

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



FILIERE : Génie Civil Matériaux
OPTION : Matériaux

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par:

Refice Sara

Zerrouki Imane

Intitulé

**L'influence de sable substitué par du brique
sur l'évolution des propriétés physiques et
mécaniques des mortiers soumis à de hautes
températures**

Soutenu devant le jury composé de:

Soutenu devant le jury composé de :

Dr Maza Mekki	Université de M'sila	Président
Dr Djebri Noura	Université de M'sila	Examineur
Pr. Rahmouni Zine El Abidine	Université de M'sila	Rapporteur
Dr. Belouadah Messaouda	Université de M'sila	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2020 /2021

Remerciement

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 pour m'avoir toujours poussé dans mes études, de m'avoir transmis les bonnes valeurs Merci, « Pr. Rahmouni ZineAbidine » et « Dr. 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 également tous les membres de jury d'avoir accepté de jugé, mes enseignants (es) du département de génie civil et les responsables du laboratoire. toutes personne qui nous a aidés de près ou de lion pour terminer notre travail. Et toutes mes amies de la promotion « Matériaux de construction » juin 2021. Et tous mes enseignants du département de génie civil.

Résumé :

Ce travail de recherche comprend une étude expérimentale de l'effet des hautes températures sur les propriétés mécaniques et physiques, des mortiers formulés avec un adjuvant de déchet de brique.

Le mortier a été exposé à trois composition de brique 10 % .20%. 30% avec un adjuvants a niveaux de températures élevées (200, 400 et 600) °C avec une montée en température de 10 °C/min, sans aucune charge imposée pendant le chauffage. Nous avons étudié ainsi les propriétés mécaniques, notamment: la résistance à la compression, à la traction par flexion ainsi que la perte de masse et les ultrasons et la porosité et la volume d'éprouvette.

Mots clés : Mortier, Résistance mécanique, Haute température, Perte de masse, déchet de brique.

Abstract

This research includes an experimental study of the effect of high temperatures on the mechanical And physical properties of mortars formulated with a brick waste admixture.

The mortar was exposed to three brick composition 10% .20%. 30% with adjuvant at high temperature levels (200, 400 and 600) °C with a temperature rise of 10 ° C / min, without any load imposed during heating.

We have studied mechanical properties such as : compressive strength, bending tensile strength, mass loss and the ultrasound and the porosity and the volume of the test piece.

Key words: Mortar, Mechanical resistance, High temperature, Loss of mass, brick waste.

ترجمة

يتضمن هذا البحث دراسة تجريبية لتأثير درجات الحرارة المرتفعة على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للملاط المصنوع من خليط نفايات الطوب.

تم تعريض الملاط لثلاث طبقات من الطوب بنسبة 10% .20%. 30% مع خليط عند مستويات درجة حرارة عالية (200 ، 400 و 600) درجة مئوية مع ارتفاع درجة الحرارة 10 درجات مئوية / دقيقة ، دون أي حمولة مفروضة أثناء التسخين. لذلك قمنا بدراسة الخصائص الميكانيكية ، على وجه الخصوص: مقاومة الانضغاط ، للجر عن طريق الانحناء وكذلك فقدان الكتلة والموجات فوق الصوتية والمسامية وحجم قطعة الاختبار.

الكلمات المفتاحية :الملاط ، المقاومة الميكانيكية،الحرارة العالية، فقدان الكتلة،نفايات الطوب

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1: Exemples de courbes granulométrique

Figure I.2: Les tamis de l'analyse granulométrique

Figure I.3:Essai d'équivalent de sable

Figure I.4 : Différents types d'ajouts minéraux

Figure I.5: Pouzzolane naturelle.

Figure I.6 : La fumée de silice

Figure I.7 : Le laitier de haut fourneau

Figure I.8 : Laitier de haut fourneau

Figure I.9 : Laitier d'acier

Figure I.10 : Cendre Volant

Figure I.11 : ATD (analyse thermique différentielle) du gel CSH, C/S=1

Figure I.12 : Transformations principales dues à la température entre la température ambiante et la température de la destruction du matériau béton

Figure I.13 : Courbes ATD des différents types de granulats.

Chapitre II

Figure II.1 : déchet de brique

Chapitre III

Figure III.1:essai de masse volumique absolue de sable

Figure III .2: Essai de masse volumique absolue de sable

Figure III .3:colonne des tamis

Figure III.4:tamiseur électrique

Figure III.5:La courbe granulométrique de sable

Figure III.6: Principe de l'équivalent de sable.

Liste des figures

Figure III.7: Essai de l'équivalent de sable.

Figure III.8: adjuvant MEDAPLAST SP 40

Figure III.9: Déchet de brique rouge

Figure III.10: La courbe granulométrique de sable de brique

Figure III.11: Essai de analyse granulométrique de sable de brique

Figure III.12: Essai de équivalent de sable de brique

Figure III.13: Moule prismatique ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$).

Figure III.14: Moule cubique ($4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$).

Figure III.15: Table vibrant (table de choc).

Figure III.16: Balance.

Figure III.17: Conservation les éprouvettes dans l'eau.

Figure III.18: les éprouvettes dans le four

Figure III.19: Mesure de la fluidité du mortier.

Figure III.20: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Figure III.21: Appareil de flexion.

Figure III.22: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.

Figure III.23: Appareil de compression.

Figure III.24: des éprouvettes

Figure III.25: pied à coulisse digital

Figure III.26: Appareil d'ébullition

Figure III.27: Appareil de porosité

Figure III.28: Appareil d'ultrasons

Figure III.29: Appareil de retrait

Liste des figures

Chapitre IV

Figure IV.1: E/C en fonction de type de mortier

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

Figure IV.3: Résistance mécanique à la compression de 14 jours en fonction de la température

Figure IV.4: Résistance mécanique à la compression de 28 jours en fonction de la température

Figure IV.5 : Résistance à la flexion de 7 jours en fonction de la température

Figure IV.6 : Résistance à la flexion de 14 jours en fonction de la température

Figure IV.7 Résistance à la flexion de 28 jours en fonction de la température

Figure IV.8 : Résistance à la traction de 7 jours en fonction de la température

Figure IV.9 : Résistance à la traction de 14 jours en fonction de la température

Figure IV.10 : Résistance à la traction de 28 jours en fonction de la température

Figure IV.11: Perte de masse de 7 jours en fonction de la température

Figure IV.12: Perte de masse de 14 jours en fonction de la température

Figure IV.13: Perte de masse de 28 jours en fonction de la température

Figure IV.14 : Retrait 20°C de 7 et 14 et 28 jours en fonction de la type de mortier

Figure IV.15 : les ultrasons de 7 jours en fonction de la température

Figure IV.16 : les ultrasons de 14 jours en fonction de la température

Figure IV.17 : les ultrasons de 28 jours en fonction de la température

Figure IV.18 : volume des éprouvette de 7 jours en fonction de la température

Figure IV.19 : volume des éprouvette de 14 jours en fonction de la température

Figure IV.20 : volume des éprouvette de 28 jours en fonction de la température

Figure IV.21 : la porosité de 7 jours en fonction de la température

Figure IV.22 : la porosité de 14 jours en fonction de la température

Figure IV.23 : la porosité de 28 jours en fonction de la température

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: module de finesse.

Tableau I.2: Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle

Tableau I.3: Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle

Tableau I.4: Composition chimique type de laitiers de haut fourneau

Tableau I.5: Dosages des mortiers.

Chapitre II

Tableau II.1 Composition chimique de la brique réfractaire

Chapitre III

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

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

Tableau III.3: Masse volumique apparente du sable à l'état compact.

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

Tableau III.5: La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable.

Tableau III.6: Résultats obtenus pour l'équivalent de sable.

Tableau III.7: Teneur en eau de sable utilisé.

Tableau III.8: Caractéristiques de MEDAPLAST SP 40

Tableau III.9: Caractéristiques chimiques de l'eau.

Tableau III.10: Masse volumique absolue du sable(brique)

Tableau III.11: Masse volumique apparente du sable de brique à l'état lâche

Tableau III.12: Masse volumique apparente du sable de brique à l'état compact

Tableau III.13: Résultat de analyse granulométrique de sable de brique

Liste des tableaux

Tableau III.14: La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable de brique

Tableau III.15: Equivalent du sable de brique

Tableau III.16: liste de description de mortier

Tableau III.17: liste des différents mortier étudiés en (%)

Tableau III.18: Composition des différents mortier

.

Liste des symboles et abréviations utilisées

p_{app} : La masse volumique apparente.

p_{abs} : La masse volumique absolue.

E.S.V : Equivalant de sable visuel.

E.S.P : Equivalant de sable piston.

P(%) : Porosité.

C(%) : Compacité.

e : Indice des vides.

E/C : Rapport d'eau (par rapport du ciment).

R_i : refus cumulé en pour cent (%).

M_f : Module de finesse.

F : Charge maximal à la compression.

S : Section de l'éprouvette.

R_c : la résistance à la compression.

R_f : résistance à la flexion

R_t : résistance à la traction

Sommaire

Remerciement

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction général

Chapitre I : Mortiers et valorisation des déchets de brique

I-1-1-Définition:	17
I-1-2-constituants des mortiers:	17
I.1.2.1. Le Liant:	17
I.1.2.2. Le Sable:	18
I.1.2.2.1.Origines de sable:	18
I.1.2.2.2. Granulométrie:	18
I.1.2.2.3. Rôle de sable dans le mortier:	19
I.1.2.2.4. Les essai sur sable:	19
I.1.2.3.L'eau de gâchage:	21
I.1.2.4.Les additifs:	22
I.1.2.4.1.Addition minérales:	22
I.1.3. Classification des mortiers	27
I.1.3.1. Classification générale des mortiers:	27
I.1.3.2. Classes des mortiers:	28
I.1.4. Préparation des mortiers:	29
I.1.5.Les propriétés physicomécaniques des mortiers:	30
I.1.5.1.La masse volumique:	30
I.1.5.2. Porosité:	30

Sommaire

I.1.5.3.Absorption d'eau :	30
I.1.6.Le Rôle et domaine d'utilisation des mortiers:	31
I.2.Valorisation des déchets de brique :	33
1.Recyclage: :	32
I.2.1. Définition des déchets:	33
I.2.2. Origine de la production de déchets:	33
I.2.3. Constitution chimique du déchet:	34
I.2.4.Différents types des déchets (Norme de classements des déchets):	34
I.2.5. Déchet utilisé en génie civil:	36
I.2.5.1. Laitiers de haut fourneau:	36
I.2.5.2. Laitier d'acier:	36
I.2.5.3. Cendres volantes:	37
I.3. La température:	37
I.3.1. Effets de la température sur la structure et les propriétés thermiques et physique du mortier:	38
I.3.2.Evolution des composants et de la structure du mortier:	38
I.3.2.1. Evolution de la pâte de ciment:	38
I.3.2.2.Evolution des granulats:	39
I.3.2.3.Perte de masse:	43
I.3.2.4. Coefficient de dilatation thermique:	43
I.4. Conclusion :	44

Chapitre II: Déchet de brique

II.1-Introduction:	46
II.2-Définition de déchets de brique :	46
II.3-Composition chimique des déchets de brique :	47
II.4-Valorisation des déchets de brique :	47

Sommaire

II.4.1 Recyclage:	47
II.5-Propriétés des bétons des déchets de brique :	48
II.6 Utilisations des bétons des déchets de brique	49
II.7. Avantages et inconvénients d'utilisation des briques	50
II.7.1 Avantage	50
II.7.2. inconvénient	50
Conclusion	50

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux utilisés

III.1-Introduction:	52
III.2- Les matériaux utilisés:	52
III .2.1. Le ciment:	52
III .2.2. Le sable:	53
III .2.3. Super plastifiant:	61
III.2.4. Eau de gâchage:	62
III.2.5. Brique:	63
III .2.5. Caractéristiques physiques de sable de brique utilisé:	64
III.3. Formulation de mortier normal:	67
III.4. Composition des différents mortiers :	67
III.5. Préparation des éprouvettes ::	69
III.6. Conservation des éprouvettes:	69
III.7. Cure appliquée [NF P 18-404]	70
III.8. Essai de chauffage	70
III.9. Essais A l'état frais des mortiers:	71

Sommaire

III.10. Essais à l'état Durci:	72
III.11. Estimation de la perte de masse :	74
III.12. Volume d'éprouvette :	75
III.13. Essais de porosité :	76
III.14. Essais non destructifs	77
Conclusion :	78

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV.1 Introduction :	81
IV.2. Résultats des essais à l'état frais :	81
IV.3. Résultats des essais à l'état durci	82
IV.4. Evolution de la surface fissurée des éprouvettes en mortier après un cycle chauffage refroidissement :	97
Conclusion :	98
Conclusion général:	100
Référence Bibliographiques	102

Introduction général

Dans toute les constructions, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de:

- ✚ Solidariser les éléments entre eux.
- ✚ Assurer la stabilité de l'ouvrage.
- ✚ Combler les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants et le 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, La brique est conçue pour résister à la chaleur. Selon son utilisation ,la brique a également la capacité de restituer la chaleur. Nous pouvons également utiliser les déchets comme solution pour les régions où les granulats naturels font défaut dans le domaine de construction. Elévation de la température influant sur la résistance mécanique du béton et des mortiers du fait des désordres résultants d'une part, de la dilatation thermique, et d'autre part, de la transformation physique et chimique des granulats. Notre étude consiste à suivre l'influence de sable substitué par du brique sur l'évolution des propriétés physiques et mécaniques des mortiers soumis à de hautes températures

Objectif

Cette étude dans ce mémoire vise à atteindre l'objectif principal suivant:

L'influence de sable substitué par du brique sur l'évolution des propriétés physiques et mécaniques des Mortiers soumis à de hautes températures.

Introduction général

Structure du mémoire :

Notre mémoire est structuré en une introduction générale, quatre Chapitres :

- **1 ère chapitre** : Mortiers et valorisation des déchets de brique ;
- **2 ème chapitre** : Déchet De brique ;
- **3 ème chapitre** : Caractéristiques des matériaux utilisés ;
- **4 ème chapitre** : Résultats et interprétations.

Chapitre I :
Mortiers et valorisation des déchets
de brique

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

Introduction :

Le présent chapitre est une étude bibliographique des travaux de recherche sur l'ajout de brique dans la formulation d'un mortier soumis à une température élevée

I-1-Les mortiers:

I-1-1-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 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. [1]

I-1-2-constituants des mortiers :

Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

1. Liant (ciment ou chaux).
2. Sable.
3. Eau.
4. Adjuvants.

I.1.2.1. 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.

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

I.1.2.2. Le Sable :

Le sable est un matériau indispensable pour la fabrication du mortier. Il forme la structure du mortier. Le ciment, et éventuellement la chaux, assure la liaison des grains de sable.

Pour le mortier de maçonnerie, on utilise en général du sable mi-grossier et grossier dont la granulométrie se situe strictement entre 0,5 mm et 2 mm.[3]

I.1.2.2.1.Origines de sable:

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

Le sable a de nombreuses applications en tant que matériau granulaire, dont la principale est la fabrication du béton. C'est une ressource non renouvelable [4]. Le sable de base de notre recherche provient des abords de l'OUED MAITER. Cet oued est situé entre les collines de BOUSAADA, dont le vent provient du sud est chargé de grains fins.

I.1.2.2.2. Granulométrie:

La granulométrie est l'étude de la distribution statistique des tailles d'une collection d'éléments finis de matière naturelle ou fractionnée. L'analyse granulométrique est l'ensemble des opérations permettant de déterminer la distribution des tailles des éléments composant la collection. La distribution granulométrique est la représentation sous forme de tables, de nombres ou de graphiques, des résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique. On associe parfois à l'analyse granulométrique l'analyse de la distribution statistique de la forme des grains, il s'agit de la granulomorphie.

On utilise aussi le terme granulométrie pour décrire qualitativement la taille moyenne des grains (on dira par exemple qu'une roche a une granulométrie fine, ou grossière). On utilise aussi le mot granulométrie ou l'expression granulométrie moyenne comme synonyme

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

de « taille moyenne des grains » (on dira par exemple que la granulométrie (moyenne) d'une strate augmente ou diminue avec la profondeur). Principales méthodes de mesure:

1. Tamisage à sec : supérieur à 100 μm
2. Tamisage humide : supérieur à 30 μm
3. Sédimentométrie : 1 μm à 100 μm
4. Centrifugation analytique: 0,01 μm à 20 μm
5. Diffraction laser : 0,01 μm à 3 μm
6. Microscopie : 50 μm à 1 mm
7. Potentiel Zêta : 3 nm à 10 μm [5]

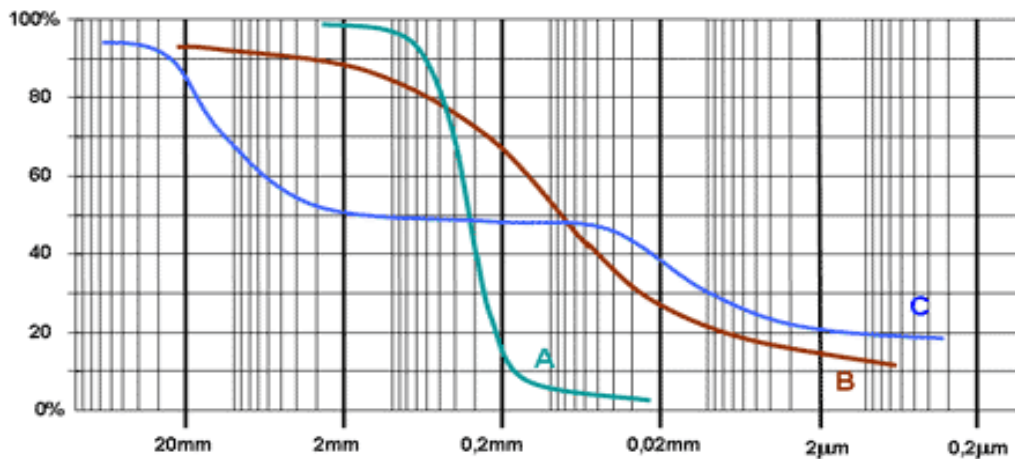


Figure 2. 2 : Exemples de courbes granulométriques :
A – granulométrie uniforme
B – granulométrie étalée
C – granulométrie discontinue

Figure I.1: Exemples de courbe granulométrique

I.1.2.2.3. Rôle de sable dans le mortier:

Le sable est un matériau indispensable pour la fabrication du mortier. Il forme la structure du mortier. Le ciment, et éventuellement la chaux, assure la liaison des grains de sable. [6]

I.1.2.2.4. Les essais sur sable:

✚ Analyse granulométrique:

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.[7]

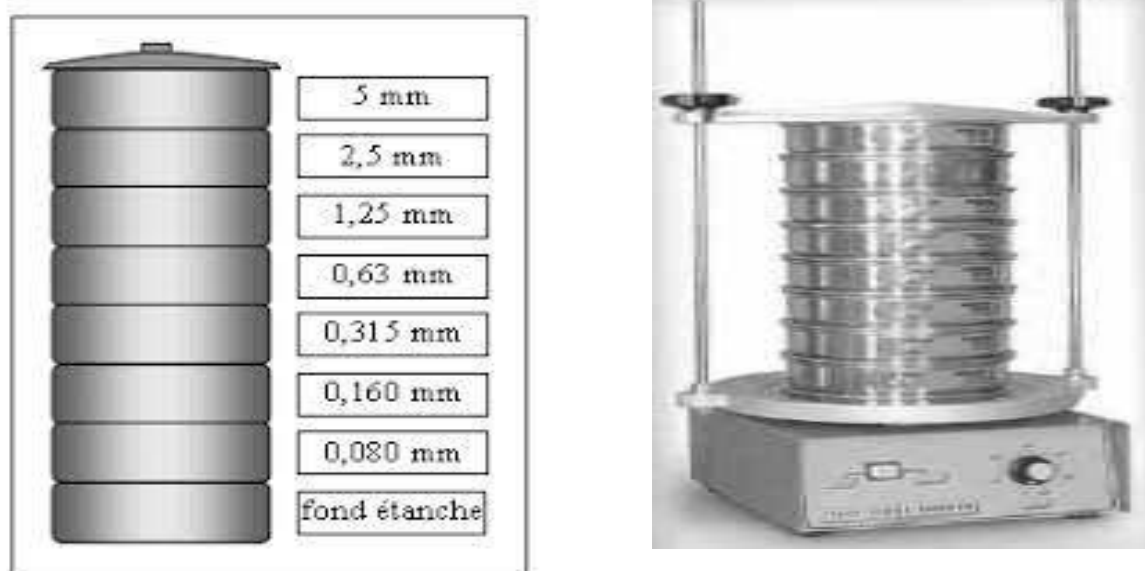


Figure I.2: Les tamis de l'analyse granulométrique

✚ Module de finesse :

Le module de finesse (Mf) est une facture très importante qui nous de juger la qualité du sable, est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm il est donné par la relation suivant :

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

Tableau I.1 : Module de finesse

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

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

❖ Essai d'équivalent de sable:

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propriété d'un sable ou d'une grave. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur. On parle d'« essai d'équivalent de sable piston » ou, plus simplement, d'« essai d'équivalent de sable ». On mesure ensuite :

- ❖ la hauteur h_1 = sable propre + éléments fins
- ❖ la hauteur h_2 = sable propre.

