

People's Democratic Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Mohamed Boudiaf University of M'sila  
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة المسيلة  
كلية التكنولوجيا

Département de Génie civil

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

**MASTER**

En Génie civil

Option : **Matériaux**

Présenté par :

**MIHOUBI YOUSRA**

**MAHAMDI MAROUA**

**Thème**

**CARACTERISATION D'UN MORTIER ACTIVE  
MECANIQUEMENT A BASE DE DECHETS DE BRIQUE**

Devant le jury composé de :

<b>NOM et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
SEDDIKI Ahmed	MCA	Président
BELAGRAA Larbi	Professeur	Encadreur
BAKIR Nassima	MCA	Examineur

*Année Universitaire : 2021 / 2022*

N° d'ordre : GM/...../2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Remerciement

الحمد لله السميع العليم ذي العزة والفضل العظيم والصلاة والسلام على أشرف المرسلين وعلى  
آله وصحبه أجمعين وبعد صداقا لقوله تعالى { ولئن شكرتم لأزيدنكم } . الشكر لله تعالى  
الذي وفقنا واماننا على انهاء هذا العمل كما نتقدم بجزيل الشكر والامتنان للأستاذ  
المشرف «العربي بلقرع» على كل مجهوداته ونصائحه وتوجيهاته طيلة فترة انجاز هذه  
المذكرة والشكر أيضا للأساتذة المناقشين الذين تفضلوا بقبول مناقشة هذا البحث وبذلا  
للوقت والجهد في تدقيقه واثرائه شكلا ومضمونا. والى جامعة محمد بوضياف من أساتذة  
ومسؤولين والى كافة عمال مخبر الهندسة المدنية بالجامعة.

الى كل هؤلاء شكرا جزيلا ...

## DEDICACE

بسم الله والحمد والشكر لله رب العالمين الذي تتم بنعمته الصالحات الحمد لله الذي بتوفيقه وتسهيل منه جل في علاه تمكنا

من انجاز هذا العمل المتواضع

الى من علمني الحرفة وكيف أمسك بالقلم الى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة الى الذي لم يبخل علي باي

شيء إلى من سعى من أجل راحتني ونجاحي الى من احنى ظهره التعب لأجلنا

الى أعظم رجل في حياتي الغالي.

إلى أملي فالحياة وسر نجاحي الى من سهرت تنير دربي الى نبع الحنان والعطف، إلى أروع امرأة في الوجود أمي الغالية. ربما لا

أملك الجرأة للتعبير عن الامتنان شكرا جزيلاً على كل ما قدمته لي.

إلى نعيم الحياة وأمانها قرة عيني إلى الذي احتضني طيلة هذه السنوات إلى أخي الوحيد أدام الله بقاءك لنا.

الى روافد الوفاء المؤمنات الغاليات الى من قاسموني حلو الحياة ومرها تحب السقفة الواحد اخواتي سندي في حياتي، نوال،

أحلام وفاء، هاجر، أمينة وسلمي.

والى براعم العائلة زكرياء، أميمة، تيه، ترتيل وهمام احمد.

الى رفيقتي في المذكرة يسرى ميهوبي الى من خطت معي الخطوات صديقتي لا عوض ولا تحنى عنها تشاركنا عناء والمشاق

التي واجهتنا في انجاز هذا العمل أيام مضت من عمرنا بدأناها بخطوة وما نحن اليوم نقطعة ثمار مسيرة أعوام شكرا لكونك

صديقتي.

الى صديقاتي الغاليات أميرة، لهندة يسرى. مريم.

الى الدكتورة سعودية فتحة التي كانت بمثابة الأخت الدائمة لنا شكرا لك على كل ايتسامة وكلمة طيبة.

كل الشكر لكل من مد لنا يد العون من قريب او بعيد وكل أساتذة وعمال قسم الهندسة المدنية خاصة وكلية العلوم

والتكنولوجيا عامة. شكرا جزيلاً ....

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

## DEDICACE

بسم الله الرحمن الرحيم

{ يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ }

صدق الله العظيم

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات.

اللهم ليس بجهدى واجتهادى إنما بتوفيقك وكرمك وفضلك علي، بعد سنوات من الجهد والتعب والمثابرة إلى هنا أقول  
انتهت رحلتي الدراسية بحلولها ومرها اللهم سهل ويسر لي ما بعدها وافتح لي من أبواب علمك.

اهدي تخرجي وفرحتي

إلى من كلاه الله بالمهابة والوقار.. إلى من علمني العطاء بدون انتظار.. إلى من أحمل اسمه بكل افتخار.. (والدي العزيز).

والى ملاكي في الحياة... إلى معنى الحب والى معنى العنان والتفاني. إلى بسمه الحياة وسر الوجود

إلى من كان دعائها سر نجاحي (أمي الغالية).

إلى أرواح فقدها قلبي.. روح جدتي أم أبي وجدتي أم أمي.. صريح أن أرواحكم فارقتني لكن دعواتكم لم تفارقني يوماً،  
تمنييتكم كثيراً لو أنكم شاركتهموني فرحتي بنجاحي هذا.. ولكن فرحتكم في الفردوس أجمل.

والى سندي في الحياة أختي حبايب قلبي إلى من تقاسمت معهم فرحي وحزني محمد، عبد الله، هسيب، والى قرة عيني مريم  
وياسين.

والى صديقات عمري وصال، أمينة، أمل، لمياء، وسيلة، عائشة.

إلى أطيب قلب الدكتور سعودى فتية التي فتحت لنا أبوابها واحتضنتنا طيلة هاته الفترة ولم تبذل علينا بأي دعم أو  
مساعدة.

إلى صديقتي وزميلتي في المذكرة محمدى هروبة صديقة السنين التي جمعتني بها الجامعة. شكراً لأنك كنتي الشريكة المثالية  
التي رافقتني خطوة بخطوة في طريقنا لإنجاز هذا المذكرة.

إلى كل من ساندني من قريب أو من بعيد. شكراً لكم جميعاً...

ميموي يسرى

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

# Table des matières

*DEDICACE* \_\_\_\_\_

Résumé \_\_\_\_\_

Introduction générale \_\_\_\_\_

## CHAPITRE I ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>I.1 Introduction</b>	<b>5</b>
<b>I.2 Les mortiers</b>	<b>5</b>
I.2.1 Généralités	5
I.2.2. Définition de mortier	6
<b>I.2.3. Les constituants des mortiers</b>	<b>6</b>
I.2.3.1 Le liant	7
I.2.3.2 Le sable	7
I.2.3.3 L'eau de gâchage	8
I.2.3.4 Les ajouts	8
<b>I.2.4 Différents types des mortiers</b>	<b>8</b>
I.2.3.1. Les mortiers de ciment Portland	8
I.2.4.2. Les mortiers de chaux	8
I.2.4.3. Les mortiers bâtards	9
I.2.4.4. Les mortiers à base de ciment de maçonnerie	9
I.2.4.5. Mortier réfractaire	9
I.2.4.6. Mortier rapide	9
I.2.4.7. Mortier industriel	10
<b>I.2.5 Le rôle de mortier</b>	<b>10</b>
<b>I.2.6classification des mortiers</b>	<b>10</b>
I.2.6.1. Classification générale des mortiers	10
<b>I.2.7 Caractéristiques des mortiers</b>	<b>14</b>
I.2.7.1 Les caractéristiques principales des mortiers :	15
<b>I.2.8 Préparation de mortier</b>	<b>18</b>
<b>I.2.9 Application du mortier</b>	<b>19</b>
<b>I.3.Conclusion</b>	<b>20</b>

## CHAPITRE II DECHETS DE BRIQUE

<b>I.2 Introduction</b>	<b>24</b>
<b>II.2 Histoire</b>	<b>24</b>
<b>II.3 Matière première</b>	<b>26</b>
<b>II.3.1 Les argiles</b>	<b>26</b>
II.3.1.1 Définition	26
II.3.1.2 Types d'argiles	27
<b>II.3.2 Les déchets</b>	<b>28</b>
II.3.2.1 Origine de la production des déchets	28
<b>II.4 Déchets de brique</b>	<b>29</b>
II.4.1 Introduction	29
<b>II.5 La brique</b>	<b>29</b>
II.5.1 Définition	29
II.5.2 Technique de la production de la brique	30
II.5.3 Les caractéristiques physico-chimiques de la brique	31
II.5.4 Constitution chimique du déchet	31
<b>II.5.5 Types des briques</b>	<b>32</b>
II.5.5.1 Brique de terre cuite	32
II.5.5.2 Brique silico-calcaire	35
II.5.5.3 Brique de l'adobe	35
II.5.5.4 Le pisé	35
II.5.5.5 Briques réfractaires	36
<b>I.5.6 Types de briques réfractaires</b>	<b>36</b>
<b>II.6 Valorisation des déchets en Algérie</b>	<b>36</b>
<b>II.7 Conclusion</b>	<b>37</b>

## CHAPITRE III CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES ET PROCEDURES

<b>III.1 Introduction</b>	<b>40</b>
---------------------------	-----------

<b>III.2 Les matériaux utilisés</b>	<b>40</b>
<b>III.2.1 Le sable</b>	<b>40</b>
III.2.1.1 Masse volumique	40
<b>III.3 Ciment</b>	<b>49</b>
<b>III.3.1 Le choix de ciment</b>	<b>49</b>
III.3.1.1. Analyse chimique du ciment ( EN 196-2)	50
III.3.1.2. L'analyse physico-mécanique (EN 196-1 & NA 234) [39].	51
III.2.1.3 L'analyse minéralogique DRX :	52
<b>III.4 L'eau de gâchage</b>	<b>53</b>
<b>III.4.1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée</b>	<b>53</b>
<b>III.5 Les ajouts</b>	<b>53</b>
<b>III.5.1 Les déchets de brique</b>	<b>54</b>
<b>III.6 L'état frais</b>	<b>55</b>
<b>III.6.1 Consistance de ciment (CRS)</b>	<b>55</b>
III .6.1.1 La prise (EN 196-3 & NA 230)	55
III.6.1.2 Le durcissement	56
<b>III .7 Essai de consistance</b>	<b>56</b>
<b>III.7.1 Objectif de l'essai</b>	<b>57</b>
<b>III.7.2 Principe de l'essai</b>	<b>57</b>
<b>III.7.3 Equipement nécessaire utilisé</b>	<b>57</b>
<b>III.7.4 Conduite de l'essai</b>	<b>58</b>
<b>III.9 Fluidité du mortier</b>	<b>59</b>
<b>III.10 Préparation du mortier</b>	<b>59</b>
<b>III.10.1 Composition du mortier</b>	<b>59</b>
a. Malaxage du mortier	60
b. Préparation d'éprouvette	61
c. Moulage des éprouvettes	61
d. Conservation des éprouvettes :	61
<b>III.10.2 Propriétés mécaniques</b>	<b>63</b>
a. Essai de rupture par flexion : (EN 196- 1, 2006).	63
b. Essai de rupture par compression : (EN 196- 1, 2006) [2,5] :	64
<b>III.10.3 Les propriétés physiques</b>	<b>65</b>
a. Mesure le taux d'absorption d'eau :	65
<b>III.11 Conclusion</b>	<b>67</b>

## CHAPITRE IV INTERPRETATION DES RESULTAS

<b>IV.1 Introduction</b>	<b>68</b>
<b>IV.2 Les formulations des mortiers étudiés</b>	<b>68</b>
<b>IV.3 Présentation des résultats</b>	<b>68</b>
IV.3.1 Les propriétés physiques	68
IV.3.2 Ouvrabilité du mortier	69
IV.3.2.1 L'affaissement de mortier	69
<b>IV.4 Etat durci</b>	<b>70</b>
IV.4.1 Propriétés mécaniques	70
IV.4.2 Absorption Abs (%) : (EN 1097-6)	74
<b>Conclusion générale</b>	<b>77</b>

## **LISTE DES FIGURES**

<b>FIG. I. 1 CONSTITUANTS DES MORTIERS CLASSIQUES.</b>	6
<b>FIG. I. 2 CONSTITUANTS DES MORTIERS.</b>	6
<b>FIG. I. 3 LES DIFFERENTS TYPES DES MORTIERS.</b>	14
<b>FIG. I. 4 TABLE A SECOUSSES</b>	15
<b>FIG. I. 5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA MANIABILITE.</b>	16
<b>FIG. I. 6 APPAREIL DE VICAT MANUEL.</b>	17
<b>FIG. I. 7 MORTIER.</b>	18
<b>FIG. II. 1 ARGILE REFRACTAIRE</b>	27
<b>FIG. II. 2 ARGILE ROUGE</b>	28
<b>FIG. II. 3 SCHEMA DE FABRICATION DES BRIQUES.</b>	30
<b>FIG. II. 4 BRIQUE DE TERRE CUITE .</b>	32
<b>FIG. II. 5 BRIQUES CREUSES ET PLEINES.</b>	33
<b>FIG. III. 1 LA MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE (LABO DE GENIE CIVIL M'SILA)</b>	41
<b>FIG. III. 2 LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE (LABO DE GENIE CIVIL).</b>	43
<b>FIG. III. 3 REPOS DE 20 MIN POUR LES EPROUVETTES. (LABO DE GENIE CIVIL M'SILA)</b>	46
<b>FIG. III. 4 ANALYSE GRANULOMETRIQUE. (LABO DE GENIE CIVIL)</b>	48
<b>FIG. III. 5 COURBES GRANULOMETRIQUES DE SABLE</b>	49
<b>FIG. III. 6 DECHETS DE BRIQUE</b>	54
<b>FIG. III. 7 POUDRE DE BRIQUE</b>	54
<b>FIG. III. 8 APPAREIL DE VICAT</b>	57
<b>FIG. III. 9 MALAXEUR SEMI-AUTOMATIQUE DE MORTIER (LABO DE GENIE CIVIL M'SILA.</b>	60
<b>FIG. III. 10 PREPARATION D'EPROUVETTE (LABO DE GENIE CIVIL M'SILA)</b>	61
<b>FIG. III. 11 AGITATEUR D'EPROUVETTES (TABLE A CHOC). (LABO DE GENIE CIVIL M'SILA)</b>	62
<b>FIG. III. 12 APLANISSEMENT DES EPROUVETTES (LABO DE GENIE CIVIL M'SILA)</b>	62
<b>FIG. III. 13 EPROUVETTES APRES LE MOULAGE (4*4*16) CM<sup>3</sup></b>	63
<b>FIG. III. 14 DISPOSITIF POUR L'ESSAI DE RESISTANCE A LA FLEXION.</b>	64
<b>FIG. III. 15 L'APPAREIL DE RESISTANCE A LA FLEXION</b>	64
<b>FIG. III. 16 ESSAI D'ABSORPTION (LABO DE GENIE CIVIL M'SILA)</b>	65
<b>FIG. III. 17 L'APPAREIL DE RESISTANCE A LA COMPRESSION</b>	67
<b>FIG. IV. 1 EVOLUTION DE L'AFFAISSEMENT DES MORTIERS ETUDIES.</b>	69
<b>FIG. IV. 2 EVOLUTION DE LA RESISTANCE MECANIQUE EN FLEXION (RF) DES MORTIERS ETUDIES.</b>	71
<b>FIG. IV. 3 EVOLUTION DE LA RESISTANCE MECANIQUE EN COMPRESSION (RC DES MORTIERS ETUDIES.</b>	73
<b>FIG. IV. 4 ABSORPTION DES MORTIERS ETUDIES A 28 JOURS.</b>	75

## **Liste des Tableaux**

TABLEAUX II. 1 COMPOSITION MINERALOGIQUE DE BRIQUE [25].	31
TABLEAUX II. 2 CARACTERISTIQUE DES BRIQUE CREUSES [30].	32
TABLEAU III. 1 MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE DU SABLE D'OUAD SOUF	41
TABLEAU III. 2 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DU SABLE D'OUAD SOUF.	43
TABLEAU III. 3 EQUIVALENT DE SABLE D'OUAD SOUF	45
TABLEAU III. 4 LA CLASSIFICATION DE LA NATURE SABLE EN FONCTION D'E.S	45
TABLEAU III. 5 COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DU SABLE PREPARE.	47
TABLEAU III. 6 CLASSIFICATION DU SABLE SUIVANT LES VALEURS DE MODULE DE FINESSE.	48
TABLEAU III. 7 COMPOSITION CHIMIQUE DE CIMENT (LAFARGE HOLCINE M'SILA)	50
TABLEAU III. 8 COMPOSITION PHYSICO-MECANIQUE DE CIMENT (LAFARGE HOLCINE M'SIL)	51
TABLEAU III. 9 ESSAIS MINERALOGIQUE DRX. (LAFARGE HOLCIME M'SILA)	52
TABLEAU III. 10 CARACTERISTIQUES CHIMIQUE DE L'EAU DE GACHAGE	53
TABLEAU III. 11 COMPOSITION CHIMIQUE DES DECHETS DE BRIQUE BROYES	54
TABLEAU III. 12 CARACTERISTIQUES DES DECHETS DE BRIQUE BROYES	55
TABLEAU IV. 1 L'AFFAISSEMENT DU MORTIER.	69
TABLEAU IV. 2 LA RESISTANCE MECANIQUE A LA FLEXION	70
TABLEAU IV. 3 LA RESISTANCE MECANIQUE A LA COMPRESSION	72
TABLEAU IV. 4 CAPACITE D'ABSORPTION D'EAU DES MORTIERS ETUDIES.	74

أصبحت إعادة تدوير النفايات الآن الحل الصحيح الذي يمكن أن يقدم موارد جديدة ومتجددة ومستدامة التي لعبت دورا مهما في العديد من المجالات والتي منها مجالنا مجال الهندسة المدنية.

