : Dehimene*

*Je remercie mon amie et binôme El khnsa qui a contribué à la*

*Réalisation de ce modeste travail.*

*A tous mes Amis*

*A toute la promotion de G.C 2022*

*DEHIMENE CHAIMA*

*They say a person needs just three things to be truly happy in this world:  
someone to love, something to do, and something to hope for.*

## Résumé

Cette recherche comprend une étude expérimentale de l'effet des températures élevées sur les propriétés mécaniques et physiques d'un mortier constitué d'un mélange et de déchets de briques renforcées de fibres minérales dans des proportions comprises entre 1 %, 2 % et 5 %. La méthode expérimentale a été étudiée pour étudier l'effet de la nature des additifs minéraux sur le comportement thermomécanique des coulis exposés à des températures élevées. La pâte à deux ajouts (poudre de brique et fibres minérales) a été soumise à des cycles de chauffage/refroidissement à 300 °C, 500 °C et 700 °C avec une vitesse de montée en température de 10 °C/min. Des mesures des propriétés physiques et mécaniques ont été effectuées. Résistance à la compression et à la flexion ainsi qu'à la perte de masse et de porosité.

**Mots clés :** mortier, résistance mécanique, chaleur élevée, perte de masse, déchets de briques, fibres minérales.

## الملخص

يتضمن هذا البحث دراسة تجريبية لتأثير درجات الحرارة المرتفعة على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للملاط المصنوع من خليط ومخلفات الطوب المدعمة بألياف معدنية بنسب تتراوح بين 1% و 2% و 5%. تمت دراسة المنهج التجريبي لدراسة تأثير طبيعة الإضافات المعدنية على السلوك الميكانيكي الحراري للملاط المعرض لدرجات حرارة عالية. تعرضت الملاط المكون من إضافتين (مسحوق الطوب والألياف المعدنية) لدورات تسخين / تبريد عند 300 درجة مئوية ، و 500 درجة مئوية ، و 700 درجة مئوية مع معدل ارتفاع في درجة الحرارة قدره 10 درجات مئوية / دقيقة. تم إجراء قياسات للخصائص الفيزيائية والميكانيكية. قوة الانضغاط وقوة الانحناء وكذلك فقدان الكتلة والمسامية.

**الكلمات المفتاحية:** ملاط ، مقاومة ميكانيكية ، حرارة عالية ، فقدان الكتلة ، نفايات الطوب ، ألياف معدنية.

## Abstract

This research work includes an experimental study of the effect of high temperatures on the mechanical and physical properties of mortars formulated with an admixture and brick waste reinforced with metal fibers in proportions between 1%, 2% and 5% .

An experimental approach for studying the influence of the nature of mineral additions on the thermo mechanical behavior of mortar subjected to high temperature has been studied. Mortars formulated with two additions (brick powder and metal fibers) subjected to heating/cooling cycles at 300°C, 500°C and 700°C with a temperature rise rate of 10°C/min. Measurements of the physico-mechanical properties were carried out. compressive strength, flexural strength as well as mass loss and porosity.

**Keywords:** Mortar, Mechanical Resistance, High Temperature, Loss of mass, Brick Waste, Metal Fibers.

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Remercîment           |   |
| Dédicaces             |   |
| Résumé                |   |
| Introduction Générale | 1 |

## Chapitre I Comportement rhéologique du mortier

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| I.1 Introduction :                                                         | 5  |
| I.2.Définition :                                                           | 5  |
| I.3 Les mortiers :                                                         | 5  |
| I.3.1 Définition :                                                         | 6  |
| I.3.2 Constituants des mortiers :                                          | 6  |
| I.3.2.1 Le Liant :                                                         | 6  |
| I.3.2.2 Le sable :                                                         | 6  |
| I.3.2.3 L'eau de gâchage :                                                 | 7  |
| I.3.2.4 Les adjuvants :                                                    | 7  |
| I.3.2.4.1Intérêt des adjuvants :                                           | 8  |
| I.3.2.4.2Classification des adjuvants :                                    | 8  |
| I.3.2.4.3 Le super plastifiant :                                           | 9  |
| I.3.2.3 Les ajouts :                                                       | 9  |
| I.3.3 Le rôle d'utilisation du mortier :                                   | 9  |
| I.3.4 Classification des mortiers :                                        | 10 |
| I.3.4.1 Classification générale des mortiers :                             | 10 |
| I.4 Préparation des mortiers :                                             | 14 |
| I.5 Application du mortier :                                               | 15 |
| I.6 Brique concassée :                                                     | 15 |
| I.6.1 Déchets de brique :                                                  | 16 |
| I.6.2Définition de brique :                                                | 17 |
| I.6.3 Types de brique :                                                    | 17 |
| I.6.4 Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques : | 19 |
| I.6.5 Mode de fabrication de brique :                                      | 19 |
| I.6.6 Valorisation des déchets de la brique :                              | 21 |
| I.6.7 Propriétés des bétons des déchets de brique :                        | 21 |
| I.6.8 Utilisations des bétons des déchets de brique :                      | 23 |
| I.7Les fibres métalliques :                                                | 24 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>I.8. Conclusion :</b> | <b>28</b> |
|--------------------------|-----------|

## Chapitre II Mortier soumis à haute température

|                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction</b>                                                                          | <b>23</b> |
| <b>II.1 Microstructure des matériaux matriciels soumis à une haute température</b>           | <b>23</b> |
| <b>II.2 Endommagement thermique</b>                                                          | <b>24</b> |
| <b>II.3 Effet de la température sur les paramètres influençant la carbonatation du béton</b> | <b>26</b> |
| <b>II.3.1 Influence sur la microstructure :</b>                                              | <b>26</b> |
| II.3.1.1 Perte de masse et l'eau :                                                           | 27        |
| <b>II.3.2 Influence sur la porosité :</b>                                                    | <b>27</b> |
| <b>II.3.4 Influence sur la perméabilité :</b>                                                | <b>31</b> |
| II.3.4.1 Perméabilité à l'eau :                                                              | 32        |
| II.3.4.2 Perméabilité au gaz :                                                               | 32        |
| <b>II.4 DEFORMATIONS THERMIQUES DU BETON :</b>                                               | <b>33</b> |
| <b>II.4.1 Déformation thermo hydrique libre du béton :</b>                                   | <b>33</b> |
| <b>II.4.2 Evolution des propriétés physiques :</b>                                           | <b>35</b> |
| <b>II.4.3 Evolution des Propriétés Mécanique :</b>                                           | <b>35</b> |
| II.4.3.1 Comportement en compression :                                                       | 35        |
| II.4.3.2 Résistance à la traction :                                                          | 37        |
| <b>II.5 Influence des fibres d'acier sur le comportement du béton à haute températures :</b> | <b>38</b> |
| <b>II.5.1 Résistance en compression :</b>                                                    | <b>38</b> |
| II.5.1.1 Comportement avec fibres d'acier                                                    | 38        |
| <b>II.5.2 Résistance en traction :</b>                                                       | <b>39</b> |
| II.5.2.1 Comportement avec fibres d'acier :                                                  | 39        |
| <b>II.6 CONCLUSION</b>                                                                       | <b>40</b> |

## Chapitre III Caractéristiques des matériaux utilisés

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>III.1. Introduction</b>                          | <b>42</b> |
| <b>III.2. Les matériaux utilisés</b>                | <b>42</b> |
| <b>III.2.1. Le ciment</b>                           | <b>42</b> |
| <b>III.2.2. Le sable</b>                            | <b>42</b> |
| III.2.2.1.2. Masse volumique apparente [NF P18-555] | 43        |
| III.2.2.1.2 Analyse granulométrique [NF P 18-304]:  | 45        |
| III.2.2.1.3. Module de finesse (EN 196-6):          | 47        |
| III.2.2.1.4. Porosité                               | 48        |
| III.2.2.1.5. Compacité :                            | 48        |
| III.2.2.1.7. Equivalant de sable NF-18-598:         | 48        |
| III.2.2.1.8. Teneur en eau :                        | 50        |

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>III.2.3. SIKAPLAST BV 40 + :</b>                 | <b>50</b> |
| <b>III.2.4. Eau de gâchage :</b>                    | <b>51</b> |
| <b>III.2.5. Poudre de Brique :</b>                  | <b>52</b> |
| <b>III.2.6. Les fibres :</b>                        | <b>53</b> |
| <b>III.3. Formulation de mortier normal</b>         | <b>54</b> |
| <b>III.4. Composition des différents mortiers :</b> | <b>54</b> |
| <b>III.5. Préparation des éprouvettes :</b>         | <b>56</b> |
| <b>III.6. Cure appliquée [NF P 18-404] :</b>        | <b>57</b> |
| <b>III.7. Conservation des éprouvettes :</b>        | <b>57</b> |
| <b>III.8. Essai de chauffage</b>                    | <b>57</b> |
| <b>III.9. Essais A l'état frais des mortiers :</b>  | <b>58</b> |
| <b>III.10. Essais à l'état Durci :</b>              | <b>59</b> |
| <b>III.10.2. Résistance à la compression</b>        | <b>59</b> |
| <b>III.11. Estimation de la perte de masse</b>      | <b>60</b> |
| <b>III.12. Essais de porosité</b>                   | <b>62</b> |
| <b>III.13. Essais non destructifs :</b>             | <b>63</b> |
| <b>III.14 CONCLUSION</b>                            | <b>64</b> |

## Chapitre IV Résultats et interprétations

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>IV.1 Introduction</b>                                                | <b>66</b> |
| <b>IV.2. Résultats des essais à l'état frais</b>                        | <b>66</b> |
| <b>IV.3. Résultats des essais à l'état durci</b>                        | <b>67</b> |
| <b>IV.3.2. Résistance à la traction par flexion des mortiers</b>        | <b>69</b> |
| <b>IV.3.4. Perte de masse :</b>                                         | <b>71</b> |
| <b>IV.3.6. La vitesse d'ultrason (V)</b>                                | <b>72</b> |
| <b>IV.3.8. Porosité</b>                                                 | <b>73</b> |
| <b>IV.4 Evolution de la surface fissurée des éprouvettes en mortier</b> | <b>75</b> |
| <b>Après un cycle chauffage refroidissement :</b>                       | <b>75</b> |
| <b>IV.5 Conclusion</b>                                                  | <b>77</b> |
| <b>Conclusion générale</b>                                              | <b>78</b> |
| <b>Référence Bibliographique</b>                                        | <b>81</b> |

## Chapitre I

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| <i>Fig. I. 1 Constituants des mortiers</i>         | 6  |
| <i>Fig. I. 2 Les différents types des mortiers</i> | 13 |
| <i>Fig. I. 3 Brique concassée</i>                  | 16 |
| <i>Fig. I. 4 Schéma de fabrication des briques</i> | 20 |
| <i>Fig. I. 5 les fibres métalliques</i>            | 25 |
| <i>Fig. I. 6 Différents types de fibres</i>        | 26 |
| <i>Fig. I. 7 Les fibres à crochets.</i>            | 26 |

## Chapitre II

|                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Fig. II. 1 Aspect normal d'une pâte de ciment n'ayant subi d'échauffement (observation au MEB (×400))</i>                                                                                                                            | 23 |
| <i>Fig. II. 2 Matrice cimentaire vitreuse présentant une macroporosité très importante. Ce phénomène se produit au-delà de 1000°C et provient de la fusion puis du refroidissement de la pâte de ciment (Observation au MEB (×150))</i> | 24 |
| <i>Fig. II. 3 Dégradation d'ouvrage en béton suite à un incendie</i>                                                                                                                                                                    | 25 |
| <i>Fig. II. 4 Section effondrée du faux plafond dans le tunnel du Gothard après l'incendie du 21 octobre, 2001 thèse doctorat 2007 Annaba</i>                                                                                           | 26 |
| <i>Fig. II. 5 Pertes de masse des bétons déterminées durant le chauffage de 20°C à 600°C à</i>                                                                                                                                          | 27 |
| <i>Fig. II. 6 Evolution de la porosité du béton avec la température</i>                                                                                                                                                                 | 28 |
| <i>Fig. II. 7 Courbes de résistance en compression "à chaud" à différentes températures pour un béton de rapport E/C=0.5, d'après Hager</i>                                                                                             | 29 |
| <i>Fig. II. 8 Résistance à la compression à chaud</i>                                                                                                                                                                                   | 29 |
| <i>Fig. II. 9 courbes de résistance à la compression du béton avec température</i>                                                                                                                                                      | 30 |
| <i>Fig. II. 10 Evolution de la perméabilité intrinsèque résiduelle des bétons en fonction de la température</i>                                                                                                                         | 32 |
| <i>Fig. II. 11 Evolution de la perméabilité intrinsèque avec la température dans les mortiers et les bétons ordinaires et hautes performances</i>                                                                                       | 33 |
| <i>Fig. II. 12 Evolution du coefficient de dilatation thermique apparent de la pâte de ciment et des granulats en fonction de la température.</i>                                                                                       | 34 |
| <i>Fig. II. 13 Evolution de la résistance à la compression d'un béton en fonction du type d'essai (à chaud ou à froid).</i>                                                                                                             | 36 |
| <i>Fig. II. 14 Evolution de la résistance résiduelle relative à la compression de béton de fibres métalliques, de polypropylène et de cocktail de fibres métalliques et polypropylène</i>                                               | 37 |
| <i>Fig. II. 15 Différents résultats de la résistance à la traction résiduelle relative</i>                                                                                                                                              | 38 |
| <i>Fig. II. 16 Évolution de la résistance résiduelle et à chaud relative en compression en fonction de la température de bétons renforcés par différentes fractions volumiques en fibres d'acier.</i>                                   | 39 |
| <i>Fig. II. 17 Évolution de la résistance résiduelle relative en traction en fonction de la température de bétons renforcés par différentes fractions volumiques en fibres d'acier..</i>                                                | 40 |

### Chapitre III

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Fig. III. 1 Essai de masse volumique absolue de sable</i>                | 43 |
| <i>Fig. III. 2 Essai de masse volumique absolue de sable</i>                | 45 |
| <i>Fig. III. 3 colonne des tamis</i>                                        | 46 |
| <i>Fig. III. 4 tamiseur électrique</i>                                      | 46 |
| <i>Fig. III. 5 La courbe granulométrique de sable</i>                       | 47 |
| <i>Fig. III. 6 Principe de l'équivalent de sable.</i>                       | 49 |
| <i>Fig. III. 7 Essai de l'équivalent de sable</i>                           | 49 |
| <i>Fig. III. 8 adjuvant SIKAPLAST BV 40 +</i>                               | 51 |
| <i>Fig. III. 9 Déchets des briques utilisés.</i>                            | 52 |
| <i>Fig. III. 10 Les fibres métalliques</i>                                  | 53 |
| <i>Fig. III. 11 Moule utiliser</i>                                          | 56 |
| <i>Fig. III. 12 Balance</i>                                                 | 56 |
| <i>Fig. III. 13 Table vibrant (table de choc).</i>                          | 57 |
| <i>Fig. III. 14 les éprouvettes dans le four</i>                            | 58 |
| <i>Fig. III. 15 Mesure de la fluidité du mortier.</i>                       | 58 |
| <i>Fig. III. 16 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion</i>      | 59 |
| <i>Fig. III. 17 Appareil de flexion.</i>                                    | 59 |
| <i>Fig. III. 18 Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.</i> | 60 |
| <i>Fig. III. 19 Appareil de compression.</i>                                | 60 |
| <i>Fig. III. 20 des éprouvettes</i>                                         | 61 |
| <i>Fig. III. 21 Appareil d'ébullition</i>                                   | 62 |
| <i>Fig. III. 22 Appareil de porosité</i>                                    | 63 |
| <i>Fig. III. 23 Appareil ultrason</i>                                       | 63 |

### Chapitre IV

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Fig. IV. 1 E/C en fonction de type de mortier</i>                                              | 66 |
| <i>Fig. IV. 2 Résistance mécanique à la compression de 7 jours en fonction de la température</i>  | 67 |
| <i>Fig. IV. 3 Résistance mécanique à la compression de 14 jours en fonction de la température</i> | 68 |
| <i>Fig. IV. 4 Résistance mécanique à la compression de 28 jours en fonction de la température</i> | 68 |
| <i>Fig. IV. 5 Résistance à la traction par flexion de 7 jours en fonction de la température</i>   | 69 |
| <i>Fig. IV. 6 Résistance à la traction par flexion de 14 jours en fonction de la température</i>  | 70 |
| <i>Fig. IV. 7 Résistance à la traction par flexion de 28 jours en fonction de la température</i>  | 70 |
| <i>Fig. IV. 8 Perte de masse de 7 jours en fonction de la température</i>                         | 71 |
| <i>Fig. IV. 9 Perte de masse de 14 jours en fonction de la température</i>                        | 71 |
| <i>Fig. IV. 10 Perte de masse de 28 jours en fonction de la température</i>                       | 72 |
| <i>Fig. IV. 11 les ultrasons en fonction de la température à 7 jours</i>                          | 72 |
| <i>Fig. IV. 12 les ultrasons en fonction de la température à 14 jours</i>                         | 73 |
| <i>Fig. IV. 13 les ultrasons en fonction de la température à 28 jours</i>                         | 73 |
| <i>Fig. IV. 14 la porosité en fonction de la température à 7 jours</i>                            | 74 |
| <i>Fig. IV. 15 la porosité en fonction de la température à 14 jours</i>                           | 74 |
| <i>Fig. IV. 16 la porosité en fonction de la température à 28 jours</i>                           | 75 |
| <i>Fig. IV. 17 Échantillons de mortier exposés à haute température (500 °C et 700 °C)</i>         | 76 |

*Fig. IV. 18 L'aspect des éprouvettes prismatique du mortier de fibres métalliques à la sortie du four (300 °C, 500°C et 700 °C)* \_\_\_\_\_ 76

## Chapitre I

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tableaux. I. 1 Dosages des mortiers</i>                          | 14 |
| <i>Tableaux. I. 2 Composition chimique de la brique réfractaire</i> | 19 |

## Chapitre III

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tableaux. III. 1 Résultats de la masse volumique absolue de sable</i>            | 43 |
| <i>Tableaux. III. 2 Masse volumique apparente du sable à l'état lâche</i>           | 44 |
| <i>Tableaux. III. 3 Masse volumique apparente du sable à l'état compact</i>         | 45 |
| <i>Tableaux. III. 4 Résultats d'analyse granulométrique du sable</i>                | 46 |
| <i>Tableaux. III. 5 les normes de sable</i>                                         | 47 |
| <i>Tableaux. III. 6 La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable</i> | 48 |
| <i>Tableaux. III. 7 Résultats obtenus pour l'équivalent de sable.</i>               | 49 |
| <i>Tableaux. III. 8 Teneur en eau de sable utilisé.</i>                             | 50 |
| <i>Tableaux. III. 9 Caractéristiques de SIKAPLAST BV 40 +</i>                       | 51 |
| <i>Tableaux. III. 10 Caractéristiques chimiques de l'eau.</i>                       | 51 |
| <i>Tableaux. III. 11 Composition chimique des déchets de brique broyés.</i>         | 53 |
| <i>Tableaux. III. 12 Caractéristiques des déchets de brique broyés.</i>             | 53 |
| <i>Tableaux. III. 13 Caractéristiques des fibres métalliques</i>                    | 53 |
| <i>Tableaux. III. 14 liste de description de mortier</i>                            | 54 |
| <i>Tableaux. III. 15 Liste de différents mortiers étudiés en pourcentage</i>        | 55 |
| <i>Tableaux. III. 16 Composition du différent mortier</i>                           | 55 |

# **Introduction Générale**

La production journalière mondiale de béton est en moyenne de  $16\,393\,442\text{ m}^3$ . Ce matériau est utilisé dans la construction des immeubles d'habitation, des tunnels, des bâtiments d'activité industrielle et de commerce, des ouvrages d'art, etc. Le béton est adapté pour rester robuste et durable pendant une longue période. Cependant, lors des situations extrêmes, comme l'incendie, le béton peut présenter des endommagements plus ou moins sévères. Les incendies d'ouvrages en béton ont mis en avant l'impact des températures élevées sur l'endommagement du béton. Les différents exemples d'incendie de tunnels, comme les tunnels sous la Manche (1996 et 2008), du Mont Blanc (1999) et du Saint-Gothard (2001) et de bâtiments comme la Tour Windsor (2005), montrent d'importantes dégradations caractérisées par un détachement de morceaux de béton ou par un effondrement de la structure.

Les constructions doivent respecter plusieurs critères de sécurité vis-à-vis de la protection des personnes, de l'ouvrage, ainsi que de l'environnement lors d'un incendie. Compte tenu de la formulation du béton, les phénomènes qui y ont lieu lors des incendies sont complexes. Un calcul précis de la résistance au feu est nécessaire lors de la conception des ouvrages. D'après de nombreux auteurs, l'instabilité thermique des bétons est due à un effet couplé des processus thermo-hydrique et thermomécanique. Toutefois, les mécanismes exacts régissant le comportement du béton soumis à des feux à développement rapide ne sont pas encore bien connus. Cela résulte principalement de leur complexité et du grand nombre de paramètres intervenant. Les textes normatifs tels que l'Eurocode 2, pour des raisons pratiques, définissent précisément les seuils maximum ou minimum des caractéristiques du béton comme la teneur en eau, le pourcentage de fumée de silice, la classe de résistance, etc. Cette approche peut être un frein à l'utilisation de bétons innovants (nouveaux liants, bétons à forte teneur en fibres métalliques, granulats recyclés, BUHP, etc.). La définition d'indicateurs performantiels pour caractériser la résistance d'un béton vis-à-vis de l'écaillage sous sollicitation thermique sévère favoriserait l'innovation en permettant le développement de nouvelles formulations. Une meilleure compréhension des mécanismes qui régissent l'écaillage du béton permettrait de passer d'une approche prescriptive à une approche performantielle vis-à-vis du comportement au feu des bétons. Plusieurs travaux de recherche ont montré que le comportement à hautes températures du béton varie selon sa composition et ses propriétés initiales. Une des solutions vis-à-vis de l'écaillage est l'incorporation de fibres de polypropylène dans le béton. Par ailleurs,

L'incorporation de fibres métalliques est proposée comme une solution efficace pour améliorer les performances mécaniques résiduelles des bétons permettant ainsi de réduire les couts de réparation a posteriori. Toutefois, la réglementation ne l'évoque pas.

L'objectif de ce travail est d'étudier et mieux comprendre le comportement à haute température des mortiers brique fibrés. Cette étude présente l'effet de l'évolution de la température sur le comportement des mortiers brique étudiés qui sont préparés en ajoutant les fibres métalliques (FM). Les échantillons sont soumis aux différents cycles chauffage refroidissement avec les températures suivantes : 20°C, 300°C, 500°C et 700°C.

Ce travail est composé de quatre chapitres.

Le premier chapitre contient des informations générales sur le mortier, ses composants et ses domaines d'utilisation, ainsi que des informations sur les additifs tels que des informations sur les additifs tels que les fibres métalliques et les briques.

Le deuxième chapitre est consacré à une analyse bibliographique des travaux de recherches sur le comportement du mortier à haute température. Il comporte une description sommaire de l'effet de la température sur le mortier et de l'influence des fibres métalliques sur les propriétés physiques et caractéristiques mécaniques du mortier chauffé.

Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation des matériaux, aux compositions des mortiers étudiés, la présentation du programme expérimental et la méthode de fabrication et de conservation des éprouvettes.

Le quatrième chapitre présente les résultats des différents essais sur le comportement mécanique des mortiers sans fibres et mortiers fibrés. Nous avons évalué la perte de masse, la résistance à la compression et la résistance en traction par flexion pour les différents cycles de températures étudiés.

