République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Dr. YAHIA FARES De Médéa

Faculté de la Technologie

Département de génie civil

Projet de fin d'études

En Vue de L'obtention du Diplôme master

Option : matériaux

THEME

Etude comportement au cisaillement des triplets en maçonnerie renforcé par des lamelles en FRP avec différentes type de mortier

Proposé et dirigé par :

Mme. HERNOUNE.H

Réaliser par :

TOUAMI SALIM

ABUTAHA IBRAHIM

Promotion 2018

SOMMAIRE

RESUME
SOMMAIRE
LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES
NOMENCLATURE
INTRODUCTION GENERAL
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction……2

I.1. Historique 2

I.2. Les type de maçonnerie 5

I .2.1. Maçonnerie non armée ……5

I.2.2. Appareillage de la maçonnerie 5

I.2.3. Maçonnerie de pierre naturelle 6

- Moellons…….....7
- Jointoiement…….....7
- Epaisseur des murs…….....7

I.2.4. Maçonnerie en brique d'argile cuite 9

A Brique pleine : 9

B Brique perforée: 10

C Brique creuse : 10

D Brique monomur 11

I.2.5. Maçonnerie en briques silico – calcaire : 12

I.2.6 . Maçonnerie en agglomérés de béton :.....13

I.2.7 .Maçonnerie armée :…….....13

I.3. Le mortier jointement ……...…14

I.3.2.1 Mortier de ciment …….……..…14

I.3.2.2 Mortier de chaux hydrauliques……..……..14

I.3.2.3 Mortier batard …….…….…….…..14

I.3.2.4 Mortier de hourdage de maçonnerie ……..……..…14

I.3.2.5 Mortier fabrique sur chantier…….……..14

I.3.2.6 Mortier industriel …….....15

I.4. Formulations des mortiers ……15

I.4.1. Propriété spécifique des mortiers :……..……16

I.5. Domaines d'utilisation des mortiers …….16

I.5.1. Mortiers et coulis de réparation…….…….16

I.5.2. Contrôle de qualité du mortier ……...……17

A) Résistances mécaniques :……...……...……17

B) Retraits et gonflements……..…..17

I.6.Comportement de la maçonnerie en compression axiale ……...…...20

I.6.1. Compression de maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortier……..…..……..18

- Épaisseur des joints de mortier……..……..19

I.6.2. Compression de maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortier…20

I.7. Comportement en traction uni axiale de la maçonnerie……..…20

I.7.1.Traction de la maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers ……..20

I.7.2. Traction de la maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortier……...…21

I.8. Comportement de la maçonnerie au cisaillement ……..……22

I.8.1. Contrainte de cisaillement ……..……22

I.8.2. Resistance au cisaillement pur (τo) ……22

I .8.3. Coefficient de frottement (μ) ……22

I.8.4. Angle de dilatation(ψ)……22

Conclusion ……..…..23

CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE

Introduction ……..…..24

II.1.Materiaux utilise……24

II.2.Caractéristique des matériaux……...……..24

- Brique perforé……..……24
- Caractéristiques mécaniques de la brique……25
- Caractéristique des sables……...……..26
  a- Sable hassi-bahbah……...……....26
    - équivalente de sable…….…...26
    - granulométrie……...…….….29
    - masse volumique…….……...32
    - module de finesse ……...…….……..33
    - Eau de gâchage…….……33
    - Ciment……...……..……...33
    - La chaux ……...……34

II.3. Mortiers utilisés ……..……..34

A-II.3.1.Essai sur les mortier frais…….35

a- La cône ……..……..… 35

b-la prise ……..…….……..35

B - II.3.2. Essai sur mortier durci ……...35

b-Résistance à la compression ……..36

II.3.3.Composition de mortier batard……...……36

II.4.Resistance de cisaillement des mortiers……39

II.4.1.L'essai de cisaillement été réalisé sur trois briques pour chaque type de mortier……39

A- Préparation de triplet……...……..……39

B-Essais de cisaillement sur le triplet……...……41

Conclusion ……...…43

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRITATION.

III.1.Résultat expérimentale sur les matériaux…….44

III.1.1.Les brique……..……44

a) Caractéristiques géométriques ……44
b) Caractéristiques physiques ……..…….44
c) Caractéristiques mécaniques …….45

III.1.2.Les sable ……...……46

✓ Classification……...……47

III.1.2.1.Analyse granulométrique de sable fin ……..48

III.1.2.2. Module de finesse……..……..48

✓ Classification……48

III.1.2.4. L'équivalant de sable fin……...……..49

III.1.2.5. Résultat la masse volumique …….……50

A) La masse volumique absolue de sable fin …….……50

III.1.3. Caractéristique mécanique du mortier frais…….51

III. 1.4. Contrainte de cisaillement de triplet ……..52

- Niveau de pré-compression sigma=0……..……..52
- Niveau de pré-compression sigma=0,4 ……54
- Niveau de pré-compression sigma=0.8…….……..56
- Niveau de pré-compression sigma=1……..…….…….58

III.1.5.Détermination de la relation mohr-coulomb……..…62

CONCLUSION GENERALE……..……63

ملخص

من العيوب الرئيسية لمادة الملاط هي قلة مقاومة التمدد ، و بالتالي التشقق . للتغلب على هذا القصور تجري حاليا بحوث مهمة في مخابر عديدة على الملاط المركب أساسا من الاسمنت، و على هذا أدخلنا مركب آخر بمقدار معين من الجير و نلاحظ مختلف التأثيرات و كذلك أثر الملاط الهجين مع البناء الاجوري .

الخصائص في الحالة الطرية (سهولة توضعه، والهواء الداخلي) والصلبة (قوة الضغط وقوة الشد والانكماش وامتصاص الماء) من الملاط المختلفة تم تحليلها ومقارنتها. النتائج التجريبية تؤكد التأثير المباشر لمركب الجير على سلوك الملاط.

Résumé

Parmi les principaux défauts du matériau mortier est sans doute sa fissuration et par voie de conséquence sa faible résistance à la traction. Pour palier à cette insuffisance, des recherches importantes sont en cours dans plusieurs pays du monde sur le mortier composé de liant de ciment, à cet effet on introduit un autre liant à une certaine dose de la chaux et observe les différentes performances ainsi que l'effet joint du liant bâtard avec la maçonnerie.