L'équivalent de sable déduit s'écrit :

$$ES = (h_2/h_1)100[8]$$

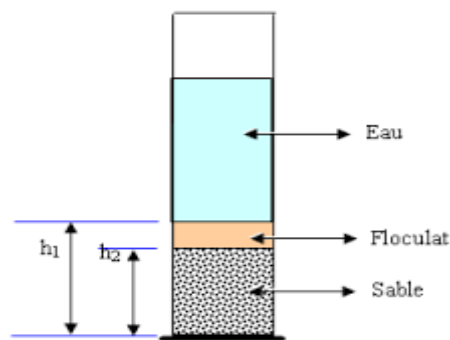


Figure I.3: Essai d'équivalent de sable

I.1.2.3.L'eau de gâchage:

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont Précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [9]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

I.1.2.4. Les additifs:

I.1.2.4.1. Les adjuvants:

Ils se présentent sous forme de liquide ou de poudre et sont additionnés en faible quantité (0,5 litre pour 35 kg de ciment utilisé) dans le mélange eau, sable et liant. Ils améliorent la résistance et ajoutent certaines propriétés au mortier.

Les différents types d'adjuvants que nous pouvons rencontrer sont :

- Les plastifiants qui permettent d'accroître l'homogénéité et l'élasticité du mortier
- Les fluidifiants qui favorisent l'humidification des grains de ciment
- Les colorants qui changent radicalement la couleur du mortier selon vos préférences
- Les entraîneurs d'air qui permettent d'augmenter la résistance au gel, aux intempéries et aux eaux agressives
- Les accélérateurs de prise qui entraînent l'hydratation rapide des grains de ciment. Ils sont à utiliser en temps froid pour accélérer la prise et assurer le durcissement complet du mortier.
- Les retardateurs de prise ayant l'effet contraire que l'accélérateur de prise. Ils sont à utiliser durant les temps exceptionnellement chauds et secs. Notons que l'ajout d'adjuvant lors de la fabrication du mortier n'est pas indispensable.

I.1.2.4.2. Addition minérales:

Selon la norme NF EN 197 1, les ajouts minéraux sont classés par deux types :

- Ajouts minéraux inertes
- Ajouts minéraux actifs (naturels ou artificiels).

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

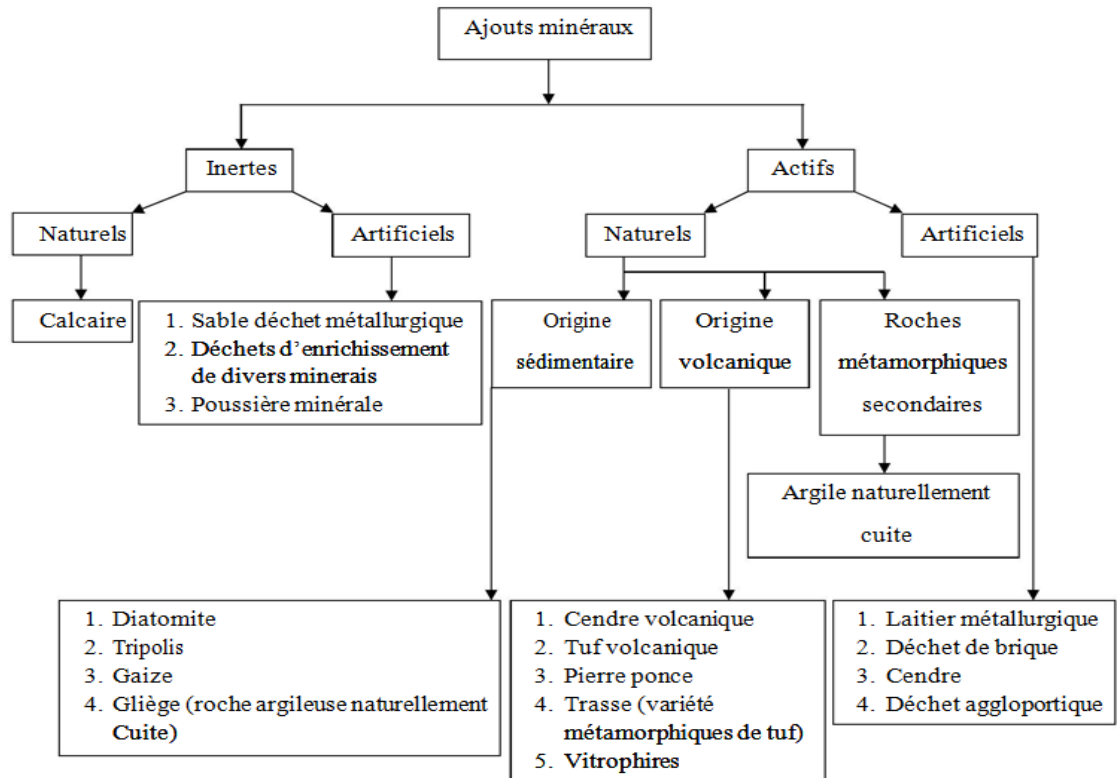


Figure I.4 : Différents types d'ajouts minéraux [10]

✚ Ajouts minéraux inertes:

Les déchets inertes sont principalement des déchets minéraux produits par l'activité de construction (BTP, industrie de fabrication de produits de construction)

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique, améliorent les propriétés physiques du ciment Portland [11]

✚ Fillers calcaires :

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, Cendres volantes ...etc.).[10]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

➤ Ajouts minéraux actifs :

✚ .La pouzzolane :

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir présence D'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes.[10]

Les normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans Fabrication des ciments :

✚ Pouzzolane naturelle:

Est produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolanique ..[10]



Figure I.5: Pouzzolane naturelle.

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

Tableau I.2: Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle [12]

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

Tableau I.3: Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle[12]

Les composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₄	Cl	P.F	Total
Les teneurs (%)	74.48	12.83	1.51	3.92	0.34	Nul	Nul	0.21	100.29

Pouzzolane artificielle:

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés po Les roches traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite et moles.[12]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

✚ La fumée de silice :

La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium, d'alliages de ferrosilicium ou de zircon. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de ferrosilicium). Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique un composé gazeux. Sion se forme (13) et s'échappe vers la partie supérieure du four. Il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice SiO_2 , ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage.[12]



Figure I.6 : La fumée de silice

✚ Le laitier de haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut être mieux l'appeler est un sous-produit de fonte brusquement refroidi par aspersion la fabrication de la d'eau, c'est un matériau hydraulique lorsqu'il se présente sous forme de nodules est activé. Il dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium l'ordre dans des proportions de de 40 à 50de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments les mêmes étant pratiquement que ceux du clinker. D'un point de vue chimique, les laitiers ont une composition relativement constante à laquelle le métallurgiste porte une certaine attention puis que tout écart par rapport à cette composition chimique optimale se traduit par une augmentation des couts énergétiques assez importants et donc à des coûts de production plus élevés pour la fabrication de la fonte.

Le laitier est fondu à une densité beaucoup plus faible(de l'ordre de 2.8) que celle de la fonte(qui est supérieure à 7.0) de telle sorte que le laitier fondu flotte au-dessus de la fonte fondue au bas du haut fourneau si bien que l'on peut soutirer ces deux liquides séparément.[12]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique



Figure. I.7: Le laitier de haut fourneau

Tableau I.4: Composition chimique type de laitiers de haut fourneau[12]

OXYDES	Laitier français	Laitiernord U S A	Laitier algérien
SiO ₂	29 à 36	33 à 42	38 à 42
Al ₂ O ₃	13 à 19	10 à 16	8 à 12
CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
Fe ₂ O ₃	4%	0.3 à 20	2.0
MgO	6%	3 à 12	4.7
S	1.5%	/	0.15

I.1.3. Classification des mortiers:[9]

La classification des mortiers est comme suite:

I.1.3.1. Classification générale des mortiers:

- Selon leur domaine d'utilisation:

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

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

1. Mortier de pose.
2. Mortier de joints.
3. Mortier pour les crépis
4. Mortier pour le sol.
5. Mortier pour les stucs.
6. Pierres artificielles.
7. Support pour les peintures murales.
8. Mortier d'injection.
9. Mortier pour les mosaïques.
- 10 Mortier de réparation pour pierres

a. **Selon la nature du liant:**

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

- 12 Mortier de ciment portland.
- 13 Mortier de chaux.
- 14 Mortiers bâtards.
- 15 Mortier à base de ciment de maçonnerie.
- 16 Les Mortier réfractaire.
- 17 Les Mortier rapide.
- 18 Les Mortier industriel.

I.1.3.2. Classes des mortiers :

- **Classe 1:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3:** Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
- **Classe 4:** Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5:** Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 6:** Adjuvant modifiant des propriétés spéciales. [9]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

I.1.4. Préparation des mortiers :

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

Tableau I.5: Dosages des mortiers.

Sable	Ciment	L'eau
Unité(g)	Unité(g)	Unité(g)
1350	500	300

- 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. [9]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

I.1.5. Les propriétés physicomécaniques des mortiers:

• I.1.5.1. La masse volumique:

La masse volumique d'un liquide ou d'un solide est la masse de matériau par unité de volume. Elle est notée μ (« mû ») ou ρ (« rhô ») et est déterminée par la relation : $\rho = m/v$.

- L'unité de ρ dépend des unités choisies pour la masse m et le volume V :
- m en kilogramme et V en litre : ρ en kg/L .
- m en gramme et V en millilitre : ρ en g/mL .
- On peut également écrire, à l'aide d'un produit en croix, l'expression de la masse : $m = \rho \times V$.
- Mesure de la masse volumique d'un matériau:
- Pour un liquide : on mesure la masse d'un certain volume de liquide. Pour cela, on place sur une balance une éprouvette graduée contenant le liquide. Grâce à la balance, on mesure la masse m (penser à tarer la balance). Grâce à l'éprouvette graduée, on mesure le volume V . On en déduit la masse volumique ρ par le calcul.
- Pour un solide : on détermine le volume V du solide, puis on mesure sa masse m à l'aide d'une balance.[13]

I.1.5.2. Porosité:

Cette technique permet de déterminer le volume de la porosité accessible à l'eau, donc la porosité capillaire. La méthode consiste en la réalisation d'une série des pesés du matériau saturé d'eau, à sec et par pesée hydrostatique. [14]

I.1.5.3. Absorption d'eau:

La capacité d'absorption d'eau (CAE) des matériaux de constructions est leurs pouvoirs d'absorber et de retenir l'eau. elle se caractérise par la quantité d'eau absorbée par un matériau sec entièrement immergé dans l'eau et s'exprime en pourcentage de la masse (capacité d'absorption massique) ou du volume (capacité d'absorption volumique). Elle se calcule d'après la formule suivante:

$$CAE = \frac{m_{sat} - m_{sec}}{m_{sec}} * 100\%$$

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

Où :

m sat : la masse du matériau saturé d'eau

m sec : la masse du matériau sec

La CAE varie principalement en fonction du volume des pores, de leurs types et de leurs dimensions. Elle est aussi influencée par la nature de la substance et son pouvoir hydrophile.

La CAE des mortiers de finissage à agrégats en sable de quartz, pas plus de 8 % ; et celle des mortiers à agrégats en roches de 12 % au maximum.[15]

I.1.5.4.Résistances mécanique:

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

Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours). Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs:

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours. [9]

I.1.6.Le Rôle et domaine d'utilisation des mortiers:

Le rôle des mortiers varie suivant la nature des ouvrages. Les mortiers permettent notamment de :

- revêtir les murs à travers les enduits intérieurs
- assurer une protection contre les intempéries (infiltration d'eau) par les enduits extérieurs
- niveler les surfaces de béton par l'intermédiaire des chapes

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

- garantir la liaison des éléments en maçonnerie
- transmettre les charges avec les joints, que ce soit des joints verticaux, inclinés ou Horizontaux pour le cas du mortier de maçonnerie,

Nous pouvons distinguer trois types de mortiers :

1. Les mortiers pour application courante : on l'utilise généralement pour les enduits extérieurs et intérieurs mais également pour les joints des maçonneries fortement chargées.
2. Les mortiers légers pour l'élévation des éléments de maçonnerie.
3. Les mortiers pour maçonnerie à joints minces : ce type de mortier est utilisé pour l'élévation mais surtout pour donner à la façade une allure plus esthétique sans avoir recours à un enduit.[3]

I.2.Valorisation des déchets de brique :

1. 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. [22]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

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

- ❖ **Réduire** : Qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets .
- ❖ **Réutiliser** : Qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- ❖ **Recycler** : Qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.[23]

I.2.1. Définition des déchets :

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. [24]

I.2.2. Origine de la production de déchets :

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- ✓ Biologiques : tout Cycle de vie produit des métabolites ;
- ✓ Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- ✓ Economiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- ✓ Ecologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement ; d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

- ✓ Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets. [25]

I.2.3. Constitution chimique du déchet :

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles de produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux. [26]

I.2.4. Différents types des déchets (Norme de classements des déchets) :

I.2.4.1. Déchets ménagers et assimilés (DMA) :

Correspondant à ceux produits par l'activité domestique des ménages, les déchets assimilés sont issus des commerces, de l'artisanat, des bureaux et des industries (verre, papiers, emballage, métaux ...etc.). Ils sont collectés par les municipalités. Il existe des déchets ménagers spéciaux (DMS) : ce sont des déchets toxiques ou dangereux produits en faible quantité par les ménages (Solvant, peintures, les huiles minérales) et ne peuvent pas être éliminés. [27]

II.2.4.2 Déchets encombrants (DE) :

Tous déchets provenant des ménages qui par leur poids, leur dimension ou leur volume ne peuvent être chargés dans les véhicules de collecte avec les déchets ménagers ordinaires et qui doivent faire l'objet d'une collecte spéciale. [28]

II.2.4.3 Déchets spéciaux (DS) :

Tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent pas être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes. [29]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

II.2.4.4 Déchets spéciaux dangereux (DSD) :

Tous déchets spéciaux qui par constituants par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et /ou à l'environnement. [29]

II.2.4.5 Déchets inertes (DI) :

Ce sont des déchets qui ne subissent aucune modification en cas de stockage, ne se décomposent pas, ne se brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible de nuire à la santé humaine et d'entraîner une pollution de l'environnement. [30]

II.2.4.6 Déchets ultimes (DU) :

Est ultime un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. Le caractère ultime d'un déchet n'est pas fonction des caractéristiques "physicochimiques" du déchet mais s'apprécie en fonction du système global de collecte et de traitement. Cette notion est locale et doit normalement être précisée dans le cadre des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés. [31]

II.2.4.7 Déchets biodégradables :

Ce sont les déchets pour lesquels les facteurs abiotiques assurent seuls leur décomposition ; dans le cas où la décomposition est assurée par les micro-organismes (bactéries ou champignons), on parle des déchets biodégradables. Exemple la matière organique. [32]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

I.2.5. Déchet utilisé en génie civil :

I.2.5.1. Laitiers de haut fourneau :

Laitiers de haut fourneau : Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air libre et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom «laitier expansé». Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications. [33]



Figure. I.8 : Laitier de haut fourneau

I.2.5.2. Laitier d'acier :

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable, il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé. L'utilisation de ces laitiers est assez peu répandue en raison des problèmes de stabilité dimensionnelle. Des procédés de vieillissement/maturation se sont développés afin de maîtriser cette instabilité et des initiatives de valorisation, notamment en génie civil. Aussi, les risques environnementaux associés à l'utilisation des laitiers dans certaines filières sont encore peu connus. [33]



Figure I.9 : Laitier d'acier

I.2.5.3. Cendres volantes :

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granulats légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Elles sont issues de la combustion du charbon pulvérisé et poussé dans la chambre de combustion d'un four par des gaz d'échappement. Et sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace, du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage. Les cendres volantes sont classifiées selon leurs teneurs en CaO et du type du charbon brûlé. [33]

