



Mémoire de Magister

Présenté à l'Université de Guelma
Faculté des Sciences et de l'Ingénierie

Département de : Génie Civil

Spécialité : Mécanique et durabilité des matériaux

Par : Harbi Radhia

**Thème : Comportement mécanique et durabilité des mortiers
à base de déchet de briques**

Sous la direction de : Pr. Benmalek Mohamed Larbi

JURY

Dr : BENMARCE A.	Université de Guelma	Président
Pr : BENMALEK M/L.	Université de Guelma	Rapporteur
Dr : CHERAIT Y.	Université de Guelma	Examineur
Dr : BELOUETAR R.	Université d'Annaba	Examineur
Dr : BENOUIS A/H.	Université de Guelma	Examineur

2009

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au sein du département de génie civil et du Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique (LGCH) de l'université de Guelma. Je tiens tout particulièrement à remercier Dieu qui m'a donné la force et la patience pour achever ce mémoire.

Je remercie vivement et au plus profond de mon coeur mon encadreur : professeur BENMALEK M.L pour m'avoir fait confiance, pour son dévouement et ses conseils et pour m'avoir dirigé pendant l'élaboration de ce mémoire. Je tiens à le remercier pour sa patience tout au long de ce travail.

Je voudrais saisir cette occasion pour remercier le chef de département : Dr. BENMARCE A. pour avoir accepté de présider et examiner ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements aux membres examinateurs : Dr. BENOUIS A/H. Dr. CHERAIT Y., Dr. BELOUETAR R. maîtres de conférences pour avoir accepté de juger ce travail malgré leurs nombreuses occupations.

Mes remerciements pour le corps enseignant du département de génie civil de l'université du Guelma et en particulier le professeur GUENFOUD.M pour m'avoir accueilli dans le laboratoire LGCH qu'il dirige.

Merci aussi à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail à l'intérieur et à l'extérieur de l'université.

Mes remerciements à tous les amis que j'ai rencontré pendant ces longues années d'étude et à tout le personnel du département de génie civil.

Enfin je voudrais adresser mes remerciements les plus particulièrement profonds, en particulier à mes parents, à mon frère, mes deux soeurs et ma petite soeur Ikram, pour leurs encouragements.

Ce travail n'aurait jamais été achevé sans leurs encouragements et leurs patiences à me supporter dans les moments les plus difficiles.

إهداء

- إلى أعز من لدي في الوجود أمي الغالبة
 - إلى أبي الذي أمدني بالمساعدة و الدعم
 - إلى إخوتي جميعا و خاصة الكتكوتة إكرام
 - إلى أستاذي و مؤطري بن مالك محمد العربي
 - إلى كل أصدقاء و زملاء المشوار الجامعي
- أهدي ثمرة الجهد المبذول لانجاز هذا العمل المتواضع.

راضية حربي

SOMMAIRE

ملخص.....	I
Résumé.....	II
Abstract.....	III

PRESENTATION ET OBJECTIF DE L'ETUDE

I/ INTRODUCTION.....	2
II/ OBJECTIF DE RECHERCHE.....	3
III/ PRESENTATION DE L'ETUDE.....	4

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1 ECO-MATERIAUX DANS LE DOMAINE DE LA CONSTRUCTION

1- Mortiers à base de granulats de laitier.....	6
2- Mortier à base de sable concassé et d'adjuvant.....	8
3- Béton à base de déchets de marbre.....	9
4- Béton léger à base de granulats pouzzolaniques de Beni Saf et Polis Béto.....	10
5- Béton léger à base de fibres de bois, déchets industriels.....	10
6- Ciment à base de minerai de pouzzolanes	11
7- Béton aérien à base de fibre de palmier dattier.....	12
8- Béton de sable léger à base des déchets de concassage et de menuiserie de bois.....	12

9- Bétons de sable de dunes et leurs durabilités.....	13
10- Béton à base des sables concassés et l'ajout des fines.....	14
11- Durabilité des matériaux recyclés de démolition.....	14
12- Béton de sable à base de copeaux de bois.....	15
13- Mortiers à base de l'ajout pouzzolanique ultra fin.....	16
14- Béton routier a base de déchets et de sous produit.....	16
15- Béton routier avec des déchets de demolition.....	16
16- Le recyclage des matériaux de démolition	16
17- Mortiers d'enduit de restauration à base de pouzzolane artificielle.....	17
18- Béton de sable à base des fillers	17
19- Déchets divers	17
 II-2 DECHETS DE BRIQUE VALORISES.....	 19
II-2-1 Principe de fabrication des briques et déchets résultant.....	20
II-2-2 Les productions de brique et les quantités des déchets qui rejeter.....	21
<i>II-2-2-1 Production de la briqueterie de Bendjerrah.....</i>	<i>21</i>
<i>II-2-2-2 Production de la briqueterie de Bordj sabath.....</i>	<i>21</i>
II-2-3 L'industrie de la terre cuite en France.....	22
II-2-4 Valorisation des déchets de brique.....	22
1. Béton de sable de dune à base de granulats de brique.....	22
2. Béton de sable de dune à base de l'ajout des déchets de brique.....	25
3. Enduits à base de chaux et pouzzolanes artificiels.....	28
4. Mortier à base des déchets de briques comme ajout dans le ciment.....	31
5. Béton à base des déchets de briques comme granulats.....	32

CHAPITRE II

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

II-1 TECHNIQUES EXPERIMENTALES UTILISEES POUR LA CARACTERISATION DES ELEMENTS DE COMPOSITION.....	34
II-1-1 Le sable concassé (de carrière).....	34
II-1-2 Les déchets de brique.....	37

II-1-3 Le ciment.....	38
II-1-4 L'eau de gâchage.....	38

II-2 TECHNIQUES EXPERIMENTALES UTILISEES POUR LA CARACTERISATION DES MORTIERS D'ETUDE.....	39
II-2-1 Résistance à la compression.....	39
II-2-2 Essai de résistance à la traction.....	40
II-2-3 Essai de Retrait et gonflement.....	42
<i>II-2-3-1 Retrait total et perte de masse.....</i>	<i>42</i>
<i>II-2-3-2 Gonflement.....</i>	<i>43</i>
II-2-4 Absorption d'eau par capillarité et sorptivité.....	43
II-2-5 Séchage-mouillage.....	44
II-2-6 Attaque par sulfate de magnésium.....	45

CHAPITRE III

CARACTERISATION DES MATERIAUX COMPOSANTS ET FORMULATION DES MORTIERS D'ETUDE

III-1 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX.....	47
III-1-1 Sable concassé.....	47
<i>III-1-1-1 Dénomination de sable.....</i>	<i>48</i>
<i>III-1-1-2 Caractéristiques physiques de sable utilisé.....</i>	<i>48</i>
<i>III-1-1-3 Analyse granulométrique.....</i>	<i>49</i>
<i>III-1-1-4 Module de finesse.....</i>	<i>50</i>
III-1-2 Déchets de brique.....	50
<i>III-1-2-1 Dénomination des déchets de brique.....</i>	<i>50</i>
<i>III-1-2-2 Caractéristiques physiques des déchets de brique.....</i>	<i>51</i>
<i>III-1-2-3 Analyse granulométrique.....</i>	<i>52</i>
<i>III-1-2-4 Module de finesse.....</i>	<i>53</i>

III-1-3 Ciment.....	53
III-1-3-1 Composition chimique.....	53
III-1-3-2 Caractéristiques physiques et mécaniques.....	54
III-1-4 Eau de gâchage.....	54
III-2 FORMULATION D'UN MORTIER PAR L'ESSAI DE CONSISTANCE (APPAREIL DE VICAT MUNI DE LA SONDE DE CONSISTANCE).....	55
III-2-1 Mesure la consistance de la pâte.....	56
III-2-2 Mesure de la résistance à la compression.....	58
III-3 FABRICATION DE LA PATE DES MORTIERS.....	59
III-4 DETERMINATION DE LA COMPOSITION DES MORTIERS.....	60
III-5 CONFECTION DES EPROUVETTES POUR LES ESSAIS DE COMPORTEMENT MECANIQUE ET DE DURABILITE DES MORTIERS.....	61
III-6 PROCEDURE DE CONSERVATION DES EPROUVETTES DES MORTIERS.....	62
III-6-1 Conservation à l'eau	62
III-6-2 Conservation à l'air	63
III-6-3 Conservation à l'étuve.....	63
III-6-4 Conservation dans une solution de Sulfate de Magnésium.....	64
III-6-5 Conservation dans du papier d'aluminium.....	64

CHAPITRE IV

RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES

IV-1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES MORTIERS ELABORES.....	66
IV-2 CARACTERISTIQUES MECANQUES	69
IV-2-1 Résistances mécaniques des mortiers élaborés.....	69
IV-2-1-1 Résistance à la compression à 28 jours (R_{c28})	69
IV-2-1-2 Résistance à la traction.....	73
IV-2-2 Relation R_{c28} - R_{t28}	77

IV-3 DURABILITE DES MORTIERS.....	78
IV-3-1 Retrait et de Gonflement	78
IV-3-1-1 Retrait.....	78
A/Variation dimensionnelle	78
B/ Variation pondérale	81
IV-3-1-1 Gonflement maximale (linéaire).....	84
IV-3-2/ Absorption capillaire.....	85
IV-3-2-1 Cinétique d'absorption d'eau.....	85
IV-3-2-2 Coefficient d'absorption d'eau capillaire	88
IV-3-2-3 La sorptivité (absorptivité) d'étude	91
IV-3-3/ Séchage-mouillage.....	94
IV-3-3-1/ Résistance a la compression.....	94
IV-3-3-2/ Résistance de traction par flexion.....	95
IV-3-4/ Attaque par sulfate de magnésium.....	96
IV-3-4- Résistances mécaniques.....	96
IV-3-4-2 Perte de masse.....	98
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	101
BIBLIOGRAPHIE.....	104

ملخص

هذا العمل التجريبي هو مساهمة في حماية البيئة من خلال إعادة استعمال بقايا الآجر، فإنها في الواقع أضرت بالبيئة وبدأت تشكل مشكلة حقيقية للتلوث.

والهدف من ذلك هو دراسة تأثير نسبة استبدال رمال الحاجر في صنع ببقايا الميلاط رمال الآجر. لإجراء هذه الدراسة، خمسة أنواع من الميلاط تختلف بنسبة البقايا المستخدمة التي تم صنعها و تمت دراسة تطور خصائصها. هذه الخصائص هي الفيزيائية والميكانيكية والديمومة، التجفيف، نميه وامتصاص الماء، الهجوم الكيماوي بواسطة محلول سلفات الماغنزيوم، انكماش و انتفاخ و فقدان الوزن.

نتائج التجارب أثبتت قوة ضغط الميلاط التي تنخفض مع زيادة نسبة بقايا الآجر بسبب كبر المسامية لبقايا الآجر و وزيادة قدرته على امتصاص الماء.

أنها لا تزال مقبولة جدا مقارنة بالميلاط الشاهد. وعلاوة على هذه فان الميلاط بصورة عامة دائم من اجل الاستخدامات الاعتيادية : الطلاء ، والإصلاح ، والربط ، والختم الخ... علما بأن هذا الميلاط البيئي يتطلب كميات هائلة من الماء ضرورية من اجل خلط العجينة و من اجل نميه الاسمنت.

إن القدرة اللاصقة التي تأتي بها بقايا الآجر في صنع الميلاط و التي تحدث عنها بعض الباحثين لم نتمكن من ملاحظتها في هذا العمل. هل هي مرتبطة بنعومة بقايا الآجر؟

و كملاحظة أخيرة ، فان بقايا الآجر تخفف من وزن الميلاط التقليدي بصفة محسوسة.

الكلمات الرئيسية: الآجر- البقايا - الميلاط - إعادة الاستخدام - الاستدامة.

RESUME

Ce travail d'ordre expérimental constitue une contribution à la protection de l'environnement par recyclage des déchets de brique, ils sont en effet déversés dans la nature et commencent à poser un véritable problème de pollution.

L'objectif recherché est l'étude de l'influence du taux de substitution des sables de carrière dans la confection des mortiers par des sables de déchets de brique préalablement concassés et tamisés jusqu'à obtention d'une granulométrie similaire à celle des sables de carrière.

Pour mener cette étude, cinq types de mortiers différents par le taux de déchets de brique mis en œuvre ont été élaborés à même consistance et l'évolution de leurs caractéristiques a été étudiée. Il s'agit de leurs caractéristiques physiques, mécaniques et de durabilité : vieillissement par séchage-mouillage, absorption d'eau par succion capillaire et absorptivité, attaque chimique par une solution de sulfate de magnésium ($MgSO_4$), retrait-gonflement et perte de masse.

Les résultats expérimentaux ont prouvé que les résistances à la compression des mortiers élaborés diminuent avec l'augmentation du taux de déchets de brique à cause de la plus grande porosité des déchets de brique et de leur plus grande capacité d'absorption d'eau. Elles demeurent cependant très acceptables par comparaison au mortier témoin. Par ailleurs ces mortiers sont globalement durables pour les usages envisagés : enduisage, réparation, jointage, scellement, pose etc ...

Il faut noter que ces éco-mortiers ont une demande plus importante en eau nécessaire pour le gâchage de la pâte et pour l'hydratation du ciment. La pouzzolanité apportée par les déchets de brique aux mortiers élaborés, rapportés par certains auteurs, n'a pas été observée dans ce travail. Dépend t-elle de la finesse des déchets de brique ?

Notons enfin que les déchets de brique allègent sensiblement les mortiers traditionnels.

Mots clés : Brique - déchets - mortier - recyclage - durabilité.

ABSTRACT

This experimental work is a contribution to the protection of the environment through recycling of waste brick, they are indeed released in the wild and begin to pose a real problem of pollution.

The aim of this work is to study the influence of the rate of substitution sands career in the manufacture of mortars by sands waste crushed brick and sieved prior to obtaining a size similar to the career sands.

To conduct this study, five different types of mortars by the rate of waste brick used were developed with the same consistency and evolution of their characteristics was studied. These physical characteristics, mechanical and durability aging by drying-wetting, absorption of water by capillary suction and absorption, chemical attack by a solution of magnesium sulphate (MgSO_4), shrinkage-swelling and loss in weight .

The experimental results have shown that the compressive strength of mortars prepared decrease with the increase in the rate of waste brick because of the greater porosity of waste bricks and their greater capacity to absorb water. They remain very acceptable compared to control mortar. Furthermore these mortars are generally durable for uses: coating, repair, jointing, sealing, pose etc ...

Note that these eco-mortars have a greater demand for water in the mixing of the paste and the hydration of cement. The pouzzolanicity made by waste from brick to the prepared mortar, reported by some authors, was not observed in this work.

Does it depend from the fineness waste brick?

Finally, waste brick significantly reduces the weight of traditional mortars.

Keywords: Brick - Waste - mortar - recycling -sustainability.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Production de la brique (briqueterie de Bendjerrah)

Tableau I-2 : Production de la brique (briqueterie de Bordj sabath)

Tableau I-3 : Caractéristiques physiques du tuileau

Tableau I-4 : Composition chimique du tuileau (déterminée à partir des analyses aux fluorocènes X)

Tableau I-5 : Résistance à la compression des mortiers étudiés

Tableau II-1 : Dimensions nominales des tamis

Tableau III-1 : Dénomination du sable

Tableau III-2 : Caractéristiques physiques du sable utilisé

Tableau III-3 : Analyse granulométrique du sable de carrière

Tableau III-4 : Dénomination

Tableau III-5 : Caractéristiques physiques des sables issus des déchets de brique

Tableau III-6 : Analyse granulométrique des déchets de brique (sable de déchets de brique)

Tableau III-7 : Composition chimique du ciment CPJ 42.5

Tableau III-8 : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé

Tableau III-9 : Composition chimique sommaire de l'eau de gâchage (Mg/l)

Tableau III-10 : Composition chimique de l'eau de gâchage (Mg/l)

Tableau III-11 : Résistances mécaniques avec $E/C=0.50$

Tableau III-12 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers élaborés à consistance égale

Tableau III-13 : Compositions des mortiers élaborés

Tableau IV-1 : Caractéristiques physiques des mortiers élaborés

Tableau IV-2 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers élaborés

Tableau IV-3 : Résistance moyenne à la traction à 28 jours des mortiers élaborés

Tableau IV-4 : Relation entre les résistances à la compression et à la traction à 28 jours

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Evolution du retrait dans le temps (conservation des éprouvettes en milieu ambiant)

Figure I-2 : Evolution du retrait dans le temps (éprouvettes recouvertes)

Figure I-3 : Evolution du gonflement dans le temps (conservation des éprouvettes dans l'eau)

Figure I-4 : Schéma de la fabrication des briques

Figure I- 5 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge et du dosage en granulats (à l'air libre) selon AZZOUZ et al

Figure I- 6 : Variation de la résistance à la traction en fonction de l'âge (à l'air libre) selon AZZOUZ et al

Figure I- 7 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge (à l'air libre) selon HADJOUDJA et BEDERINA

Figure I- 8 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge (7 jours sous l'eau) selon HADJOUDJA et BEDERINA

Figure I-9 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge (5 jours sous l'étuve) selon HADJOUDJA et BEDERINA

Figure I- 10 : Prise des mortiers chaux / tuileau

Figure I- 11 : Prise des mortiers chaux / plâtre

Figure I- 12 : Prise des mortiers chaux / ciment

Figure I- 13 : Prise des mortiers chaux / sel d'alun

Figure I- 14 : Résistance à la compression du béton avec granulats des déchets de briques fins

Figure I- 15: Résistance à la compression du béton avec gros granulats des déchets de briques

Figure I- 16 : Résistance à la traction du béton avec granulats des déchets de briques (à 28 jours)

Figure II-1 : Détermination de l'équivalent de sable

Figure II-2 : Schéma de l'essai de traction par flexion 3 points

Figure II-3 : Mesure de l'absorption capillaire de l'eau

Figure II-4 : Relation générale entre la masse d'eau absorbée par unité de surface et le temps

Figure III-1 : Courbe granulométrique du sable de carrière

Figure III-2 : Courbe granulométrique des déchets de brique

Figure III-3 : Variation du rapport E/C en fonction du taux de déchets de briques mis en œuvre

Figure IV-1 : Evolution de la M_v en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

Figure IV-2 : Evolution de la capacité d'absorption d'eau en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

Figure IV-3 : Evolution de la porosité en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

Figure IV-4 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers étudiés

Figure IV-5 : Evolution de R_{c28} en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

Figure IV-6 : Influence de la capacité d'absorption d'eau (C.A) sur la résistance R_{c28}

Figure IV-7 : Influence de la porosité (P) sur la résistance R_{c28}

Figure IV-8 : Influence du rapport E/C sur la résistance R_{c28}

Figure IV-9 : Résistance à la traction à 28 jours des mortiers étudiés

Figure IV-10 : Evolution de R_{t28} en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

Figure IV-11 : Influence de la capacité d'absorption d'eau (C.A) sur la résistance R_{t28}

Figure IV-12 : Influence de la porosité (P) sur la résistance R_{t28}

Figure IV-13 : Résistance à la traction par flexion en fonction de rapport $\frac{E}{C}$

Figure IV-14 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_1

Figure IV-15 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_2

Figure IV-16 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_3

Figure IV-17 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_4

Figure IV-18 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_5

Figure IV-19 : Courbe globale de la cinétique du retrait pour les mortiers M_1 à M_5

Figure IV-20 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_1

Figure IV-21 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_2

Figure IV-22 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_3

Figure IV-23 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_4

Figure IV-24 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_5

Figure IV-25 : Courbe globale de la cinétique de la perte de masse pour les mortiers M_1 à M_5

Figure IV-26 : Gonflement maximal des mortiers étudiés

Figure IV-27 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_1

Figure IV-28 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_2

Figure IV-29 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_3

Figure IV-30 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_4

Figure IV-31 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_5

Figure IV-32 : Courbe globale de la masse de l'eau absorbée pour les mortiers M_1 à M_5

Figure IV-33 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_1

Figure IV-34 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_2

Figure IV-35 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_3

Figure IV-36 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_4

Figure IV-37 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_5

Figure IV-38 : Courbe globale de l'évolution de l'eau absorbée pour les mortiers M_1 à M_5

Figure IV-39 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M_1

Figure IV-40 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M_2

Figure IV-41 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M_3

Figure IV-42 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M_4

Figure IV-43 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M_5

Figure IV-44 : Courbe globale de la sorptivité pour les mortiers M_1 à M_5

Figure IV-45 : Résistance à la compression après le cycle de séchage et mouillage

Figure IV-46 : Résistance de traction par flexion après le cycle de séchage et mouillage

Figure IV-47 : Résistance à la compression après l'attaque par le $MgSO_4$ durant 90 jours.

Figure IV-48 : Résistance de traction après l'attaque par le $MgSO_4$ durant 90 jours.

Figure IV-49 : Perte de masse après 90 jours d'immersion

LISTE DES PHOTOS

Photo II -1: Tamiseuse électrique utilisée

Photo II-2 : Machine d'écrasement

Photo II-3 : Machine d'essai à la traction

Photo II-4 : Mesure du retrait et gonflement par l'intermédiaire d'un pied à coulisse

Photo II-5 : Séchage dans l'étuve et mouillage par immersion totale dans le bac à eau

Photo III-1 : Eprouvettes des mortiers normalisés E/C=0.5

Photo III-2 : Essai de consistance réalisé par l'appareil de Vicat muni d'une sonde pour
la formulation des mortiers d'étude

Photo III-3 : Malaxeur à mortier utilisé

Photo III-4 : Conservation des éprouvettes dans l'eau

Photo III-5 : Conservation des éprouvettes s à l'air libre

Photo III-6 : Conservation des éprouvettes dans l'étuve

Photo III-7 : Eprouvettes d'essai de l'absorption capillaire recouvertes avec du papier
d'aluminium

Photo IV-1 : Eprouvettes sont attaqués par sulfate de magnésium $MgSO_4$ après 90 jours
d'immersion

LISTE DES INDICES



R_c : Refus cumulé.

M_F : Module de finesse.

ES : Equivalent de sable.

M_v : Masse volumique apparente.

M_s : Masse spécifique.

M_0 : Masse du sable sec

M_1 : Masse du sable immergé dans l'eau pendant 2 heures

V : Rapport de la masse sèche et de la masse volumique de l'eau

M_s = Masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C.

M_a = Masse de l'échantillon maintenue en ébullition dans l'eau pendant 2 heures puis laissée refroidir.

F : La charge maximale en KN.

S : Surface de compression de l'éprouvette.

R : Résistance à la compression exprimée en MPa.

F : Charge de rupture en Newtons.

a : Coté de la base en mm.

R_t : Résistance à la traction en MPa.

ΔL : Variation de longueur.

M_0 : Masse au décoffrage.

ΔM : Variation de masse à diverses dates.

S : Absorptivité (sorptivité) qui est la pente de la droite $i = f(t^{1/2})$.

i : Augmentation de la masse de l'éprouvette en g/mm^2 (mm^3/mm^2) ou bien en mm ou bien masse d'eau absorbée par unité de surface.

t : Temps écoulé en (min) au moment où la masse est mesurée.

SO₃ : Teneur en sulfate.

Cl⁻ : Teneur en chlorure.

✓

MES* : Matières en suspension.

MO* : Matières organiques.

MgSO₄ : Solution de Sulfate de Magnésium.

M_v : Masse volumique des mortiers élaborés.

C.A : Coefficient d'absorption d'eau massique.

M₁ et M₂ : Masses des éprouvettes saturées en eau et sèches respectivement.

P : Porosité des mortiers élaborés.

V_{éprouvette}— Volume de l'éprouvette.

ρ_{eau} = Masse volumique d'eau.

R_{c28} : Résistance moyenne à la compression à 28 jours.

S % : Taux de sable de carrière mis en œuvre.

B % : Taux des déchets de brique mis en œuvre.

R_{t28} : Résistance moyenne à la traction à 28 jours.

M₁, M₂, M₃, M₄, M₅ : Les 5 compositions des mortiers aux différents taux de déchets de briques respectivement 0%, 33.33%, 50%, 66.67%, 100%.

PRESENTATION ET OBJECTIF DE L'ETUDE

I/ INTRODUCTION

L'industrie de la brique cuite génère de grandes quantités de déchets qui constituent bien souvent un problème pour l'environnement.

Bien que l'on rencontre quelques timides réutilisations de ces déchets par exemple comme parterre dans les allées de jardins publics et privés à cause de leur couleur esthétique, le plus souvent ces déchets sont déversés dans la nature.

La demande sans cesse croissante de briques cuites dans le domaine de la construction implique nécessairement une augmentation correspondante de déchets. Le taux de déchets produit dépend selon S. WILD et al [01] de la technique utilisée dans le procédé de cuisson (firing process).

Le Danemark produit selon les mêmes auteurs un taux de 2 % de déchets pour une production annuelle de 0.75 à 0.90 millions de tonnes de briques, la Pologne et la Lituanie : 5 % pour une production annuelle de 4 millions de tonnes et 0.57 millions de tonnes respectivement tandis que la grande Bretagne produit 3.2 % pour une production annuelle de 5 à 7 millions de tonnes.

Localement, dans la wilaya de Guelma, la production de briques est en nette croissance, les deux briqueteries activant dans la région ont produit, selon la direction des mines de la wilaya, les chiffres suivants :

- En 2007, briqueterie privée de bendjerrah : 28639 tonnes, briqueterie étatique de bordj sabath : 14730 tonnes
- En 2008, briqueterie privée de bendjerrah : 73835 tonnes, briqueterie étatique de bordj sabath : 31273 tonnes
- Prévision 2009, briqueterie privée de bendjerrah : 80000 tonnes, briqueterie étatique de bordj sabath : 39100 tonnes

Les déchets de brique produits sont estimés à 10 % pour la briqueterie de Bendjerrah et 15% pour celle de Bordj Sabath.

Les déchets de brique ont déjà fait l'objet de plusieurs travaux, ils ont été utilisés comme substituants au ciment par S. WILD et al [01] pour leurs pouzzolanicités.

M. LEVY et al [02] ont étudié l'influence des déchets de brique finement broyée sur les propriétés mécaniques des mortiers. Une réduction dans la consommation du ciment d'environ 30 % par rapport à des mortiers traditionnels ayant de similaires performances mécaniques a été notée par les auteurs.

M/R. LABIADH et al [03] ont utilisé du tuileau (déchets de brique concassés) pour formuler des mortiers d'enduits rustiques à base de pouzzolanes artificielles, leurs travaux ont révélé l'existence d'un pourcentage optimal de substitution du tuileau (moins de 20 % du volume du liant).

Les travaux de L. AZZOUZ et al [04] ont porté sur l'amélioration des propriétés physico-mécaniques du béton de sable de dunes par inclusion de granulats de brique (3/8).

Les déchets de briques ont été également utilisés comme fillers dans un béton de sable de dune [05] (M. HADJOUJDA et al). Selon les auteurs les résistances mécaniques ont été améliorées à cause de la meilleure compacité obtenue par l'introduction des fillers dans le mélange de béton de sable dunaire. Ces fillers ont été obtenus par le processus suivant : concassage des déchets de brique puis broyage et enfin tamisage à sec dans un tamis de 80 μ m de mailles.

II/ OBJECTIF DE L'ETUDE

Le travail que nous présentons dans ce mémoire s'inscrit dans cette thématique : utilisation des déchets solides et élaboration de matériaux à faible impact environnemental.

Il s'agissait de formuler des mortiers à différents taux de déchets de brique ayant une même consistance et de tester leurs principales performances.

Il fallait s'assurer également que les produits obtenus étaient durables, ils ont alors été soumis à des tests accélérés de nature à vérifier leurs vieillissements, leurs résistances à des attaques chimiques et à des forces hydriques de succion capillaire.

III/ PRESENTATION DE L'ETUDE

La première partie de ce travail a été consacrée à une revue bibliographique sur les éco-matériaux et l'utilisation des déchets solides en général comme addition ou substitution dans les matériaux de construction.

Dans la deuxième partie nous avons décrit les techniques expérimentales utilisées pour la détermination des caractéristiques des matières premières et ensuite des mortiers élaborés.

La recherche d'une formulation pour l'élaboration des mortiers d'étude a été présentée dans la troisième partie, de même que le processus de fabrication et de cure.

Dans la quatrième partie, les résultats expérimentaux révélés par cette étude ont été exposés et analysés.

Au terme de cet exposé, nous avons tiré quelques conclusions et indiqué les voies qui nous semblent possibles pour les développements futurs.

I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette synthèse sera axée principalement sur les éco-matériaux élaborés par recyclage de déchets divers. L'intérêt de l'utilisation de tels matériaux sera mis en exergue au vu des résultats de recherche obtenus.

Une deuxième partie de cette synthèse sera consacrée aux déchets de brique : Production des briques, déchets récupérés et utilisation de ces déchets dans le domaine de la construction.

Les tuileaux qui sont une variété de déchets de brique seront également intégrés dans cette synthèse.

I-1 ECO-MATERIAUX DANS LE DOMAINE DE LA CONSTRUCTION

1- Mortiers à base de granulats de laitier

Une étude sur ce type de mortier et béton a été réalisée par H. BOUDJEDIR et al [06]. Les auteurs se sont notamment intéressés à l'influence du type de granulats concassé, roulé ou artificiel (granulats de laitier) sur différentes variétés de mortiers et bétons.

Ils ont pu prouver que le retrait des mortiers et béton est plus important pour les mélanges à base de granulats de laitiers par rapport aux mélanges à base de granulats concassés et roulés.

Un autre résultat important concerne l'influence du rapport E/C sur le retrait des matériaux produits : Les auteurs ont conclu que lorsque $E/C > 0.65$, l'eau additionnelle disparaît au séchage sans provoquer de retrait et que ce résultat était en cohérence avec les travaux de BROCKS.

Concernant la taille des granulats, il a été conclu que le retrait est moins élevé lorsque la taille des grains est plus importante.

Nous présentons dans ce qui suit quelques résultats expérimentaux sur le retrait du bétons au granulats de laitier (Figures I-1, I-2 et I-3).