Les propriétés à l'état frais (ouvrabilité, air occlus) et durci (résistance à la compression, résistance à la traction, retrait (absorption d'eau) des différents mortiers ont été réalisées analysées et comparées. Les résultats expérimentaux confirment l'effet de l'ajout de la chaux à une composition de mortier.

Abstract

Among the main shortcomings of the material mortar is probably its fissuration and by way of consequence its weak resistance to traction. For landing to this insufficiency, some important researches are in progress in several countries of the world on the cement mortar, from that we making another linker by amount of lime. After, we observe the different performances and the effect of joint mortar bastard with masonry.

The properties to the cool state (fluidity, occluded air) and hardened (resistance to the compression, resistance to traction, withdrawal and absorption of water) some different mortars have been achieved analyzed and compared. The experimental results confirm the effect of lime's addition in composition of mortar.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure. I.1.Pyramide Maya de Tikal (Guatemala) - Pyramide de Khéops à Gizeh(Egypte),[1] ……...…3

Figure. I.2.Cathédrale de Strasbourg Construite en blocs de grès des Vosges [1].…..…….3

Figure I.3. Édifice Monadnock [Christine Beall, 1993)……4

Figure I.4.Maçonnerie non armé ……..……5

Figure I.5.Exemple de maçonnerie 6

Figure I.6.Pierre naturelle [1]…….....7

FigureI.7.Mur en pierre naturelle (BAUD, 1990)…….....…8

Figure I.8.Brique en terre cuite pleine…….…....9

Figure I.9.Brique perforée ……..…….…....10

Figure I.10.Brique creuse…….....10

Figure I.11.Brique monomère…….……11

Figure I.12.Les composantes des briques silico − calcaire….....…12

Figure I.13 .Maçonnerie en brique silico-calcaire…….....12

Figure I.14 .Fabrication des parpaings (Sogerhwit 2016) (photos prises par les auteurs)…....13

Figure I.15.Fabrication des parpaings (Sogerhwit 2016) (photos prises par les auteurs)….....13

FigureI.16. Les mortiers et coulis de réparation…….…….16

Figure I.17. comportement uni axial de la maçonnerie sous chargement normale aux Joints de mortier……18

Figure I.18. diagramme typique expérimentale contraintes déplacements pour un prisme De dimensions 500 ×250 ×600 [mm3] avec : f_{mo} la résistance du mortier à la compression…….19

LISTE DES FIGURES

Figue I.19.L'installation de l’ essai de résistance à la traction pour la maçonnerie avec Un chargement parallèle aux joints de mortier.....21
Figure I.20.Diagramme typique contraintes-déplacements pour l’ essai de résistance à la Traction dans une maçonnerie avec un chargement parallèle aux joints de mortier,

CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE

Figure II.1.Dimensions des briques perforées……...24

Figure II.2. Briques en compression selon les trois directions……25
Figure II.4**.** Essai d’équivalent de sable (sable Fin) ……...28

Figure II.5.Procédure de mesure de l’équivalent de sable…….…....29
Figure II.7.Essai d’analyse grannulométrique**(**sable Fin)……...……...31
Figure II.9.Essai de massevolumique de sable Fin……...…...33
Figure II.10. Ciment de MATINE……34
Figure II.11 .chaux de Saida……34
Figure II.12. Moule prismatique et éprouvettes 4x4x16 cm de mortier ……..……..35

Figure II.13. Dispositif pour l’essai de résistance à la compression. (Michael, 1989)…….....36

Figure II.14. Le dosage en ciment-chaux-Sable pour la préparation de mortier (Sable FIN). ……37
Figure II.15.Lesétapes de préparation les éprouvettes prismatique….....38

Figure II.16.Le dosage en ciment-chaux-Sable pour la préparation de mortier (sable fin)……..39

FigureII.17.les étapes de préparation les éprouvettes prismatique triplet non RN……...40

FigureII.18.les éprouvettes ……..……...…...41

Figure II.19 .conservation dans l’eau a 20°c+/- 2°.…….....….....42
Figure. II.20.Préparation de triplet……. ……..……..43

Figure. II.21. Préparation de triplet non RN (sable fin)……..……....44

Figure. II.22. Triplet non renforcé…. …….....45

Figure. II.23.Triplet renforcé……..…….....46

Figure. II.24. Triplets avec les deux différents types de triplet…….47

Figure. II.25 Essai de cisaillement selon la norme (NF EN 1052-3)…….…..…….……...48

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Figure III.1. . Résultats d'essai de compression sur brique……..……....48

Figure III.3 courbe granulométrique de sable fin ……..49

Figure III.4. Variation du Résistance à la compression de mortiers réalisé ……51

Figure III.5. . Essai de cisaillement sur un assemblage des triplets en briques perforé non renforcé..……..…52

Figure III.6 Essai de cisaillement sur le triplet de type A(1.1.3)……..53

Figure III.7. Essai de cisaillement sur le triplet de type A(1.1.4)……..54

Figure III.8. Essai de cisaillement sur le triplet de type A(1.1.5)……..55

Figure III.9 Essai de cisaillement sur le triplet de type A(1.1.6)……..56

Figure III.10. Essai de cisaillement sur les triplets renforcés de type II pour différent type de Mortier

Figure III.11.Effet contrainte de pré compression sur la contrainte de cisaillement pour les différents types de mortier ……56

Figure III.12 Diagramme de contrainte de cisaillement ….……57

Figure III.13 : Essai de cisaillement de triplet……..59

L'utilisation de la maçonnerie dans la construction des bâtiments est une pratique généralisée dans de nombreux pays. La maçonnerie peut être utilisée comme un matériau de séparation ou comme un élément porteur.

Le comportement de la maçonnerie vis-à-vis le séisme est moins exploré. En effet, des expériences désastreuses des séismes tel que, celui qui s'est produit à CHLEF (1954 et 1980), en CALIFORNIE (1982), au MEXIQUE (1986) et en EGYPTE (1997), en TURQUIE (1999) et à AIN-TEMOUCHENT (1999), BOUMERDES (2003), MIHOUB (2016), témoignent de la nécessité de réglementer la construction en maçonnerie.

A l'état actuel la résistance de la maçonnerie au cisaillement est estimée sur la base de relations théoriques déduites des relations expérimentales obtenues à partir des essais sur des triplets.