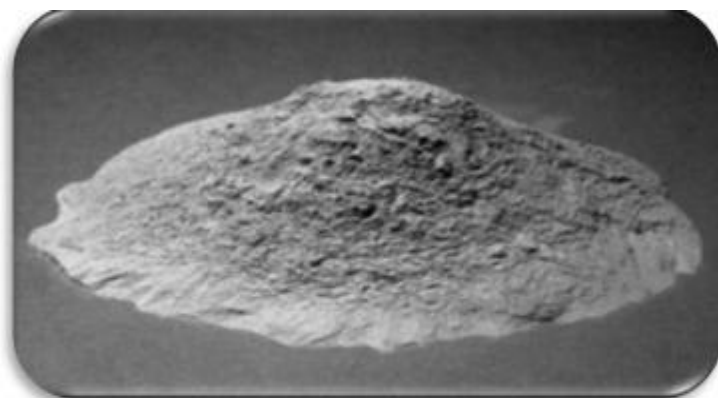


Figure I.10 : Cendre Volant

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

I.3. La température :

Une haute température accélère le développement de la résistance durant les premiers jours, et cela à cause de l'hydratation rapide du ciment, les défavorables de la température sur la résistance du béton, ont été détaillées par Verbeeck et Helmont. Ces derniers ont conclu que lorsque l'hydratation initiale est accélérée la distribution des produits d'hydratation responsables de la résistance du béton sera effectuée par la suite. Il s'ensuit donc, que le béton doit être gardé à une température minimale mais suffisamment chauds pour réduire le taux de fissuration du au refroidissement ultérieur, et pour obtenir les résistances désirées à des âges spécifiques. [34]

I.3.1. Effets de la température sur la structure et les propriétés thermiques et physique du mortier :

En cours de l'échauffement du béton, on observe de nombreux phénomènes physicochimiques et des transformations qui modifient sa microstructure. Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons les transformations des composants du béton : granulats et pâte de ciment au fur et à mesure de leur échauffement. Et dans la deuxième, l'évolution de l'état hydrique du matériau au cours du séchage sera analysée aussi bien que les processus de changement de phases de l'eau en gaz, l'apparition des pressions de vapeur, l'évaporation et le séchage suivis par la déshydratation. [34]

I.3.2. Evolution des composants et de la structure du mortier :

I.3.2.1. Evolution de la pâte de ciment :

D'après des études effectuées sur les bétons l'analyse d'évolution de la pâte de ciment durci pendant l'échauffement depuis la température ambiante jusqu' à 900 °C, température à laquelle le matériau se décompose. Cette évolution est fortement liée à l'évaporation de l'eau et les processus de déshydratation des hydrates formant la matrice cimentaire. Les transformations qui accompagnent le processus de la déshydratation enregistrées sur la courbe issue de l'analyse thermique différentielle d'un gel CSH caractérisé par le coefficient C/S=1 (CaO/SiO_2) sont présentés sur le graphique suivant

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

(Figure 10). Ils sont observés deux pics caractéristiques, un pic endothermique à 140 °C, dû au départ d'eau et un pic exothermique aux alentours de 840 °C correspondant aux changements morphologique de la phase du gel CSH. [34]

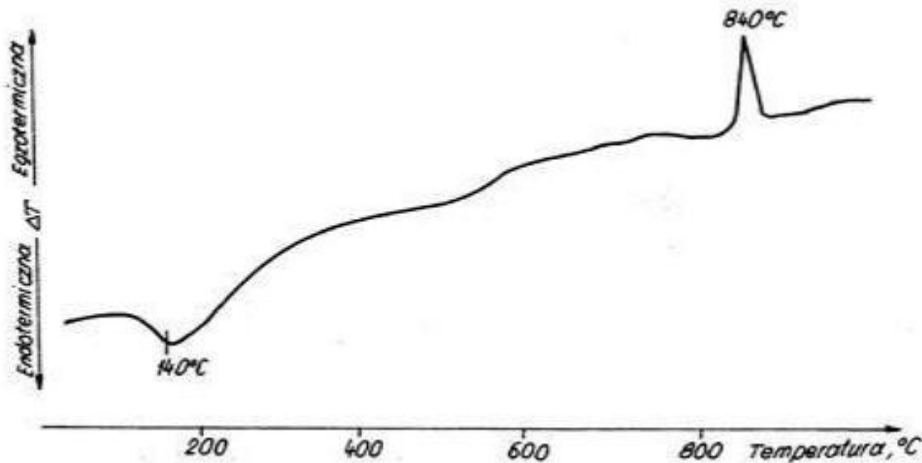


Figure I. 11 : ATD (analyse thermique différentielle) du gel CSH, C/S=1.[34]

Dans la pâte de ciment chauffé, tous les changements commencent par l'évaporation de l'eau libre et la décomposition de l'ettringite, avant la température de 100 °C. On observe les premiers signes de la décomposition du gel CSH à 180°C. Selon certains auteurs sont même observés avant. Jusqu'à la température 300 °C, la déshydratation est assez rapide. Notamment dans la gamme des températures 80 °C – 200 °C (avant 90 °C selon certaines sources) se produit la déshydratation de l'ettringite conduisant à la libération de 32 molécules d'eau. Lorsque l'on dépasse 300 °C, l'eau la plus fortement liée qui participe à la constitution des hydrates, commence à s'évaporer. [34]

I.3.2.2. Evolution des granulats :

Les granulats constituent le squelette en principe inerte du béton aux températures ambiantes (sauf cas pathologique, comme celui d'une réaction alcali-granat), mais aux températures élevées leur comportement est totalement différent. La montée en température provoque des changements de la structure des minéraux qui constituent la roche. Prenons les granulats

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

siliceux fréquemment utilisés pour la fabrication du béton (minéraux: quartz, calcédoine, opale, silex). Dans la structure de ces minéraux contiennent de l'ordre de 20% d'eau combinée. Cette eau, entre 120°C - 600°C est capable de se libérer partiellement en réduisant la résistance de ce matériau. Ce départ de l'eau peut entraîner un clivage des granulats. Un autre phénomène concerne le quartz à 575 °C. Un changement de phases avec un changement de volume de 1 à 5,7%. [15] Les granulats calcaires présentent un bon comportement thermique jusqu'à 700°C. Cette température est le début de la transformation de CaCO₃ en CO₂ et CaO. Le CaO libre Présent dans les bétons chauffés puis refroidis réagit avec l'humidité et se transforme enCa(OH)₂ en multipliant son volume par 2,5. Cette réaction peut expliquer la diminution de la résistance résiduelle (résistance mesurée après refroidissement) par rapport à la résistance à chaud des bétons à granulats calcaires chauffés au-delà de 700 °C. Les granulats constituent 60-80% du volume du béton. Les variations de leurs propriétés durant l'échauffement ont une grande influence sur les propriétés du composite.

Les propriétés d'un « bon » granulat du point de vue de l'utilisation à haute température sont: un faible coefficient de déformation thermique, l'absence de déformations résiduelles après refroidissement, une stabilité thermique, c'est à dire, un faible nombre de pics sur les courbes d'analyse thermique différentielle et d'analyse thermo gravimétrique ; soit peu ou pas de changements des phases, une structure mono minérale de la roche composante du granulat. [34]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

20°	Début du départ de l'eau		
100°C	Départ de l'eau libre 80°C-150°C déshydratation de l'ettringite 150-170°C décomposition du gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 171°C fusion des fibres polypropylène Début de la déshydratation du CSH	éclatement	réactions hydrothermiques
200°C	Augmentation de la pression interne Petits pics endothermiques indiquant des effets de décomposition et d'oxydation d'éléments métalliques (ferriques) peuvent apparaître.		
300°C	Clivage des granulats silico-calcaires Température critique de l'eau (374°C)		
400°C	Décomposition de la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	fissuration	
500°C	Changement des phases du quartz β - α (573°C)		
600°C	Deuxième phase de la décomposition du gel CSH avec la formation de β - C_2S . C'est la seconde étape de la déshydratation des silicates de calcium hydratés qui produit une nouvelle forme de silicates bicalcaires		
700°C	Décomposition du carbonate de calcium. Le calcaire se décompose autour de 700°C en $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, réaction fortement endothermique qui libère du gaz carbonique		
800°C			
.....			
1200°C			
1300°C	Destruction complète du béton et apparition de la phase liquide		

figure 1.12 : Transformations principales dues à la température entre la température ambiante et la température de la destruction du matériau béton. [35]

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

- ✓ Une analyse thermique différentielle (ATD) permet de déterminer, par des pics endothermiques et exothermiques, les températures auxquelles une instabilité peut survenir dans les granulats. Les analyses thermogravimétriques (ATG), donnent des indicateurs de la progression des réactions de décomposition en mesurant les variations de masse des granulats au cours du chauffage.
- ✓ Comme le montre la (figure12), la majorité des granulats est généralement stable jusqu' à 600 °C. La structure des granulats siliceux contient dans ces minéraux environ de 20% d'eau combinée. Entre 120 °C et 600 °C, cette eau est capable de se libérer partiellement en réduisant la résistance de ce matériau. Ce départ de l'eau peut entraîner un clivage des granulats.

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

- ✓ Un autre phénomène concerne le quartz à 575 °C : un changement de phases avec un changement de volume de 1 à 5,7 %. Le quartz présent dans les granulats siliceux SiO_4 est un édifice de tétraèdres soudés par les sommets, en chaînes. C'est une forme stable à basse température de la Silice. Au-dessus de 573 °C à la pression ambiante une légère rotation de liaisons entre tétraèdres, conduit à une forme cristalline de symétrie hexagonale : le quartz β . La température de transition du quartz α - β peut augmenter avec la pression. Volume de 1 à 5,7 %. Le quartz présent dans les granulats siliceux SiO_4 est un édifice de tétraèdres soudés par les sommets, en chaînes. C'est une forme stable à basse température de la silice. Au-dessus de 573°C à la pression ambiante une légère rotation de liaisons entre tétraèdres, conduit à une forme cristalline de symétrie hexagonale : le quartz β . La température de transition du quartz α - β peut augmenter avec la pression. Ainsi ces deux phénomènes qui apparaissent dans les granulats à base de quartz, peuvent provoquer l'endommagement de la structure du béton.
- ✓ Les granulats calcaires présentent un bon comportement thermique jusqu'à 700 °C. Cette température est le début de la décarbonatation ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) qui se produit entre 600 °C et 900 °C. Le CaO libre présent dans les bétons chauffés puis refroidis réagit avec l'humidité et se transforme en Ca(OH)_2 avec une augmentation de volume de 44%. Cette réaction peut expliquer la diminution de la résistance résiduelle (résistance mesurée après refroidissement) par rapport à la résistance à chaud des bétons à granulats calcaires chauffés au-delà de 700 °C. [36]

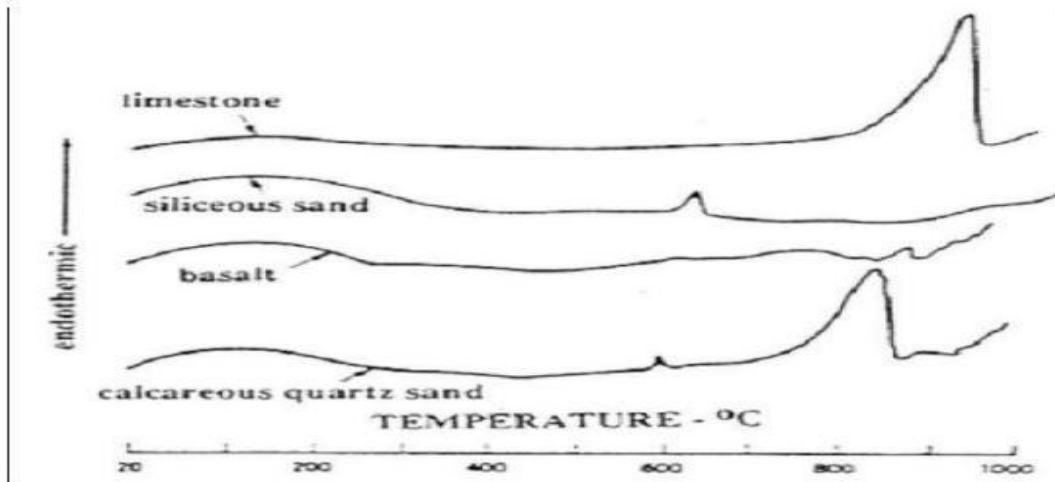


Figure 1.15 : Courbes ATD des différents types de granulats. [30]

I.3.2.3. Perte de masse :

Durant l'échauffement du béton, sa masse est soumise à une variation due à l'évaporation de l'eau et la déshydratation progressive du gel CSH. [34]

I.3.2.4. Coefficient de dilatation thermique :

Pimenta et Hager 2003] ont montré, à partir d'une étude réalisée sur des mortiers à base de deux types de granulats (calcaire, silico-calcaire), que la déformation thermique des mortiers formulés avec des granulats silico-calcaires est environ 2 fois supérieure à celle des mortiers de granulats calcaires. La déformation thermique des granulats siliceux est en effet supérieure à celle des granulats calcaire ce qui conduit ces auteurs à conclure que la déformation thermique des bétons dépend principalement de la nature des granulats, et de façon marginale de la pâte de ciment hydratée. [37]

Chapitre I Mortiers et valorisation des déchets de brique

I.4. Conclusion :

La synthèse, tirée de la bibliographie, observations ont montré que les matériaux cimentaires exposés à une forte variation de température beaucoup des processus et des transformations physiques et chimiques entraînent un changement de l'état et la structure de l'eau.[38]

Chapitre II :

Déchet De brique

II.1 Introduction :

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 du Chapitre II Déchet De brique , malgré la consommation universel 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 tropcuites). On appelle « chamotte » : brique cuite broyée ou concassée.[26]

II.2 Définition de déchets 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 decoulis 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. [24]



Figure II.1:déchet de brique

II.3 Composition chimique des déchets de briques :

Après avoir broyé les briques réfractaire, nous avons déterminé leur composition chimique par spectrophotomètre de fluorescence X. [39]

TableauII.1: Composition chimique de la brique réfractaire [39]

Composition chimique %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	PAF	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Cl
Brique Réfractaire	55.2	30.71	3.85	2.92	1.59	1.42	1.39	1.35	0.3	00

II.4 Valorisation des déchets de la brique

II.4.1 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 vies 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. [22]

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. [23]

II.5 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. [40]

Parmi les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de déchet brique, résultantes des essais et des recherches sont :

- ✓ 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 déstructure 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. [41]
- ✓ La masse volumique apparente du béton de déchet brique varie de 2000 à 2080 kg/m³ 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. [40]
- ✓ Le béton contenant des granulats de déchet brique est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut savoir corrosion et efflorescence dans le béton. [42]

II.6 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/m³, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg/cm², présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faible 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/m³, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg/cm², une résistance à la traction de 5 à 10 kg/cm², des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm/m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur (Z environ 0,25 kcal/m0c pour 1050 kg/ m³).
- ✓ 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. [43]
- ✓ Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage. [44]
- ✓ 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. [43]

- ✓ Les débris de brique sont utilisés aussi comme granulats dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager. [45]
- ✓ Le béton à base de briques concassées présente, particulièrement, une bonne résistance au feu. [42]

II.7. Avantages et inconvénients d'utilisation des briques

II.7.1 Avantage :

- ✓ Elle est très esthétique et évoque le charme de l'ancien ou du traditionnel. C'est un modèle qui peut être laissé apparent.
- ✓ Elle forme des murs plus épais et isole bien phoniquement.
- ✓ Elle est relativement facile à travailler.
- ✓ Son prix reste intéressant, même s'il est supérieur à celui de la brique creuse. [46]

II.7.2. inconvénient:

- ✓ Elle n'est pas un bon isolant thermique.
- ✓ Plus lourde, elle est moins agréable à poser que la brique creuse. [46]

Conclusion :

Dans notre étude nous concluons que le déchet est un grand problème, à toute vie biologique et à toutes activités, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les êtres vivants (les personnes, les plantes, les animaux... etc.). Cela ne peut être que réduire le déchet, où nous utilisons dans beaucoup de cas de figures importantes surtout le domaine de génie civil.

Nous pouvons également utiliser les déchets comme solution pour les régions où les granulats naturels font défaut dans le domaine de construction. [47]

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

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 (SCAEEK) 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 (cm ³)	V1 (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
1	100	336	300	2.77	2.77
2	100	335	300	2.85	
3	100	337	300	2.70	

- + M1 : La masse d'échantillons
- + V2 : volume d'eau.
- + V1 : volume d'échantillon

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

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

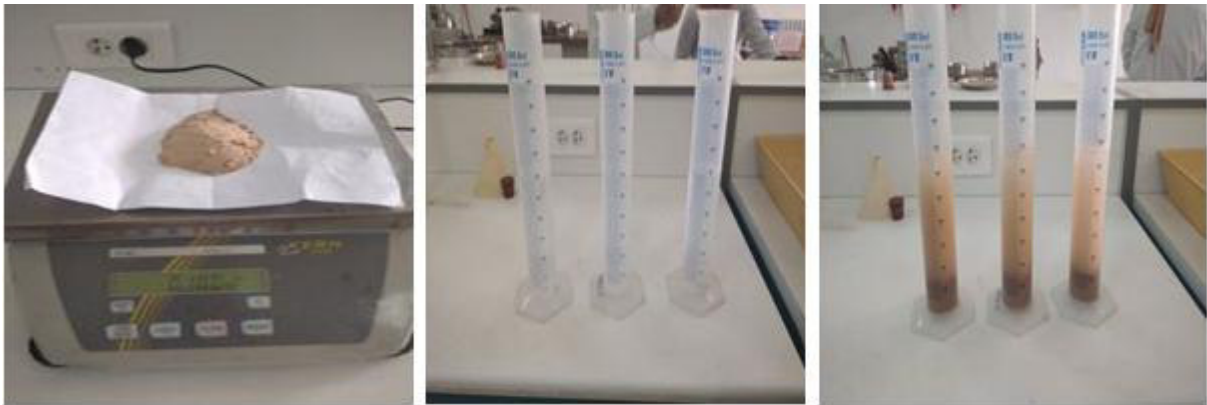


Figure III.1: Essai de masse volumique absolue de sable

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 $V_r = 900 \text{ cm}^3$

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

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	V_r (cm ³)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{moy} (g /m)
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	

- ✚ ρ_{app} : Masse volumique à l'état lâche
- ✚ M1 : Masse du récipient à vide (115.3 g).
- ✚ M2 : Masse du récipient plus le sable .
- ✚ V_r : Volume du récipient ($v=900\text{ml}$).

❖ **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 M_2 le poids de l'ensemble (sable+ récipient) la masse volumique à l'état compact est donnée par la formule suivante: ρ_{app} où: M_1 : masse du récipient à vide

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Tableau III.3: Masse volumique apparente du sable à l'état compact

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	Vr (cm ³)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
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	



Figure 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.

a. 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.