في مذكرتنا أردنا تسليط الضوء على هذه التقنية من خلال استغلال نفايات الطوب الأحمر كبديل جزئي للكلنكر المتواجد في الاسمنت وذلك باستبدال عشرة بالمائة من الاسمنت بعشرة بالمائة ( 10 % ) من مسحوق الطوب الأحمر (اقل من ثمانون ميكرون) مع متابعة تأثير هذا الأخير على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية و كذا ديمومة الملاط.

أظهرت نتائج الدراسة التي أجريناها أن إدخال مسحوق الطوب الأحمر في الاسمنت يحسن من أداء وصلابة الملاط المكون من الاسمنت مقارنة مع الاسمنت الشاهد بدون إضافة الأجر.

## **Résumé**

Le recyclage des déchets est aujourd'hui devenu la bonne solution qui peut fournir des ressources nouvelles, renouvelables et durables qui ont joué un rôle important dans de nombreux domaines, y compris notre domaine du génie civil.

Dans ce contexte, on opte aux recyclages de certains produits de construction pour émettre de la lumière sur cette technologie en exploitant les déchets de brique rouge (DB) comme substitution partielle du clinker présent dans le ciment en remplaçant celui-ci par un taux optimal de dix pour cent (10 %) de la poudre de brique rouge (DB). Dans le présent sujet, l'effet de quatre finesses de la poudre de brique sur les propriétés physiques, mécaniques et durabilité du mortier a fait l'objet de cette étude.

Les résultats obtenus de ce sujet de recherche ont montré que l'introduction de la poudre de brique rouge à un taux de 10 % et différentes finesses dans le ciment améliore les performances mécaniques ainsi qu'une réduction de l'absorption des mortiers constitués de ciment CRS et déchets de brique par rapport au mortier témoin sans ajout de poudre de brique.

**Mots clés ;** déchets de briques (DB), mortier, résistance mécanique, durabilité, ciment CRS

## **Abstract**

Waste recycling has now become the right solution that can provide new, renewable and sustainable resources that have played an important role in many fields, including our field of civil engineering.

In our note, we wanted to shed light on this technique by exploiting red brick waste as a partial replacement for the clinker found in cement, by substitution ten percent of the cement with ten percent (**10 %**) of the red brick powder (less than eighty microns) while following up on the effect of the latter on the physical and durability properties of the mortar.

The results of our study showed that the introduction of red brick powder in the cement improves the performance and hardness of the mortar consisting of CRS cement compared with the control one without brick waste powder addition.

**Key words;** Brick waste powder, mortar, strength, durability, CRS cement

# Introduction générale

### Introduction générale

Dans toute construction, il est indispensable de réunir les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc...) à l'aide d'un mortier ciment ou d'autre liant qui a pour but de solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage et combler les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau.

En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

La valorisation des matériaux locaux, peu ou pas explorés, est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays en voie de développement. Par ailleurs, on voit des quantités de déchets générés quotidiennement par divers travaux.

Les installations industrielles sont une nuisance environnementale et posent des problèmes particulièrement difficiles à résoudre, parmi ces déchets, on peut citer les déchets de brique, qui représentent une partie importante des déchets solides dans le pays.

Selon les statistiques, la quantité des déchets solides est en croissance continue au niveau mondial, vue la demande croissante des besoins de construction pour la population.

En Algérie, les déchets de brique de séparation, se sont accrus et ils ont un impact de plus en plus négatif sur l'environnement qui peut être collectés de manière rentable dans des couleurs mélangées.

En absence de chiffres fiables et enquête précise, d'après une étude récente sur la valorisation des déchets de construction en Algérie, menée par le CNERIB et basée sur le rapport "La situation des déchets solides et les progrès accomplis en Algérie" transmis par le Gouvernement algérien à la Commission du développement durable des Nations Unies en 1997, il est estimé que la quantité annuelle de déchets urbains produite chaque année en Algérie est d'environ 5.5 millions de tonnes pour une population de 30 millions d'habitants [1].

### Objectif

Notre sujet de recherche vise la valorisation des déchets comme la poudre de brique (DB) en différents finesses (2800, 3500, 4000, 4500 cm<sup>2</sup>/g) avec un pourcentage de 10% par substitution du ciment dans la formulation d'un mortier à base de matériaux locaux (sable d'Oued Souf et ciment CRS CEM I / 42.5 -MOKAIM).

Les DB sont considérés comme activant suite à un broyage de la poudre à une finesse importante.

Ce travail a pour but l'amélioration de certaines caractéristiques techniques de mortiers et générer les incitations économiques et les avantages environnementaux de telle utilisation de déchets de brique ; Entre autres, les objectifs de cette recherche :

- Etude de l'amélioration des propriétés techniques (résistances mécaniques) par broyage poussée dite activation mécanique des déchets de brique (DB).
- Voir l'effet d'activation mécanique sur la durabilité (absorption) de remplacement de ciment par les déchets de briques (DB) avec des finesses différentes.
- Valorisation des déchets de brique pour des fins économiques et environnementales.

Après une introduction générale, ce présent travail est subdivisé en quatre (04) chapitres :

- Le premier chapitre présente une revue générale sur le comportement du mortier à l'état frais et durci.
- Le deuxième chapitre présente des notions générales sur les déchets de brique.
- Le Troisième chapitre qui traite la caractérisation des matériaux utilisés, à savoir les caractéristiques physico- mécaniques des matériaux utilisés (ciment, poudre de brique, sable).
- ✚ Le quatrième chapitre présente les résultats des propriétés physico-mécaniques des essais réalisés sur les différentes formulations des mortiers étudiés.

Enfin, on achève ce travail par une conclusion générale.

# CHAPITRE I

## ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.1 Introduction

Le mortier est un composant essentiel en construction. Il est utilisé pour maintenir entre eux les éléments de maçonnerie, combler les vides et finir les surfaces.

Le type de mortier le plus courant est le mortier de ciment. On le fabrique en mélangeant du ciment avec de l'eau et du sable.

Il est utilisé pour maintenir entre eux les briques, les blocs et les pierres afin de former des constructions de différents niveaux de complexité.

## I.2 Les mortiers

### I.2.1 Généralités

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement.

On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau – et éventuellement un adjuvant – pour obtenir un « Mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement [2].

Les mortiers peuvent être :

- ✓ Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- ✓ Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs préposés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- ✓ Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi, dont les dernières années, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur à 24 heures.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers parfois exigus et difficiles d'accès : rénovation, travaux souterrains [2].

### I.2.2. Définition de mortier

Le mortier est un mélange constitué de sable d'eau et d'un liant, qui peut être la chaux ou le ciment. On peut également trouver des polymères dans la composition de certains mortiers. Ce mélange pâteux sert notamment à lier entre eux les matériaux de construction. Ses proportions sont différentes de celles du béton et il ne comporte pas de gravier[3].

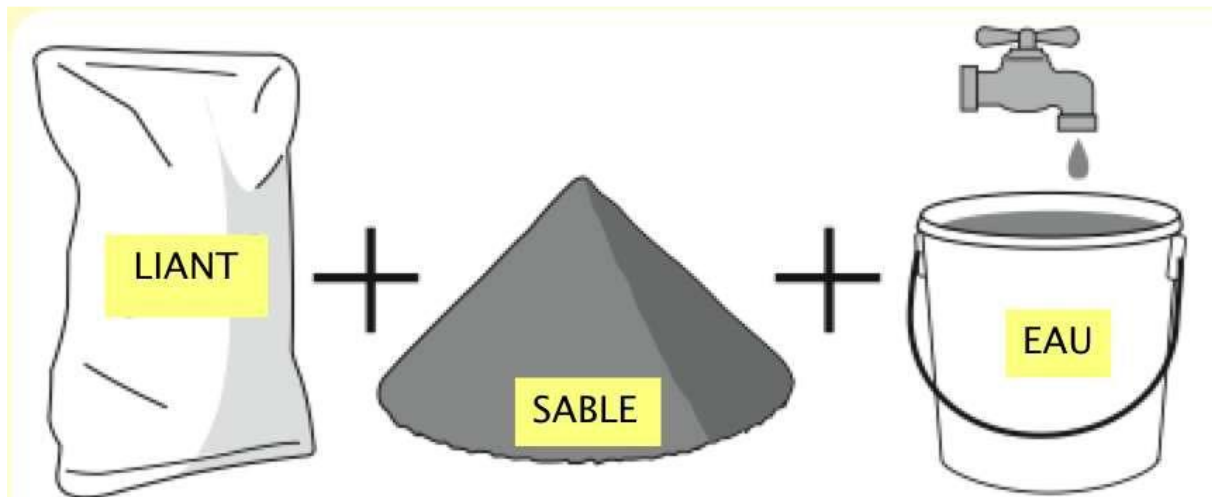


Fig. I. 1 Constituants des mortiers classiques [4].

### I.2.3. Les constituants des mortiers

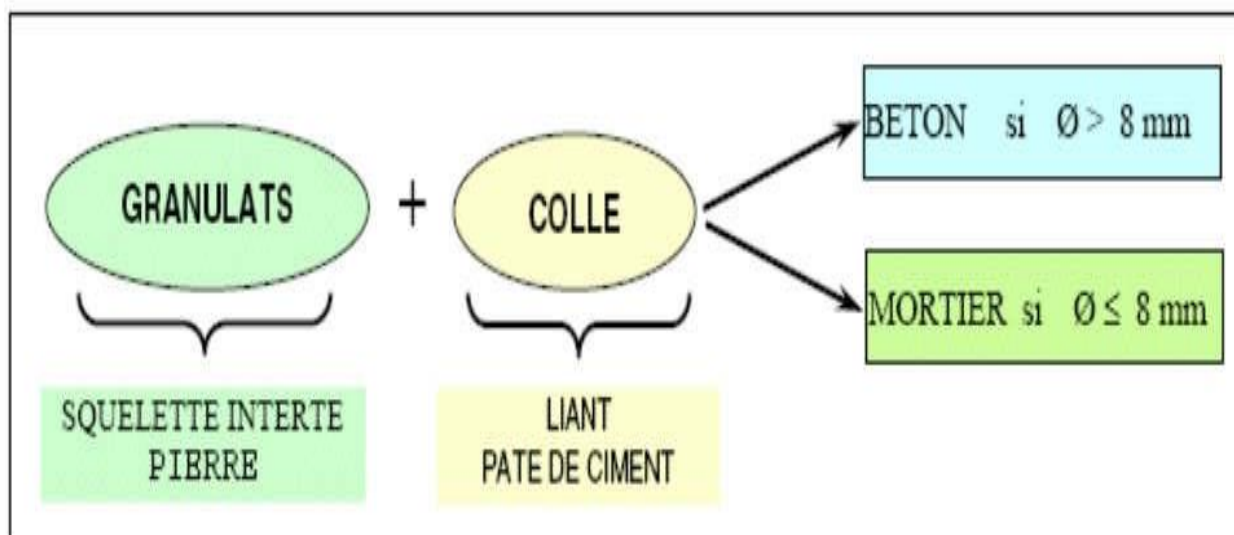


Fig. I. 2 Constituants des mortiers [5].

### I.2.3.1 Le liant

Pour faire du mortier, il vous faut du ciment. Il existe différents types de ciment et des normes différentes adaptées à chaque ouvrage, à chaque environnement.

- Les ciments normalisés (gris ou blanc.).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes[6].

### I.2.3.2 Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin.

Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre ; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres.

On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière.

Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol.

Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux ; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements : il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut.

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétique (couleur).

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides.

Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est

souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide[7].

### **I.2.3.3 L'eau de gâchage**

Gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. L'eau d'hydratation est la quantité d'eau absorbée par le liant (ciment, chaux ...).

Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant ; le mouillage des granulats ; et la facilité de mise en œuvre du mortier.

Gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale[7].

### **I.2.3.4 Les ajouts**

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

- ✚ Poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice, etc....).
- ✚ Fibres de différentes natures.
- ✚ Colorants (naturels ou synthétiques).
- ✚ Polymères. [8]

## **I.2.4 Différents types des mortiers**

### **I.2.3.1. Les mortiers de ciment Portland**

Le ciment Portland confère une résistance mécanique au mortier de maçonnerie, Surtout la résistance initiale, qui est essentielle à grande vitesse la construction est telle qu'elle nécessite un mur pouvant supporter une charge importante le lendemain de sa construction. Le mortier de ciment Portland manque de plasticité, faible capacité de rétention d'eau et difficile à utiliser.

Le rapport quantité de ciment/sable est généralement de 1,3 en volume et le rapport eau-ciment est d'environ 0,35. De plus, une dose de ciment les rend quasi imperméable à l'eau [6].

### **I.2.4.2. Les mortiers de chaux**

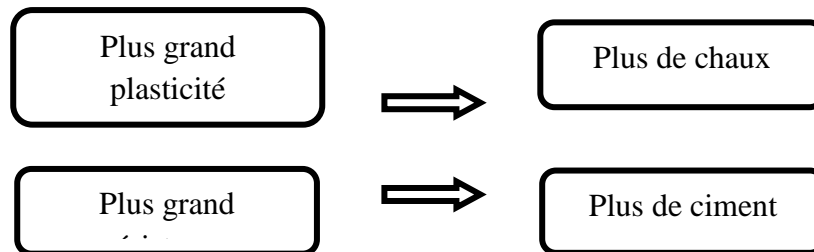
C'est un composant traditionnel du mortier, avec une plasticité et excellente rétention d'eau, mais faible résistance mécanique et durcissement lent. Chaux C'est un

produit de haute qualité qui est gras après l'extinction de la chaux vive Devrait fonctionner, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et de travail La chaux grasse est salissante. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser de la chaux hydratée sécher.

Le mortier de chaux durcit lentement par carbonisation Effets du dioxyde de carbone dans l'air ; ce processus peut être considérablement ralenti pendant un certain temps froid et humide[9].

#### **I.2.4.3. Les mortiers bâtards**

Ce sont des mortiers dont le liant est un mélange de ciment et de chaux, en proportions égales, selon leur domaine d'utilisation probable, la composition de la chaux et Le ciment peut varier[10].



#### **I.2.4.4. Les mortiers à base de ciment de maçonnerie**

C'est un produit enregistré contenant du ciment Portland et une charge minérale inerte (calcaire) et des auxiliaires tels que des agents mouillants, hydrofuges et entraîneurs d'air, Plasticité et capacité de rétention d'eau conférées par les adjuvants à la chaux mortier de ciment. Certains ciments à maçonnerie sont le ciment Portland et chaux éteinte, adjuvant[6].

#### **I.2.4.5. Mortier réfractaire**

Il est fait de ciment fondu ; résistant aux hautes températures ; il est utilisé pour construire des cheminées et des grils[11].

#### **I.2.4.6. Mortier rapide**

Comme pour le mortier normal, il s'agit d'un mélange de ciment, de sable et d'eau mais auquel on ajoute un adjuvant pour améliorer le temps de prise du mortier.il est rapide et résistant pour les scellements.

### I.2.4.7. Mortier industriel

Ce sont des mortiers fabriqués à partir d'ingrédients secs soigneusement sélectionnés, conditionnés en sac, inspecté en usine et entièrement fonctionnel. Pour utiliser ce type de mortier, placez simplement quantité d'eau nécessaire et mélanger pour

les mettre en œuvre. Fabricant de mortier le fabricant propose une gamme complète de produits pour répondre à tous les besoins :

- ✚ Mortier de différentes couleurs et peintures d'aspect.
- ✚ Mortier étanche.
- ✚ Mortier d'isolation thermique.
- ✚ Nivelier le mortier.
- ✚ Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- ✚ Mortier colle pour carrelage, à base de plâtre ou de ciment.
- ✚ Mortier de réparation[9].

## I.2.5 Le rôle de mortier

Le mortier est indispensable à presque tous les travaux de maçonnerie, notamment pour monter un mur de brique ou de pierres, pour lequel il jouera le rôle essentiel de colle, permettant de solidariser les éléments entre eux.

Il assure ainsi la cohésion et la bonne répartition des charges du mur. Lorsqu'il comble chacun des espaces entre les matériaux, il permet de réaliser des ensembles cohérents à la solidité variable selon le type de mortier employé.

Cependant, il peut aussi être utilisé comme enduit ou élément de scellement lors de réparations, contribuant à l'esthétique et à l'imperméabilité du mur de maçonnerie[12].

## I.2.6 classification des mortiers

### I.2.6.1. Classification générale des mortiers

Les mortiers sont classés est comme suit :

- **Leur domaine d'utilisation**

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

- ✚ Mortier de pose ;
- ✚ Mortier de joints ;

- ✚ Mortier pour les crépis ;
- ✚ Mortier pour le sol ;
- ✚ Mortier pour les stucs ;
- ✚ Pierres artificielles ;
- ✚ Mortier d'injection ;
- ✚ Mortier pour les mosaïques ;
- ✚ Mortier de réparation pour pierres [13].

- **Selon la nature du liant**

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

➤ **Mortier de ciment portland :**

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction.

Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler.

Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables [9].

➤ **Mortier de chaux :**

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant.

C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche la cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air ; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide [9].

➤ **Le mortier colle :**

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

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

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

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

Il existe plusieurs classes de performances :

- ✚ C1 pour la pose de carrelage intérieur (sols et murs) ;
- ✚ C2 pour la pose de carrelage intérieur et extérieur (sols et murs) ;
- ✚ C2 S1 ou S2 pour la pose de carrelage intérieur et extérieur (sols et murs) avec en plus, des propriétés d'adhérence élevées et une capacité à être déformé par une contrainte entre le carreau et la surface d'encollage[14].