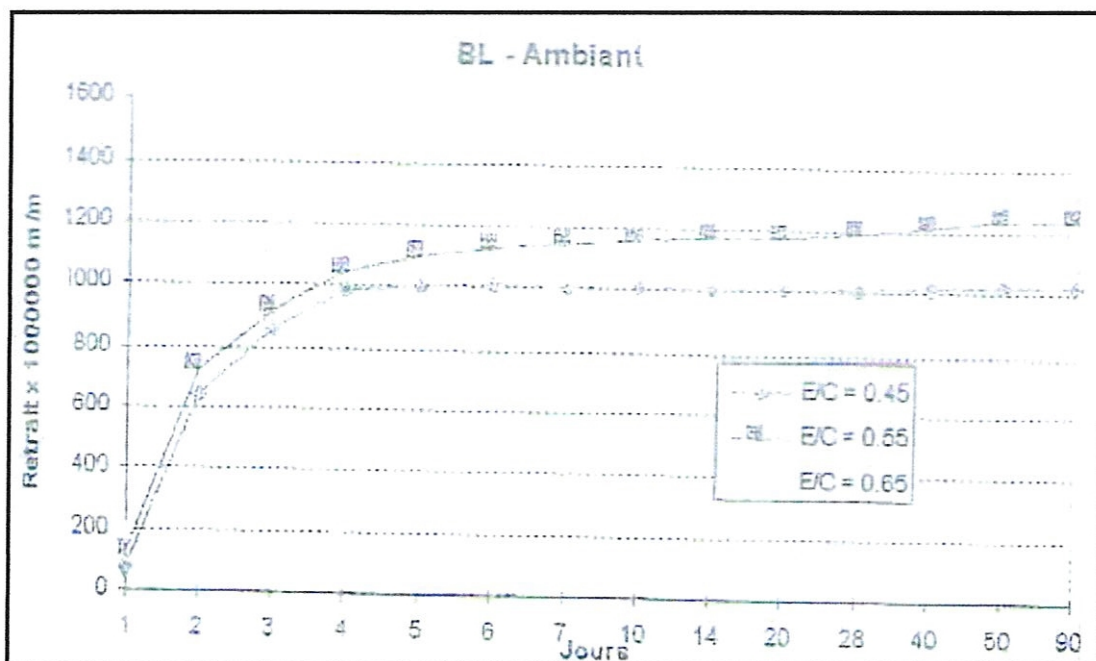


Figure I-1 : Evolution du retrait dans le temps (conservation des éprouvettes en milieu ambiant)

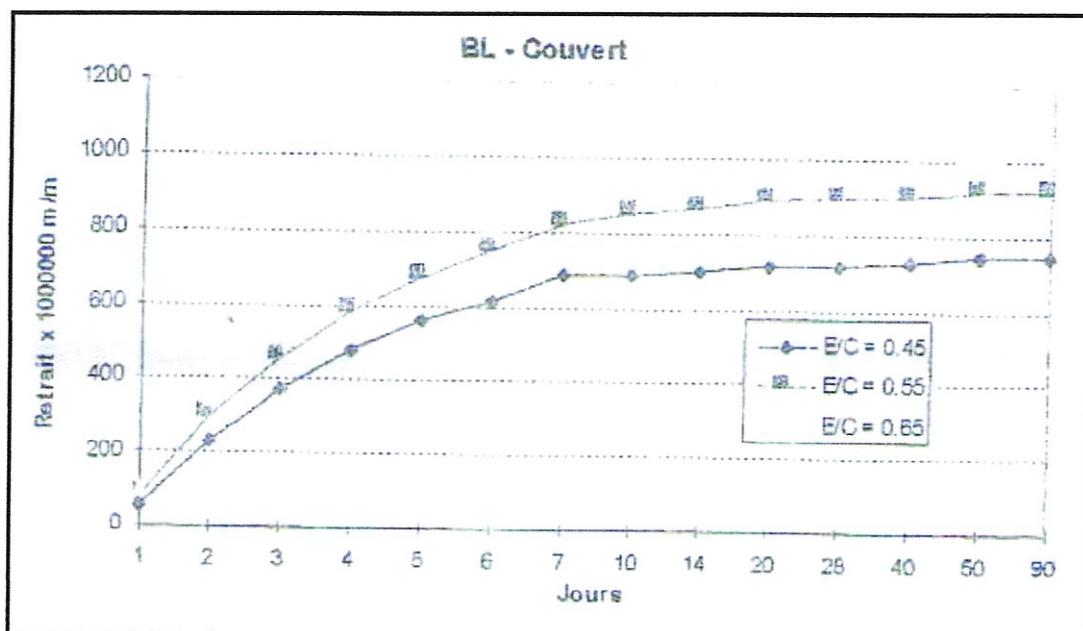


Figure I-2 : Evolution du retrait dans le temps (éprouvettes recouvertes)

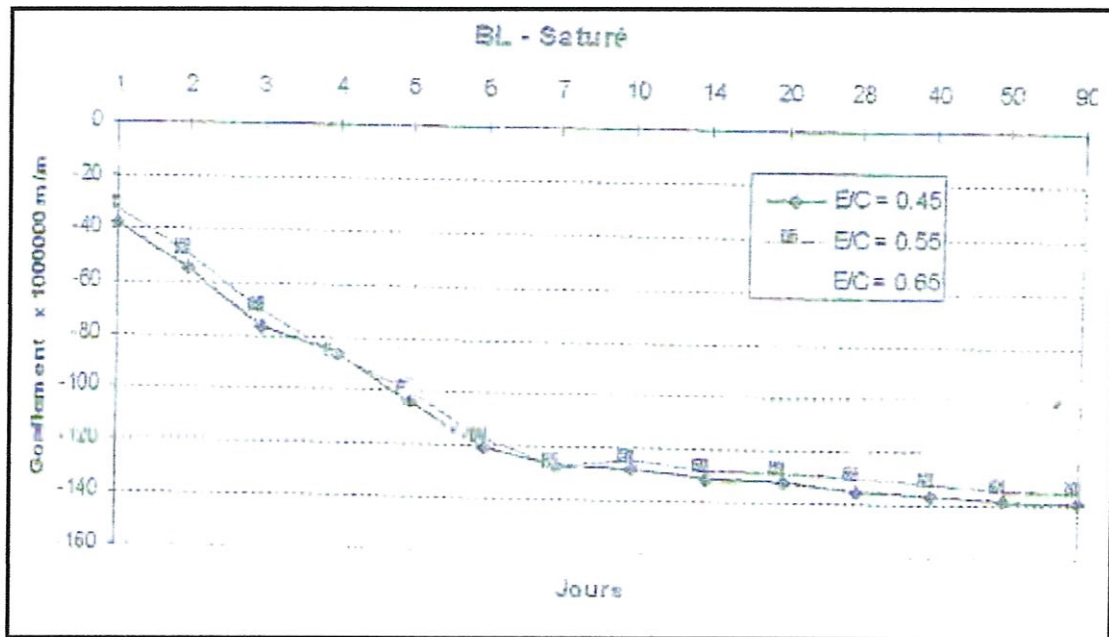


Figure I-3 : Evolution du gonflement dans le temps (conservation des éprouvettes dans l'eau)

2-Mortier à base de sable concassé et d'adjuvant

Cette étude a été réalisée par M. MAZA et al [07]. Les auteurs se sont intéressés à corriger la qualité du sable concassé et non tamisé par l'emploi d'adjuvant.

Le sable de concassage, du fait du taux de fines élevé qu'il renferme, aura naturellement pour effet d'accroître leur eau de mouillage. Leur présence devrait donc conduire à un accroissement du rapport E/C, entraînant inévitablement une baisse des performances mécaniques des mortiers. [08]

Ce travail consiste à utiliser deux adjuvants fabriqués par la société Granitex, implantée à Oued Smar (Alger), à savoir le Médaplast SF et le Mdafluid SFA.

Médaplast : Réducteur d'eau, accélérateur de durcissement.

Mdafluid : Réduire l'eau de gâchage.



Les résultats expérimentaux obtenus montrent que l'incorporation d'adjuvant dans le mortier apporte les avantages suivants :

Une augmentation de la plasticité d'où une meilleure ouvrabilité du mélange, une réduction de l'eau de gâchage, une augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques.

Un autre résultat concerne la masse volumique. Les auteurs ont conclu que la masse volumique augmente au cours du temps et aussi en augmentant le dosage en adjuvant, cela est dû essentiellement à la réduction d'eau et le mortier devient plus compact.

Concernant la résistance mécanique, il a été conclu que à partir de 1% l'augmentation du pourcentage d'adjuvant est engendrée par un accroissement linéaire de la composition pondérale du mortier étudié, cela est dû à la réduction d'eau (environ 30%).

Les auteurs ont conclu que l'adjuvant médaplast SF est meilleur que le médafluid SFA pour tous les mortiers à base de sable testés.

Un autre résultat important : La capacité d'absorption d'eau diminue avec l'augmentation du dosage en adjuvant, cette diminution devient significative à partir un dosage supérieur à 1%.

3-Béton à base de déchets de marbre

Dans cette étude les auteurs [09] ont substitué les granulats naturels du béton classique par les granulats de déchets de marbre. Pour cela ils ont proposé deux types de formulation : la première à maniabilité constante et la seconde avec un rapport E/C constant.

Les propriétés mécaniques à l'état frais et durci des bétons élaborés ont été étudiées et des résultats intéressants ont pu être trouvés. Les taux de substitution adoptés sont : 25%, 50% et 100%.



4- Béton léger à base de granulats pouzzolaniques de Beni Saf et de Polis Béto

Dans cette étude les auteurs [10] ont additionné le Polys Béto dans un béton à base de granulats pouzzolaniques. L'ajout de Polys Béto est réalisé à différents pourcentages comme substituant du sable pouzzolaniques afin d'obtenir des bétons légers.

La particularité des bétons à granulats légers est la combinaison d'une matrice cimentaire avec des granulats peu rigides, ces granulats sont caractérisés par une porosité élevée et peuvent ainsi absorber une partie considérable de l'eau du béton frais, ce qui traduit le besoin en eau du béton léger.

Ce dernier est très influencé aussi par la texture superficielle et la forme des granulats utilisés.

Dans ce travail, les auteurs se sont intéressés à la confection d'un béton léger à base de granulats pouzzolaniques et de Polys Béto, l'ajout de ce dernier est réalisé à différents pourcentages comme substituant du sable pouzzolanique.

Les résultats obtenus permettent de constater l'influence de la qualité de la matrice cimentaire, et de la densité des granulats sur la maniabilité et la légèreté du béton.

5- Béton léger à base de fibres de bois, déchets industriels

Cette étude a été réalisée par M/A. BOUABDALLAH et al [11].

L'objet de leur étude est le béton léger à base de granulats de fibres de bois non traitées, ces fibres représentent des granulats à faible densité. Ces fibres proviennent des déchets industriels, l'incorporation des fibres de bois dans le béton leur a permis de créer un matériau composite Béton de Bois Léger (BBL) qui a de nombreuses propriétés de légèreté, d'isolation thermique et d'absorption acoustique.

L'amélioration des caractéristiques des matériaux et le recyclage ce sont deux combinaisons qui représentent un défi pour les nations industrielles, c'est pour cette raison que les auteurs ont procédé à la confection d'un béton bois léger (BBL) avec une résistance considérable à la compression.

Pour cela ils ont proposé quatre formulations et ont testé une série d'éprouvettes de bétons de bois léger (BBL). Une substitution en volume des granulats calcaires d'une composition de béton ordinaire avec des fibres de bois, qui leur a permis de donner la naissance à un béton de bois léger (BBL). Deux masses volumiques ont été employées pour le bois afin de cerner la variété du déchet qui représente un matériau hétérogène du point de vue type de bois.

Les essais sont effectués pour différents âges : 7 jours, 14 jours, 21 jours et 28 jours, les résultats de l'évolution des caractéristiques mécaniques du béton bois léger (BBL) pendant la période du jeune âge représente l'un des paramètres essentiels en génie civil, qui reflète la résistance à la compression à long terme.

6-Ciment à base de minerais de pouzzolanes

L'industrie des ciments est l'une des principales activités de développement socioéconomique de notre pays, sa production est de l'ordre de 17 millions de tonnes par an. L'Algérie qui a opté pour une politique de construction en génie civil de grande envergure a besoin d'une consommation accrue en ciment ; mais nous constatons que malgré les efforts consentis par les entreprises productrices de ciment, l'offre reste inférieure à la demande.

Dans le but d'augmenter la production des ciments, comme matériaux de construction et qui sont des liants hydrauliques essentiels, et d'allonger la durée de vie des gisements des ressources minières et protéger l'environnement, des minerais dénommés ajouts ont été introduits dans le procédé de fabrication des ciments. Les cimenteries en Algérie produisent des ciments aux ajouts tels que la pouzzolane.

Cette étude a été réalisée par DAHMANI et al [12]. Les auteurs ont substitué les différents taux de minerais de pouzzolanes de 0% à 25% dans le ciment et ont étudié l'influence de cet ajout sur les propriétés physico-chimique et mécanique du ciment élaborés.



7-Béton aérien à base de fibre de palmier dattier

Cette étude a été réalisée par [13]. Les auteurs ont incorporé des agrégats comme produit de renforcement (fibre végétales du palmier dattier) dans le plâtre, dont l'objectif est la formulation d'un béton aérien qui peut remplacer les bétons hydrauliques dans certains usages et applications, tout en changeant son comportement fragile à la traction comme tout liant hydraulique.

L'analyse des résultats montre que les fibres végétales incorporées changent complètement le comportement mécanique du matériau et augmentent considérablement sa résistance à la flexion ainsi que sa ductilité. Le mode de rupture du composite dépend de la longueur de fibres utilisées.

8-Béton de sable léger à base des déchets de concassage et de menuiserie de bois

Ce travail a été réalisé par BEDRINA et al [14]. Il rentre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et le recyclage des déchets industriels. Le matériau valorisé est un sable de dune existant en grandes quantités dans le sud algérien et les déchets recyclés sont des fillers calcaires provenant des déchets de concassage des carrières locales et des copeaux de bois provenant des déchets de la menuiserie.

Cette étude a pour but la mise au point d'un béton de sable léger préparé essentiellement de sable de dune et de fillers et allégé par ajout de copeaux de bois. Les proportions envisagées vont de 0 à 400 kg/m³ pour les fillers et de 0 à 160 kg/m³ pour les copeaux de bois.

Les résultats montrent que l'ajout des fillers augmente la résistance du béton de sable et l'incorporation des copeaux de bois l'allège et le rend plus isolant. Il convient de noter, que selon la proportion de copeaux de bois incorporées, il est possible d'obtenir des résistances intéressantes qui permettent l'utilisation du matériau comme un béton léger de structure. L'observation du matériau au microscope montre une structure relativement homogène avec une bonne adhérence béton-bois.

9- Bétons de sable de dunes et leurs durabilités

Ce travail a été réalisé par HADJOUJDA et al [15]. Les auteurs ont étudié deux objectifs, le premier est l'utilisation des déchets de briques comme ajout partiel au ciment dans le béton de sable de dune et de trouver une formulation optimale. Le deuxième est d'étudier l'effet du dosage en filler des déchets de briques sur la capacité d'absorption de l'eau du béton de dunes, ses cycles de séchage-ré-humidification et l'évolution de sa résistance sous l'effet gel-dégel.

En ce qui concerne la durabilité, comme tout matériau naturel ou produit par l'homme, le béton subit l'épreuve du temps, ce qui rend ses propriétés mécaniques instables. Elles évoluent avec l'âge et elles sont très sensibles aux conditions climatiques de température et d'hygrométrie.

Il est essentiel que chaque structure en béton puisse conserver sa durabilité et continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de service, il doit être en mesure de résister aux mécanismes de détérioration auxquels il peut être exposé.

Cependant, cette tenue du béton de sable n'est pas garantie sans une connaissance approfondie de son comportement vis-à-vis des différents phénomènes, l'action du gel est parmi les phénomènes qui peuvent nuire à sa durabilité et peuvent l'endommager. Le béton de sable de dune est un matériau poreux, si sa capacité d'absorption d'eau est importante et s'il est soumis de façon prolongée à des basses températures, peut nuire à sa durabilité.

En variant le type de déchets et le dosage les auteurs ont voulu étudier l'influence de l'application des cycles gel-dégel sur la résistance des différents mélanges du béton de sable, de calculer leurs coefficients d'absorption capillaire et de faire subir à ces mélanges aussi des cycles de séchage-ré-humidification pour en apprécier le meilleur comportement.

Concernant le résultat, ce travail a permis d'observer l'intérêt et l'efficacité de l'ajout des fillers sur la durabilité du béton de sable dunaire, l'introduction des fillers de déchets de briques semble provoquer des améliorations des propriétés physiques et mécaniques. Parmi les différents modes de conservation choisis, et ceci quelque soit le dosage en fillers.

10-Béton à base de sables concassés et d'ajout de fines

La demande très élevée en Algérie et la rareté du sable de construction ont conduit à des extractions illicites des sables d'oued et des sables de plage, et pour remédier à ce problème les auteurs [16] ont envisagé l'utilisation des sables de carrières dans la confection des bétons, car ce sable est disponible en grandes quantités. L'exploitation d'importants gisements de roches par les carrières, conduit à des tas de sables concassés à teneur en fines très élevée.

Comme dans notre pays, les carrières ne sont pas équipées d'installation de concassage permettant de maîtriser la teneur en fines de ces sables, on se retrouve souvent avec des sables dont la teneur en fines est trop élevée. Ce qui va se répercuter sur les caractéristiques mécaniques des bétons ainsi que sur le retrait des mortiers, les résultats intéressants ont pu être trouvés.

L'objectif de cette étude c'est l'effet de l'ajout de fines sur le retrait des mortiers et sur les résistances des bétons.

11- Durabilité des matériaux recyclés de démolition

Cette étude a été réalisée par MELBOUCI et al [17]. Les auteurs ont consacré leur recherche à la durabilité des matériaux recyclés en béton. Il s'agissait d'étudier le phénomène d'écrasement des grains.

Cette recherche s'est faite en laboratoire, à partir de différents essais : Los-Angeles (LA), Micro-Deval (MDE), Fragmentabilité, Dégradabilité, Altérabilité et des essais de cisaillement cycliques sur les agrégats de matériau de démolition (béton, brique, parpaing).

Différentes conditions initiales de teneur en eau, de granulométrie et de compacité ont été étudiées. Il a été mis en évidence que :

- Ces granulats sont peu sensibles à l'usure, peu dégradables et peu altérables et avec des coefficients (LA) et (MDE) inférieurs à 40.

- L'écrasement des particules augmente considérablement avec la fragilité des particules ou des grains. Le matériau qui s'écrase le plus est le parpaing.
- L'influence de l'eau ne se manifeste pas d'une façon précise, l'étalement granulométrique à l'état sec tend à se confondre avec celui à l'état humide.
- La granulométrie serrée favorise plus de rupture des grains par rapport à la granulométrie étalée, plus la taille des grains est grande, plus la rupture s'accroît.
- L'influence de la répétition des charges sur la rupture des grains est significative.

12- Béton de sable à base de copeaux de bois

Cette recherche réalisée par GHOTEICHA et al [18], s'est intéressée à l'élaboration d'un béton léger apportant ainsi une alternative intéressante au béton classique sur le plan économique et environnemental

La voie envisagée dans ce travail est orientée vers la valorisation des matériaux locaux qui sont les sables, fillers calcaire et déchets de bois pour le développement de nouveaux matériaux de construction légers.

Comme résultat l'étude expérimentale a montré que l'allègement du béton de sable par des copeaux de bois réduit la densité du composite, diminue nettement la résistance mécanique et engendre un retrait plus important avec le dosage croissant en copeaux.

Pour améliorer les performances mécaniques et réduire le retrait, les auteurs ont effectué des traitements sur les copeaux de bois par enrobage. Les copeaux traités ont donné une amélioration remarquable sur les performances mécaniques du composite cela est dû au fait que les copeaux après traitement deviennent chimiquement compatibles avec le ciment.



13- Mortiers à base de l'ajout pouzzolanique ultra fin

Une étude sur ce type de mortier a été réalisée par [19]. Les auteurs ont étudié le comportement des mortiers destinés à l'injection à base d'ajout (pouzzolane) à différentes teneurs (5%, 10%, 15% et 20%) par divers essais, résistance mécanique, fluidité, durabilité aux différents milieux ...

Après des années de progrès des normes et des performances l'incorporation d'ajouts trouve de plus en plus une large utilisation dans les différents domaines de construction, l'utilisation de ces ajouts dans les mortiers spéciaux spécifiquement les mortiers d'injection, qui sont utilisés pour le remplissage des canaux dans les éléments de construction précontraints ou bien pour consolider certains sols de fabrication.

L'injection des mortiers n'intéresse que certains types ou les cavités à remplir sont suffisamment larges. En plus des propriétés des mortiers ordinaires, la résistance mécanique et la longévité, ces mortiers doivent présenter une bonne fluidité et maniabilité pour faciliter leur mise en œuvre.

La préparation des mortiers d'injection à base d'ajouts entre dans un domaine spécialisé qui nécessite un travail délicat.

Les résultats obtenus montrent que la composition avec 20% d'ajout pouzzolane finement broyé et un rapport $E/C = 0.5$ donne les meilleures performances pour un mortier apte à l'injection.

D'autres travaux ont été réalisés dans ce thème tels que :

14- Béton routier à base de déchets et de sous produit : JC. VAUTRIN [20].

15- Béton routier avec des déchets de demolition: S. CANALE [21].

16- Le recyclage des matériaux de démolition : M. QUEBOUD et al [22].

17-Mortiers d'enduit de restauration à base de pouzzolane artificielle

Cette recherche a été réalisée par R. LABIADH et al [23]. Les auteurs ont substitué trois ajouts pouzzolaniques (ciment, plâtre, tuileau) de 10%, 20%, 30% et ont comparé les performances obtenues à celle d'un mortier témoin de 0% d'ajouts pouzzolaniques.

Les résultats montrent que l'addition d'une quantité faible de ciment ou de tuileau, de 10% à 20% améliore les résistances mécaniques, accélère sensiblement la prise sans modifier fondamentalement les propriétés d'un mortier de chaux, telles que la souplesse, la perméabilité à la vapeur.

Autre résultat important montre qu'il est mieux de recommander l'utilisation du tuileau, plutôt que le ciment.

18- Béton de sable à base des fillers :

Cette étude effectuée par M. BEDERINA [24] est consacrée à l'influence des fillers et la nature des sables sur le comportement du béton. C'est une étude de caractérisation mécanique et microstructure de béton de sable.

19- Déchets divers

Plusieurs investigations ont été menées à travers le monde, trois congrès sur la démolition et la réutilisation du béton et de la maçonnerie, ont été organisés depuis 1985 par la (RILEM) aux Pays-Bas (Rotterdam en 1985), au Japon (Tokyo 1988) et au Danemark (Odex en 1993).

Chaque année environ des millions de tonnes de béton sont démolis des constructions qui ont vieillis, approchant la fin de leur durée de vie, ainsi qu'un grand nombre de briques sont rejetés des usines dûes à la non conformité aux spécifications requises. La poussée écologique imposa de tenir compte de l'environnement soit en évitant des emprunts de matériaux naturels, soit en éliminant des sous produits et déchets dont les dépôts souvent disgracieux peuvent conduire à certaines pollutions du milieu naturel ce qui nécessitera la mobilisation de capitaux très importants.

- Recyclage des déchets

Il est considéré comme déchets toute substance mise en rebut, tout produit qui doit être jeté car il est usé, contaminé ou abîmé. Est déchet ce que la personne qui le produit considère comme tel même s'il possède de la valeur pour d'autres [25].

Les dépôts de sables naturels de gravier et de pierres, surtout ceux qui se situent près de grands centres urbains, risquent de s'épuiser ou d'entraîner des frais d'exploitations très élevés et la place occupée par les sites de stockage et les restrictions relatives à la protection de l'environnement.

En Europe, plus de 25% des déchets proviennent de la démolition ou de la rénovation d'immeubles et de ces rebuts encombrant les décharges publiques. On estime que 30% seulement des matériaux utilisés dans la construction sont actuellement recyclés, alors que la pratique dans certains pays européens, démontre que 90% sont réutilisables [26].

En Belgique, la confédération construction wallonne cite déjà en 1997 le chiffre (estimé) considérable de 2.3 millions de tonnes de déchets produit dans le secteur pour l'année 1994.

En France la loi du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets et la protection de l'environnement interdit à partir de l'an 2002 la mise dans les anciennes décharges des déchets tels que les matériaux de démolition [27]. Le Danemark dispose d'une loi spécifique depuis 1990 concernant l'utilisation des granulats recyclés [28].

Dans le bâtiment, la demande s'élève annuellement à plus de 15 millions de tonnes de mètre cube de sable [25], La valorisation des déchets de démolition connaît un développement assez important et le taux de recyclage a atteint dans certains pays comme les Pays-Bas 73% [27].

L'Algérie connaît une demande en granulats considérablement croissante en rapport avec le développement du pays surtout les régions du sud qui connaît un déficit de granulats.

Plusieurs types de résidus et sous produits, déchets divers peuvent être utilisés en fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés comme granulats, parmi les divers matériaux étudiés on trouve, les laitiers, le béton récupéré, la brique concassée, les déchets de centrales thermiques (cendres volantes), les déchets provenant d'exploitation des mines ou de carrières, déchets de marbre.

Les études tentent d'apporter des solutions relatives à l'utilisation de nouveaux matériaux, tel que le béton de sable chargé dans l'habitat et contribue à la protection de l'environnement par recyclage des déchets locaux [29].

II-2 DECHETS DE BRIQUE VALORISES

L'industrie de la construction génère une quantité importante de déchets de brique et de béton qui sont rarement valorisés. Aussi l'Algérie compte un déficit important en matériaux de construction et en particulier le ciment et le sable [25].

Brique c'est un bloc de céramique utilisé pour la construction et les revêtements décoratifs. On distingue les briques crues, séchées au soleil, des briques cuites dans des fours (briqueteries). Elles résistent à l'humidité et à la chaleur, et peuvent durer plus longtemps que la pierre. Leur couleur varie selon l'argile employée. Elles peuvent être revêtues d'une pâte colorée à fonction décorative. Certaines briques d'argile réfractaire servent pour le revêtement des conduits de cheminées ou les fours.

D'autres types comprennent les briques en verre et les briques texturées ou vitrifiées. Les briques peuvent être disposées selon des motifs variés, appelés appareils, obtenus en variant la disposition des côtés longs (panneresses) et courts (boutisses). Matériau courant, facile à mettre en œuvre, la brique ordinaire s'emploie pour les murs intérieurs, en parement ; on préfère une brique plus imperméable et moins gélive pour les murs extérieurs [30].

La brique crue était le principal matériau de construction de l'ancienne Mésopotamie (Irak d'aujourd'hui) et de la Palestine, qui disposait de peu de bois et de pierre. Les habitants de Jéricho, en Palestine, réalisaient déjà des constructions de brique il y a 9 000 ans. Les constructeurs sumériens et babyloniens réalisaient des ziggourats, des palais et des murs de fortification en brique séchée au soleil et les couvraient de briques cuites au four, plus résistantes, arrangées selon des frises décoratives imagées. Les grandes pyramides des Olmèques ou des Mayas étaient faites de briques et recouvertes d'un appareil en pierre.

La Grande muraille de Chine fut aussi bâtie en briques. Quant aux Romains, ils édifièrent thermes, temples, palais et théâtres avec ce matériau qu'ils paraient de marbre [30].

Au moyen âge et à la renaissance, en Europe, partout où la pierre était rare, les bâtisseurs appréciaient la brique pour ses qualités décoratives et de construction. Ils utilisaient avec goût la couleur chaude, rougeâtre des briques non vitrifiées, disposées selon une variété de motifs et de formes, tels que les carreaux, les chevrons, l'armure nattée ou l'appareil flamand. Au XIX^e siècle, la fabrication des briques s'est mécanisée et standardisée (d'abord en Grande Bretagne, en Belgique et en France), abaissant sensiblement le coût de la construction tout en augmentant sa résistance, ce qui a permis l'essor des habitations à bon marché dès l'époque haussmannienne [30].

II-2-1 Principe de fabrication des briques et déchets résultant [31]

Les briques sont obtenues par cuisson de certaines argiles à une température de environ 1000 C°. Par combinaison chimique à partir de 700 C°, l'argile en perdant son eau, se transforme en terre cuite. L'oxyde de fer des argiles donne la coloration aux briques.

En général la fabrication des briques se compose des cinq opérations principales comme indiquées sur le schéma ci-dessous (Figure I-4).



Figure I-4 : Schéma de la fabrication des briques

La fabrication d'une brique moderne passe par les grandes étapes suivantes : [32]

- Extraction de l'argile rouge et de l'argile verte. On mélange environ 10% d'argile verte avec 90% d'argile rouge. La terre argileuse, généralement extraite à proximité de la briquetterie, n'a pas le droit de comporter trop de sable.
- Broyage de la terre pour obtenir la granulométrie désirée
- Humidification et mélange des divers types de terres ; ajout d'une faible quantité de lignosulfite, résidu de l'industrie du papier, dérivé de la lignine contenue dans les arbres ; le lignosulfite facilite l'extrusion.
- Extrusion au travers de filières correspondant à une forme donnée de brique
- Coupage
- Séchage dans un séchoir à gaz (durée entre 20 h et 50 h)
- Cuisson à environ 900 °C, jusqu'à 30 heures
- Éventuellement rectification (fraisage des bords jointifs pour faciliter le montage)

9

II-2-2 Production de brique à Guelma

II-2-2-1 Production de la briqueterie de Bendjerrah

La production de la brique à la briqueterie de Bendjerrah dans les années 2007, 2008 et 2009 est regroupée dans le tableau I-1 qui suit :

Tableau I-1 : Production de la brique (briqueterie de Bendjerrah)

Année	2007	2008	2009 prévisions
Production	28.639 T	73.835 T	80.000 T

II-2-2-2 Production de la briqueterie de Bordj sabath

La production de la brique à la briqueterie de Bordj sabath dans les années 2007, 2008 et 2009 est regroupée dans le tableau I-2 qui suit :

Tableau I-2 : Production de la brique (briqueterie Bordj sabath)

Année	2007	2008	2009 prévisions
Production	14.730 T	31.273 T	39.100 T

Les rejets (briques con conformes et briques cassées) sont estimés à :

- Bendjerrah → 10 %
- Bordj sabath → 15 %

II-2-3 L'industrie de la terre cuite en France

L'industrie de la terre cuite, industrie de pointe qui s'inscrit dans une démarche de progrès et d'innovation, se développe, année après année, suivant un rythme constant. En France, les fabricants de tuiles, de briques et autres produits de terre cuite (grands groupes industriels, entreprises nationales et régionales) sont regroupés au sein de la Fédération Française des Tuiles et Briques, organisation professionnelle, créée en 1936. Le poids économique de cette filière, qui comprend 102 sociétés, 152 usines et plus de 6000 salariés, est considérable. En effet, l'industrie française de la terre cuite, leader européen, notamment en tuiles, est l'une des premières industries de terre cuite au monde.

La France est l'un des premiers producteurs et exportateur de terre cuite au monde. La proportion des exportations demeurent élevée (10 % depuis plusieurs années, la France exportant en direction des pays européens mais aussi aux Etats-Unis, Moyen-Orient et Asie du Sud-Est). Le chiffre d'affaires de la filière connaît lui aussi une progression très soutenue. Il a atteint 1075 millions d'euros en 2006, soit une progression de + 12,6 % sur cinq ans.

II-2-4 Valorisation des déchets de brique

Les contraintes d'ordre économiques et écologique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation et le recyclage des déchets [09].

Cette valorisation rentre dans les travaux : Réfection, réhabilitation, construction etc... Soit dans les bétons et soit dans les mortiers comme c'est le cas de notre recherche.

Nous allons présenter dans ce qui suit quelques travaux de recherche sur les déchets de brique.

1- Béton de sable de dune à base de granulats de brique

Dans cette étude les auteurs [04] ont étudié les possibilités de valorisation des granulats de déchets de brique dans la confection du béton de sable de dune. Les auteurs est axé sur l'influence de granulats en brique sur l'amélioration des performances mécanique et la durabilité du béton de sable dunaire [33].

2

L'étude a porté sur quatre compositions de béton de sable dunaire contenant différents dosages en granulats de brique.

Ils ont pu prouver que les résistances mécaniques obtenues sont significatives et elles sont de l'ordre de 6 MPa pour la flexion et de 20 MPa pour la compression. Autres résultats obtenus :

- Les granulats concassés améliorent la résistance en compression en assurant une meilleure adhérence matrice- granulats.
- Les éprouvettes conservées sous l'eau présentent les meilleures résistances à la flexion par rapport a celles conservées à l'air libre.
- L'ajout de granulats de brique semble améliorer les résistances à tout âge du béton de sable dunaire.
- La conservation sous l'eau a un effet positif sur la résistance à la compression.

Les figures I-5 et I-6 montrent quelques résultats des travaux effectués par AZZOUZ et al [04].

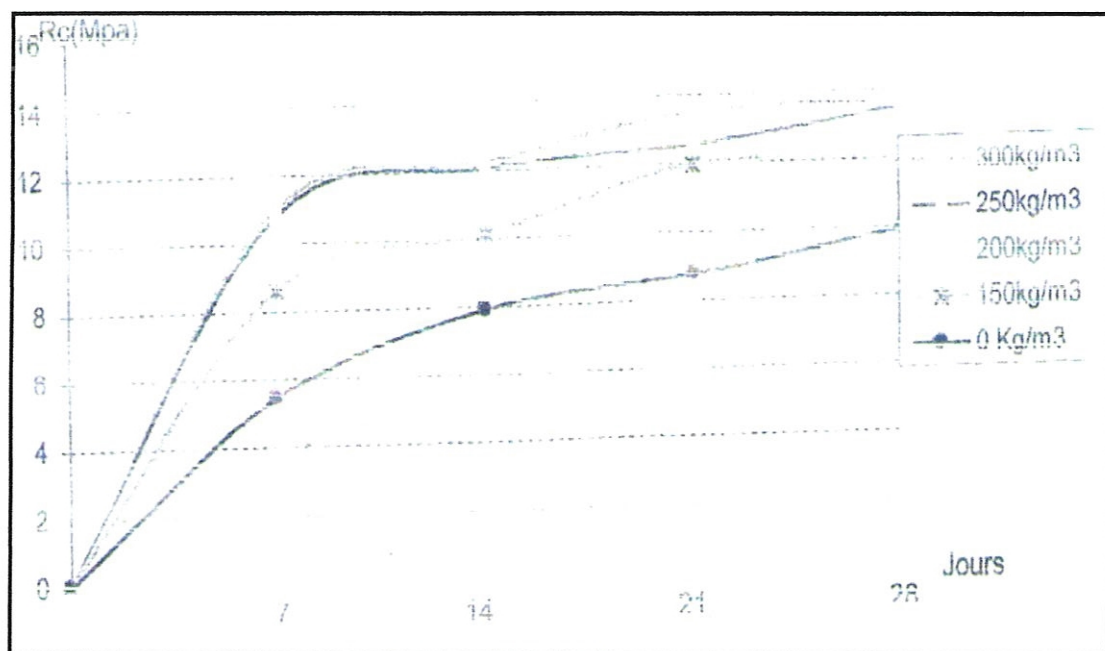


Figure I- 5 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge et du dosage en granulats (à l'air libre) selon AZZOUZ et al [04]

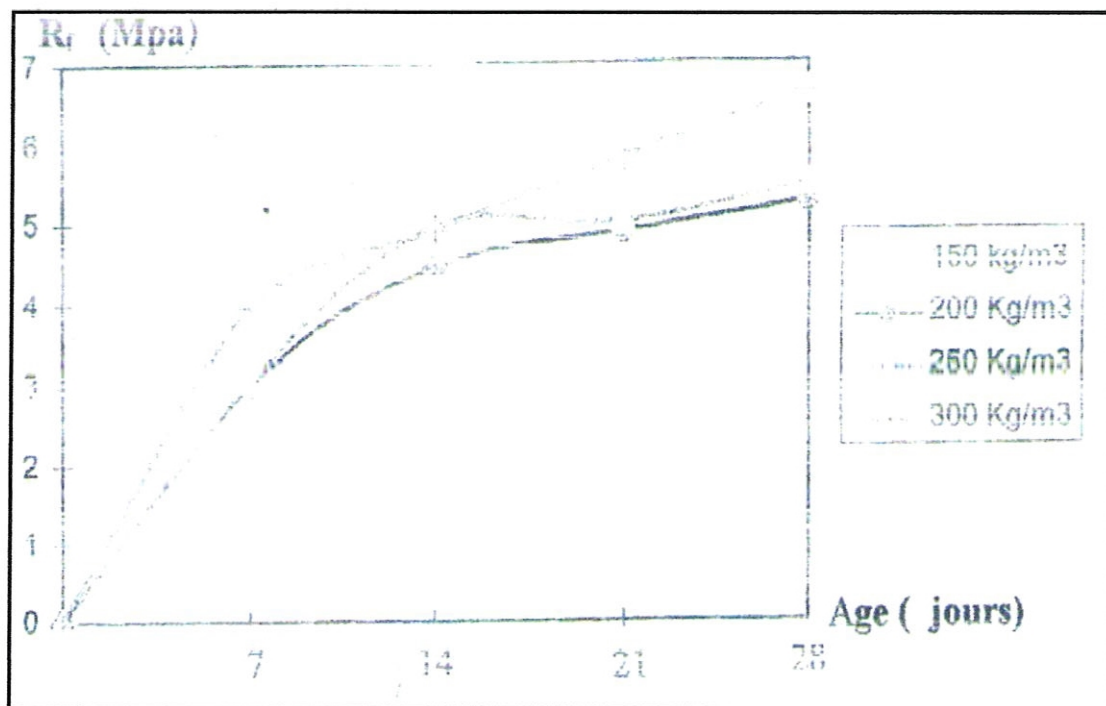


Figure I- 6 : Evolution de la résistance à la flexion en fonction de l'age
(à l'air libre) selon AZZOUZ et al [04]

Un autre résultat important concerne l'influence des variations des dosages en granulats de brique sur le retrait.