Nous finalisons ce travail par une conclusion générale dans laquelle nous rappelons les principaux résultats obtenus

# Chapitre I

## Comportement rhéologique du mortier

### I.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous on a présenté les composants du mortier, le rôle d'utilisation de mortier et les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, Retraits et gonflements, Résistances mécaniques. [1].

### I.2.Définition :

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. [6] Les mortiers peuvent être :

- ✓ Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- ✓ Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs préposés et avant l'utilisation, 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. [3].

### 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. [6] .

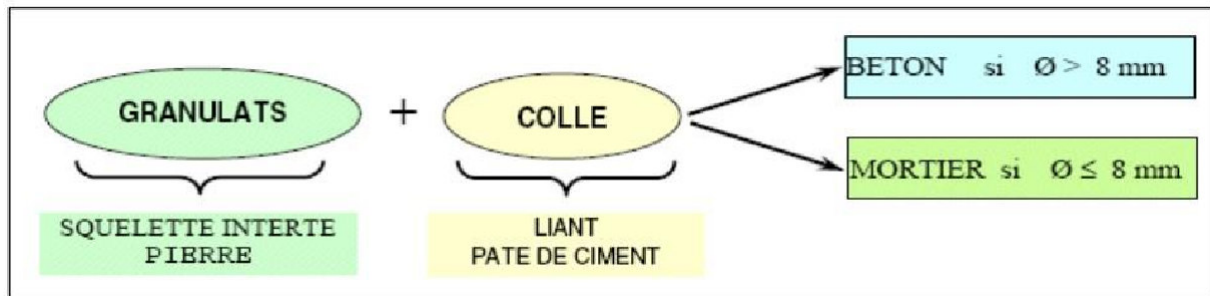


Fig. I. 1 Constituants des mortiers [6]

### 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 [2].

### 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, 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. 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. [7]

### **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).

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. [9]

### **I.3.2.4 Les adjuvants :**

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les super plastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) et les hydrofuges. [12]

**I.3.2.4.1 Intérêt des adjuvants :**

La raison de l'utilisation croissante des adjuvants est qu'elle confère physiquement et économiquement au mortier des avantages considérables. Ces avantages comprennent, entre autres, l'utilisation de mortier dans des conditions qui présentaient auparavant des difficultés considérables. Ils permettent l'utilisation d'une grande gamme de matériau dans le mortier. Même s'ils ne sont pas toujours bon marché, les adjuvants ne représentent pas nécessairement des dépenses supplémentaires, car leur utilisation peut engendrer des économies.

Les adjuvants fournissent au formulation de mortier une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des mortiers, adapter leur formulation au temps froid et au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du mortier durci.

Il y a toutefois lieu d'insister sur le fait que, même utilisés de manière adéquate et bénéfique pour le mortier, ils ne peuvent en aucun cas servir à corriger la mauvaise qualité des autres constituants ni leur dosage incorrect, ni des erreurs de manutention lors du transport, de la mise en place du mortier. [3]

**I.3.2.4.2 Classification des adjuvants :**

Les adjuvants sont utilisés depuis très longtemps, mais leur développement réel et la multiplication de leur utilisation n'ont commencé que depuis 1960. Leur qualité et leur constance s'améliorent sans cesse.

Les adjuvants peuvent être organiques ou inorganiques selon leur composition chimique, mais leur caractère chimique, distinct de celui des autres minéraux utilisés dans la fabrication du mortier, est essentiel. Ainsi, dans la nomenclature Américaine on les appelle adjuvants chimiques, mais ici cette qualification est superflue, car les produits minéraux incorporés dans le mortier, dont la teneur est souvent supérieure à 5% de la masse du ciment, sont appelés liants ou ajouts. Les adjuvants peuvent être classés selon leur fonction, on distingue :

- ❖ Les entraîneurs d'air.
- ❖ Les réducteurs d'eau.
- ❖ Les retardateurs de prise, les accélérateurs de prise.
- ❖ Les super plastifiants.
- ❖ Les adjuvants divers (ceux qui améliorent la viscosité, l'adhérence, etc.).[3]

**I.3.2.4.3 Le super plastifiant :**

Les super plastifiants sont des produits chimiques qui a ajouté au mortier permettent de réduire sa teneur en eau jusqu'à 30%(c'est un super réducteur d'eau), c'est-à-dire trois ou quatre fois plus qu'un réducteur d'eau normal. [3]

**❖ Les avantages principaux de l'utilisation des super plastifiants :**

- La production de mortier de haute ouvrabilité sans réduire la teneur en ciment et la valeur de la résistance.
- La production d'un mortier contenant moins de ciment, mais ayant une résistance et une ouvrabilité normale. Grâce à cette découverte, il est maintenant possible de fabriquer des mortiers fluides qui contiennent seulement la quantité d'eau nécessaire pour hydrater les grains de ciment. On évite ainsi l'eau qui ne participe jamais à l'hydratation du ciment et qui affaiblit la structure durcie du mortier et augmente sa porosité.[6]

**❖ Domaines d'utilisation de super plastifiants :**

Les super plastifiants sont utilisés dans les cas suivants :

- ❖ Bétons à compacité, et donc durabilité.
- ❖ Bétons à haute performance.
- ❖ Bétons autoplaçants. [15]

**I.3.2.3 Les ajouts :**

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont :

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice, etc....).
- Fibres de différentes natures.
- Colorants (naturels ou synthétiques).
- Polymères. [5]

**I.3.3 Le rôle d'utilisation du 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. [6]

### **I.3.4 Classification des mortiers :**

Les mortiers sont classés comme suit :

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

##### **➤ 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 ;
- Mortier d'injection ;
- Mortier pour les mosaïques ;
- Mortier de réparation pour pierres. [8]

##### **➤ La nature du liant**

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

#### **a- Le mortier de ciment :**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. 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 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait.[8]

#### **b- le mortier de montage :**

Le mortier de montage se fabrique en mélangeant du sable, du ciment et de l'eau. Pour monter un mur et assembler des blocs de béton entre eux, c'est le mortier de montage qui est utilisé car il est d'une grande résistance et d'une prise rapide. Le sable à utiliser doit être plutôt fin : partir sur du 0/1 ou du 0/4. [9]

#### **c- Le mortier de ragréage :**

Le mortier de ragréage est un mélange de sable fin, de ciment et d'eau. L'ajout d'adjuvants est recommandé, notamment l'hydrofuge pour les façades extérieures. [9]

**d- le mortier colle :**

Ce type de mortier est utilisé pour la mise en œuvre des briques et des blocs avec des joints de 3 à 6 mm. Il assure une plus grande adhérence entre la brique et le mortier.

Le mortier colle regroupe la famille des mortiers adhésifs destinés à coller un revêtement comme :

- Le carrelage ;
- Le dallage ;
- Certains blocs de maçonnerie ;

Si le mortier colle est parfaitement adapté pour le collage des céramiques, il est tout de même possible de les coller à l'aide de mortier-ciment ou de mortier chaux sous certaines conditions.

Il existe plusieurs classes de performances :

- C1 pour la pose de carrelage intérieur (sols et murs) ;
- C2 pour la pose de carrelage intérieur et extérieur (sols et murs) ;
- C2 S1 ou S2 pour la pose de carrelage intérieur et extérieur (sols et murs) avec en plus, des propriétés d'adhérence élevées et une capacité à être déformé par une contrainte entre le carreau et la surface d'encollage. [9]

**e- Le mortier bâtard :**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide. [8]

**f- Le mortier d'imperméabilisation :**

Les mortiers d'imperméabilisation sont utilisés dans le cadre de travaux situés dans des lieux humides comme la salle de bain, les abords de piscine. Ils ont une plus grande résistance à l'humidité. Ils sont aussi utilisés pour tous les travaux de cuvelage, fondation et bassins. [9]

**g- Le mortier hydrofuge :**

Le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface. Il permet de :

- Boucher des fissures ;
- Enduire un mur ;

- Réaliser des chapes ;

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine. [10]

### **h- Le 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. [11]

### **i- Le 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. [7]

On trouve deux types de chaux :

- **La chaux aérienne :**

Elle a l'avantage de durcir lentement, et uniquement au contact de l'air.

- **La chaux hydraulique :**

Elle durcit au contact de l'eau, puis de l'air. L'usage de chaux dans un mortier permet généralement une application plus facile, grâce à un temps de séchage un peu plus long. Ces mortiers sont cependant plus complexes à doser que le ciment. [9]

### **g- Le 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 jointoiment ;
- ✓ Mortier de ragréage ;
- ✓ Mortier de scellement, mortier pour chapes ;
- ✓ Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ;
- ✓ Mortier de réparation. [11]

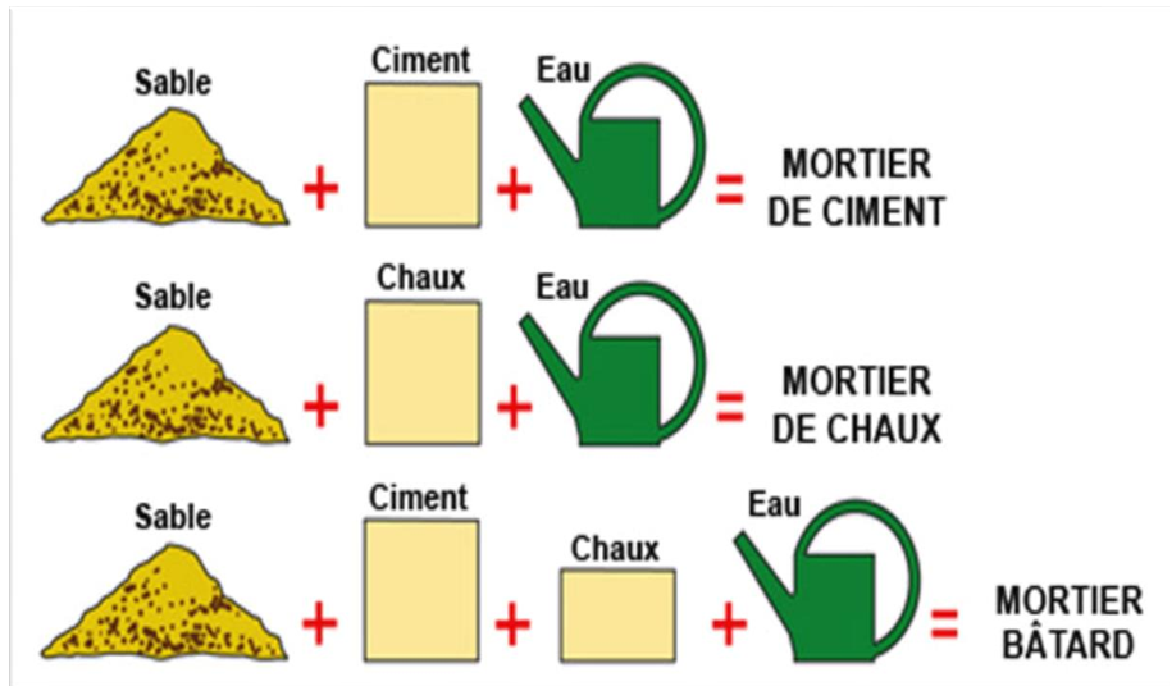


Fig. I. 2 Les différents types des mortiers [23]

## Classe 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. [28]

**I.4 Préparation des mortiers :**

Les quantités nécessaires en fonction des dosages et des travaux à faire comme montrent tableaux ci-dessous :

**Tableaux. I. 1 Dosages des mortiers**

| <b>Sable</b>     | <b>Ciment</b>    | <b>Eau</b>       |
|------------------|------------------|------------------|
| <b>Unité (g)</b> | <b>Unité (g)</b> | <b>Unité (g)</b> |
| <b>1350</b>      | <b>450</b>       | <b>255</b>       |

- ✚ 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. [28].

### I.5 Application du mortier :

- Dans la maçonnerie en fondation ou en élévation, on emploie normalement le mortier moyen de chaud hydraulique, de liant à maçonner ou de ciment à maçonner ou le mortier maigre de ciment de fer.
- Pour les maçonneries peu chargées, on pourra utiliser le mortier maigre de chaud de liant ou de ciment à maçonner ; en revanche, pour les maçonneries frottement chargées, le mortier moyen de ciment portland sera recommandé. Le mortier moyen de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé en fondation, il y a sera même recommandé en présence d'eaux nocives, mais il ne devra pas être employé en élévation.
- Pour le jointoiement on utilisera un mortier gras du même liant qui a servi à hourder la maçonnerie.
- Pour les enduits aériens et crépis, le mortier moyen est recommandé, car il protégera mieux que le mortier maigre et il sera moins susceptible de décollement, fissuration et faïençage que le mortier gras. On utilise principalement le mortier de chaux hydraulique et de mortier portland.
- Pour les enduits mouillés ou enterrés, n'importe quel mortier moyen convient.
- Pour les enduits étanches, le mortier devra être gras on peut utiliser le ciment de laitier ou de haut fourneau, mais on emploie surtout le portland ou le ciment de fer. Pour les chapes ordinaires, on utilisera le même mortier que pour les enduits aériens, mais pour les chapes de dallages, soumise à une usure rapide, et pour les chapes étanches, il faudra un mortier gras de ciment de fer ou portland.
- Pour les enduits et chapes étanches, soumis à la forte sous-pression le mortier très gras de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé en fondation [29].

### I.6 Brique concassée :

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulats légers.

Les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite ». [35]

Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de

l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel. [44]



**Fig. I. 3 Brique concassée [36]**

### **I.6.1 Déchets de brique :**

L'objectif de ce paragraphe est de donner quelques renseignements sur les déchets de brique qu'on appelle «briquillons», «chamotte» ou «brique concassée». Vu leur emploi occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats Béton, malgré la consommation universelle de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes. En Algérie, selon les informations disponibles, la recherche sur ces matériaux est presque négligeable.

On appelle « briquillons » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites). On appelle « chamotte » : Brique cuite broyée ou concassée. [19]

### I.6.2 Définition de brique :

Les briques sont les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. La forme des briques est généralement parallélépipède rectangle. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est l'un des plus anciens matériaux de construction.

Les briques se retrouvent de plus en plus souvent dans les dépliants des fournisseurs et des fabricants tant de cheminées que de barbecues et de fours. Il semble que ce mot soit magique et permette de réaliser toutes sortes de performances calorifiques. Mais de quoi s'agit-il exactement ? La brique est conçue pour résister à la chaleur. Selon son utilisation, elle sera composée de vermiculite, de ciment fondu et de coulis réfractaire dans différentes proportions. En plus de résister à la chaleur, la brique a également la capacité de restituer la chaleur. C'est ce que l'on appelle la convection et c'est un élément majeur du succès de la brique. [30]

### I.6.3 Types de brique :

#### ❖ Selon Leur Utilisation :

✚ **Face brique** : Briques de parement sont ceux utilisés pour décorer l'extérieur d'un bâtiment. Ils sont les briques les plus visibles, de sorte qu'ils sont de meilleure qualité et plus durable. Découper fil brique est un exemple de briques de parement : Ces briques sont faites avec de l'argile, texturé, puis couper par fil. Ce sont donc moins cher à produire en grandes quantités. Ils sont disponibles en différentes couleurs et textures. [24]

✚ **Briques de construction** : Briques de construction sont le type de briques le plus couramment utilisé. Elles sont faites d'argile, et cuits dans des fours pour les rendre dur et fort. Ils sont utilisés dans la construction des murs et autres

Surfaces, et non pour les extérieurs, afin qu'ils ne viennent pas en différentes textures ou couleurs. Ils sont durs et durable. [32]

 **Briques vernissées** : Briques vernissées ont un côté recouvert de revêtement vitré (généralement en céramique). Le regard glacé provient de la fusion de différents minéraux et des ingrédients lorsque les briques sont brûler ou cuits. La surface vitrée rend ces briques mieux adaptées pour les hôpitaux, les laboratoires, les laiteries et autres bâtiments où le maintien de conditions sanitaires est très essentiel [32].

### ❖ Selon leur forme :

 **Briques pleines** : La brique pleine ordinaire au format 6x11x22 cm (hauteur, largeur, longueur). Toujours employé, cet élément constitue d'excellents murs porteurs. Spécialement fabriquée pour l'exécution d'éléments vus (façades), elle présente une gamme de teintes très variée. Elles sont montées à mortier de joints épais, généralement 1,5 cm pour les joints horizontaux (assises) et 1 cm pour les verticaux. [32]

 **Briques perforées et blocs perfores** : La maçonnerie de briques perforées offre une excellente résistance à la compression (les perforations sont disposées verticalement à l'intérieur du mur) et présente une isolation légèrement supérieure à la brique pleine. Certaines de ces briques sont traitées sur une face afin d'offrir une surface esthétique et résistante, et d'autres reçoivent un enduit. Dans le but d'augmenter la résistance à la compression et pour faciliter la mise en œuvre, ils existent les blocs perforés qui permettent de réaliser toute l'épaisseur du mur par un seul élément. [32]

 **Briques creuses** : Les briques creuses, beaucoup plus légères, et de plus grandes dimensions, permettent la réalisation de murs spécialement isolants. Ces produits ouverts aux deux extrémités, comportent des cloisonnements intérieurs longitudinaux continus sur toute la longueur. En revanche, leur résistance à la compression est très faible. Cette maçonnerie reçoit généralement un enduit ou crépissage et trouve son utilisation principalement dans les maisons individuelles ou en remplissage pour les séparations intérieures de bâtiments. [32]

On distingue deux désignations de brique creuse :

C : briques à faces de pose continues, montées à joints de mortier horizontaux

continus.

#### I.6.4 Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques :

Après avoir broyé les briques réfractaire, nous avons déterminé leur composition chimique par spectrophotomètre de fluorescence X. [21]

Tableaux. I. 2 Composition chimique de la brique réfractaire [25]

| Composition chimique %    | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | PAF  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | CaO  | MgO  | SO <sub>3</sub> | Cl |
|---------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|-------------------|------|------|-----------------|----|
| <b>Brique réfractaire</b> | 55.2             | 30.71                          | 3.85                           | 2.92 | 1.59             | 1.42              | 1.39 | 1.35 | 0.3             | 00 |

#### I.6.5 Mode de fabrication de brique :

Les matériaux de terre cuite ont été utilisés depuis plusieurs siècles, ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel industriel. Ils sont fabriqués à partir d'argile devenant souvent rouge à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose à jaune et blanc. [45]

##### ❖ L'extraction

L'extraction peut se faire par des engins mécaniques :( décapeuse, pelles chargeuses ...etc. La matière première extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée, bandes transporteuses.

##### ❖ Façonnage

Le façonnage des produits (pleins, perforés et creux), est réalisé par deux procédures : étirage et pressage.

##### ❖ Séchage

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30% (les chiffres exprimés en pourcentage par rapport au poids sec). Il est nécessaire avant la cuisson d'éliminer la plus grande partie de cette eau, par des séchoirs bien réglés. L'énergie consommée varie de 3.5 x

106 à  $4.10 \times 106$  J/Kg d'eau évacuée, le séchage d'une tonne de produit nécessite une consommation d'énergie électrique de 6 à 13 Kwh.

### ❖ Cuisson

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir ensuite une brique de terre cuite. C'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler très progressivement, c'est à dire. Que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement croissant jusqu'à la température de cuisson (comprise entre  $850^{\circ}$  et  $1200^{\circ}\text{C}$  selon l'espèce d'argile utilisée), ensuite elle doit refroidir aussi graduellement.

Il existe une très grande variété de fours, qui peuvent être classé en deux catégories principales :

Les fours à fonctionnement discontinu et les fours à fonctionnement continu. Dans le premier cas, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu, son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée. Dans un four du type continu, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

Concernent la réaction des matières premières à la cuisson, la chaleur provoque des modifications de masse volumique, de porosité, de dureté, dimensions. Elle provoque également des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés comme suit :

- ✚ Jusqu'à  $200^{\circ}\text{C}$  environ, évacuation de l'eau résiduelle courant le séchage.
- ✚ De  $200$  à  $450^{\circ}\text{C}$ , décomposition de matière organique.
- ✚ De  $450$  à  $650^{\circ}\text{C}$ , décomposition des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution.
- ✚ De  $650$  à  $750^{\circ}\text{C}$ , décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires). [30] [36] [43] [41]

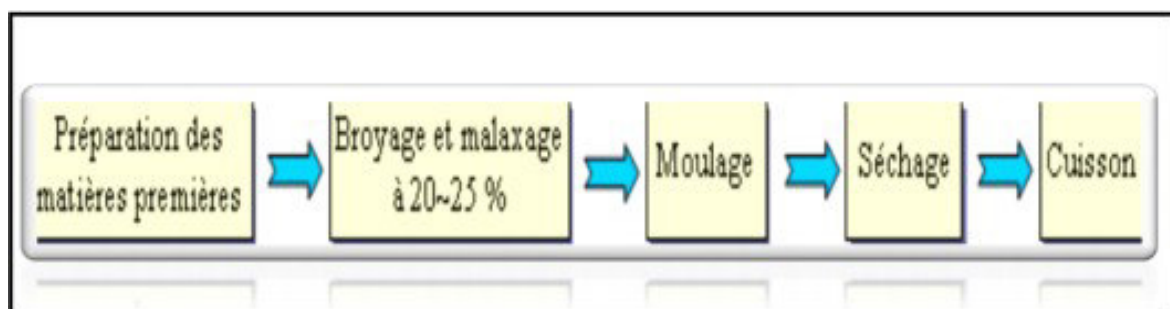


Fig. I. 4 Schéma de fabrication des briques [31]

### I.6.6 Valorisation des déchets de la brique :

#### ❖ **Recyclage :**

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent, c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés. Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. Ainsi, dans le cas du Québec, l'importante hausse du taux de recyclage, passant de 18 % à 42 % entre 1988 et 2002, est allée de pair avec une augmentation de la quantité de déchets à éliminer par habitant, passant de 640 kg/an/personne à 870 kg du fait d'une augmentation de 50 % de la production par habitant durant cette même période. En France, le volume de déchets a doublé entre 1980 et 2005, pour atteindre 360 kg/an/personne. Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large. [33]

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- 1) **Réduire** : Qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets ;
- 2) **Réutiliser** : Qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage ;
- 3) **Recycler** : Qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage. [34]

### I.6.7 Propriétés des bétons des déchets de brique :

Les briques concassées sont utilisées largement pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante. Les résultats des essais du béton de granulats de brique sont favorablement comparables avec ceux du béton normal, obtenus par

l'ACI. Bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes

Propriétés du béton de granulats de brique. [35] Parmi les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de déchet brique, résultantes des essais et des recherches sont :

- ❖ L'absorption de brique concassée est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. C'était nécessaire, par conséquent, à saturer les granulats de la brique concassée avant tout mélange pour empêcher le raidissement du béton.
- ❖ Dans la pratique et suite aux implications économiques, cette condition peut être accomplie en vaporisant simplement le stock du granulat avec l'eau au lieu de l'immersion totale du granulat pendant 30 min.
- ❖ La procédure de la reproduction du mélange pour bétons de granulat normal, peut être utilisée avec succès pour la production du béton de déchet de brique.
- ❖ L'utilisation du granulat grossier de déchet de brique peut produire un béton de structure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 % pour une diminution de quelques 20 % de la résistance, par rapport à un béton normal. [37]
- ❖ La masse volumique apparente du béton de déchet brique varie de 2000 à 2080 kg/m<sup>3</sup>. Elle est approximativement de 17 % inférieure à celle du béton normal.
- ❖ La résistance à la compression nominale du béton de granulats de brique concassée est comprise entre 13.8 et 34.5 Mpa.
- ❖ Pour le même niveau du béton (même résistance à la compression), la résistance à la traction est de 11% supérieure à ceux du béton normal. [35]
- ❖ Le béton contenant des granulats de déchet brique est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. [38]

### I.6.8 Utilisations des bétons des déchets de brique :

Les débris de briques, surtout, ceux qu'on trouve en quantités énormes dans les tas de décombres de nos villes, ainsi que les incuits et surcuits de briqueterie, peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger :

- ❖ De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m<sup>3</sup>, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg/cm<sup>2</sup>, présentant une élasticité remarquable

à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas.