➤ **Mortiers bâtards :**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées [9].

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

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

Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants [9].

➤ **Les Mortiers réfractaire :**

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues [9].

➤ **Les Mortiers rapide :**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements [9].

➤ **Les Mortiers industriel :**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de

mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- ✚ Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- ✚ Mortiers d'imperméabilisation.
- ✚ Mortier d'isolation thermique.
- ✚ Mortier de jointoiement.
- ✚ Mortier de ragréage.
- ✚ Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- ✚ Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- ✚ Mortier de réparation [11].

➤ **Le mortier de montage :**

Le mortier de montage se fabrique en mélangeant du sable, du ciment et de l'eau. Pour monter un mur et assembler des blocs de béton entre eux, c'est le mortier de montage qui est utilisé car il est d'une grande résistance et d'une prise rapide. Le sable à utiliser doit être plutôt fin : partir sur du 0/1 ou du 0/4 [14].

➤ **Le mortier de ragréage :**

Le mortier de ragréage est un mélange de sable fin, de ciment et d'eau. L'ajout d'adjuvants est recommandé, notamment l'hydrofuge pour les façades extérieures [14].

➤ **Le mortier hydrofuge :**

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

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

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine [15].

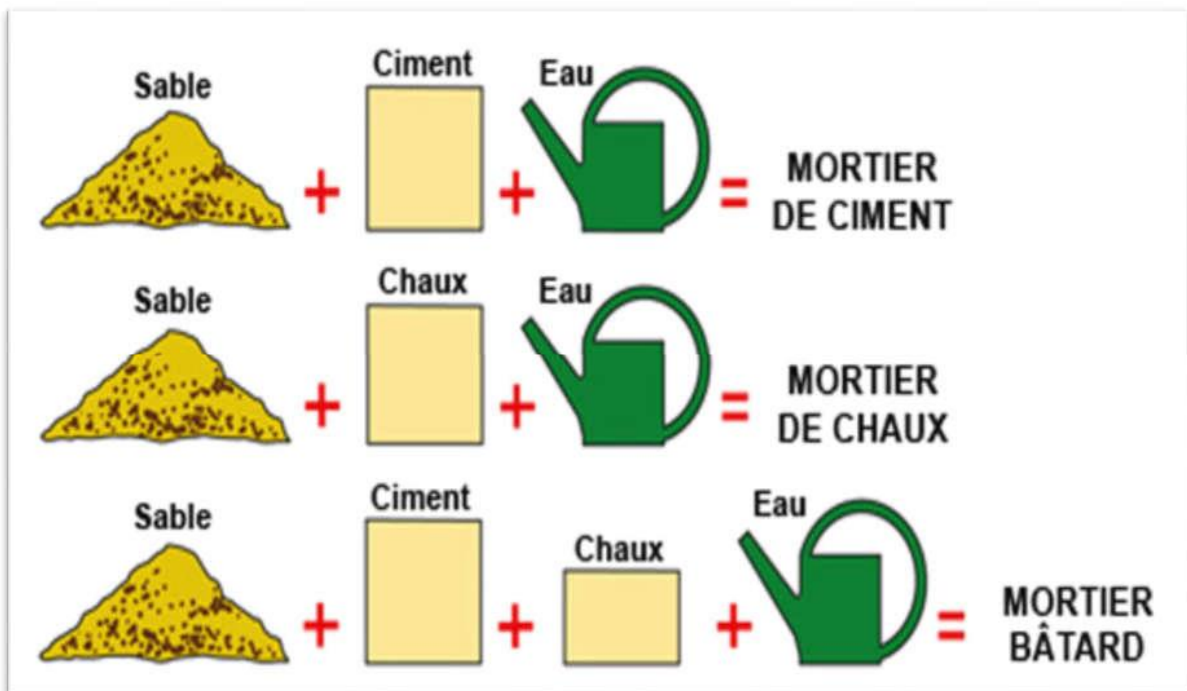


Fig.I. 3 Les différents types des mortiers [16].

### I.2.7 Caractéristiques des mortiers

Lorsqu'un mortier est dit bon, il doit être soumis aux caractéristiques suivantes :

- ❖ Le mortier doit avoir une propriété adhésive suffisante pour développer une liaison solide avec les blocs de construction.

- ❖ Le mortier doit être étanche et ne pas laisser passer l'eau dans les murs extérieurs pendant la saison des pluies. La bouillie doit durer longtemps.
- ❖ Le mortier doit être économique et facile à appliquer.
- ❖ La bouillie doit être facile à travailler.
- ❖ Une bonne suspension doit développer des contraintes de conception après la solidification.
- ❖ Le mortier ne doit pas permettre la formation de fissures près des joints et doit conserver son bel aspect plus longtemps. Le mortier devrait prendre moins de temps pour fixer les résultats de maçonnerie.

### I.2.7.1 Les caractéristiques principales des mortiers :

#### a. Ouvrabilité :

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

##### 1. Table à secousses

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

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec :

$D_r$  : diamètre final

$D_i$  : diamètre initial

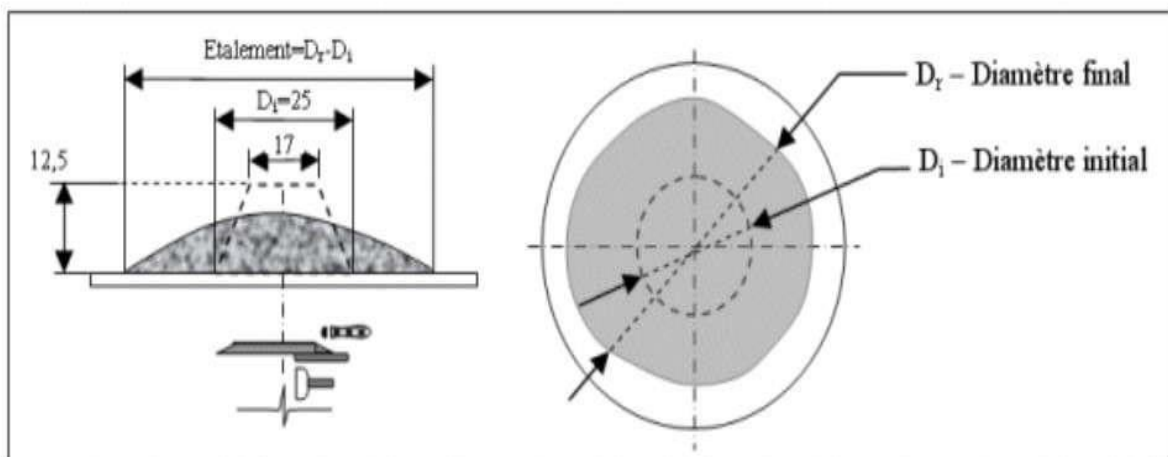
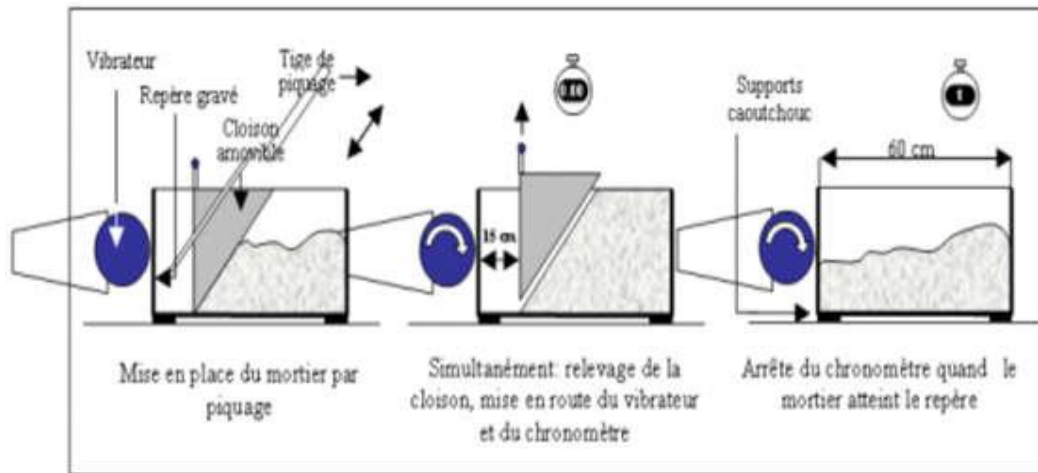


Fig..I. 4 Table à secousses [17].

## 2. Maniabilité du LCPC :

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur.

Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.



**Fig.I. 5 Principe de fonctionnement de la maniabilité [17].**

## 3. Le cône :

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône.

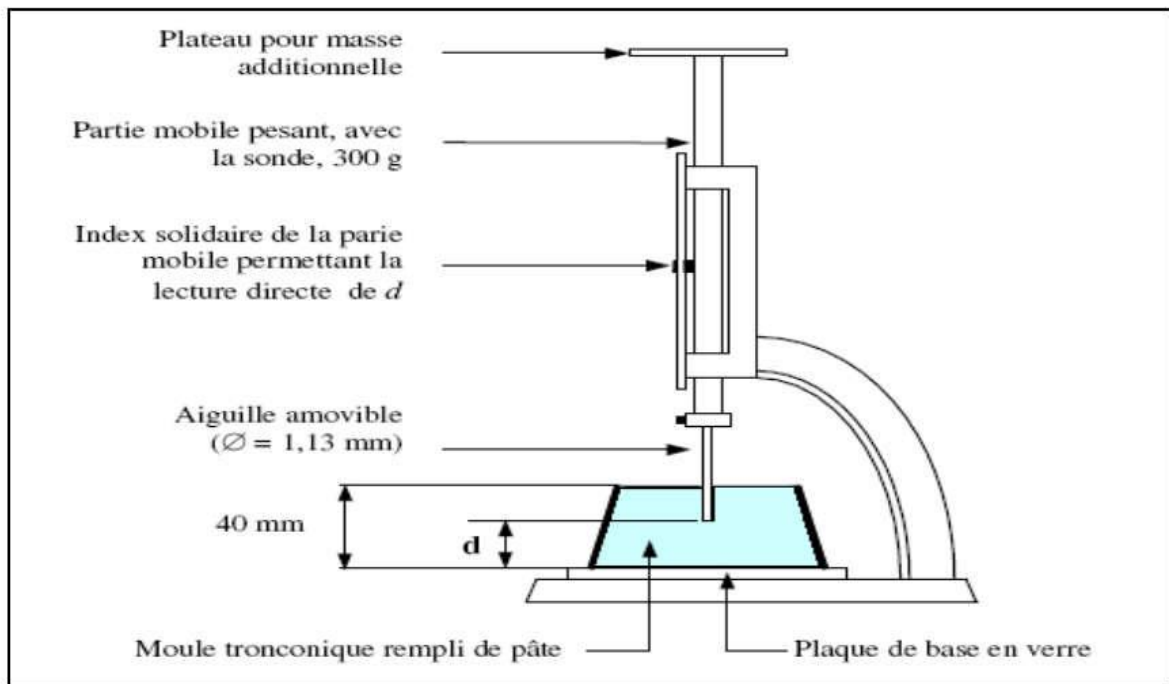
Le Cône peut aussi être muni d'un vibreur [17].

## 4. Prise :

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

Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes.

Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur. [17]



**Fig. I. 6 Appareil de Vicat manuel [18].**

### 5. Résistances mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16 cm conservés dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression.

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

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- ✚ Nature et dosage en ciment.
- ✚ Rapport E/C.
- ✚ Granulométrie et nature du sable.
- ✚ Energie de malaxage et mise en œuvre.
- ✚ Protection des premiers jours [17].

### 6. Masse volumique apparente :

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup> ou t/m<sup>3</sup>) [17].

### 7. Masse volumique absolue :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte des vides et des pores). Elle est exprimée en ( $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$  ou  $\text{t/m}^3$ ) [17].

## I.2.8 Préparation de mortier

Les quantités nécessaires en fonction des dosages et des travaux à faire comme montrent les tableaux ci-dessous : [19]

**Tableaux I. 1 Dosage des mortiers**

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



**Fig. I. 7 Mortier.**

Prévoir une surface de mélange suffisamment plane et assez grande pour balayer cette zone de mélange avec un balai, elle doit être propre et surtout exempte de débris végétaux.

Préparer les moules avec nettoyage et élimination des impuretés.

Préparez les ingrédients dans le bon dosage et versez la quantité exacte de sable et de ciment dans le malaxeur

Versez les ingrédients dans le malaxeur en remuant et en mélangeant bien les matériaux pendant une minute.

Ajouter la quantité d'eau pour relier toutes les substances, mélanger et bien mélanger dans le malaxeur pendant 3 minutes.

Enfin, nous versons le mélange dans les moules, Lorsque la surface plane de la pelle passe le mortier, le mortier est correctement mouillé ; il devient lisse et l'eau remonte à la surface.

### **I.2.9 Application du mortier**

Dans la maçonnerie de fondation ou de façade, le mortier est généralement utilisé. Utilisation d'hydrodynamique, d'adhésifs à maçonnerie ou de ciment ou de mortier de maçonnerie maigre de ciment de fer.

Pour les maçonneries peu chargées, on pourra utiliser le mortier maigre de chaud de liant ou de ciment à maçonner ; en revanche, pour les maçonneries frottement chargées, le mortier moyen de ciment portland sera recommandé.

Le mortier moyen de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé en fondation, il y a été même recommandé on présence d'eaux nocives, mais il ne devra pas être employé en élévation.

Pour le jointoiment, utiliser un mortier gras avec le même liant utilisé pour le béton rugueux maçonnerie.

Pour les enduits étanches, le mortier doit être gras, soit au laitier ciment soit Haut-fourneau, mais utilisant principalement du ciment Portland ou du ciment de fer.

Pour chape normal, utilisera le même mortier que le plâtre aérien mais pour la chape Pavage, facile à porter, pour l'imperméabilisation du mortier, du mortier sera nécessaire fer gras ou ciment Portland. Pour les enduits mouilles ou enterrés, n'importe quel mortier moyen convient.

Pour les enduits étanches, le mortier doit être gras, soit au laitier ciment soit haut-fourneau, mais utilisant principalement du ciment Portland ou de ciment de fer pour chape normale utilisera le même mortier que le plâtre aérien mais pour la chape Pavage, facile à porter, pour l'imperméabilisation du mortier, du mortier sera nécessaire fer gras ou ciment Portland.

Pour les enduits et mortiers étanches, supporte les mortiers très gras à forte pression Le ciment de laitier ou de haut fourneau peut être utilisé comme base[20].

### **I.3.Conclusion**

Le mortier est une substance pâteuse utilisée pour lier des briques ou des blocs ensemble et également pour combler les espaces entre eux. Il est également appliqué pour se transformer en une substance dure semblable à du béton.

Le mortier est généralement constitué de sable, de chaux ou de ciment et d'eau. Le présent chapitre donne les types, les constituants et les propriétés essentielles comme matrice cimentaire.

# Chapitre II

## Déchets de brique

## I.2 Introduction

Le contexte environnemental mondial a placé la question environnementale au cœur des débats scientifiques, plus spécialement les questions de la pollution et de la gestion des déchets.

Dans le domaine du Génie Civil réputé par sa grande consommation de matériaux naturels, les avancées scientifiques ont permis de valoriser différentes variétés de sous-produits industriels dans les applications de béton et en technique routière.

Dans ce chapitre, nous allons faire la valorisation des déchets dans le domaine du Génie Civil dans le but de proposer une méthode novatrice de formulation de béton et le mortier à base de matériaux alternatifs[21].

## II.2 Histoire

A travers les âges mais aussi les continents, l'argile semble avoir impacté l'ensemble des Hommes, que ce soit à des fins médicinales ou pour d'autres réalisations du quotidien d'ailleurs, constructions, objets décoratifs, poterie ou bien supports d'écriture...

Elles ont clairement accompagné le développement des sociétés humaines. Elles faisaient l'unanimité jusqu'à l'arrivée des imposantes industries pharmaceutiques entre le 19ème et le 20ème siècle.

C'est avec bonheur que l'on assiste à un authentique retour aux sources si l'on peut dire ! Les argiles, ces produits naturels que nous offre Dame nature, ont tant à nous offrir.

Et en plus, par chance, on les retrouve un peu partout sur la planète.

Dans l'Egypte ancienne, l'utilisation des argiles était déjà une coutume. En raison de ses propriétés purifiantes, absorbantes et assainissantes, les égyptiens l'utilisaient pour la momification des corps. La fameuse "boue du Nil" était une matière largement utilisée lors de cette pratique. Avant les égyptiens, il semblerait que les premières momies connues soient les "chinchorros" en provenance du Chili.

Environ 7000 ans avant Jésus-Christ, la momification chilienne consistait à éviscérer le corps du défunt et à vider son crâne avant d'enduire ses os d'argile. Cette reconstitution de la morphologie initiale est l'une des premières empreintes des argiles dans l'Histoire !

De ce temps, l'argile était également présente dans la pharmacopée comme en témoigne les papyrus retraçant histoires de l'humanité et remèdes ô combien naturels ! Brûlures, plaies, maux d'estomac, diarrhées, l'argile, parmi tant d'autres remèdes, a su faire sa place pour soulager de nombreux maux.