- Le retrait élevé du béton est probablement dû à la porosité élevée des granulats ainsi que le degré important d'absorption d'eau.
- Le retrait augmente en fonction du temps et surtout avec le dosage en granulats.

Concernant l'essai d'absorption d'eau :

Les résultats des essais montrent que l'absorption d'eau par capillarité augmente en fonction de l'augmentation du dosage de granulat de brique.

- Cette augmentation est liée à la nature, dosage et la forme de granulats et aussi à la granulométrie du sable utilisé. Les valeurs maximales ont été atteintes après 90 minutes d'absorption.
- L'absorption d'eau par capillarité augmente avec l'augmentation de la teneur en granulats.

D'autres études [34], [35] et [36] ont été réalisées sur l'influence de l'ajout des fillers de briques et la conservation sur le comportement mécanique et la durabilité du béton de sable dunaire.

9

2- Béton de sable de dune à base de l'ajout des déchets de brique

Cette étude [05] réalisée par HADJOUDJA et al est basée sur deux points :

1- La réutilisation des déchets de briques comme ajout partiel au ciment dans le béton de sable qui va contribuer à la valorisation et au développement des matériaux locaux des régions du sud et en particulier du sable de dunes disponible en grandes quantités.

2- Etudier l'effet de la conservation, de l'environnement et de l'ajout des fillers sur l'évolution des caractéristiques physiques et mécaniques du béton de sable dunaire ainsi que sa capacité d'absorption de l'eau, afin de mieux connaître les limites de ce matériau local.

Ils sont partis des constatations suivantes :

-L'introduction des fillers de déchets de briques semble provoquer des améliorations des propriétés physico- mécaniques.

-La valorisation des ressources locales (sables, déchets et sous produits locaux) permet de résoudre les problèmes écologiques et les problèmes dus à la pollution de l'environnement. [37]

Comme résultats les auteurs ont conclu que :

-E/C est pris constant dans toutes les compositions et égal à 0.8.

- L'ouvrabilité diminue avec l'augmentation des dosages en filler, pour obtenir une ouvrabilité plastique, il faut augmenter la quantité d'eau nécessaire pour le gâchage des différentes compositions du béton de sable contenant les fines de brique.

-Conservation à l'air libre : Ils ont observé une diminution de la résistance en fonction de l'augmentation des dosages des fillers à l'âge de 28 jours (Figure I-7).

La diminution de la résistance avec l'augmentation du dosage en filler est due à la nature des fillers.

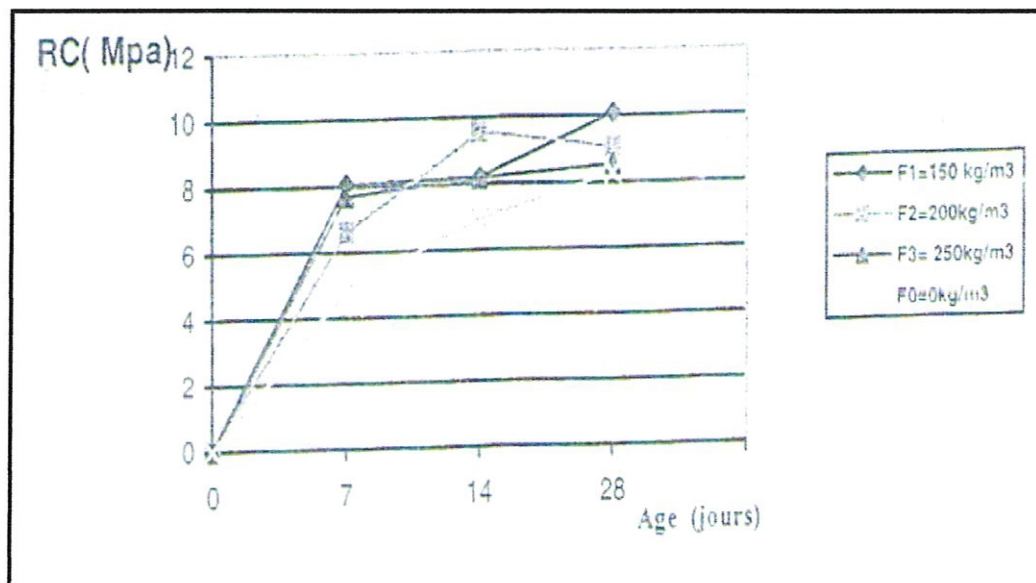


Figure I- 7 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge (à l'air libre) selon HADJOUJDA et BEDERINA [05]

-Conservation sous l'eau : La Rc augmente en fonction de l'age (Figure I-8).

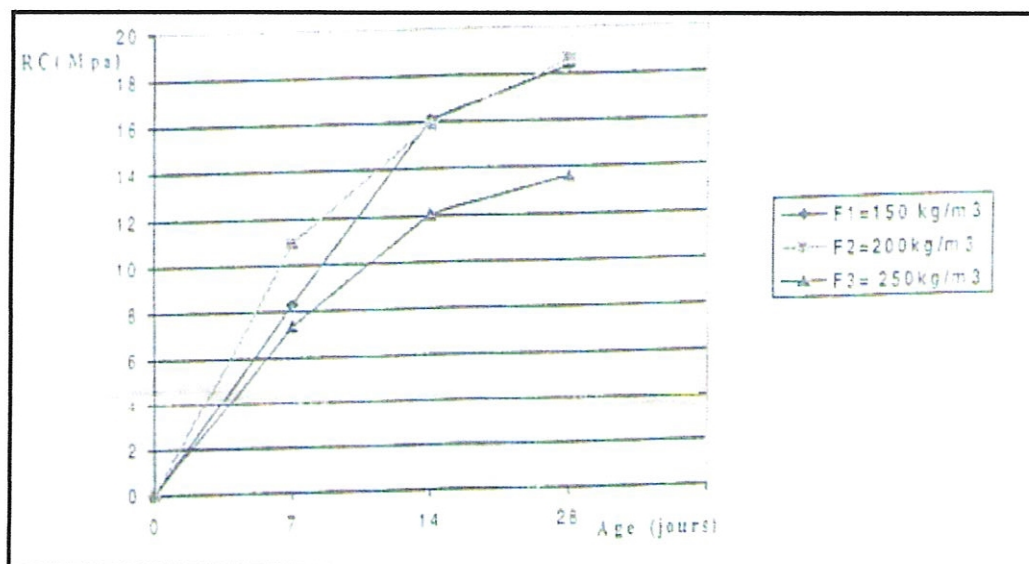


Figure I- 8 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge (7 jours sous l'eau) selon HADJOUJDA et BEDERINA [05]

-Conservation a l'étuve : Le dosage en filler favorise l'augmentation des résistances (Figure I-9).

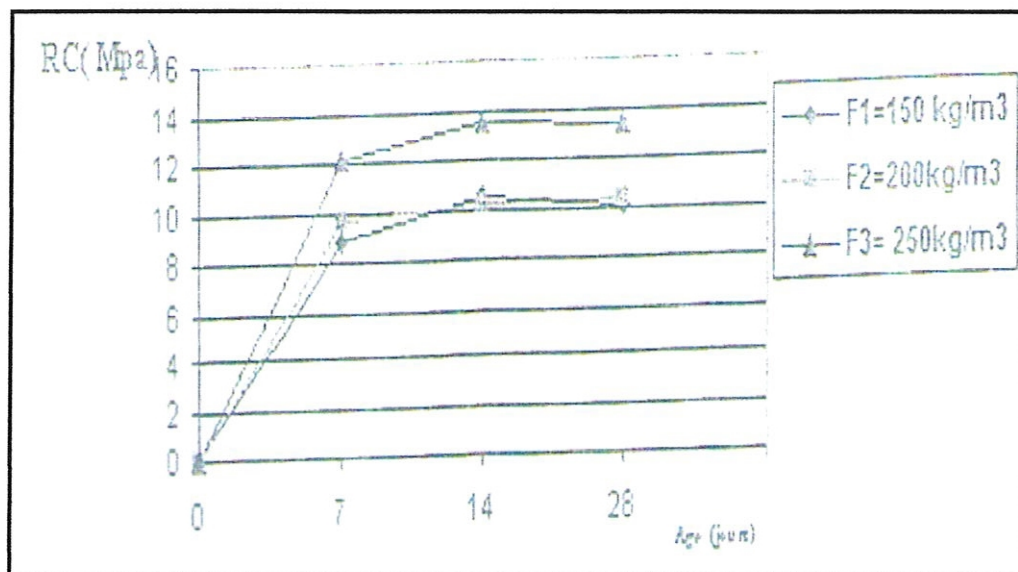


Figure I- 9 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge (5 jours à l'étuve) selon HADJOUDJA et BEDERINA [05]

En ce qui concerne les résultats d'absorption d'eau :

Plus le béton de sable est compact, plus sa capacité d'absorption est faible et donc plus est étanche.

Un autre résultat important concerne l'absorption capillaire :

-L'absorption d'eau par capillarité augmente en fonction de l'augmentation du dosage en filler. Cette augmentation est liée à la nature du filler et précisément à sa finesse élevée.

-Cette augmentation est aussi due à la granulométrie du sable utilisé.

En ce qui concerne l'essai de retrait, les mesures de retrait sont déterminées à l'air libre.

Les auteurs ont pu prouver que le retrait croît au jeune âge puis il se stabilise vers 40 jours à 550µm pour dosage 150.

L'augmentation du dosage en filler de brique est favorable pour le retrait.

Donc : comme résultat final

- La Rc atteint son maximum à 28 jours pour tous les cas.
- La conservation des éprouvettes sous l'eau est meilleure que celle à l'étuve et à l'air libre.
- Le retrait augmente avec le temps et diminue avec l'introduction des fillers.
- Le retrait observé dans ce cas est plus faible que celui du béton ordinaire.
- L'effet de capillarite est plus important lorsque le dosage en filler augmente.

D'autre manière générale les propriétés mécaniques sont influencées par l'environnement et par l'ajout des fillers.

3-Enduits à base de chaux et pouzzolanes artificiels

Cette recherche a été réalisée par R. LABIADH et al [38]. Elle a pour objectif d'étudier l'influence de certaines additions tels que le tuileau pile, le plâtre, le ciment et le sel d'alun sur les propriétés physiques et mécaniques des mortiers d'enduits à base de chaux aérienne.

Les auteurs ont réalisé différentes formulations d'enduits, à base de chaux et de pouzzolanes artificielles (tuileau, plâtre, ciment, sel d'alun) ont été appliquées sur un support en briques creuses et selon une mise en œuvre commune.

Il ont remarqué que l'addition d'une quantité faible de ciment ou de tuileau de 10% et 20% améliore les résistances mécaniques, accélère sensiblement la prise sans modifier fondamentalement les propriétés d'un mortier d'un chaux, telle que la souplesse et la perméabilité (Figure I-10, I-11, I-12 et I-13).

Ils recommandent l'utilisation du tuileau plutôt que le ciment, étant donné que ces deux substitutions ont donné des résultats comparables et qu'ainsi on prévient les dégradations dues aux teneurs en sulfates de calcium soluble et aux alcalis.

- le tuileau pile a été obtenu par concassage des déchets de briques creuses dans le broyeur Los Angeles.

Tableau I-3 : Caractéristiques physiques du tuileau

Porosité %	Finesse cm ² /g	D _{max} mm	Refus a 80 um
59%	1058	0.8	3.5%

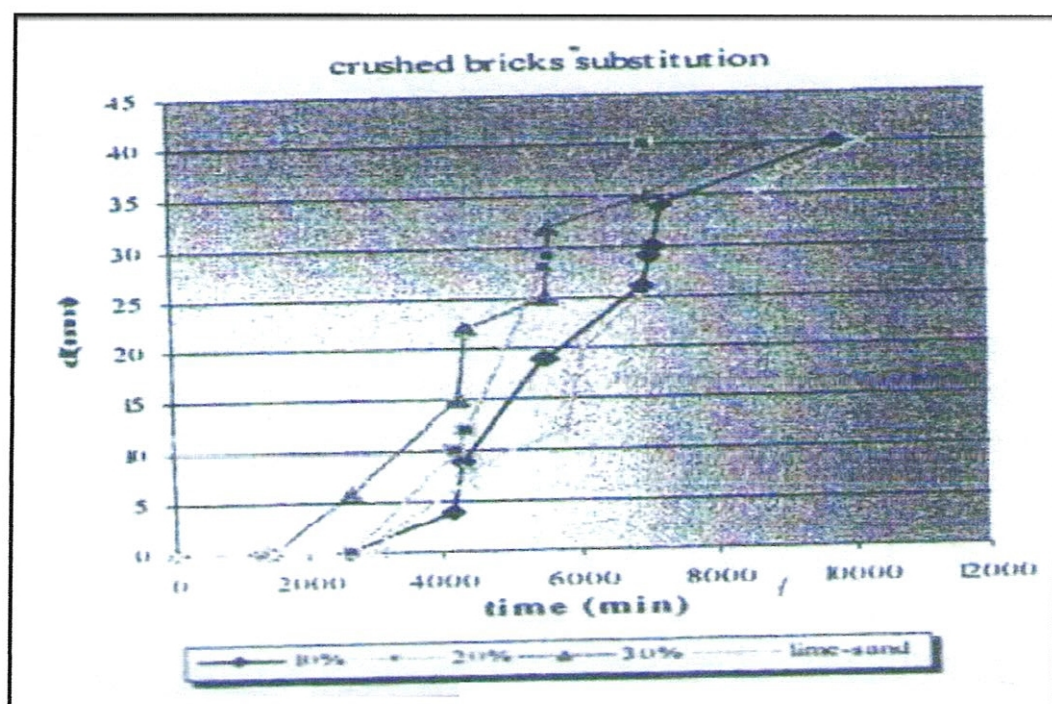


Figure I- 10 : Prise des mortiers chaux / tuileau

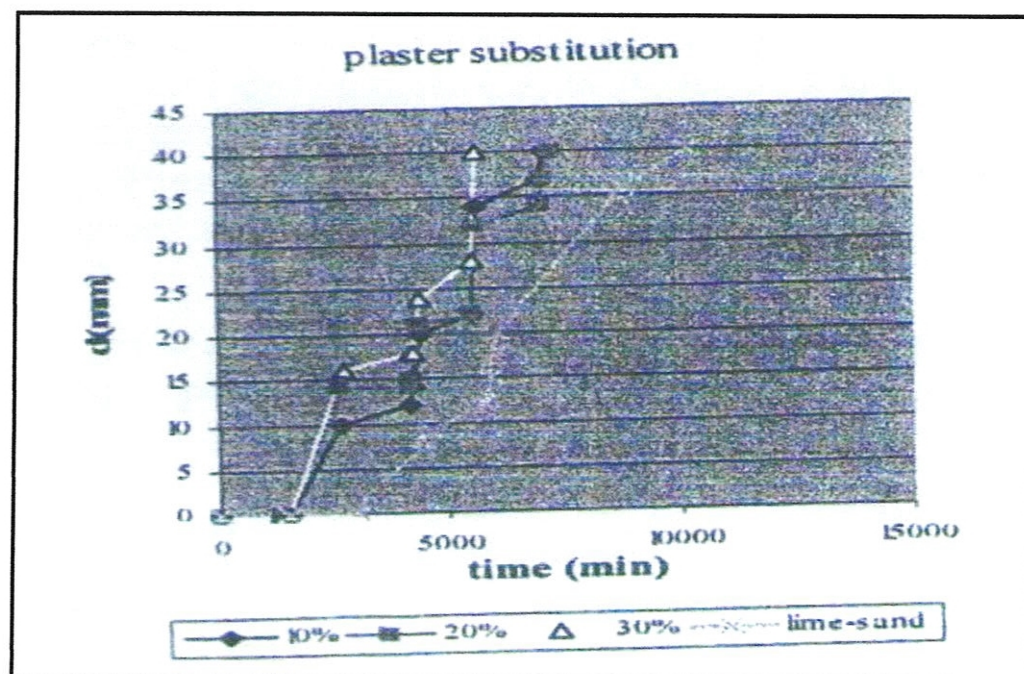


Figure I- 11 : Prise des mortiers chaux / plâtre

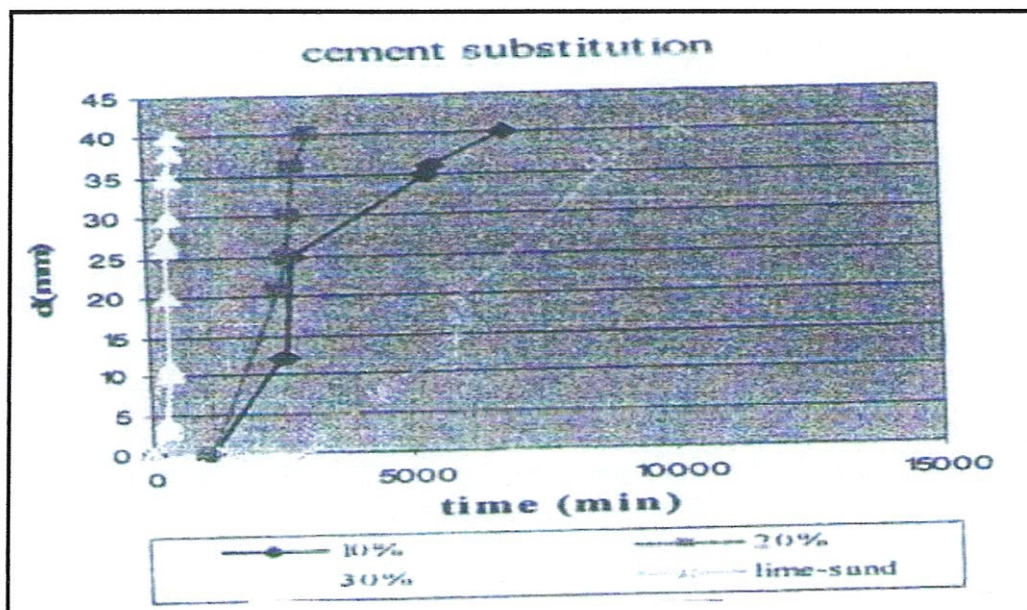


Figure I- 12 : Prise des mortiers chaux / ciment

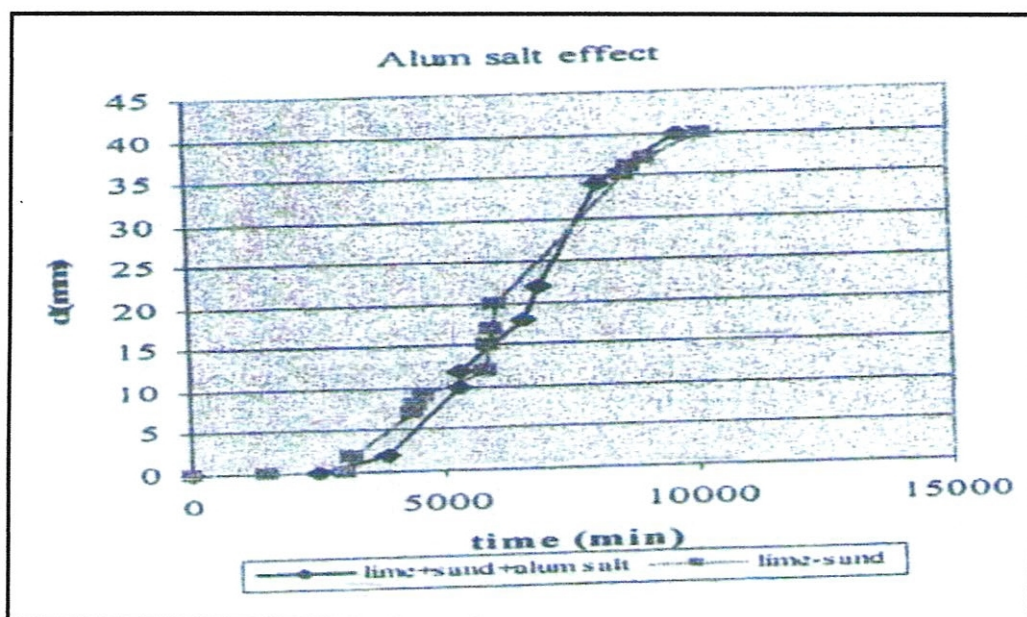


Figure I- 13 : Prise des mortiers chaux / sel d'alun

Tableau I-4 : Composition chimique du tuileau (déterminée à partir des analyses aux Fluorescences X).

Matériau	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	So ₃	P ₂ O ₅	CaCO ₃	Perte au feu
Tuileau	5.60	2.70	15.18	16.1	50.03	0.85	2.07	0.92	3.76	0.66	1%	1.4%

Ils ont conclu comme résultat que la quantité faible de ciment ou de tuileau de 10% à 20 % améliore les résistances, accélère sensiblement la prise sans modifier fondamentalement les propriétés d'un mortier de chaux, telles que la souplesse et la perméabilité. Toutefois, ils recommandent l'utilisation du tuileau plutôt que le ciment, étant donné que ces deux substitutions ont donné des résultats comparables.

4- Mortier à base des déchets de briques comme ajout dans le ciment

Cette recherche a été réalisée par S. WILD et al [01], qui ont étudié les déchets de briques comme ajout avec 10, 20 et 30 % dans un ciment de mortier.

Cette étude traite les propriétés physiques, mécaniques et des durabilités des mortiers à base des déchets de briques.

Ils ont pu prouver que : la résistance à la compression diminue avec l'augmentation des substitutions des fillers des briques dans le mortier.

Les résultats sont représentés dans le tableau I-5 qui suit :

Tableau I-5 : Résistance à la compression des mortiers étudiés

Spécimen	Résistance à la compression (N/mm ²)			
	7 jours	28 jours	90 jours	365 jours
Mortier de référence	52.5	65.3	67.0	78.8
B10	43.8	61.2	74.1	87.3
B20	39.4	55.4	66.2	82.7
B30	31.3	45.2	55.7	69.2
D10	40.3	55.0	65.2	78.6
D20	30.2	45.0	55.0	66.0
D30	29.0	36.6	49.1	59.8
L10	44.7	59.4	69.1	81.3
L20	33.5	48.5	61.5	72.5
L30	27.8	40.5	55.1	65.2
P10	39.8	55.36	65.5	78.9
P20	34.5	50.1	62.7	74.2
P30	28.3	39.8	57.5	67.8

B,D,L,P : Différents types des déchets de briques. Mortier de référence=mortier sans déchets de brique

5- Béton à base des déchets de briques comme granulat

Les auteurs [39] ont étudié le recyclage des déchets de briques comme granulat dans le mortier.

Cette étude traite des propriétés des mortiers élaborés avec les déchets (fins et gros) de briques.

Les auteurs ont utilisé les déchets de briques avec des taux de 50% et 100%. Ils ont conclu que la résistance à la compression et à la traction est plus importante dans les bétons et les mortiers avec granulats fins à cause de la forme angulaire des gros granulats (figures : I-14, I-15 et I-16).

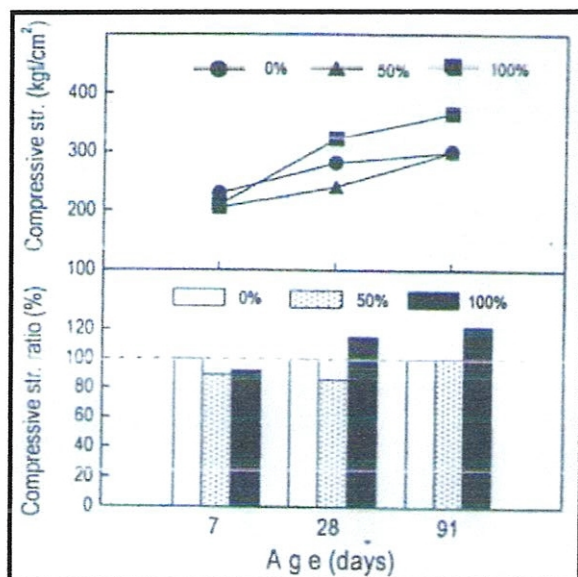


Figure I- 14 : Résistance à la compression du béton avec granulats des déchets de briques fins

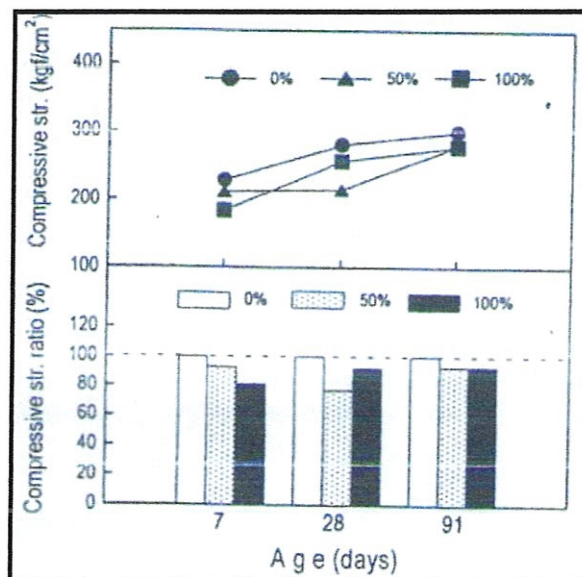


Figure I- 15: Résistance à la compression du béton avec gros granulats des déchets de briques

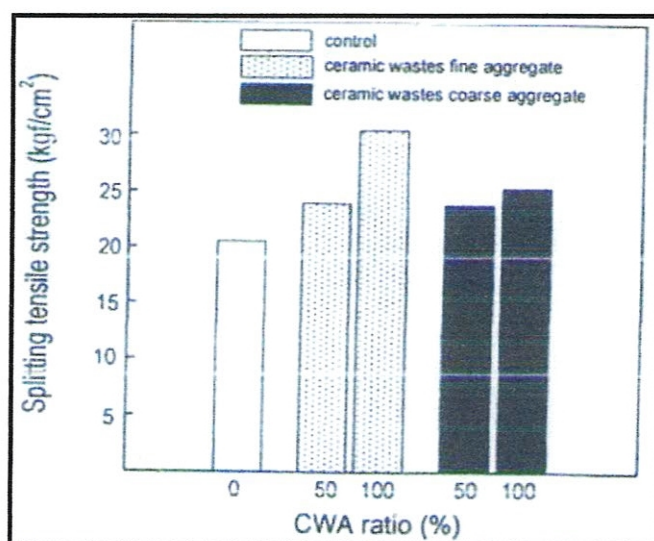


Figure I- 16 : Résistance à la traction du béton avec granulats des déchets de briques (à 28 jours)

II. TECHNIQUES EXPERIMENTALES

2

Chapitre II

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Dans ce chapitre nous présentons les techniques expérimentales utilisées pour mesurer les caractéristiques des composants (sable de carrière, déchets de briques, ciments et eau de gâchage) et pour caractériser les mortiers élaborés à base de ces composants.

Il s'agira des caractéristiques physiques, mécaniques et de durabilité (séchage-mouillage ou vieillissement, absorption d'eau par immersion et par capillarité, cinétique d'absorption et attaque chimique par le sulfate de magnésium $MgSO_4$).

II-1 LES TECHNIQUES EXPERIMENTALES UTILISEES POUR LA CARACTERISATION DES ELEMENTS DE COMPOSITION

II-1-1 Le sable concassé (de carrière)

- **L'analyse granulométrique :** Nécessaire pour connaître la distribution granulaire et la classe granulaire du sable, à été déterminée par tamisage successif conformément à la norme EN 933-2.

Le sable a été secoué régulièrement au moyen de la tamiseuse électrique (photo II-1) disponible au niveau du laboratoire LGCH de l'université de Guelma et les refus ont été systématiquement recueillis et pesés dans une balance électronique ayant une précision de 0.01 gr.



Photo II -1: Tamiseuse électrique utilisée

- **Le module de finesse** : Facteur très important défini comme étant le rapport de la somme des refus cumulés, pour les tamis d'ouverture 0.16 – 0.315 -0.63 -1.25 – 2.5 – 5 (mm) sur 100 et a été déterminé

par la relation suivante : $M_f = \sum \frac{R_c}{100}$, Avec : R_c : refus cumulé.

Les dimensions nominales normalisées des tamis exprimées en ouvertures de la maille carrée (tamis) ou en module sont consignées dans le tableau II-1 suivant :

Tableau II-1 : Dimensions nominales des tamis

Module	Tamis (mm)	Module	Tamis (mm)
20	0.080	30	0.80
21	0.100	31	1.00
22	0.125	32	1.25
23	0.160	33	1.60
24	0.200	34	2.00
25	0.250	35	2.50
26	0.310	36	3.15
27	0.400	37	4.00
28	0.500	38	5.00
29	0.630		

- **La propreté :** à été mesurée au moyen de l'essai d'équivalent de sable conformément à la norme NF P18-597 [40]. L'essai consiste à séparer les flocules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci. L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants (figure II-1) :

- hauteur h_1 : sable propre seulement.
- hauteur h_2 : sable propre + éléments fins,

On en déduit l'équivalent de sable qui est par convention égal à : $ES = \frac{h_1}{h_2} 100$

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ESP (équivalent de sable au piston).

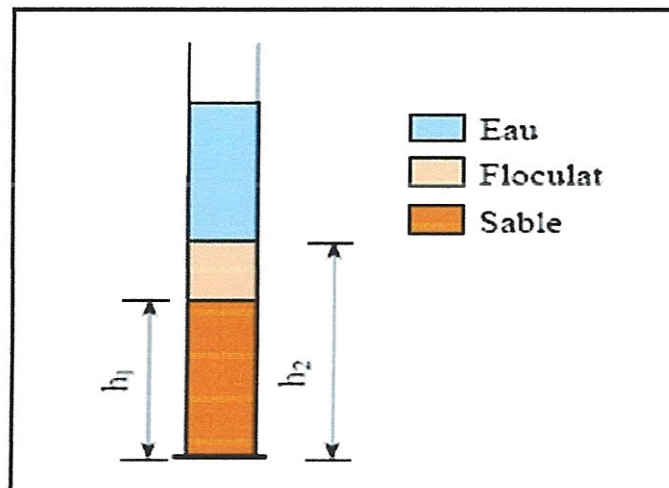


Figure II-1 : Détermination de l'équivalent de sable

- **La masse volumique (apparente) :** c'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient, elle a été mesurée selon la norme NF P 18-554.

Une quantité de 300 grammes de sable (M) a été pesée puis introduite dans une éprouvette graduée.

Après lecture du volume (V), la M_v apparente est calculée par la relation : $M_v = \frac{M}{V}$

- **La masse spécifique** : c'est la masse de l'unité de volume absolu du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides, elle a été mesurée selon la norme NF P 18-544.

Une quantité de 300 grammes de sable (M) a été pesée puis introduite dans une éprouvette graduée contenant un volume V_1 d'eau. Après lecture du volume (V_2), la M_s est calculée par la relation :

$$M_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

- **La porosité** : c'est le rapport de la masse contenue dans les pores au volume du matériau, elle est déterminée par la relation : $P = \frac{M_1 - M_0}{V} \times 100$

Avec :

M_0 : Masse du sable sec

M_1 : Masse du sable immergé dans l'eau pendant 2 heures

V : Rapport de la masse sèche et de la masse volumique de l'eau

- **La compacité** : est le rapport du volume de matière pleine au volume total, elle est déterminée par la relation : $C = \frac{V - v}{V} = 1 - \frac{v}{V} = 1 - P$ ou $C+P=1$ ou encore $\% C + \% P = 100$

Nous faisons remarquer qu'au moment des essais, **la teneur en eau** du sable, déterminée par pesée de 3 Kg de sable à l'état naturel puis de la même masse après séchage complet dans une étuve de laboratoire à 105°C a été évaluée à 0.60 %.