- ❖ Isolant poreux pour les parois, les parpaings et les carrelages, avec des poids spécifiques de 1000 à 1600 kg/m<sup>3</sup>, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg/cm<sup>2</sup>, une résistance à la traction de 5 à 10 kg/cm<sup>2</sup>, des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm/m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur ( $\lambda$  environ 0,25 kcal/m<sup>0</sup>c pour 1050 kg/m<sup>3</sup>).
- ❖ Mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de débris de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée. [36]
- ❖ Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage. [39]
- ❖ Le béton de débris de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité. [36]
- ❖ Les débris de brique sont utilisés aussi comme granulats dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager. [40]
- ❖ Le béton à base de briques concassées présente, particulièrement, une bonne résistance au feu. [38]

### I.7 Les fibres métalliques :

Les fibres métalliques caractérisées par un module d'élasticité élevé, offrent au béton, une meilleure résistance à la traction, au choc et améliorent sa ductilité en augmentant son pouvoir de résister aux déformations dues à la rupture, de même donne une ténacité appréciable, leur forme et leurs dimensions améliorent leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres tréfilées, ondulées, déformées aux extrémités) [16].



**Fig. I. 5 les fibres métalliques**

❖ **Différents types des fibres métalliques :**

Il existe de nombreuses variétés de fibres métalliques qui se différencient par leur diamètre, leur section (circulaire, carrée), leur limite élastique, leur longueur et leur mode d'élaboration. Elles peuvent être rectilignes, ondulées, tronqués ou présenter des élargissements aux extrémités figure (I.5.).

Les fibres munies de crochets à chaque extrémité sont celles qui présentent le plus d'avantages à cause de leur bonne adhérence mécanique. Elles sont fabriquées en acier étiré à froid, ayant une résistance à la traction minimale de 1100 MPa. Elles se présentent sous forme de petites plaquettes de fibres (30 à 40 fibres), accolées avec un produit soluble dans l'eau, ce qui facilite leur incorporation dans le béton et le malaxage. Au contact de l'eau de gâchage, les fibres se libèrent aléatoirement dans la masse du béton en reprenant leur élanement unitaire. On obtient ainsi une meilleure homogénéité du matériau. Ces fibres travaillent par déformation des crochets qui se redressent lors du glissement de la fibre dans la matrice, figure (I.6). [17].

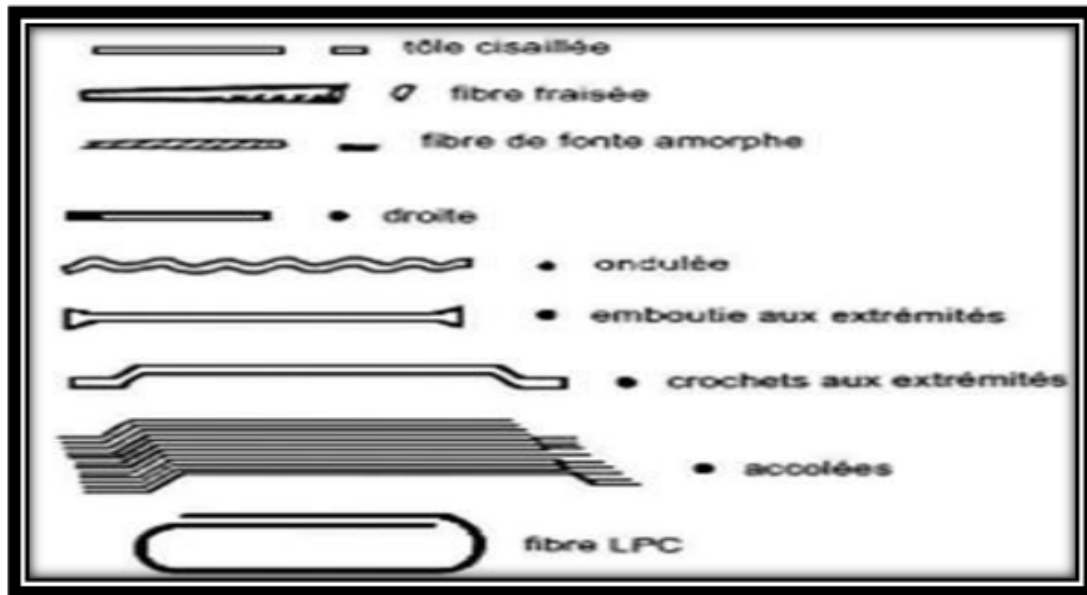


Fig. I. 6 Différents types de fibres

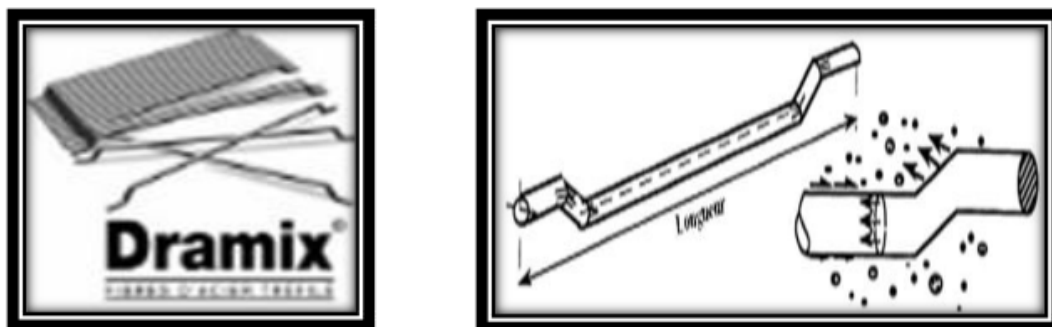


Fig. I. 7 Les fibres à crochets.

La rupture du béton fibré étant toujours par arrachement des fibres, l'utilisation des fibres de haute adhérence améliore la résistance à l'arrachement et par conséquent améliore les propriétés mécaniques du matériau composé. Les proportions d'un mélange normal en béton à base de fibres varient généralement entre 1 à 3% par volume bétonné ; les fibres ont des longueurs qui varient entre 20 et 60mm au maximum. L'élanement, défini comme étant le rapport longueur/diamètre ( $l/d$ ), est un paramètre important dans le sens où il traduit les deux caractéristiques d'une fibre qui sont la longueur et le diamètre. Pour une efficacité optimale, ce paramètre doit varier entre 50 et 75. Les dosages élevés en fibres longues donneraient des performances mécaniques meilleures si les fibres pouvaient être distribuées uniformément.

Les problèmes de la maniabilité et de la distribution uniforme deviennent plus aigus

avec l'augmentation du % et de la longueur des fibres. L'amélioration de la résistance à la flexion avec l'utilisation des fibres d'acier varie de moins de deux fois pendant que les résistances à la fissuration excessive et à la ductilité peuvent être améliorées jusqu'à vingt fois. Les fibres d'acier trouvent leur application dans les bétons de dallage industriels et les bétons autobloquants, dans les pistes d'aérodrome, dans les dalles de compression pour planchers, dans les bétons projetés des tunnels et des talus, dans les bétons préfabriqués pour les panneaux de façades ...Etc.

### ❖ Critère de choix du type des fibres :

La nature, la forme, et les propriétés chimiques, physiques, et mécaniques des fibres choisies dépendent de :

- La qualité a conférée à la matrice cimentaire,
- La compatibilité avec les composantes de la matrice « ciment-granulats »,
- Une bonne adhérence avec la matrice cimentaire,
- Conservation de leurs propriétés dans le temps.

Les fibres en amiante utilisées avec le ciment ont prouvées la bonne tenue, et la durabilité du composite dans le temps ; Par contre les fibres de verre leur performance mécanique chute par la réaction de ciment sur le verre (effet des alcalins) Malgré que ce problème est solutionné en partie par une mise au point d'un verre à haute teneur en zirconium l'utilisation des fibres de verre est toujours limitée. Les fibres de nylon et polypropylène sont instables devant l'action des rayons ultraviolets ils doivent être protégés.

La technologie du béton armé a montré que l'acier a une très bonne compatibilité avec le béton :

- Protection par le ciment,
- Bonne adhérence,
- Coefficient de dilatation est presque le même,
- Grande résistance.

Par leurs propriétés et qualités les fibres métalliques sont les plus adaptables et les plus utilisées avec la matrice de béton.

### ❖ Rôle des fibres :

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques du béton comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité. Ils ne constatent que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures ;
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes. [18]

### ❖ Avantage des fibres

- ✓ Les fibres peuvent remplacer le treillis soudé, afin de maîtriser la fissuration de retrait, parce que les treillis soudés sont souvent utilisés pour éviter le phénomène de retrait du béton,
  - ✓ Les fibres retardent la microfissuration et améliorent le comportement post-fissuration en maintenant les différents blocs de béton. Elles empêchent le retrait au jeune âge et s'opposent au faïençage (le faïençage correspond à l'apparition de nombreuses fissures très fines qui forment un réseau hexagonal ou octogonal). Le retrait du béton peut être diminué de 35 % ou moins si l'on ajoute 1,5 % de fibres par volume.
  - ✓ Les fibres améliorent la ductilité du béton durci et à un degré moindre la résistance à la traction.
  - ✓ Les fibres augmentent la résistance au choc du béton.
  - ✓ Les fibres réduisent le fluage, c'est-à-dire la déformation du béton avec le temps sous une contrainte constante. Par exemple, le fluage en traction d'un béton renforcé de fibres d'acier peut représenter seulement 50 à 60 % de celui d'un béton ordinaire et le fluage en compression, 10 à 20 %. [17]
- ✓ oins agréable à poser que la brique creuse. [27]

### I.8. Conclusion :

Les mortiers sont composés de : liant, sable, chaux, eau et adjuvant, se différencient par leur composition et leur consistances d'où la différence du domaine d'utilisation.

# **Chapitre II**

## **Mortier soumis à haute température**

## Introduction

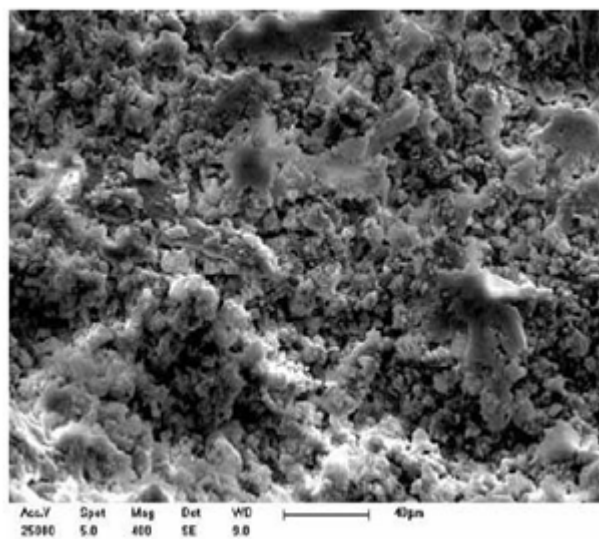
Il est bien connu que la sécurité et la serviabilité des structures en béton ne peut être réalisée sans la connaissance complète des propriétés fondamentales du matériau et les conditions de service aux quelles les structures seront soumises.

L'incendie est l'une des conditions sévères à laquelle le béton peut être soumis.

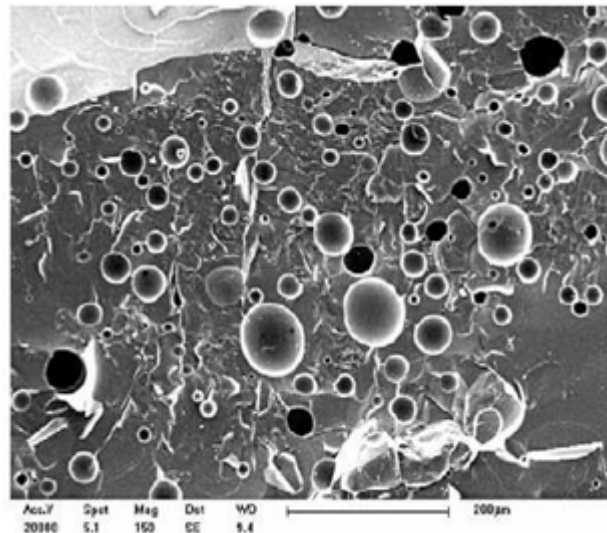
L'exposition du béton à une température élevée provoque des modifications physico-chimiques qui se bissent la matrice cimentaire et les granulats), telles que la déshydratation par séchage du béton et la décarbonatation. Ces phénomènes peuvent produire des retraits et des pertes de résistance et de raideur des matériaux.

### II.1 Microstructure des matériaux à matrice cimentaire soumis à une haute température

L'élévation de température entraîne des phénomènes très complexes dans le béton, dont la prévision s'avère plutôt difficile, notamment à cause de son hétérogénéité et des changements de phases. Ces changements de phases sont dus, en particulier, au départ de l'eau chimiquement liée, se traduisant par une augmentation considérable de la porosité du béton (Figure II.1 et Figure II.2) qui entraîne alors de forts changements de la microstructure du béton et donc un changement des propriétés mécaniques, thermiques, hydriques du celui-ci.



**Fig. II. 1 Aspect normal d'une pâte de ciment n'ayant subi d'échauffement (observation au MEB ( $\times 400$ ) [30].**



**Fig. II. 2 Matrice ciment airevitreuse présentant une macroporosité très importante.Ce phénomène se produit au –delà de 1000°Cetprovientdela fusionpuisdu refroidissementdelapâteduciment (Observationau MEB (×150) [31].**

Les principales réactions physico-chimiques dans le béton au cours de son échauffement sont regroupées dans le Tableau 1.1 [32].

Après refroidissement du béton, certaines phases minérales de la pâte de ciment, telles que la chaux vive ( $\text{CaO}$ ) ou l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) peuvent se réhydrater lors d'un apport d'eau et produire éventuellement un gonflement.

## II.2 Endommagement thermique

Les mécanismes de dégradation du béton à haute température ne sont pas encore bien compris [33]. Les effets de la température élevée sur les propriétés du béton ont été rapportés dès les années 1940. L'actualité fournit aussi des exemples dramatiques incendie de bâtiments.

Ces différents exemples montrent d'importantes dégradations caractérisées par un détachement de matière, une perte de résistance mécanique voire la mise hors service de l'ouvrage. La figure 1 illustre quelques dégradations d'ouvrage s'en béton à la suite d'un incendie.



**Fig. II. 3 Dégradation d'ouvrage s'en béton suite à un incendie [34].**

Selon adurée de l'incendie, les dégâts apparents sur un élément en béton peuvent se présenter sous forme d'un écaillage superficiel, d'une décohésion généralisée du béton (la ruine totale de l'ouvrage) (Figure 2), ou bien d'une chute de caractéristiques mécaniques des armatures de surface (perte d'adhérence, éclatement de l'enrobage).



**Fig. II. 4** Section effondrée du faux plafond dans le tunnel du Gothard après l'incendie du 21 octobre, 2001 thèse doctorat 2007 Annaba

## **II.3 Effet de la température sur les paramètres influençant la carbonatation du béton**

### **II.3.1 Influence sur la microstructure :**

L'augmentation de la température au sein du béton va induire une décomposition chimique du gel CSH et une perte de l'eau libre, adsorbée et chimiquement liée. Ces processus vont engendrer des modifications importantes au niveau de la microstructure de la pâte de ciment (liaisons chimiques, forces de cohésion, porosité et distribution de la taille des pores). L'étude des résultats d'analyses thermiques différentielles (ATD) et d'analyses thermo gravimétriques (ATG) permet de détecter l'apparition de transformations chimiques se produisant au sein du béton porté à des températures élevées, et de suivre leurs progressions. Plusieurs auteurs ont présenté les résultats de ce type d'analyses réalisées sous diverses conditions).

Lors d'une augmentation de la température, les essais ATD permettent de mettre en évidence les réactions suivantes :

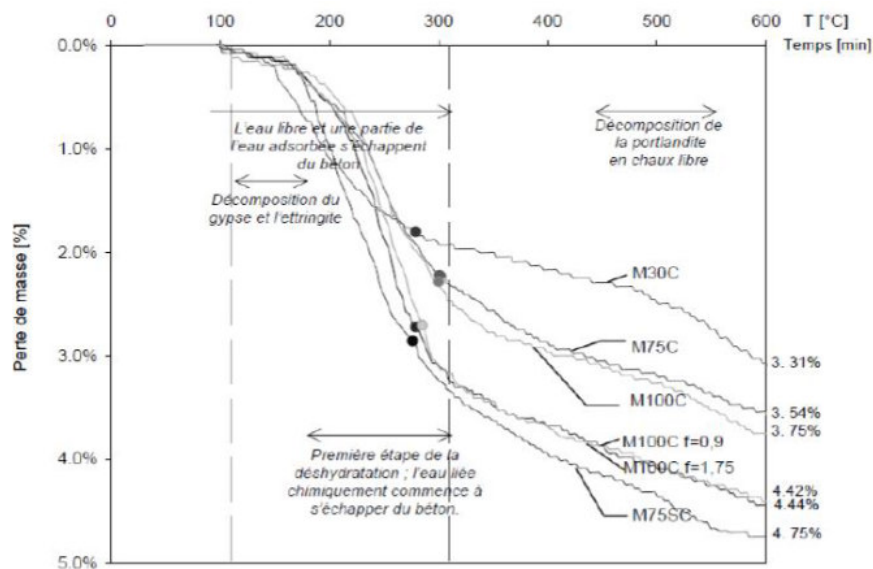
- Entre 30°C-105°C: l'eau libre et une partie de l'eau adsorbée s'échappent du béton. L'eau non liée serait complètement éliminée à 120°C. Par convention, on définit l'eau libre comme la quantité d'eau quittant le matériau à 105°C.
- Entre 450-550°C: la portlandite se décompose en eau et en chaux libre selon la réaction suivante:  
$$\text{Ca (OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$$
 équation III-1
- Autour de 570°C se produit la transformation du quartz  $\alpha$  en quartz  $\beta$  dans les agrégats quartziques et basaltiques. Cette réaction s'accompagne d'un gonflement.

- Entre 600°C-700°C: se produit la deuxième étape de la désydratation des CSH qui produit une nouvelle forme de silicates bicalciques. De plus, autres études montrent que les CSH commencent à fissurer à 600°C-700°C avec la formation de  $\beta$ -C2S. On a alors une nouvelle phase d'évacuation de l'eau chimiquement liée.
- Entre 700°C-900°C: Le carbonates de calcium composant principal des granulats calcaires se décompose suivant la réaction :  

$$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \text{ équation III-2}$$
- A partir de 1300°C s'amorce la fusion des agrégats et de la pâte de ciment. [35]

### II.3.1.1 Perte de masse et l'eau :

Lors du chauffage, le béton perd de la masse essentiellement à cause du départ de l'eau libre et liée contenue dans les pores et les hydrates et à la décarbonatation. La Figure II.5 présente l'évolution de la perte de masse de différentes compositions de béton avec et sans fibres de polypropylène au cours du chauffage. Il est important de noter que les limites de température varient suivant les auteurs. [36]

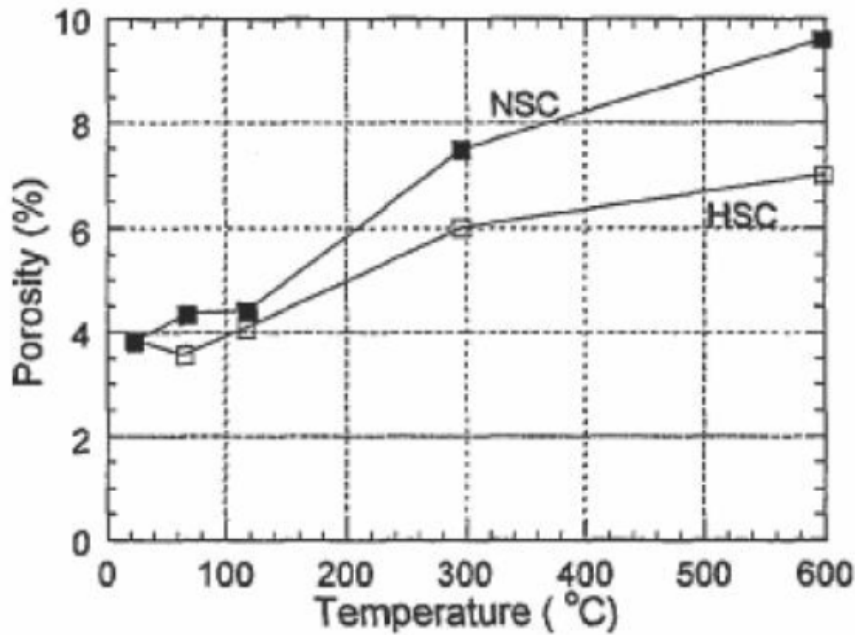


**Fig. II. 5 Pertes de masse des bétons déterminées durant le chauffage de 20°C à 600°C à**

### II.3.2 Influence sur la porosité :

La porosité d'une pâte de ciment est fortement modifiée avec la température. Elle passe de 22% pour un échantillon non chauffé à 40% pour un échantillon chauffé à 600°C. La synthèse des résultats obtenus par différentes auteurs, indique que la porosité totale du béton augmente avec la température. La Figure II.6 montre la variation de la porosité totale en fonction de la température mesurée par Noumowé (71) sur un béton ordinaire ( $R_c = 38,10$  MPa) et un béton de haute performance ( $R_c = 61,10$  MPa).

Nous pouvons observer que la porosité totale augmente très peu entre la température ambiante et des températures de l'ordre de 120°C. Ceci confirme le fait qu'à ces températures l'eau libre s'est échappée mais la microstructure du béton n'est pas modifiée. A partir de 120°C, l'augmentation de la porosité est plus nette du fait de l'apparition de microfissures. Ces microfissures peuvent avoir pour origine la déshydratation de la pâte de ciment et l'incompatibilité de déformation des granulats et la pâte de ciment. [35]



**Fig. II. 6 Evolution de la porosité du béton avec la température**

Pour décrire l'évolution de la porosité  $p$  avec la température  $T$ , Dal Pont [37] utilise une relation :

$$p = p_0 + An(T - T_0) \text{ équation II .6}$$

Où :

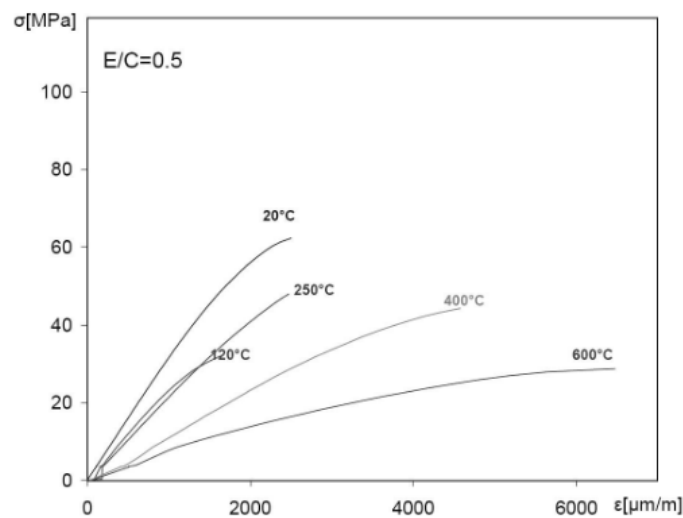
$p_0$ : porosité initiale déterminée à la température  $T_0$ .