Au temps de l'Antiquité Grecque et Romaine, Hippocrate le Grand (460 à 370 avant J.-C.), père de la médecine, mentionne l'utilisation de la terre de Lemnos, une île située à l'est de la Grèce au cœur de la mer Egée. Cette terre particulière s'est révélée être composée d'argiles... Et sa conquête de la notoriété était loin d'être finie...

Au 1er siècle après J.-C., notre fameuse argile fût mentionnée une nouvelle fois en tant que terre de Lemnos, par Pline l'ancien (23 à 79 après J.-C.), un naturaliste romain et écrivain, dans sa fameuse encyclopédie "Histoire naturelle".

Puis après de nombreuses apparitions dans des traités de médecine et de pharmacologie, entre le 10ème et le 13ème siècle, ce sont de grands naturopathes allemands qui ont participé, bien plus tard, à une véritable renaissance de l'argile à des fins médicales ! Au 19ème siècle, Sébastien Kneipp (1821 à 1897) un prêtre allemand s'est fait connaître grâce à ses thérapies naturelles. Parmi elles, on retrouve les cataplasmes à base d'argile et de vinaigre...

De nos jours, la méthode Kneipp, axée sur 5 grands piliers que sont l'hydrothérapie, la phytothérapie, l'activité physique, un régime sain et le rétablissement d'un équilibre, est largement reprise dans des établissements de bien-être et de santé.

D'autres naturopathes allemands comme Louis Kuhne (1835 à 1901) ou encore le pasteur Emanuel Felke (1856 à 1926), ont perpétué, au fil des années, le recours à des remèdes naturels comme les argiles.

D'ailleurs, un autre allemand, (décidément ils sont en avance sur nous à ce niveau...) Julius Strumpf médecin berlinois, utilisa avec succès de l'argile blanche pour traiter une forme de choléra asiatique.

Autant d'usages perpétrés à travers les temps témoignant d'une indéniable efficacité... Plus proche de nous, au cours des guerres du siècle précédent, s'en sont suivies des utilisations diverses et variées...

Pour lutter contre une autre maladie infectieuse touchant le système digestif comme la dysenterie ou encore pour aider nos amis les animaux à soigner leurs blessures : les bains de boue ils connaissent et ils pratiquent instinctivement ! Décidément l'argile a eu, a et aura de nombreux usages que soit chez l'Homme mais aussi chez l'animal...

Et comment parler argile sans parler de Raymond Dextreit (1908 à 2001), naturopathe pionnier du siècle dernier dans l'utilisation et la promotion de l'argile à travers de nombreux ouvrages parus dès les années 50 ? Son engagement général sur divers thèmes de la santé lui a même valu l'honneur de se voir décerner le Prix de la paix en 1989 au titre des médecines naturelles par l'Académie diplomatique de la Paix à Bruxelles.

Selon lui, “Toutes les possibilités de guérison, de prévention, de maintien de la santé se trouvent dans la nature.” et à la Compagnie ont bien d’accord pour dire que la Nature regorge de trésors.

Aujourd’hui, après des années mises de côté, les argiles refont surface ! C’est le cas pour les pays comme la France pratiquant la médecine dite moderne car pour d’autres pays l’usage de l’argile n’a jamais disparu...

En effet, à Madagascar par exemple, (oui c’est un exemple qui nous est cher) la médecine traditionnelle est toujours pratiquée et les marchés malgaches recèlent de remèdes que l’on pourra qualifier de “locaux”. Dans d’autres pays comme au Maroc, c’est le Rhassoul, une argile surtout utilisée pour des soins de beauté, qui fait partie intégrante de la culture.

Plus largement, elle est traditionnellement utilisée en Afrique du nord lors du rituel du hammam.

Si l’on s’attache à la médecine actuelle dite moderne, en France l’argile a sobrement fait sa place. Et oui, le fameux « Smecta » par exemple n’est autre qu’un médicament composé d’une sorte d’argile : la diosmectite. Aussi, un tout récent moyen d’employer l’argile à (re)vu le jour.

Il s’agit de la fangothérapie, autrement dit le traitement par les boues. Définitivement, l’argile en a sous le coude et gagne à être connue...

## II.3 Matière première

### II.3.1 Les argiles

#### II.3.1.1 Définition

Les argiles sont des produits issus de la décomposition des roches siliceuses par désagrégation physique et mécanique puis par altération chimique. L’argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre des grains n’excède pas  $2\mu\text{m}$ . Ces particules sont sous la forme cristalline (phase minérale pure), et sont responsables des propriétés telles que le gonflement, la plasticité, et des phénomènes d’adsorption.

Dans le milieu naturel, ces particules élémentaires sont le plus souvent liées entre elles par des ciments de nature très diverse (carbonates, composés organique, composés minéraux amorphes ou oxydes et hydroxydes de fer et d’aluminium, quartz ...) pour former des agrégats de tailles beaucoup plus grandes. Les argiles sont constituées de minéraux dont les particules sont essentiellement des phyllosilicates empilés en feuillets bidimensionnels silicaté[22].

### II.3.1.2 Types d'argiles

#### ❖ Argiles plastiques grésantes :

Colorées. Très fines particules de kaolinite, de matière organique, d'oxydes de fer et de titane.

Riche en silice Produit : Ball clay.

#### ❖ Argiles plastiques réfractaires :

Riches en montmorillonites, en kaolinite et halloysite ( $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) [23].

#### ❖ Argiles réfractaires

Utilisées pour les très hautes températures, elles sont riches en alumine et très peu colorées [23].



Fig. II. 1 Argile réfractaire

#### ❖ Argiles rouges

Ce sont des argiles contenant kaolinite et illite, du sable, du mica et des oxydes de fer, des composés organiques et des composés riches en alcalins. [23].



**Fig. II. 2 Argile rouge**

### **II.3.2 Les déchets**

Tout objet qui doit être jeté car il est cassé, usé, contaminé, ou abîmé d'une manière ou d'une autre, pour certains, sera qualifié de déchet, mais ne sera pas nécessairement considéré comme tel par les autres.

D'après le code français de l'environnement, le déchet est ainsi qualifié façon essentiellement subjective, où l'acte ou l'intention du détenteur de se défaire/éliminer/abandonner importe plus que de savoir si l'objet est devenu impropre à l'usage, a perdu toute valeur économique ou présente un danger pour l'environnement [24].

#### **II.3.2.1 Origine de la production des déchets**

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites.
- Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième.
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet.
- Économiques : les produits en une durée de vie limitée.

- Écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.
- Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets [24].

## II.4 Déchets de brique

### II.4.1 Introduction

Le déchet de brique est appelé aussi « Briquillons », « Chamotte » ou « Brique concassé ». Il y'a pas beaucoup de données sur l'emploi de déchet de brique, leur consommation universelle de matière première (Brique), leur utilisation comme granulats du béton, en conséquence leur génération en quantités énormes.

Les recherches en Algérie sur les matériaux est presque rare. Lorsqu'on dit « Briquillons » on réfère aux briques morcelées provenant à cause de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de brique. « Chamotte » est la brique cuite broyée ou concassée. (Barkat Abderezak, 2006).

(Harbi. R, 2009) montre que les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions [25].

## II.5 La brique

### II.5.1 Définition

La brique est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée-la température defrittage.

Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction [26].

### II.5.2 Technique de la production de la brique

La production de la brique, est un travail complexe qui permet une production en grande quantité à des coûts raisonnables, demande une parfaite organisation ; c'est la raison qui, sans doute, explique qu'il a fallu attendre la naissance, au troisième millénaire avant J-C,

Pour une société organisée, on envisage de cuire des briques, alors que la céramique existait depuis l'époque néolithique. (Manuel de sensibilisation, 2006).

Il y a cinq étapes se succèdent dans la fabrication de la brique :

\* **L'extraction de la terre**, jusqu'à la fin du XIXe siècle où furent inventées les premières excavatrices motorisées, se faisait à la pelle.

\* **La préparation de la pâte** : mélange d'une ou plusieurs terres argileuses, ou de limon, avec de l'eau et des éléments dits "dégraissants", comme le sable.

\* **Le façonnage de l'antiquité**, on voit apparaître le moule, cadre de bois avec ou sans fond, aux dimensions de la brique à produire.

\* **Le séchage est, en effet**, indispensable de faire sécher doucement la brique de terre crue, avant de la cuire. Ce séchage se fait actuellement en séchoir artificiel, mais autrefois, la brique était mise à sécher sous de vastes hangars à l'air libre.

\* **La cuisson est l'opération la plus délicate**, la brique est mise à cuire dans un four [25].

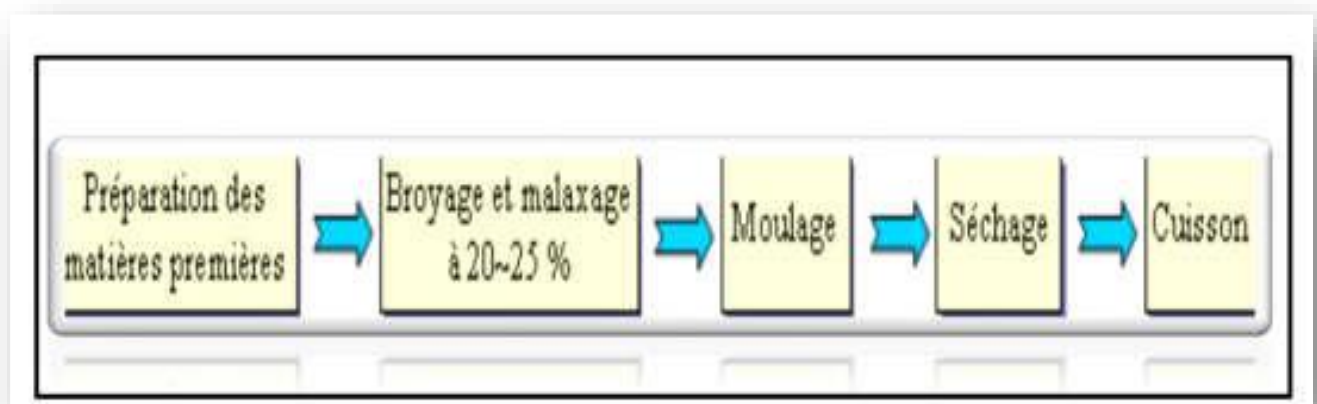


Fig. II. 3 Schéma de fabrication des briques [27].

### II.5.3 Les caractéristiques physico-chimiques de la brique

Selon (Manuel de sensibilisation, 2006), les types d'argiles sont dans les briques cuites. Ils sont : les illitiques (couleur marron gris à rouge) les kaoliniques et les bravaistiques (couleur orange à rose).

Les éléments métalliques sont aussi trouvés dans la pâte argileuse.

Ces éléments dits « réfractaires » le degré de fusion est très supérieur à celui de la température (800° à 1000°) des fours à brique : la silice (SiO<sub>2</sub>) et de l'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Les déterminants de la couleur basique de la brique (les colorants) ce sont :

1- L'oxyde de fer.

2- L'oxyde de titane.

3- L'oxyde de manganèse.

Les fondants aussi ce sont à deux types :

1- Les oxydes alcalins (oxyde de sodium et potassium)

2- Les oxydes alcalino-terreux (chaux et magnésie)

Selon (Aissa Salem, 2016), la composition minéralogique de déchet de brique rouge a été déterminée par fluorescence X. Le tableau 1.1 présente les résultats obtenus qui mettent en évidence des pourcentages élevés en silice et aluminium [25].

**Tableaux II. 1 Composition minéralogique de brique [25].**

Éléments	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P. F
Pourcentage %	6.06	66.52	14.20	5.45	2.35	0.73	2.09	0.73	/	1.00

### II.5.4 Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités.

Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné.

Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [28].

## II.5.5 Types des briques

### II.5.5.1 Brique de terre cuite

La brique de terre est un matériau de construction issu d'un savoir-faire artisanal ancien. Il s'agit principalement d'un mélange d'argile et de sable moulé puis cuit à 1 200 degrés. La couleur jaune ou rouge de la brique en terre cuite s'explique donc par la présence de l'argile [29].

**Tableaux II. 2 caractéristique des Brique creuses [30].**

<b>Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1750-2050</b>
<b>Absorption d'eau</b>	<b>&lt;15%</b>
<b>Isolation acoustique</b>	<b>41-58Db</b>
<b>Résistance à la compression</b>	<b>4-8 MPa</b>



**Fig. II. 4 Brique de terre cuite .**

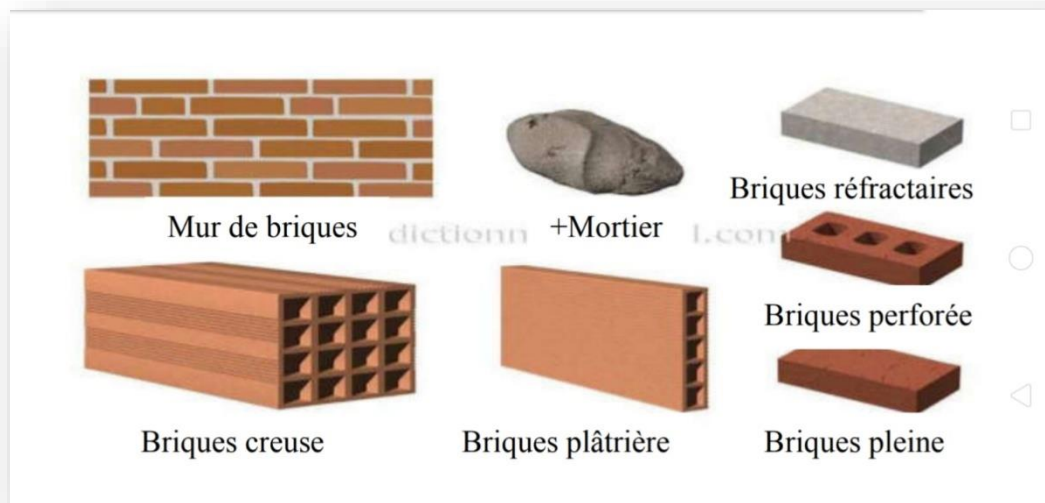


Fig. II. 5 Briques creuses et pleines.

➤ **Les usages de la brique en terre cuite :**

On va retrouver différents modèles de briques en terre cuite, adaptées à tous les usages

**La construction d'un mur intérieur :** on peut utiliser n'importe quelle brique de terre cuite pour construire un mur en intérieur. C'est généralement les briques plâtrières qui seront utilisées à cet effet.

- ✓ **La construction d'un mur extérieur :** pour les murs extérieurs, on utilisera plus volontiers des briques pleines en terre cuite, mieux adaptés aux intempéries.
- ✓ **La construction d'un mur porteur :** on peut également utiliser des briques pleines pour construire les murs porteurs d'une maison.
- ✓ **Le parement :** on peut enfin trouver des briques en terre cuite de parement, qui vont tout simplement servir à orner un mur et à lui donner un aspect traditionnel[31].

➤ **Les avantages des briques en terre cuite :**

Si ce matériau de construction est encore utilisé aujourd'hui, parfois au dépit de briques plus sophistiquées, comme la brique monomur (que nous vous présentions il y a peu), c'est tout simplement car elle a de très nombreux avantages.

Citons ensemble l'intérêt d'utiliser des briques en terre cuite pour vos constructions :

- ✓ **Une bonne isolation** : la brique en terre cuite est naturellement isolante. Associée à des isolants de qualité, elle vous offrira une maison très agréable à vivre.
  - ✓ **Un matériau naturel** : contrairement à d'autres briques, la brique en terre cuite est artisanale et écologique. Sa production est en effet très peu polluante. Il s'agit d'ailleurs d'un matériau sain et respirant.
  - ✓ **Une pose facile** : monter un mur en briques est facile et rapide, et à la portée de n'importe quel bricoleur expérimenté.
  - ✓ **Un matériau esthétique** : enfin, la brique en terre cuite offre un côté naturel et très esthétique à n'importe quelle maison. Sans compter qu'elle n'a pas besoin d'un enduit.
- [31]

➤ **Les différents modèles de briques en terre cuite :**

Au moment de vos achats, il faut bien différencier les différents modèles de briques.

De manière générale, vous aurez le choix entre les briques en terre cuite suivantes :

- ✓ **La brique monomur** : est une brique particulièrement épaisse, idéale pour la construction d'une maison. Elle est à la fois solide et particulièrement isolante.
- ✓ **La brique de cloison** : est une brique assez légère, qui permet de concevoir des murs de cloisons, mais en aucun cas des murs de façade.
- ✓ **La brique de parement** : est un revêtement mural décoratif, qui permet d'imiter l'apparence de la brique.
- ✓ **Les briques étirées ou pressées** : sont des briques en longueur, très efficaces pour construire une maison.
- ✓ **Les briques moulées à la main** : sont des briques artisanales, particulièrement coûteuses.

Le choix d'une brique de terre cuite, vous l'aurez compris, dépend clairement de votre besoin initial (mur de clôture, cloison, construction d'une maison, etc.) [31].

➤ **Les types de brique en terre cuite**

Il est important de choisir vos briques selon le type de travaux envisagé :

- ✓ **Les briques plâtrières**, par exemple, conviennent à la construction d'un mur intérieur.
- ✓ **Les briques pleines en terre cuiteront** quant à elles adaptées à la construction d'un mur extérieur ou à la construction d'un mur porteur.

- ✓ **Les briques en terre cuite de parement** sont différentes. Elles servent à décorer un mur dans le but de lui donner un aspect particulier.