II-1-2 Les déchets de brique

Nous devons d'abord noter que ces déchets ont été obtenus par concassage dans la **machine Los Angeles** et que seule la fraction 0/2mm obtenue par tamisage a été sélectionnée pour cette étude. Cette fraction correspond en effet à la granularité du sable de carrière qu'elle doit substituer.

En plus de la détermination de la M_v apparente, la M_s , la porosité, la compacité, l'analyse granulométrique, le module de finesse (dont les résultats seront indiqués dans le prochain chapitre), nous avons déterminé la **capacité d'absorption d'eau** (NF P 18-555) des déchets de brique.

Le processus expérimental utilisé est décrit ci-après :

On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon.

Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau froide, et portée à ébullition pendant 2 heures pour chasser l'air des pores et puis refroidie dans l'eau, pour que l'eau rentre dans les pores.

Le coefficient d'absorption (A_b) est défini par la relation :
$$AC = \frac{M_a - M_s}{M_s} 100$$

M_s = masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C.

M_a = masse de l'échantillon maintenue dans l'ébullition dans l'eau pendant 2 heures puis laissée refroidir.

- **la teneur en eau** des déchets de brique, déterminée par pesée d'une masse de 3 Kg à l'état naturel puis de la même masse après séchage complet dans une étuve de laboratoire à 105°C à été évaluée à 3.36 %.

II-1-3 Le ciment - La masse volumique apparente (M_v apparente) du ciment a été déterminée au laboratoire LGCH par pesée d'environ 200 g de ciment et mesure du volume correspondant dans une éprouvette graduée.

- **La masse spécifique** a été mesurée à l'aide du densimètre Le Chatelier selon les prescriptions de la norme NF P 18-558.

- **La résistance à la compression** à 28 jours est 42.5 MPa, selon le fabricant (cimenterie Hdjar Essoud, Wilaya de Skikda).

II-4 L'eau de gâchage

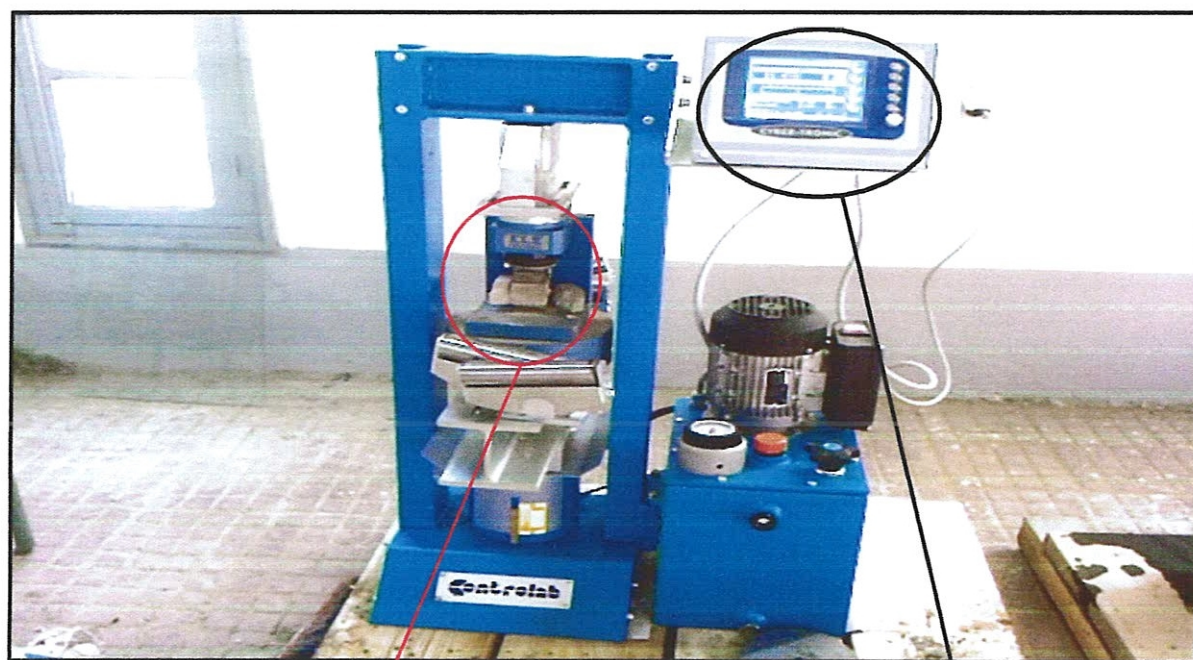
L'eau de gâchage qui est une eau potable du robinet n'a pas été caractérisée expérimentalement. Son pH est généralement proche de 7.

II-2 TECHNIQUES EXPERIMENTALES UTILISEES POUR LA CARACTERISATION DES MORTIERS D'ETUDE

II-2-1 Résistance à la compression

L'essai a été effectué sur une presse hydraulique de type CONTROLAB, asservie en charges. L'éprouvette en mortier, placée dans le dispositif de compression et positionnée entre les appuis du dispositif. Le dispositif est monté sur rotule jusqu'au plateau supérieur (figure II-2).

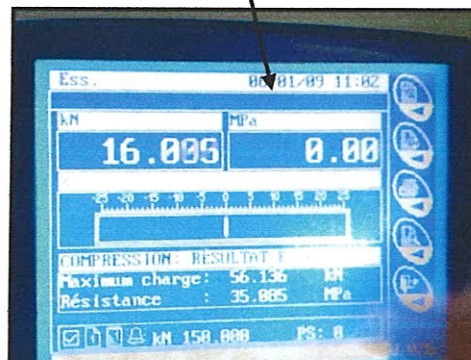
Pendant l'essai, l'éprouvette est chargée jusqu'à la rupture. La force exercée par la presse est mesurée à partir de la pression du circuit hydraulique par un capteur de force, relié à ce même appareil.



(A)



(B)



(C)

Photo II-2 : Machine d'écrasement

Avec :

A : Machine d'écrasement avec deux dispositifs (compression et traction par flexion).

B : Appuis de la machine : rotule en haut et appui en bas de dimension (4×4cm).

C : Ecran qui affiche les résultats de l'écrasement.

Les éprouvettes de mortier écrasées sont de dimensions 4×4×4 (cm³), ce sont les 2 demi-prismes récupérés après essai de traction par flexion

Expression des résultats

La charge maximale F (ou charge d'écrasement) est enregistrée au cours de l'essai et on calcule la

résistance (R) est calculée par la formule : $R = \frac{F}{S}$

Ou :

F : est la charge maximale en KN.

S : est la surface de compression de l'éprouvette (1600 mm²).

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

L'essai a été effectué selon la norme : 196-1, la mise en marche s'effectue avec une vitesse de chargement constante de 0.5 MPa par seconde.

La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes.

II-2-2 Essai de résistance à la traction

La résistance à la traction est mesurée par la méthode de traction par flexion par trois points sur une même machine d'écrasement avec de dispositif de traction par flexion.

L'essai consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté $a = 4\text{cm}$ et de longueur $4a = 16\text{cm}$ selon le principe de la figure II-2 ci-après.

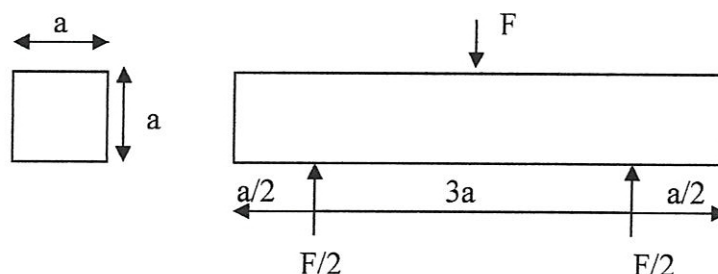


Figure II-2 : Schéma de l'essai de traction par flexion 3 points

2

La photo II-3 montre l'éprouvette prismatique positionnée dans le dispositif de flexion, le tout sous la presse d'écrasement.

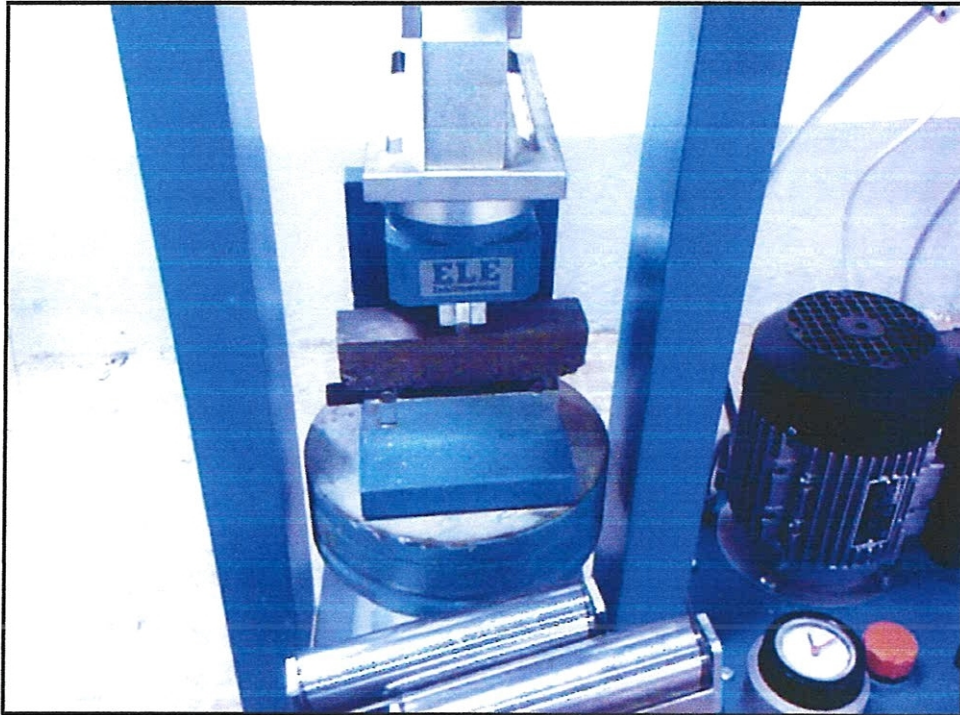


Photo II-3 : Machine d'essai à la traction

Expression des résultats

La résistance à la traction par flexion est calculée par la formule :

$$R_t = \frac{1.8 \times F}{a^2} (MPa)$$

Avec :

F : la charge de rupture en Newtons.

a : le coté de la base en mm.

R_t : La résistance a la traction en MPa.

L'essai a été effectué selon la norme : EN 196-1.

La résistance à la traction par flexion est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes.

II-2-3 Essai de Retrait et gonflement

II-2-3-1 Retrait total et perte de masse

- Les mesures de retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (40mm×40mm×160mm) selon les prescriptions de la norme NF P 15-433.

Après le démoulage à 24 heures, les éprouvettes sont conservées à l'air libre aux conditions ambiantes jusqu'au moment de la mesure et puis on mesure le retrait à l'aide d'un pied à coulisse (photo II-4).



Photo II-4 : Mesure du retrait et gonflement par l'intermédiaire d'un pied à coulisse

Après le démoulage, on mesure la longueur L_0 de l'éprouvette, ensuite on mesure les variations de longueur à 1, 7, 14, 21 et 28 jours.

Si ΔL est la variation de longueur, on mesure les valeurs du retrait qui seront exprimées par :

$\frac{\Delta L}{L_0} \times 10^6$, en micromètre par mètre. On compare les résultats des 5 compositions.

- On mesure aux mêmes dates que pour les mesures de longueur la perte de masse des éprouvettes :
- la masse M_0 au décoffrage.
- les variations ΔM à diverses dates.

On caractérise l'évolution par : $\frac{\Delta M}{M_0} \times 10^3$

Les résultats retenus sont les moyennes arithmétiques de 3 mesures. On compare les résultats des 5 compositions.

2

II-2-3-2 Gonflement

Le gonflement a été évalué à travers les mesures par l'intermédiaire d'un pied à coulisse de différences de longueur des éprouvettes prismatiques $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ conservées dans l'eau.

II-2-4 Absorption d'eau par capillarité et sorptivité

Les essais d'absorption d'eau par capillarité ont été réalisées à température ambiante sur des éprouvettes prismatiques $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm}$, préalablement séchées dans une étuve jusqu'à masse constante. Elles ont ensuite été pesées et recouvertes sur les 4 surfaces latérales parallèles à la direction de la remontée d'eau capillaire, à l'aide du papier aluminium. Seule la surface de base $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ a été laissée à l'air libre pour assurer une remontée unidirectionnelle de l'eau, éviter son évaporation et ne pas permettre l'échange d'humidité avec le milieu ambiant. Cette base est alors mise en contact de l'eau selon le schéma de la figure II-3.

Cette technique a été adoptée par de nombreux auteurs, notamment C. HALL et al en 1986 [41], J. PRAZAK et al en 1992 [42].

La masse de l'eau absorbée a été déterminée par pesées successives à l'aide d'une balance électronique précise à 0.01 gramme près.

Notons que durant les essais, le niveau de l'eau a été maintenu constant, C'est-à-dire que les 3 premiers millimètres du bas des éprouvettes doivent être constamment immergés dans l'eau. Le taux cumulé de l'eau absorbée a été ensuite calculé pour l'ensemble des échantillons.

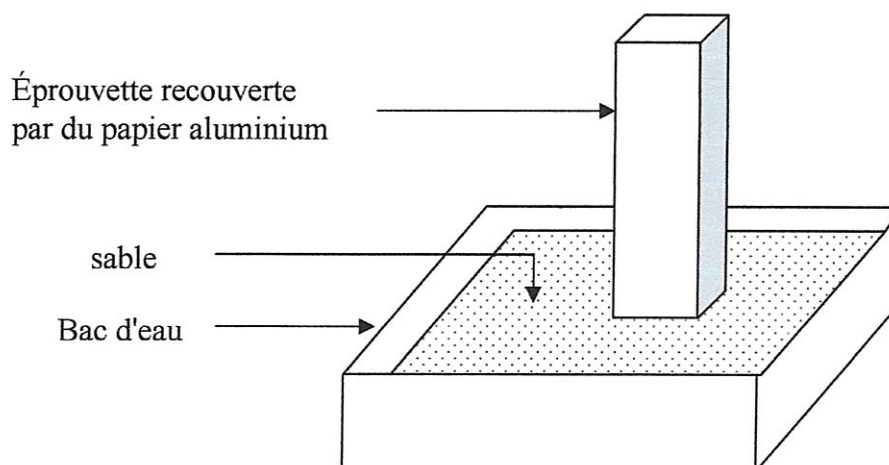


Figure II-3 : Mesure de l'absorption capillaire de l'eau

On détermine la masse d'eau absorbée par pesées successives des éprouvettes des mortiers en fonction du temps dû à la montée capillaire de l'eau.

La relation entre ces 2 paramètres est déterminée par le modèle de C. HALL [41] pour les mortiers.

Elle exprimée par : $i = S t^{1/2}$ d'où $S = \frac{i}{\sqrt{t}}$ Exprimée en $mm / min^{0.5}$

Avec : S : Absorptivité (sorptivité) qui est la pente de la droite $i = f(t^{1/2})$ (figure II-4).

i : Coefficient d'absorption capillaire en (mm^3/mm^2) ou bien en mm ou bien masse d'eau absorbée par unité de surface en g/mm^2 . Ce paramètre en réalité la profondeur de pénétration de l'eau dans l'éprouvette

t : Temps écoulé en (min) au moment où la masse est mesurée.

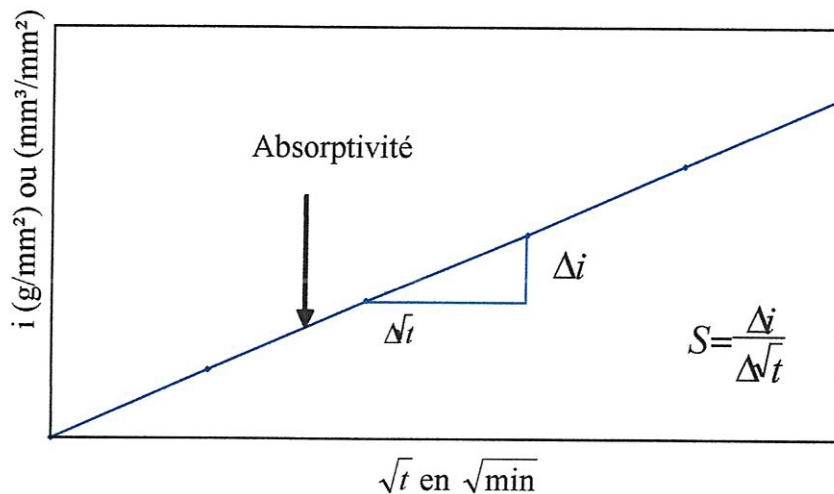


Figure II-4 : Relation générale entre la masse d'eau absorbée par unité de surface et le temps

II-2-5 Séchage-mouillage

L'essai de séchage-mouillage que nous avons utilisé est conforme à la norme ASTM D559-57.

Cet essai comprend 12 cycles de vieillissement accélérés. Chaque cycle est caractérisé par :

Cinq heures d'immersion totale des éprouvettes dans l'eau et quarante deux heures de séchage à une température de 71°C dans l'étuve (photo II-5).

La comparaison des résistances entre les différentes compositions des mortiers avant et après les 12 cycles nous permettent d'évaluer l'effet du vieillissement accéléré.

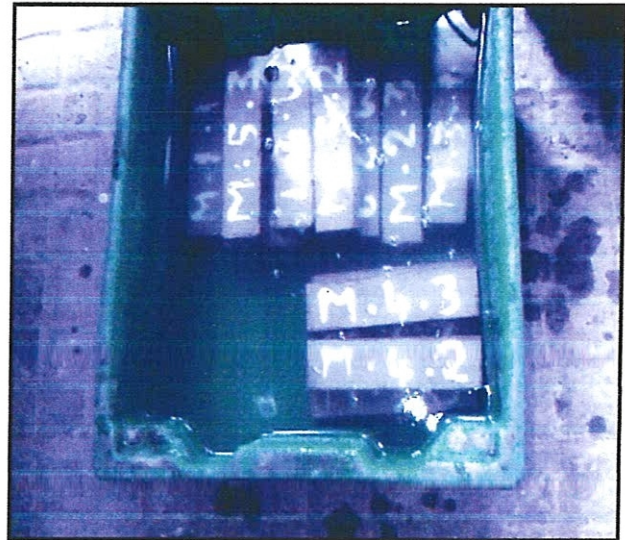


Photo II-5 : Séchage dans l'étuve et mouillage par immersion totale dans le bac à eau

II-2-6 Attaque par sulfate de magnésium

Après 27 jours de cure sous l'eau et 1 jour de cure sous l'air, les éprouvettes sont immergées pendant 90 jours dans la solution du sulfate de magnésium MgSO_4 de concentration de 10%.

Cet essai comprend les mesures suivantes :

- 1/ La pesée des éprouvettes de mortiers pour déterminer la perte de poids.
- 2/ La variation des résistances à la compression et traction par flexion pour les cinq compositions des mortiers.

III. CARACTERISATION DES MATERIAUX COMPOSANTS ET FORMULATION DES MORTIERS D'ETUDE

CARACTERISATION DES MATERIAUX COMPOSANTS ET FORMULATION DES MORTIERS D'ETUDE

Nous présentons dans ce chapitre les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection des mortiers d'étude et la description des essais expérimentaux effectués.

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de Guelma.

Les matériaux utilisés sont :

- ❖ Sable concassé : Il provient de la carrière Bouzitouna de la région de Héliopolis de Guelma.
- ❖ Déchets de briques de terre cuite : Ils proviennent de la briqueterie de Bendjerrah à Guelma.
- ❖ Ciment : Type CPJ 42.5, ils proviennent de la cimenterie de Hdjar Essoud (Wilaya de Skikda).
- ❖ Eau de gâchage : C'est l'eau potable du robinet du Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique de Guelma (LGCH).

Le but principal de cette partie est l'étude de l'effet de la substitution du sable concassé par différents taux des déchets de brique sur les caractéristiques physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers

III-1 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

III-1-1 SABLE CONCASSE

Le sable concassé de fraction (0/2) mm provient de la carrière de Bouzitouna de la région de Héliopolis (Guelma).

III-1-1-1 Dénomination de sable

Le sable qui a servi lors de l'étude est le suivant :

Tableau III-1 : Dénomination du sable

Dénomination du sable	Sable	Fraction (mm)	Origine
S	Sable de carrière	0/2	Héliopolis (Guelma)

III-1-1-2 Caractéristiques physiques

Nous avons utilisé pour la confection du mortier un sable local dont les caractéristiques ont été déterminées expérimentalement au Laboratoire de Génie civil et d'Hydraulique (LGCH) de l'université 08 MAI 45 de Guelma suivant les normes en vigueur.

Les résultats d'essais sont exposés dans le tableau III-2 suivant :

Tableau III-2 : Caractéristiques physiques du sable utilisé

Caractéristiques	Résultats
Module de finesse	02.96
Classe granulaire	0/2
Masse spécifique (g/cm ³) « absolue »	02.63
Masse volumique apparente (g/cm ³)	01.47
Porosité (%)	44.12
Compacité (%)	55.88
Equivalent de sable (%)	91.56
Teneur en eau (%)	00.60

Quelques observations concernant ces caractéristiques :

- Porosité

Pour les sables courants, on admet que la compacité est de l'ordre de 60% à 70% c'est-à-dire la porosité est de 30% à 40% [43]. On constate que la porosité du sable de carrière est de 40%, ce sable peut être considéré comme acceptable du point de vue porosité.

- Equivalent de sable

Les résultats d'essais d'équivalent de sable $ES = 91.56\% > 80\%$ indiquent que ce sable est très propre [44].

III-1-1-3 Analyse granulométrique

La granularité des sables est déterminée selon la norme EN 933-2.

L'analyse granulométrique est effectuée par une tamiseuse électrique, qui se trouve au niveau de Laboratoire de recherche de Génie Civil et d'Hydraulique (photo II 1).

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau III-3 et la figure III-1 ci-dessous :

Tableau III-3 : Analyse granulométrique du sable de carrière

Tamis (mm)	Refus partiel (gr)	Refus cumulés		Tamisat (%)
		(gr)	(%)	
2.000	000.00	0000.00	000.00	100.00
1.000	641.64	0641.64	042.78	057.22
0.500	447.98	1089.62	072.64	027.36
0.250	213.34	1302.96	086.86	013.14
0.125	110.52	1413.48	094.23	005.77
0.063	060.12	1473.60	098.24	001.76
Fond	026.40	1500.00	100.00	000.00

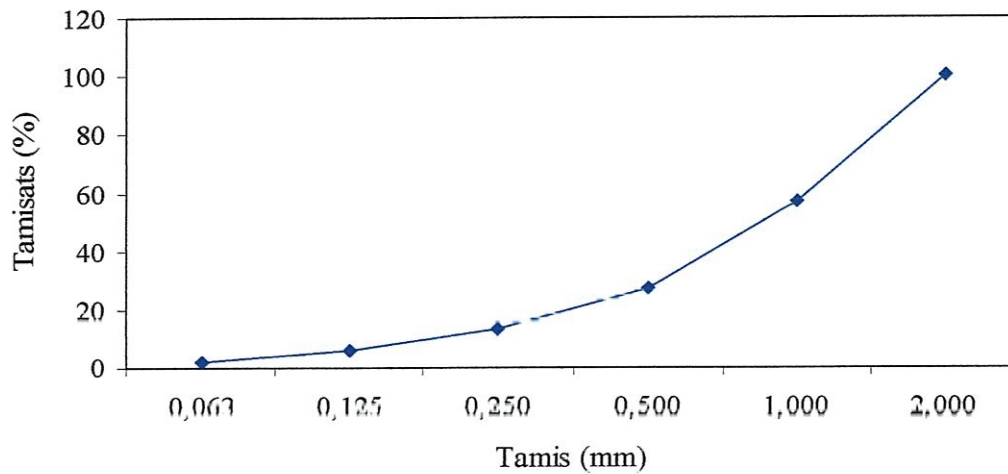


Figure III-1 : Courbe granulométrique du sable de carrière

III-1-1-4 Module de finesse

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable [45].

Le module de finesse du sable de carrière utilisé est : $M_f = 2.96 \rightarrow$ indique que c'est un sable moyen contenant peu des éléments fins.

III-1-2 DECHETS DE BRIQUE

Les déchets de brique utilisés proviennent de la briqueterie de Bendjerrah à Guelma. Ils ont été préalablement concassés dans la machine LOS ANGELES puis tamisés ($\varnothing=2\text{mm}$) et seule la fraction 0/2mm a été retenue pour cette étude.

III-1-2-1 Dénomination des déchets de brique

Les déchets de brique ayant une granularité $d/D = 0/2$ (mm) s'apparentent du point de vue granulométrie à un sable. Leur dénomination est présentée dans le tableau III-4 qui suit :

Tableau III-4 : Dénomination

Dénomination du sable	Sable	Fraction (mm)	Origine
D	Déchets de briques	0/2	Briqueterie de Bendjerrah (Guelma)

III-1-2-2 Caractéristiques physiques des déchets de brique

Nous avons utilisé pour la confection du mortier un sable local de carrière et des déchets de brique dont les caractéristiques ont été déterminées expérimentalement au Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique (LGCH) de l'université de Guelma suivant les normes en vigueur.

Les résultats d'essais sont exposés dans le tableau III-5 suivant :

Tableau III-5 : Caractéristiques physiques des sables issus des déchets de brique

Caractéristiques	Résultats
Module de finesse	02.82
Classe granulaire	0/2
Masse spécifique (g/cm ³) « absolue »	02.50
Masse volumique apparente (g/cm ³)	01.25
Porosité (%)	50.00
Compacité (%)	50.00
Equivalent de sable (%)	98.15
Teneur en eau (%)	03.36
Coefficient d'absorption d'eau (%)	16.08

Quelques observations concernant ces caractéristiques :

- Porosité

La porosité des déchets de brique est de 50%, ce sable peut convenir à la confection des mortiers.

- Equivalent de sable

Ce sable ayant $ES = 98.15 > 80\%$ peut être classé comme très propre.

III-1-2-3 Analyse granulométrique

Les résultats d'essais sont présentés dans le tableau III-6 et la figure III-2 ci-dessous :

Tableau III-6 : Analyse granulométrique de déchets de brique (sable de déchets de brique)

Tamis (mm)	Refus partiel (gr)	Refus cumulés		Tamisat (%)
		(gr)	(%)	
2.000	000.00	0000.00	000.00	100.00
1.000	591.20	0591.20	039.41	060.59
0.500	346.83	0938.03	062.53	037.47
0.250	341.81	1279.84	085.32	014.68
0.125	145.21	1425.50	095.03	004.97
0.063	052.75	1477.80	098.52	001.48
Fond	022.20	1500.00	100.00	000.00

- Le pourcentage des fines est 1.48% (< 5%) indique que ces déchets de brique conviennent pour la confection des mortiers

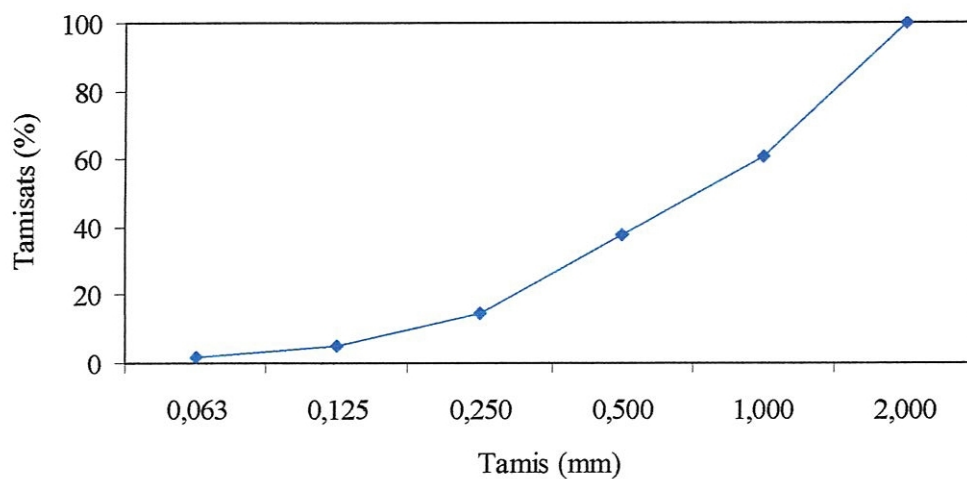


Figure III-2 : Courbe granulométrique des déchets de brique

Selon l'analyse granulométrique du sable des déchets de brique obtenu nous notons que la courbe granulométrique présente peu d'éléments fins, c'est une courbe granulométrique continue.

Nous pouvons donc conclure que le sable obtenu convient pour la fabrication des mortiers.

III-1-2-4 Module de finesse

Module de finesse $M_f = 2.82$, ce sable de déchets de brique est classé « moyen » du point de vue granularité, il convient à la confection des mortiers.

III-1-3 CIMENT

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment portland composé de classe 42.5 (CPJ 42.5), il provient de la cimenterie de Hdjar Essoud (Wilaya de Skikda).

III-1-3-1 Composition chimique

La composition chimique est indiquée dans le tableau (III-7)

Tableau III-7 : Composition chimique d'un ciment CPJ 42.5 [46].

Composition chimique (%)										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	K ₂ O	Na ₂ O	Chaux libre	Perte au feu	Résidus insolubles
20.34	3.00	61.69	1.80	2.20	0.027	0.76	0.14	0.97	5.03	11.26
Composition minéralogique										
C ₃ S			C ₂ S			C ₃ A			C ₄ AF	
58.3			14.6			8.7			11.26	

Eléments	Teneur en sulfate (SO ₃)	Teneur en chlorure (Cl ⁻)
Teneurs (%)	≤ 3.5	≤ 0.1

III-1-3-2 Caractéristiques physiques et mécaniques

Les différentes caractéristiques sont présentées au tableau III-8.

Tableau III-8 : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé

Caractéristiques	Ciment CPJ 42.5
Masse volumique absolue (g/cm ³)	3.1
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.12
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	3700
Temps de début de prise sur pâte pure (min)	≥ 60
Retrait à 28 jours sur mortier normal (um/m)	≤1000
Résistance mécanique à 2 jours (MPa)	≥10
à 28 jours (MPa)	≥40

III-1-4 EAU DE GACHAGE

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique de l'université de Guelma. La composition chimique est présentée dans les tableaux III-9 et III-10.

Elle a été déterminée par le Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (LTPE) antenne de Guelma.

Tableau III-9 : Composition chimique sommaire de L'eau de gâchage (Mg/l)

Désignation	MES*	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Résidu sec asséché à 180°C	pH à T=25°
H ₂ O	Traces	571.71	63.9	128	1070	7.84

MES* : Matières en suspension.

Tableau III-10 : Composition chimique de L'eau de gâchage (Mg/l)

Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	MES	SO ₄ ⁻²	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Résidu sec asséché à 105 °C	MO* /oxygène	pH
85.2	58.5	13.64	0	110	0	0.73	0	370.5	3.3	7.75

MO* : matières organiques

III-2 FORMULATION DES MORTIERS D'ETUDE

Nous avons au départ procédé à une pré-formulation des mortiers d'étude en adoptant les dosages d'un mortier normalisé (en masse) :

- 1 partie de ciment
- 3 parties de sable sec
- E/C = 0.5

Soit pour la préparation de 3 éprouvettes 4cm×4cm×16cm les quantités suivantes :

- Ciment : 450 gr
- Sable sec : 1350 gr
- Eau de gâchage : 225 gr

Cette pré-formulation a donné lieu à des éprouvettes manquant visiblement de cohésion comme le montre la photo III-1 qui suit, notamment les éprouvettes de mortier à fortes teneurs en déchets de brique.