$An$  : coefficient dépendant du type de béton. [38]

### II.3.3 Influence sur la résistance en compression :

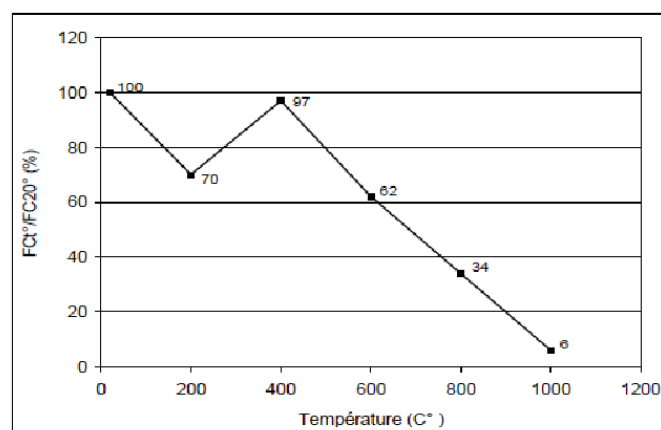
L'essai de résistance à la compression résiduelle, est l'un des essais les plus couramment utilisés pour décrire l'évolution des propriétés mécaniques du béton avec la température. Il a l'avantage de se pratiquer sur un matériel simple (une presse hydraulique) et ne nécessite pas un personnel qualifié, à la différence de l'essai de compression à chaud. Ce dernier se pratique à la fin du palier de stabilisation de

température au cours du cycle thermique. Il est considéré comme étant plus représentatif du comportement du matériau à haute température.



**Fig. II. 7** Courbes de résistance en compression "à chaud" à différentes températures pour un béton de rapport  $E/C=0.5$ , d'après Hager [39]

D'après une étude faite par Kamech [40] sur un béton exposé à des hautes températures variant de 200°C à 1000°C



**Fig. II. 8** Résistance à la compression à chaud

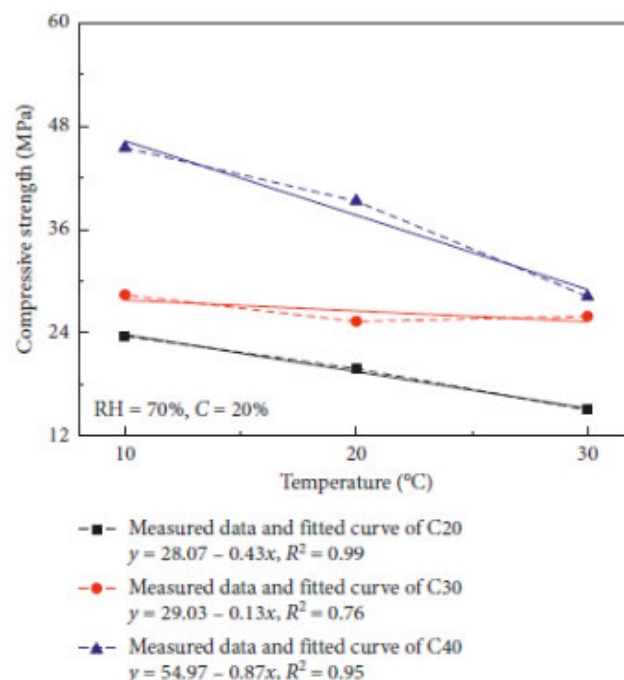
D'après la Figure II.8 [40] ont constaté que c'est l'eau non évaporable (notamment chimiquement liée dans les hydrates), qui participe à l'établissement des pressions internes qui jouent un rôle de précontrainte et par ceci à une augmentation de la résistance à la compression aux alentours de

400°C. Au-delà de 400°C, le rapport de la résistance à chaud diminue quasi linéairement jusqu'à une résistance nulle lorsque la température de chauffage dépasse 1000°C.

Les éprouvettes chauffées à 600°C ont perdu 40% de leurs résistances initiales. Ainsi, que le béton chauffé à 800°C a perdu environ 75% de sa résistance. La figure aussi montre qu'il y a une grande dégradation de la résistance en fonction de la température et des pics environ de 400°C indiquant que le béton chauffé a attrapé de la résistance après avoir perdu un pourcentage de cette dernière. Ceci est dû à l'augmentation de la pression interne dans le béton qui peut jouer un rôle de précontrainte.

Ce pic est attribué à la présence de pressions de vapeur d'eau libérée par les différents hydrates qui jouent le rôle de force de précontrainte. Le pic est moins accentué pour le béton ayant subi un choc thermique à l'air ceci est dû à l'évacuation des pressions de vapeur d'eau du béton devenu plus poreux et donc la diminution de la force de précontrainte. [41].

D'après une étude faite par Ying Chen [42] sur 3 échantillons de béton ordinaire sous différents températures et 20% de concentration de dioxyde de carbone et 70% humidité relative



**Fig. II. 9 courbes de résistance à la compression du béton avec température**

La Figure II.9 indique qu'il y avait une relation significative entre la température de carbonatation et la résistance à la compression du béton après carbonatation, qui pourrait être décrite par une fonction linéaire.

La résistance à la compression du béton après carbonatation diminue avec l'augmentation de la température, ce qui peut être le résultat de la réaction de carbonatation du  $\text{CO}_2$  avec des produits d'hydratation, tels que l'hydroxyde de calcium (CH), l'hydrate de silicate de calcium (CSH), l'étrangerité (Aft) et l'hydrate d'aluminate de calcium (CAH) dans les bétons. Avec la carbonatation, les produits d'hydratation du béton se décomposent progressivement et de nouvelles substances sans propriété cimentaire sont générées.

Le changement de composition du béton a induit la détérioration de la microstructure, qui se manifeste par la dégradation des propriétés mécaniques en macro perspective.

En bref, la carbonatation du béton était le changement des produits d'hydratation et la destruction de l'équilibre de l'état chimique du système cimentaire.

De plus, le taux de réduction de la résistance à la compression du béton après carbonatation a également été affecté par le degré de résistance du béton et peut être causé par la compacité de la microstructure, ce qui pourrait affecter le coefficient de transmission du  $\text{CO}_2$  dans le béton.

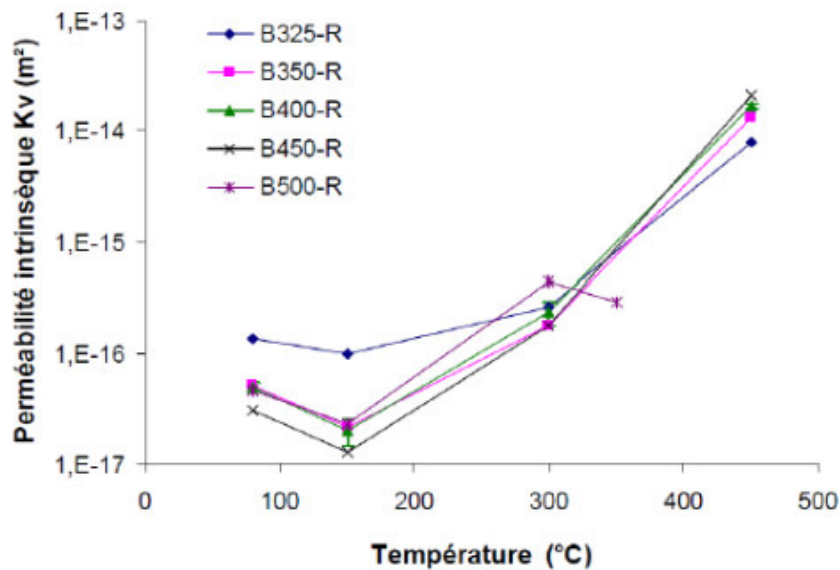
La macro performance du béton carbonisé peut également être représentée par la profondeur de carbonatation. Par conséquent, l'influence sur la profondeur de carbonatation du béton a été mesurée.

#### **II.3.4 Influence sur la perméabilité :**

La Figure II-6 présente la variation de la perméabilité intrinsèque résiduelle du béton en fonction de la température obtenue par Kanema [43].

Ils constatent que la perméabilité des bétons diminue à  $150^\circ\text{C}$  pour augmenter de manière exponentielle pour des températures supérieures. Ils attribuent la baisse de la perméabilité intrinsèque résiduelle à  $150^\circ\text{C}$  à la présence d'eau sous forme liquide dans les pores.

L'augmentation de la perméabilité constatée entre 150 et  $300^\circ\text{C}$  est attribuée à un élargissement des pores capillaires tandis que celle observée entre 300 et  $450^\circ\text{C}$  est due à une détérioration de la matrice cimentaire.



**Fig. II. 10 Evolution de la perméabilité intrinsèque résiduelle des bétons en fonction de la température**

#### II.3.4.1 Perméabilité à l'eau :

Concernant l'évolution de la perméabilité à l'eau sous température élevée, les essais conduits par Joos et Reinhardt ont montré une augmentation de la conductivité hydraulique de 13 à 62 % sous la température de 50 °C par rapport à la conductivité hydraulique mesurée à 20 °C et de 3 à 55 % sous la température de 80 °C par rapport à la conductivité hydraulique mesurée à 50 °C [44].

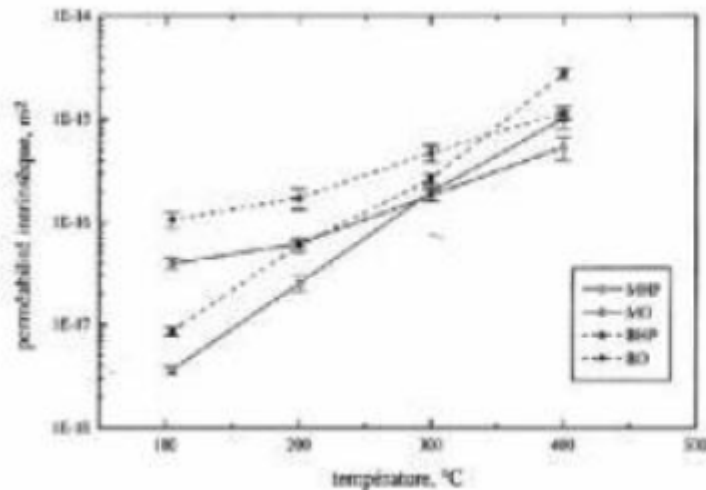
Ces auteurs expliquent ces effets par la diminution de la viscosité de l'eau avec la température, ce qui provoque une augmentation de la conductivité hydraulique.

L'eau utilisée pour mesurer la perméabilité peut provoquer le colmatage des pores par des particules fines et éventuellement la cicatrisation du béton. De plus, ce phénomène est favorisé par la température élevée. Par conséquent, un biais risque d'être introduit lorsque la perméabilité est mesurée à l'eau.

#### II.3.4.2 Perméabilité au gaz :

Tsibrovskia a réalisé des mesures de la perméabilité au gaz (azote) sur des mortiers et des bétons soumis préalablement à un traitement thermique jusqu'à l'obtention de la masse constante à des températures comprises entre 105 °C (état de référence) et 400 °C [45].

La même vitesse de montée en température, 0,2 °C/min, a été appliquée à toutes les éprouvettes en mortier (cylindres de diamètre 54 mm et de hauteur 30 mm) et en béton (cylindres de diamètre 150 mm et de hauteur 50 mm).



**Fig. II. 11 Evolution de la perméabilité intrinsèque avec la température dans les mortiers et les bétons ordinaires et hautes performances**

Les résultats obtenus Figure II .11 ont mis en évidence que la perméabilité au gaz, mesurée après refroidissement, qu'elle soit intrinsèque ou apparente, augmente avec la température.

En particulier, la perméabilité d'un mortier ou d'un béton à hautes performances subit une augmentation de deux ordres de grandeur, tandis que la perméabilité d'un mortier ou d'un béton ordinaire subit une augmentation d'un ordre de grandeur à 400 °C par rapport à 105 °C.

L'auteur attribue ces augmentations de la perméabilité à l'évolution de la microstructure des mortiers et des bétons avec la température, en particulier à l'augmentation du volume et de la taille des pores capillaires connectés dont une famille est propre à la pâte de ciment et l'autre aux mortiers et bétons (pores aux interfaces pâte-granulat). [46]

## II.4 DEFORMATIONS THERMIQUES DU BETON :

### II.4.1 Déformation thermo hydrique libre du béton :

La déformation thermique libre du béton dépend de sa composition, de la nature des granulats et de différentes transformations physico-chimiques, qui ont lieu durant le chauffage. Lors du chauffage, la pâte de ciment subit deux phases : la phase d'expansion et ensuite la phase de retrait. La comparaison des déformations thermiques de bétons formulés avec différents granulats, menée par Pista (Piasta 1989), montre que le coefficient de dilatation thermique du béton dépend de celui des granulats. La déformation du béton est caractérisée par une expansion volumique non linéaire dépendante de la température. Après 150°C, la pâte de ciment se rétracte.

L'évolution opposée des granulats et de la pâte de ciment provoque à l'interface pâte-granulats des incompatibilités de déformations qui génèrent des contraintes de traction au sein de la pâte de ciment et des contraintes de compression au niveau des granulats.

La Figure 12 présente l'évolution de dilatation thermique apparente de la pâte de ciment et des granulats en fonction de la température.

Les travaux de Kodur (Kodur 2014) sur le béton ordinaire montrent une augmentation de la déformation thermique de 1,3% à 700°C. L'auteur explique cette augmentation par l'expansion thermique des granulats et le retrait de la pâte de ciment au sein du béton. Il est intéressant de noter que la déformation thermique libre du béton reste constante de 700°C à 1000°C.

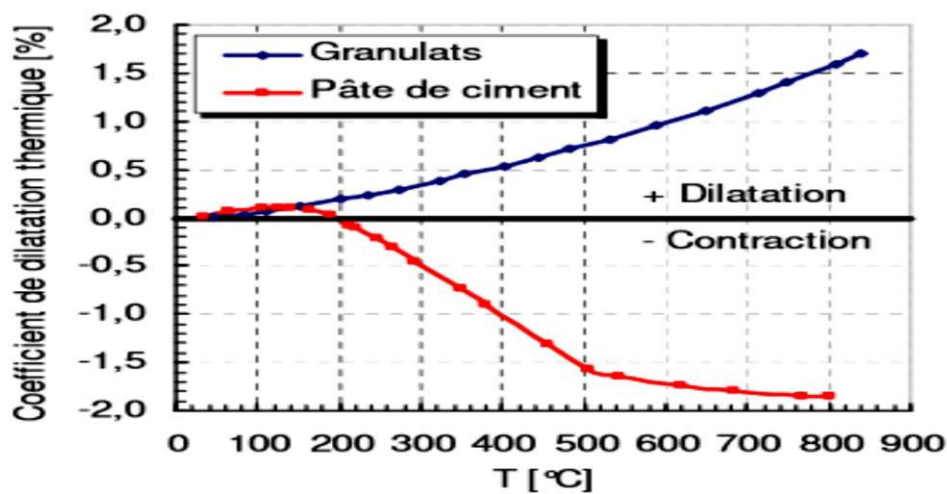


Fig. II. 12 Evolution du coefficient de dilatation thermique apparent de la pâte de ciment et des granulats en fonction de la température.

**II.4.2 Evolution des propriétés physiques :**

Les phénomènes entraînés par la variation de température ont des conséquences sur les propriétés de transfert du béton. La perméabilité et la porosité évoluent sous l'effet de la température. Multiples travaux ont démontré l'augmentation de ces deux paramètres après l'exposition du béton à hautes températures (Noumowé 1995), (Kalifa, Chéné, and Gallé2001), (Menou 2004), (Hager 2004), (Zeiml et al. 2006), (Choinska 2006), (Mindeguia 2009). Les interactions entre les propriétés physiques et mécaniques sont évidentes, par exemple, la croissance de la porosité et de la perméabilité induit, dans la majorité des cas, une diminution de résistance mécanique du matériau.

**II.4.3 Evolution des Propriétés Mécanique :****II.4.3.1 Comportement en compression :**

Pour caractériser un béton, il est nécessaire de connaître sa résistance à la compression.

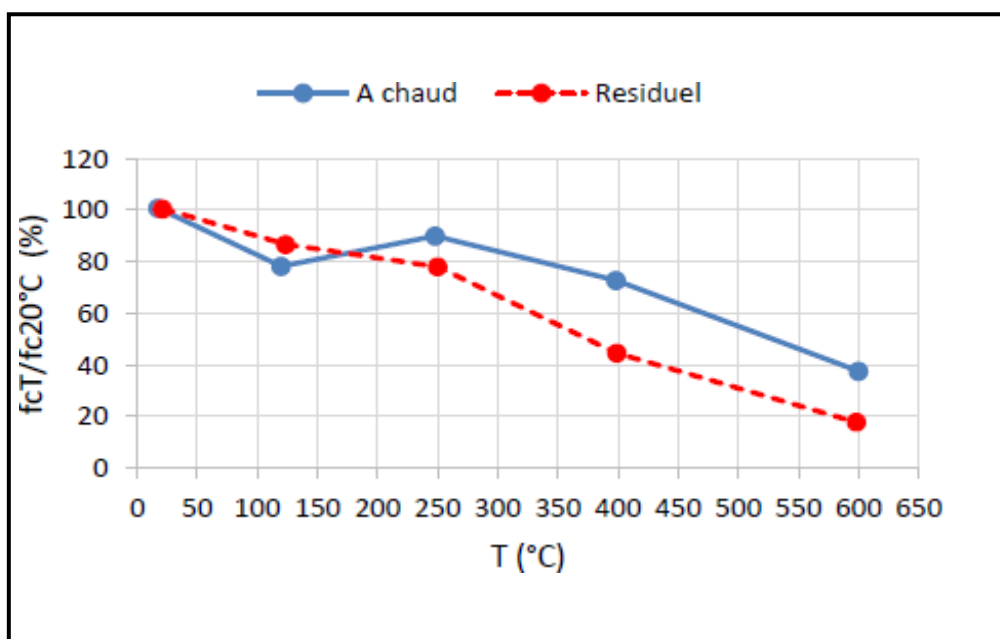
Généralement, une baisse de la résistance à la compression est observée au cours du chauffage.

De nombreux essais montrent une diminution de la résistance à la compression du béton entre 20 et 80°C.

Plusieurs études regroupent en deux zones le comportement résiduel du béton à la compression :

- De la température ambiante à 250°C (400°C) : une légère baisse, un maintien ou une augmentation de résistance est observée (Bilodeau, Kodur, and Hoff 2004), (Kanema2007), (Phan 2008).
- De 250°C (400°C) à 600°C : une chute de la résistance à la compression est notée (Hager2004), (Pliya2010).

La variation des propriétés mécaniques des bétons évolue différemment selon que l'essai soit réalisé à chaud ou à froid (essai résiduel). La Figure (II.13) présente une évolution de la résistance à la compression relative du même béton à chaud et à froid. Nous constatons que la résistance à chaud est supérieure à la résistance résiduelle pour toutes les températures après 150°C. Ceci peut être expliqué par un endommagement supplémentaire du béton au cours du refroidissement (réhydratation de la chaux, décomposition des granulats, changement du signe de gradient thermique) (Hager and Pimienta 2004).



**Fig. II. 13 Evolution de la résistance à la compression d'un béton en fonction du type d'essai(à chaud ou à froid).**

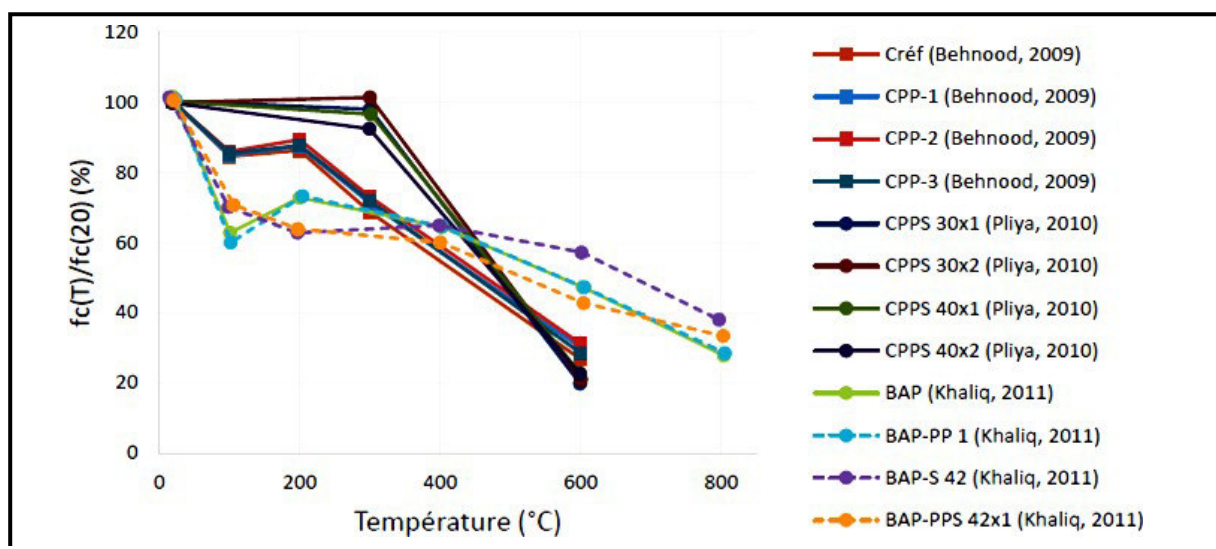
Behnood (Behnood and Ghandehari 2009) a testé les bétons de fibres de polypropylène avec des dosages de  $1 \text{ kg/m}^3$ ;  $2 \text{ kg/m}^3$ ;  $3 \text{ kg/m}^3$  (Figure II.13).

Les résultats ont montré une légère amélioration de la résistance à la compression des bétons fibrés par rapport aux bétons de référence.

Le dosage de  $2 \text{ kg/m}^3$  présente les meilleures performances mécaniques de 200 à  $600^\circ\text{C}$ . L'auteur préconise le dosage de  $2 \text{ kg/m}^3$  comme un optimum parmi les trois dosages testés.

Les résultats de Khaliq (Khaliq and Kodur 2011) et de Behnood (Behnood and Ghandehari 2009) sur les bétons de fibres de polypropylène ( $1 \text{ kg/m}^3$ ) n'ont pas montré d'amélioration significative de la résistance à la compression avec l'évolution de température.

Il est possible que l'incorporation de fibres de polypropylène génère des porosités supplémentaires lors du traitement thermique du béton et réduit la résistance à la compression. De plus, les fibres métalliques ( $42 \text{ kg/m}^3$ ) et le cocktail de fibres ( $42 \times 1 \text{ kg/m}^3$ ) n'ont pas donné d'effet favorable vis-à-vis de la résistance à la compression (Khaliq and Kodur 2011).



**Fig. II. 14 Evolution de la résistance résiduelle relative à la compression de béton de fibres métalliques, de poly pro pylône et de cocktail de fibres met galliques et polypropylène [47].**

#### II.4.3.2 Résistance à la traction :

Lors des incendies, des microfissurations apparaissent sur les parties sous tension de la structure.

Une résistance élevée à la traction permet de limiter les dommages structuraux Del 'élément en limitant la propagation des fissurations notamment lorsque le processus d'écaillage est entamé.

Sur la Figure 15 nous avons collecté plusieurs résultats de résistance à la traction résiduelle par fendage des bétons de référence et des bétons fibrés.

Chen et al. (Chen and Liu 2004) ont testé la résistance à la traction par fendage des bétons à hautes performances (HSC) contenant des fibres de polypropylène (HSC-P), des fibres de carbone (HSC-C), des fibres métalliques (HSC-S) et trois cocktails de fibres métalliques (S),carbone(C)et polypropylène(P)(HSC-C-S,HSC-C-PetHSC-S-P)(FigureII.9).