Figure. III .3: colonne des tamis



Figure.III.4:tamiseur électrique

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
0.630	63	169	8.45	91.55
0.315	346	515	25.75	74.25
0.160	1282	1797	89.85	10.15
0.08	183	1980	99	1
Fond	20	2000	100	0

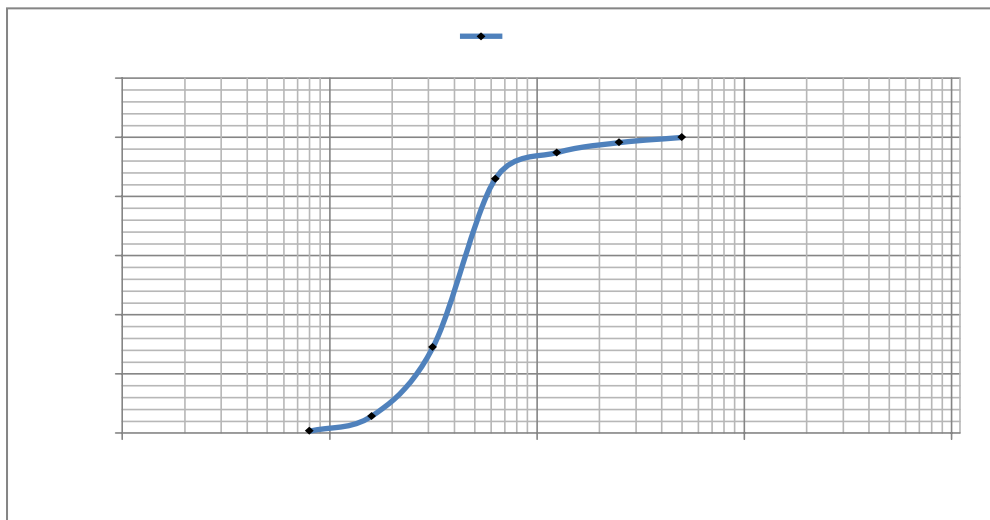


Figure. III.5: La courbe granulométrique de sable

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

Le module de finesse (MF) est une facture très importante qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant : $Mf = \frac{\sum Rc}{100}$

Où : **Rc** : Refus cumulé.

Pour le sable de Boussaâda : $Mf = 2.08$

Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit :

Quantité de sable	Module 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 : $2 < Mf < 2.5$ C'est un Sable moyen.

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 : $P(\%) = 100 - \left(\frac{\text{Masse volumique apparente}}{\text{Masse volumique absolue}} \right) \times 100$

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

ρ_{app} :Masse volumique à l'état lâche

ρ_{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

Tableau III.5: 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}) :** $E.S.P = \frac{h_2'}{h_1} * 100$ (%)

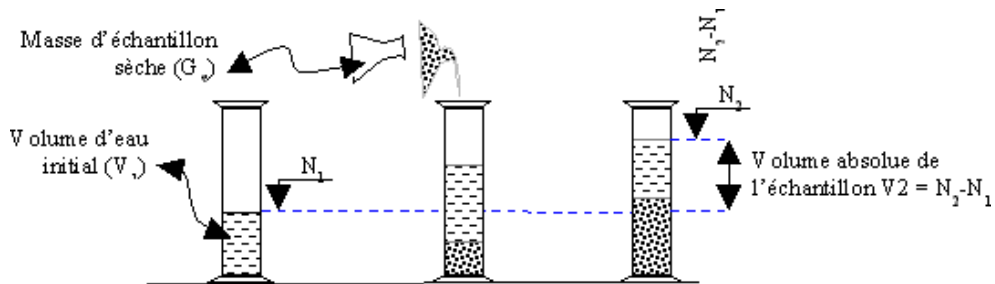


Figure III.6: Principe de l'équivalent de sable.

Tableau III.6: Résultats obtenus pour l'équivalent de sable.

Essais	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	E.S.V (%)	h ₂ '(cm)	E.S.P (%)
1	11.8	8.8	74.57	8.6	72.88
2	12.5	9.1	72.8	8.5	68
3	12.3	9	73.17	8.5	69.10

h₁: hauteur du sable plus tube

h₂: hauteur du sable

h₂': hauteur du sable avec piston

$E.S.V_{moy} = 73.51\%$ Et $E.S.P_{moy} = 70\%$

Pour le sable de Boussaâda : C'est un Sable légèrement argileux



Figure 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_h : Masse des granulats humides.

M_s : Masse des granulats sec.

Tableau III.7: Teneur en eau de sable utilisé.

Essais	M_h (g)	M_s (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. Super plastifiant:

Le MEDAPLAST SP40 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de polymères combinés, fourni par l'entreprise GRANITEX (Alger-Algérie). Il est recommandé dans la réalisation des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton.

L'adjuvant MEDAPLAST 40 permet d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et long terme. Il est applicable à tout type de ciment conforme à la norme EN934-2 NA 774. La page de dosage recommandée est : 0,6 à 2,5% du poids de ciment, soit 0.5 L à 2 L par

100 Kg de ciment. Ses caractéristiques physiques et chimiques sont représentées dans le tableau (III.8).

Tableau III.8: Caractéristiques de MEDAPLAST SP 40

Superplastifiant	Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Medaplast SP 40	Liquide	Brun clair	8.2	1.2±0.01	< 1g /l	40%



Figure III.8: adjuvant MEDAPLAST SP 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.11) :

Tableau III.9: Caractéristiques chimiques de l'eau.

La mesure	Teneur en (mg/l)
Le temps de prise d'échantillon	10/05/2005 (9 :25)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl ⁻	234.3
Sulfate So ⁻⁴	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Sodium Na ⁺	/
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

III.2.5.Brique :

Le déchet de brique utilisé dans cette partie, est issu de la récupération de débris de brique d'un parc de vente de matériaux de construction (figure III.5)

**Figure III.9:** Déchet de brique rouge.

II.2.5. Caractéristiques physiques de la Sable de brique utilisé:**III.2.5.1. Masse spécifique (absolue) du Sable de brique :****Tableau III.10:** Masse volumique absolue du sable (brique)

N° d'essai	M (g)	V1(ml)	V2 (ml)	ρ_{abs} (g /ml)	ρ_{moy} (g /ml)
1	100	300	345	2.22	2.22
2	100	300	345	2.22	
3	100	300	345	2.22	

III.2.5.1.2. Masse volumique apparente :**1. Masse volumique à l'état lâche:****Tableau III.11:** Masse volumique apparente du sable de brique à l'état lâche

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	Vr (ml)	ρ_{abs} (g /ml)	ρ_{moy} (g /ml)
1	116.3	1176.3	900	1.17	1.15
2	116.3	1154.8	900	1.15	
3	116.3	1159.1	900	1.15	

2. Masse volumique à l'état compact:**Tableau III.12:** Masse volumique apparente du sable de brique à l'état compact

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	Vr (ml)	ρ_{abs} (g /ml)	ρ_{moy} (g /ml)
1	116.3	1211.3	900	1.21	1.22
2	116.3	1224.3	900	1.23	
3	116.3	1218	900	1.22	

III.2.5.2. Analyse granulométrique [NF P 18-304]:

Tableau III.13: Résultat d'analyse granulométrique

Tamis (mm)	Refus MOY	Refus cumulé(g)	Refus (%)	Tamisât cumulé(%)
5	0	0	0	100
2.5	137	137	6.85	93.15
1.25	454	591	29.55	70.45
0.630	510	1101	55.05	44.95
0.315	377	1478	73.9	26.1
0.160	420	1898	94.9	5.1
0.08	84	1982	99.1	0.9
Fond	18	2000	100	0

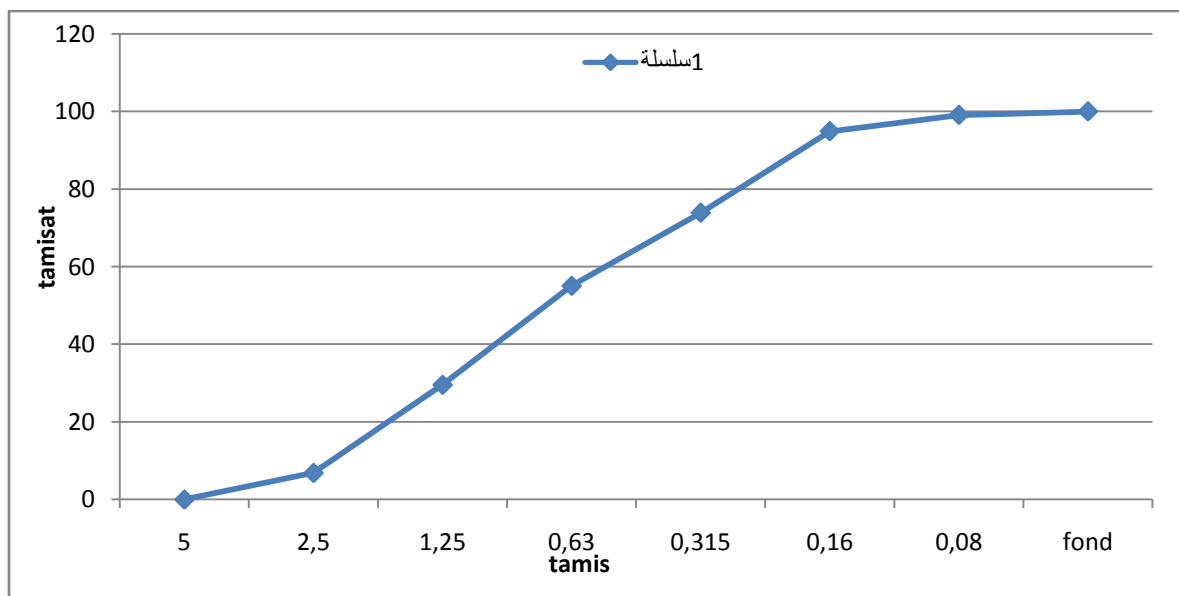


Figure III.10: La courbe granulométrique de sable de brique



Figure III.11: Essai d'analyse granulométrique de sable de brique

III.2.5.3. Porosité, Compacité, Indice des vides :

Tableau III.14: La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable de brique

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.2.5.4. Equivalant de sable de brique:

Tableau III.15: Equivalant du sable de brique

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV(%)	h_2' (cm)	ESP(%)
1		12.4	96.12	11.7	90.69
2	13	12	92.30	11.7	90
3	12.4	11.9	95.96	11.1	89.51

$$E. S. V_{moy} = 94.79 \% \quad \text{Et} \quad E. S. P_{moy} = 90.06\%$$

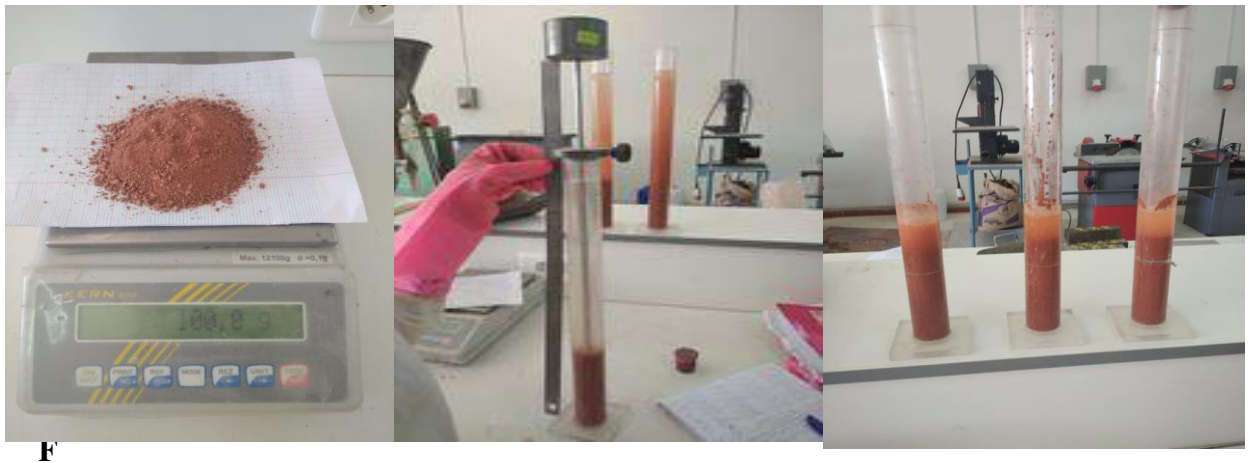


Figure III.12: Essai de équivalent de sable de brique

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 demi 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
- 500g de ciment
- 300g d'eau
- $E/C = 0.60$

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

Tableau III.16 : liste de description de mortier

Désignation	Description
M0	Mortier de référence sans adjuvants et sans brique (témoin)
M1	mortier formulé avec 10% de sable de brique et 1.5% adjuvants
M2	mortier formulé avec 20% de sable de brique et 1.5 % adjuvants
M3	mortier formulé avec 30% de sable de brique et 1.5% adjuvants

Tableau III.17 : Liste de différents mortiers étudiés en pourcentage

mortier	Brique (%)	Sable(%)	Superplastifiant(%)
M0	0	100	0
M1	10	90	1.5
M2	20	80	1.5
M3	30	70	1.5

Ces mortier ont été conservés pendant 28 jours dans une eau de on effectué sur ces mortier différents essais physiques et mécaniques (masse volumique , essais de fluidité ,essais a la résistance mécanique , essais a l ultrason , essais de porosité , perte de masse ,essais de retrait ,volume de éprouvette). Le tableau III.19 donnent la composition des défèrent mortier étudiés.

Tableau III.18: Composition des différents mortier

	Sable(g)	Ciment(g)	Eau(g)	Brique(g)	Adjuvant(g)	E/C
M 0	1350	500	300	/	/	0.60
M 1	1215	500	263.2	135	7.5	0.52
M 2	1080	500	260.8	270	7.5	3.5
M 3	925	500	253	405	7.5	3.6

III.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.

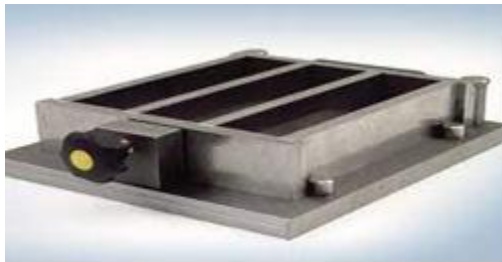


Figure III.13: Moule prismatique



Figure III.14: Moule cubique



Figure III.15: Table vibrant (table de choc).



Figure III.16: Balance.

III.6. Conservation des éprouvettes:

Après le démoulage, les échantillons sont laissés pendant 24 h pour sécher relativement. Ensuite, nous mettons les échantillons (4 x 4 x 16) cm, dans l'eau de la nappe phréatique, pendant 7, 14 et 28 jours.

III.7. 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 ± 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.



Figure III.17: Conservation des éprouvettes dans l'eau.

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 : 200 °C, 400 °C, 600 °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 200 °C et 400 °C et 600 °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

heur. Le procédé expérimental appliqué repose sur Chargement thermique puis mécanique (écrasement directe



III.18: les éprouvettes dans le four

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

III.6.1. 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 misent 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 formé finalement un monolithe. Selonsaformulation, sa mise en œuvre et ses traitements de surface, ses performances et sonaspectpeuvent considérablement varier.



Figure III.19: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 :

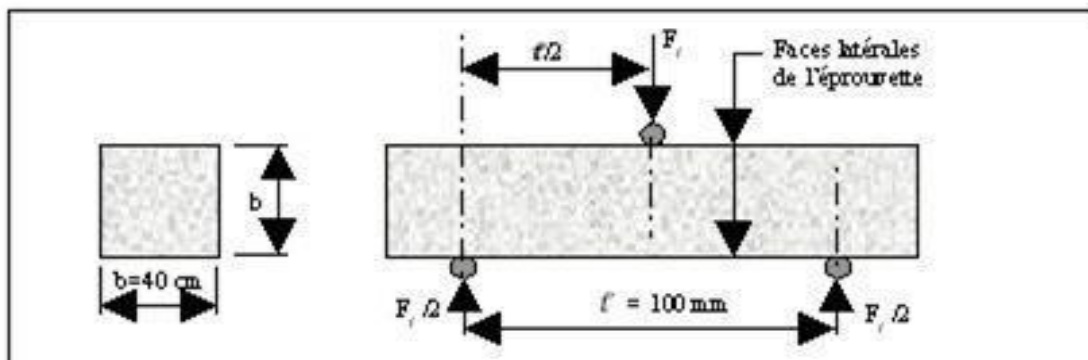


Figure III.20: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.



Figure III.21: Appareil de flexion.

III.10.2. Résistance à la compression :

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 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'a 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.

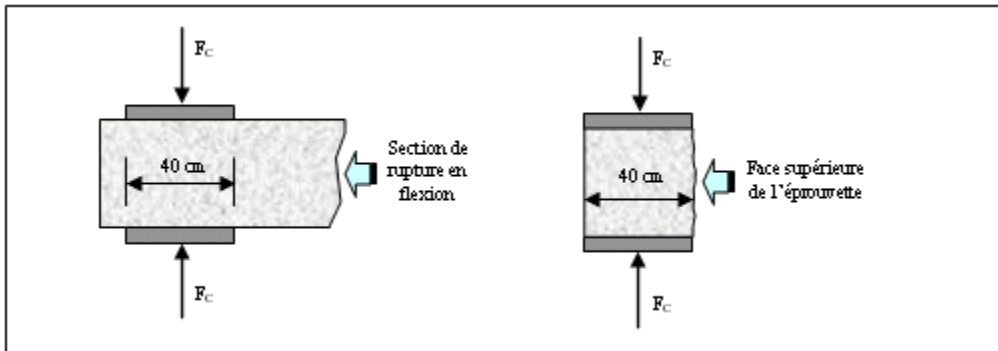


Figure III.22:Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.



Figure III.23: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, 200 °C, 400 °C, 600 °C. Les taux de diminution de la masse des éprouvettes est déterminé à partir :

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

T: taux de perte de masse.

m₁ : poids avant expositions à la température.

m₂ : poids après expositions à la température



Figure III.24: des éprouvettes

III.12. Volume d'éprouvette :

Les dimensions des éprouvettes (longueur, largeur et hauteur) ont été calculées par la moyenne de trois mesures pour chaque dimension et pour chaque éprouvette. Pour la mesure des dimensions des éprouvettes, on a utilisé le pied à coulisse de précision de 0,01 mm. La mesure de la longueur, largeur et hauteur des éprouvettes a permis de calculer le volume Apparent de chaque éprouvette des différents bétons avant et après chaque cycle de chauffage et d'évaluer la surface sur laquelle elle été appliquée la charge de compression.



Figure III.25 : Pied à coulisse digital.

III.13. Essais de porosité :

L'essai de la porosité est réalisé sur des éprouvettes de dimension 4x4x16 et 4x4x4 cm³, en appliquant les étapes suivantes :

Séchage à l'étuve à 105°C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu'à l'obtention d'une masse constante, afin de faire évaporer toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est notée "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'ASTM 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).



Figure III.26: Appareil d'ébullition



Figure III.27: Appareil de porosité

III.14. Essais non destructifs

III.14.1 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



Figure III.28: Appareil ultrason

III.15. Retraits:

Les retraits se mesurent sur des prismes 4x4x16cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°, 200, 400°, 600°.