Par ailleurs les valeurs des résistances à la compression à 28 jours n'étaient pas significatives (tableau III-11 ci-dessous)

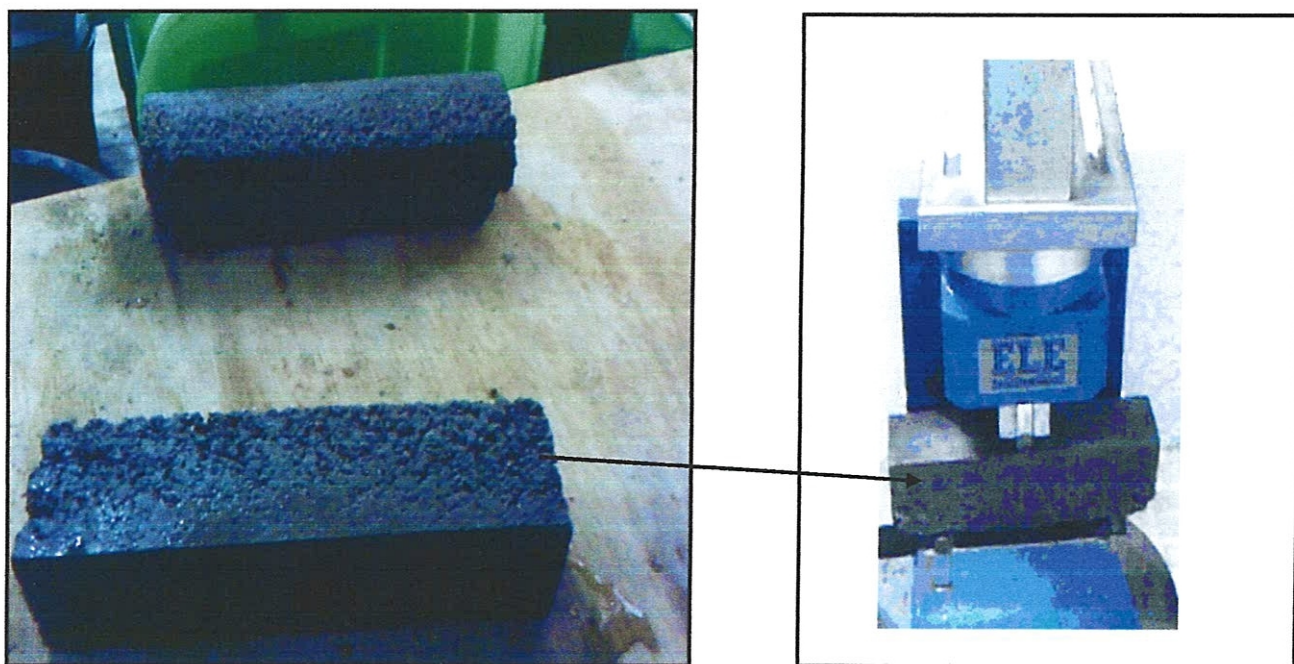


Photo III-1 : Eprouvettes des mortiers normalisés E/C=0.5

Tableau III 11 : Résistances mécaniques avec E/C=0.50

Composition	Résistance à la compression (MPa)
M_1	25.21
M_2	12.61
M_3	04.89
M_4	03.22
M_5	01.55

Ces résultats sont attribués à l'insuffisance des quantités d'eau de gâchage mises en œuvre lors de la confection des mortiers envisagés.

Pour éviter ce problème, nous avons été amenés à préparer des mortiers ayant une même consistance et ce en variant les quantités d'eau de gâchage. Cette consistance de la pâte est obtenue grâce à l'essai de consistance normale (appareil de Vicat muni d'une sonde de consistance).

La consistance choisie pour l'ensemble des mortiers d'étude correspond à $d = 11$ mm.

Nous rappelons dans ce qui suit la procédure d'essai ainsi que les résultats obtenus.

III-2-1 Mesure la consistance de la pâte

On utilise cet essai pour déterminer la quantité d'eau nécessaire pour chaque composition de façon à obtenir une même consistance.

- 500 g de ciment sont pesés et introduits dans la cuve du malaxeur.
- La quantité d'eau choisie est ajoutée au ciment en un temps compris entre 5 et 10 secondes.
- Mettre immédiatement le malaxeur en route à la vitesse lente pendant 90 s.
- Arrêter la machine pendant 15 s et ramener dans la gâchée avec une petite truelle la pâte adhérant à la cuve et se trouvant au delà de la zone de malaxage.
- Remettre la machine en route pour une durée de 90s à vitesse lente.

La pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessifs.

Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de vicat.

Quatre minutes après le début du malaxage, la sonde est amenée à la surface supérieure de l'échantillon (moule tronconique) et relâchée sans élan. La sonde s'enfonce alors dans la pâte (photoIII-2).

Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), on mesure la distance (d) séparant l'extrémité de la sonde et de la plaque de base, cette distance (d) caractérise la consistance de la pâte étudiée.

Si $(d) = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$, on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée. (Consistance normalisée).

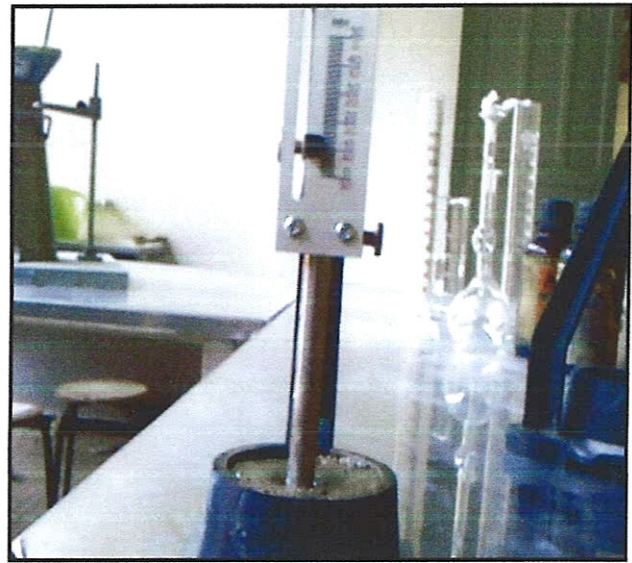


Photo III-2 : Essai de consistance réalisé par l'appareil de Vicat muni d'une sonde pour la formulation des mortiers d'étude

- Pour une consistance choisie égale à 11 mm, nous avons obtenus les résultats de la figure III-5 suivants :

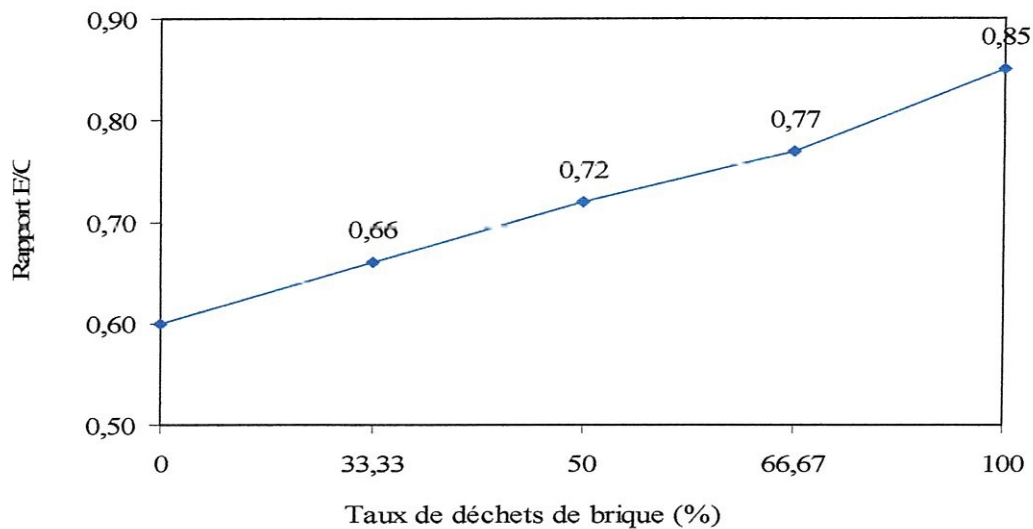


Figure III-3 : Variation du rapport E/C en fonction du taux de déchets de briques mis en œuvre

Il faut noter qu'à consistance égale le rapport E/C=0.60 pour un mortier sans déchets de brique correspond à E/C=0.85 pour un mortier sans sable concassé.

III-2-2 Mesure de la résistance à la compression

La variation de la résistance à la compression des mortiers étudiés en fonction de l'âge du mortier et du pourcentage de déchets de brique mis en œuvre.

Les résultats obtenus dans cette étape sont exprimés dans le tableau III-12 suivant :

Tableau III-12 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers élaborés à consistance égale

Mortiers	E/C	S (%)	B (%)	R_{c28} (MPa)
M_1	0.60	100.00	000.00	29.53
M_2	0.66	066.67	033.33	23.15
M_3	0.72	050.00	050.00	20.50
M_4	0.77	033.33	066.67	18.41
M_5	0.85	000.00	100.00	15.78

III-3 FABRICATION DES PATES DE MORTIERS

Se fait à l'aide d'un malaxeur dont le batteur est animé d'un mouvement de rotation sur soi-même et d'un mouvement autour de l'axe du moteur (photo III-3).

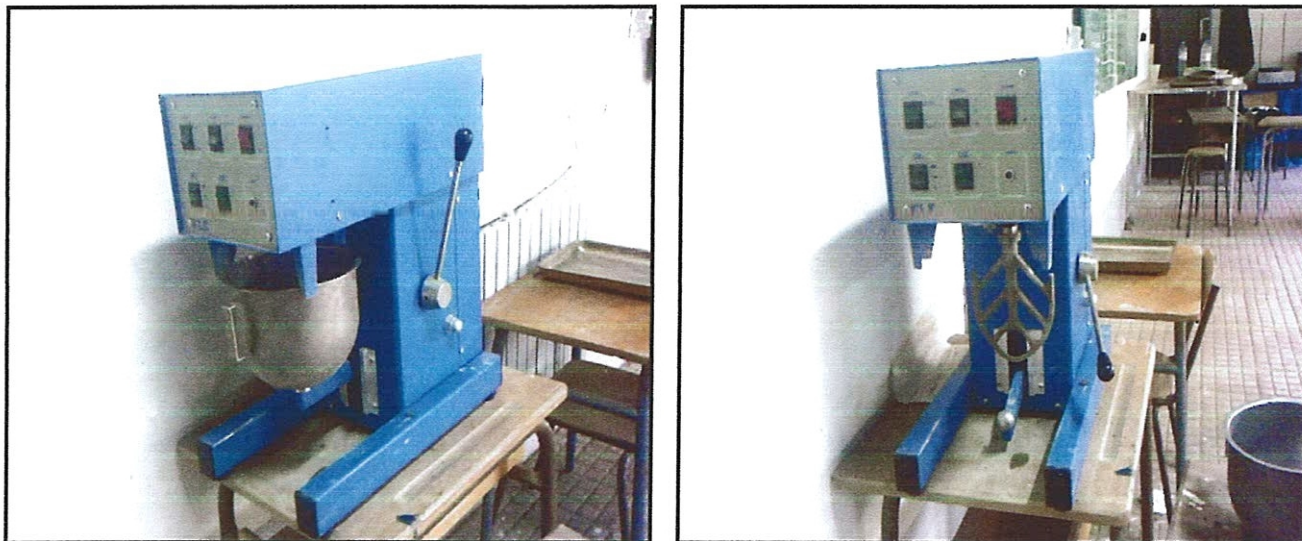


Photo III-3 : Malaxeur à mortier utilisé

Processus de fabrication des mortiers étudiés

- Mettre l'eau dans le récipient du malaxeur ; ajouter le ciment.
- Mettre aussitôt en marche : * 1 min à vitesse lente.
 - * Puis 2 min à vitesse rapide.
- Arrêter le mouvement ; démonter le batteur. Nettoyer les parois du récipient et le batteur.
- Remonter le récipient et le batteur.
- Remettre en marche : 2 min à vitesse rapide.

III-4 COMPOSITION DES MORTIERS D'ETUDE

Nous avons utilisé les matériaux de base suivants pour déterminer cette composition:

- Le sable de la carrière de Bouzitouna (Héliopolis).
- Les déchets de brique de terre cuite de la briqueterie de Bendjerrah à Guelma.
- Le ciment de CPJ 42.5 qui provient de la cimenterie de Hdjar Essoud (Skikda).

La composition du mortier utilisé dans cette étude est la suivante :

Ciment : 1 partie (en masse)

Sable : 3 parties

Eau : Quantités variables correspondant à $E/C = 0.60 - 0.85$ afin d'obtenir une même consistance pour tous les mortiers étudiés

La composition pour la préparation de 3 éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ (cm³) de mortier est présentée dans le tableau III-13 suivant :

Tableau III-13 : Compositions des mortiers élaborés

Mortiers	Taux de brique (%)	Taux de sable (%)	Masse de sable (gr)	Masse de déchets de brique (gr)	Ciment (gr)	Eau (gr)
M_1	000.00	100.00	1320.66	0000.00	440.22	264.13
M_2	033.33	066.67	0869.15	0434.50	434.55	286.80
M_3	050.00	050.00	0643.55	0643.55	429.03	308.90
M_4	066.67	033.33	0424.62	0848.97	424.53	326.88
M_5	100.00	000.00	0000.00	1252.58	417.52	354.90

III-5 CONFECTION DES EPROUVETTES POUR LES ESSAIS DE COMPORTEMENT MECANIQUE ET DE DURABILITE DES MORTIERS D'ETUDE

Nous avons appliqué les étapes suivantes :

- 1- Préparer une série des moules prismatiques (4×4×16cm).
- 2- Huiler les moules.
- 3- Vérifier le serrage des moules.
- 4- Préparer un mélange homogène du mortier, puis poser dans le récipient.
- 5- Introduire une part de mortier dans chacun des 3 compartiments du moule.
- 6- Vibrer le mortier à l'aide de l'aiguille vibrante permettant d'appliquer 60 chocs pendant 60 secondes jusqu'à remplir les moules en trois couches.
- 7- Si le moule est rempli, araser la surface à l'aide d'une règle métallique pour avoir la finition de la surface supérieure.
- 8- Conserver les éprouvettes dans leurs moules jusqu'au démoulage.
- 9- Démouler les éprouvettes après 24 heures de leur confection.
- 10- Répéter la même opération avec changement le facteur étudié pour obtenir des compositions différentes.

On fait le même procédé pour la confection des éprouvettes pour la réalisation des différents essais

DESCRIPTION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX REALISES

Ce sont :

1. Essai pour détermination de la résistance à la compression et à la traction par flexion.
2. Essai pour évaluation dimensionnel et pondéral de retrait et de gonflement.
3. Essai pour détermination de la perte de poids et évaluation de la résistance de différentes compositions par l'attaque de sulfate de magnésium.
4. Essai pour évaluation de l'absorption capillaire.
5. Essai pour évaluation de la résistance de séchage - mouillage.
6. Essai pour détermination des caractéristiques des différentes compositions des éprouvettes : porosité – capacité d'absorption – masse volumique apparente.

Ces essais sont réalisés sur plusieurs éprouvettes en mortier ayant des compositions différentes pour déterminer le comportement mécanique et la durabilité d'un mortier à base de déchet de brique.

III-6 PROCEDURE DE CONSERVATION DES EPROUVETTES DES MORTIERS

Les modes de conservation utilisés dans cette recherche sont représentés ci-après :

III-6-1 Conservation dans l'eau

Les éprouvettes sont immergées complètement dans un bac d'eau potable de laboratoire après le décoffrage (photo III-4).



Photo III-4 : Conservation des éprouvettes dans l'eau

Cette conservation est utilisée pour les essais suivants pour les différentes compositions :

- Résistance : conservation jusqu'au 28 jours.
- Gonflement : conservation sous l'eau jusqu'à 3 jours.
- Mouillage : conservation de 5 heures après séchage de 42 heures, l'opération est répétée 12 fois.
- Attaque par sulfate de magnésium : conservation sous l'eau jusqu'au 27 jours.

III-6-2 Conservation à l'air libre

Les éprouvettes ont été laissées à l'air libre sans aucune protection contre l'évaporation de l'eau.



Photo III-5 : Conservation des éprouvettes à l'air libre

Cette conservation est utilisée pour l'essai suivant :

- Retrait : ce fait jusqu'au 28 jours des différentes compositions.

III-6-3 Conservation dans l'étuve

Les éprouvettes sont conservées dans l'étuve pendant 42 heures pour l'essai de séchage-mouillage.



Photo III-6 : Conservation des éprouvettes dans l'étuve

III-6-4 Conservation dans une solution de Sulfate de Magnésium (MgSO_4)

Les éprouvettes sont immergées dans un bac de sulfate de magnésium jusqu'au 3 mois.

Cette conservation est utilisée pour l'essai suivant :

- Attaque par sulfate de magnésium :

1/ Les éprouvettes sont immergées dans l'eau jusqu'à 27 jours.

2/ la cure pendant un jour sous l'air.

3/ Immersion dans le sel MgSO_4 .

III-6-5 Conservation dans du papier d'aluminium

Une fois démoulées, les éprouvettes ont été séchées jusqu'à stabilisation et puis ont été recouvertes en papier d'aluminium et ont été laissées 2cm en bas sans couverture (photo III-7).



Photo III-7 : Eprouvettes d'essai de l'absorption capillaire recouvertes avec du papier d'aluminium

Cette conservation est utilisée pour l'essai d'absorption capillaire.

IV. RESULTATS

EXPERIMENTAUX ET ANALYSES

RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES

Nous présenterons dans ce chapitre l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus sur les mortiers élaborés avec analyses et interprétations.

Il s'agira des résultats de :

- Caractéristiques physiques : Masse volumique, capacité d'absorption d'eau massique et porosité ouverte à l'eau.
- Caractéristiques mécaniques : Résistance à la compression et à la traction par flexion à 28 jours d'âge, ensuite leurs évolutions par rapport à la variation du rapport E/C et par rapport à la variation du taux de déchets de briques mis en œuvre, et enfin le rapport $R_{c28} - R_{t28}$ afin de dégager une éventuelle relation pouvant les lier.
- Caractéristiques de durabilité : Variations dimensionnelles et pondérales, absorption d'eau capillaire et absorptivité (ou sorptivité), séchage-mouillage et enfin l'attaque chimique des mortiers par le sulfate de magnésium ($MgSO_4$).

IV-1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES MORTIERS ELABORES

Nous avons utilisé pour la confection des mortiers d'étude, un sable local de carrière et des déchets de briques dont les caractéristiques ont été déterminées expérimentalement au laboratoire de génie civil et d'hydraulique (LGCH) de l'université de Guelma et présentées dans le chapitre 3 qui a précédé. Nous rappelons que le ciment utilisé est un CPJ 42.5 et que l'eau de gâchage est une eau potable du robinet.

Les résultats expérimentaux des essais sur mortiers sont exposés dans le tableau IV-1 suivant et les évolutions des caractéristiques par les courbes des figures IV-1, IV-2, IV-3 qui suivent :

Tableau IV-1 : Caractéristiques physiques des mortiers élaborés

Compositions	Taux de déchets %	M_v (g/cm ³)	C.A (%)	P (%)
M ₁	000.00	2.18	14.05	30.63
M ₂	033.33	2.11	15.91	33.57
M ₃	050.00	2.10	17.38	36.50
M ₄	066.67	2.04	18.10	36.92
M ₅	100.00	1.97	21.87	43.08

Avec :

M_v : Masse volumique des mortiers élaborés.

C.A : Coefficient d'absorption d'eau massique déterminé par la relation $C_A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$

M_1 et M_2 : Masses des éprouvettes saturées en eau et sèches respectivement.

P : Porosité des mortiers élaborés déterminée par la relation $P(\%) = \frac{M_2 - M_1}{V_{\text{éproutette}}} \times \rho_{\text{eau}} \times 100$

$V_{\text{éproutette}} = 4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm} = 256 \text{ cm}^3$

$\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/cm}^3$

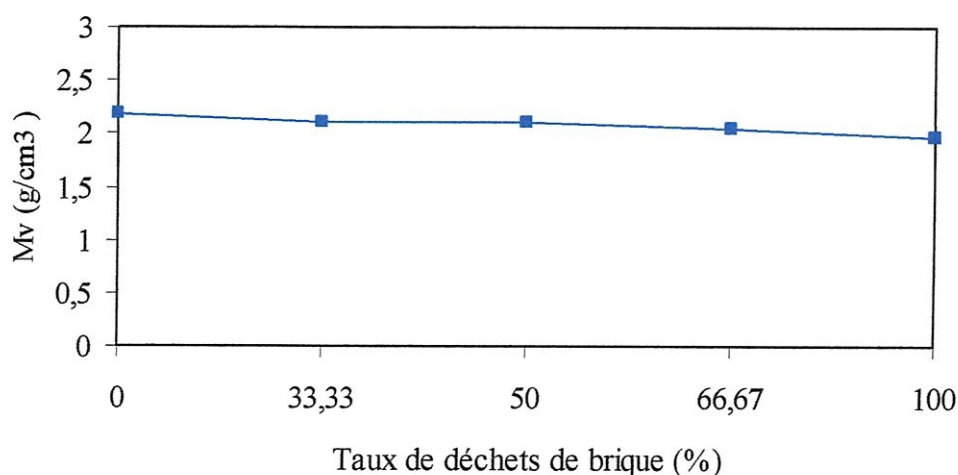


Figure IV-1 : Evolution de la M_v en fonction du taux de déchets de brique mis en oeuvre

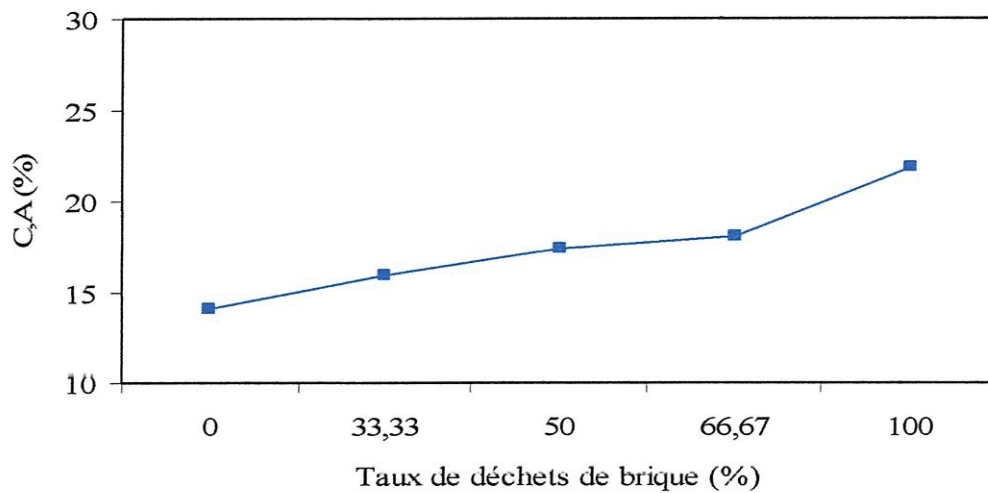


Figure IV-2 : Evolution de la capacité d'absorption d'eau en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

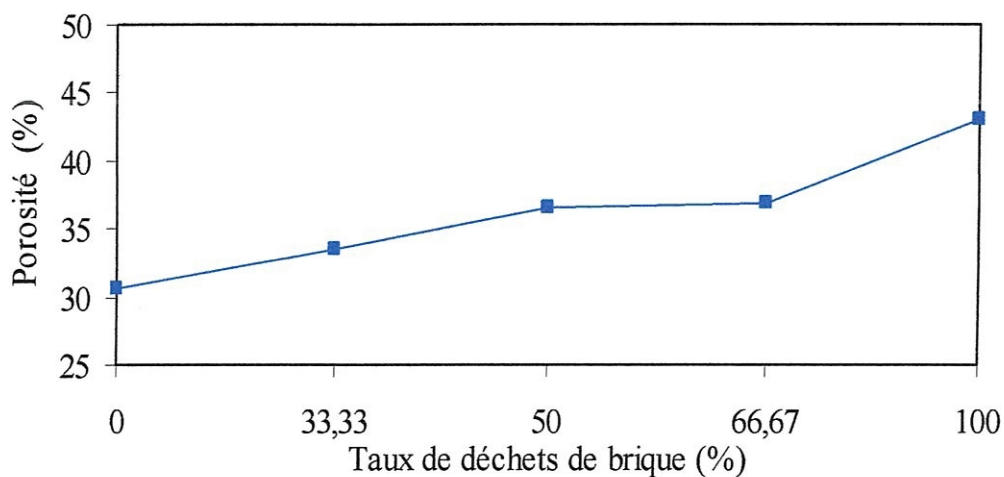


Figure IV-3 : Evolution de la porosité en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

L'analyse des résultats obtenus montre que :

- La masse volumique des mortiers élaborés diminue avec l'augmentation du taux des déchets de brique mis en œuvre quasi- proportionnellement.

Ces derniers allègent donc les mortiers élaborés. Cet allègement s'explique par la substitution des sables de carrière ayant une masse volumique apparente de 1.47 g/cm^3 par les déchets de briques ayant une masse volumique plus petite (1.25 g/cm^3).

- L'augmentation de la capacité d'absorption d'eau des mortiers élaborés est quasi-proportionnelle à l'augmentation du taux de déchets de brique, ceci est expliqué par le fait que les mortiers à plus grands taux de déchets de briques sont les plus poreux comme le montrent le tableau IV-1 et la figure IV-3. Les matériaux les plus poreux sont manifestement les plus absorbants.
- La porosité des matériaux élaborés augmente avec le taux de déchets de brique. Cette porosité accessible à l'eau est en partie responsable de l'allègement des mortiers élaborés et de leurs capacités d'absorption d'eau.

IV-2 CARACTERISTIQUES MECANQUES

IV-2-1 Résistances mécaniques des mortiers élaborés

IV-2-1-1 Résistance à la compression à 28 jours (R_{c28})

Nous avons choisi dans cette étude expérimentale de mesurer la résistance à la compression à 28 jours car c'est une résistance caractéristique des mortiers. Les résistances mesurées sur les 5 mortiers élaborés (un mortier test sans déchets de briques et 4 mortiers avec divers taux de déchets) sont regroupées dans le tableau IV-2 et la figure IV-4 qui suivent. Ces résultats représentent la moyenne arithmétique de 3 mesures réalisées.

Tableau IV-2 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers élaborés

Mortiers	E/C	S (%)	B (%)	R_{c28} (MPa)
M_1	0.60	100.00	000.00	29.53
M_2	0.66	066.67	033.33	23.15
M_3	0.72	050.00	050.00	20.50
M_4	0.77	033.33	066.67	18.41
M_5	0.85	000.00	100.00	15.78

S % : Taux de sable de carrière mis en œuvre.

B % : Taux des déchets de brique mis en œuvre.

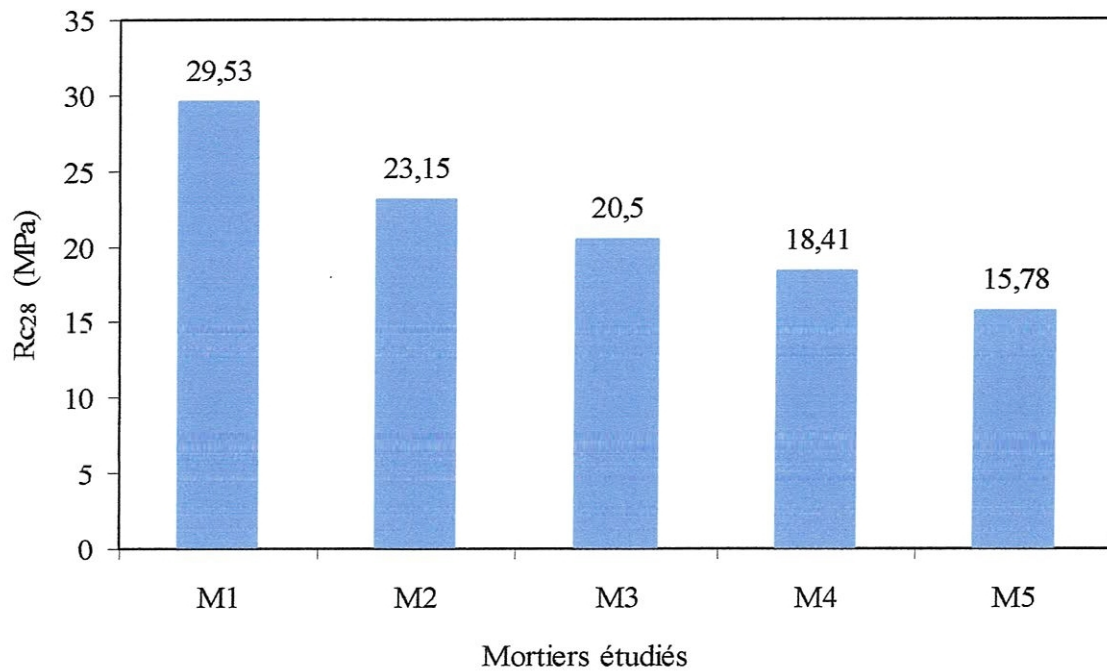


Figure IV-4 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers étudiés

A la lecture des résultats, on constate que la résistance du mortier M₁ (mortier test, sans déchets) ayant pour valeur $R_{c28}(M_1) = 29.53$ MPa est presque le double de la résistance du mortier M₅ (confectionné avec 100 % de déchets de briques) et qui a pour valeur

$$R_{c28}(M_5) = 15.78 \text{ MPa. En effet } \frac{R_{c28}(M_1)}{R_{c28}(M_5)} = 1.87$$

Ce résultat s'explique par la grande capacité d'absorption d'eau du mortier M₅ (C.A = 21.87 %) contre C.A = 14.05 % pour le mortier M₁. Il s'explique également par la différence de porosité ouverte : 30.63 % pour M₁ et 43.08 % pour M₅. Il est bien connu dans la littérature qu'un matériau compact est plus résistant qu'un matériau poreux.

Afin d'examiner l'influence des déchets de brique sur la résistance à la compression à 28 jours des mortiers élaborés, nous avons tracé dans la figure IV-5 qui suit la courbe reliant les 2 paramètres.

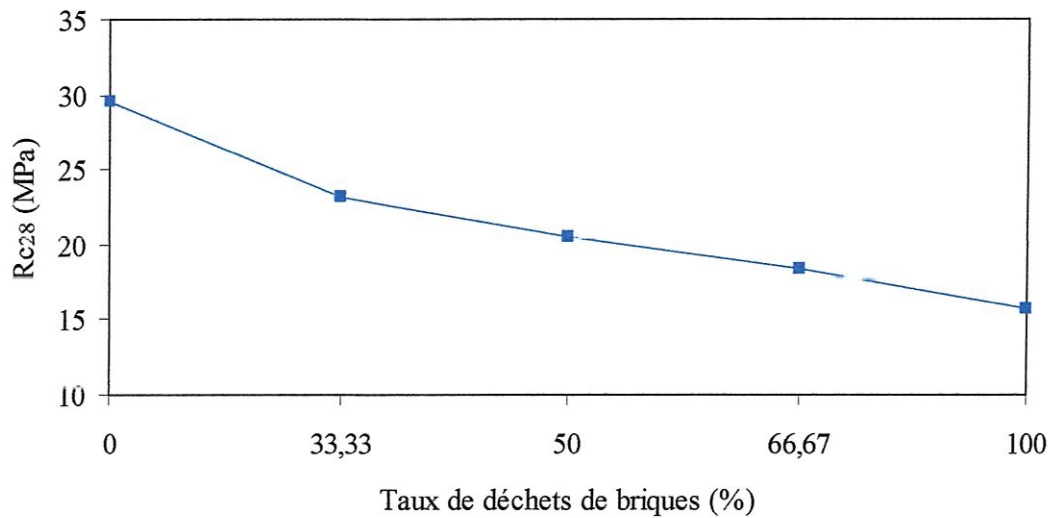


Figure IV-5 : Evolution de R_{c28} en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

Nous avons ensuite examiné l'influence de la capacité d'absorption d'eau et celle de la porosité ouverte à l'eau sur la résistance à la compression à 28 jours des mortiers élaborés. Les résultats sont montrés dans les figures IV-6 et IV-7 suivantes :

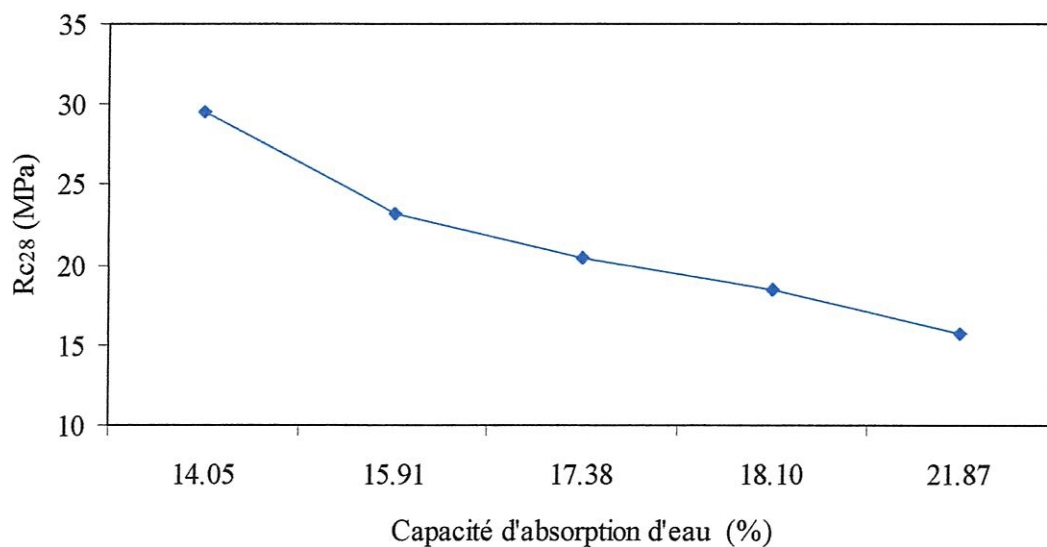


Figure IV-6 : Influence de la capacité d'absorption d'eau (C.A) sur la résistance R_{c28}

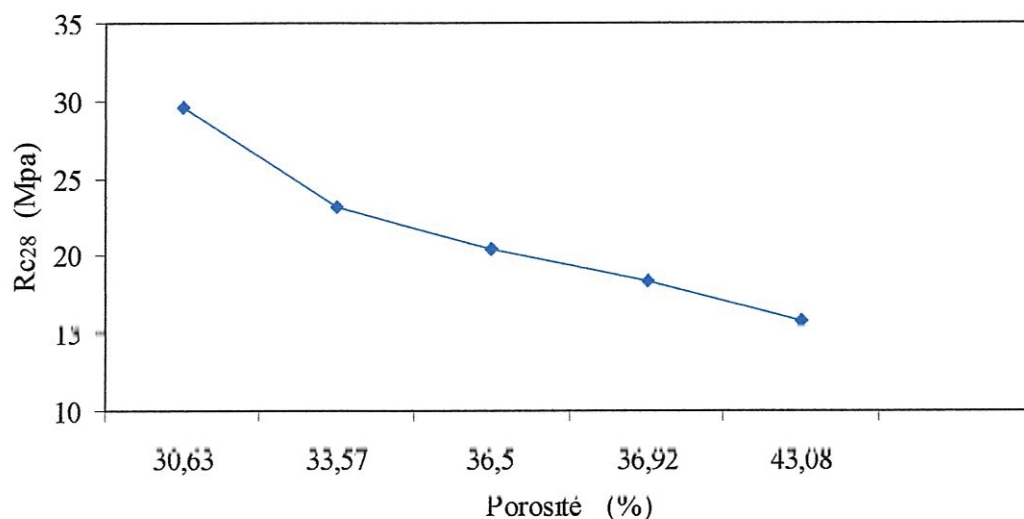
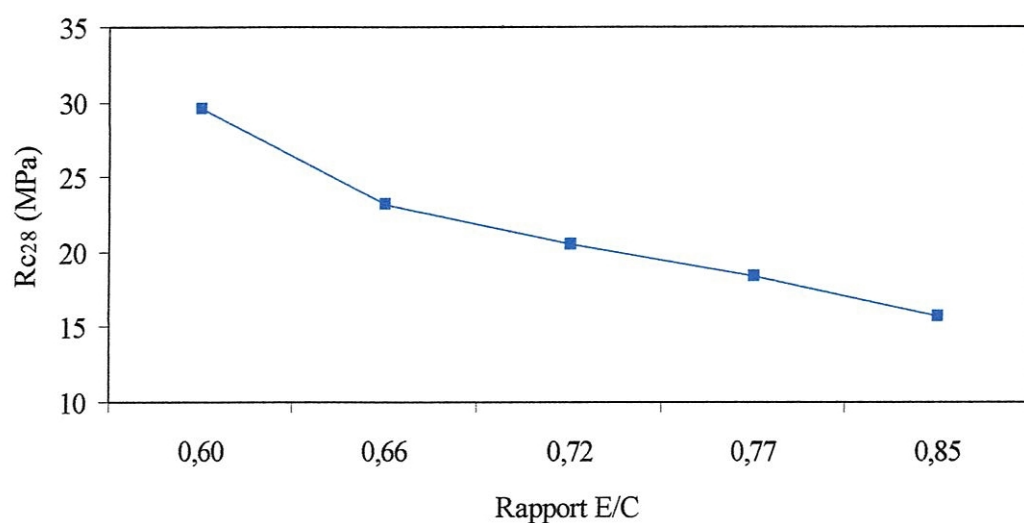


Figure IV-7 : Influence de la porosité (P) sur la résistance Rc28

Il est à noter que le rapport E/C a une influence similaire sur la résistance à la compression à 28 jours des mortiers élaborés. Il existe une quasi-proportionnalité au delà de $E/C=0.66$ comme le montre la courbe de la figure IV-8.