La résistance à la compression des bétons sans fibres à 28 jours était de 82 MPa.

Les bétons de fibres de polypropylène (0,6%envolume) montrent une amélioration de la résistance résidu elle à la traction d'environ20%parrappor taux béton sans fibres pour les températures de 600 et 800°C.

En ce qui concerne les bétons de fibres métalliques, les auteurs trouvent que la fraction volumique de 1 % (78 kg/m3) de fibres métalliques génère une amélioration de 40 % de la résistance résiduelle relative à une température de 400°C. A latempératurede800°C, cette amélioration atteint30%.

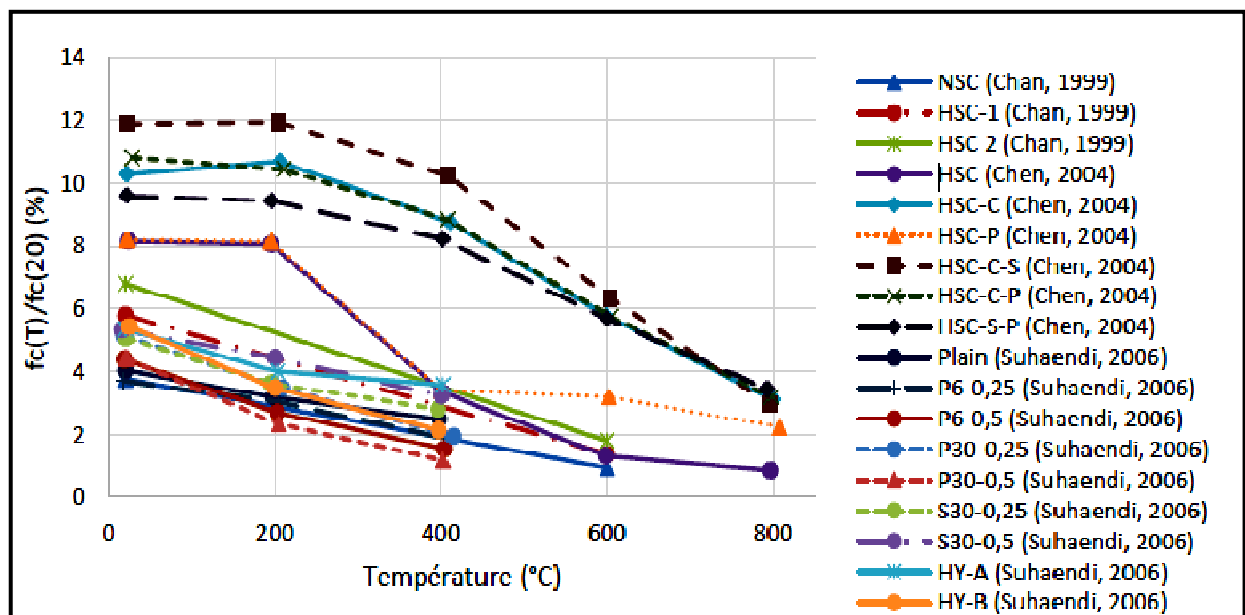


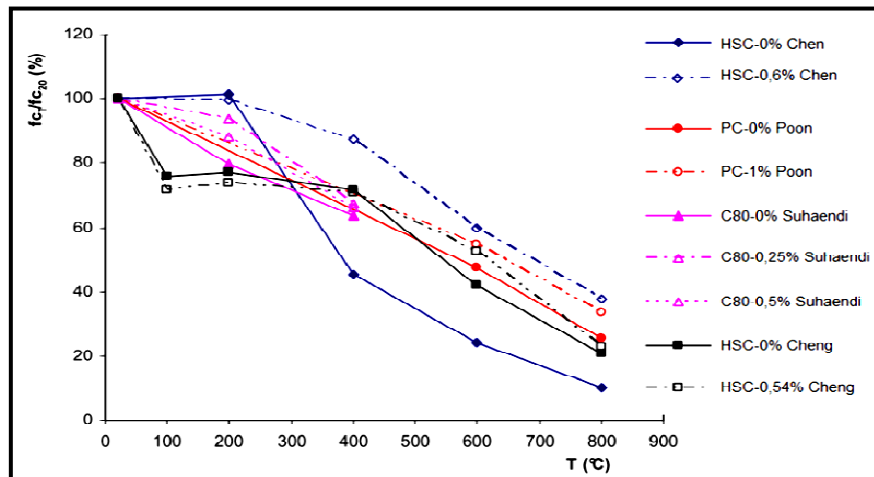
Fig. II. 15 Différents résultats de la résistance à la traction résiduelle relative[47].

## II.5 Influence des fibres d'acier sur le comportement du béton a haute températures :

### II.5.1 Résistance en compression :

#### II.5.1.1 Comportement avec fibres d'acier

La figure (II.16) regroupe les études de plusieurs auteurs sur l'évolution de la résistance résiduelle et la résistance à chaud de bétons à hautes performances non renforcés et renforcés de fibres d'acier.



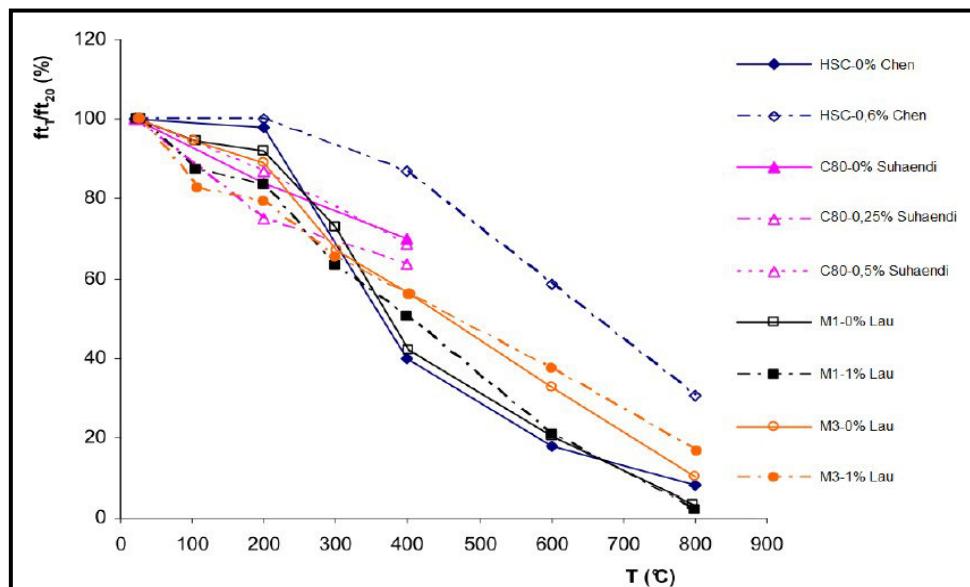
**Fig. II. 16 Évolution de la résistance résiduelle et à chaud relative en compression en fonction de la température de bétons renforcés par différentes fractions volumiques en fibres d'acier. [47].**

L'ensemble des résultats indique une diminution progressive de la résistance avec l'élévation de la température. La Figure(II.13) révèle que l'introduction de fibres d'acier améliore nettement les résistances résiduelles ou à chaud en compression [47].

### **II.5.2 Résistance en traction :**

#### **II.5 .2.1 Comportement avec fibres d'acier :**

La Figure(II.17) rassemble les courbes de comportement en traction en fonction des températures d'essais.



**Fig. II. 17 Évolution de la résistance résiduelle relative en traction en fonction de la température de bétons renforcés par différentes fractions volumiques en fibres d'acier.[47].**

Les résultats montrent une diminution progressive avec la température de la résistance en traction avec fibres d'acier tout comme les bétons sans fibres. Les auteurs, à travers leurs études, ont montré que l'addition de fibres d'acier améliore tellement les résistances résiduelles [47].

## II.6 CONCLUSION

Le comportement à haute température du béton nous permet de mettre en évidence certains phénomènes physiques qui peuvent apparaître notamment lors de la dégradation du matériau. Cette étude, dans sa première partie, a révélé que l'évolution des propriétés mécaniques est fortement liée à l'évolution de la microstructure, au départ de l'eau et aux réactions de déshydratation. Ceci se traduit par l'évolution de la microfissuration thermique, et par l'augmentation non négligeable de la perméabilité des matériaux à matrice cimentaire (que ce soit après traitement thermique ou sous température).

Parmi les principaux paramètres significatifs qui influencent le comportement du mortier ou du béton à haute température sont la présence et la quantité d'eau dans le matériau.

# **Chapitre III**

## **Caractéristiques des matériaux utilisés**

### III.1. Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du mortier.

La caractérisation des matériaux a été réalisée expérimentalement au laboratoire de Génie civil à l'Université de M'silla.

Et la méthode de formulation des mortiers à base de brique, ainsi que les résultats obtenus.

### III.2. Les matériaux utilisés

- ✓ Ciment (NA442 CEMII/B\_L 42.5 N).
- ✓ Sable.
- ✓ L'eau.
- ✓ Super plastifiant.
- ✓ Déchets de brique
- ✓ Fibres métalliques.

#### III.2.1. Le ciment

CEM II/A-L 42,5N NA 442 de la cimenterie AIN EL KEBIRA société des ciments d'Ain El kebira (SCAEK) Ouled Adouane -BP 01- Ain El kebira (W.Sétif). 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.

#### III.2.2. Le sable

Le sable de base de notre recherche provient des abords d'Oued MAITAR Cet oued est situé entre les collines de Boussaâda, dont le vent provient du sud est chargé de grains fins.

##### III.2.2.1. Caractéristiques du sable utilisé

###### ❖ Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555:

- **But de l'essai :**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Tableaux. III. 1 Résultats de la masse volumique absolue de sable

| N° d'essai | M (g) | V2 (cm³) | V1 (cm³) | $\rho_{abs}(g/cm^3)$ | $\rho_{moy}(g/cm^3)$ |
|------------|-------|----------|----------|----------------------|----------------------|
| 1          | 300   | 415      | 300      | 2.60                 | 2.60                 |
| 2          | 300   | 415      | 300      | 2.60                 |                      |
| 3          | 300   | 415      | 300      | 2.60                 |                      |

✚ **M1** : La masse d'échantillons

✚ **V2** : volume d'eau.

✚ **V1** : volume d'échantillon

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V2 - V1}$$

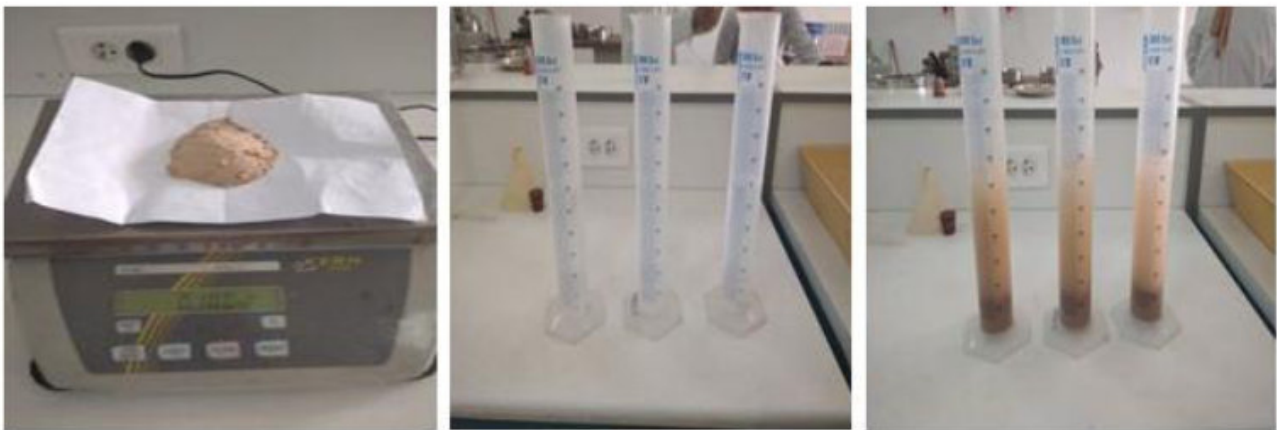


Fig. III. 1 Essai de masse volumique absolue de sable

#### III.2.2.1.2. Masse volumique apparente [NF P18-555]

✚ **Masse volumique à l'état lâche :**

C'est La masse du matériau par unité de volume V comprise le volume des vides existant entre les grains. ; Est donnée par formule suivant : les résultats en Tableau suivant Volume de récipient  $V_r = 900\text{cm}^3$ \*

Tableaux. III. 2 Masse volumique apparente du sable à l'état lâche

| N° d'essai | M1(g) | M2(g)  | Vr<br>(cm <sup>3</sup> ) | $\rho_{app}(g/cm^3)$ | $\rho_{app}$<br>Moy(g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------|-------|--------|--------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| 1          | 115.3 | 1434.8 | 900                      | 1.46                 | 1.47                                    |
| 2          | 115.3 | 1453.1 | 900                      | 1.48                 |                                         |
| 3          | 115.3 | 1447.7 | 900                      | 1.48                 |                                         |

- + Papp: Masse volumique à l'état lâche
- + M1 : Masse du récipient à vide (115.3 g).
- + M2 : Masse du récipient plus le sable .
- + Vr : Volume du récipient (v=900ml).

❖ **Masse volumique à l'état compact:**

La masse volumique à l'état compact est la masse du matériau par unité de volume après compactage y compris les vides restants entre les grains, elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche. Même procédure que celle à l'état lâche. Après remplissage du récipient (après tassement) on soumet ce dernier à 30 secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et l'on pèse. Soit M2 le poids de l'ensemble (sable+ récipient) la masse volumique à l'état compact est donnée par la formule suivante' où : M1 : masse du récipient à vide

$$\rho_{app} = \frac{(M2 - M1)}{Vr}$$

**Tableaux. III. 3 Masse volumique apparente du sable à l'état compact**

| N° d'essai | M1(g) | M2(g)  | Vr<br>(cm <sup>3</sup> ) | $\rho_{app}(g/cm^3)$ | $\rho_{app}$<br>Moy(g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------|-------|--------|--------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| 1          | 115.3 | 1462.9 | 900                      | 1.49                 | 1.51                                    |
| 2          | 115.3 | 1493.9 | 900                      | 1.53                 |                                         |
| 3          | 115.3 | 1497.8 | 900                      | 1.53                 |                                         |

**Fig. III. 2 Essai de masse volumique absolue de sable****III.2.2.1.2 Analyse granulométrique [NF P 18-304]:**

Elle consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant l'échantillon en utilisant des tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

**❖ Le but d'essai :**

L'essai granulométrique permet de déterminer les pourcentages des grains selon leurs diamètres, en tamisant un sol sec sur une série de tamis de diamètres connus.



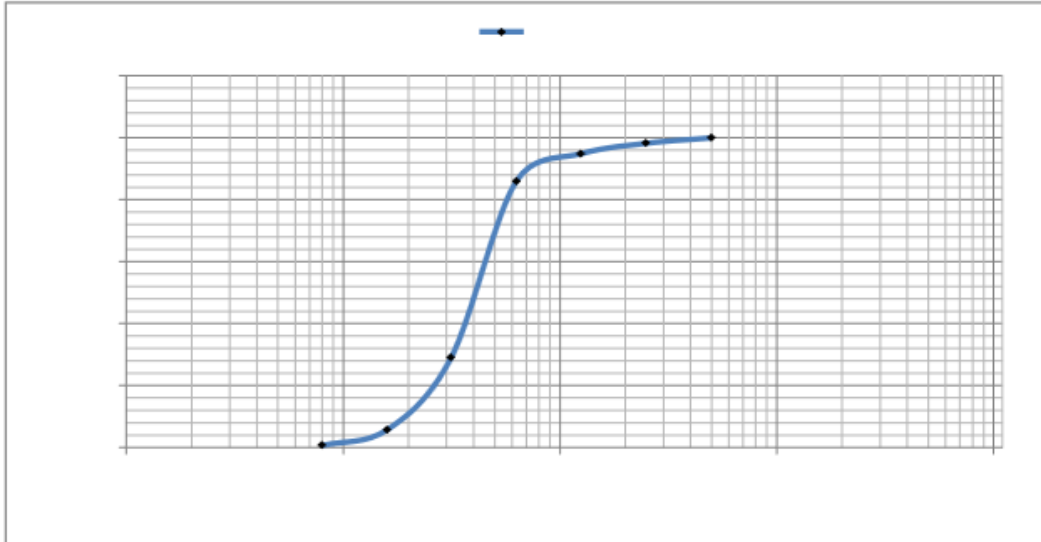
Fig. III. 4 tamiseur électrique



Fig. III. 3 colonne des tamis

Tableaux. III. 4 Résultats d'analyse granulométrique du sable

| Tamis (mm) | Refus MOY | Refus cumulé(g) | Refus (%) | Tamisât cumulé(%) |
|------------|-----------|-----------------|-----------|-------------------|
| 5          | 11        | 11              | 0.55      | 99.45             |
| 2.5        | 29        | 40              | 2         | 98                |
| 1.25       | 66        | 106             | 5.3       | 94.7              |
| 0.63       | 63        | 169             | 8.45      | 91.55             |
| 0.315      | 364       | 515             | 25.75     | 74.25             |
| 0.16       | 1282      | 1797            | 89.85     | 10.15             |
| 0.08       | 183       | 1980            | 99        | 1                 |
| Fond       | 20        | 2000            | 100       | 0                 |



**Fig. III. 5 La courbe granulométrique de sable**

#### III.2.2.1.3. Module de finesse(EN 196-6):

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

$$Mf = \frac{\sum R_c}{100}$$

Où : Rc : Refus cumulé.

Pour le sable de Boussaâda :  $Mf = 2.08$

Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit : Pour le sable de Boussaâda :  $2 < Mf < 2.5$  C'est un Sable moyen.

#### Tableaux. III. 5 les normes de sable

| Quantité de sable | Modèle de finesse |
|-------------------|-------------------|
| Gros              | $> 2.5$           |
| Moyen             | 2 à 2.5           |
| Fin               | 1.5 à 2.0         |
| Très fin          | 1.0 à 1.5         |

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant : Pour le sable de Boussaâda :  
<Mf> C'est un Sable

#### III.2.2.1.4. Porosité

C'est le volume des vides entre les grains du sable .La porosité peut être déterminée par la formule suivante :  $P(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{Masse volumique absolue}) \times 100$

$$P(\%) = [1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}] \times 100$$

$\rho_{app}$  : Masse volumique à l'état lâche

$\rho_{abs}$  : Masse volumique absolue

#### III.2.2.1.5. Compacité :

La compacité d'un matériau est la proportion de son volume réellement occupée par la matière solide qui le constitue, c'est –à-dire le rapport du volume absolue des grains au volume apparent du matériau.

$$C(\%) = 100 - P$$

$P(\%)$  : Porosité en pourcentage

#### III.2.2.1.6. Indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide

$$e(\%) = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100 - P)}$$

❖  $v$  : volume du vide

❖  $s$  : volume du solide

**Tableaux. III. 6 La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable**

| Porosité P(%) |         | Compacité C(%) |         | Indice des vides e (%) |         |
|---------------|---------|----------------|---------|------------------------|---------|
| Lâche         | Compact | Lâche          | Compact | Lâche                  | Compact |
| 46.93         | 45.5    | 53.07          | 54.5    | 0.88                   | 0.83    |

#### III.2.2.1.7. Equivalant de sable NF-18-598:

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

✚ Equivalent de sable visuel (E.S.V) :  $E. S. V = \frac{h_2}{h_1} * 100 (\%)$

✚ Equivalent de sable piston (E.S.P) :  $E. S. P = \frac{h_2'}{h_1} * 100 (\%)$

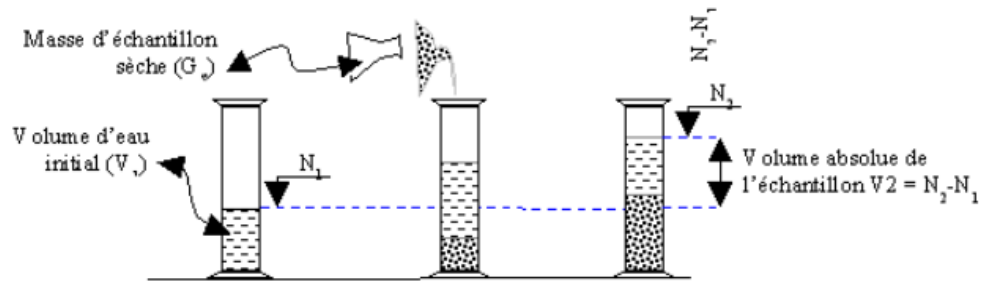


Fig. III. 6 Principe de l'équivalent de sable.

Tableaux. III. 7 Résultats obtenus pour l'équivalent de sable.

| Essais | h1(cm) | h2(cm) | E.S.V (%) | h2'(cm) | E.S.P (%) |
|--------|--------|--------|-----------|---------|-----------|
| 1      | 12.2   | 9.3    | 76.22     | 9       | 73.77     |
| 2      | 12.3   | 9.1    | 73.17     | 8.5     | 69.10     |
| 3      | 12.3   | 9.1    | 73.17     | 8.5     | 69.10     |

**h1**: hauteur du sable plus tube

**h2**: hauteur du sable

**h2'**: hauteur du sable avec piston

**E. S. Vmoy** = 74.18% **Et E. S. Pmoy** = 70.65%

Pour le sable de Boussaâda : C'est un Sable légèrement argileux de propreté admissible n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.



Fig. III. 7 Essai de l'équivalent de sable

**III.2.2.1.8. Teneur en eau :**

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sable étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 300 grammes de sable sec.

Les résultats obtenus en (Tableau III.7) que :  $W = \frac{(M_h - M_s)}{M_s} * 100$  (%)

**M<sub>h</sub>** : Masse des granulats humides.

**M<sub>s</sub>** : Masse des granulats secs.

**Tableaux. III. 8 Teneur en eau de sable utilisé.**

| N° d'essai | M <sub>h</sub> (g) | M <sub>s</sub> (g) | W(%)  | W moy(%) |
|------------|--------------------|--------------------|-------|----------|
| 1          | 300                | 297.2              | 0.942 | 0.593    |
| 2          | 300                | 299                | 0.334 |          |
| 3          | 300                | 298.5              | 0.502 |          |

**III.2.3. SIKAPLAST BV 40 + :**

❖ Plastifiant/Réducteur d'Eau pour hautes résistances mécaniques.

Le SIKAPLAST BV 40 + est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de poly carboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron. Conforme à la norme NF EN 934-2,

SIKAPLAST BV 40 + permet d'obtenir des bétons plastiques ayant de fortes résistance mécaniques à court et à long terme.

Bétons à hautes performances, bétons précontraints, bétons préfabriqués étuvés. A dosage élevé, le SIKAPLAST BV 40 + augmente le temps de prise du béton. La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais.

Le SIKAPLAST BV 40 + est compatible avec nos entraîneurs d'air SIKA AER et SIKA AER5. Cette combinaison conduit à :

- l'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel,
- la possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier),

- l'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de marnage. Ses caractéristiques physiques et chimiques sont représentées dans le tableau (III.8).

**Tableaux. III. 9 Caractéristiques de SIKAPLAST BV 40 +**

| Superplastifiant         | Forme   | Couleur | PH          | Densité           | Teneur en chlore |
|--------------------------|---------|---------|-------------|-------------------|------------------|
| <b>SIKAPLAST BV 40 +</b> | Liquide | marron  | $4,7 \pm 1$ | $1,040 \pm 0,015$ | $\leq 0,1 \%$    |

**Fig. III. 8 adjuvant SIKAPLAST BV 40 +**

#### III.2.4.Eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable pure et limpide apportée du laboratoire de l'université de M'sila.