Les briques en terre cuite sont très utiles, tant sur le plan fonctionnel que décoratif. Mais il reste très important de choisir le modèle de brique qui convient le mieux à vos attentes. [31]

### **II.5.5.2 Brique silico-calcaire**

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formées d'un mélange des matériaux siliceux finement broyés et de la chaux hydratée  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  appelées chaux grasse ou de ciment portland soumis généralement à un traitement à l'autoclave [26] [32].

#### **➤ Avantage des briques silico-calcaires :**

Les briques calcaires ont généralement une bonne résistance au gel, et leur résistance au gel leur permettant de résister à des températures allant jusqu'à 550°C.

- ✚ Les briques silico-calcaires et les briques cuites sont construction ininflammable.
- ✚ L'utilisation des briques silico-calcaires est généralement la même que celle des briques en terre cuite, mais il existe certaines restrictions et l'utilisation de briques silico-calcaires est interdite. Pour la pose de fondations et plinthes car moins étanches que les briques d'argile.[33].

### **II.5.5.3 Brique de l'adobe**

L'adobe est un matériau de construction composé de terre, d'eau et de chaume. Cette Le sol utilisé doit contenir un certain pourcentage d'argile et de sable. Chaque élément de Le mélange a fonctionné. Le sable réduit la probabilité de microfissures dans les mottes, L'argile lie les granules, tandis que le chaume fournit une qualité de Flexibilité globale.

Il existe aujourd'hui des unités de production industrialisées produisant jusqu'à 20 000 blocs par jour. [30].

### **II.5.5.4 Le pisé**

Très sablonneux, avec des graviers et des cailloux, presque pas d'argile (10% à 20%), le terrain est Conserver plus souvent à son humidité naturelle (s'il y a trop d'humidité, la teneur en humidité changera) sec ou trop humide) puis couler dans le coffrage et compacter (utiliser un pilon à la main) jusqu'à ce qu'il forme un béton mince et terreux qui durcit en séchant. Modèle traditionnellement en bois[26] [30].

### **II.5.5 Briques réfractaires**

Une brique réfractaire est une brique qui conserve ses propriétés mécaniques à très haute température. Les produits réfractaires résistent, par nature, aux températures élevées et sont utilisés pour la réalisation et la réparation de fours à bois, de hauts fourneaux, de poches métallurgiques, de chaudières, chaufferies, brûloirs, foyers, feux ouverts, et conduits, de murs périphériques d'installations nécessitant la conservation de chaleur et la résistance aux températures élevées[34].

### **I.5.6 Types de briques réfractaires**

Les types des briques réfractaires sont :

1. Briques ordinaires.
2. Briques poreuses.
3. Briques d'argiles creuses à perforations[35].

## **II.6 Valorisation des déchets en Algérie**

La valorisation ou revalorisation des déchets est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet matériel en un autre produit, matériel ou énergétique.

Le recyclage des déchets en Algérie est une opportunité importante à saisir sur le plan environnemental, les déchets ménagers représentent environ 13,5 millions de tonnes par an, soit Près de la moitié des kilogrammes par personne et par jour peuvent être recyclés.

Environ 45 % ou 6,1 millions de tonnes de ces déchets sont recyclables. Sur les 6,1 millions de tonnes, 1,8 million de tonnes de papier, 1,22 million de tonnes de plastiques, 1,6 million de tonnes de textiles et 300 000 tonnes de métal.

Celles-ci valent environ 23 milliards de DA. Il est dépôt réel. Cependant, seules 247 micro-entreprises fonctionnaient pendant la reprise.

Déchets, seuls 5 à 6 % de ce potentiel sont recyclés, dont une partie est exportée. Nation forte dépendance au développement des industries de récupération et de recyclage. Elle est au cœur même le Programme National de Gestion des Déchets Municipaux (PROGDEM), qui constitue Le principal référentiel pour la gestion et le recyclage des ordures ménagères.

Il existe deux (02) Industries : Classiques (Plastiques, Papier, Métaux, Textiles, Verre, Bois et Matériaux) organiques) et complexes (pneus usagés, huiles usagées, batteries et autres déchets équipement électrique et électronique[36].

## **II.7 Conclusion**

A travers cette recherche bibliographique, on a remarqué que plusieurs travaux de recherches ont confirmé que la brique de terre crue est utilisable vu ses significatives propriétés, de plus ce travail montre que la construction en terre crue a plusieurs avantages pour réaliser des différents édifices. On a cité aussi les différents types d'argiles et leurs caractéristiques.

Le présent chapitre a mis l'accent sur les déchets de brique rouge (**DB**) et son utilisation dans le mortier.

# Chapitre III

## Caractérisation des matériaux utilisés et procédures

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente les différents matériaux utilisés ; ainsi que leurs Caractéristiques, entrant dans la composition des mortiers à confectionner et cela par des essais au laboratoire, ces matériaux sont purement locaux.

### III.2 Les matériaux utilisés

- ✚ Sable préparé selon la norme [EN 196-1].
- ✚ Eau de gâchage (eau de robinet).
- ✚ L'ajout : déchet de brique (DB) Groupe Souyeh de Hammam Dhalàa wilaya de M'SILA.
- ✚ Le ciment CRS de la cimenterie LAFARGE de Hammam Dhalàa wilaya de M'SILA.

#### III.2.1 Le sable

Le sable utilisé dans notre travail est issu d'une carrière sise à oued souf, qui est situé au milieu du désert du nord-est Algérien ; afin de contre-pôler la qualité du sable, plusieurs essais ont été effectués à savoir :

##### III.2.1.1 Masse volumique

###### a. La masse volumique spécifique (absolue) :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105°C, notée et exprimée en (g /cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>).

###### ➤ But de l'essai :

Mesurer la masse volumique absolue d'un gravier et d'un sable de carrière et la comparer avec la valeur théorique donnée.

###### ➤ Mode opératoire :

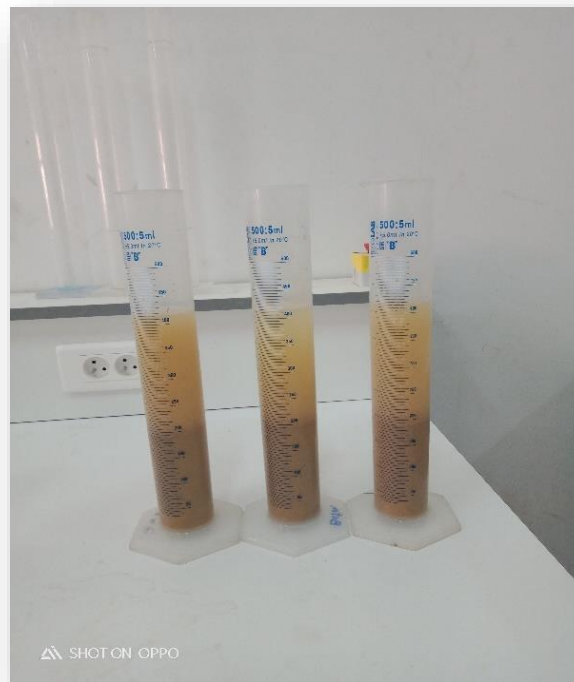
- On remplit une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
- On pèse un échantillon sec m de granulats (environ 100g) et l'introduire l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air. En suite on lit le nouveau volume V2.
- Calculer la masse volumique absolue :  $\rho = M / (V2 - V1)$ .

-Refaire la mesure 3 fois.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

**Tableau III. 1** Masse volumique absolue du sable D'OUAD SOUF

N°= D'essais	M(g)	V1 (cm <sup>3</sup> )	V2(cm <sup>3</sup> )	V1-V2 (Cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g /Cm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$ moy (g /Cm <sup>3</sup> )
1	100	200	240	40	2.5	2.53
2	100	200	238	38	2.6	
3	100	200	240	40	2.5	



**Fig. III. 1** La masse volumique absolue (Labo de génie civil M'SILA)

- ❖ **M** : masse de sable.
- ❖ **V1** : volume d'eau.
- ❖ **V2** : volume d'eau+ sable.

**b. La masse volumique apparente :(NFP 94-064)****➤ But de l'essai :**

Cet essai permet de déterminer la masse volumique apparente d'une corp(sable, gravier...), cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre les grains.

**➤ Principe de l'essai :**

On remplit un récipient dont on connaît le volume, en prenant grandes précautions pour éviter les phénomènes parasites provoqués par le tassement. On pèse ensuite l'échantillon en prenant soin de déduire la masse du récipient.

**➤ Matériel :**

- 1) Balance technique avec de précision.
- 2) Un récipient de 0.9L.
- 3) Un entonnoir.
- 4) Une petite règle plate en métallique.

**➤ Mode opératoire :**

Expression des résultats : la masse volumique :

- 1) Présentation du matériel et matériaux de l'essai.
- 2) Tamiser le sable dans le tamis des 5mm.
- 3) Peser le pote de  $V_r = 900\text{cm}^3$  de volume vide.
- 4) Remplir le pote par l'entonnoir avec une distance de chute de 15cm.
- 5) Aser la couche supérieure du pot à l'aide d'une règlette que l'on anime d'un mouvement de « va et vient », peser le récipient plein : soit  $m^2(\text{g})$  sa masse.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = (M2 - M1) / V$$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III. 2 Masse volumique apparente du sable D'OUAD SOUF.

N°= D'essai	M1 (g)	M2 (g)	M1-M2 (g)	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{appmoy}(g/cm^3)$
1	116	1460.4	1344.4	0.9	1.62	1.61
2	116	1450.6	1334.6	0.9	1.61	
3	116	1456.2	1334.2	0.9	1.61	



Fig. III. 2 La masse volumique apparente (labo de génie civil).

### c. Equivalent de sable [NF EN 933-8] :

#### ➤ Le but d'essai :

Cet essai, est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables utilisés pour la composition du béton.

L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normaliser permet de finir un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté du sable.

#### ➤ Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500g).
- Prendre une de 120g.
- Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère (1 cm).

- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontales en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant

en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2ème repère. Laisser ensuite pendant 20 minutes.

#### 1. Equivalent de sable visuel (ESV) :

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Mesurer également avec la règle la hauteur  $h_2$  comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = h_2 / h_1 \times 100 [\%]$$

#### 2. Equivalent de sable piston (ESP) :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit  $h_2$  la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = h_2 / h_1$$

Tableau III. 3 Equivalent de sable D'OUAD SOUF

N°= D'essai	H1 (mm)	H2 (mm)	ESV(%)	H' (mm)	ESP (%)
1	10.9	9.9	81.65	9.9	90.82
2	10.9	9.9	81.65	9.6	88.08
3	11	10	77.27	9.7	88.18

(ESV)<sub>moy</sub> = 90.48 %

(ESP)<sub>moy</sub> = 89.02 %

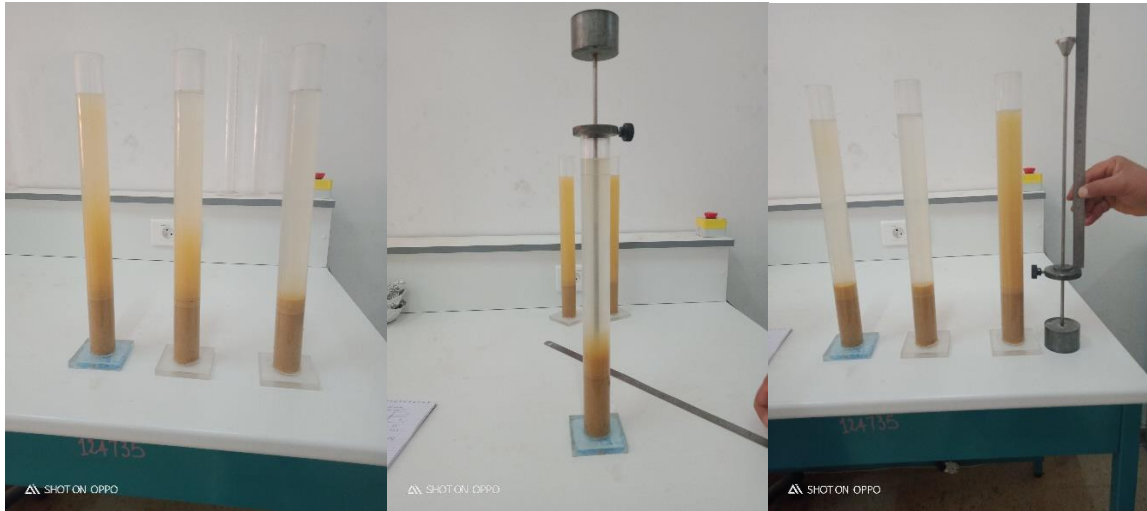
Donc :

Tableau III. 4 la classification de la nature sable en fonction d'E.S [37].

E.S.V	E.S. P	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	<b>Sable argileux</b> : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 ≤ ES ≤ 75	65 ≤ ES ≤ 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ ES ≤ 85	70 ≤ ES ≤ 80	<b>Sable propre</b> à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
85 ≥ ES	80 > ES	<b>Sable très propre</b> : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

D'après le tableau on constate que : 85 ≥ ES et 80 > ES

- Pour le sable D'OUAD SOUF : C'est un Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.



**Fig. III. 3** Repos de 20 min pour les éprouvettes. (Labo de génie civil M'SILA)

#### **d. L'analyse granulométrique :**

##### **➤ Définition :**

L'analyse granulométrique se propose de définir la répartition des grains constitutifs d'un sol selon leur dimension.

Ont étudié la granulométrie en tamisons le matériau sur une série normalisée de tamis à mailles carrés, les grains sans ainsi séparer selon leur taille.

##### **➤ Exécution de l'essai :**

On sépare les grains par tamisage sur la série de tamis disposés en colonne dans l'ordre décroissant (c'est-à-dire que l'ouverture de tamis décroît de haut en bas) comme suit :

On emboîte notre série normalisée Des tamis les uns sur les autres en s'assurant de l'ordre décroissant d'ouverture (la plus grande ouverture en haut jusqu'au plus petite en bas)

On met la série dans une tamiseuses mécanique, en verse lentement notre échantillon dans le tamis supérieur et on met notre tamiseur en marche pendant 5 minutes.

Après l'arrêt de la tamiseuse mécanique on pèse le refus de chaque tamis.

Tableau III. 5 Composition granulométrique du sable préparé.

Dimensions des mailles carrées (mm)	Refus partiels Ri en g	Refus cumulés Rn en g	Refus cumulés En% (réf. M1)	Tamises Cumulées %
5	0	0	0	100
2.5	15	15	0.75	99.25
1.25	74	89	4.45	95.55
0.63	408	497	24.85	75.15
0.315	1078	1575	78.75	21.25
0.16	387	1962	98.1	1.9
0.08	35	1997	99.85	0.15
Fond	3	2000	100	0

➤ **Module de finesse :**

On quantifie le caractère plus ou moins fin d'un sable par le calcul de son module de finesse MF.

C'est le centième de la somme des refus (exprime en %) des tamis suivants : fond, 0.08, 0.16, 0.315, 0.63, 1, 2.5, et 5 mm.

$$MF = \frac{\sum R_c}{100} \text{ coulées en \% des tamis (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - et 5)}$$

Où : **R<sub>c</sub>**: refus cumulés.

Où :

**RC**: Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le **Mf** des sables comme suit :

**Tableau III. 6 Classification du sable suivant les valeurs de module de finesse.**

Sable	Module de finesse	Refus sur les tamis 0.633 en%
Gros	3.4 ..... 2.24	50 ..... 75
Moyen	2.5 ..... 1.9	35 ..... 50
Fin	2.0 ..... 1.5	20 ..... 35

Pour le sable d'Oued Souf :  $Mf = 3.06$

Donc, c'est un sable gros.



**Fig. III. 4 Analyse granulométrique. (Labo de génie civil)**

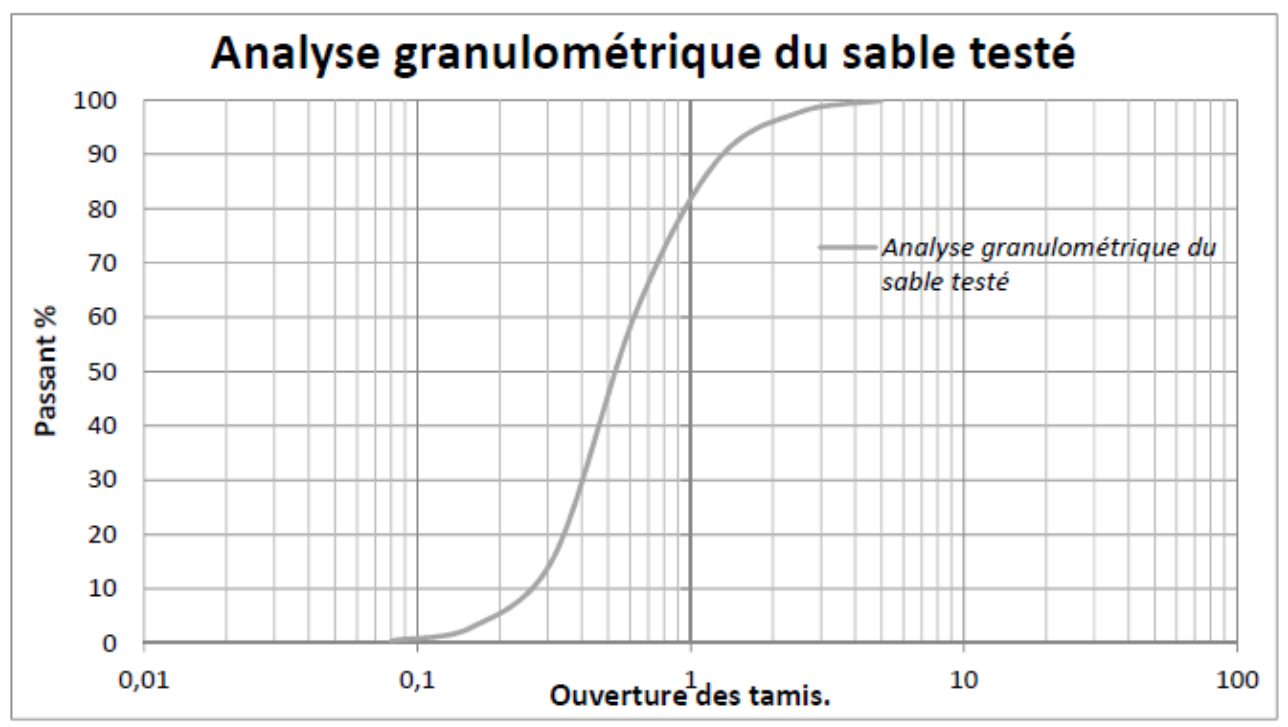


Fig. III. 5 Courbes granulométriques de sable

### III.3 Ciment

#### III.3.1 Le choix de ciment

On a utilisé le ciment Portland conforme à la norme (NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3) ; est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant. Un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé. Selon la (NA 442 v 2013) et la (EN 197-1II) est conforme à la norme nationale (NA 442 v) 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3% [38].