L'objectif de notre travail est d'utiliser le mortier d'une façon rationnelle.
En effet, on a introduit la chaux et on joué sur le % de sable dans la formulation des mortiers.

La justification et la validation des nos expérience est effectuée à partir des essais de cisaillement direct réaliser sur des triplets en briques.

Notre travail a été organisé en trois chapitres

Chapitre 01 : présente les types et le comportement mécanique de la maçonnerie

Chapitre 02 : présente les procédures suivies pour la réalisation de la partie expérimentale

Chapitre 03 : présente les résultats expérimentaux et leurs interprétations

Chapitre 04 : conclusion générale

Introduction :

Une maçonnerie est un empilage de blocs (pierre, briques terre cuite ou en béton aggloméré etc.) liés entre eux par un liant (chaux, ciment, plâtre etc.).Elle est réalise à partir de deux matériaux de caractéristique et de comportement différent. La maçonnerie utilise différents types de composants dans sa fabrication, sa préparation, Où leur agencement nécessite un certaine maitrise voir même une science bien étudiée.

Le mortier est un constituant élémentaire dans la construction en maçonnerie, est traditionnellement faite en combinant de l'eau avec trois constituants: ciment Portland, la chaux hydratée et de sable.

Le mortier modifié par des chaux est fait en remplaçant une partie des liants traditionnels pour augmenter les caractéristiques qui peuvent inclure l'adhérence, la dureté, résistance à la flexion ou en traction, et une résistance aux produits chimiques.

I .1.Historique

La maçonnerie est l'un des matériaux de construction les plus anciens, l'origine constitués de briques d'argile, de pierres et de boue séchée.par la suit les ouvrages de maçonnerie ont évoluent graduellement avec l'apparition des fours à briques, de la taille de la pierre et de la découverte de la chaux.[22]
De simples murs, ces ouvrages prennent, avec le temps, la forme d'arches et de dômes, limités seulement par le savoir des architectes et la technique des maçons. L'évolution de la maçonnerie connaît un sommet à l'époque de la Renaissance, les méthodes et les matériaux changeant à peine pendant les trois siècles suivants. [Christine Beall, 1993]

Utilisant des blocs de pierre, d'argile, certaines de ces structures ont traversées les millénaires, les plus célèbres d'entre elles sont sans aucun doute les pyramides Maya et Egyptienne.[1]



Figure I.1. Pyramide Maya de Tikal (Guatemala) - Pyramide de Khéops à Gizeh (Egypte),[1]

Qu'Efren, Khéops et Moquerions sont les trois pyramides les plus célèbres construites en bloc de pierre datant d'approximativement 2600 avant J.C. La plus grande d'entre elles Khéops, culminant à près de 147 m nécessita près de 2,3 millions de blocs de pierre d'un poids moyen de 2,5 tonnes. [1].



Figure 1.2 Cathédrale de Strasbourg Construite en blocs de grès des Vosges[1].

En amérique du nord le dernier exemple d'utilisation traditionnelle de la maçonnerie dans une construction moderne de plusieurs étages est l'édifice Monadnock, érigé à Chicago en 1891, montré sur la (figure I.3). La résistance latérale de la maçonnerie n'étant attribuable qu'à son poids, selon les codes de 1880 alors eu vigueur, les murs de l'édifice Monadnock atteignent une épaisseur de 2 m à la base de ses 16 étages. par la suite, la maçonnerie acquièrent peu à peu la réputation d'un matériau coûteux et dépassé. Les charpentes en acier ou en béton armé ont remplacé le mur porteur comme système de reprise des charges et conséquemment, la recherche et l'innovation dans le domaine de la maçonnerie *structurale* cesse pratiquement.

La maçonnerie ne disparait pas pour autant du paysage urbain mais est reléguée au rang de matériau de parement, de remplissage ou de partition. [Christine Beall, 1993].