On a effectué les analyses chimiques au laboratoire de chimie (M'sila). Elle est donnée par (Tableau III.9) :

**Tableaux. III. 10 Caractéristiques chimiques de l'eau.**

| La mesure | Teneur en (mg/l) |
|-----------|------------------|
|-----------|------------------|

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Degré de température                | 24.7  |
| PH                                  | 7.78  |
| Conductibilité                      | 1799  |
| Chlore $\text{Cl}^-$                | 234.3 |
| Sulfate $\text{So}^{-4}$            | 351.6 |
| Magnésium $\text{Mg}^{2+}$          | 110.8 |
| Sodium $\text{Na}^+$                | /     |
| Calcium $\text{Ca}^{2+}$            | 267.2 |
| Sédiment sec                        | 1412  |
| Rééligibilité<br>d'oxydation en eau | 1024  |

### III.2.5. Poudre de Brique :

Ces déchets proviennent de la briqueterie de m'sila. Ils ont été concassés manuellement au niveau du laboratoire de génie civil Université de M'sila, puis broyés jusqu'à la fraction granulaire inférieure à 80µm.

Les caractéristiques des déchets de brique sont indiquées dans les tableaux suivant :



Fig. III. 9 Déchets des briques utilisés.

Tableaux. III. 11 Composition chimique des déchets de brique broyés. [44]

| Composant  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | K <sub>2</sub> O | NaO <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> |
|------------|------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|------------------|------------------|-----------------|
| Teneur (%) | 53.78            | 16.61                          | 12.88 | 6.22                           | 2.20 | 2.13             | 0.87             | 0.65            |

Tableaux. III. 12 Caractéristiques des déchets de brique broyés. [44]

| Caractéristiques | Forme  | Couleur      | Finesse | Dosage recommandé |
|------------------|--------|--------------|---------|-------------------|
| Résultats        | Poudre | Rouge brique | 80μ     | 10% à 50%         |

### III.2.6. Les fibres :

La famille des fibres métalliques est composée de l'acier, de l'inox (acier inoxydable) et de la fonte (amorphe) (figure III.8. ) [1].

Leurs caractérisations sont présentées dans le tableau : III.12

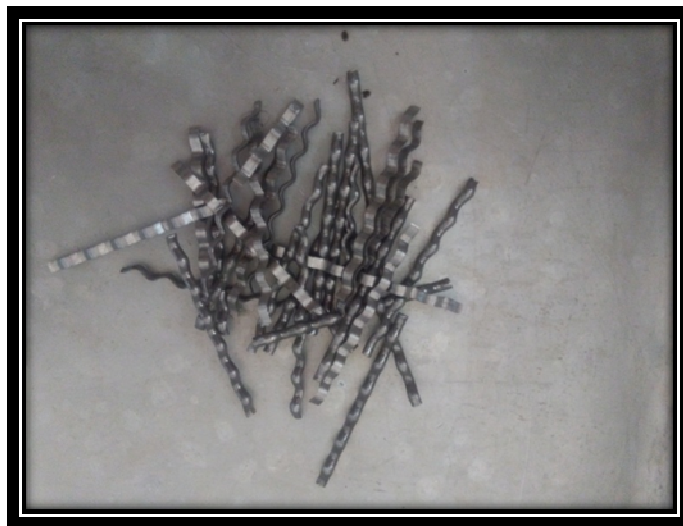


Fig. III. 10 Les fibres métalliques

Tableaux. III. 13 Caractéristiques des fibres métalliques

|                     |         |
|---------------------|---------|
| Longueur (mm)       | 50 ±10% |
| Diamètre fibre (mm) | 1 ±10%  |

|                                                 |                    |
|-------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Rapport d'aspect</b>                         | <b>50</b>          |
| <b>Format</b>                                   | <b>A crochet</b>   |
| <b>Section transversale</b>                     | <b>Circulaire</b>  |
| <b>Tension à la rupture à la traction (MPa)</b> | <b>1100 – 2700</b> |
| <b>Allongement à la rupture</b>                 | <b>&lt; 4%</b>     |

### III.3. Formulation de mortier normal

Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable et d'une de mi-partie d'eau. Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance.

Ce mortier est réalisé conformément à la norme décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

- 1350g de sable
- 450g de ciment
- 255g d'eau
- $E/C = 0.5$

### III.4. Composition des différents mortiers :

Nous avons réalisée des essais sur des mortier confectionnés avec de super plastifiant et des additifs de mortier a base de sable substitué en poids par différent pourcentage voir le tableau

**Tableaux. III. 14 liste de description de mortier**

| <b>Désignation</b> | <b>Description</b>                                                                       |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>M0</b>          | Mortier de référence sans fibres métalliques                                             |
| <b>M1</b>          | mortier formulé avec 10% de Poudre de brique et 1% fibres métalliques et 0.8 % adjuvants |
| <b>M2</b>          | mortier formulé avec 10% de Poudre de brique et 2% fibres métalliques et 0.8 % adjuvants |

|           |                                                                                          |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>M3</b> | mortier formulé avec 10% de Poudre de brique et 5% fibres métalliques et 0.8 % adjuvants |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tableaux. III. 15 Liste de différents mortiers étudiés en pourcentage**

| mortier   | Brique (%) | Sable(%) | fibres métalliques(%) | Superplastifiant(%) |
|-----------|------------|----------|-----------------------|---------------------|
| <b>M0</b> | 10         | 1350     | 0                     | 0.8                 |
| <b>M1</b> | 10         | 1350     | 1                     | 0.8                 |
| <b>M2</b> | 10         | 1350     | 2                     | 0.8                 |
| <b>M3</b> | 10         | 1350     | 5                     | 0.8                 |

Ces mortier ont été conservés pendant 28 jours dans une eau de ont effectué sur ces mortier différents essais physiques et mécaniques (masse volumique, essais de fluidité, essais a la résistance mécanique, essais à l'ultrason, essais de porosité, perte de masse, essais de retrait, volume de éprouvette). Le tableau III.15.

Donnent la composition des défèrent mortier étudiés

**Tableaux. III. 16 Composition du différent mortier**

|           | Sable(g) | Ciment(g) | Eau(g) | Brique(g) | Adjuvant(g) | fibres métalliques(g) | E/C | d'affaissement du mortier (cm) |
|-----------|----------|-----------|--------|-----------|-------------|-----------------------|-----|--------------------------------|
| <b>M0</b> | 1350     | 405       | 255    | 45        | 3.6         | 0                     | 0.6 | 3,1                            |
| <b>M1</b> | 1350     | 405       | 255    | 45        | 3.6         | 5                     | 0.6 | 3,4                            |
| <b>M2</b> | 1350     | 405       | 255    | 45        | 3.6         | 9                     | 0.6 | 3,6                            |
| <b>M3</b> | 1350     | 405       | 255    | 45        | 3.6         | 22.5                  | 0.6 | 3,8                            |

### II.5.Préparation des éprouvettes :

Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carré (4 x 4 x 16) cm. Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier. Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la grande spatule puis serrée par 30 chocs.

La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 30 chocs.

Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. La surface des éprouvettes est ensuite lissée .



**Fig. III. 11 Moule utiliser**



**Fig. III. 12 Balance**



**Fig. III. 13 Table vibrant (table de choc).**

### **III.6. Cure appliquée [NF P 18-404] :**

Toutes les éprouvettes utilisées dans cette campagne expérimentale ont suivi la même cure et le même conditionnement suivant la norme NF P 18-404. Après démoulage, les éprouvettes ont été conservées pendant 24 heures dans leur moule à température ambiante ( $20 \pm 2$ ) °C.

A l'issue de ce temps de conservation initiale, elles ont été démoulées, puis plongées dans l'eau à 20 °C pendant (7, 14, 28) jours. Ce mode de conservation permet d'assurer l'hydratation du béton et d'éviter toute fissuration due à la dessiccation.

Il permet également de maintenir les bétons saturés et de se rapprocher ainsi des conditions réelles qu'on peut rencontrer dans certains ouvrages souterrains.

### **III.7. Conservation des éprouvettes :**

Après le démoulage d'échantillons ont laissé pendant 24 h pour sécher relativement après ça nous mettons échantillons (4 x 4 x 16) cm, dans l'eau de la nappe phréatique, pendant 7, 14 et 28 jours.

### **III.8. Essai de chauffage**

Pour étudier le comportement à haute température du mortier, il est nécessaire de lui faire subir différents cycles thermiques. Toutes les éprouvettes retenues pour cette étude sont testées après leur refroidissement. Nous appliquons trois cycles de chauffage-refroidissement de 20 °C à différentes températures de palier : 300 °C, 500 °C, 700 °C.

Chaque cycle de chauffage- refroidissement se compose de trois phases, une phase de montée en température, une phase de stabilisation à température constante et une troisième phase de descente de la température du palier à la température ambiante.

Finalement des éprouvettes ont été exposées à une température élevée variant de 300 °C et 500 °C et 700 °C avec une vitesse de la montée en température de 10°C/ min et un maintien de température dans

le four à moufle pendant 1 heure. Le procédé expérimental appliqué repose sur Chargement thermique puis mécanique (écrasement directe).



**Fig. III. 14 les éprouvettes dans le four**

### **III.9.Essais A l'état frais des mortiers :**

#### **III.9.1. Définition :**

Le mortier est un matériau de construction formé par un mélange de ciment, de sable Et d'eau, éventuellement complété par des adjuvants et des additions. Ce mélange, qui est mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est modulable, il durcit progressivement pour former finalement un monolithe.

Se Lons formulation, sa mise en œuvre et ses traitements de surface, ses performances et son aspect peuvent considérablement varier.



**Fig. III. 15 Mesure de la fluidité du mortier.**

### III.10. Essais à l'état Durci :

#### III.10.1.Essais destructifs :

- Essais de résistances mécaniques :

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion doivent être essayés en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 4 cm x 4 cm.

##### III.10.1.Résistance à la traction par flexion :

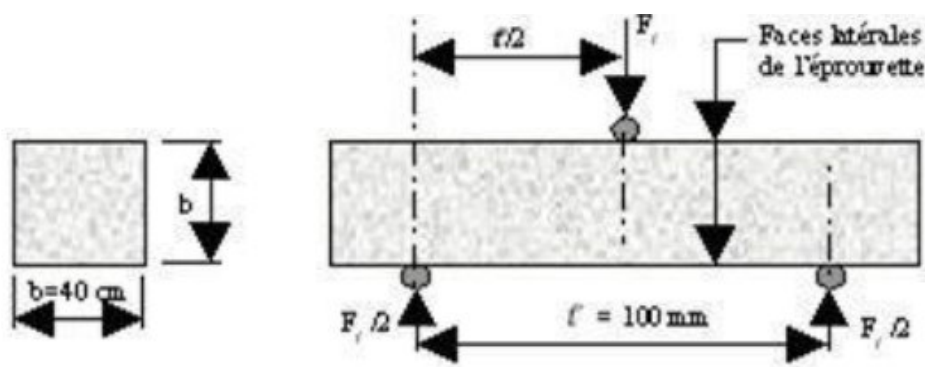


Fig. III. 16 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion



Fig. III. 17 Appareil de flexion.

##### III.10.2.Résistance à la compression

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à  $\pm 0.5$  mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm. Augmenter la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la

charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture). La résistance en compression  $R_c$  (en  $N/mm^2$ ) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Avec :

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

$F_c$  : charge de rupture en (N).

$b^2$  : cote de l'éprouvette est égale à 40 mm.

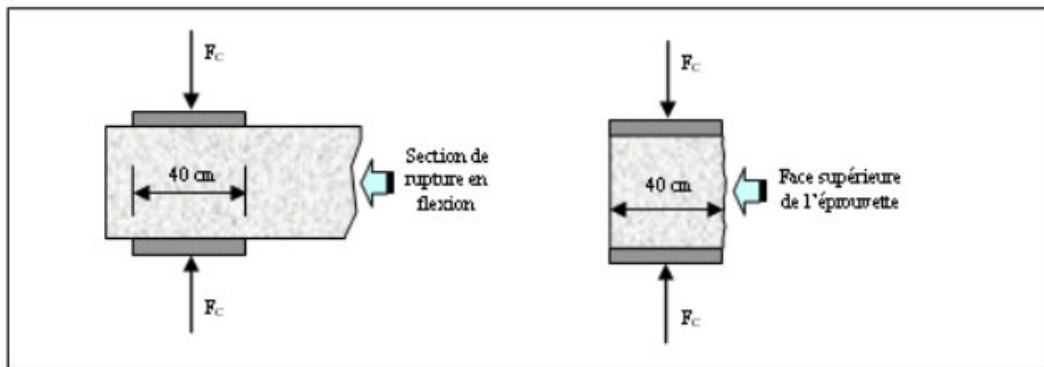


Fig. III. 18 Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.



Fig. III. 19 Appareil de compression.

### III.11. Estimation de la perte de masse

La perte de masse est un indicateur important des dégradations au sein du matériau, et notamment de la perte en eau. Elle permet, en complément des essais mécaniques réalisés après application des cycles thermiques, de suivre l'évolution du poids des matériaux ayant subi un cycle de chauffage.

Pour la quantification de l'eau perdue, la masse des éprouvettes est mesurée avant et après chaque cycle de chauffage-refroidissement.

De la fabrication au traitement thermique, les éprouvettes subissent des variations de masse dues au ressuage, à la dessiccation ou absorption d'eau.

Pour rendre compte de ces variations, les éprouvettes sont pesées à différents temps : après leur démoulage, les éprouvettes de béton sont pesées et placées dans les bacs remplis d'eau pour limiter une longue durée d'exposition à l'air libre qui entrainerait une dessiccation.

A la fin de la période de cure, les éprouvettes sont essuyées avec un chiffon sec et pesées. Elles sont ensuite placées dans le four pour subir un cycle de chauffage-refroidissement. Après le traitement thermique, chacune des éprouvettes est pesée une dernière fois pour quantifier la quantité de l'eau évaporée au cours du chauffage.

Ces mesures sont effectuées sur l'ensemble des éprouvettes placées dans le four et pour tous les cycles de chauffage et pour chacune des compositions.

Les éprouvettes conservées dans l'eau ont été pesées d'abord, ensuite elles sont exposées aux fortes températures 20 °C, 300 °C, 300 °C, 700 °C.

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

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

**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



**Fig. III. 20 des éprouvettes**

### III.12.Essais de porosité

L'essai de la porosité est réalisé sur des éprouvettes de dimension 4x4x16 et 4x4x4 cm<sup>3</sup>, en appliquant les étapes suivantes :

Séchage à l'étuve à 105°C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu'à Obtention d'une masse constante, afin de faire évaporer toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est noté "A". Immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures.

Chauffage jusqu'à ébullition pendant 5 heures, puis pesage de l'échantillon à l'air (soit "C" ce poids) puis pesage à l'eau (pesée hydrostatique).

La porosité est calculée par la formule (loi d'ASTEM C642) [D. Whiting, 1988]

$$Vp = \frac{C-A}{C-D} * 100$$

Avec :

**V p** : volume des vides (%).

**A** : poids de l'échantillon après étuvage (g).

**C** : poids à l'air après immersion et ébullition (g).

**D** : poids à l'eau après immersion et ébullition (g).



**Fig. III. 21 Appareil d'ébullition**



Fig. III. 22 Appareil de porosité

### III.13.Essais non destructifs :

#### III.13.1 Les Ultrasons [NF EN 12504-4 :

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton (Figure(III.26)) En a effectuer les mesures sur les éprouvettes après les faire sortir du bac de conservation et les laisser sécher pendant 24h. Les éprouvettes cubiques sont préparées pour effectuer des essais d'auscultation dynamique.

Cette réparation consiste à faire certaines opérations préliminaires à savoir la calibration de l'appareil et marquer les points d'essais sur les éprouvettes afin de centrer les ondes dans la structure béton. Sur chaque éprouvette cubiques nous avons effectué 3 mesures, La vitesse (V) du parcoure est lu directement sur un écran digital au moment de leur stabilisation

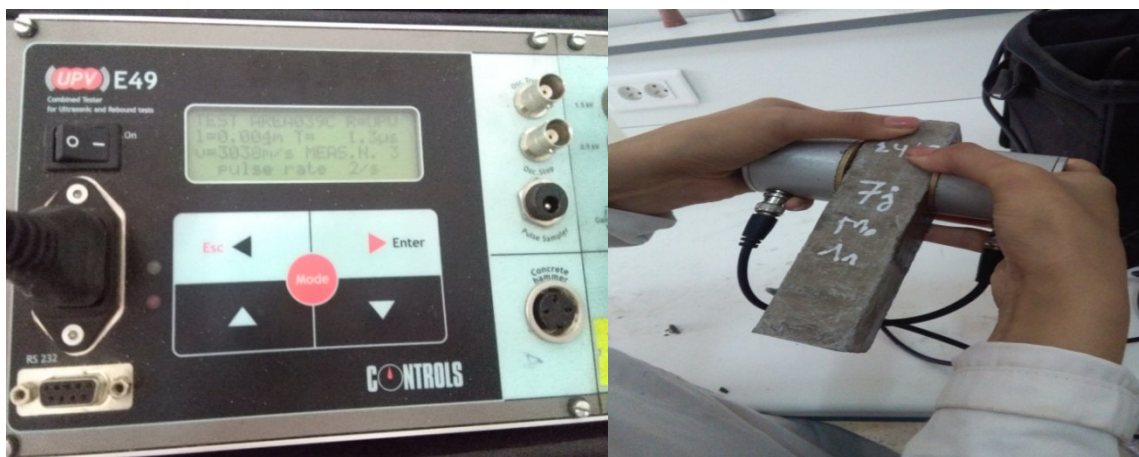


Fig. III. 23 Appareil ultrason

**III.14 CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans le cadre de cette étude, ainsi que le détail des différentes formulations utilisées pour la réalisation de notre compagne

# **Chapitre IV**

## **Résultats et interprétations**

## IV.1 Introduction

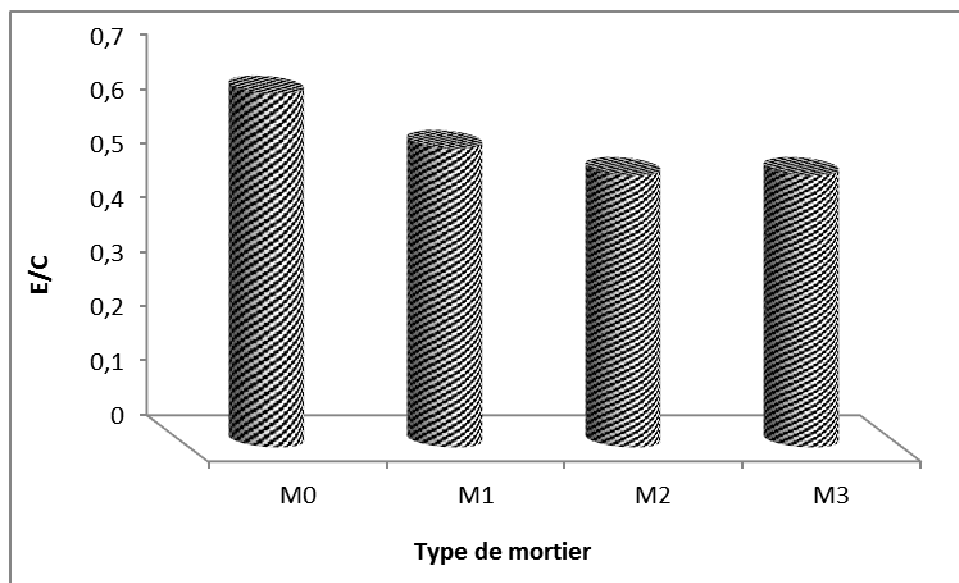
Dans ce chapitre on présente les différents résultats des essais effectués sur le mortier frais et durcis suivie par des discussions et des interprétations.

- ✚ **M 0** : Mortier de référence sans fibres métalliques ;
- ✚ **M 1** : mortier formulé avec 10% de Poudre de brique et 1% fibres métalliques et 0.8 % adjuvants ;
- ✚ **M 2** : mortier formulé avec 10% de Poudre de brique et 2% fibres métalliques et 0.8 % adjuvants ;
- ✚ **M 3** : mortier formulé avec 10% de Poudre de brique et 5% fibres métalliques Et 0.8 % adjuvants.

## IV.2. Résultats des essais à l'état frais

### IV.2.1 Rapport E/L :

On va étudier l'effet de renforcement par fibres métalliques et le remplacement de pourcentage de ciment par déchet de brique sur le comportement du mortier selon le figure suivante :



**Fig. IV. 1 E/C en fonction de type de mortier**

La **Figure IV.1** illustre les résultats d'essais de rapport E/C sur des mortiers brique avec des fibres de métallique. On a remarqué une légère réduction des valeurs E/C des mortiers fibrés dont le pourcentage varie de 1, 2 et 5% par rapport au mortier témoin. Cela peut être expliqué par les effets de frottements entre les fibres et la matrice du mortier, ceci conduit à une diminution de maniabilité ; cette réduction est plus importante pour le dosage de 2%.

La figure (**IV.1**) nous renseigne sur le comportement des mortiers pendant l'écoulement, l'ajout de la poudre de brique influe positivement sur l'écoulement du mortier tout en maintenant constant la

quantité d'adjuvant et le même rapport E/C pour les tous échantillons. Ce résultat est dû à l'effet de correcteur rhéologique que joue la poudre de la brique [48].

La diminution du rapport E/L est due à l'effet de la dispersion du super plastifiant, qui sépare des grains de ciment les uns des autres et fluidifier le mélange sans la nécessité d'eau supplémentaire

### IV.3. Résultats des essais à l'état durci

#### IV.3.1. Résistance mécanique à la compression :

Après le passage dans le four, les échantillons de mortier ont été refroidis pendant 24 heures en laboratoire à une température de  $20 \pm 5$  °C avant de subir un test de résistance à la compression. La résistance à la compression de tous les mélanges de mortiers à température ambiante et après chauffage à 300 °C, 500 °C et 700 °C sont illustrée sur les figures (IV.2) et (IV.3). (IV.4).