Figure III.29: Appareil de retrait

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 campagne expérimentale: études des propriétés physiques et mécaniques

Chapitre IV :

Résultats et interprétations

IV.1 Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les mortiers qui est exposé à trois niveaux de températures élevées (200, 400 et 600)°C selon les différentes combinaisons d'entraîneur d'air évaluer ses propriétés à l'état durci. Avec:

- ✓ M 0 : Mortier de référence sans super plastifiant (témoin);
- ✓ M 1 : mortier formulé avec 10% sable de brique et 1.5 % adjuvant ;
- ✓ M 2 : mortier formulé avec 20% sable de brique et 1.5 % adjuvant ;
- ✓ M 3 : mortier formulé avec 30% sable de brique et 1.5 % adjuvant.

IV.2. Résultats des essais à l'état frais :**IV.2.1 Essais d'affaissement :**

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il très simple a mettre en œuvre les résultats obtenus sont présentés sur le figure suivant :

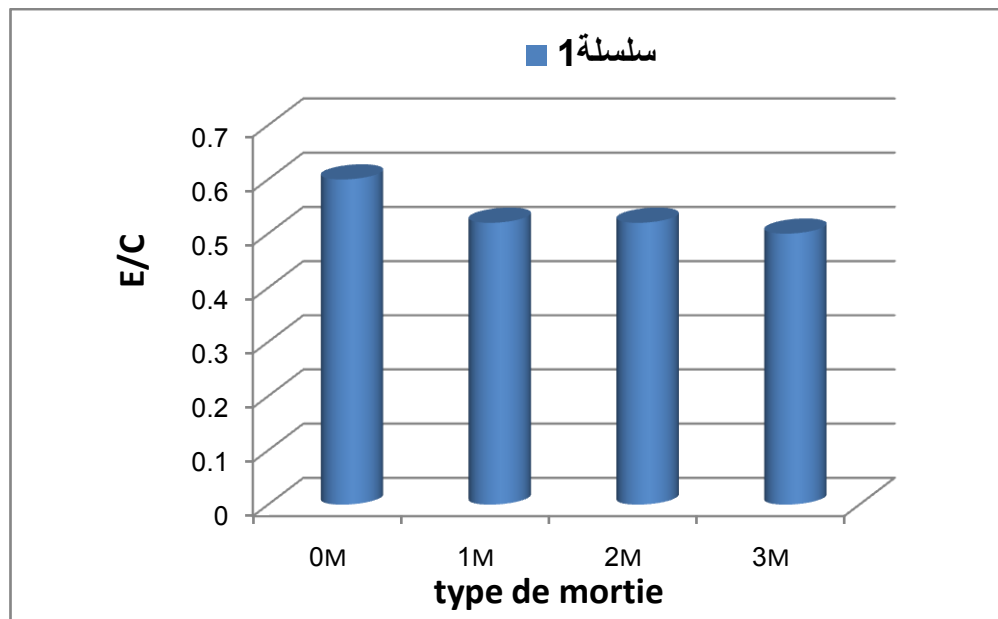


Figure IV.1.E/C en fonction de type de mortier

Interprétation des résultats:

La résistance à la compression en fonction de E/C augmente en composition 0 ensuite on remarque une dégradation jusqu'à la composition 1 ,2 et 3 comme le montre la (figure IV. 1) .

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

IV.3.1. Résistance mécanique à la compression :

Les figures suivantes présentent les résultats de la résistance à la compression en fonction de la température après 7,14 et 28 jours.

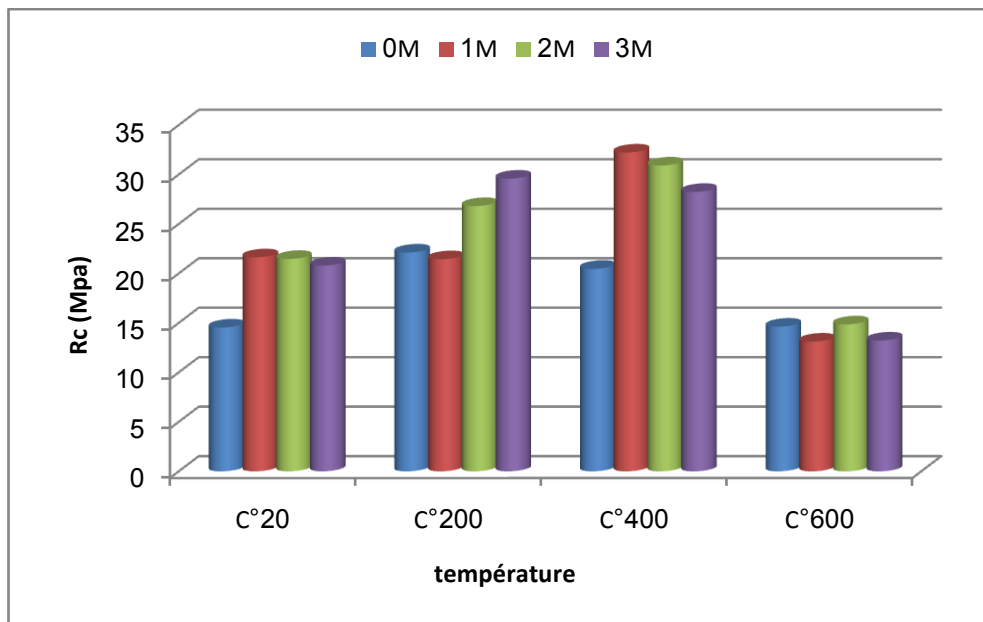


Figure IV.2: Résistance mécanique à la compression de 7 jours en fonction de la température

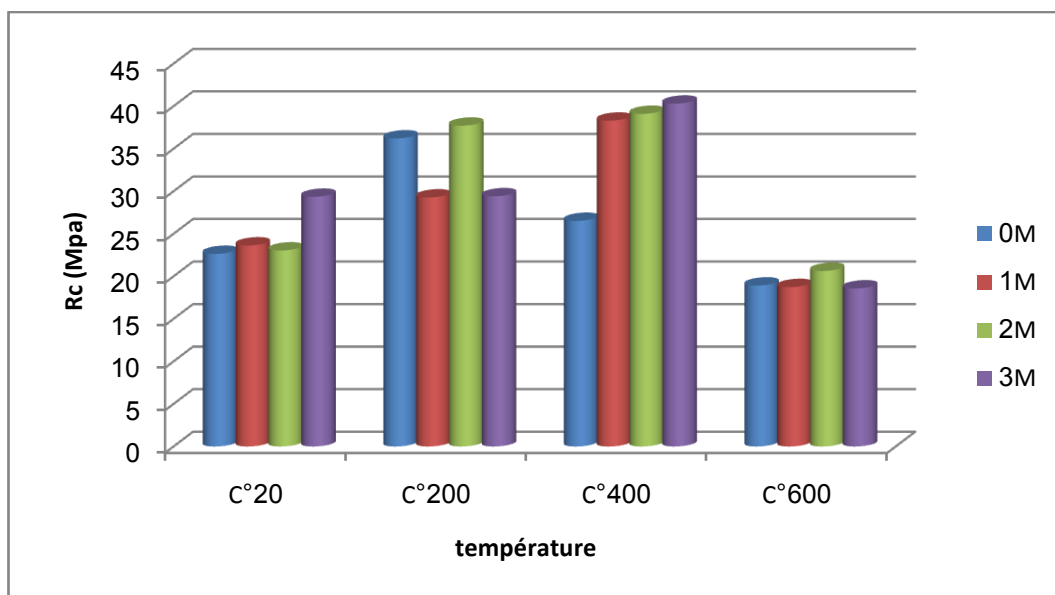


Figure IV.3: Résistance mécanique à la compression de 14 jours en fonction de la température

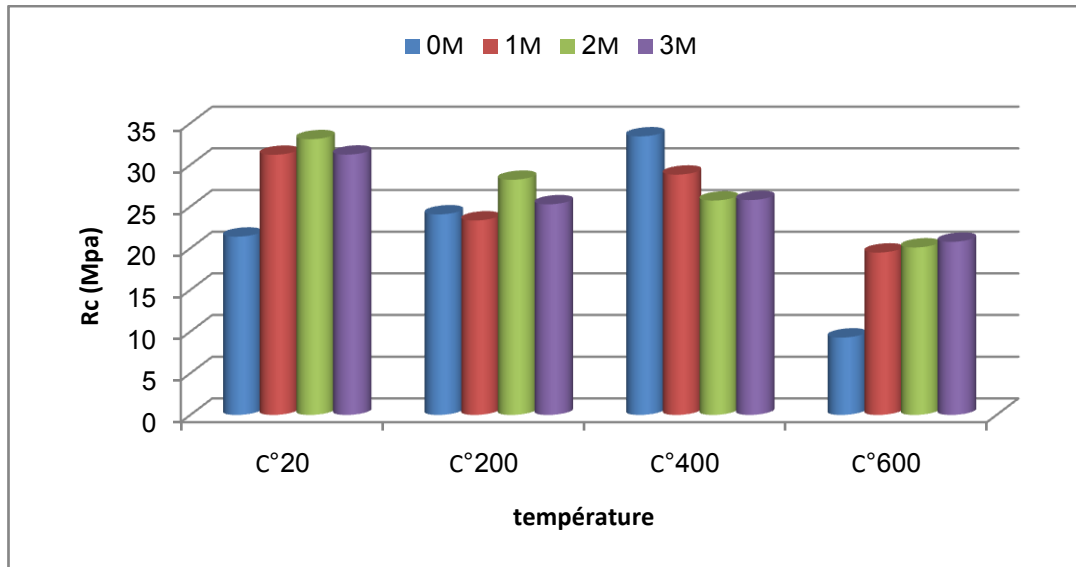


Figure IV.4: Résistance mécanique à la compression de 28 jours en fonction de la température

Interprétation des résultats:

La résistance à la compression de mélanges de 7 et 14 jours augmente en fonction de la température élevée jusqu'à 400 °C ensuite on remarque une dégradation jusqu'à la température de 600 °C comme le montre la (figure IV. 2) et la (figure IV. 3).

Pour les mélanges de 28 jours la résistance à la compression est diminuer à la température de 200°C et après on remarque une augmentation de la résistance à 400°C Au-delà de cette augmentation la résistance chute à 600°C comme le montre le figures (IV.4).

L'analyse des résultats des figures (IV. 2), (IV.3) montre que la résistance mécanique à la compression de 7 et 14 jours à haut température (200,400 et 600) °C de présentent un pic de résistance à 400°C par rapport 28 jours on observe une diminution de la résistance mécanique avec l'augmentation de la température par rapport à 20°C.

IV.3.2. Résultats de la résistance mécanique à la flexion des mortiers

Les figures suivantes présentent les résultats de la résistance à la flexion en fonction de la température après 7,14 et 28 jours.

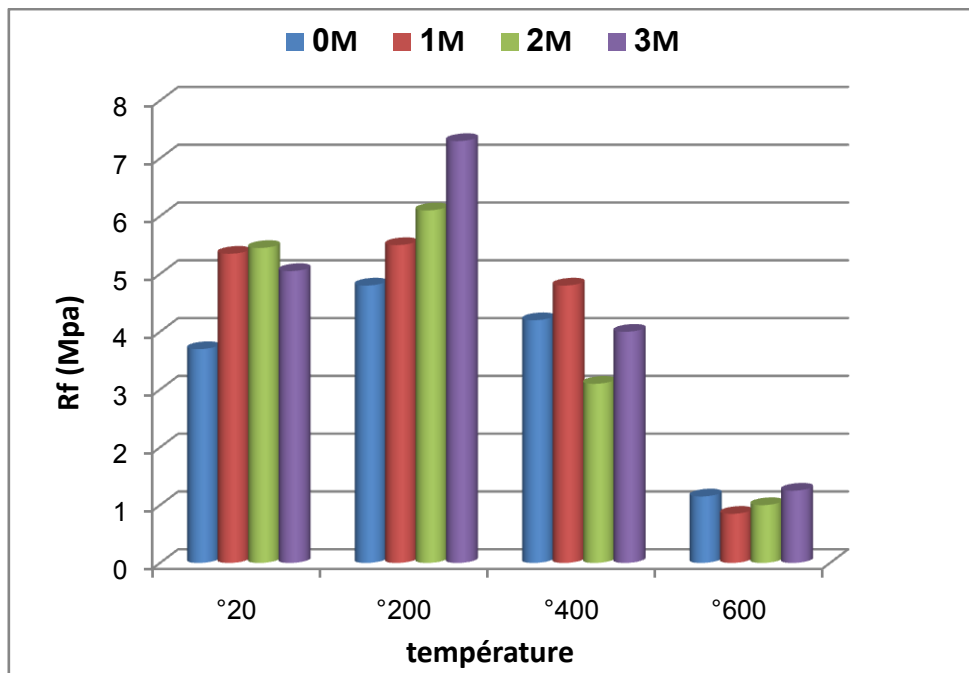


Figure IV.5 : Résistance à la flexion de 7 jours en fonction de la température

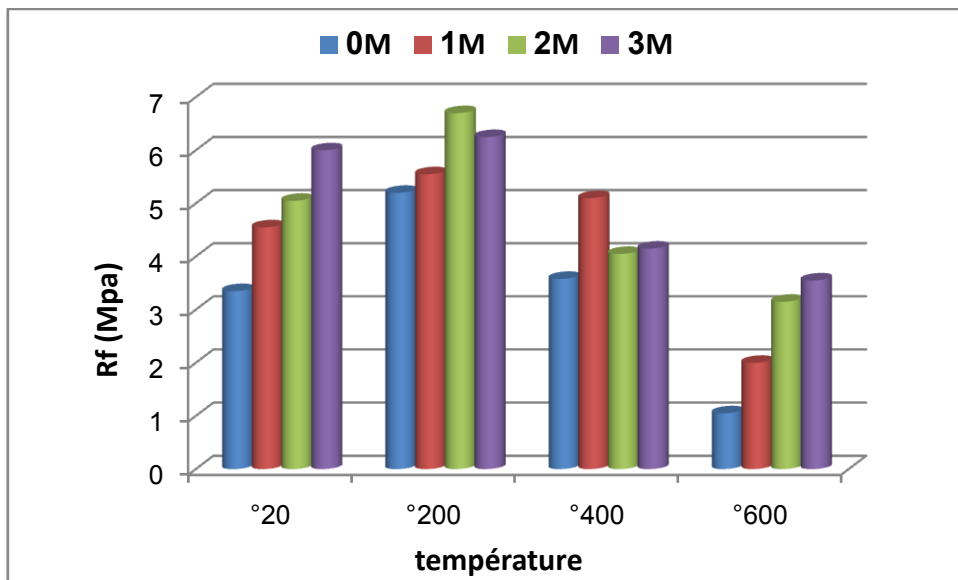


Figure IV.6 : Résistance à la flexion de 14 jours en fonction de la température

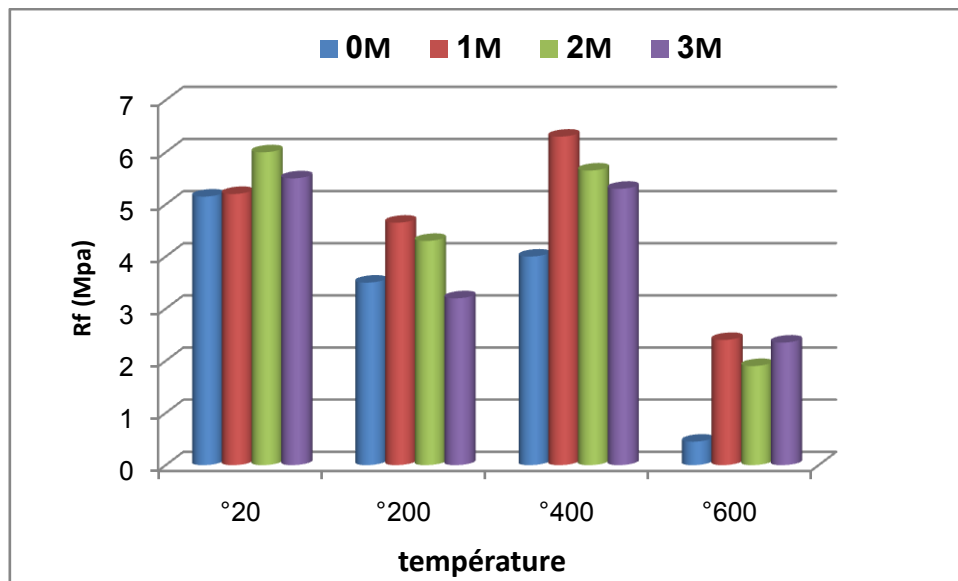


Figure IV.7 Résistance à la flexion de 28 jours en fonction de la température

Interprétation des résultats:

La résistance à la flexion de mélanges de 7 et 14 jours augmente en fonction de la température élevée jusqu'à 200°C ensuite on remarque une dégradation jusqu'à la température de 600 °C comme le montre la (figure IV. 5) et la (figure IV. 6).

Pour les mélanges de 28 jours la résistance à la flexion est diminuée à la température de 200°C et après on remarque une augmentation de la résistance à 400°C Au-delà de cette augmentation la résistance chute à 600°C comme le montre les figures (IV.7).

IV.3.3. Résistance mécanique à la traction :

Les figures suivantes présentent les résultats de la résistance à la flexion en fonction de la température après 7,14 et 28 jours.