## III.3.1.1. Analyse chimique du ciment ( EN 196-2)

Tableau III. 7 Composition chimique de ciment (LAFARGE Holcine M'SILA) [39].

Essai chimique	
SiO <sub>2</sub>	20.84
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.84
CaO	63.89
MgO	1.99
SO <sub>3</sub>	2.38
K <sub>2</sub> O	0.55
Na <sub>2</sub> O	0.06
Na <sup>2</sup> O <sub>eq</sub>	0.42
Cl	0.02
LOI à 950	1.61
LOI à 550	0.68
FCaO-Man	1.04

## III.3.1.2. L'analyse physico-mécanique (EN 196-1 &amp; NA 234)[39].

Tableau III. 8 Composition physico-mécanique de ciment (LAFARGE Holcine M'SILA) [39].

Essais physico-mécaniques	
R45 $\mu$	8.71
R90 $\mu$	0.83
SSB (cm <sup>2</sup> /g)	3287.51
M, V app (g/l)	1039.52
Exp	1.00
F2J	4.40
F7J	6.65
F28J	8.66
C2J	21.12
C7J	35.25
C28J	49.23
Prism Weight 02j	589.71
Prism Weight 07j	589.32
Prism Weight 28j	589.51

## III.2.1.3 L'analyse minéralogique DRX :

Tableau III. 9 Essais minéralogique DRX. (Lafarge Holcime M'sila) [39].

<b>Essais minéralogique DRX</b>	
<b>Alite_Sum</b>	<b>55.52</b>
<b>Belite_Sum</b>	<b>20.88</b>
<b>Alum_cubic</b>	<b>1.07</b>
<b>Alum_ortho</b>	<b>0.15</b>
<b>Alum_Sum</b>	<b>1.23</b>
<b>Ferrite</b>	<b>14.62</b>
<b>Lime</b>	<b>0.42</b>
<b>Portlandite</b>	<b>0.65</b>
<b>fCaO_XRD</b>	<b>0.91</b>
<b>Periclase</b>	<b>0.55</b>
<b>Quartz</b>	<b>0.08</b>
<b>Arcanite</b>	<b>0.42</b>
<b>Langbeinite</b>	<b>0.22</b>
<b>Aphthitalite</b>	<b>0.06</b>
<b>Gypsum</b>	<b>0.46</b>
<b>Hemi-hydrate</b>	<b>1.96</b>
<b>Anhydrite</b>	<b>0.06</b>
<b>Calcite</b>	<b>1.19</b>
<b>Dolomite</b>	<b>0.53</b>
<b>SO3_XRD</b>	<b>1.69</b>
<b>BFS_amorphous</b>	<b>1.36</b>
<b>BFSslag_total</b>	<b>1.36</b>
<b>Gypsum_XRD</b>	<b>3.12</b>

### III.4 L'eau de gâchage

Généralement dans l'utilisation du béton ou du mortier, nous pouvons utiliser tous les types d'eau (L'eau de rivière, l'eau de barrage, l'eau potable etc...), mais certains peuvent contenir des impuretés, ce qui conduit à la détérioration des propriétés du béton ou du mortier, et pour cette raison nous avons recours à l'analyse de l'eau[40].

#### III.4.1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée

La composition chimique d'eau du laboratoire de département du génie civil est établie au laboratoire de département de la chimie (M'sila). Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III. 10** Caractéristiques Chimique de l'eau de gâchage [41].

Les caractéristiques	La valeur
PH	7.71
Conductibilité	1745
Chlore Cl -	236.30 mg/l -
Sulfate SO <sub>4</sub>	349.60 mg/l
Magnésium Mg <sup>+</sup>	115.30 mg/l 2
Sodium Na <sup>+</sup>	Na néant 2

### III.5 Les ajouts

Les deux types d'additions récupérées de déchets de construction au cours de cette étude sont :

### III.5.1 Les déchets de brique

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



**Fig. III. 6 Déchets de brique**



**Fig. III. 7 Poudre de brique**

**Tableau III. 11 Composition chimique des déchets de brique broyés [42].**

Composant	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Teneur (%)	53,78	16,61	12,88	6,22	2,20	2,13	0,87	0,65

Tableau III. 12 Caractéristiques des déchets de brique broyés [42].

Caractéristiques	Forme	Couleur	Finesse	Dosage recommandé
Résultats	Poudre	Rouge brique	3000 cm <sup>2</sup> /g	10% à 50%

## III.6 L'état frais

### III.6.1 Consistance de ciment (CRS)

#### III .6.1.1 La prise (EN 196-3 & NA 230)

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée.

Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il se fait priser[43].

Le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique, se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance ( $d = 6 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ ) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment[43].

De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau

**Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tels :**

- ❖ La nature du ciment.
- ❖ La finesse de mouture du ciment : plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise est court.
- ❖ La température ; alors qu'à zéro degré la prise est stoppée, plus la température ambiante est élevée plus la prise est rapide, pour un ciment donné le début de prise sera de 18 heures à 2 °C, de 5 heures à 10 °C, de 3h 30 à 20 °C et de 30 min à 35 °C

- ❖ La présence de matières organiques dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise.
- ❖ L'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise.

En fonction de leur classe de résistance, les normes spécifient un temps de prise minimum qui est, à la température de 20 °C, de :

**-1 h 30 pour les ciments de classes 35 et 45.**

**-1 h pour les ciments des classes 55 et HP.**

Il est à noter que pratiquement tous les ciments ont des temps de prise largement supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2 h 30 à 3 h pour la majorité des ciments[27].

### III.6.1.2 Le durcissement

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment, Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température, ce qui conduit notamment en préfabrication, à chauffer les pièces pour lesquelles on désire avoir des résistances élevées au bout de quelques heures.

#### ➤ La prise et durcissement des constituants du clinker :

Pour mieux comprendre les propriétés des ciments portland, il est intéressant d'étudier comment réagit en présence d'eau chacun des constituants anhydres du ciment pris isolément.

Le graphique ci-dessous montre le développement des résistances dans le temps des constituants purs du ciment portland.

## III .7 Essai de consistance

La consistance de la pâte de ciment (pourcentage d'eau/pâte pure) caractérise sa fluidité.

Pour apprécier la consistance des trois types de ciments composés utilisés avec leurs finesses de mouture différente, on a effectué l'essai avec l'appareil de Vicat conformément à la norme EN-196-3.

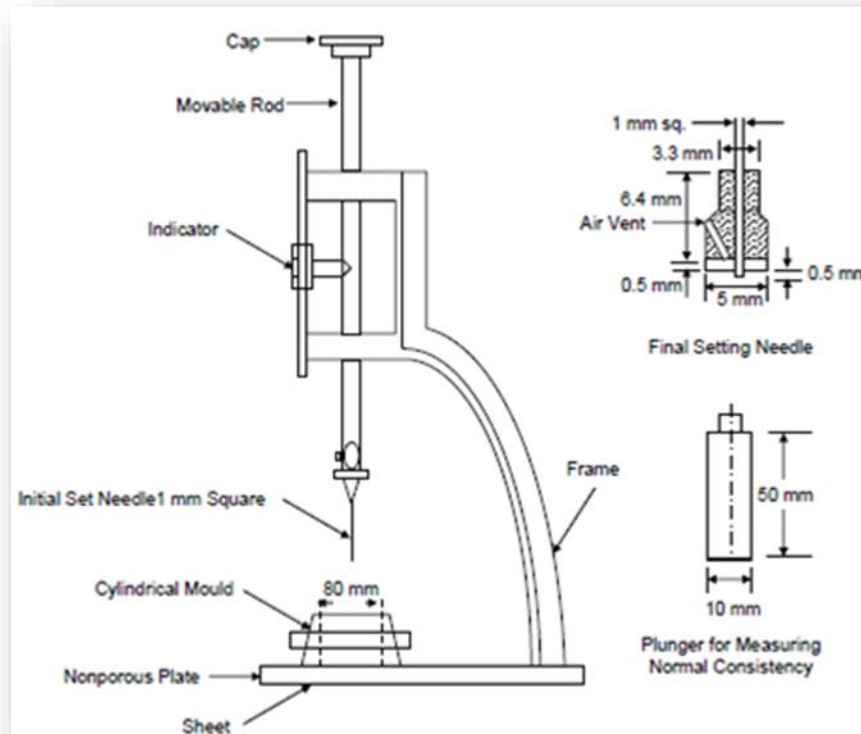


Fig. III. 8 appareil de Vicat

### III.7.1 Objectif de l'essai

Déterminer la quantité optimale d'eau de gâchage qui définit une telle consistance dite « Consistance normalisée ». La consistance de la pâte de ciment est une caractéristique qui évolue au cours du temps.

### III.7.2 Principe de l'essai

La consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement, dans la pâte, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide.

### III.7.3 Equipement nécessaire utilisé

Une salle maintenue de manière continue à  $20^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$  et à une humidité relative supérieure ou égale à 50% ;

Un malaxeur décrit dans la norme EN 196-1.

Un appareil de Vicat muni d'une sonde d'un diamètre  $\varnothing = 10$  mm d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et de diamètres 70 et 80 mm ; d'une tige coulissante équipée sur laquelle vient se placer la sonde (la masse totale « tige + sonde » est de 300 g). Une plaque en verre qui sert comme base pour le moule.

Une graduation (réglable en hauteur) permet de mesurer la distance qui sépare le dessous de la sonde de la plaque de base.

Une balance précise à 1 g près.

### III.7.4 Conduite de l'essai

- ✓ Peser 500 g de ciment 125 g d'eau
- ✓ Verser l'eau dans le récipient du malaxeur puis ajouter le ciment en un temps compris entre 5 et 10. La fin du versement du ciment donne le temps 0 ;
- ✓ Ajouter 500 g de ciment à l'eau, en un temps compris entre 5 et 10 s. La fin du versement du ciment donne le temps 0 ;
- ✓ Mettre immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 s ;
- ✓ Arrêter le mouvement, démonter le batteur et récipient, racler les parois du récipient puis remonter le tout en une durée d'environ 15 s ;
- ✓ Remettre le malaxeur en marche pour une durée de 90 s à vitesse lente ;
- ✓ Remplir le moule tronconique de la pâte fabriquée et agrafer la face supérieure ;
- ✓ Remplir le moule tronconique de la pâte fabriquée et agrafer la face supérieure ;
- ✓ Placer le moule et son support sur le socle de l'appareil
- ✓ Immobiliser la sonde au contact de la pâte ;
- ✓ Régler l'index des graduations au point 0 Libérer la partie mobile sans vitesse initiale.
- ✓ La sonde s'enfoncera plus ou moins profondément dans la pâte alors dans la pâte.
- ✓ Noter l'indication de l'index sur la graduation après immobilisation de la partie mobile si l'épaisseur mesurée est supérieure à 7 mm ; il n'y a pas assez d'eau si l'épaisseur mesurée

est inférieure à 5 mm ; il y a trop d'eau la pâte sera de consistance normalisée si l'épaisseur  $d = 6 \text{ mm} \pm 1$ , Essais de prise :

### III.8 Etat durci

## III.9 Fluidité du mortier

### III.9.1 Caractérisation des différents mortiers à l'état frais

Les essais qui ont été réalisés sur le mortier à l'état frais dans ce travail sont : Essai d'affaissement et la masse volumique

## III.10 Préparation du mortier

### III.10.1 Composition du mortier

Ce mortier est réalisé conformément à la norme (EN196-1).

- ✓ Les proportions en masse doivent être les suivantes : une partie de ciment ; trois parties de sable  
Préparé et une demi partie d'eau (rapport eau/ciment=0.50).
- ✓ Un gâchage pour trois éprouvettes doit être constituée de  $(450\pm 2)$  g de ciment.  $(1350\pm 5)$  g de sable et  $(225\pm 1)$  g d'eau.

**a. Malaxage du mortier**

**Fig. III. 9 Malaxeur semi-automatique de mortier (labo de génie civil M'SILA).**

- ✓ On Pese le ciment et l'eau au moyen de la balance. Lorsque l'eau est mesurée en volume. Elle doit être introduite avec une précision de  $\pm 1$  ml.
- ✓ On malaxe chaque gâchage de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur.
- ✓ Le chronométrage des différentes étapes du malaxage s'inscrit entre les moments de lames en marche et de l'arrêt du malaxeur et il doit être respecté à  $\pm 2$ s.
- ✓ Le mode opératoire de malaxage doit être le suivant :
  1. introduire l'eau et le ciment dans le récipient. En prenant soin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment.
  2. dès que l'eau et le ciment entre en contact. On met le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lance le chronométrage des étapes du malaxage de plus. Enregistrer le temps de démarrage à la minute près. Comme étant le temps zéro ; après 30s de malaxage, introduire régulièrement tout le sable pendant les 30 secondes suivantes.Dans le cas de la préparation des trois éprouvettes 4 x 4 x 16, les quantités sont respectivement les suivantes :

**b. Préparation d'éprouvette**

Les éprouvettes doivent être de forme prismatique et mesurer (40x40x160) mm



**Fig. III. 10** Préparation d'éprouvette (Labo de génie civil M'SILA)

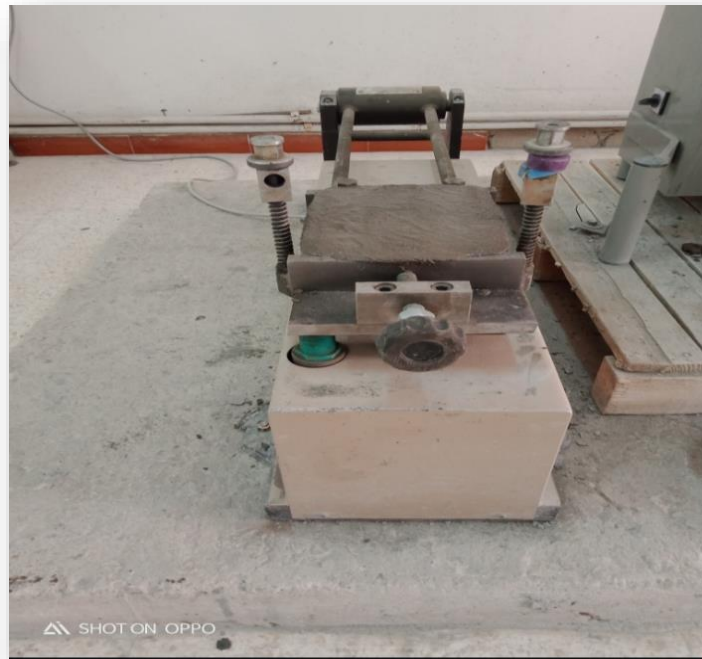
**c. Moulage des éprouvettes**

Nous avons moulé l'éprouvette immédiatement après la préparation du mortier. Le moule et la hausse étant solidement sur la table à chocs.

- ✓ Préparer les moules des dimensions 40x40x160mm convenables, avec la quantité du mortier.
- ✓ Huiler les moules et vérifier leurs serrages ;
- ✓ Placer les moules sur une table vibrante ;
- ✓ Remplir les moules par le mortier, l'exécuter en deux couches ;
- ✓ Compacter le mortier à l'aide d'une table chocs. Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule ;
- ✓ Conserver les moules dans l'humidité jusqu'au démoulage ;
- ✓ Démouler les moules après 48 heures de leur confection Conservation des éprouvettes :

**d. Conservation des éprouvettes :**

Après 48 h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans l'eau. Le temps de conservation dans l'eau est 7 jours, 14 jours et 28 jours.



**Fig. III. 11** Agitateur d'éprouvettes (table à choc). (Labo de génie civil M'SILA)



**Fig. III. 12** Aplanissement des éprouvettes (Labo de génie civil M'SILA)



Fig. III. 13 éprouvettes après le moulage (4\*4\*16) cm<sup>3</sup>

### III.10.2 Propriétés mécaniques

#### a. Essai de rupture par flexion : (EN 196- 1, 2006).

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à section semi-cylindrique de 10mm de diamètre, distant de 100 ou 106.7 mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une force latérale de démoulage, et un troisième appui de même diamètre, équidistant de deux premiers et transmettant de la charge  $F$ , pour faire une répartition uniforme des efforts sur

l'éprouvette, deux des appuis doivent pouvoir légèrement tournés autour de leur centres, dans le plus vertical perpendiculaire aux axes des éprouvettes .