I

Figure IV-8 : Influence du rapport E/C sur la résistance Rc28

La résistance à la compression à 28 jours des mortiers étudiés est inversement proportionnelle au rapport E/C à cause de la plus grande quantité d'eau de gâchage mis en œuvre pour l'obtention d'une maniabilité constante. Les mortiers avec un plus grand taux de déchets de brique nécessitent en effet un plus grand volume d'eau de gâchage et par conséquent un plus grand rapport E/C.

IV-2-1-2 Résistance à la traction

Pour évaluer la résistance à la traction à 28 jours des mortiers d'étude, trois éprouvettes de chaque composition ont été soumises au test de la résistance à la traction par flexion.

Les résultats obtenus (moyenne de 3 essais) sont regroupés dans le tableau IV-3 qui suit et présentés dans l'histogramme de la figure IV-9 :

Tableau IV-3 : Résistance moyenne à la traction à 28 jours des mortiers élaborés

Mortiers	E/C	R_{t28} (MPa)
M_1	0.60	6.59
M_2	0.66	5.09
M_3	0.72	4.89
M_4	0.77	3.74
M_5	0.85	3.69



Figure IV-9 : Résistance à la traction à 28 jours des mortiers étudiés

Les résultats chiffrés du tableau IV-3 et l'histogramme correspondant, permettent de conclure que les résistances à la traction des mortiers élaborés décroissent avec l'augmentation du taux de déchets mis en œuvre ; et comme pour la résistance à la compression à 28 jours, le rapport entre $R_{t28} (M_1)$ et $R_{t28} (M_5)$ qui correspond aux taux extrêmes de déchets de briques (0 et 100 %), est de l'ordre de 1.79.

La corrélation entre les R_{t28} et les taux de déchets de brique est traduite par la courbe de la figure IV-10 suivante.

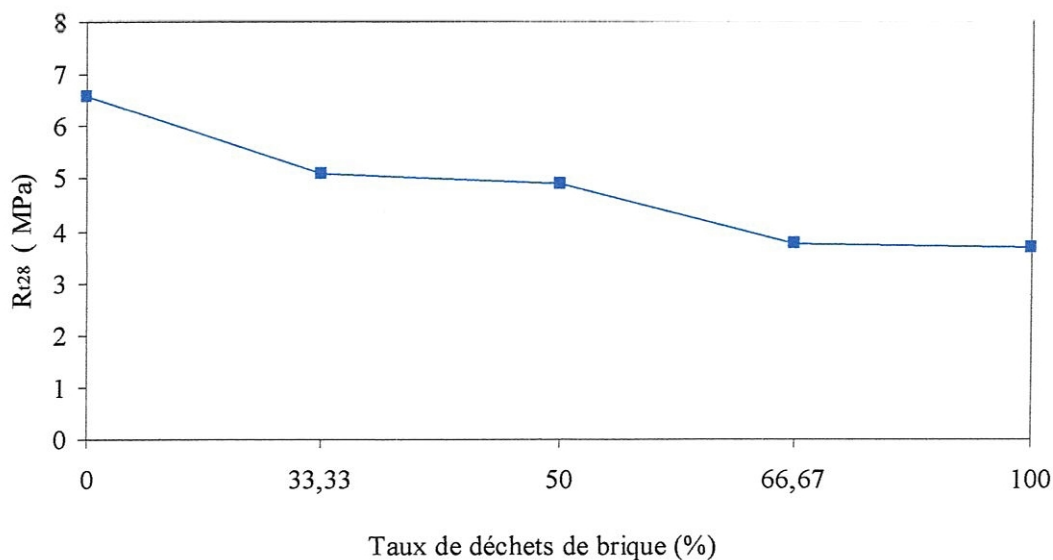


Figure IV-10 : Evolution de R_{t28} en fonction du taux de déchets de brique mis en oeuvre

On peut conclure que la substitution du sable de carrière par le sable de déchets de brique fait chuter la résistance à la traction des mortiers élaborés à cause de la plus grande capacité d'absorption d'eau de ces derniers et des pores résultant de l'évaporation d'eau en excès.

Nous avons donc examiné dans ce qui suit l'influence de la capacité d'absorption d'eau et de la porosité sur la résistance à la traction à 28 jours des mortiers élaborés. Les résultats sont montrés dans les figures IV-11 et IV-12 suivantes :

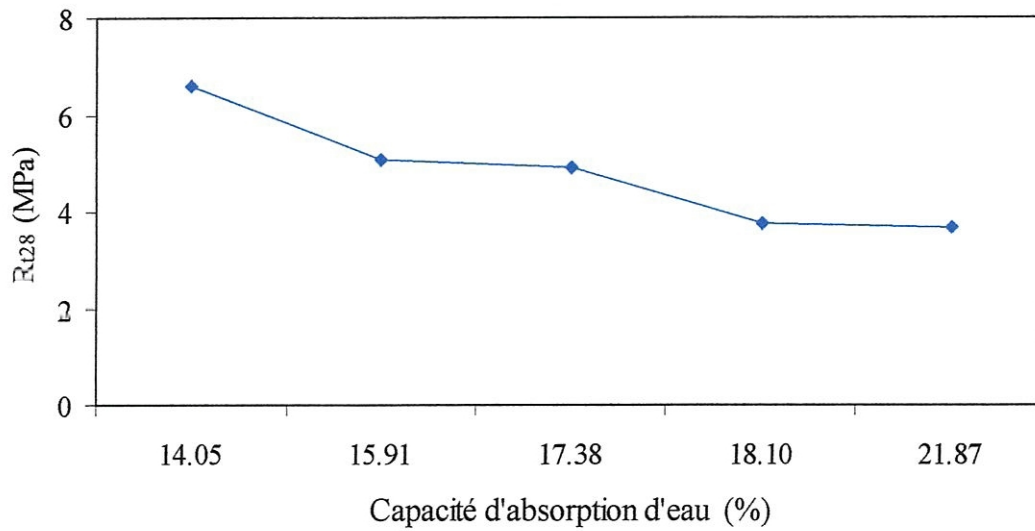


Figure IV-11 : Influence de la capacité d'absorption d'eau (C.A) sur la résistance R_{128}

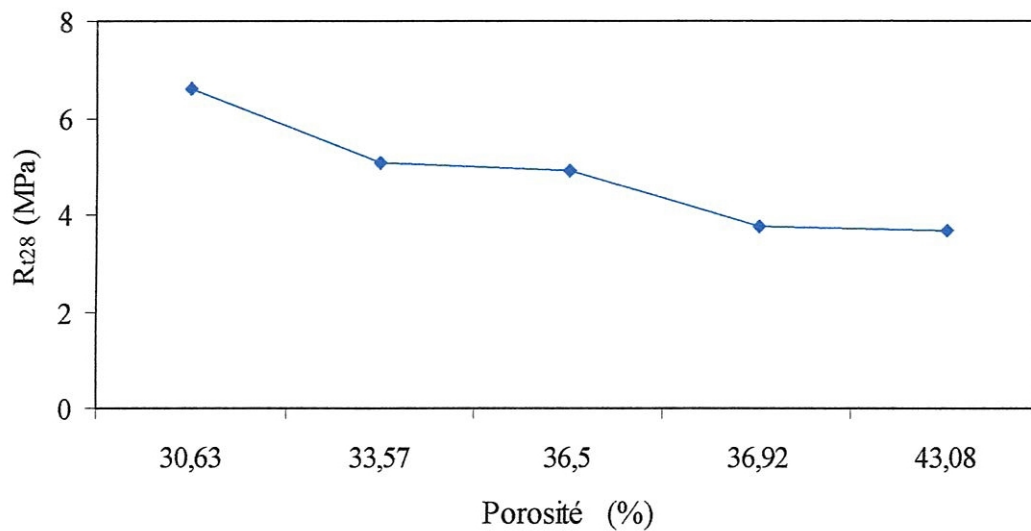


Figure IV-12 : Influence de la porosité (P) sur la résistance R_{128}

Comme pour la résistance à la compression à 28 jours, la résistance à la traction à 28 jours est inversement proportionnelle au rapport E/C (figure IV-13).

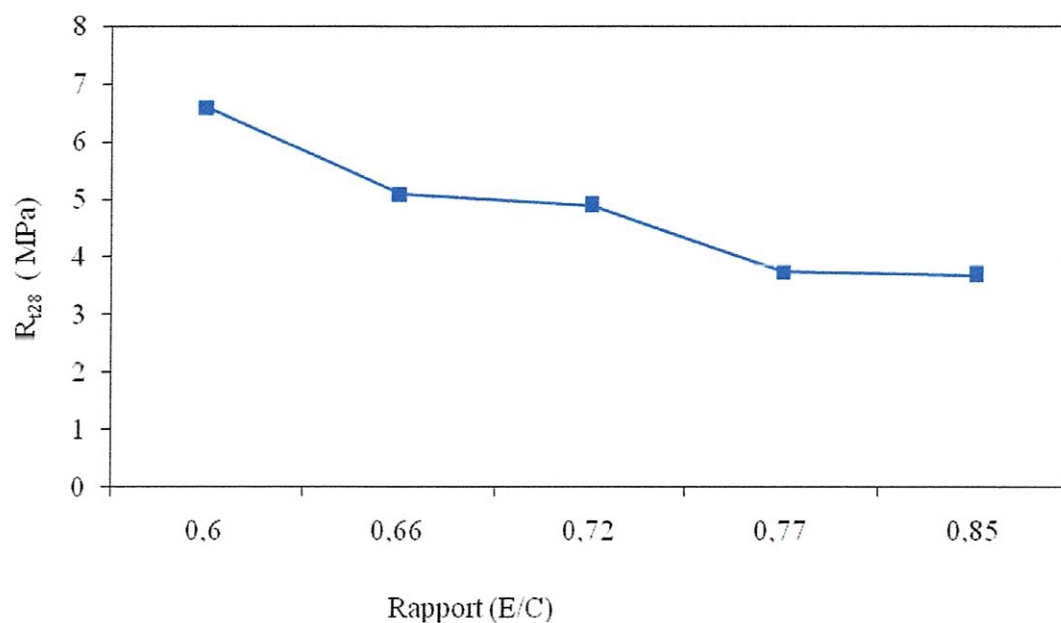


Figure IV-13 : Résistance de traction par flexion en fonction de rapport $\frac{E}{C}$

La comparaison du comportement mécanique des différentes compositions des mortiers montre que la résistance à la traction diminue avec l'augmentation du taux de déchets de brique. Par ailleurs l'allure des trois courbes obtenues est la même.

IV-2-2 Relation R_{c28} - R_{t28}

Nous nous sommes intéressés à la relation pouvant exister entre R_{c28} et R_{t28} des mortiers élaborés en calculant le rapport R_{c28}/R_{t28} des 5 compositions testées. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau IV-4 qui suit.

Tableau IV-4 : Relation entre les résistances à la compression et à la traction à 28 jours

Mortiers	R_{c28} (MPa)	R_{t28} (MPa)	R_{c28}/R_{t28}
M_1	29.53	6.59	4.48
M_2	23.15	5.09	4.54
M_3	20.50	4.89	4.19
M_4	18.41	3.74	4.92
M_5	15.78	3.69	4.27

Les rapports R_{c28}/R_{t28} sont tous supérieurs à 4 et inférieurs à 5 : de 4.19 pour M_3 à 4.48 pour M_1 . Il semble cependant très difficile d'établir une relation mathématique entre les R_{c28} et ces R_{t28} avec ces seuls essais et un complément d'investigation est nécessaire afin de dégager une tendance. On peut noter que le rapport R_{c28}/R_{t28} variant entre 4.19 et 4.92 est presque la moitié de celui des bétons traditionnels (pris comme références) qui sont voisins de 10.

IV-3 DURABILITE DES MORTIERS ELABORES

Dans cette partie nous avons étudié sur différents types de mortiers les paramètres de durabilité suivants : Retrait-gonflement, absorption capillaire, séchage-mouillage et attaque par sulfate de magnésium.

IV-3-1 Retrait et Gonflement

IV 3 1 1 Retrait

Dans l'étude du retrait nous avons considéré deux paramètres : la variation dimensionnelle unidirectionnelle $\frac{\Delta L}{L}$ dans le temps et la variation pondérale $\frac{\Delta M}{M}$ des mêmes éprouvettes.

A/ Variation dimensionnelle : $\frac{\Delta L}{L} \times 10^3 \text{ mm/m}$

Les résultats expérimentaux obtenus sont représentés dans les courbes des figures IV-14 à IV-19.

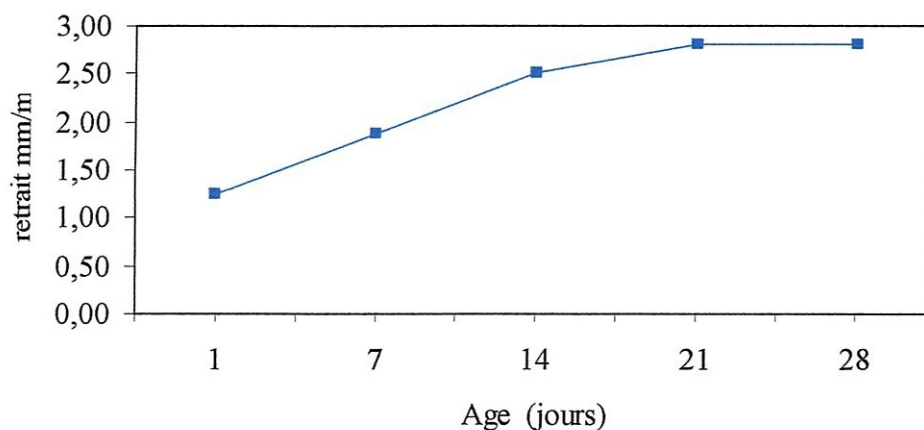


Figure IV-14 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_1

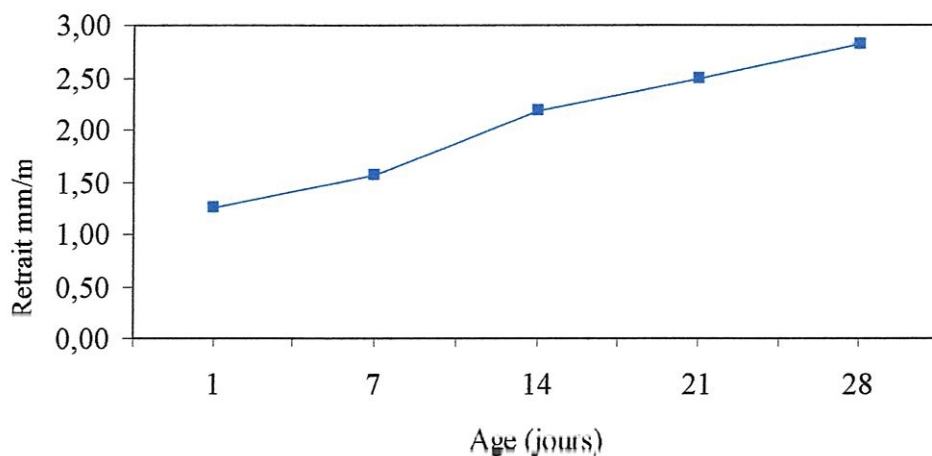


Figure IV-15 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_2

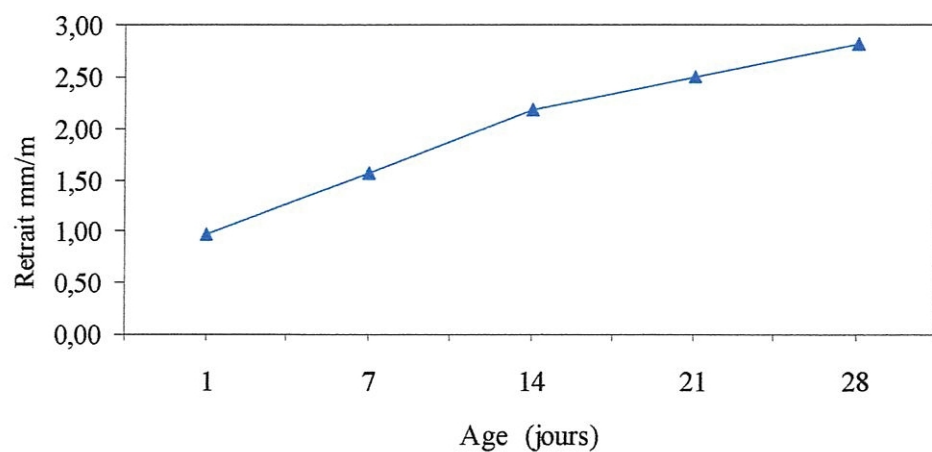


Figure IV-16 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_3

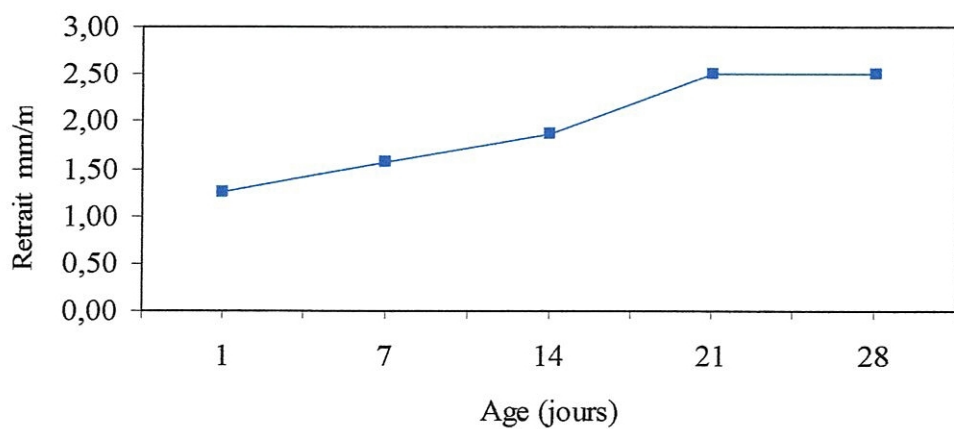


Figure IV-17 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_4

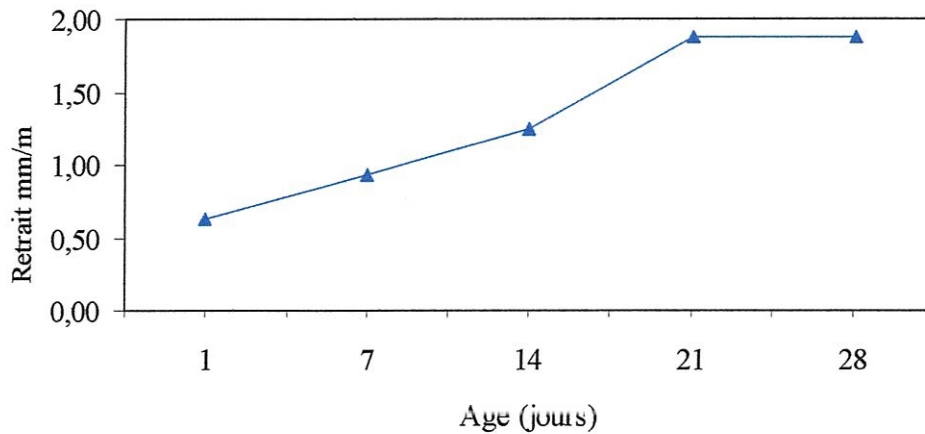


Figure IV-18 : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour le mortier M_5

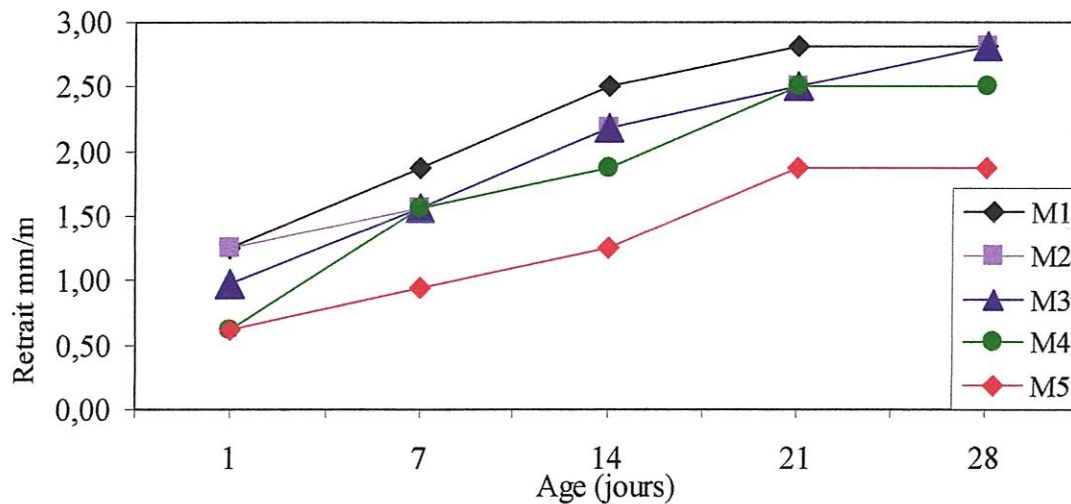


Figure IV-19 : Courbe globale de la cinétique du retrait pour les mortiers M_1 à M_5

On remarque que le retrait augmente dans le temps et diminue avec l'introduction progressive des déchets de briques.

Ces résultats tendent à prouver que les déchets de brique freinent le retrait des mortiers, ils concordent avec les résultats obtenus par BOUDJEDIR [06] qui a rapporté qu'au delà de $E/C=0.65$ l'eau additionnelle disparaît au séchage sans provoquer de retrait. Pour nos mortiers (M_2 à M_5) le rapport E/C est toujours > 0.65 (Tableau III-12 du chapitre III)

B/ Variation pondérale : $\frac{\Delta M}{M} \times 10^3 (g / Kg)$

Les éprouvettes utilisées pour mesurer la variation pondérale (perte de masse) sont les mêmes que celles utilisées pour mesurer la variation dimensionnelle (retrait).

Les résultats expérimentaux sont regroupés dans les courbes des figures IV-20 à IV-25.

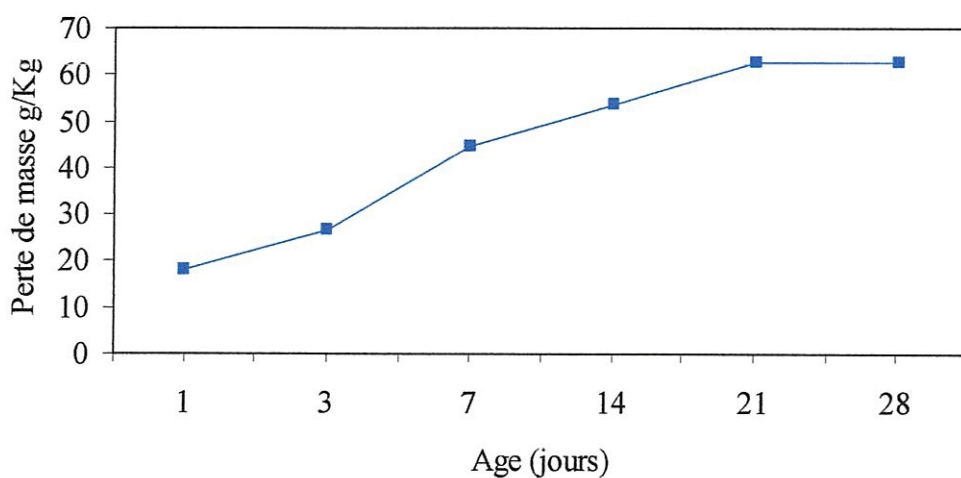


Figure IV-20 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_1

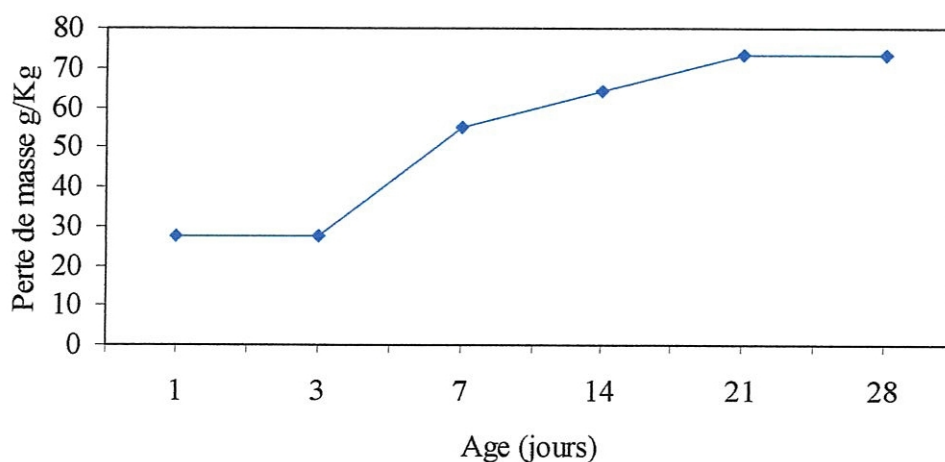


Figure IV-21 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_2

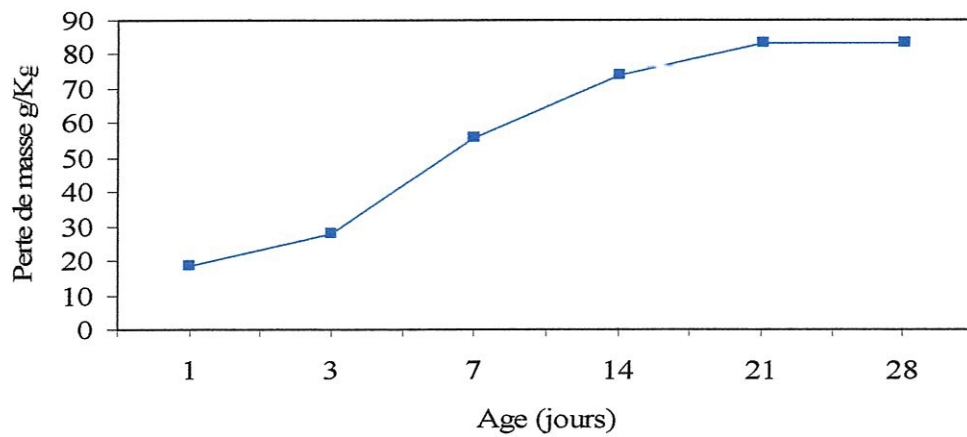


Figure IV-22 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_3

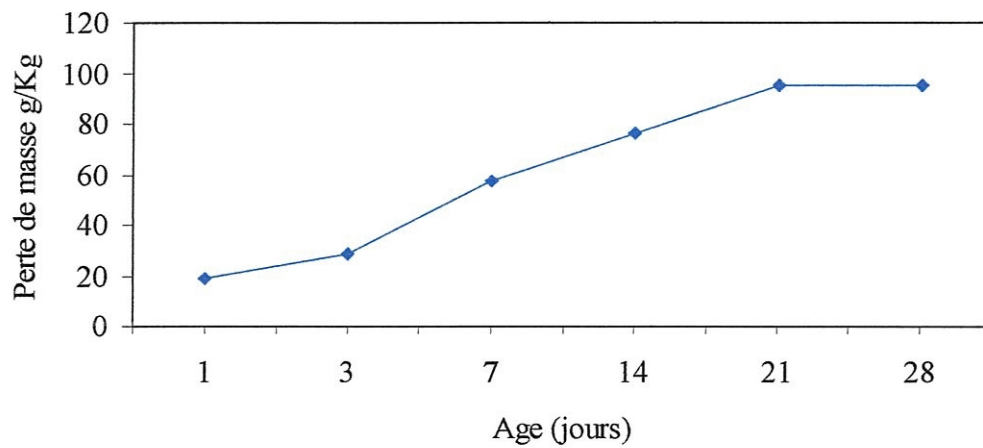


Figure IV-23 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_4

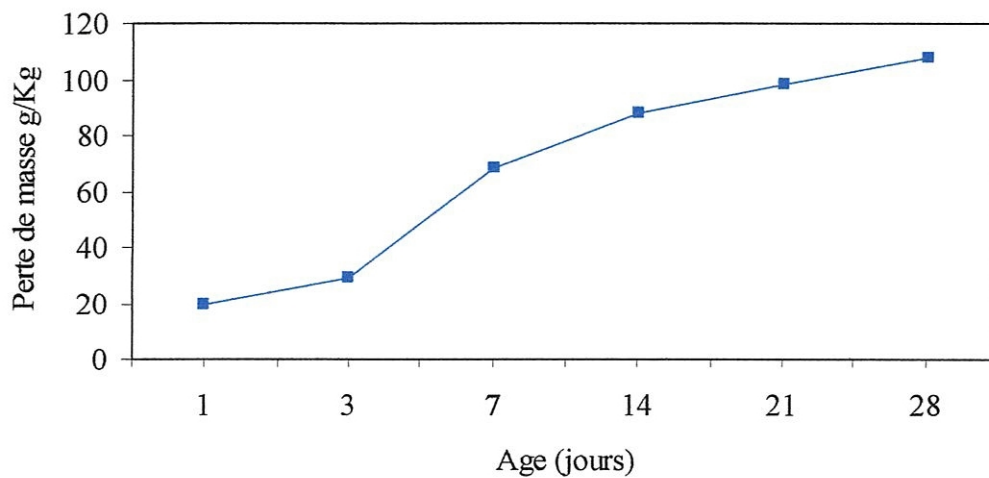


Figure IV-24 : Evolution de la perte de masse en fonction de l'âge pour le mortier M_5

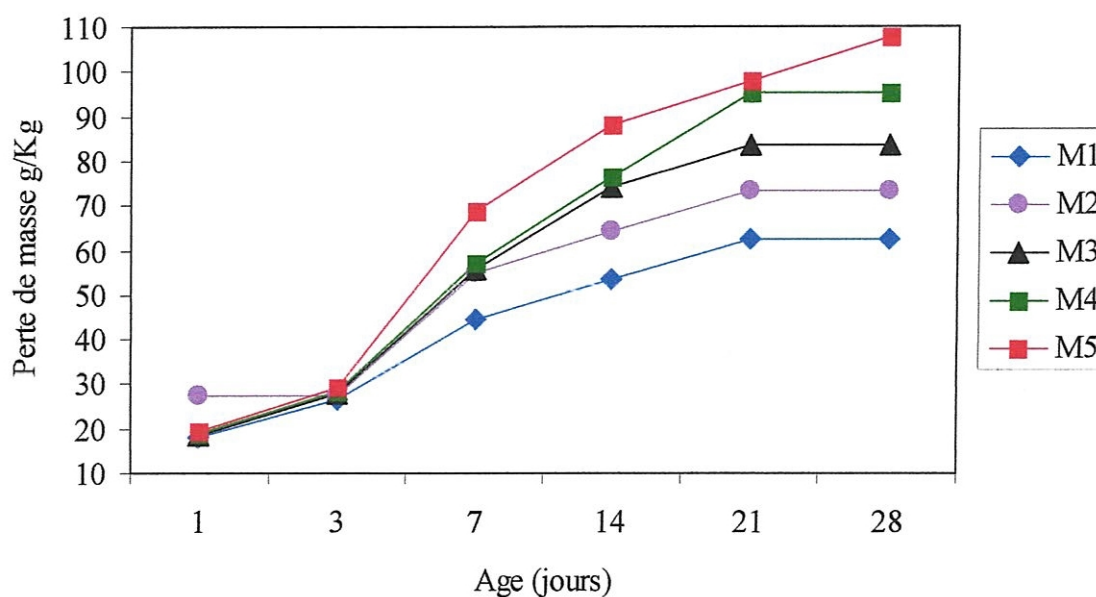


Figure IV-25 : Courbe globale de la cinétique de la perte de masse pour les mortiers M_1 à M_5

Des courbes précédentes, on constate que la perte de masse augmente avec l'augmentation des pourcentages des déchets de briques à cause de l'allègement des éprouvettes combiné à l'évaporation de l'eau en excès.