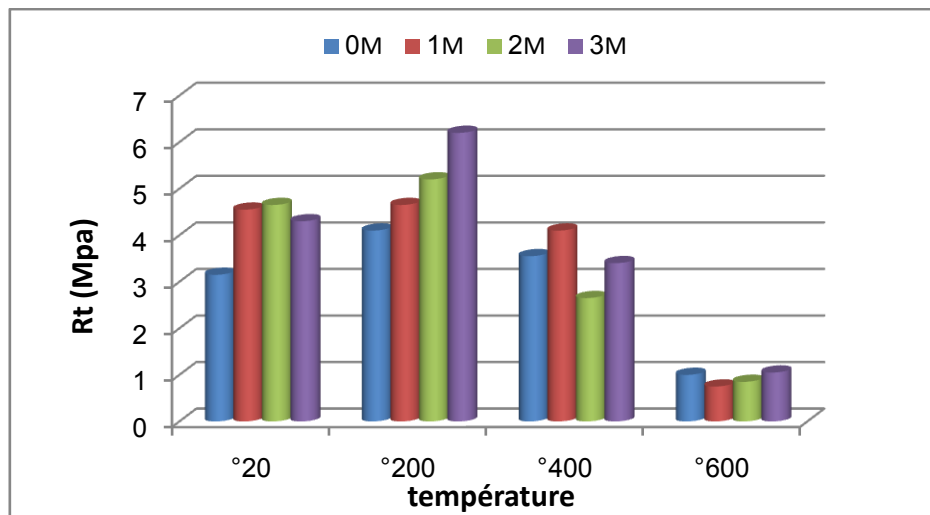


Figure IV.8 : Résistance à la traction de 7 jours en fonction de la température

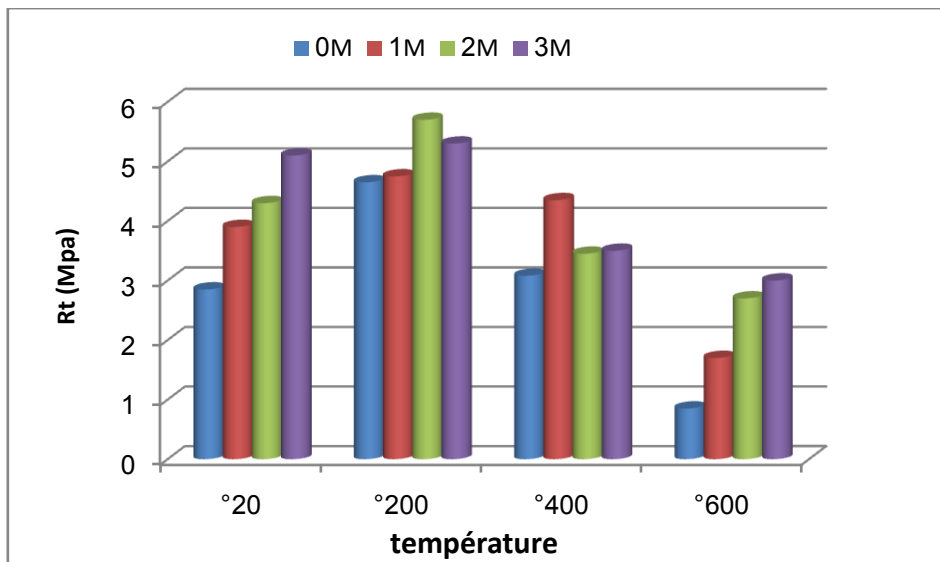


Figure IV.9 : Résistance à la traction de 14 jours en fonction de la température

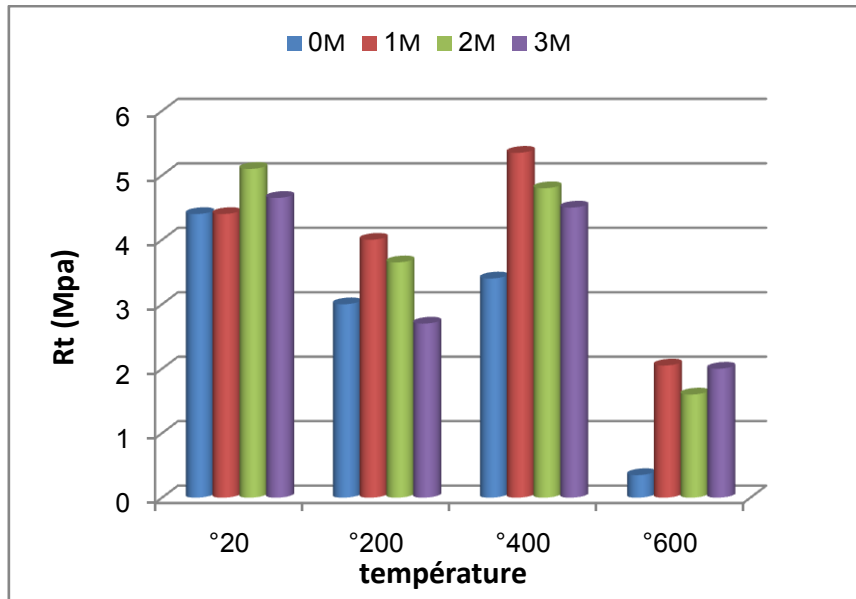


Figure IV.10 : Résistance à la traction de 28 jours en fonction de la température

Interprétation des résultats:

La résistance à la traction de mélanges de 7 et 14 jours augmente en fonction de la température élevée jusqu'à 200°C ensuite on remarque une dégradation jusqu'à la température de 600 °C comme le montre la (figure IV. 8) et la (figure IV. 9).

Pour les mélanges de 28 jours la résistance à la flexion est diminuer à la température de 200°C et après on remarque une augmentation de la résistance à 400°C Au-delà de cette augmentation la résistance chute à 600°C comme le montre le figures (IV.10).

L'analyse des résultats des figures (IV. 8), (IV.9) montre que la résistance mécanique à la compression de 7 et 14 jours à haut température (200,400 et 600) °C de présentent un pic de résistance à 200°C par rapport 28 jours on observe une diminution jusqu'à la température de 200° comme le montre le figures (IV.10).

IV.3.4. Résultats de la 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.

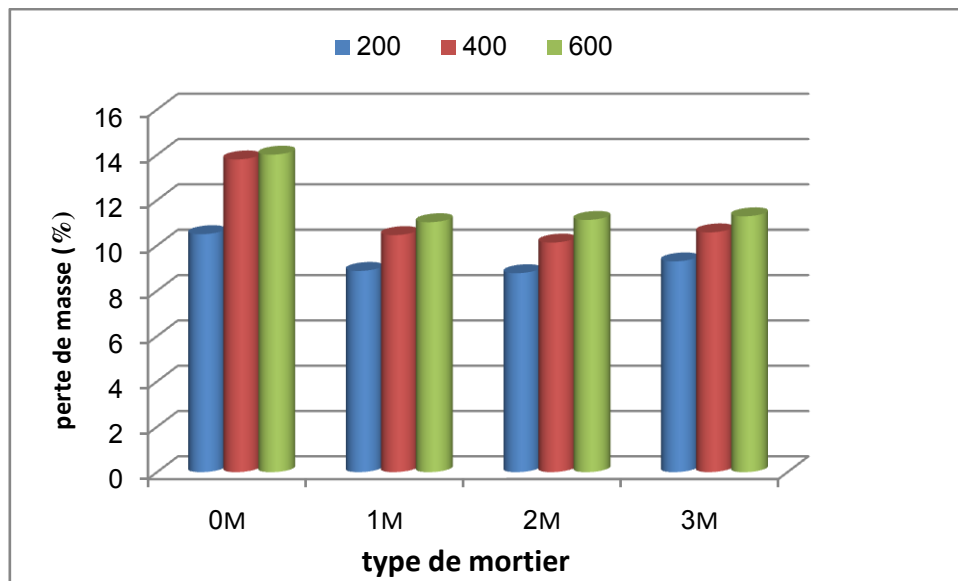


Figure IV.11: Perte de masse de 7 jours en fonction de la température

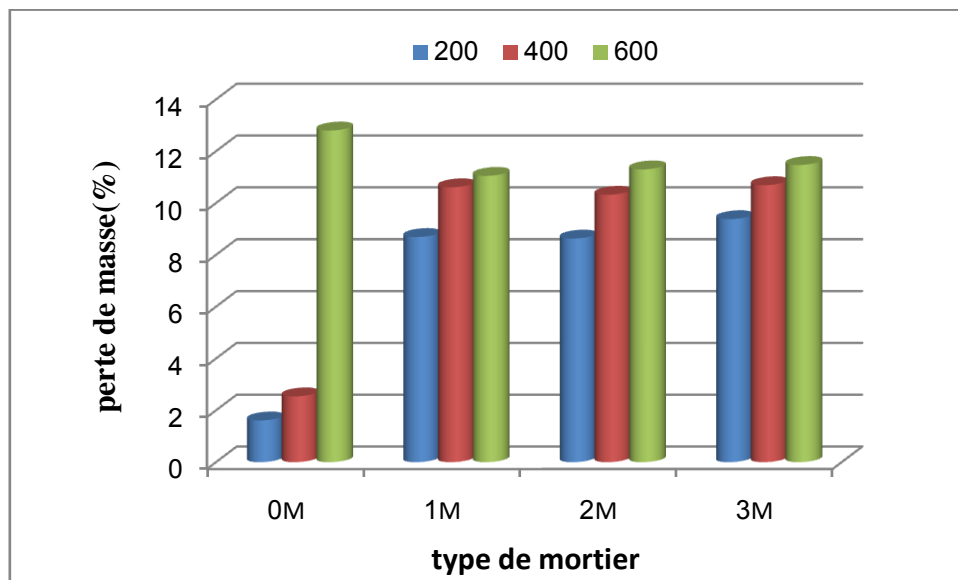


Figure IV.12: Perte de masse de 14 jours en fonction de la température

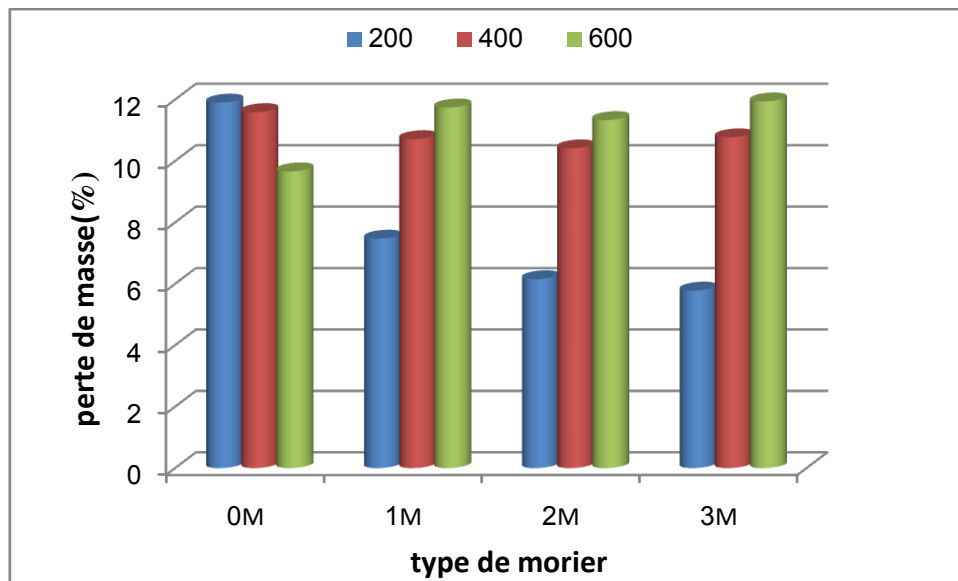


Figure IV.13: Perte de masse de 28 jours en fonction de la température

Interprétation des résultats:

la perte de masse de composition 0 de 7 et 14 jours diminuer à la composition 1 en fonction de le type de mortier ensuite on remarque une augmentation jusqu'à la composition 3 comme le montre la (figure IV. 11) et la (figure IV. 12).

la perte de masse de composition 0 de 28 jours diminuer à la composition 2 en fonction de le type de mortier ensuite on remarque une augmentation jusqu'à la composition 3 comme le montre la (figure IV. 13)

IV.3.5.Retrait :

Les figures suivantes représentent les résultats de retrait en fonction de le type de mortier après 7, 14, et 28 jours.

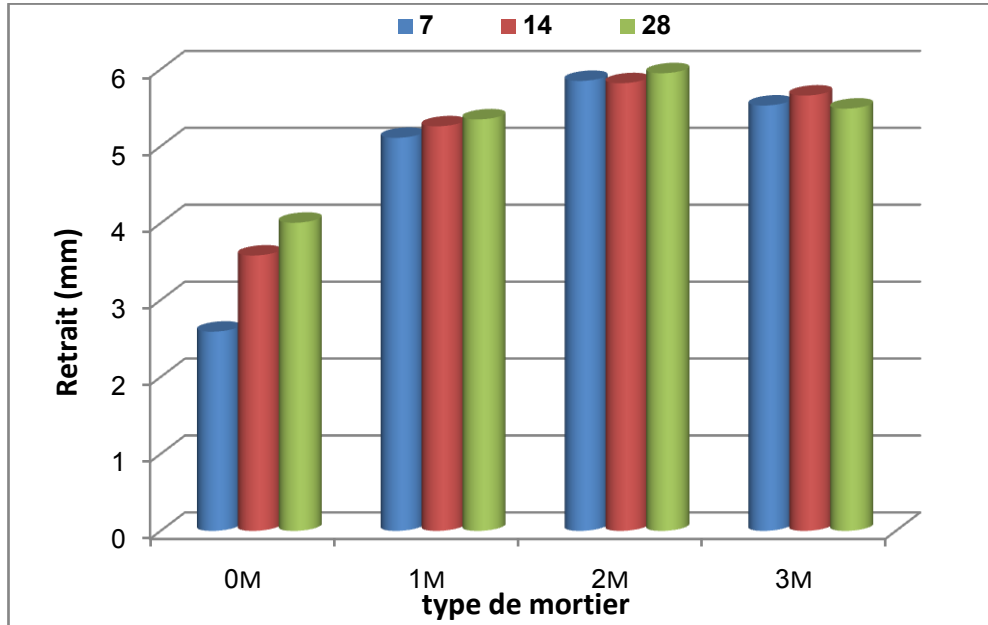


Figure IV.14 : Retrait 20°C de 7 et 14 et 28 jours en fonction de la type de mortier

Interprétation des résultats:

Retrait 20°C de composition 0,1 ,2 de 7 , 14 et 28 jours augmente à la composition 2 en fonction de type de mortier ensuite on observe une diminution jusqu'à la composition 3 comme le montre la (figure IV. 14)

IV.3.6. Les ultrasons:

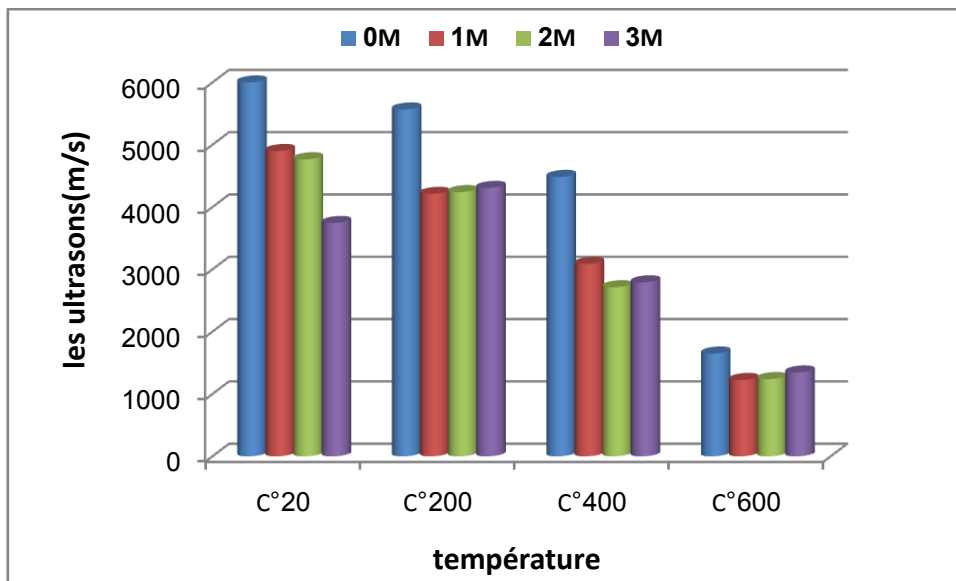


Figure IV.15 : les ultrasons en fonction de la température à 7 jours

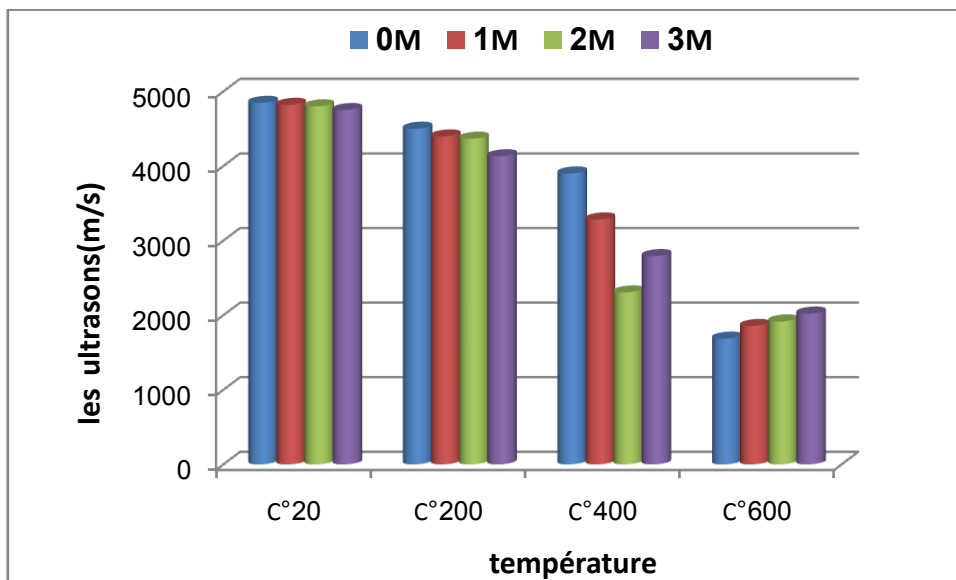


Figure IV.16 : les ultrasons en fonction de la température à 14 jours

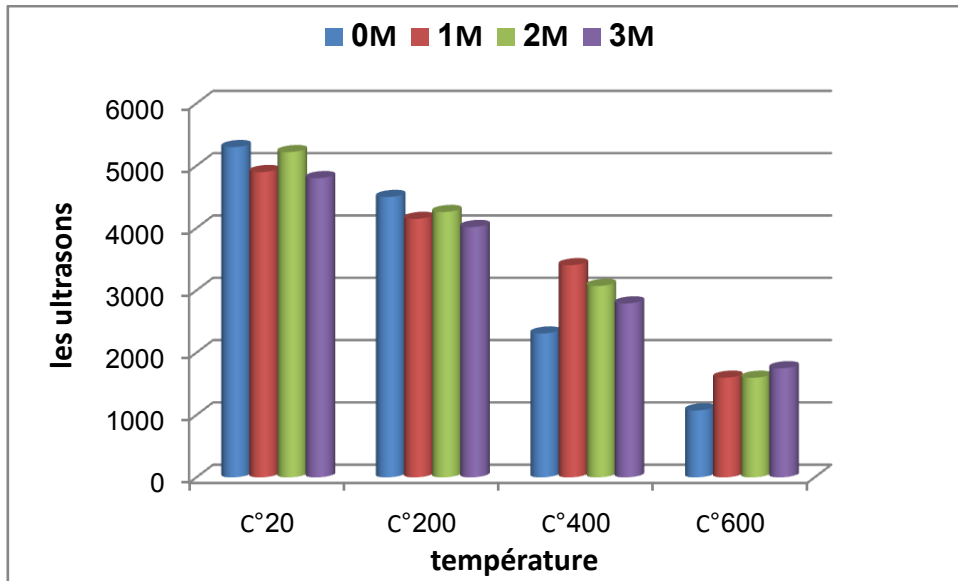


Figure IV.17 : les ultrasons en fonction de la température à 28 jours

Interprétation des résultats:

les ultrasons de mélanges de 7 ,14 et 28 jours est diminuer en fonction de la température élevée jusqu'à 600°C comme le montre la (figure IV. 15) ,(figure IV. 16) et la (figure IV. 17).