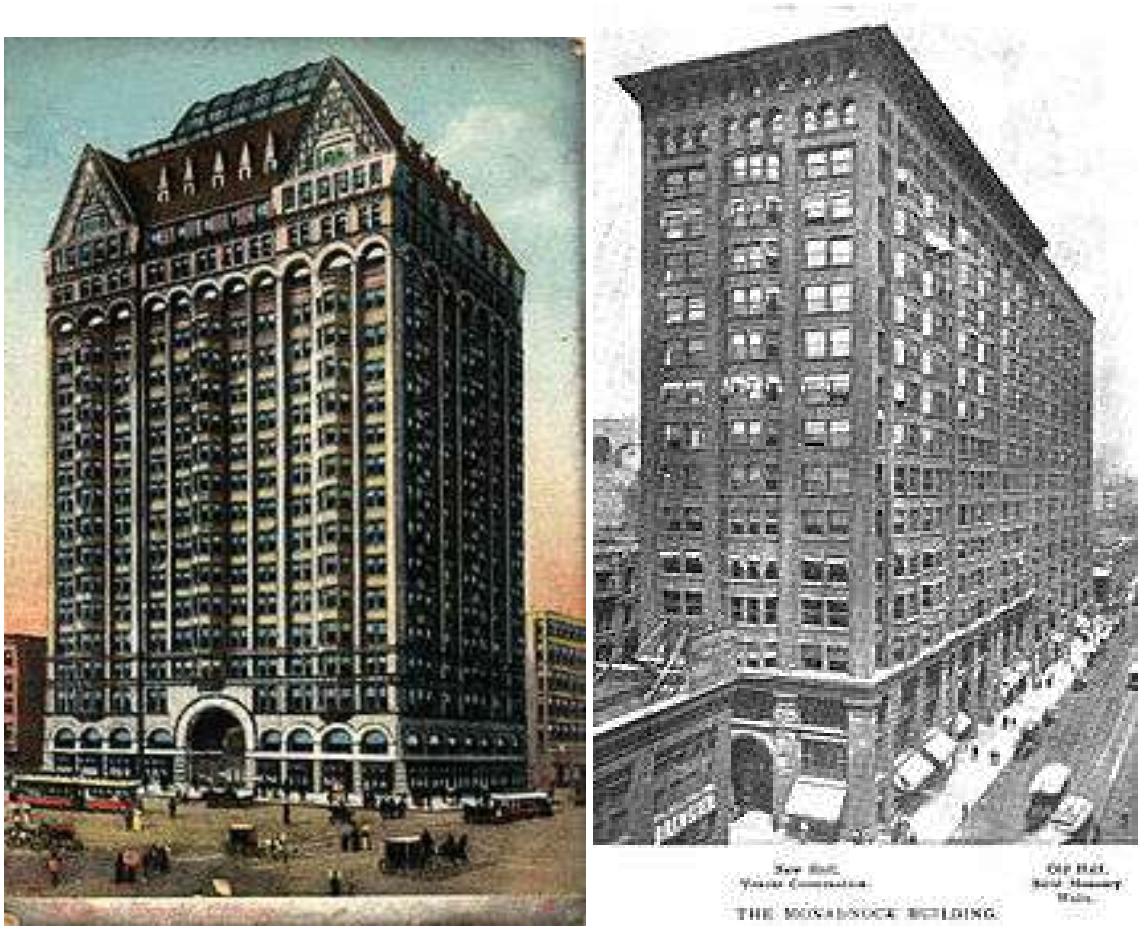


Figure I.3. Édifice Monadnock [Christine Beall, 1993].

I.2 types de maçonnerie :

Un mur de la maçonnerie est composé de rangées de blocs reliées par le biais d'un liant de mortier. Les blocs se distinguent selon leur forme, leur position et leur composition minérale. Dans cette partie nous présentons les différents types de maçonnerie, leurs modes de fabrication et leurs technologies de construction.

I.2.1 Maçonnerie non armée :

La maçonnerie non armée (figure I.4) est généralement utilisée dans les constructions à L'horizontal où le ferraillage n'est pas nécessaire. C'est une maçonnerie où les sollicitations sont modérées.

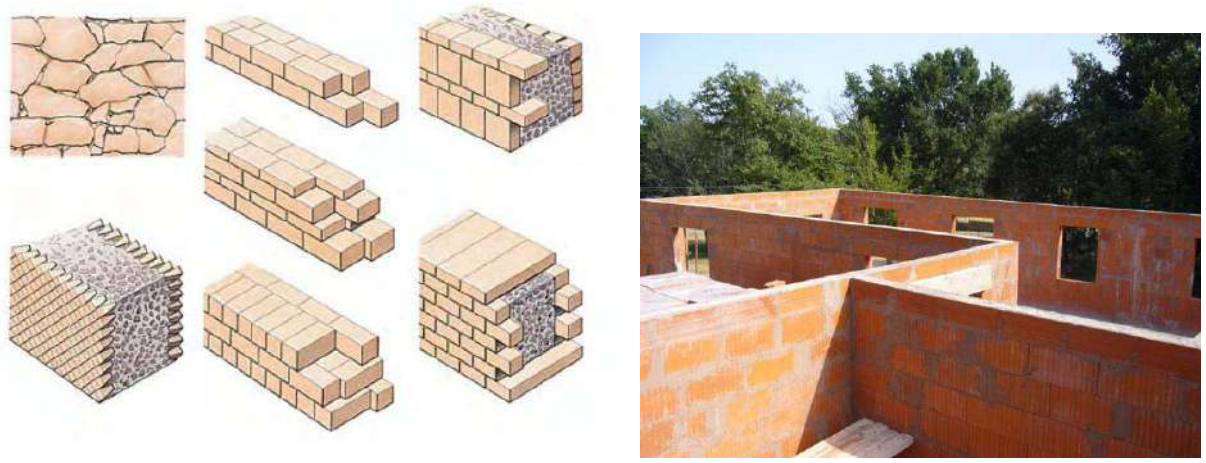


Figure I.4. Maçonnerie non armé.

I.2.2.Appareillage de la maçonnerie :

L'appareillage d'une maçonnerie définit la manière dont les blocs sont assemblés et est, par conséquent, corrélé à la taille de ces derniers, à l'épaisseur des joints et à l'imbrication de l'assemblage. L'appareillage influe fortement sur les caractéristiques mécaniques de la maçonnerie.

-Les maçonneries dites de blocage ou cyclopéennes :

Sont constituées de blocs généralement non taillés, noyés dans une matrice de mortier et présentent de très faibles propriétés mécaniques. Entre ces deux cas extrêmes, tous les appareillages intermédiaires sont possibles. (figure I.5b)



a)pierre de taille b) maçonnerie cyclopéenne [22]

Figure 1.5. Exemple de maçonnerie.

Les murs d'assemblage régulier possèdent des comportements mécaniques meilleurs que les murs de blocage [1]. Les murs construits sans l'utilisation de mortier s'appellent « murs de pierres sèches ». Ils sont bâtis par le remplissage de pierres de terrain.

La structuration des murs de la maçonnerie varie selon la composition de l'épaisseur du mur entre ;

- Le mur simple composé d'un seul appareil dans son épaisseur.
- Le mur à double appareil dont la connexion, entre les deux parements, est assurée par des « boutisses » qui traversent la section de mur [2].
- les murs composés en plusieurs couches. La couche de milieu se compose souvent de blocage alors que les couches extérieures sont souvent construites avec des pierres plus taillé [3].

I.2.3Maçonnerie de pierre naturelle :

La pierre naturelle est un des matériaux les moins consommateurs d'énergie, elle ne subit presque aucune modification entre sa sortie en carrière et sa mise en œuvre sur le chantier. Aussi que la ressource en pierre naturelle est encore très importante et que son cout est équivalent aux autres matériaux de construction, à condition de préférer les ressources locales. Sur le plan esthétique, la pierre se défend également : en fonction de la nature de la roche, il est possible de jouer sur le cote "brut" de la pierre en conservant la trace des coupes de scie ou de travailler des faux joints à la scie pour simuler des dimensions de blocs différentes de ceux réellement poses (voir figure I.6).



Figure I.6. Pierre naturelle [1].

- **Moellons :**

Les pierres non gélives dites moellons, Le moellon brut se présente sous des formes variées. Celles-ci dépendent de la nature de la pierre exploitée, blocs arrondis ou anguleux aux formes diverses pour les pierres dures, grès, granits, calcaires, etc.