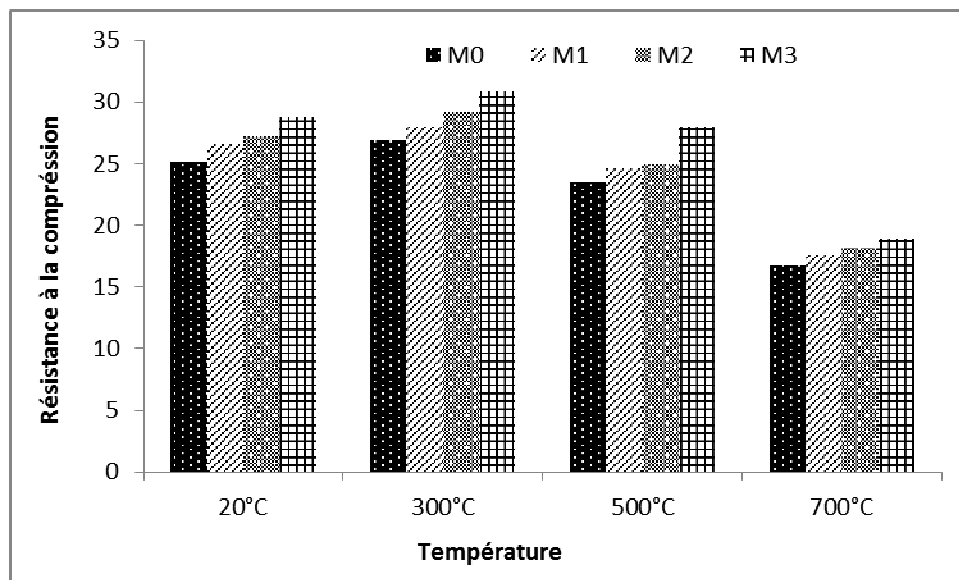
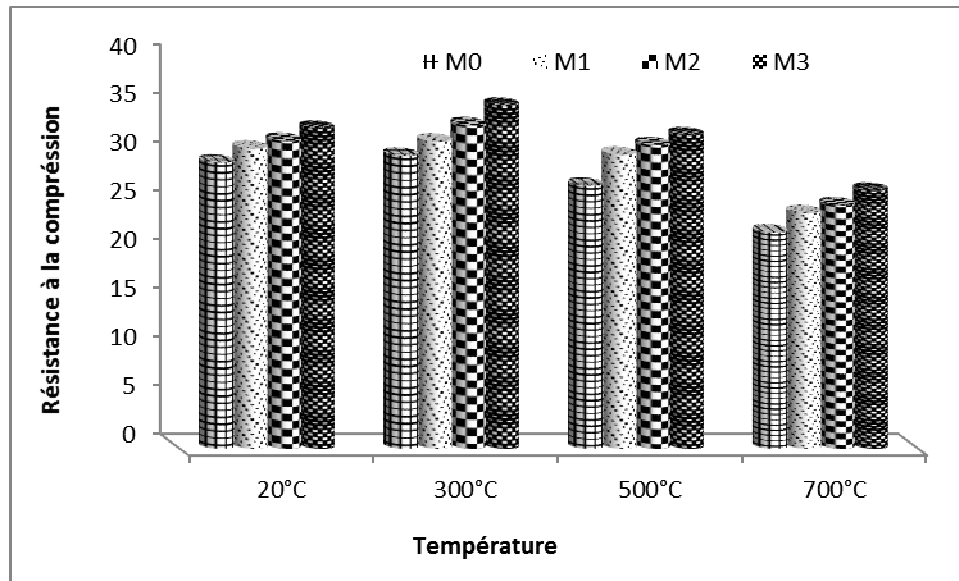
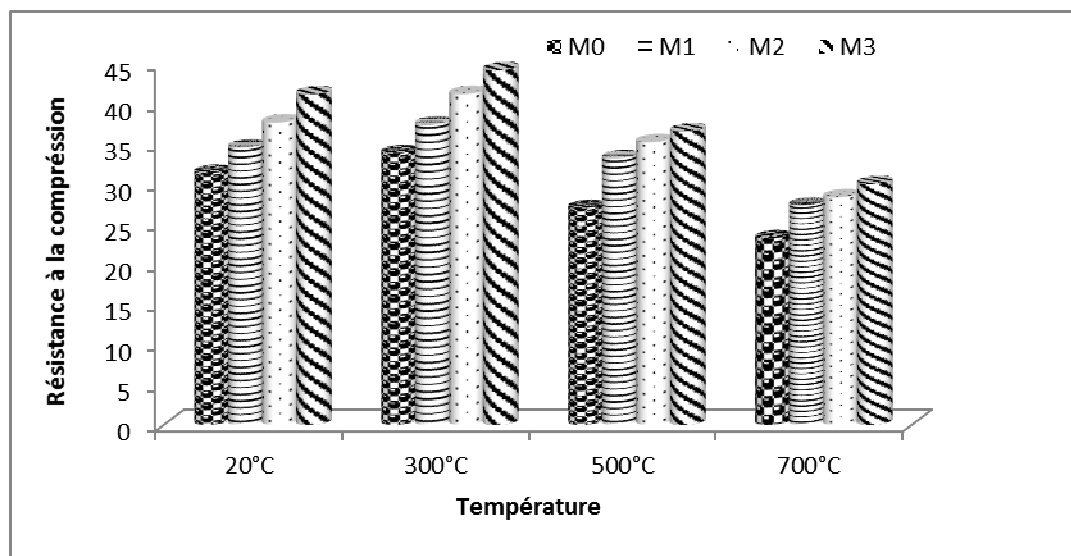


Fig. IV. 2 Résistance mécanique à la compression de 7 jours en fonction de la température



**Fig. IV. 3 Résistance mécanique à la compression de 14 jours en fonction de la température**



**Fig. IV. 4 Résistance mécanique à la compression de 28 jours en fonction de la température**

Le comportement du mortier fibré exposé aux hautes températures est similaire de celui du mortier témoin. Pour tout le mortier, on observe après une augmentation importante de la résistance en compression entre 200°C et 300°C. Au-delà de 300°C, on observe une diminution importante de la résistance en compression relative pour tout le mortier.

À 500°C, les valeurs de résistance.

D'après les figures IV.2, IV.3, IV.4, on remarque que la résistance en compression décroît avec l'augmentation de la température.

Ce fait a déjà été observé et discuté à plusieurs reprises dans la littérature [49], [50], [51] qui ont conclu que ce décroissement peut être lié à la dégradation de la microstructure de la pâte de ciment et granulats ainsi qu'au départ d'eau. Sont très faibles.

L'incorporation des fibres a pu améliorer la résistance des mortiers fibrés (1, 2 et 5%) de 5 et 9% à l'âge de 7 jours et de 15 et 27% à l'âge de 28 jours respectivement par rapport au mortier témoin(M0). Au-delà de 500°C, le mortier témoin présente une baisse de résistance importante due aux quantités

Importantes de microfissures. À 700°C, la baisse de résistance est due à une dégradation couplée de la matrice cimentaire. Pour le mortier fibrés la baisse de résistance est moins important que celle du mortier témoin et les valeurs de résistance à 700 °C ne sont pas très faibles que ce dernier. Alors on peut dire que les fibres ont un effet positif sur la résistance à la compression du mortier exposé à hautes températures.

#### IV.3.2. Résistance à la traction par flexion des mortiers

Des essais de traction par flexion ont été réalisés sur trois éprouvettes pour chaque formulation avant et après chauffage à différentes températures (20°C, 300°C, 500°C, 700°C). Les résultats sont présentés sur les figures (IV. 5), (IV. 6)et (IV.7) . qui représente respectivement les valeurs d'évolution de la résistance (en pourcentage de la résistance initiale à 20°C) en flexion des mortiers en fonction de la température après 7,14 et 28 jours..

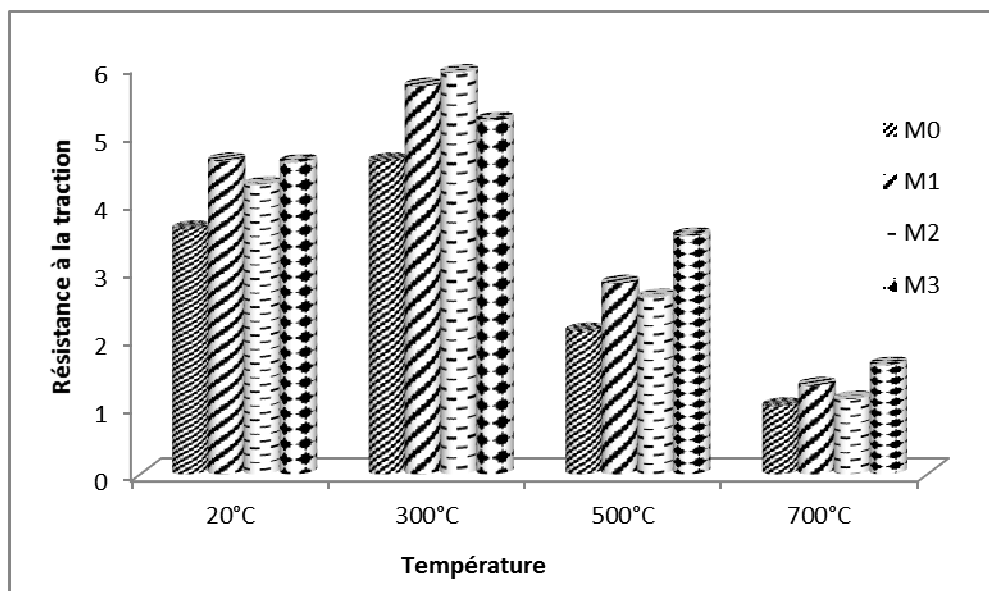
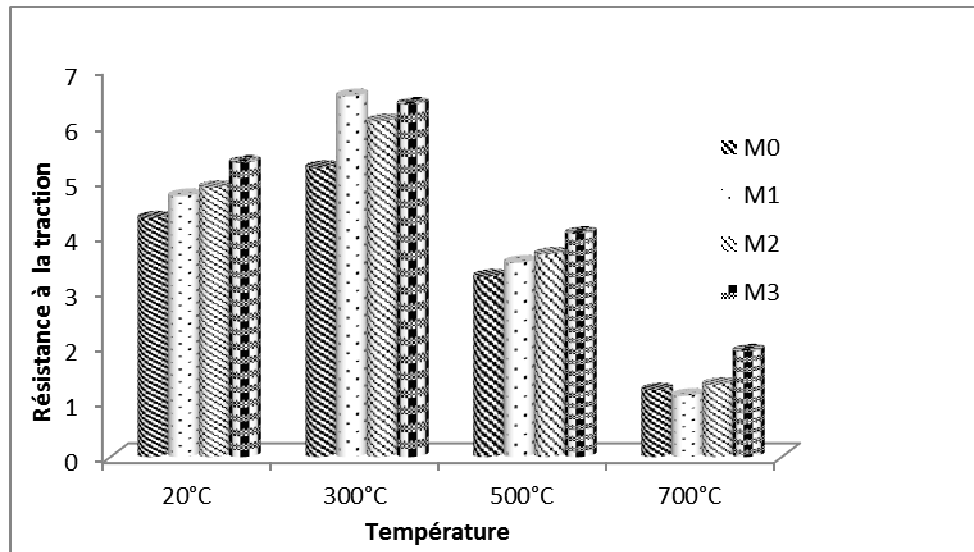
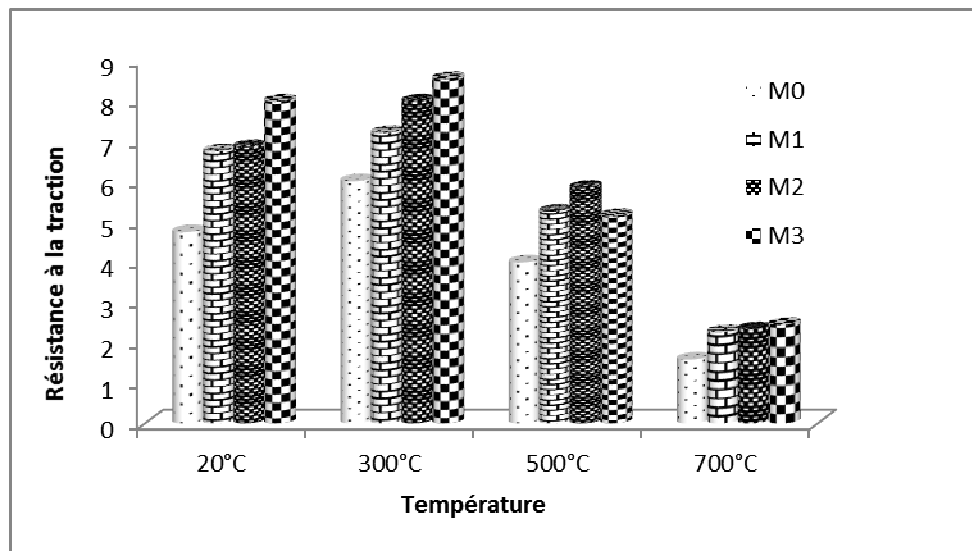


Fig. IV. 5 Résistance à la traction par flexion de 7 jours en fonction de la température



**Fig. IV. 6 Résistance à la traction par flexion de 14 jours en fonction de la température**



**Fig. IV. 7 Résistance à la traction par flexion de 28 jours en fonction de la température**

Les figures montrent et assurent que l'ajout de fibres métallique engendre une augmentation de la résistance en traction par flexion des mortiers en fonction du temps. Cette amélioration est importante et implique que les fibres d'acier sont en mesure de modifier le comportement de la structure du matériau.

L'effet des fibres sur l'évolution de la résistance du mortier au cours du temps n'est pas très significatif. On peut constater une augmentation de la résistance à la traction par flexion par rapport au mortier témoin. Ceci confirme le fait que les fibres obtiennent une influence importante sur la résistance du mortier et que plus le pourcentage n'est important, plus l'influence n'est grande.

Comme la montre les figures le comportement des mortiers fibré exposé aux hautes températures diffère de celui du mortier témoin. Pour ce dernier, on observe une décroissance monotone de la résistance à la traction par flexion. On observe une augmentation importante de la résistance à la traction

entre 20°C et 300°C. Au-delà de 500°C, on observe une diminution importante de la résistance à la traction relative pour tous les mortiers. À 700°C, les valeurs de résistance à la traction sont très faibles.

En augmentant la température, la résistance à la traction par flexion des différents types de mortier étudié diminue. A 700°C, on constate une diminution assez importante des résistances.

#### IV.3.4. Perte de masse :

Les figures suivantes représentent les résultats de la perte de masse en fonction de la température après 7, 14 et 28 jours.

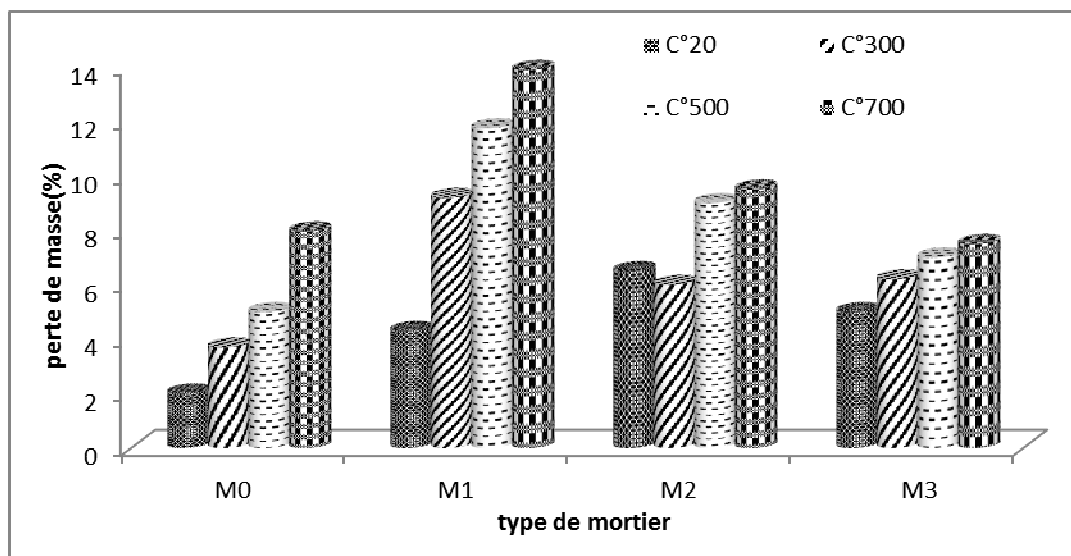


Fig. IV. 8 Perte de masse de 7 jours en fonction de la température

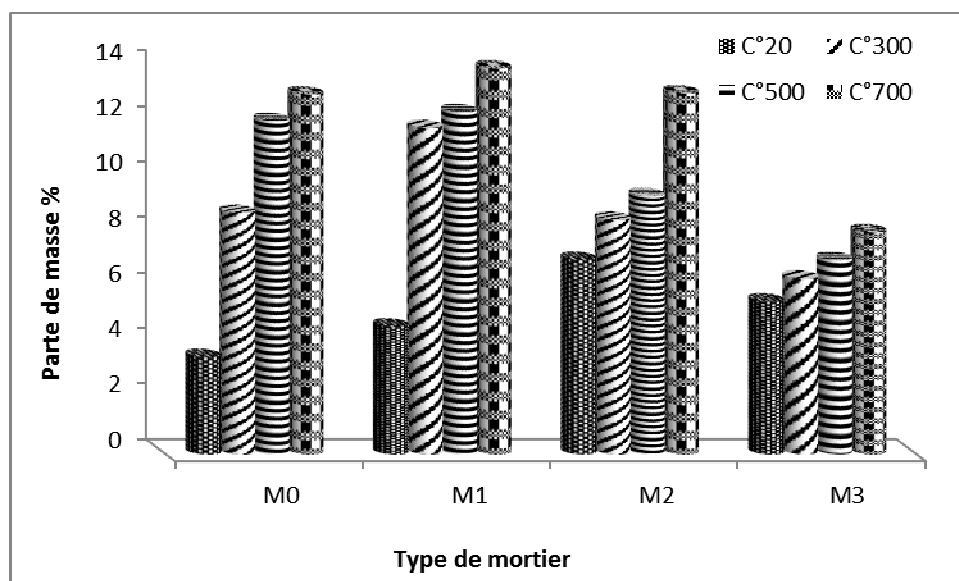
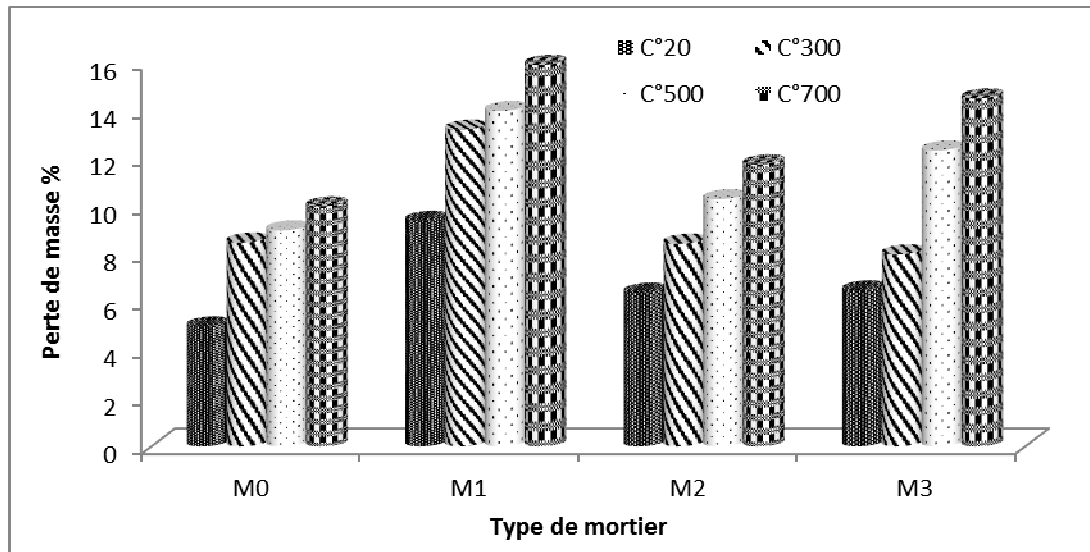


Fig. IV. 9 Perte de masse de 14 jours en fonction de la température



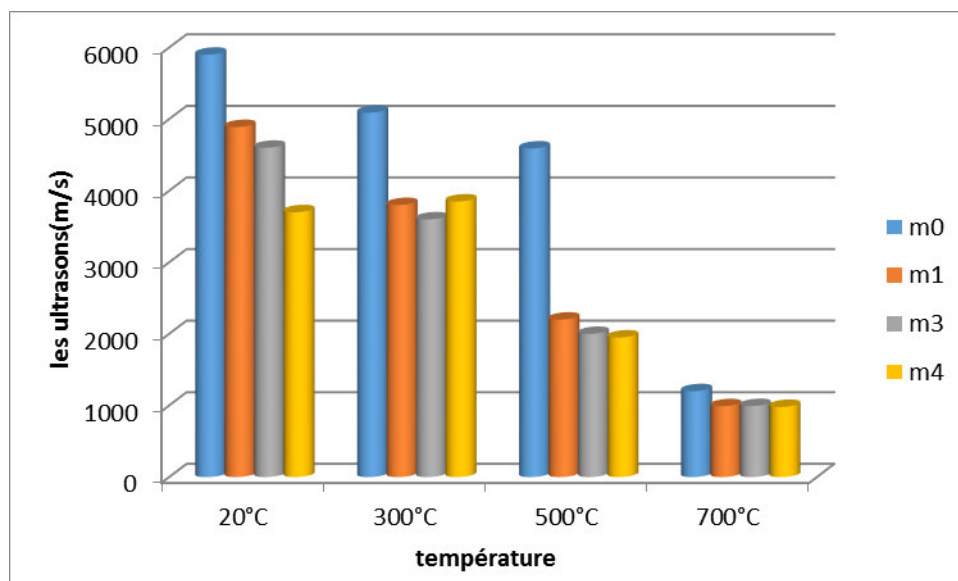
**Fig. IV. 10 Perte de masse de 28 jours en fonction de la température**

Le calcul de la perte de masse est une moyenne de trois valeurs, effectuée sur les éprouvettes prismatiques. On constate que plus la température augmente la perte de masse augmente. A 500°C, les différents mortiers fibrés ont présenté une perte de masse presque de même grandeur.

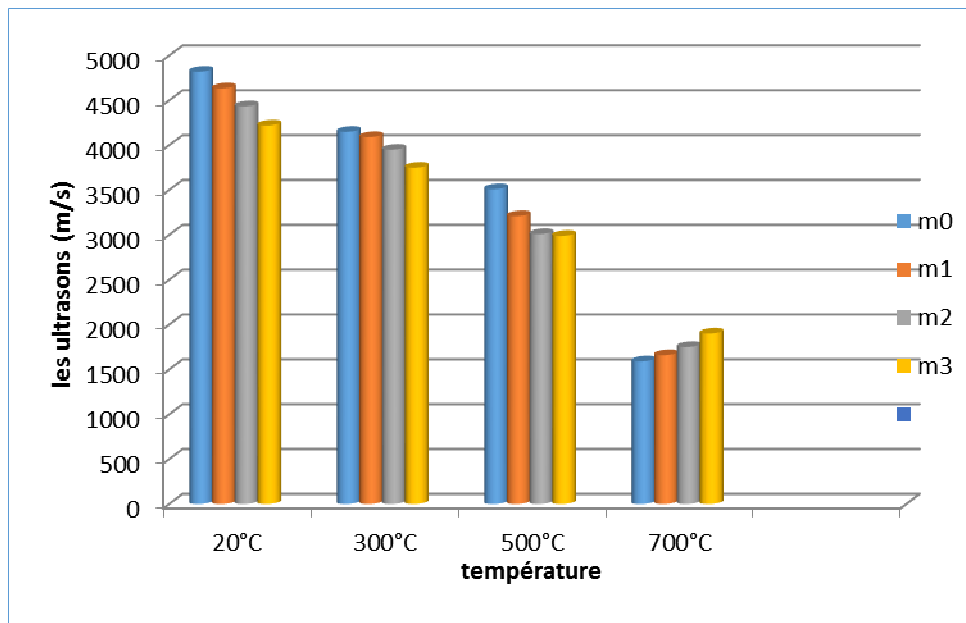
Alors que pour une température de 700°C, c'est le mortier de fibres métalliques qui a présenté une perte de masse assez importante.