IV-3-1-2 Gonflement maximale (linéaire) : $\frac{\Delta L}{L} \times 10^3 \text{ mm/m}$

Il a été mesuré après 3 jours d'immersion dans l'eau, autrement dit après saturation.

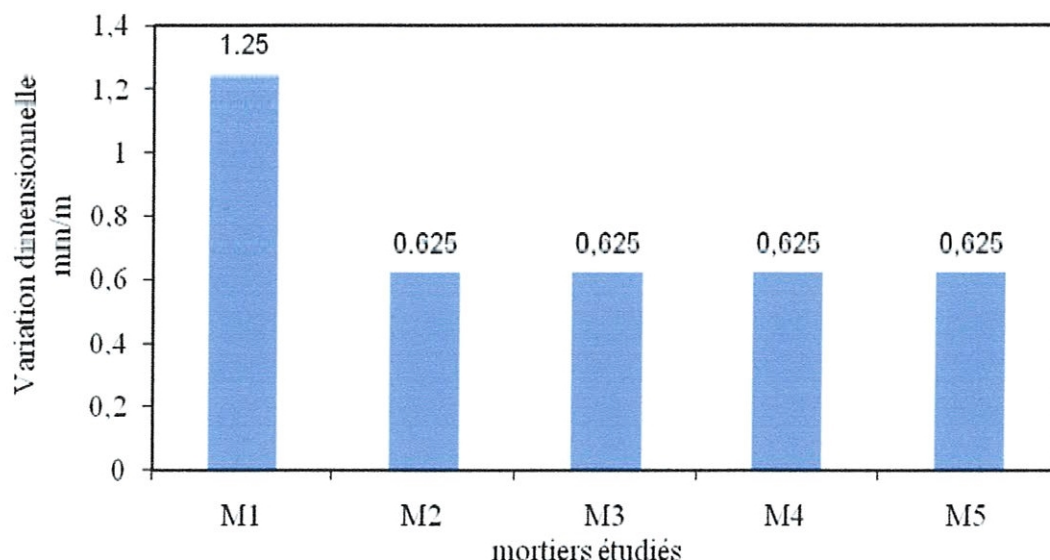


Figure IV-26 : Gonflement maximal des mortiers étudiés

La variation dimensionnelle des mortiers en gonflement montre que les mortiers avec des pourcentages des déchets de briques est stable par rapport au mortier de référence et ce quelque soit le taux de déchets mis en œuvre (figure IV-26).

Ceci peut s'expliquer par le fait que les mortiers M₂ à M₅ avaient la même ouvrabilité au moment du malaxage (et différents rapports E/C), ils ont donc gonflé d'une manière identique.

Pour illustrer cette tentative d'explication, nous devons noter que si les rapports E/C des mortiers M₂ à M₅ étaient égaux, nous aurions eu des gonflements linéaires maximaux différents à cause de la différence dans l'ouvrabilité qui aurait résulté.

IV-3-2 Absorption capillaire

IV-3-2-1 Cinétique d'absorption d'eau

Les essais d'absorption d'eau par capillarité ont été réalisés selon la technique exposée au chapitre 2 du présent mémoire pour l'ensemble des compositions.

Les résultats de l'absorption d'eau massique dans le temps (cinétique d'absorption) sont présentés dans les courbes des figures IV-27 à IV-31 et regroupés dans la figure IV-32.

La masse d'eau absorbée (M_e) a été calculée par la relation : $M_e = M_h - M_s$

Où :

M_h = Masse de l'éprouvette humide au temps t .

M_s = Masse de l'éprouvette à l'état sec.

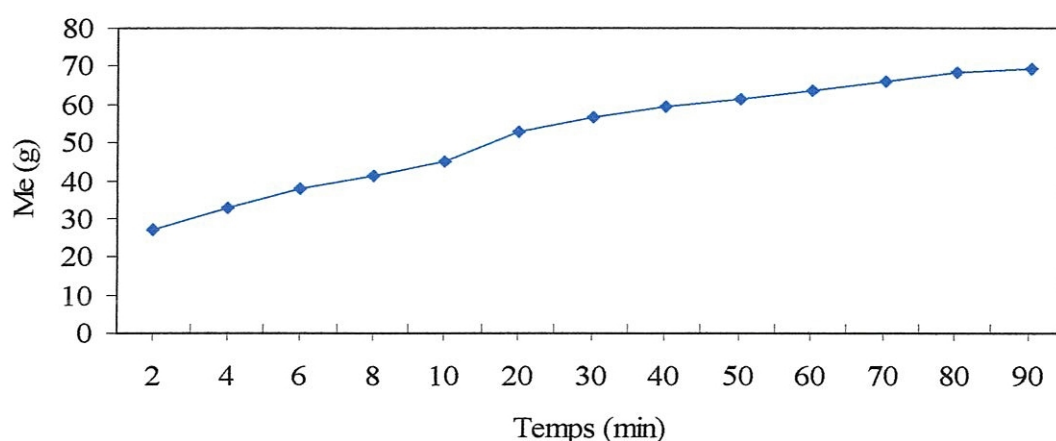


Figure IV-27 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_1

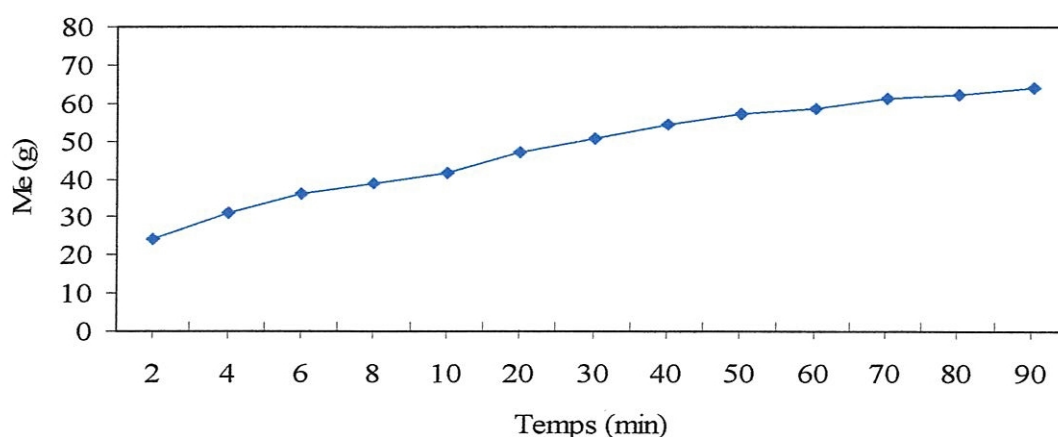


Figure IV-28 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_2

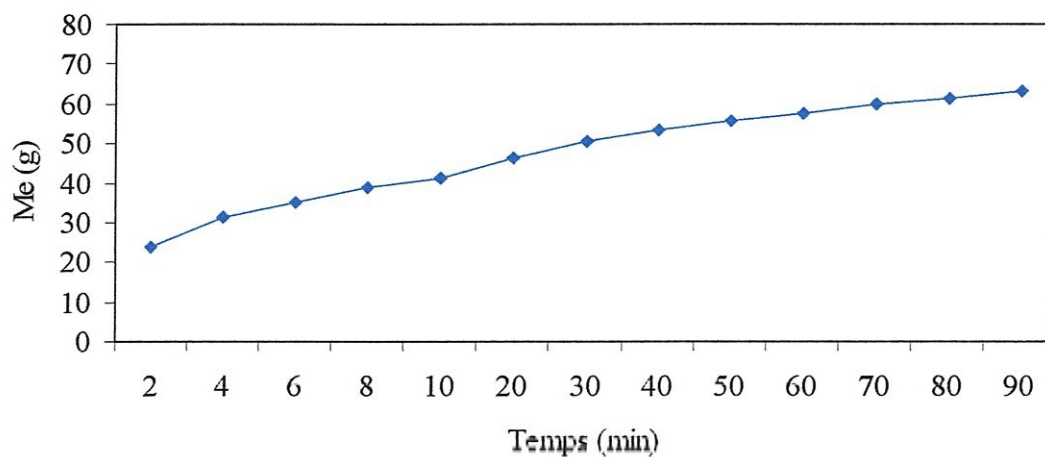


Figure IV-29 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_3

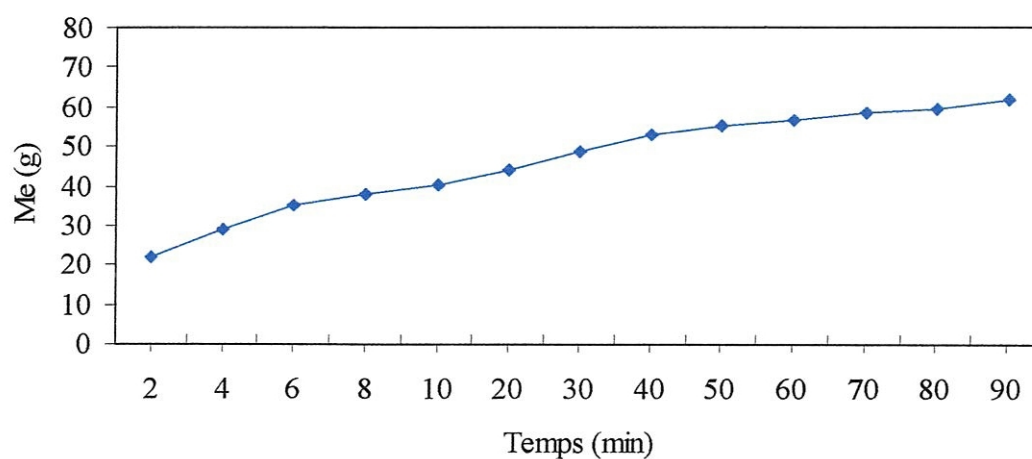


Figure IV-30 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_4

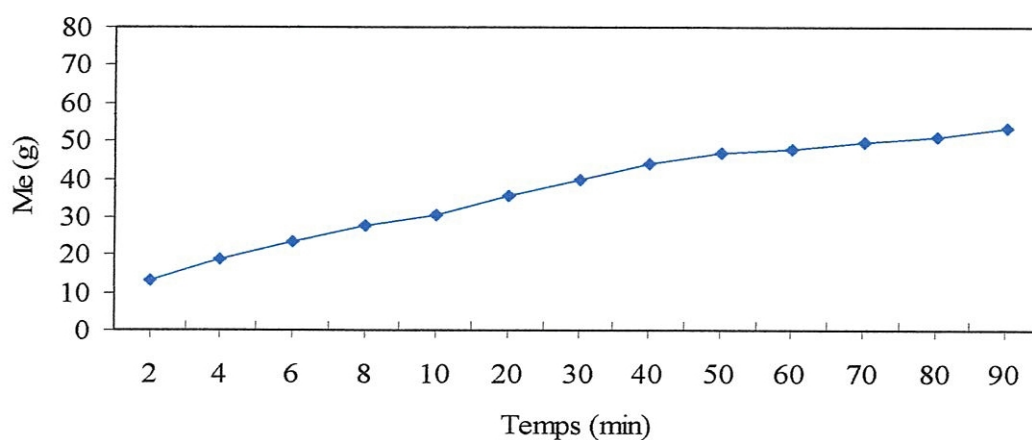


Figure IV-31 : Evolution de la masse de l'eau absorbée en fonction du temps pour le mortier M_5

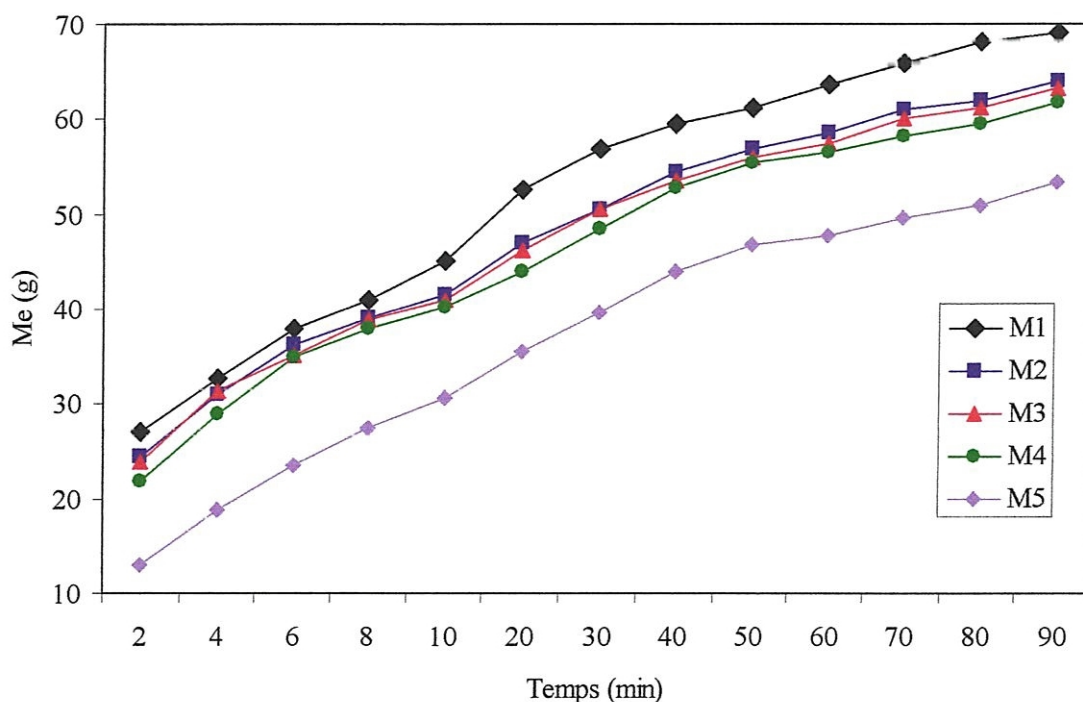


Figure IV-32 : Courbe globale de la masse de l'eau absorbée pour les mortiers M_1 à M_5

Les résultats des essais montrent que :

- La masse d'eau absorbée (Me) évolue dans le temps presque de la même manière pour tous les mortiers testés (de M_1 à M_5).
- Les mortiers contenant moins de déchets de brique absorbent plus rapidement l'eau capillaire.
- L'absorption d'eau massique par capillarité diminue en fonction de l'augmentation du dosage en granulats de brique. Ceci est lié à la nature et au dosage en granulats.

Observation :

Les valeurs de Me obtenues au delà de 90 min d'absorption ne sont pas significatives et n'ont donc pas été reportées sur les courbes.

IV-3-2-2 Coefficient d'absorption d'eau capillaire

Le but de la détermination de ce coefficient pour l'ensemble des mortiers d'étude est le calcul de la caractéristique de sorptivité (absorptivité) selon le modèle de C. Hall et al [41],

où : $i = S\sqrt{t}$ et $S = i/\sqrt{t}$

i : étant le volume cumulé d'eau absorbé par unité de surface absorbante (Coefficient d'absorption d'eau capillaire) et S : sorptivité des mortiers.

Les résultats expérimentaux sont présentés dans les figures IV-33 à IV-38.

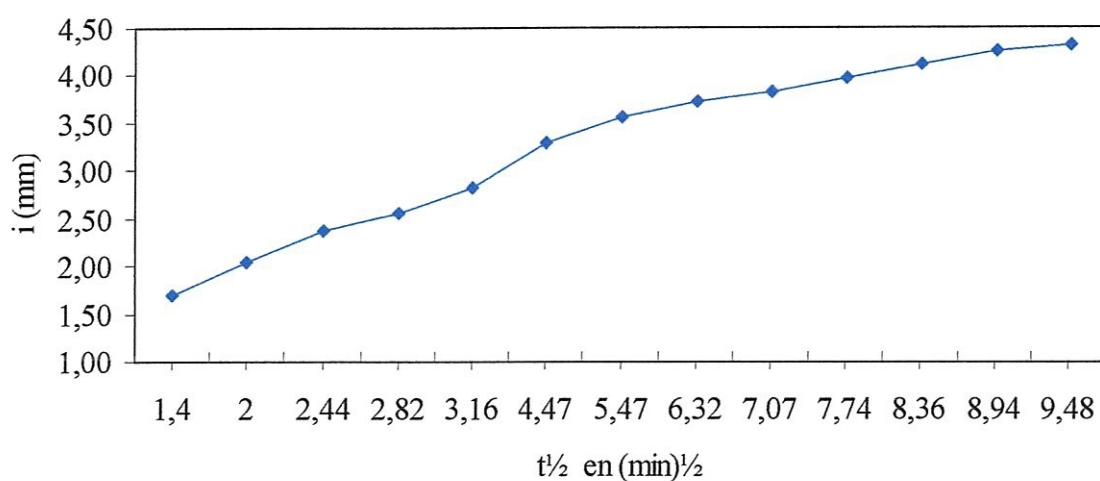


Figure IV-33 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_1

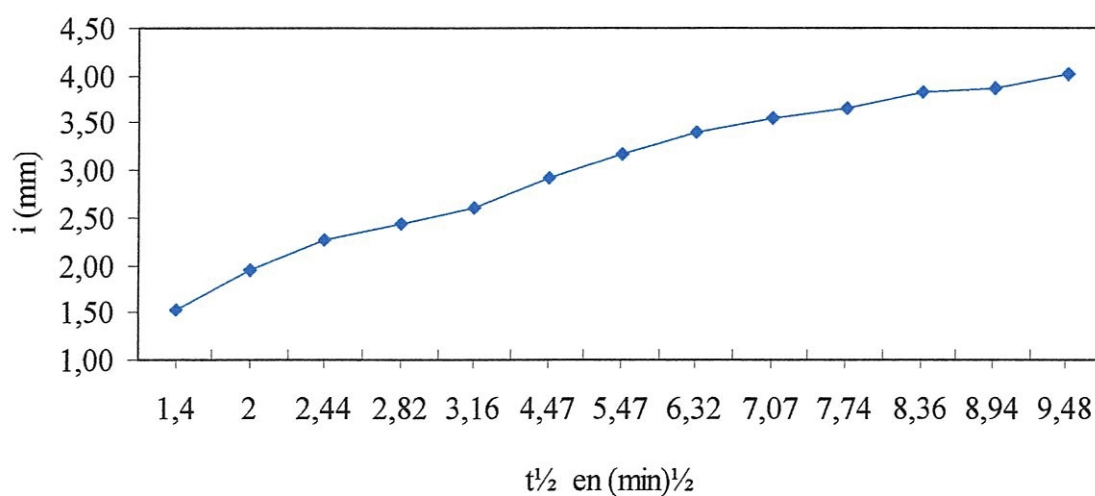


Figure IV-34 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_2

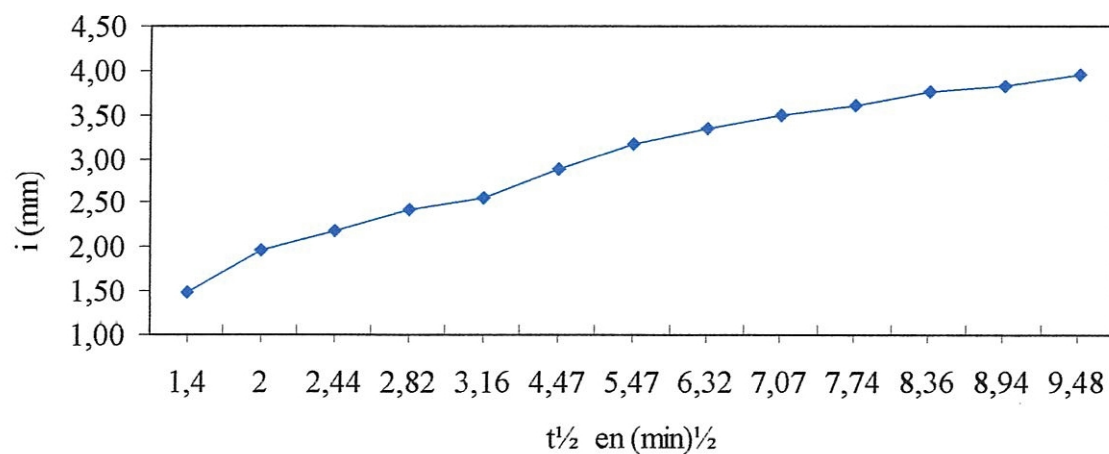


Figure IV-35 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_3

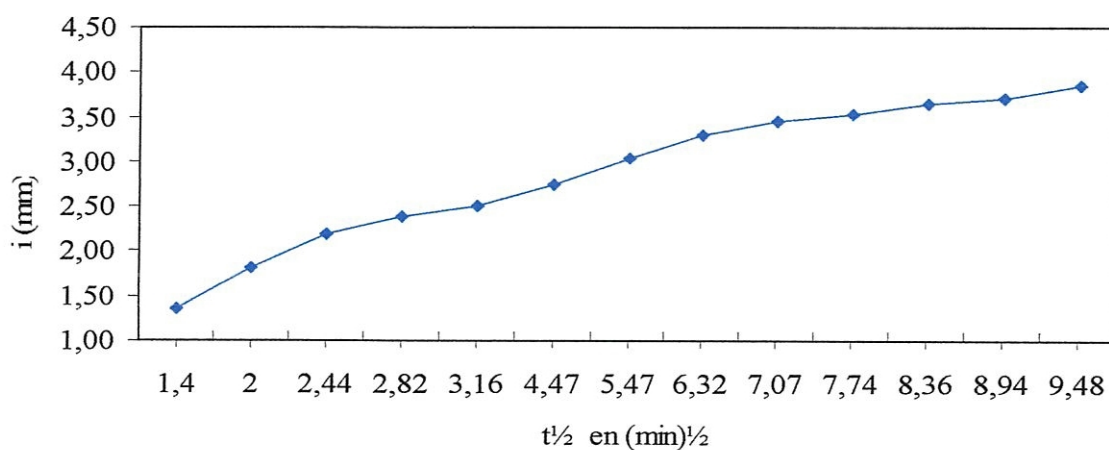


Figure IV-36 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_4

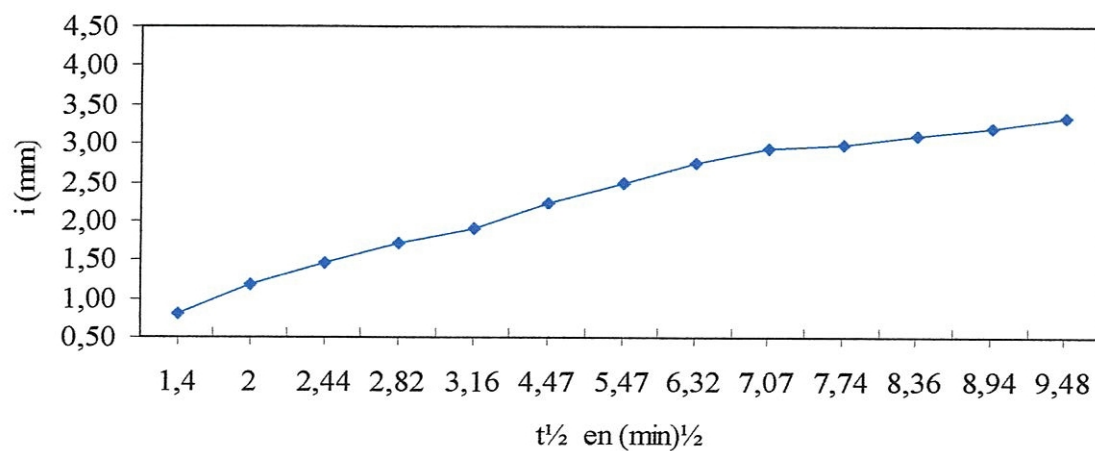


Figure IV-37 : Evolution de l'eau absorbée en fonction de la racine du temps pour le mortier M_5

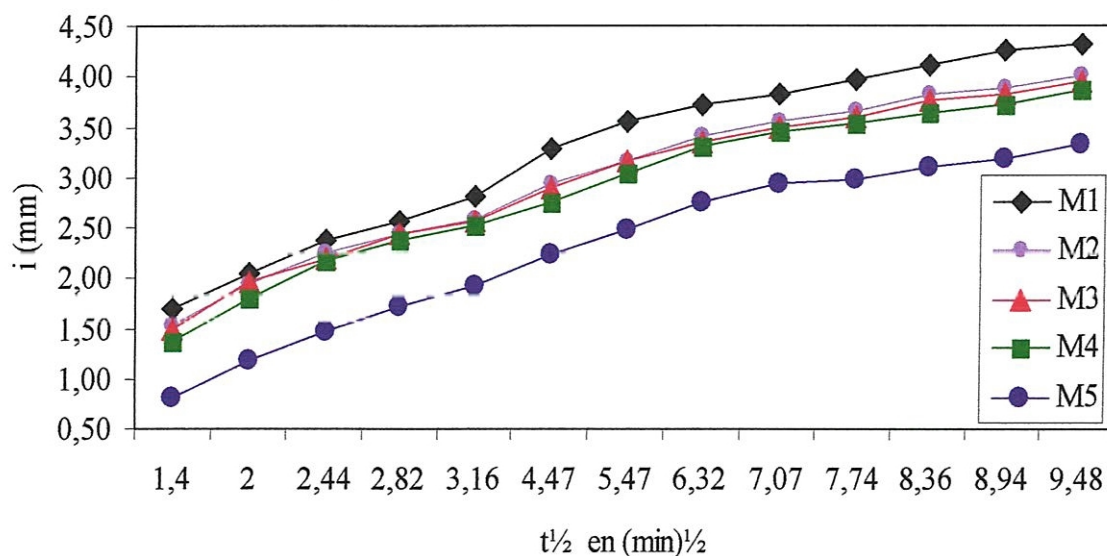


Figure IV-38 : Courbe globale de l'évolution de l'eau absorbée pour les mortiers M_1 à M_5

On conclut que l'évolution du coefficient (i) est la même pour toutes les compositions testées, c'est-à-dire une augmentation dans le temps de la profondeur de pénétration de l'eau dans l'éprouvette.

On constate que le coefficient i est plus grand pour les mortiers ayant moins de déchets de brique, donc les granulats de déchets de briques freinent la remontée capillaire à cause de leur plus grande porosité par rapport à la porosité du sable de carrière (50 % pour les déchets de brique contre 44.12 % pour les sables de carrière). Cela suppose que les pores des mortiers élaborés avec les déchets de brique sont plus importants en taille si l'on se réfère aux travaux réalisés sur les matériaux poreux par Prazak et al [42] et Bouguerra [47]. Les grands pores (macropores) freinent la remontée de l'eau capillaire.

IV-3-2-3 La sorptivité (absorptivité) d'étude

Ce paramètre caractérise l'absorption des différents mortiers d'étude. C'est en pratique la pente de la droite $S = f(\sqrt{t})$. Nous les avons reproduit pour les 5 formulations de mortier dans les figures IV-39 à IV-44 qui suivent.