- **Jointoiement :**

La largeur des joints, variables dans la maçonnerie, ne doit pas excéder 4 cm et les espaces plus larges doivent être remplis par des éclats de pierre. Lorsque les joints restent apparents, ils doivent être imperméables. Les murs ainsi construits peuvent être soit laisses bruts, c'est-à-dire que l'appareil reste visible en parement, soit recouverts d'un crépissage.

- **Epaisseur des murs :**

L'épaisseur des murs dépend des pierres employées mais ne peut être inférieur à

30-40 cm. Les moellons taillent, grossièrement ou non, permettent des réalisations

variées dont les caractéristiques générales d'exécution (figure I.7).

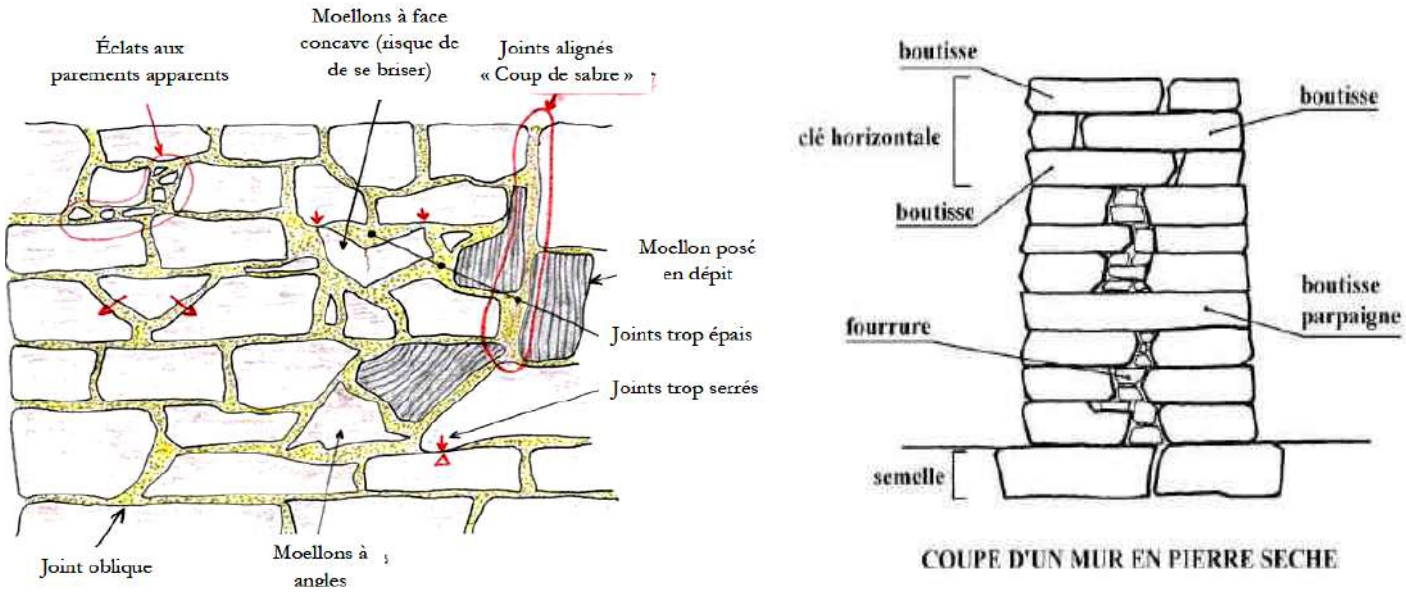


Figure I.7. Mur en pierre naturelle (BAUD, 1990).

L'utilisation de la pierre occupe une large partie dans les structures anciennes. Les pierres sont classées en trois typologies principales selon la composition minérale de la roche d'origine : pierre calcaire, magmatique, et métaphorique. Les pierres utilisées dans une structure de la maçonnerie doivent avoir une résistance mécanique suffisante, une texture compacte et homogène, et une bonne adhérence avec le mortier.

La position de la pierre dans le mur peut jouer un rôle structurel important. Par exemple, une « boutisse » sert à relier plusieurs couches de murs dans son épaisseur, par conséquent, cela permet d'augmenter la rigidité du mur.

Les pierres se trouvent sous formes variées entre pierres régulières et irrégulières. Les pierres régulières appelées aussi « pierre de taille » sont préférées pour les façades. Leur taille va être d'une dimension de moins de 200 mm pour les petits appareils et plus que 350 mm pour les grands appareils. Alors que les pierres irrégulières se trouvent en moellon équarris avec joints orthogonaux, en pierre ébauchés ou en pierre plate [12]. En plus, les pierres en caillou sont utilisées pour construire « les murs de caillou en bain de mortier ». Ces murs ont des comportements mécaniques faibles à cause de la quantité élevée de mortier dans le mur.

I.2.4. Maçonnerie en brique d'terre cuite:

La brique à maçonner en terre cuite possède de remarquables propriétés de durabilité, de résistance, de stabilité, de régulation de l'humidité et d'inertie thermique.
Grace à ces performances thermiques et phoniques, la brique à maçonner en terre cuite est adoptée par de nombreux systèmes de construction, tels que le traditionnel ≪double mur≫ ou utilisée en combinaison avec des matériaux isolants intérieurs ou périphériques modernes.

Généralement Il existe quatre types de briques :

- ✓ Briques pleines,
- ✓ Briques perforées,
- ✓ Briques creuses.
- ✓ Brique monomure

A Brique pleine :

La brique pleine possède des faces planes, sans relief. Elle permet de construire des murs porteurs ou des cloisons, et peut être utilisée comme matériau de parement ou être laissée apparente.



Figure I.8. Brique en terre cuite pleine.

B Brique perforée:

Brique comportant des alvéoles perpendiculaires au plan de pose. Elle permet de réaliser des murs porteurs ou des cloisons, elle représente une bonne isolation thermique. Elle a été utilisée avec succès pour la réalisation de plusieurs tours, son grand avantage c'est qu'elle offre une excellente résistance à la compression et au cisaillement.

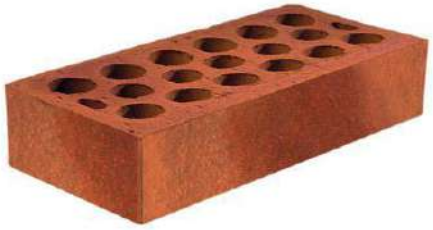


Figure I.9. Brique perforée.