IV.3.7. Volume des éprouvette :

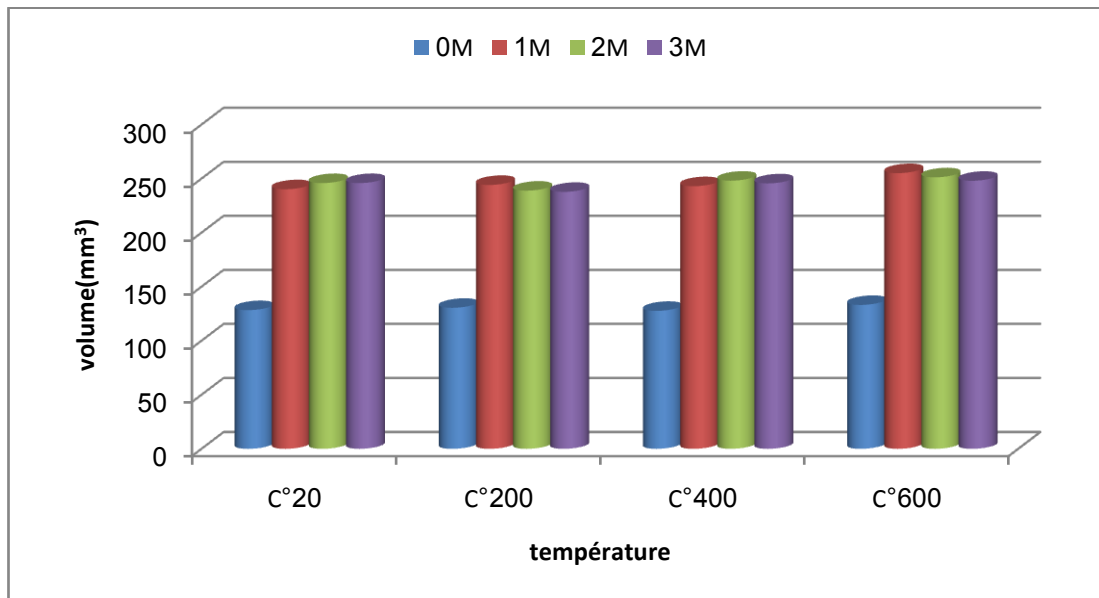


Figure IV.18 : volume des éprouvette en fonction de la température à 7 jours

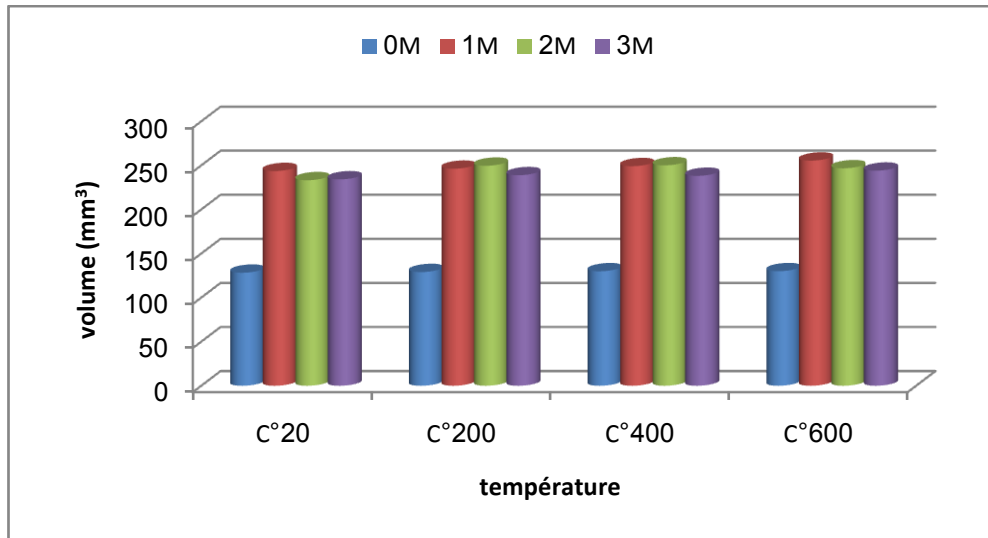


Figure IV.19 : volume des éprouvette en fonction de la température à 14 jours

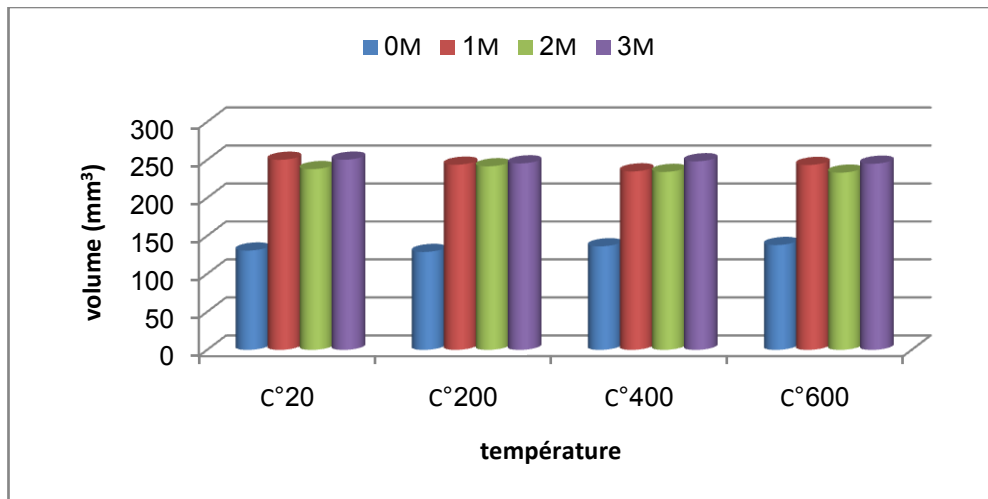


Figure IV.20 : volume des éprouvette en fonction de la température à 28 jours

Interprétation des résultats:

Le volume des éprouvette de 7 jours est diminuer à la température de 200°C et élevée jusqu'à 600 °C comme le montre la (figure IV. 18)

Le volume des éprouvette de 14 jours est une augmentation jusqu'à 600°C comme le montre la (figure IV. 19)

Le volume des éprouvette de 28 jours est diminuer à la température de 200°C et élevée jusqu'à 400 °C ensuite on remarque une dégradation jusqu'à la température de 600 °C comme le montre la (figure IV. 20)

IV.3.8. Porosité :

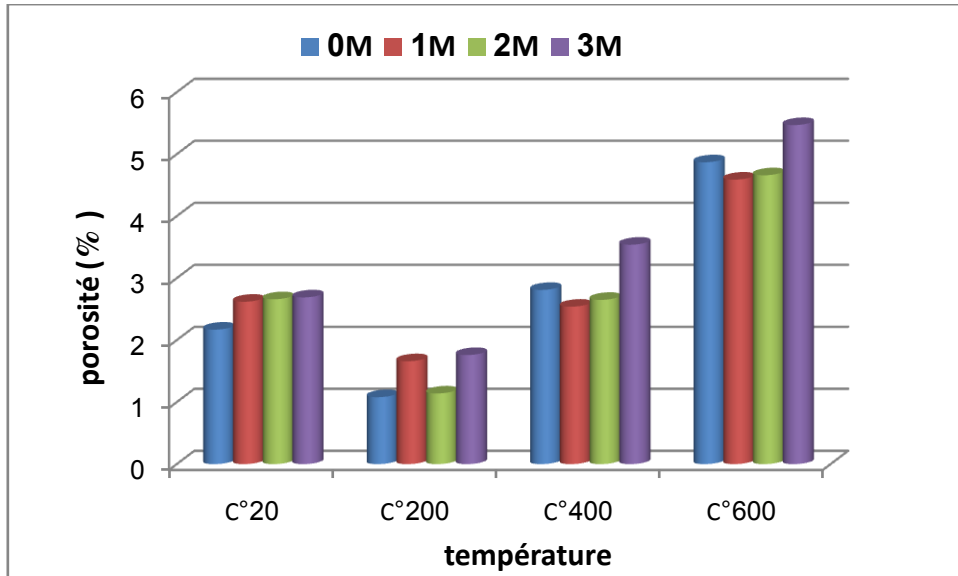


Figure IV.21 : la porosité en fonction de la température à 7 jours

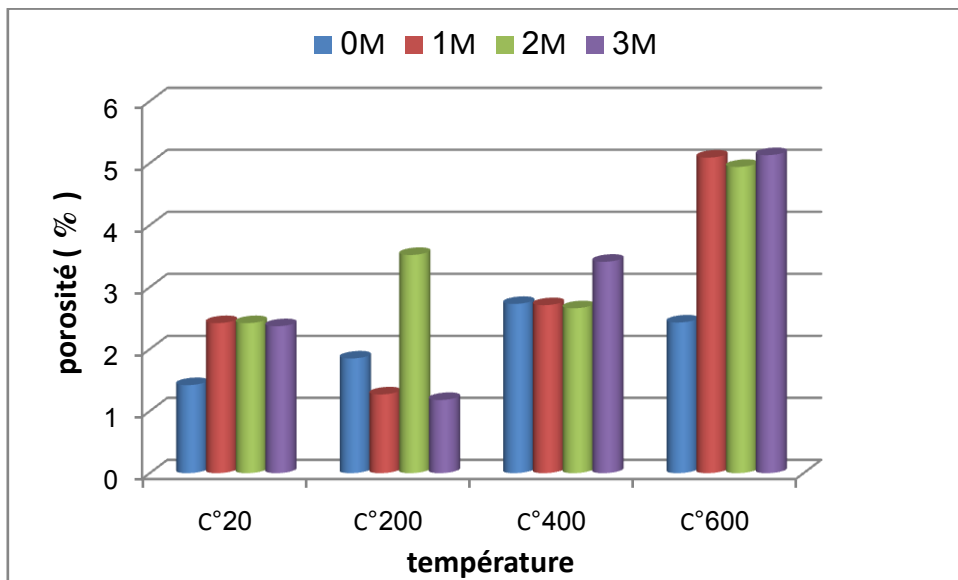


Figure IV.22 : la porosité en fonction de la température à 14 jours

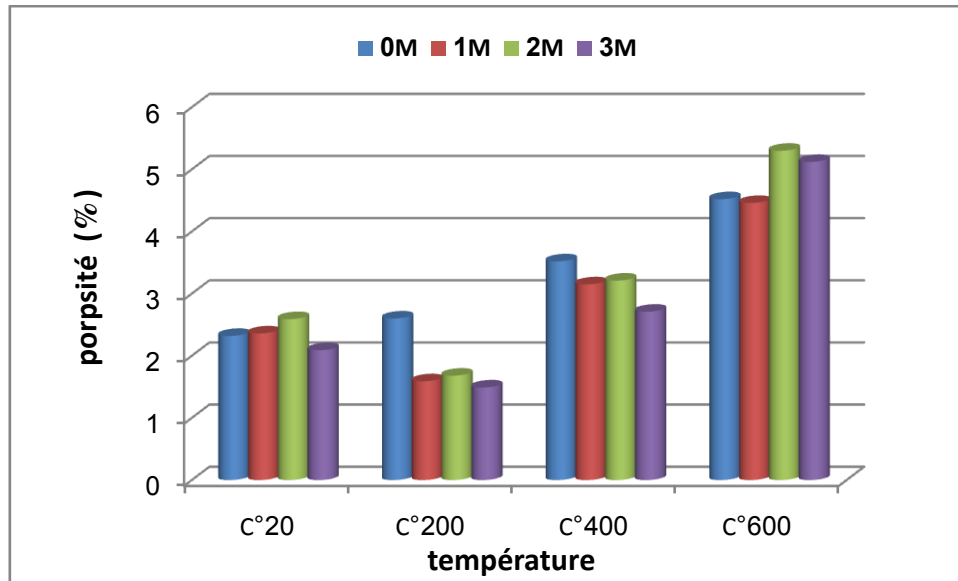


Figure IV.23 : la porosité en fonction de la température à 28 jours

Interprétation des résultats:

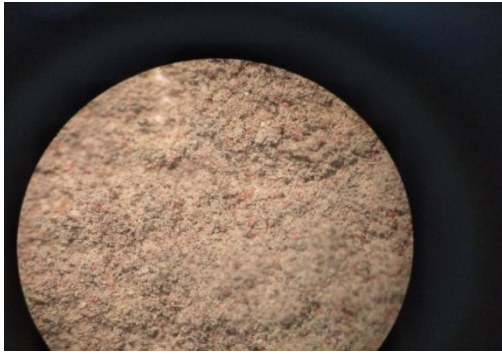
La porosité de 7 jours est diminuer à la température de 200°C et élevée jusqu'à 600 °C comme le montre la (figure IV. 21)

La porosité de 14 jours est une augmentation jusqu'à 200°C est diminuer à la température de 400°C et élevée jusqu'à 600 °C comme le montre la (figure IV. 22)

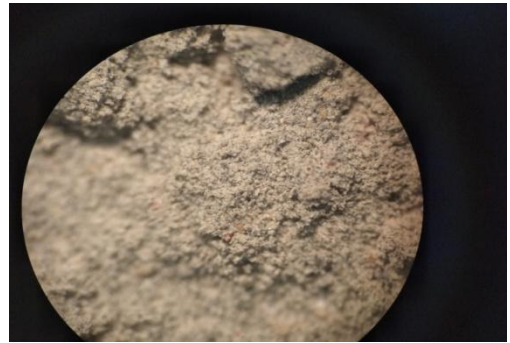
La porosité de 28 jours est une augmentation jusqu'à 600°C comme le montre la (figure IV. 23)

IV.4 Evolution de la surface fissurée des éprouvettes en mortier après un cycle chauffage refroidissement

Sous l'effet d'un chauffage, l'endommagement apparait dans le mortier sous différentes formes. L'une des conséquences de l'endommagement thermique du béton est l'apparition des fissures dans la matrice comme nous pouvons le voir sur la figure V.26. Les observations ont montré que les éprouvettes ne présentent pas de fissuration visible à l'œil nu à la surface après le chauffage à 200°C. les premières fissuration ont été observées à l'œil nu à la surface des éprouvettes après le cycle de chauffage-refroidissement de 600°C sans présence d'éclatement des éprouvettes.



Témoin de 20°C de 7 jours



Témoin de 20°C de 28 jours



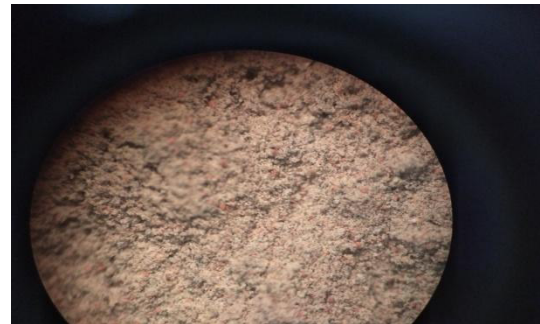
Témoin de 600°C de 7 jours



Témoin de 600°C de 7 jours



20% de sable de brique de 20°C de 7 jours



20% de sable de brique de 20°C



20% de sable de brique de 600°C de 7 jours de 28 jours



20% de sable de brique de 600°C

Après le refroidissement des éprouvettes qui ont subi l'échauffement jusqu'à 600C, nous avons noté un endommagement très important des éprouvettes, ce qui explique les valeurs élevées de la porosité des mortiers déterminée à cette température et la diminution importante de la résistance en compression. Les microfissures deviennent des macro-fissures et conduisant à la rupture du matériau.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons formulé un mortier à base de brique avec différentes températures 20° 200°400° 600° 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 qu'on a présenté sous forme de courbe

Conclusion général

Conclusion général:

Les résultats obtenus dans ce travail nous amènent aux conclusions suivantes:

- ✚ La bonne résistance est donnée pour la température de 400°C pour le cas du mortier de 20% de brique avec un adjuvant dans une 7 et 14 jours mais en 28 jours la résistance est faible à 400° et élevée à 20° dans 20% brique
- ✚ Pour la résistance à la flexion la bonne résistance est obtenue pour la température de 200° dans 7 et 14 jours mais en 28 jours la résistance à la flexion est faible à 200° et élevée à 400° dans 20% brique
- ✚ la perte de masse de composition 0 de 7 et 14 jours diminuer à la composition 1 en fonction de le type de mortier mais la
- ✚ perte de masse de composition 0 de 28 jours diminués à la composition 2 en fonction de le type de mortier
- ✚ Retrait 20°C de composition 0,1 ,2 de 7 , 14 et 28 jours augmente à la composition 2 en fonction de type de mortier ensuite on observe une diminution jusqu'à la composition 3
- ✚ La porosité de 7, 14 et 28 jours est élevée à une température de 600 dans tous les types de mortier.

Référence Bibliographiques

- [1]: **BOUALI Khaled** « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires », mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES 2013/2014.
- [2]: **WILLIAM.D, CALLISTER.JR** « Science et génie des matériaux » modulo Editeur, 2001.
- [3]: www.maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/element/mortier.
- [4]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Sable>
- [5] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Granulom%C3%A9trie>
- [6] www.role+du+sable+dans+le+mortier.
- [7]:<https://essai-laboratoire.blogspot.com/2013/03/analyse-granulometrique.html>
- [8]: https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quivalent_de_sable
- [9]: **SAMAI 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
- [10]: **SOUCI MOUNIR et MOKRANI EL HASSEN HICHAM**"Corrélation aux moyens des essais non destructifs (END) et essai direct (ED) d'un béton à base de matériaux locaux" MEMOIRE de MASTER Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE Université Mohamed Boudiaf – M'sila 2018/2019
- [11]: <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/quoi-parle-t/types-dechets/dechets-inertes>
- [12]:**ALMALEKI Abdulrahman**" CARACTERISATION EXPERIMENTALE DES MORTIERS A BASE DES DECHETS DE BRIQUES" Mémoire de Master Académique UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA 2017-2018

[13]: www.assistancescolaire.com/eleve/3e/physique-chimie/reviser-une-notion/3_pc_03

[14]: **RADI Abdelfateh - HACHEMI Abdelouahab** "L'effet de la température sur les propriétés de mortier adjuvanté " Mémoire de Master Académique UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA 2017-2018

[15]: **DERABLA Riad** «Propriétés physico – mécaniques des mortiers et des ciments élaborés à base de laitier granulé d'El Hadjar» memoire En vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA. 2002

[18]: www.assistancescolaire.com/eleve/3e/physique-chimie/reviser-une-notion/3_pc_03

[19] **Kalifa P., Tsimbrovska M., (1998)** Comportement des BHP à hautes températures, état de la question et résultats expérimentaux. Cahier de CSTB, 3078.