#### IV.3.6. La vitesse d'ultrason (V)

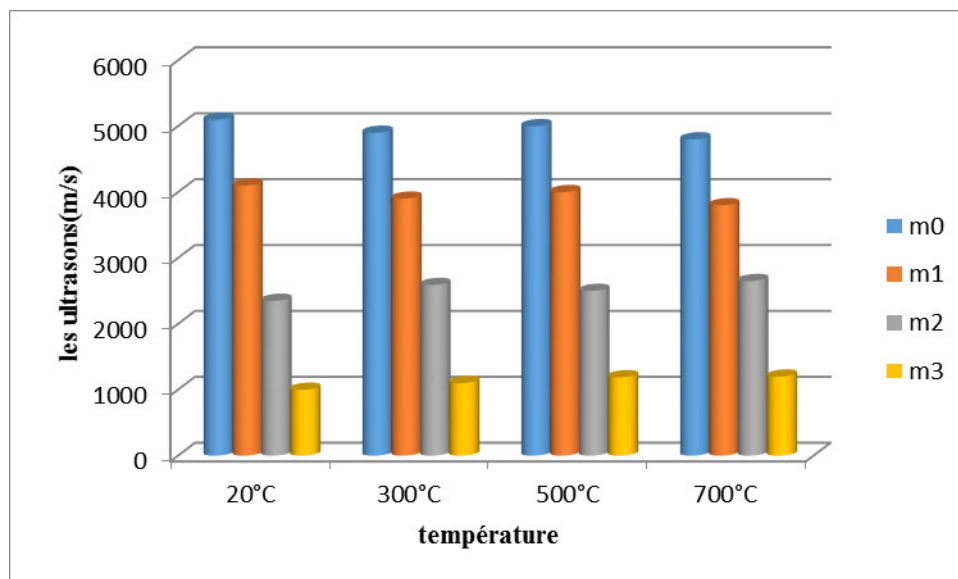
Après les chargements thermiques des essais d'ultrason ont été effectués et les résultats sont présentés sur les figures IV.11, IV.12 et IV.13.



**Fig. IV. 11 les ultrasons en fonction de la température à 7 jours**



**Fig. IV. 12 les ultrasons en fonction de la température à 14 jours**



**Fig. IV. 13 les ultrasons en fonction de la température à 28 jours**

A partir de la figure IV.11, IV.12 et IV.13 nous pouvons observer une diminution de la vitesse des ondes ultrason avec l'augmentation de la température. Cette baisse de la vitesse résulte de l'endommagement produit par le chauffage du mortier, ce qui est en accord avec les résultats de la littérature [52], [53].

#### IV.3.8. Porosité

La mesure de la porosité à l'eau est un paramètre important qui permet de caractériser le réseau poreux des mortiers testés.

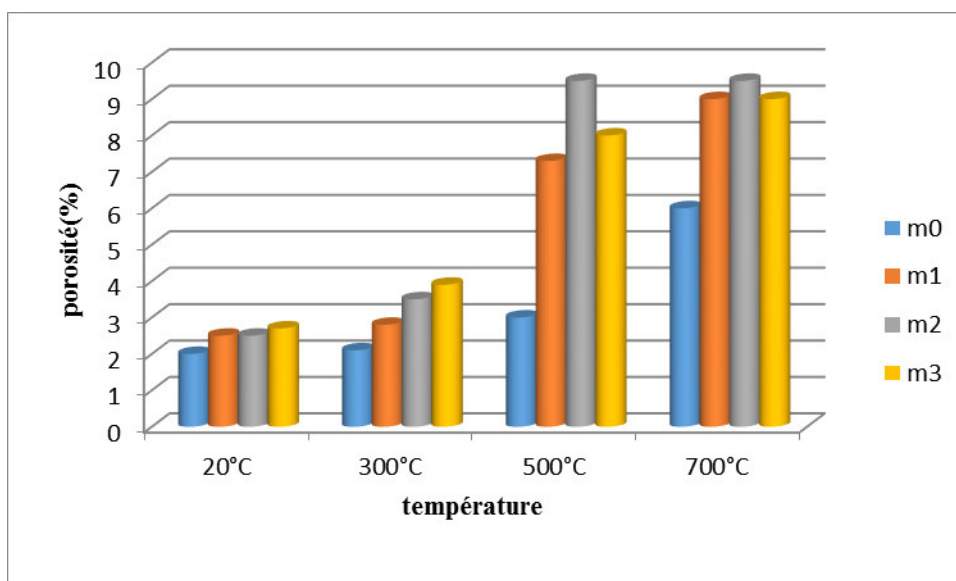


Fig. IV. 14 la porosité en fonction de la température à 7 jours

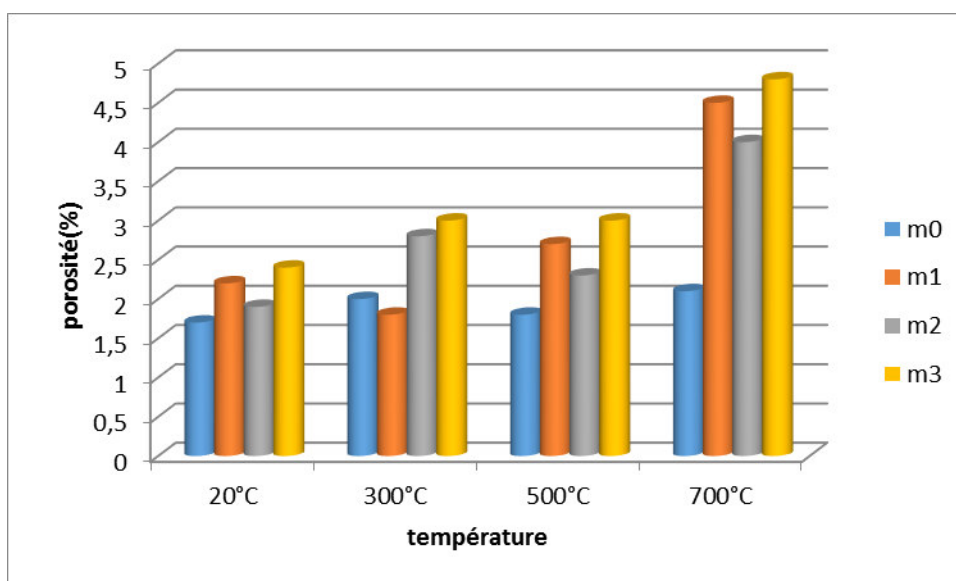
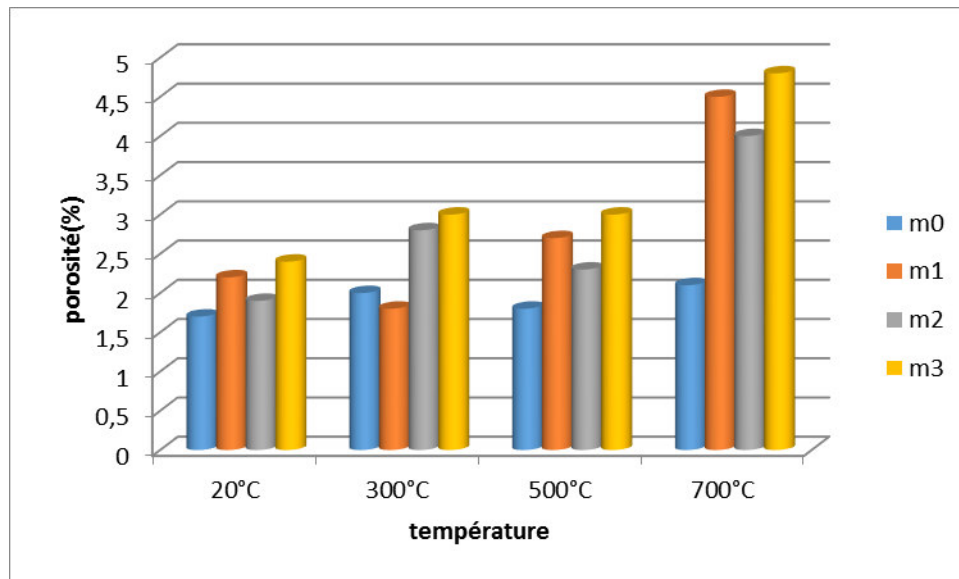


Fig. IV. 15 la porosité en fonction de la température à 14 jours



**Fig. IV. 16 la porosité en fonction de la température à 28 jours**

A partir des résultats obtenus on observe que les mortiers à 20 °C (la température ambiante) présentent une faible porosité. Cela est dû à la forte homogénéité et reproductibilité des mortiers.

Les figures IV.14, IV.15, IV.16, montrent les valeurs moyennes de la porosité relative obtenues à partir des éprouvettes des mortiers avant et après exposition à des températures élevées. On constate que la porosité des mortiers augmente avec l'augmentation de la température pour tous les mortiers, elle est de l'ordre de 9% à 300 °C et de 14% à 700 °C.

Entre 20 °C et 300 °C, la porosité du mortier varie très peu, ce qui indique que la structure poreuse de chaque mortier n'est pas significativement modifiée. Cette observation est également notée par A [52]. Une augmentation de la température de chauffage allant de 500 °C à 700 °C, conduit à une faible augmentation (11%, 6%) de la porosité du mortier de brique fibré.

#### **IV.4 Evolution de la surface fissurée des éprouvettes en mortier**

##### **Après un cycle chauffage refroidissement :**

Sous l'influence des hautes température, des fissures et dommages apparaissent dans les formes de l'éprouvette, comme on la voit sur la figure IV.18, IV.17, ou des fissures sont apparues dans l'œil à la surface des échantillons après un cycle de chauffage de 700°C.



**Fig. IV. 17 Échantillons de mortier exposés à haute température (500 °C et 700 °C)**



**Fig. IV. 18 L'aspect des éprouvettes prismatique du mortier de fibres métalliques à la sortie du four (300 °C, 500°C et 700 °C)**

D'après les figures IV.18, IV.17 on observe des changements de couleur sont survenus à la surface des échantillons de mortier en raison des effets de haute température. À la suite de ces changements de couleur, il est possible d'évaluer absolument la gamme de valeurs de température. On peut voir aussi que les fissures, la rupture et les changements de couleur sont produits beaucoup plus dans les échantillons de béton exposés à 700 ° C que dans ceux à 300 ° C et 4500 °C. La surface des spécimens a été observée après exposition à différents niveaux de température et leur refroidissement à température ambiante

#### **IV.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, avec différentes températures 20° 300°500° 700° et On nous avons examiné la résistance mécanique à la compression et à la flexion et la traction aussi la perte de masse et retrait et les ultrasons, Porosité et Volume des éprouvette de mortier additionnée de poudre de brique et de fibre métallique qu'on a présenté sous forme de courbe.

# **Conclusion générale**

### Conclusion Générale

L'objectif de ce travail de recherche était de contribuer de façon expérimentale à une meilleure connaissance du comportement du mortier porté à hautes températures et de l'influence des fibres de métalliques. Des corps d'épreuve de mortiers avec ou sans les fibres ont été confectionnés.

Sur la base des résultats obtenus nous avons établi les conclusions suivantes :

- ✓ L'utilisation de fibres augmente la ductilité du mortier, c'est-à-dire ses caractéristiques en post fissuration, ainsi que l'amélioration de ces caractéristiques mécaniques (la résistance à la traction et la résistance à la compression).
- ✓ Le recyclage de brique a pour but d'avoir une poudre présente un effet bénéfique pour le mortier (réaction pouzzolanique), ce bénéfice présent sous forme des résistances importantes et une durabilité accrue.
- ✓ L'ouvrabilité du mortier diminue avec l'augmentation du volume de brique lié à leur finesse et l'augmentation du teneur de la fibre métallique liée à la vibration insuffisante.
- ✓ Le renforcement par les fibres métalliques est très important dans la traction qu'en compression, à cause de la géométrie des fibres, la teneur et la forme de ces derniers.
- ✓ Les fibres métalliques peuvent être une solution ou bien une correction des résistances des mortiers confectionnés avec poudre de brique, l'augmentation de résistance est proportionnelle avec le croissement des teneurs de fibre métallique.
- ✓ On observe pour un dosage de 5% de fibres métallique, une évolution de la résistance à la compression qui augmente par rapport aux dosages (1%,3%) de fibres et de mortier témoin.
- ✓ Le comportement des mortiers fibrés exposer aux hautes températures est similaire de celui du mortier témoin. Pour tout le mortier, on observe après une augmentation importante de la résistance en compression entre 20°C et 300°C. Au-delà de 300°C, on observe une diminution importante de la résistance en compression relative pour tous les mortiers. A 700°C, les valeurs de résistance sont faibles.
- ✓ À la traction les fibres jouent un rôle très important dans l'amélioration du comportement sous l'effet de la température appliquée.
- ✓ L'ajout des fibres métalliques dans le mortier engendre une amélioration des propriétés mécaniques aux températures 300°C, 500°C et 700°C. Le gain sur la résistance en traction est meilleur que sur la résistance en compression après le chauffage à 500°C. Les fibres métalliques sont utilisées dans le mortier pour améliorer sa ductilité. Les essais réalisés en compression comme en traction montrent un bon comportement ductile du mortier de fibres métalliques non seulement à température ambiante mais aussi à la suite des différents cycles de chauffage-refroidissement.

- ✓ La vitesse des ondes soniques de tous les bétons diminue avec l'augmentation de température, et un processus d'accélération dans la diminution de la vitesse des ondes soniques est observé dans la plage de 300 à 700 °C. Dans cette plage de température, la vitesse des ondes soniques des mortiers contenant du brique présente les valeurs les plus faibles que celles des mortiers contenant du poudre de brique avec 2%FM.

### Recommandations et perspectives

A la lumière des résultats obtenus dans cette étude, des recommandations et des perspectives peuvent être énumérée à savoir :

- ❖ Une étude sur l'effet de la géométrie, et la disposition (orientation des fibres dans la matrice) sur les propriétés physicomécaniques des mortiers exposé aux hautes températures.
- ❖ Une étude sur l'amélioration des propriétés rhéologique des mortiers fibrés.
- ❖ Effet de l'introduction des fibres sur la porosité des mortiers exposé aux hautes températures.
- ❖ Une étude de l'adhérence des fibres avec les matrices cimentaires.  
Une étude complémentaire des microstructures des mortiers élaborés (MEB-D-RX)

# **Références Bibliographiques**

- [1]. CNERIB 'Valorisation des déchets de construction ' Rapport interne, Algérie, 2002.
- [2] Khelaifa Hamad et TAGBA Maléki, Etude expérimentale sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc, de déchets de brique et d'adjuvant résineux, mémoire de master à l'Université de Guelma, 2015.
- [3] 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.
- [4]. Chadi Lamis Rabiaa, Etude de l'influence d'un adjuvant entraîneur d'air sur la rhéologie des mortiers, (thèse de Master), université de M'sila, Année universitaire 2016/2017.
- [5]: William.d, Callister.JR « Science et génie des matériaux » modulo Editeur, 2001.
- [6] Messaouda Belouadah, Zine El Abidine Rahmouni , Nadia Tebbal - Combined correlation between concrete compressive strength, sclerometer and ultrasonic velocity. 1. International hasankeyf scientific research and innovation congress. 06 - 07 NOVEMBER 2021 / BATMAN
- [7]. R. DUPAIN, R. LANCHON, J-C. SAINT-ARROMAN <<Granulat, sols, ciment et béton>> Edition
- [8] livres rédigés par les meilleurs experts BTP en construction génie civil et architecture.
- [9]. BENCHIHEUB Djihen « Contribuion a l'étude de la comprehension des phénomènes et mécanismes d'action des effets des additions sur le comportement des matris cimentaires » thèse de doctorat, Université 20 Août 1955-Skikda, Année 2018/2019.
- [10]. Melle DAD Celia « Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés » Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Année 2018/2019.
- [11] GC1712, « Durabilité ET réparation du béton ». Département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 200
- [12]: SAmal Soumia "Formulation d'un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle " soumis à températures élevées" MEMOIRE de MASTER Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE Université Mohamed Boudiaf – M'sila 2015/2016.
- [13] NF P 15-317(Sep 1995) Liants Hydrauliques- ciment pour travaux à la mer.
- [14] XP P 15-319 (Sept 1995) Liants Hydraulique- ciment pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.
- [15] NF EN 480-5 (Nov 1996) adjuvants pour béton mortier coulis-Méthodes d'essai- détermination de l'absorption capillaire (indice de classement P 18-314).

- [16] Djelouahi h., 2016/2017, Influence des fibres vegetales sur les proprietes physico-Mecaniques d'un beton, memoire de fin d'etudes en vue de l'obtention du diplome de master, Universite M'hamed Bougara-Boumerdes faculté des sciences de l'ingénieur.
- [17] Fissuration en béton avec référence particulière au béton à haute performance, Touhami TAHENNI ; USTHB, Algerie - Magister en Génie Civil 2006, Désigner sur : [http://www.memoireonline.com/01/09/1871/m\\_Fissuration-en-beton-avec-reference-particuliere-au-beton--haute-performance42.html](http://www.memoireonline.com/01/09/1871/m_Fissuration-en-beton-avec-reference-particuliere-au-beton--haute-performance42.html)
- [18] Impact de L'ajout des fibres métalliques sur la résistance des structures en béton à haute performance, Mémoire de Magistère, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, BERRADIA Mohammed 2012, 147 Page ; Désigner sur : <http://dspace.univchlef.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/99/1/BERRADIA%20Mohammed.pdf>
- [19]Serifou M, « Béton à base de recyclats : influence du type de recyclats et rôle de la formulation ».Thèse de Doctorat, Université Felix houpouet boigny et l'Université de Bordeaux 1, Décembre 2013.
- [20] Les litrons de vin français dits « à étoile », normalisés, étaient acceptés indifféremment par n'importe quel fournisseur. « Litre 6 étoiles », sur : [www.abcdvin.com](http://www.abcdvin.com)
- [21] Akhtaruzzaman A.A et Hasnat, « Properties of Concrete Using Crushed Brick As aggregate », concrete international, Vol. 5, N°. 2, Feb.1983, p. 58 – 63
- [22] Devenny A et Khalaf F.M, «The Use of Crushed Brick as Coarse Aggregate in concrete » masonry international, Vol.12, N°. 3, Feb. 1999, p. 81–84.
- [23]Ramachandran,V.S. «Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton ». Division des recherches en construction, CBD- 215-F, conseil national de recherches Canada juin 1981.
- [24] Kleinlogel A, « Influence des divers éléments physico - chimique sur les Bétons ». Edition Dunod, Paris, 1960, p. 75 140.
- [25] Bouwmaterailen "", [en ligne], 2004, disponible sur : [http://www.lessiusho.be/vipterm/databank\\_bouwmaterialen2.htm](http://www.lessiusho.be/vipterm/databank_bouwmaterialen2.htm)
- [26] guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement – annexe E "", service d'architecture et de génie - Services Gouvernementaux Canada, [en ligne], 2004, Disponible sur : [http://www.ercr\\_handbook\\_append-f.html](http://www.ercr_handbook_append-f.html)
- [27] Belouadah, Messaouda, Zine Elabidine Rahmouni, Nadia Tebbal, and Mokrani El Hassen Hicham. "Evaluation of concretes made with marble waste using destructive and non-destructive testing." In Annales de Chimie-Science des Matériaux, vol. 45, no. 5, pp. 361-368. 2021.
- [28]: PDF réalisé par Zile-Marie Durosier Richard Bonneville.

- [29]. M. Nicot Pierre. Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier, thèse de doctorat, université de Toulouse. 2008.
- [30] DeSa C., « Etude hydro-mécanique et thermo-mécanique du béton : influence des gradients et des incompatibilités de déformation », Thèse de doctorat, ENS de Cachan, 2007.
- [31] Fares H., « Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée », Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2009.[Réf] thèse doctorat EZIANE
- [32] Guillon. E., « Durabilité des matériaux cimentaires - Modélisation de l'influence des équilibres physico-chimiques sur la microstructure et les propriétés mécaniques résiduelles », ENS de Cachan.
- [33] Noumowé N. A., Clastres P., Debicki G., Costaz J. L., « Transit heating effect on high strength concrete », Nuclear Engineering and Design, vol. 166, p. 99-108, 1996.
- [34] Belouadah, Messaouda, Zine El Abidine Rahmouni, and Nadia Tebbal. "Experimental characterization of ordinary concretes obtained by adding construction waste (glass, marble)." Procedia Computer Science 158 (2019): 153-162.
- [35] Hassen, Sabeur. Etude du comportement du beton a hautes temperatures une nouvelle approche thermo-hygro-mecanique couplee pour la modelisation du fluage thermique transitoire. universite de marne la vallee : s.n., 2006.
- [36] GUERBAS NABIL, ATTALLAH OQBA. Etude de l'effet des températures élevées sur les propriétés mécaniques d'un béton autoplaçant renforcé par des fibres métalliques. Université Mohamed Boudiaf - M'sila : S.N., 2017.
- [37] M., Tsimbrovska. Dégradation des bétons à hautes performances soumis à des températures élevées. Evolution de la perméabilité en liaison avec la microstructure. Université Grenoble : s.n., 1998.
- [38] Abdelghani, Belarouci. Influence de la température sur le transfert des ions chlores dans les bétons. Université aboubekr belkaid - Tlemcen : s.n., 2011.
- [39] Hager, I. Gaweska. Comportement à haute température des bétons à haute performance - évolution des principales propriétés mécaniques. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris : s.n., 2004.
- [40] Kameche Zine El Abidine, Semcha Abdelaziz, Fatiha Kazi Aoual, M. Belhadji. EFFETS DES hautes températures sur le comportement du béton : application au revêtement des tunnels. abou bakr belkaid université of Tlemcen : s.n., 2009.

- [41] Fatiha Benslafa-Kazi Aoual, Abdelaziz Semcha, Zine El Adine Kameche. EFFETS DE l'élévation de la température sur les caractéristiques mécaniques du béton. Normale supérieure d'enseignement technique (enset oran) : s.n.
- [42] Peng Liu, Ying Chen, Zhiwu Yu, Rongling Zhang. Effect of Temperature on Concrete Carbonation Performance. 2019
- [43] Kanema Tshimanga, Mulumba. "Influence des paramètres de formulation sur le comportement à haute température des bétons." PhD diss., Cergy-Pontoise, 2007.
- [44] Martin Jooss, Hans W. Reinhardt. Permeability and diffusivity of concrete as function of temperature. Cement and Concrete Research. 2002.
- [45] M., Tsimbrovska. Dégradation des bétons à hautes performances soumis à des températures élevées. Evolution de la perméabilité en liaison avec la microstructure. Université Grenoble : s.n., 1998.
- [46] Fatmi Narimane, Tolba Asmaa. Recherche bibliographique et étude expérimentale sur la diffusion des ions chlorure dans le béton pouzzolanique sous l'effet de la température. Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent : s.n., 2019.
- [47] Forster S. W., « High-Performance Concrete - Stretching the Paradigm », Concrete International, Vol. 16, No. 10, p. 33-34, 1994.
- [48] Rahmouni, Zine El Abidine, Nadia Tebbal, and Imen Yamina Omri. "Effect of curing temperature in the alkali-activated brick waste and glass powder mortar and their influence of mechanical resistances." KnE Engineering (2020): 49-61.
- [49] El abidine Rahmouni, Zine, and Nadia Tebbal. "Influence de la nature des granulats sur le comportement rhéologique du béton à hautes températures." In MATEC Web of Conferences, vol. 11, p. 01010. EDP Sciences, 2014.
- [50] Tebbal, Nadia, Z. Rahmouni, and Mekki Maza. "Combined effect of silica fume and additive on the behavior of high performance concretes subjected to high temperatures." Mining Science 24 (2017).
- [51] Tebbal, Nadia, and Zine El Abidine Rahmouni. "Effects of high temperatures on mortar containing Portland cement and an Air-Entraining Agent." Academic Journal of Civil Engineering 37, no. 1 (2019): 92-96.
- [52] Belouadah, Messaouda, Zine El Abidine Rahmouni, and Nadia Tebbal. "Effects of glass powder on the characteristics of concrete subjected to high temperatures." Advances in concrete construction 6, no. 3 (2018): 311..

- [53] Belouadah, Messaouda, Zine El Abidine Rahmouni, and Nadia Tebbal. "Effects of glass powder on the characteristics of concrete subjected to high temperatures." *Advances in concrete construction* 6, no. 3 (2018): 311.
- [54] Belouadah, Messaouda, Zine El Abidine Rahmouni, and Nadia Tebbal. "Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement." *Procedia Computer Science* 158 (2019): 366-375.