C Brique creuse :

Légère et économe en matériau en comparaison a une brique pleine, une brique creuse est conçue pour une variété d'applications dont l'isolation, la ventilation, la construction de façades.

Certaines briques creuses peuvent être remplies et disposer des barres de renforcement pour améliorer la force de tension et de torsion d'une structure.

Une brique creuse est classée en fonction de son usage (structure porteuse, isolation, etc.) Elle peut être conçue pour des murs porteurs, des cloisons intérieures ou des façades. Elle peut avoir une variété de formes, de motifs et de finitions et peut parfois être destinée à l'amélioration de l'isolation ou de la ventilation d'un bâtiment.



Figure I.10. Brique creuse.

D Brique monomur

Les récentes évolutions techniques ont donné naissance à une brique particulière: le brique monomur.

Beaucoup plus épaisse que les autres briques et transpercée de nombreuses alvéoles elle est utilisée essentiellement en murs extérieurs. Sa capacité à isoler aussi bien phonique ment que thermiquement. Elle se passe d'isolation, ce qui implique de casser pour passer les câbles électrique et la plomberie à l'intérieur.

C'est donc un matériau avec lequel il faut compter mais qui est plus cher qu'une construction en béton, isolation déduite.



Figure I.11. Brique monomère

I.2.5.Maçonnerie en briques silico – calcaire :

La fabrication des briques silico-calcaires consiste à comprimer un mélange de silice 90% et de la chaux grasse à une pression de 30 MPa et à soumettre ce mélange à un jet de vapeur d'eau sous pression pendant plusieurs heures. Ces briques sont des matériaux de remplissage, la rugosité es surfaces permet l'accrochage des enduits. L'emploi des silico-calcaires légère ou denses donne des résistances à la compression qui peuvent aller respectivement jusqu'au 7 MPa pour des densités de l'ordre de 0,8 et jusqu'à 60 MPa pour les densités d'ordre de 2,2.:



Figure I.12. Les composantes des briques silico – calcaire.



Figure I.13. Maçonnerie en briques silico – calcaire.

I.2.6. Maçonnerie en agglomérés de béton :

Le bloc de béton, désigné couramment sous le nom de parpaing est un matériau qui traverse toute l'épaisseur du mur à construire, il est de forme parallélépipédique et creux (figureI.14.b) ou plein (figure I.14.a) fabriqué en ciment à l'aide d'une machine appelée pondeuse



Figure I.14. Fabrication des parpaings (Sogerhwit 2016) (photos prises par les auteurs).

I.2.8 Maçonnerie armée :

La maçonnerie armée est un type de construction où les armatures sont incorporées dans les joints de mortier ou placées dans des trous remplis de coulis de mortier [GERTINY 2014, TOMAZEVIC 1999]. Leurs armatures peuvent être:

– Horizontales uniquement (figure.15.a-b).

– Horizontales et verticales (figure.15.c-d-e).

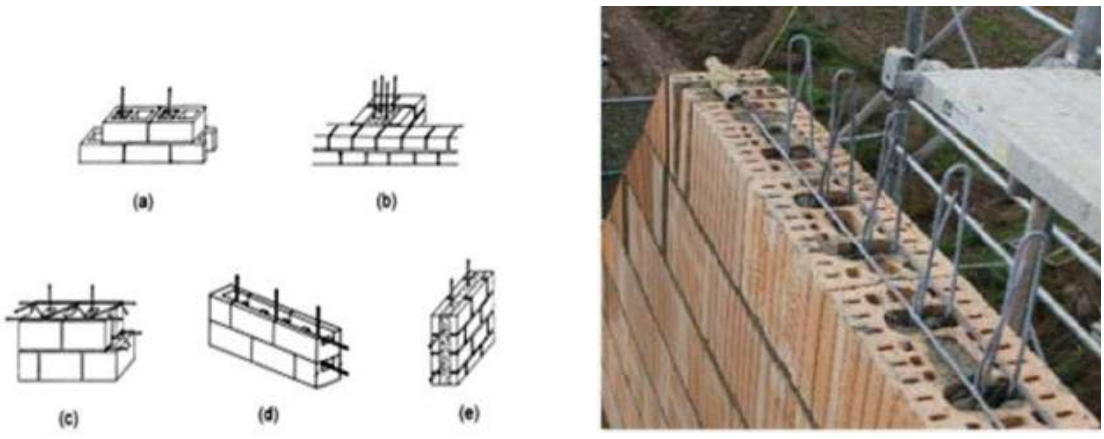


Figure I.15. Fabrication des parpaings (Sogerhwit 2016) (photos prises par les auteurs).

I.3. Le mortier de jointement

Dans le domaine bâtiment on trouve différents types de mortier, on cite :

I.3.2.1 Mortier de ciment :

Les mortiers de ciments sont très résistants, durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.

I.3.2.2 Mortier de chaux hydrauliques :

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment. La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

I.3.2.3 Mortier bâtard :

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

I.3.2.4 Mortier de hourdage de maçonnerie :

On utilise des sables dont les grains les plus gros n'excèdent pas 5 mm, le dosage le plus usuel est de 1 volume de liant pour trois volumes de sable. La quantité d'eau qui joue un rôle important ne peut être fixée à priori, en règle générale on adopte une valeur voisine de la moitié du poids du liant qui peut être réduite lorsqu'on utilise un plastifiant.

I.3.2.5 Mortier fabriqué sur chantier :

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.
On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner.

Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids, soit en volume. Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables.

I.3.2.6 Mortier industriel :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants.

I.4. Formulations des mortiers :

La norme [ASTM C270] fournit une base pour la définition des mortiers de ciment et de chaux. Cette norme fournit une base pour cinq types de mortier différents en fonction de la résistance du mortier requise pour l'application.

Les noms de ces mortiers, élaborés en 1954, étaient basés sur les lettres alternantes de la phrase « **M**ASO**N** W**O**R**K** ». Le mortier de type **M** offre la plus grande résistance. Le mortier de type **K** a la plus faible résistance à la compression.