**La résistance à la flexion est calculée suivant la formule**

- $R_f = 3PL / 2bh^2$  [KgF/cm<sup>2</sup>].
- $P$  : force appliquée en [Kgf].
- $b$  : largeur de l'éprouvet
- $h$  : hauteur de l'éprouvette.
- $L$  : distance entre les appuis (cm).

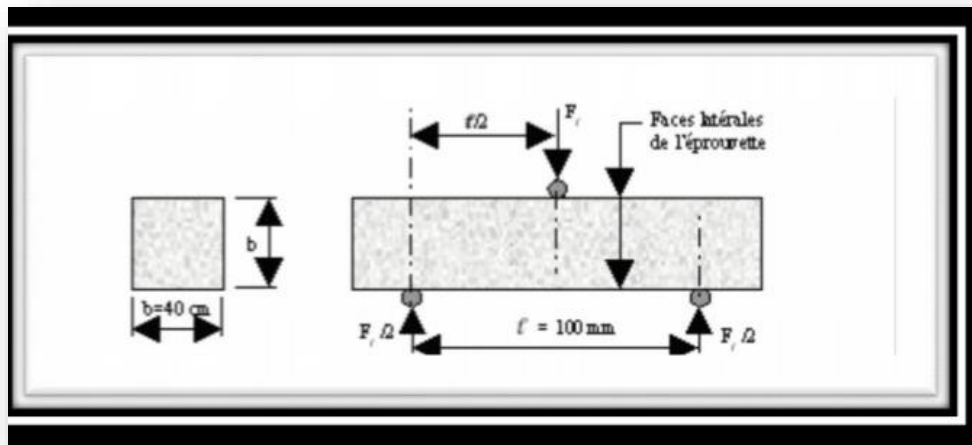


Fig. III. 14 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.



Fig. III. 15 l'appareil de résistance à la flexion

**b. Essai de rupture par compression : (EN 196- 1, 2006) [2,5] :**

Chaque demi-échantillon est essayé en compression sur ces faces latérales de moulage, sous une section de  $4 \times 4 \text{ cm}^2$ , entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de  $40\text{mm} + 0.1\text{mm}$  de largeur, ces plaques sont en carbure de tungstène, la demi-échantillon est placée entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'au moins 1cm et que les arêtes longitudinales d'échantillons soient perpendiculaires à celle des plaques.

Les plaques sont guidées sans frottement appréciable au cours de l'essai, de manière à avoir la même projection horizontale, l'une d'elles peut s'incliner légèrement pour permettre le contact parfait, plaque – faces d'éprouvette[37].

La résistance à la compression est calculée suivant la formule :

$$R_c = F/S \text{ [KgF/ cm}^2\text{]}.$$

F : charge appliquée en Kgf. S : section latérale de l'éprouvette égale à 16 cm<sup>2</sup>

### III.10.3 Les propriétés physiques

#### a. Mesure le taux d'absorption d'eau :

EN 1097-6] Mesure du coefficient d'absorption d'eau».



Fig. III. 16 Essai d'absorption (Labo de génie civil M'SILA)

#### 1- Objet :

La présente norme a pour objet d'exposer la technique de la mesure du coefficient d'absorption d'eau des pierres calcaires.

#### 2- Méthode d'essai :

##### 2.1. Préparation des éprouvettes

2.2. Les éprouvettes sont de forme cylindrique, cubique ou prismatique.

Dans le cas des carottes, le diamètre minimal doit être de 50mm, et l'élançement de 1 à 4.

Avant tout essai, les éprouvettes sont séchées à la température de 80°C jusqu'à masse constante.

On considère que cette masse est atteinte lorsque l'écart entre deux pesées effectuées à une heure d'intervalle est au plus égale à 1/1000 (Généralement, il suffit de 15 heures à l'étuve pour éteindre cette masse). Par la suite la précision admise sur les pesées est de 1/1000.

## 2.2. Mode opératoire

On note la masse  $M_1$  (en gramme) de chaque éprouvette sèche. Au temps  $t$ , on place les éprouvettes dans l'eau potable jusqu'au quart de leur hauteur de façon que l'eau remonte perpendiculairement au lit de carrière. À  $[t+1 \text{ heures}]$ , on ajoute la quantité d'eau nécessaire pour que le niveau atteigne la moitié de la hauteur des éprouvettes.

À  $[t+22 \text{ heures}]$  on ajoute de l'eau jusqu'à ce que les éprouvettes soient complètement immergées. À  $[t+48 \text{ heures}]$ , les éprouvettes sont sorties de l'eau, rapidement essuyées à l'aide d'un chiffon ou d'une peau de chamois humide, puis pesées, soit  $M_2$  la masse (en grammes) de chaque éprouvette saturée d'eau à la pression atmosphérique.

## 2.3 Expression des résultats

L'absorption d'eau à la pression atmosphérique est  $M_2 - M_1$ .

Alors le taux d'absorption sera calculé à partir de cette formule :

- $Abs = (M_2 - M_1) / M_1$
- **Abs** : taux d'absorption.
- **M1** : masse d'éprouvette après l'étuvage.
  
- **M2** : masse d'éprouvette saturée d'eau.



**Fig. III. 17** l'appareil de résistance à la compression

### **III.11 Conclusion**

Ce chapitre explique les tests physiques et analyses chimiques menées dans cette recherche, pour donner une idée générale des principales propriétés des matériaux utilisés qui nous aident à formuler le mortier qui sera étudié dans le chapitre suivant.

# Chapitre IV

## Interprétation des résultats

## IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une combinaison des essais physiques et mécanique qui ont été effectués sur un mortier préparé à base de sable de dune en remplaçant 10% de ciment par 10% de poudre de brique rouge (DB), selon les différentes finesses (2800, 3500, 4000 et 4500 cm<sup>2</sup>/g).

## IV.2 Les formulations des mortiers étudiés

- MT0  $\implies$  Mortier témoin (sans ajout).
- MTF1  $\implies$  Mortier avec déchets de brique 10% (finesse 2800 cm<sup>2</sup>/g).
- MTF2  $\implies$  Mortier avec déchets de brique 10% (finesse 3500 cm<sup>2</sup>/g).
- MTF3  $\implies$  Mortier avec déchets de brique 10% (finesse 4000 cm<sup>2</sup>/g).
- MTF4  $\implies$  Mortier avec déchets de brique 10% (finesse 4500 cm<sup>2</sup>/g).

## IV.3 Présentation des résultats

### IV.3.1 Les propriétés physiques

Le rapport Eau/Ciment a été fixé pour le programme des essais sur mortiers [E/C, 225/450=0.5]

### IV.3.2 Ouvrabilité du mortier

#### IV.3.2.1L'affaissement de mortier

Tableau IV. 1 l'affaissement du mortier.

Les types du mortier	Affaissement du mortier (cm)
MT0	4,4
MTF1	4,2
MTF2	4,0
MTF3	3,7
MTF4	3,5

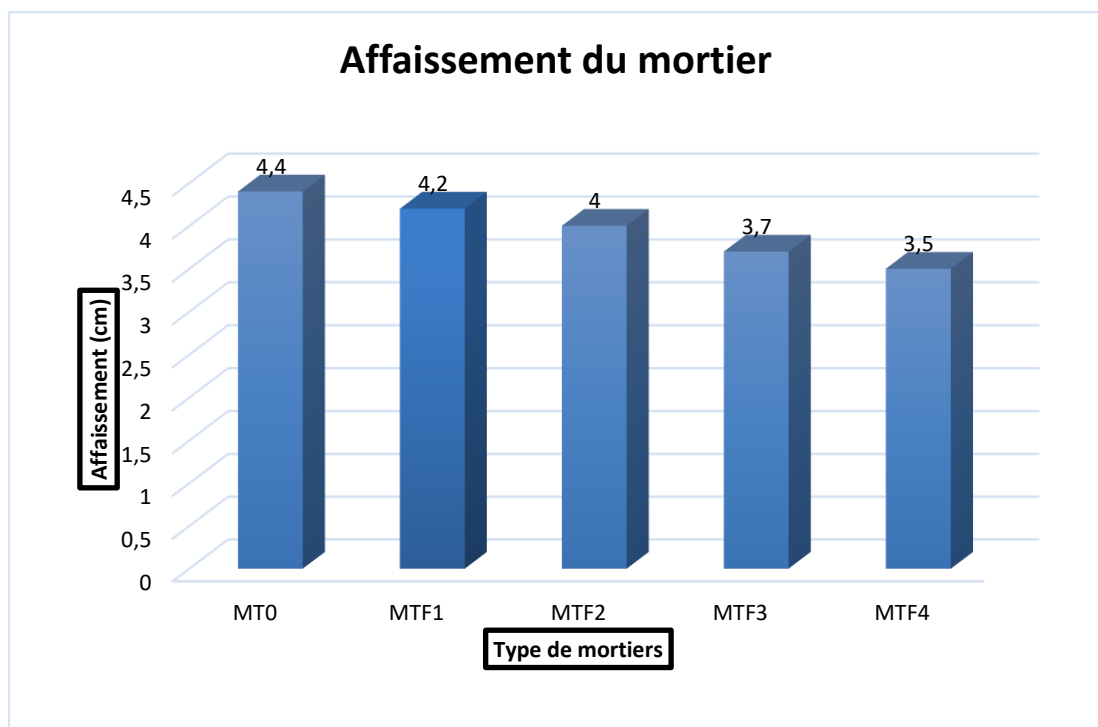


Fig. IV. 1 Evolution de l'affaissement des mortiers étudiés.

Les résultats expérimentaux obtenus montrent que l'augmentation de la finesse de la poudre de brique (DB) engendre une baisse de la fluidité du mortier ; cette diminution est minimale avec une valeur de 3.5 cm pour une finesse élevée de [MTF4, 4500 cm<sup>2</sup>/g]. Cependant, l'ouvrabilité du mortier avec [SSB]= 2800 cm<sup>2</sup>/g est maximale pour le mortier témoin de l'ordre de 4,4 cm.

Alors que, l'ouvrabilité du mortier avec surface spécifique de Blaine [SSB] de 2800 cm<sup>2</sup>/g MF1 est réduite par apport à celle du mortier témoin MT0 de valeurs de 4,2 et 4,4 cm, consécutivement. Ainsi, le MTF2 et MTF3 donnent un affaissement qui varie entre 3.7 – 4 cm ; une fluidité acceptable pour des mortiers qui facilite leur mise en application.

Cette réduction de la fluidité est liée à la grande finesse des DB qui démente une importante quantité de dépense en eau.

## IV.4 Etat durci

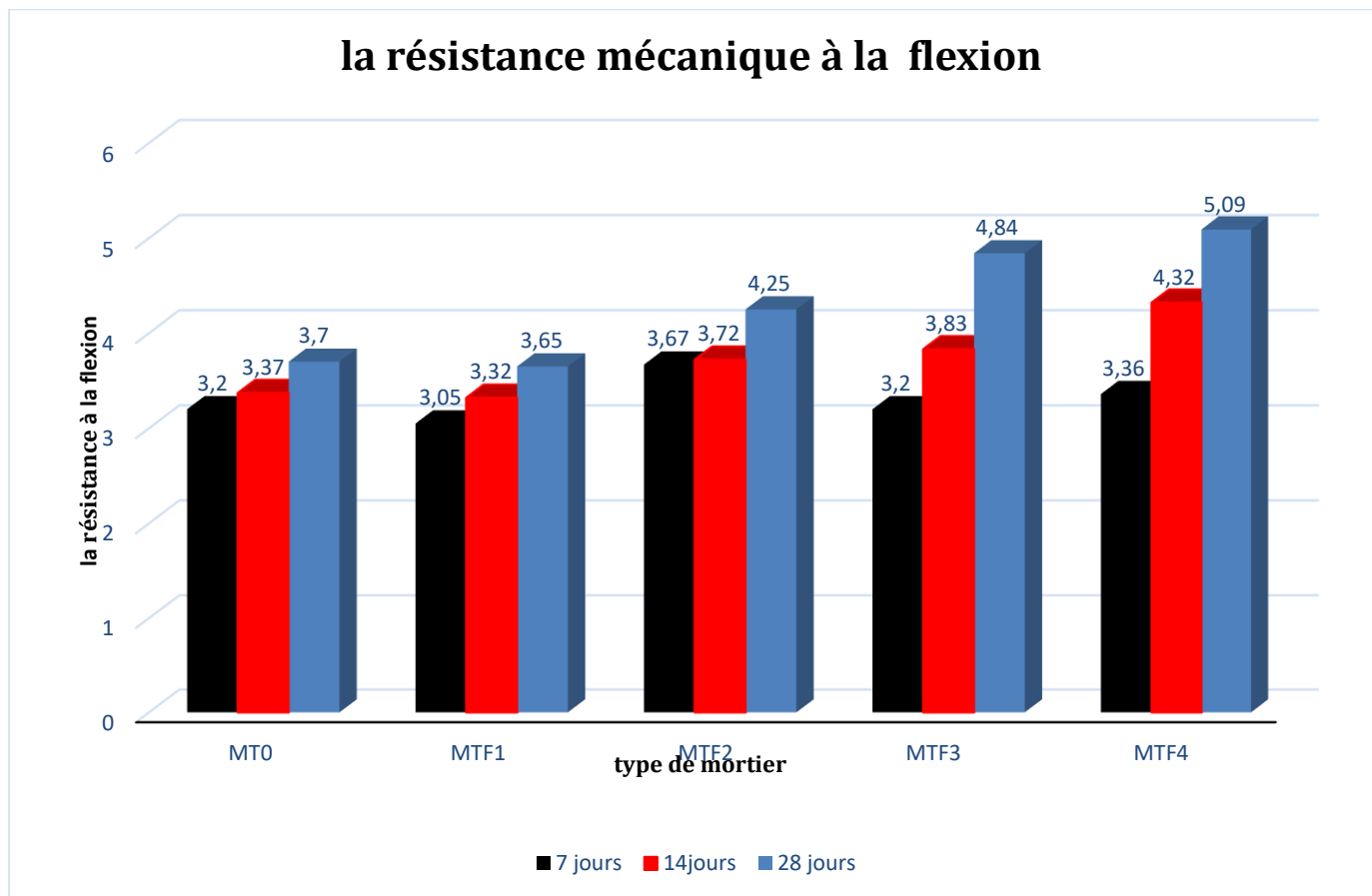
### IV.4.1 Propriétés mécaniques

La résistance mécanique à la flexion et la compression :

Les résultats des essais effectués sur les différents types des mortiers sont enregistrés dans le tableau :

**Tableau IV. 2 la résistance mécanique à la flexion**

Les types des mortiers	Résistance à la flexion (MPa)					
	7 j	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	14j	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	28 j	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>MT0</b>	<b>3.20</b>	<b>2.1</b>	<b>3.37</b>	<b>2.1</b>	<b>3.70</b>	<b>2.2</b>
<b>MTF1</b>	<b>3.05</b>	<b>2.1</b>	<b>3.32</b>	<b>2.1</b>	<b>3.65</b>	<b>2.2</b>
<b>MTF2</b>	<b>3.67</b>	<b>2.1</b>	<b>3.72</b>	<b>2.1</b>	<b>4.25</b>	<b>2.2</b>
<b>MTF3</b>	<b>3.20</b>	<b>2.1</b>	<b>3.83</b>	<b>2.1</b>	<b>4.84</b>	<b>2.2</b>
<b>MTF4</b>	<b>3.36</b>	<b>2.1</b>	<b>4.32</b>	<b>2.1</b>	<b>5.09</b>	<b>2.2</b>