[20]: **DERABLA Riad** «Propriétés physico – mécaniques des mortiers et des ciments élaborés à base de laitier granulé d'El Hadjar» memoire En vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA. 2002

[21]: **Georges Dreux, Jean Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Paris, Edition Eyrolles, 2009.**

[22] **Serifou M,** « Béton à base de recyclats : influence du type de recyclats et rôle de la formulation ». Thèse de Doctorat, Université Felix houphouet boigny et l'Université de Bordeaux 1, Décembre 2013.

[23] **Les litrons de vin français dits « à étoile », normalisés, étaient acceptés indifféremment par n'importe quel fournisseur. « Litre 6 étoiles », sur :**
www.abcdvin.com

[24] **Nacéri Abdelghani and Makhloufi Chikouche Hamina,** «Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar». Waste management 29.8 (2009): 2378-2384

[25]HUILER.S,1999

[26] **Barakat Abderrezak**, «valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton ». Mémoire de magister en génie civil, Université de Ouargla 05/11/2006.

[27] **Koller**, 2004- Traitement des pollutions : Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, Ed. Dunod, Paris, 42

[28]A.D.E.M.E., 2000-Le traitement biologique : Enquête sur les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en 2000, Ed. A.D.E.M.E. Paris.13p.

[29]législation Algérienne. «La loi N 01-19 du 12 décembre 2001relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets».

[30]S.P.E, 1997- Société pour la protection de l'environnement, les déchets dangereux, histoire, gestion et prévention édition GEORG, dossier de l'environnement, paris 1997. 125p.

[31]Gestion des déchets : Catégories des déchets et leur nomenclature - Modifié le 10/12/2012 visé le 25/04/2016, http://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/wiki/econnaissances/view/NotionsCles/LagestiondesdechetsLescategoriesdesdec_hetsetleurnomenclature_#H1.LesdiffE9rentescatE9goriesdedE9chets.

[32]Paradis O, Poirier M, saint-pierre L, 1983. Ecologie un monde à découvrir. Ed. HRW. Itée Montréal.371

[33]Bourmatte Nadjoua, «Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques ». Thèse de Doctorat, Université des frères Metouri Constantine 12 Mars 2017.

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

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

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

[37]: R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN«Granulat, sols, ciment et béton» Edition CASTEILLA-PARIS-2004.

[38] :SAMIA SOUMIA«Formulation d'un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle soumis à températures élevées» mémoire de master **SAMIA SOUMIA M'sila.2015/2016.**

[39] Ajroun Redouane, «Effet de l'incorporation de briques réfractaires dans le ciment portland ». Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de licence p. 40 . 2013- 2014.

[40] Akhtaruzzaman A.A et Hasnat, « Properties of Concrete Using Crushed Brick As aggregate », concrete international, Vol. 5, N°. 2, Feb.1983, p. 58 – 63

[41] 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.

[42] 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.

[43] Kleinlogel A, « Influence des divers éléments physico - chimique sur les Bétons ». Edition Dunod, Paris, 1960, p. 75 140.

[44] bouwmaterialen "", [en ligne], 2004, disponible sur : http://www.lessiusho.be/vipterm/databank_bouwmaterialen2.htm.

[45] guide pour une construction et une rénovation respectueuses de l'environnement – annexe E ¹⁰⁰, service d'architecture et de génie - Services Gouvernementaux Canada, [en ligne], 2004, Disponible sur : http://www.ercr_handbook_appende-f.html

[46]<https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-697-brique.html>

[47]Herizi Boudjmaa et Achour Mohamed «Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier» mémoire de masterHerizi Boudjmaa et Achour Mohamed **M'sila 2019/2020.**

Annexe

MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 tab 1, tab 3.1 et tab 3.2 et NA 17052-2

Super Plastifiant -/Haut réducteur d'eau**Description**

Le MEDAPLAST SP 40 est un super plastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

Domaines D'application

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

Propriétés :

Grâce à ses propriétés le MEDAPLAST SP 40 permet :

Sur béton frais :

- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

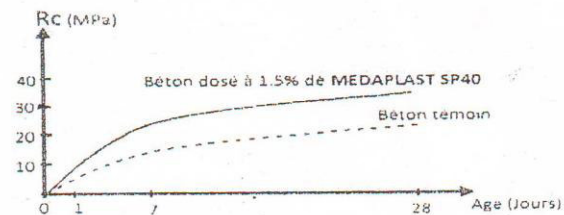
- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

DESIGNATION	Rc MPA	
Jours	7j	28j
Témoin	8,05	31,3
MEDAPLAST SP 40(1.6%)	13,65	38,13

Béton CEM II/A 42.5 = 350Kg/m³ ; E/C = 0.46
Gravier et sable concassés

Caractéristiques :

- Aspect Liquide
- Couleur Marron
- PH 8,2
- Densité 1,20 ± 0,01
- Teneur en chlore < 1g/L
- Extrait sec 40%



Evolution des résistances en compression

Mode D'emploi

Il est recommandé d'ajouter le MEDAPLAST SP 40 dans le béton après introduction de la totalité de l'eau de gâchage. Il est conseillé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage adéquat pour les résultats recherchés.

Dosage:

Plage de dosage recommandée :

0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

Conditionnement Et Stockage

Le MEDAPLAST SP 40 est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 260 kg et en cubitainers de 1200 kg.

Durée de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Précaution D'emplois

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en 17 JUL 2016.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour, il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Zone Industrielle Oued Smar - BP 85 Oued Smar - 16270 Alger

Tel : 213 021516681 & 82

Fax : 213 021516422 & 021516523

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com

FICHE TECHNIQUE

CIMENT PORTLAND RESISTANT AUX SULFATES CEM I 42,5 N-SR5 NA 442/2013

Conformément à la norme NA 442/2013

ANALYSES CHIMIQUES		
Eléments	Garanties NA 442	Teneurs%
SiO ₂ (NA 5042)		21,33
Al ₂ O ₃ (NA 5042)		5,50
Fe ₂ O ₃ (NA 5042)		4,40
CaO (NA 5042)		63,92
MgO (NA5042)	≤ 4%	1,38
SO ₃ (NA 5042)	≤2,5%	2,19
CL	≤0,10 %	0,01
P.A.F.(NA 5042)	≤ 5%	2,60
RI(NA 5042)	≤0,75%	0,76
C3A	≤5%	4,34
C4AF	≤10%	8,10

ESSAIS PHYSIQUES			
		Garanties NA 442	Mesures
P.S (g/Cm ³)(NA231)			3,12
SSB cm ² /g (NA 231)			3160
Temps de Prise (NA 230)	Début	≥1h	2:26
	Fin		3:30
Expansion mm (NA 230)	A. Chaud	≤ 10 mm	0,12
	A.Froid		
Refus %	45μ		12,90

ESSAIS MÉCANIQUES(NA 234)			
Resistances	Échéance en jours	Garanties NA 442	Mesures
Résistance à la flexion MPA	02 JOURS		4,,1
	07 JOURS		5,6
	28 JOURS		7,1
Résistance à la compression Mpa	02 JOURS	≥12,5	17,8
	07 JOURS		31,2
	28 JOURS	≥42,5	43,5

NB: Resistance âge de 28 jours est la moyenne de mois d'octobre 2018



Société des Ciments de Tébessa

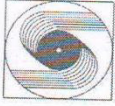
Filiale du GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE «Groupe GICA»

Siège Social: rue Belkacem Youcef, BP n°83 RP - Tébessa - Algérie

Tél: +213(0)37 59 27 98 Fax: +213(0)37 59 25 84

email: secretariat.dg.sct@gmail.com

www.sct.dz



Enreg : FTC 13-1/PRO 05

Réf : 019/SceCQ/18

Mois de Novembre 2018

FICHE TECHNIQUE

CIMENT PORTLAND COMPOSE CEM II/A-M(P-L) 42,5 NA 442/2013

Conformément à la norme NA 442/2013

ANALYSES CHIMIQUES		
Éléments	Garanties NA 442	Teneurs%
SiO ₂ (NA 5042)		21,35
Al ₂ O ₃ (NA 5042)		4,48
Fe ₂ O ₃ (NA5042)		4,70
CaO(NA5042)		63,67
MgO (NA5042)	≤ 5%	1,18
SO ₃ (NA 5042)	≤3,5%	1,95
CL	≤0,10 %	0,002

ESSAIS PHYSIQUES			
		Garanties NA 442	Mesures
PS (g/Cm ³)(NA231)			3,02
SSB cm ² /g (NA 231)			3895
Temps de Prise (NA 230)	Début	≥1h	2:13
	Fin		3:08
Expansion mm (NA 230)	A. Chaud	≤ 10 mm	1,14
	A.Froid		
Refus %	45μ		13,40

ESSAIS MÉCANIQUES(NA 234)			
Resistances	Échéance en jours	Garanties NA 442	Mesures
Résistance à la flexion MPA	02 JOURS		3,0
	07 JOURS		4,5
	28 JOURS		7,1
Résistance à la compression Mpa	02 JOURS	≥10	17,8
	07 JOURS		28,4
	28 JOURS	≥40	43,5

NB: Resistance âge de 28 jours est la moyenne de mois d'octobre 2018



Société des Ciments de Tébessa

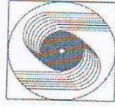
Filiale du GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE «Groupe GICA»

Siège Social: rue Belkacem Youcef, BP n°83 RP - Tébessa - Algérie

Tél: +213(0)37 59 27 98 Fax: +213(0)37 59 25 84

email: secretariat.dg.sct@gmail.com

www.sct.dz



Enreg : FTC 13-1/PRO 05
 Réf : 5 3 8 / C Q / 1 8
 Mois de Novembre 2018

FICHE TECHNIQUE

CIMENT PORTLAND COMPOSE CEM II/B-M (P-L) 32,5 NA 442/2013

Conformément à la norme NA 442/2013

ANALYSES CHIMIQUES

Eléments	Garanties NA 442	Teneurs%
SiO ₂ (NA 5042)		22,09
Al ₂ O ₃ (NA 5042)		4,70
Fe ₂ O ₃ (NA5042)		4,05
CaO(NA5042)		53,30
MgO (NA5042)	≤ 5%	1,52
SO ₃ (NA 5042)	≤3,5%	2,03
CL	≤0,10 %	0,003
PAF	≤ 5%	4,91
C ₃ A	≥ 5%	11,06

ESSAIS PHYSIQUES

		Garanties NA 442	Mesures
P.S (g/Cm ³)(NA231)			3,02
SSB cm ² /g (NA 231)			3995
Temps de Prise (NA 230)	Début	≥75mn	
	Fin		
Expansion mm (NA 230)	A. Chaud	≤ 10 mm	1,14
	A.Froid		
Refus %	45μ		14,80

ESSAIS MÉCANIQUES(NA 234)

Resistances	Echéance en jours	Garanties NA 442	Mesures
Résistance à la flexion MPA	02 JOURS		31,2
	07 JOURS		50,6
	28 JOURS		65,3
Résistance à la compression Mpa	02 JOURS	≥10	12,5
	07 JOURS		22,5
	28 JOURS	≥40	32,9



Société des Ciments de Tébessa

Filiale du GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE «Groupe GICA»

Siège Social: rue Belkacem Youcef, BP n°83 RP - Tébessa - Algérie

Tél: +213(0)37 59 27 98 Fax: +213(0)37 59 25 84

email: secretariat.dg.sct@gmail.com

www.sct.dz

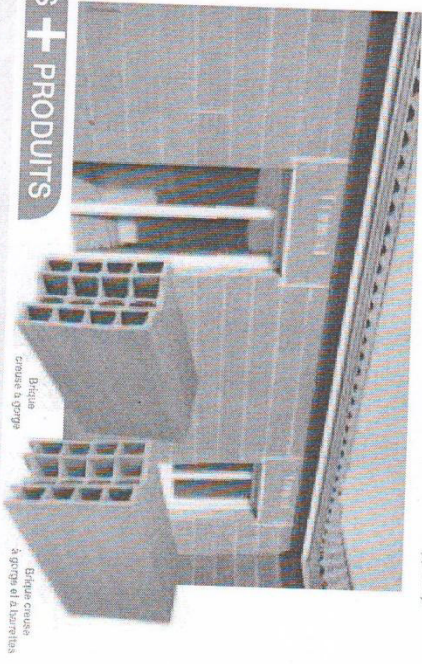


Brique creuse à pose traditionnelle

Brique de structure à pose traditionnelle, la brique creuse est équipée d'une gorge verticale pour réaliser le clouage entre briques tout en supprimant le joint vertical de façade.

La brique creuse à barrettes facilitée, grâce à ses barrettes horizontales en sous-face des briques, la réalisation de l'arase au mortier pour un mur mieux fini.

Maçonnerie courante 20 cm à isolation rapportée (maçonnerie isolante de type B).



LES + PRODUITS

- Gain de temps
- Plusieurs dimensions de briques dont la 20 x 27 x 50, plus haute et plus grande, qui permet de monter un mur plus rapidement : 3 rangs de moins pour monter un étage (comparé à la brique 20 x 20 x 50).
- Meilleure finition

La gorge verticale et les barrettes horizontales de la brique creuse à barrettes ont pour effet de supprimer les joints verticaux et minimiser les joints horizontaux, apparents en façade.

Domaine d'emploi

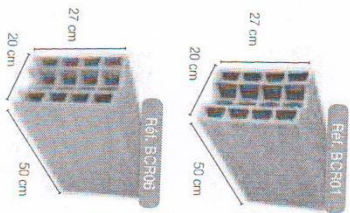
- Système complet de maçonnerie courante - conforme à la norme EN 771-1 compli - permettant la construction de murs à enduire, porteurs ou non porteurs, pour les :
- ▶ maisons individuelles,
 - ▶ logements collectifs,
 - ▶ bâtiments à usage commercial, industriel ou agricole.
- La reprise de charge et la stabilité au feu de la brique traditionnelle autorisent son utilisation en général jusqu'à 1 niveau d'élévation, en zone de sismicité nulle à forte.

Certification

Le système brique creuse répond aux spécifications de la norme NF EN 771-1 compli "Spécifications pour les éléments de maçonnerie - Partie 1 : Briques de terre cuite".

Conforme au marquage

Caractéristiques



Référence Produit	Dimension en cm	Poids unitaire (kg)	Quantité au m ³	Quantité par palette
BRIQUE CREUSE À GORGE ET À BARRETTES				
BCR06	20 x 27 x 50	15,9	7,2	60
BRIQUE CREUSE À GORGE				
BCR01	20 x 27 x 50	15,4	7,2	60
BCR02	20 x 20 x 50	11,8	9,2	80
BRIQUE CREUSE SANS GORGE				
BCR04	15 x 20 x 50	10	9,2	100

→ pour connaître l'ensemble des caractéristiques des systèmes brique traditionnelle, consulter les pages 16 et 17.

Performances techniques

PERFORMANCES BRIQUES CREUSES	réf. BCR01	réf. BCR02	réf. BCR04	réf. BCR06
	Résistance Thermique (en m ² .K/W)	R brique = 0,45 R paroi ¹⁾ = 3,78	R brique = 0,45 R paroi ²⁾ = 3,78	R brique = 0,35 R paroi ³⁾ = 3,68
Résistance mécanique (en bars)	Rc = 40	Fc = 40	Rc = 40	Rc = 40
Résistance au feu ⁵⁾ mur chargé	Avec enduit intérieur plâtre Charge centrée 13 T/ml } REI 240			
Affaissement acoustique ⁶⁾	Brique seule → Rw 52 (-1 ; -3) dB*			
Résistance à l'arrachement (Enduits)	Support classe RT3			
Pose	Traditionnelle au mortier hydraulique			

Toutes les PV d'essai et documentations de certifications sont disponibles sur demande auprès de l'assistance technique.

(1) 1 dans un cas de plus de 10 m/m

(2) 1 dans un cas de plus de 10 m/m

(3) Avec l'isolant thermique de la cage remplissant les résistances supérieures, inférieures et extérieures (R = 0,17) et les résistances des encastres

(4) Avec l'isolant thermique de la cage remplissant les résistances supérieures, inférieures et extérieures (R = 0,17) et les résistances des encastres

(5) Valeurs calculées au CEMAC (calcul d'essai)

Briques de murs

Accessoires monolithes

Appuis & mortures

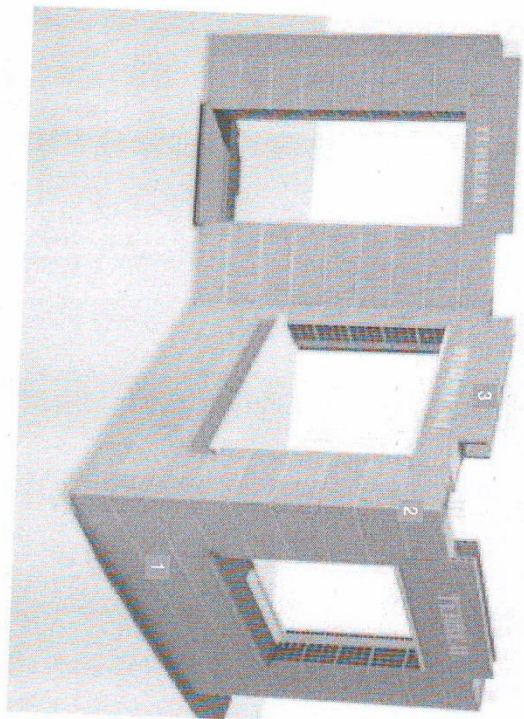
Cloisons

Conduits de fumée

Butte de pose

Brique creuse : système complet avec accessoires

Référence produit	Dimensions en cm (ép. x h x L)	Poids unitaire (kg)	Quantité au m ² ou ml	Section béton en cm	Quantité de mortier au m ² ou ml (lits)	Quantité par palette
BRIQUE EN PARTIE COURANTE						
1 Brique creuse à gorge et à barrettes	BCR06	20 x 27 x 50	15,9	7,2/m ²	-	22/m ²
	BCR01	20 x 27 x 50	15,4	7,2/m ²	-	22/m ²
1 Brique creuse à gorge	BCR02	20 x 20 x 50	11,8	9,2/m ²	-	23/m ²
	BCR04	15 x 20 x 50	10,0	9,2/m ²	-	18/m ²
CHAÎNAGES VERTICAUX						
2 Brique d'angle	BCR23	20 x 27 x 50	16,4	3,7/ml	12 x 12	17/ml
	BCR24	20 x 20 x 50	12,5	5/ml	12 x 12	17/ml
CHAÎNAGES HORIZONTAUX						
3 Brique de chaînage	BCR11	20 x 27 x 50	18,0	2/ml	16 x 12	19,2/ml
	BCR12	20 x 20 x 50	13,8	2/ml	16 x 12	19,2/ml



Produits associés : les accessoires monolithes