L'annexe de la norme [ASTM C270] fournit une référence quant au type de mortier à utiliser dans certaines applications générales. Une version de cette liste est présentée dans le tableau I.1 suivant :

Emplacement	**Élément du bâtiment**
Extérieur, au-dessus du sol	Mur porteur, Mur non porteur, Parapet
Extérieur, au sol ou au-dessous du sol	Mur de fondation, mur de soutènement, regards, égouts, revêtements, allées et terrasses
Intérieur	Mur porteur
	Cloisons non porteuses

Tableau I.1. Annexe de la norme [ASTM C270] [5].

I.4.1Propriété spécifique des mortiers :

Les mortiers doivent avoir les propriétés spécifiques pour améliorer certain caractéristiques qui sont évalués dans un laboratoire.

La norme [ASTM C270] fournit des indications sur le type de mortier en fonction du dosage de la chaux par rapport au ciment (**Tableau I.2**).

Type de mortier	**Proportions par volume (matériaux cimentaires)**		**Ratio d'agrégat – Mesuré à l'état humide et lâche**
	Ciment	**Chaux**	
M	1	¼	Pas moins de 2¼ et pas plus de 3 fois la somme des volumes séparés des matériaux cimentaires
S	1	Plus de ¼ à ½	
N	1	Plus de ½ à 1¼	
O	1	Plus de 1¼ à 2½	

Tableau I.2. Spécification par proportion selon la norme [ASTM C270].

I.5. Domaines d'utilisation des mortiers :

I.5.1. Mortiers et coulis de réparation :

Comme son nom l'indique, ce type de mortier est utilisé pour le reprofilage du béton, la reconstitution de la protection des armatures, et le rétablissement de l'étanchéité. La figure I.18 illustre en gros une partie du cas pratique.

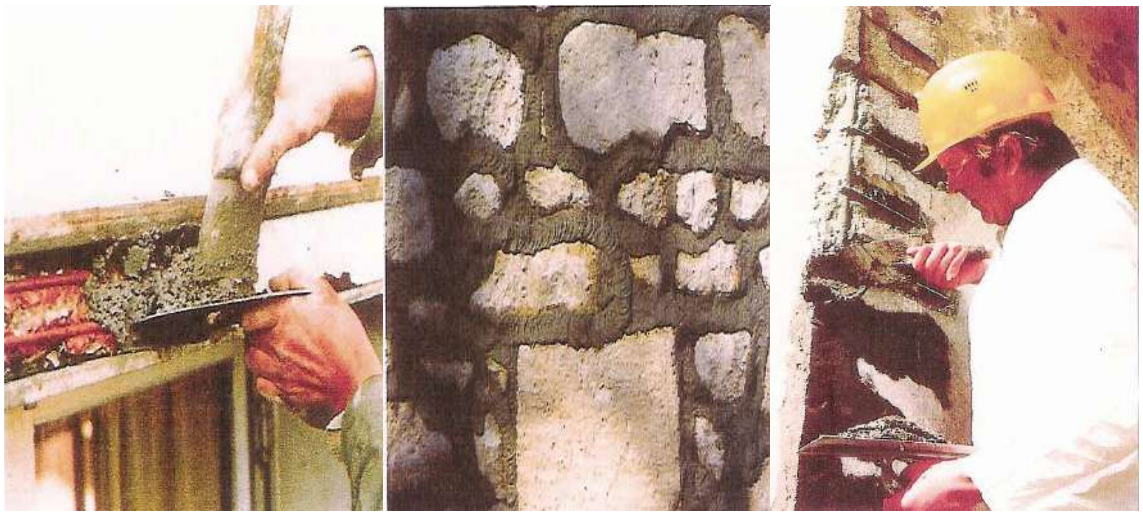


Figure I.16. Les mortiers et coulis de réparation.

I.5.2. Contrôle de qualité du mortier :

La performance des mortiers de faible résistance est tributaire de la qualité de leur mise en œuvre. Une inspection quand les joints sont dégarnis, nettoyés et découpés en angle droit, après un rejointoiement en profondeur (>25 mm) et quand le rejointoiement est complété, contribue à la qualité des travaux.

Les essais de contrôle de la qualité comprennent la résistance à la compression des cubes de mortier, le foisonnement du sable (soit le changement de volume imputable à la teneur en humidité du sable), la teneur en air du mortier frais, le rapport liant/sable et la consistance du mortier.

Le cône de Vicat est un outil qui permet aux responsables du contrôle de la qualité de vérifier rapidement au chantier la consistance du mortier et de surveiller sa perte d'eau par temps chaud.

A) Résistances mécaniques :

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs:

- nature et dosage en ciment ;
- rapport C/E ;
- granulométrie et nature du sable ;
- énergie de malaxage et mise en œuvre ;
- protection les tous premiers jours ;

B) Retraits et gonflements :

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).Le gonflement des mortiers sont en général assez faibles.

I.6.Comportement de la maçonnerie en compression axiale :

I.6.1. Compression de maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers :

La résistance en compression uni axiale Est celui sur prismes (figure I.19.a), mais l'utilisation de ce type des spécimens

Recommandée par la norme américaine ASTM E 447 présente des résultats légèrement Différents à ceux proposées par les recommandations de l'essai RILEM qui préconise de Mesurer la résistance à la compression dans la direction normale aux joints de mortier Présentant des joints de mortier horizontaux et des joints verticaux.

Le montage de cet essai est plus proche de la réalité, mais demande des mises en œuvre, Installations et exécution de l'essai assez compliquée et nécessite des appareils adéquats.

Il est accepté communément que la résistance en compression uni axiale réelle de la Maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortier peut être obtenue à partir de L'essai RILEM (figure I.19.b)

Une compression uniaxiale dans la maçonnerie conduit à un état de compression triaxial Dans le mortier et une compression biaxiale avec traction dans les briques. Les fissures Verticales apparaissent dans les unités le long de la ligne centrale du spécimen et le long du Joint vertical. La résistance croissante conduit à un comportement plus fragile.