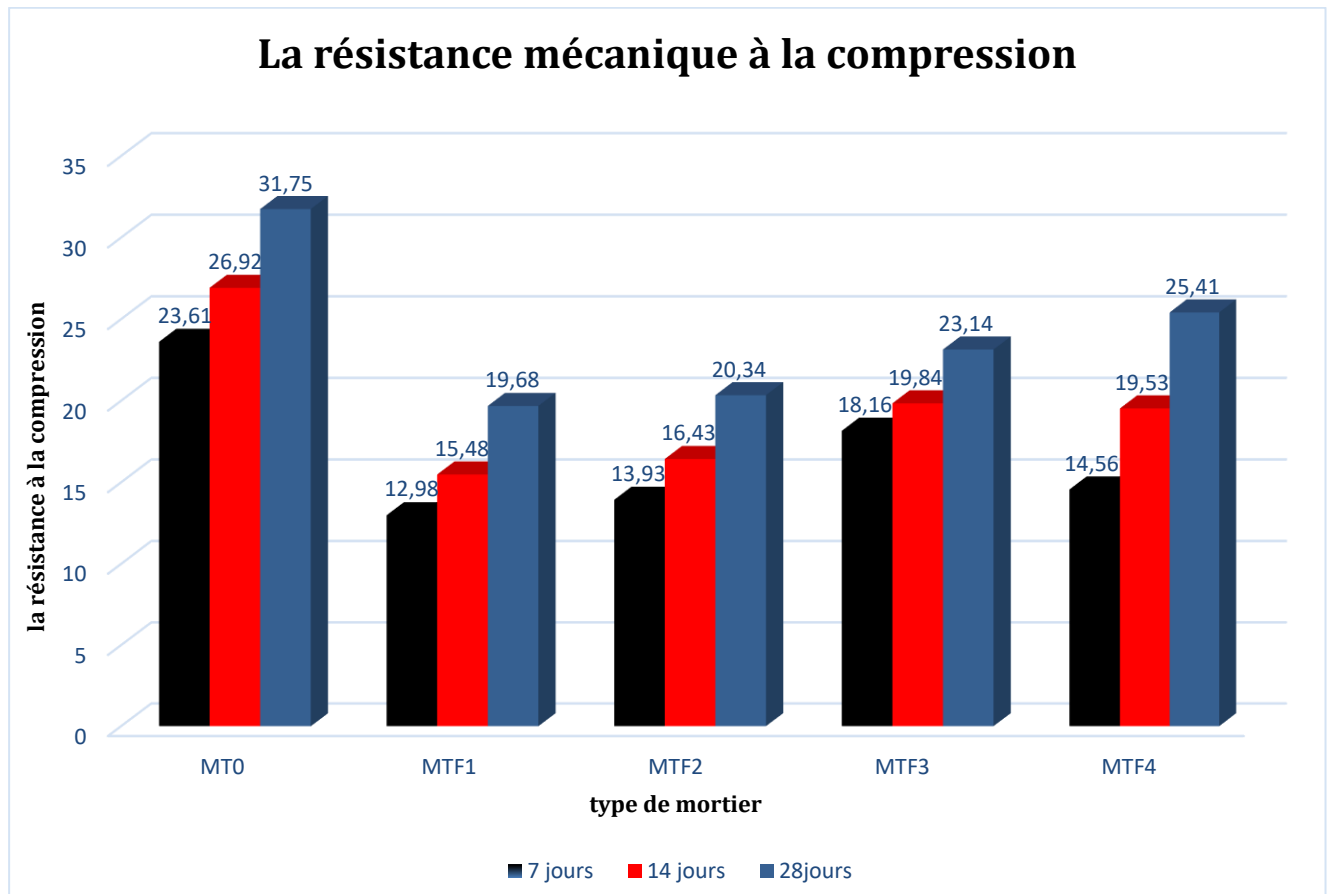


**Fig. IV. 2 Evolution de la résistance mécanique en flexion (Rf) des mortiers étudiés.**

- ❖ Les résultats expérimentaux obtenus de la résistance mécanique en flexion et endéveloppement progressif selon l'âge du mortier sont montrés(figure IV.2).
- ❖ Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la résistance à la flexion en fonction de la finesse du la poudre du déchet du brique à 7, 14 et 28 jours.
- ❖ En général, Nous avons remarqué une diminution de la résistance à jeune âge de 7 et 14 jours (3,67 MTF2]comme valeur la plus élevée et[3,32] MTF1]]comme valeur la plus basse à 7 joursEt 4.32MTF4 comme valeur la plus élevée et [3.32[ MTF1]]comme valeur la plus basse. Au bout de 28 jours, nous avons remarqué une augmentation significative de la résistance de [5,09[ MTF4]]et[4,84[ MTF3]], respectivement. Ainsi, nous pouvons dire que l'augmentation de la finesse de la poudre de brique rouge donne une plus grande résistance du mortier à la flexion, et c'est ce que nous avons conclu des résultats obtenus.

Tableau IV. 3 la résistance mécanique à la compression

Les types des mortiers	Résistance à la compression		
	7 jours	14 jours	28jours
MT0	23.61	26.92	31.75
MTF1	12.98	15.48	19.68
MTF2	13.93	16.43	20.34
MTF3	18.16	19.84	23.14
MTF4	14.56	19.53	25.41



**Fig. IV. 3 Evolution de la résistance mécanique en compression (RC des mortiers**

- ❖ Les histogrammes présents dans Figure IV.3 montrent les résultats des essais de la résistance mécanique à la compression en fonction de la finesse du déchet de brique (DB), et aussi en fonction de la durée de séchage qu'on prit dans nos essais à savoir 7 jours, 14 jours et 28 jours.
- ❖ On note d'après ces histogrammes que la résistance était plutôt faible pour 7 jours [12,98 [MTF1], 13,93 [MTF2], 14,56 [MTF4]] et aussi pour les 14 jours [15,48 [MTF1], 16,43 [MTF2]]. Et la résistance était élevée pour les 28 jours [37,35 [MT0], et 25,41 [MTF4], 23,14 [MTF3]].
- ❖ A travers le graphique et les résultats obtenus, nous avons remarqué une augmentation de la résistance du mortier en fonction de l'augmentation de la finesse de la poudre de brique rouge. En d'autres termes, plus la finesse de la poudre est élevée, plus la résistance de mortier est élevée. Ceci, peut être attribué à un effet physique de remplissage qui augmente la compacité du mortier d'une part ; d'autre part ce développement de la résistance est dû à

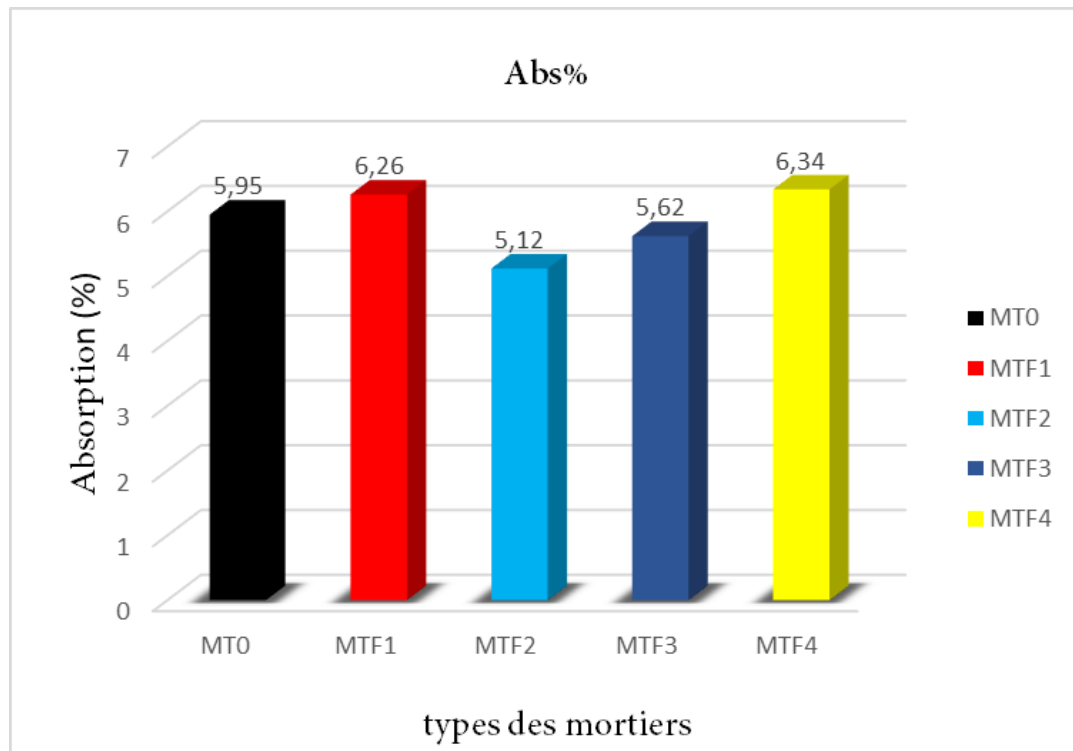
l'effet d'activation des DB qui peut justifier une activité pouzzolanique de cette poudre de brique à une finesse élevée (MF3 & MF4).

- ❖ Les résultats obtenus dans cette étude sont en concordance avec des travaux antérieurs quant à l'amélioration de la résistance à la compression à base de [DB].

#### IV.4.2 Absorption Abs (%) : (EN 1097-6)

Tableau IV. 4 Capacité d'absorption d'eau des mortiers étudiés.

Les types des mortiers	Absorption (%)		
	M1(g)	M2(g)	Abs%
MT0	530,00	561,55	5,95
MTF1	526,50	559,50	6,26
MTF2	535,50	562,95	5,12
MTF3	535,50	565,60	5,62
MTF4	530,00	563,65	6,34



**Fig. IV. 4 Absorption des mortiers étudiés à 28 jours.**

- ❖ Selon la figure IV .4, on peut constater qu'il ya un légère réduction de l'absorption des mélanges à base de déchets de brique (DB) par apport au témoin mortier MT(sans ajout).
- ❖ Les mortiers de DB se comportent d'une façon favorable vis-à-vis de la durabilité en comparaison avec un mortier de référence MT0 (sans déchets de brique). Surtout, le cas de finesse de  $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$  et celle de  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$  pour le mortier MF2et MF3, respectivement.
- ❖ Avec MTF2 enregistré le taux le plus faible d'absorption d'une valeur égale 5.12 % en comparaison avec les autres types de mortier. Ainsi, le taux d'absorption a diminué par rapport à MT0 (témoin) de 13,94% et de 18,21% par rapport à MTF1 'Finesse  $2800 \text{ cm}^2/\text{g}$ ). Ceci, peut êtreexpliqué par une bonne compacité des mortiers à grande finesse suite à l'effet physique de remplissage par des fillers qui agisse pour diminuer la porosité de la matrice cimentaire.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

Les travaux de recherche dans ce domaine sont encore peu avancés car ils demandent un investissement important, mais ils s'inscrivent dans une véritable volonté de développer des outils afin de promouvoir la récupération des déchets entre autres les déchets de construction tout en insistant sur ceux de la brique.

Le recyclage des déchets de brique (DB) réfractaires comme agrégat est moins couteux et ne demande pas pour son élaboration un matériel au des stations spéciales comme celles conçues à l'élaboration des granulats recyclés de déchets démolition et de construction(C&D).

Le recyclage des déchets inertes pour produire des granulats contribue à limiter :

- La mise en décharge de ces déchets
- Le déficit en granulats de la région
- Les transports des granulats vierges et les transports de déchets

L'étude des caractéristiques des mortiers à base de déchets de briques et leurs propriétés ainsi que l'analyse des résultats de la recherche bibliographique, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✚ Il est possible de valoriser les déchets de briques comme ajouts (poudre, DB) à différentes finesses. Le mortier élaboré à base d'ajouts des déchets de briques à différentes finesses (2800 ; 3500 ; 4000 ;4500 cm<sup>2</sup>/g). Avec un pourcentage fixe de (10 %) à fait l'objet de présente étude.
- ✚ Finalement, on peut conclure à l'issue de cette étude que l'introduction des déchets de brique (DB).
- ✚ Donne des résultats acceptables pour les propriétés à l'état frais : consistance et délai de prise.
- ✚ Cependant à l'état durci, le taux finesse de 4500 cm<sup>2</sup>/g demeure plus avantageux vis-à-vis du Comportement mécanique des mortiers à base de DB avec des performances jugées adéquates pour un remplacement du ciment CRS (25 MPa en compression et 5.9 MPa en flexion) ; ceci afin de concrétiser de objectifs environnementaux pour l'économie du clinker et la limitation du émissions CO<sub>2</sub>.

- ✚ Les mortiers de DB se comportent d'une façon favorable vis-à-vis de la durabilité en comparaison avec un mortier de référence MT0 (sans déchets de brique).

### **Perspectives et futurs travaux**

Il est préférable de parfaire cette étude de l'incorporation des déchets de brique (DB) comme substitution au ciment CRS à pourcentage optimale de 10 % par des essais sur la Microstructure des hydrates formés à l'aide des tests ATD, ATG et DRX pour une meilleure compréhension de l'effet de cet ajout actif et cerner son influence par cette activation mécanique à un taux élevé de SSB égale à 4500 cm<sup>2</sup>/g.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [1]. CNERIB ‘Valorisation des déchets de construction ‘ Rapport interne, Algérie, 2002. [13] Husson B., Escadeillas G., Carles-Gibergues, A. and Vaquier, A., ‘Stratégie
- [2] SAMAI SOUMIA, « Formulation d’un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle soumis à températures élevées ». Mémoire de master en génie civil, université de M’sila, 2015/2016.
- [3] site net : [www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com)
- [4].Site net [www.infoimmo2007-2013.com](http://www.infoimmo2007-2013.com)
- [5] Bouali Khaled, « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d’ajouts de déchets de briques réfractaires ». Mémoire de magister, Option Physique et Mécanique des Matériaux Université de Boumerdes 2013/2014.
- [6] BRIKI Leila. Mr. BELAGRAA Larbi, « Contribution à l’étude expérimentale et théorique des mortiers confectionnés avec un sable local et préparé à base d’additionminérales ». Université Mohamed Boudiaf - M’sila 2018/2019.
- [7]. R. DUPAIN, R. LANCHON, J-C. SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton» Edition
- [8] livres rédigés par les meilleurs experts BTP en construction génie civil et architecture.
- [9]. BENCHIHEUB Djihen « Contribuion a l’étude de la comprehension des phénomènes et mécanismes d’action des effets des additions sur le comportement des matris cimentaires » thèse de doctorat, Université 20 Août 1955-Skikda, Année 2018/2019.
- [10]. Melle DAD Celia « Etude comparative de l’utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés » Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Année 2018/2019.
- [11] GC1712, « Durabilité ET réparation du béton ». Département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [12] site net : [www.constructionlabrique.com](http://www.constructionlabrique.com) .
- [13] SYLVER.P, « science des matériaux ». Université pierre et marie curie 2005 -2006
- [14] « COMPORTEMENT DES MURS EN MAÇONNERIE SOUS SOLLICITATION » chapitre 1 page15 thèse de master en génie civil université de Tlemcen.
- [15] <https://www.travaux-maçonnerie.fr> › Résultats Web Les différents types de mortier - Travaux maçonnerie.
- [16] <https://www.systemed.fr/conseils-bricolage/maçonnerie-materiaux-produitsmelanges-et-proportions,6087.html>
- [17] Georges Dreux, Jean Festa, « Nouveau guide du béton et de ses constituants ». Paris.
- [18] Aissa Salem, « effet de l'activation mécanique de l'argile cuite (déchets de briques) sur le comportement mécanique du mortier ». Mémoire de master en génie civil, Université de M'sila, juin 2017
- [19] PDF réalisé par Zile-Marie Durosier Richard Bonneville. Edition Eyrolles, 2009.
- [20]. M. Nicot Pierre, « Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse 7 octobre 2008.
- [21] Mr HAMEL DJAMEL EDDINE & Mr BEN HAMMADI ILYES « Étude physico-mécanique d'un mortier à base de sable de dune et déchets industrielles (déchet de brique et déchet de plastique PET) » Mémoire de master en génie civil, université de Ghardaïa, Année universitaire 2020/202
- [22]. (BOUZIANE Nouzha. Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. Université Mentouri de CONSTANTINE., 2007.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [23].Mr. Boulouza Oualid.Mr. Grine Abdelbasset « Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécanique des mortiers »Mémoire de Master, Université AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira, Année 2018/2019.
- [24]. PIMIENTA., P & REMOND., "Bétons de déchets : prévenir les risques", CSTB magazine, n° 109, novembre 1997
- [25]. Zerrouki Ishak- Dr. Izemmouren Ouarda « Effet de déchet de brique rouge sur la stabilisation des briques de terre crue »Université Mohamed khider-Biskra. Juillet 2019.
- [26] Giovanni piers la brique fabrication et traductions constructives Edition EYROLLES (édition EYROLLES) 2005.
- [27] Naceri Abdelghani and Makhloufi Chikouche Hamina, «Effects of pozzolanic admixture (waste bricks) on mechanical response of mortar». (2008), pp : 1-8.
- [28] Barakat Abderrezak, « valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton ». Mémoire de magister en génie civil, Université de Ouargla 05/11/2006.
- [29] Collection Mémento Technique, tuiles et brique de terre cuite Edition moniteur paris 1998.
- [30] Djouhri Mohamed mémoire magister 2007 : confection d'une brique à base de sable deDunes (université de Ouargla).
- [31] site net : [www.travaux-maconnerie.fr](http://www.travaux-maconnerie.fr)
- [32] Collection Mémento Rechnique ; Tuiles et briques de terre cuite (édition le moniteur Paris) 1998.
- [33] DJOUHRI M., « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister,Université de Ouargla, 2007.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

[34] Références Jean Peyroux (Arts et métiers), Dictionnaire des mots de la technique et des métiers, Librairie Blanchard, Paris, 1985.

[35] A. JOURDIN, « la technologie des produits céramique réfractaires », Paris Gauthier-Villard. p315-329, 1966.

[36]. Raid Farid Alsobihi, Ben Yahia Abdesalam, « Influence de la substitution du clinker par l'argile cuite sur le comportement mécanique du mortier ». Mémoire de master, université de M'sila, juin 2016.

[37] : <http://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/Chapitre-IIProduits-ceramiques.pdf>.

[38] : Fiche technique du ciment Portland NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3.

[39] Boukhari Marwa-Louafi Nassira. « Etude des propriétés physico-mécaniques d'un mortier à base de déchets de brique active mécaniquement » mémoire de master, université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA. Année 2020/2021

[40] : Maanane Nafissa, Belagraa larbi, « Effet de l'activation chimique et mécaniques sur les ciments fabriqués en Algérie, aux moyens de plan d'expérience », Mémoire Master 2 Université Mohamed Boudiaf - M'sila,

[41] Belouadah MESSAOUDA, « Etude de l'influence de la nature des fillers sur les propriétés des bétons à base des matériaux locaux à l'état frais et à l'état durci et soumis aux hautes températures ». Thèse de Doctorat en génie civil, Université de M'sila, 18/12/2018.

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

[43] : Bitar Zeyneb Pr Rahmouni Zine El Abidine, « Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux (calcaire) sur le comportement mécanique du mortier » Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2015/2016.