Les valeurs des sorptivité obtenus sont :

$$S_1 = 0.340 \text{ mm/min}^{1/2} \text{ (pour } M_1 \text{)}$$

$$S_2 = 0.308 \text{ mm/min}^{1/2} \text{ (pour } M_2 \text{)}$$

$$S_3 = 0.302 \text{ mm/min}^{1/2} \text{ (pour } M_3 \text{)}$$

$$S_4 = 0.285 \text{ mm/min}^{1/2} \text{ (pour } M_4 \text{)}$$

$$S_5 = 0.275 \text{ mm/min}^{1/2} \text{ (pour } M_5 \text{)}$$

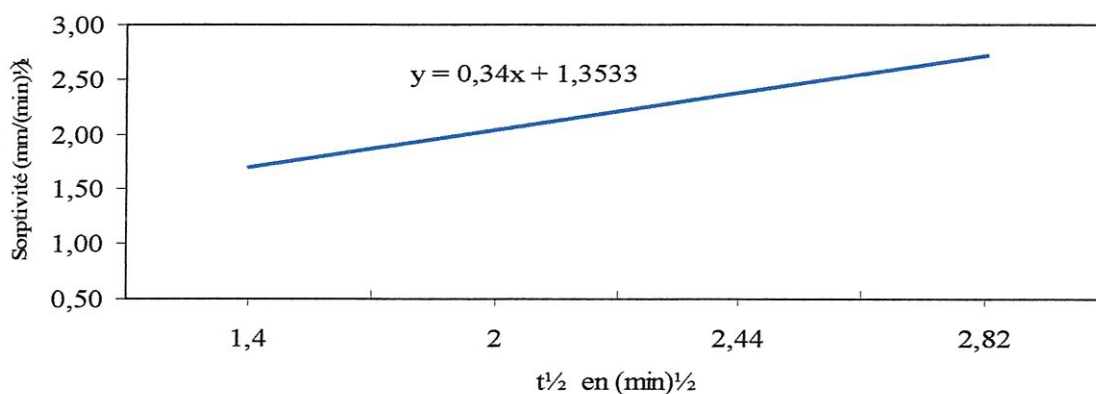


Figure IV-39 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M_1

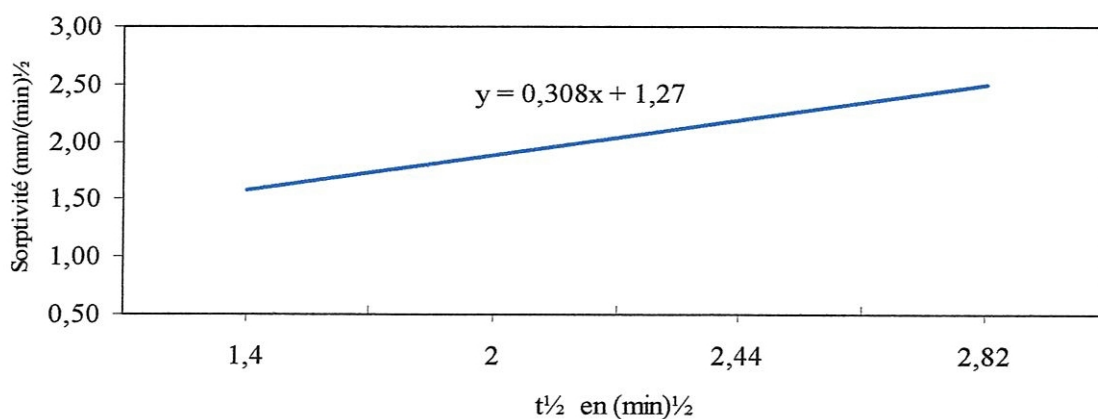


Figure IV-40 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M_2

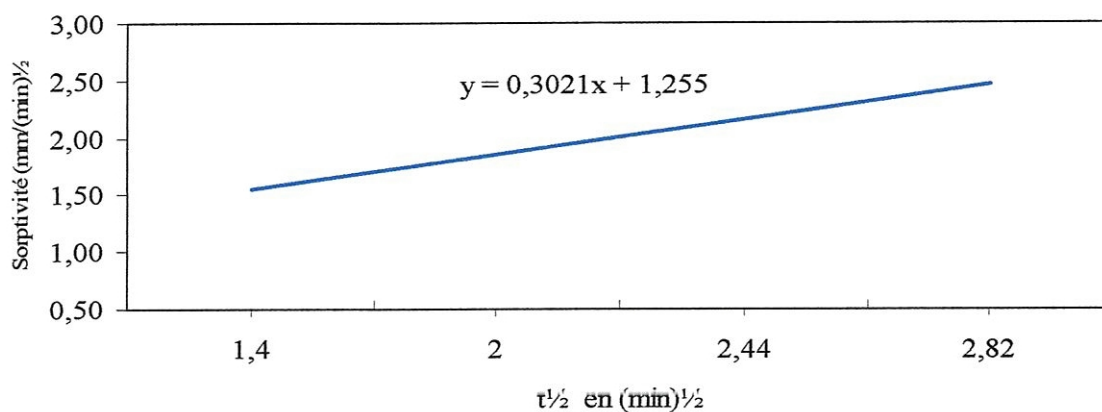


Figure IV-41 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M₃

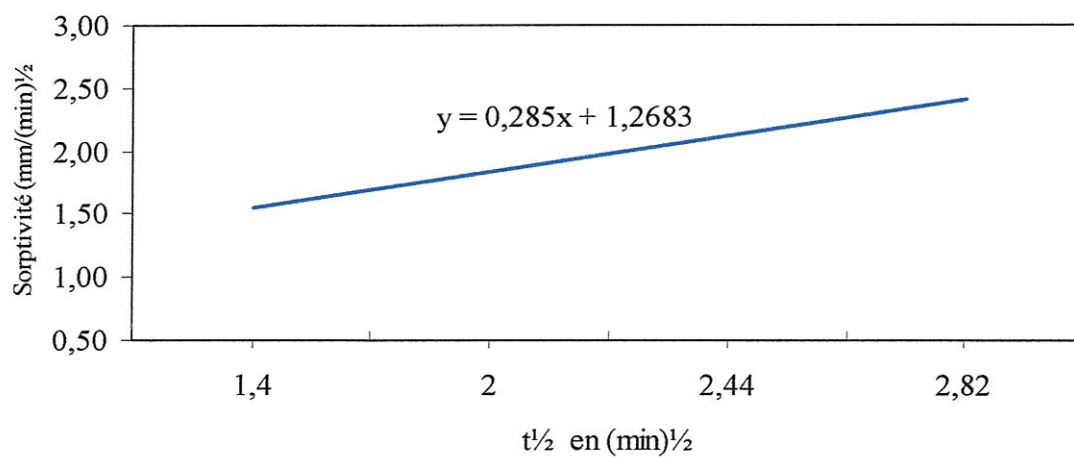


Figure IV-42 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M₄

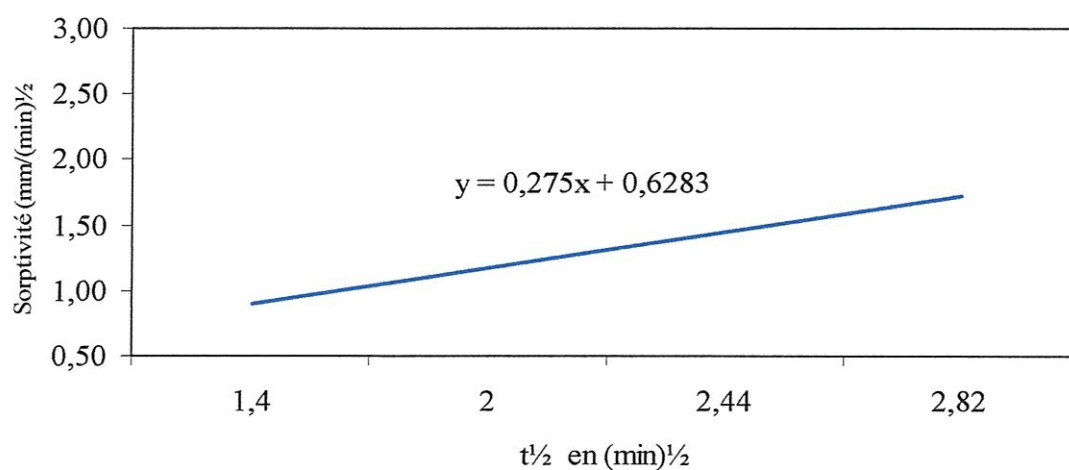


Figure IV-43 : Sorptivité en fonction du temps pour le mortier M₅

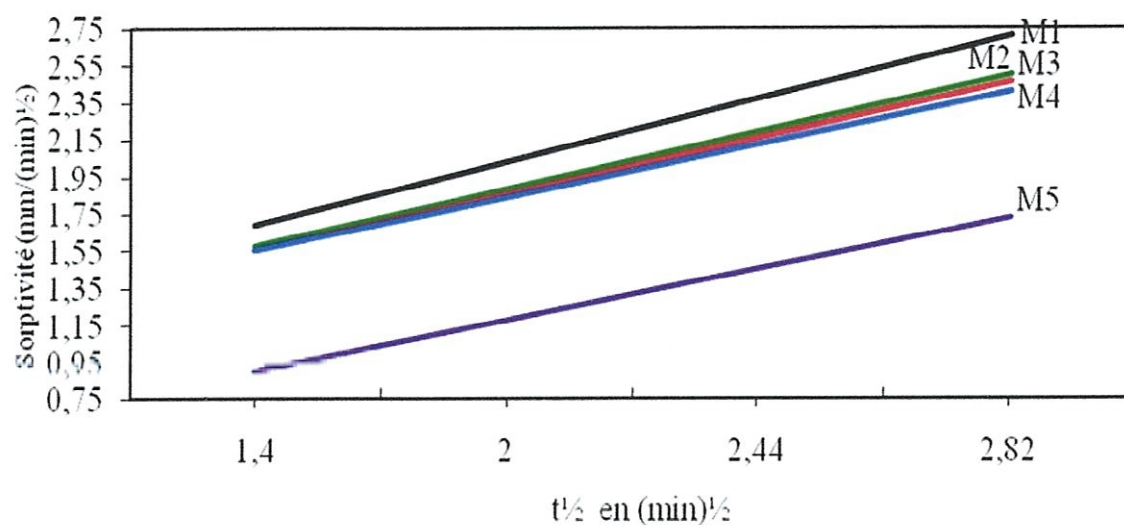


Figure IV-44 : Courbe globale de la sorptivité pour les mortiers M_1 à M_5

- On constate que les mortiers avec le plus faible taux de déchets de brique sont les plus sorptifs $S_1 > S_2 > S_3 > S_4 > S_5$, ce résultat est conforme à la courbe globale de la figure IV-32 qui a précédé (absorption d'eau massique).
- Les courbes de sorptivité (figure IV-44) ont été idéalisées selon le modèle de Hall [41] pour avoir une tendance linéaire aux temps de début d'absorption, avant que la gravité ne commence à avoir une influence.

IV-3-3 Séchage-mouillage

Nous avons soumis les mortiers d'étude à 12 cycles de séchage-mouillage comme expliqué précédemment dans le chapitre 2. Après les cycles cités, les éprouvettes ont été soumises à l'essai de compression par écrasement et à la traction par flexion.

Les résultats expérimentaux sont présentés dans les figures IV-45 et IV-46 qui suivent.

IV-3-3-1 Résistance à la compression

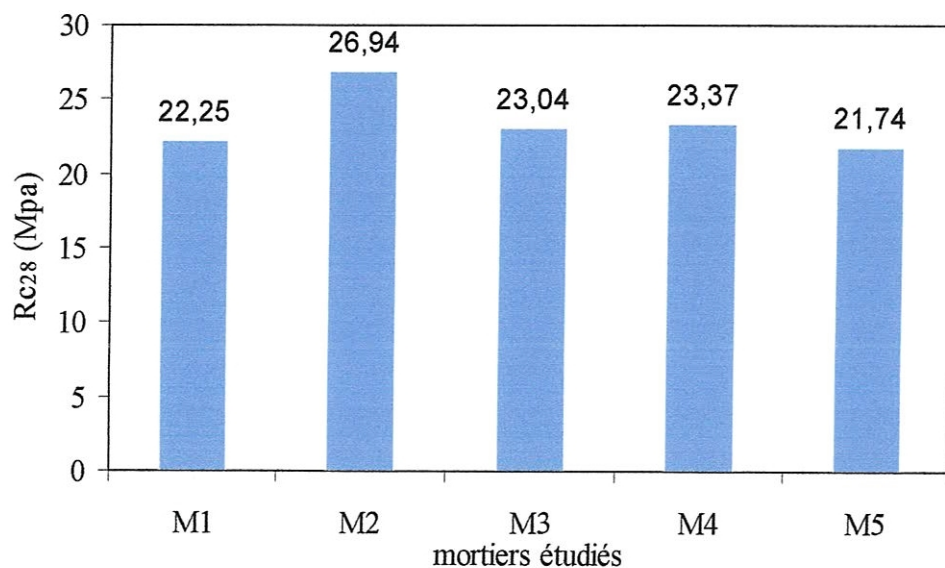


Figure IV-45 : Résistance à la compression après le cycle de séchage et mouillage

IV-3-3-2 Résistance de traction par flexion

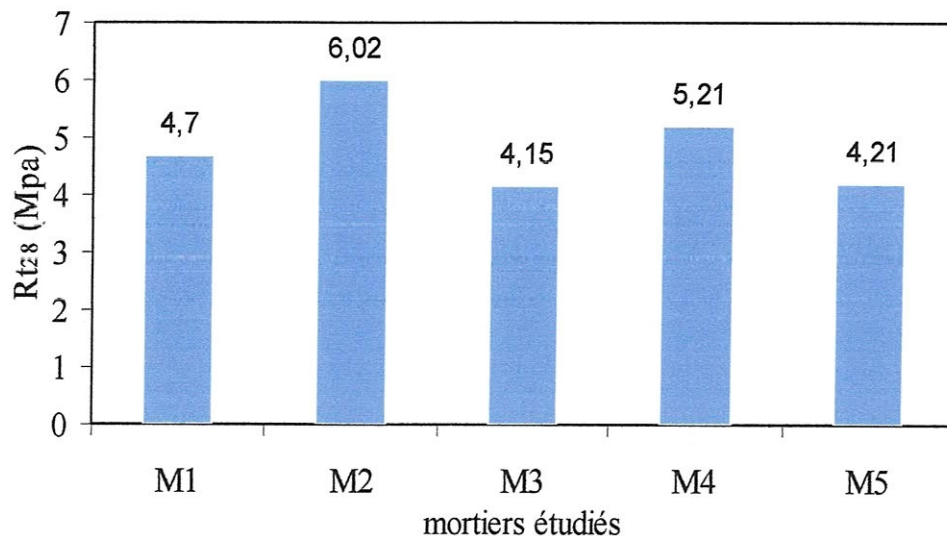


Figure IV-46 : Résistance de traction par flexion après le cycle de séchage et mouillage

On peut conclure :

- Les résistances mécaniques des mortiers élaborés (M_2 à M_5) sont acceptables pour les usages classiques et sont durables de ce point de vue (séchage et mouillage) par rapport au mortier M_1 de référence.
- Les résultats chiffrés sont quelconques, nous n'avons pas pu, à ce stade des essais, formuler une explication définitive. D'autres essais de ductilité ou chimique ou de microscopie sont nécessaires. La structure interne des mortiers avec déchets de brique de a pu changer de phases par rapport au mortier témoin M_1 .
- Il faut noter que d'autres auteurs : HADJOUDDJA [37], BEDRINA [24], KROBBA et al [48] ont conclu à l'issue de leurs travaux que la résistance à la compression des mortiers ne sont pas très influencé par les répétitions de cycles séchage-mouillage.

IV-3-4 Attaque par sulfate de magnésium

Les résultats de l'attaque par le sulfate de magnésium ont été abordés suivant 2 paramètres d'analyse : Les résistances mécaniques et la perte de masse.

IV-3-4-1 Résistances mécaniques

Nous avons utilisé des mortiers à base des déchets de briques et de sable de carrière, les composants sont :

- Le liant, qui est ciment portland artificiel CPJ 42.5
- Le sable de carrière
- Les déchets de brique variable introduits en substitution au sable de carrière.
- L'eau a été introduite pour obtenir une consistance constante, ceci correspond à E/C égal à : 0.60 - 0.66 - 0.72 - 0.77 - 0.80 - 0.85.

Pour la caractérisation de la résistance chimique, des éprouvettes de mortier 40x40x160mm ont été confectionnés.

Démoulées à 24 heures, les éprouvettes ont été ensuite conservées dans l'eau à une température ambiante jusqu'à 28 jours.

Après 28 jours de cure sous l'eau, les éprouvettes sont pesées pour déterminer M_1 puis elles sont immergées dans la solution suivante : 10 % sulfate de magnésium ($MgSO_4$).

La photo IV-1 suivante montre l'état des éprouvettes après 90 jours d'immersion dans la solution de $MgSO_4$.

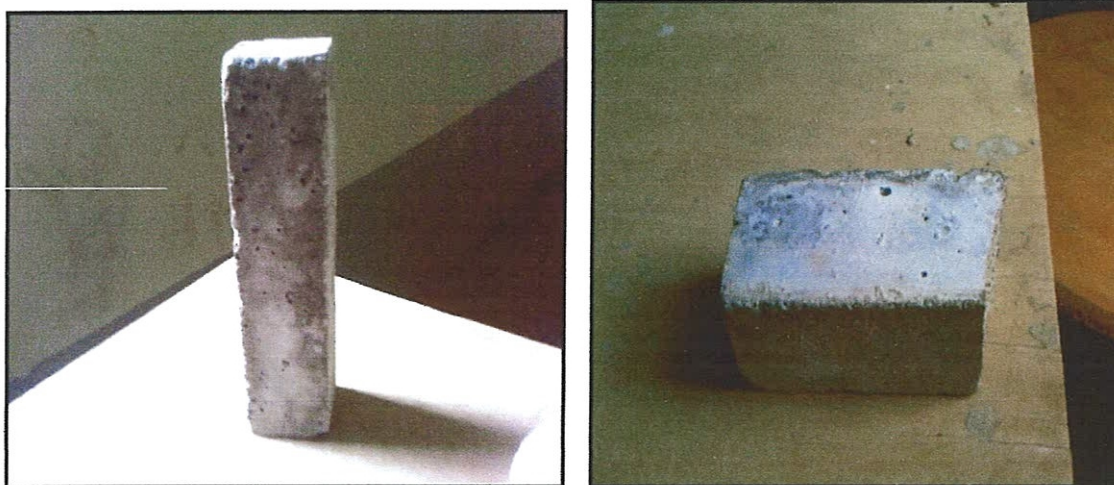


Photo IV-1 : Eprouvettes attaqué par la solution de sulfate de magnésium $MgSO_4$ après 90 jours d'immersion

La résistance due aux agressions chimiques des échantillons immergés dans la solution est évaluée selon la norme ASTM C 267-96, les éprouvettes sont nettoyées 3 fois avec de l'eau douce pour éliminer le mortier altéré et puis on les laisse sécher pendant $\frac{1}{2}$ heure avant de les soumettre aux essais mécaniques de compression et de traction.

Les résultats obtenus sont présentés dans les figures IV-47 et IV-48 suivantes :

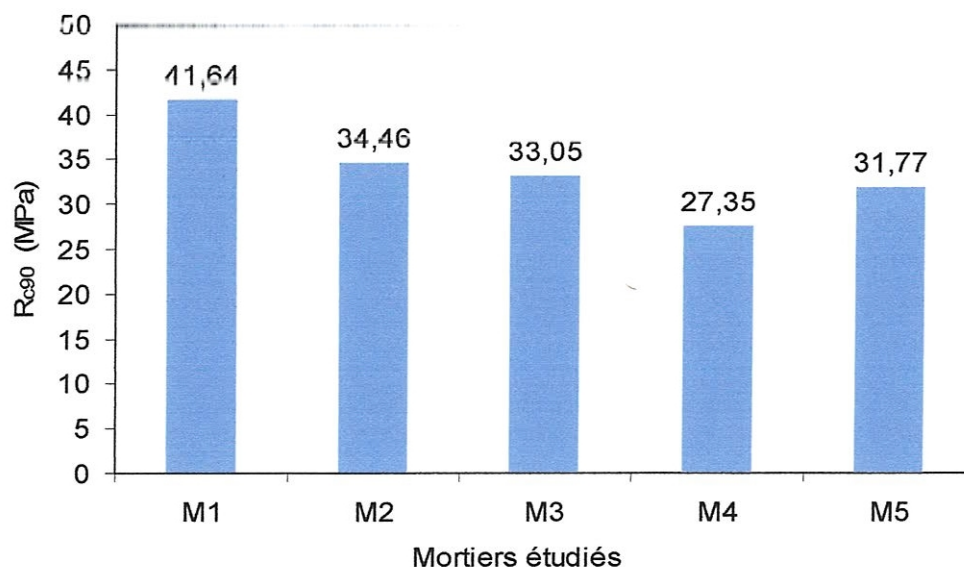


Figure IV-47 : Résistance à la compression après l'attaque par le $MgSO_4$ durant 90 jours.

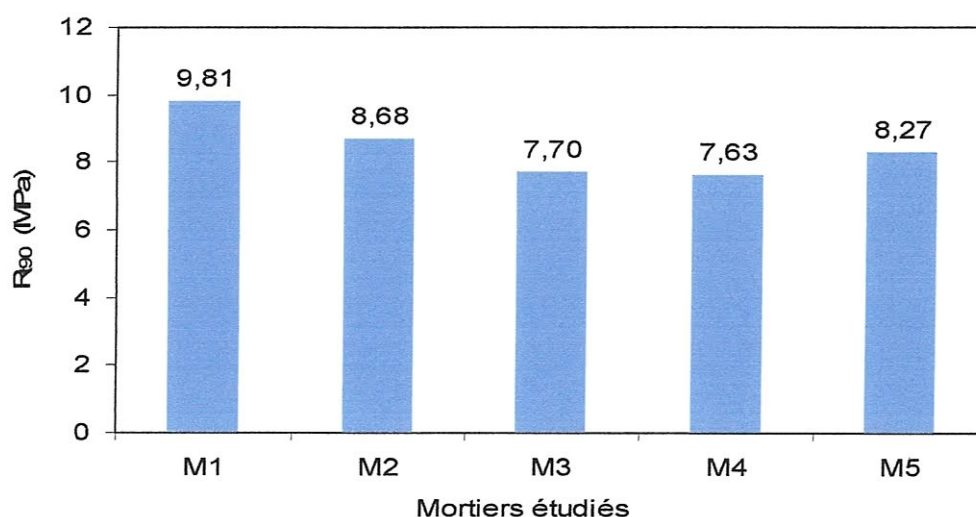


Figure IV-48 : Résistance de traction après l'attaque par le $MgSO_4$ durant 90 jours.

La durée d'attaque par MgSO_4 des éprouvettes de mortiers testées (90 jours) s'est avérée insuffisante pour que l'action de MgSO_4 ait des conséquences. Après 90 jours d'immersion dans la solution il n'y a pas eu d'effet de cristallisation pour la formulation d'ettringite responsable de la dégradation des mortiers et de chute de résistance. Un changement de phase dans la structure interne des mortiers testés pourrait être la cause dans le changement des résistances obtenues.

IV-3-4-1 Perte de masse

On a procédé à la pesée des éprouvettes avant et après immersion dans le MgSO_4 . Cette opération est effectuée après 90 jours d'immersion. Le degré de l'attaque est évalué par la formule suivante :

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M_1 - M_2 / M_1)] \times 100$$

Avec M_1 , M_2 les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure IV-49 qui suit :

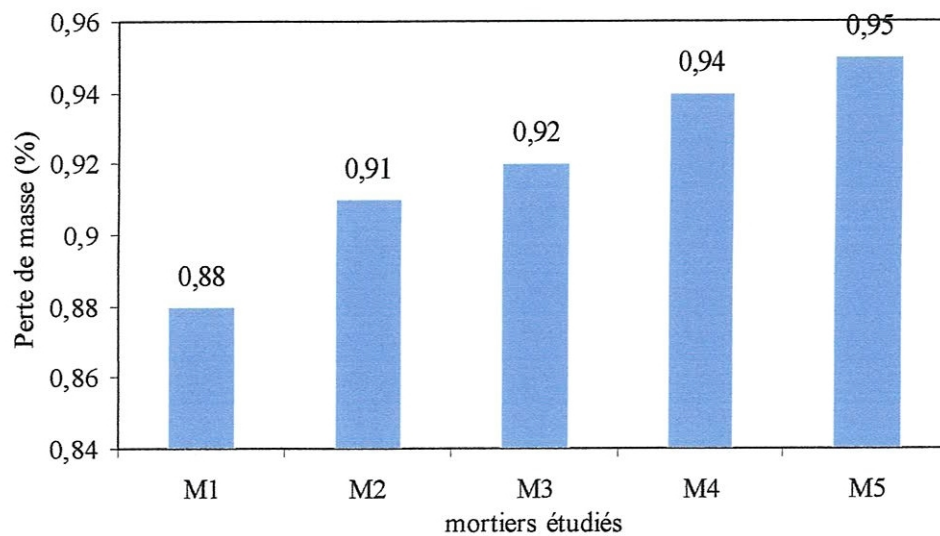


Figure IV-49 : Perte de masse après 90 jours d'immersion

De la courbe précédente on peut conclure que tous les mortiers étudiés ont eu des pertes de masse de différents taux. On note cependant que les mortiers à plus fort taux de déchets de brique ont les plus faibles pertes de masse :

$$\text{Perte } M_5 < \text{perte } M_4 < \text{perte } M_3 < \text{perte } M_2 < \text{perte } M_1$$

Les déchets de brique jouent donc un rôle positif dans la durabilité des mortiers de ce point de vue (perte de masse).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Dans ce travail, l'objectif principal était de parvenir à trouver un moyen pour valoriser et réutiliser les déchets de brique qui commencent à devenir un véritable problème pour l'environnement.

Il s'agissait de l'utiliser dans le mortier comme sable alternatif au sable de carrière et étudier les caractéristiques de ce nouveau éco-mortier.

Les conclusions que nous pouvons tirer de ce travail expérimental sont présentées dans ce qui suit :

- Les résistances à la compression des cinq types des mortiers élaborés diminuent avec l'augmentation du taux de déchets de brique à cause de leurs plus grandes capacités d'absorption d'eau.
- La résistance à la compression du mortier à base de sable de carrière est plus grande que celle à base de déchets de brique car ce dernier a une plus grande porosité par rapport au sable de carrière.
- Le rapport E/C augmente avec l'augmentation du taux de déchets de brique mis en oeuvre.
- Les résistances de traction par flexion diminuent avec l'augmentation du taux de déchets de brique à cause de la plus grande porosité de déchets de brique.
- Le retrait des différentes compositions des mortiers augmentent dans le temps et diminuent avec l'introduction des granulats des déchets de brique.
- La perte de masse (variation pondérale) des mortiers élaborés augmentent avec l'augmentation du taux de déchets de briques à cause de l'allègement apporté par les déchets de brique.
- La variation dimensionnelle des mortiers en gonflement montre que les mortiers avec des pourcentages des déchets de briques est stable par rapport au mortier de référence et ce quelque soit le taux de déchets mis en œuvre car ils avaient la même ouvrabilité.
- La masse de l'eau absorbée évolue dans le temps et diminue avec l'augmentation du dosage en granulats de brique.
- Les mortiers avec le plus faible taux de déchets de brique sont les plus sorptifs.
- Les résistances à la compression et de traction par flexion des mortiers ne sont pas très influencées par les répétitions de cycle séchage-mouillage.

- Les résistances des mortiers dus aux agressions de l'attaque par MgSO_4 diminuent avec l'augmentation du taux des déchets.
- Les mortiers à plus fort taux de déchets de brique ont les plus faibles pertes de masse (attaque par sulfate de magnésium MgSO_4)

Comme perspective nous proposons la continuité du sujet dans le domaine hydrique, nous avons pu remarquer dans cette étude la forte influence de l'eau sur les caractéristiques des mortiers élaborés avec les déchets de brique.

Il serait intéressant de voir de près l'influence de la taille des granulats de déchets de brique sur les variations dimensionnelles des mortiers.

La cinétique d'absorption d'eau des mortiers élaborés est également une étude importante à entreprendre, de même que l'effet de l'attaque par le chlorure du sodium (eau de mer) sur les caractéristiques des éco-mortiers avec déchets de brique.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[01]: S. WILD, A. GAILUIS, J. SZWABOWSKI, H. HANSEN: "Waste clay brick - A European study of its effectiveness as a cement replacement material". Exploiting wastes in concrete. Proceedings of the international seminar held in Dundee 1999. Ed Ravinda K. Dhir. ISBN 07277 28334.

[02]: M. LEVY, P. HELENE: "Influence of finely ground ceramic waste materials on the properties of new mortars". Université de Sao Polo. Brésil 2000.

[03] : M/R. LABIADH, M. BEN OUEZDOU, R. MENSI : " Formulations et comportements d'enduits rustiques à base de chaux et pouzzolanes artificielles ". Colloque international de sol et matériaux à problèmes, Tunisie, 9-11 février 2007.

[04] : L. AZZOUZ, S. KENAI, M. BOUHICHA, M. HADJOUDJA : " Amélioration des propriétés physico mécaniques du béton de sable de dunes par inclusion de granulats de brique". Séminaire national de génie civil, Oran, 28-29 janvier 2003.

[05] : M. HADJOUDJA, M. BEDRINA : " Amélioration des propriétés mécaniques des bétons de sable de dunes par ajout des déchets de briques". Colloque SOMAPRO international 'sols et matériaux à problèmes, Tunisie, 9-11 février 2007.

[06] : A. BOUDJEDIR, H. HOUARI : "Contribution à l'étude du retrait des variétés de mortiers et bétons -Influence des paramètres de composition et de conservation". Séminaire national de G.C. Oran. 28 et 29 Janvier 2003.

[07] : M. MAZA, S. ZITOUNI, A. NACERI : "Amélioration des caractéristiques physiques et mécaniques du mortier confectionné à base de sable concassé par addition d'adjuvant". 3^{ème} Congrès International Francophone de Mécanique Avancée. CIFMA03. 21 -23 Avril 2008. Université d'Alep - Syrie

[08] : H. RENAUD : "Technologie du bâtiment, gros œuvre, ouvrage en béton armé". Edition Foucher, Paris, 1978.

[09]: H.HEBHOUB. M. BELACHIA : "Granulats recycles de substitution pour béton hydraulique Déchet de marbre Caractérisation-formulation-performance" Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.

[10]: H. ABDELHADI, M/A. BOUABDALLAH, A. FERHAOUI: "Béton léger à base de granulats pouzzolanique de Beni Saf et Polis Beto". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.

[11]: M/A. BOUABDALLAH, A. BOUABDALLAH, H. ABDELHADI, K. HAMOU, M. BENTOITI: "Comportement du béton léger à base de granulats et des fibres de bois". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.

[12]: B. DAHMANI, A. MAROK, A. AMEUR: "Valorisation des ressources minières en matériaux de construction et protection de l'environnement en cimenterie". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.

[13]: A. DJOUDI, M/M. KHENFER, A. BALI, G. DEBICHI: "L'utilisation des biomatériaux dans la construction, une alternative pour la protection de l'environnement". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.

[14]: M. BEDERINA, M. HADJOUDJA, Z. MAKHLOUFI: "Valorisation des déchets de concassage et de minuiserie de bois pour la formulation d'un béton de sable léger". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.

[15]: M. HADJOUDJA, M. BEDERINA, Z. MAKHLOUFI: "Contribution à l'étude de la durabilité des bétons de sable de dunes". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.

- [16]: S. KHERBACHE, N. CHELOUAH, H. CHIKH AMER, A/K. TAHAKOURT: "Etude de l'influence de l'ajout de particules fines continues dans les sables concassés sur le retrait et la résistance des bétons". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.
- [17]: B. MELBOUCI, F. BOUDJEMIA: "Durabilité des matériaux recyclés de démolition". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.
- [18]: M. GOTTEICHA, M/M. KHENFER, M. BEDERINA: "Caractérisation des bétons de sable à base de copeaux de bois traité". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.
- [19]: B. RABEHI, R. CHAID, Y. GHERNOUTI: "Amélioration des propriétés des mortiers d'injection par addition d'ajout pouzzolanique ultra fin". Séminaire national de génie civil, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.
- [20] : J/C. VAUTRIN : "Utilisation des déchets et sous produits en technique routière". Revue générale des routes et des aérodromes N° 729, PP 20-22, Mai 1995.
- [21]: S .CANALE: "The utilisation of the material from demolition in the roads construction". Proceedings of congress. R99, Vol 3, Geneva Switzerland, PP 353-357. 1999.
- [22] : M. QUEBAUD, M. COURTIAL et F. BUYLE-BODIN : "Le recyclage des matériaux de démolition, Matériaux et structure". N° 721, France, Juin 1996.
- [23]: R. LABIADH et al: "Propriétés physico-mécaniques de mortiers d'enduit de restauration à base de chaux aérienne et pouzzolanes artificielle". 5eme Congres Arabe des sciences des matériaux (ACMS). Gabes.Tunisie. 23-25 Octobre 2007.

[24] : M. BEDERINA : "Caractérisation mécanique et microstructure des bétons de sables locaux, effets des fillers et de la nature des sables sur le comportement mécanique du matériaux". Thèse de magistère. Encadré par M. KHENFER. Laghouat. 2000.

[25] : P. PIMIENTA et S. REMOND : "Béton de déchets" *Prévenir les risques*, CSTB magazine N° 109, Novembre 1997, PP 28-30.

[26] : J. DESMYTER, E. ROUSSEAU, CSTC : RTD info 26 le bâtiment ce recycle, mars 2004.

[27] : F. DEBIEB ; S.KENAI : " les performances du béton recyclé à base de gros et fins granulats de brique concassée". Proceedings du 1er colloque national de génie civil: matériaux de construction, novembre 2000, université de Mostaganem.

[28] : P. PIMIENTA, P. DELMOTTE : "Blocs de construction en granulats recyclés". CSTB magazine N° 109 novembre 97.

[29] : L. AZZOUZ : " Amélioration des propriétés physico mécaniques du béton de sable de dunes par inclusion de granulats de brique". Thèse de magistère. Université de Laghouat. 2002.

[30] : Collection Microsoft Encarta 2005. 1993-2004 Microsoft Corporation.

[31] : Cours en ligne : "Matériaux de Construction Chapitre 7 : Briques, blocs de béton et béton préfabriqué". www.larefer.org/matériaux.

[32] : P. CHABAT : "La Brique et la Terre cuite". 1886, Paris

[33] : L. AZZOUZ et al : " Recyclage des déchets de brique dans le béton de sable de dunes ". 1^{er} colloque national de génie civil, Mostaganem 13 et 14 nov.2000.

[34] : L. AZZOUZ, M. BOUHICHA et S. KENAI : " Effets de déchets de brique sur le comportement de béton de sable de dunes ". Séminaire national de génie civil SNGC, 2001, Sidi Belabbes, 15 et 16 Mai 2001.

[35] : M. KHENNANE et F. BELKHIR : "Recyclage des déchets de brique pour la fabrication du béton de sable". Encadré par L. AZZOUZ : Mémoire de fin d'étude, Centre universitaire de Laghouat, 2000.

[36] : Z. BENABED et S .BOURAHILA : "Etude physico- mécanique du béton de sable dunaire". Encadré par L. AZZOUZ, Mémoire de fin d'étude, C.U de Laghouat 1998.

[37] : M. HADJOUJDA : "Contribution a l'étude physico-mécanique et durabilité du béton de sable de dunes- Influence du traitement de cure et de l'ajout des fillers". Mémoire de Magistère. Soutenue Oct.2001- Université de Laghouat.

[38] : M/R. LABIADH, M. BEN OUEZDOU, R. MENSI : "Formulations et comportements d'enduits rustiques a base de chaux et pouzzolanes artificielles". 2007, Ecole Nationale d'ingénieurs de Tunis.

[39]: K. HYUNG, H. YOUNG MOON, J. CHOI, Hwa Cheol Shin.: "A research of the recycling of ceramic waste as an aggregate for concrete". Proceedings of Nocmat/3, Non Conventional Materials and Technologies 12-13 March 2002-Hanoi, Vietnam.

[40] : R.DUPAIN, R.LANCHON, J.C.SAINT-ARROMAN : "Granulats, Sols, Ciments, ET Bétons". 3eme édition actualisée, éditions CASTELLA.

[41] : C. HALL et al : "Water movement in porous building materials- VII. The sorptivity of mortars". Building and environment. Vol.21, n°2, PP 113-118.1986.

[42] : J. PRAZAK and P. LUNK : "Capillary suction of AAC. Advances in Autoclaved Aerated Concrete". Edition wittman balkema. Retterdam. ISBN 90 5410 0869. PP 119-129. 1992

[43] : G.DREUX : "Nouveau guide de béton" 2 ème trimestre 1981, Paris, page 51. Edition Eyrolles.

[44] : R.LANCHON : "cours de laboratoire, granulats bétons sols". Editions DESFORGES, Paris, 1977

[45] : J. BARON, R. GAGNE et J/P ÔLLIVIER : Viser la durabilité, "Les betons bases et données pour leur formulation". Eyrolles, Paris, 1997.

[46] : A. HACHANA, E. BENAICHI, B. MEZGUICHE, M. MELLAS : " Etude des bétons à base des agrégats des déchets de démolition. www.memoireonline.com.

[47] : A. BOUGUERRA : "Contribution a l'étude d'un procédé de valorisation de déchets argileux". These de l'INSA de Lyon (France). 212 pages. 1997.

[48] : B. KROBBA, M. BOUHICHA, S. KENAI, M/F. LAKHDARI : "Formulation et durabilité d'un mortier à base de sable dunaire". Colloque 'Sols et matériaux à problèmes'. Tunisie. 9-11 Février 2007.