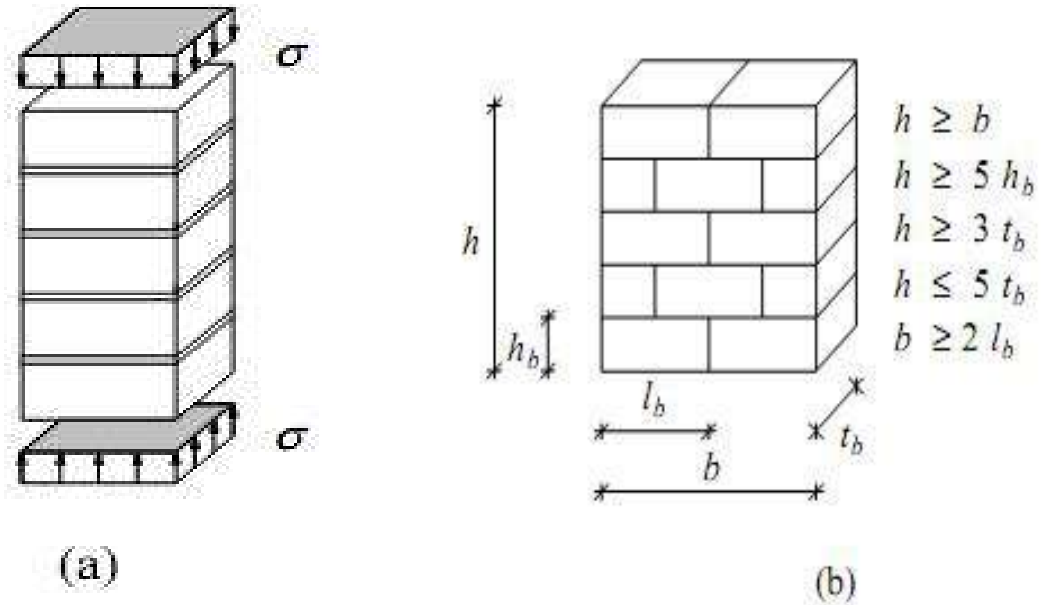


Figure I.17 .comportement uni axial de la maçonnerie sous chargement normale aux Joints de mortier.

(a) schéma représentatif pour un essai sur prisme

(b) schéma représentatif pour l'essai RILEM

Dans la majorité des cas, la résistance à la compression des unités de briques a une grande

Influence sur la résistance à la compression de la maçonnerie que la résistance

Du mortier.

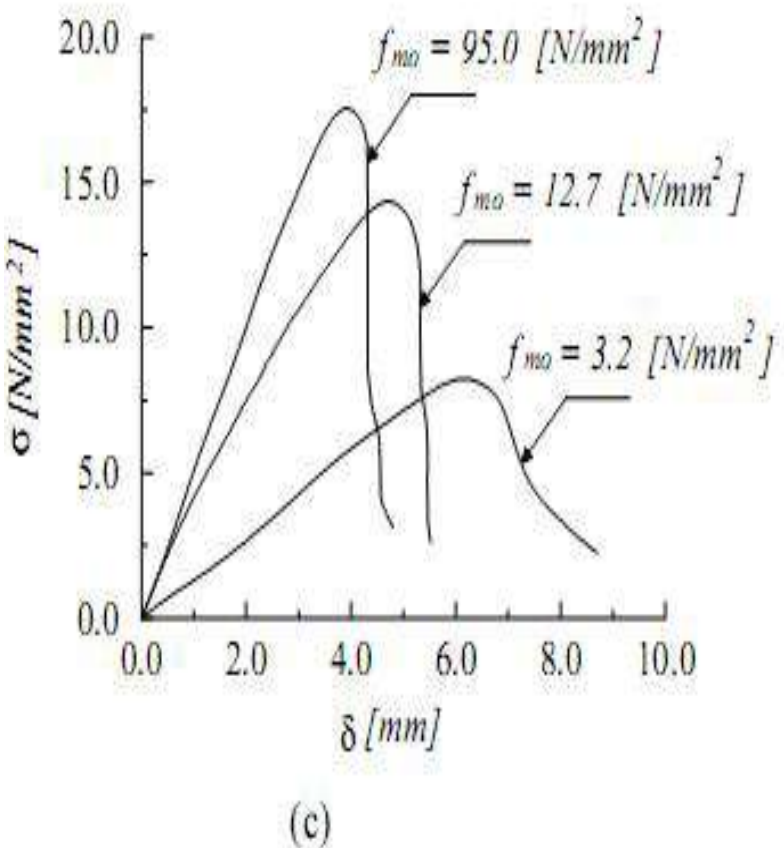


Figure I.18. Diagramme typique expérimentale contraintes déplacements pour un prisme. De dimensions 500 × 250 × 600 [mm3] avec : f_{mo} la résistance du mortier à la compression.

- **Epaisseur des joints de mortier :**

En général, le mortier est la partie la plus faible de la maçonnerie, cependant, les plus Hautes résistances sont trouvées pour des faibles épaisseurs des joints. Ce facteur a été mis En œuvre dans les constructions anciennes, qui utilisaient dans la maçonnerie ou L'assemblage de colonnes des joints de mortier très fins. Il est habituellement recommandé D'utiliser des joints de mortier de 10 mm d'épaisseur. Hendry (1978) a montré que les Joints de 16 à 19 mm d'épaisseur réduisent la résistance à la compression jusqu'à 30% par Rapport au joint de 10 mm. Les recherches effectuées par Bakhteri et al (2004) ont montré Numériquement et expérimentalement que l'augmentation de l'épaisseur du joint de Mortier diminue la résistance à la compression des assemblages de briques. Ils ont montré Que l'optimum de l'épaisseur du joint est de 7.5 mm.

I.6.4. Compression de maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers :

Les essais de compression uni axiale dans la direction parallèle aux joints de mortier ont Reçu sensiblement moins d'attention des chercheurs. Cependant, la maçonnerie représente Un matériau anisotrope et la résistance à la compression appliquée suivant les joints Horizontaux peut avoir une influence sur la force ultime de rupture.
D'après Fouchal (2006,2007) et Lourenco (1996), le rapport entre les résistances à la Compression parallèle et normale au joint de mortier horizontal est comprise entre 0.2 et 0.8. Ces résultats ont été observés sur des éprouvettes de maçonneries qui sont constituées par Des briques pleines et perforées à base d'argile, de calcium silicate et aussi du béton léger.

I.7. Comportement en traction uni axiale de la maçonnerie :

I.7.1.Traction de la maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers :

Pour le chargement de traction perpendiculaire aux joints de mortier, la fissuration est Généralement causée par une faible résistance à la traction entre le joint de mortier et la Brique.
Dans la maçonnerie avec des briques ayant une faible résistance et plus grande résistance De traction entre le joint de mortier et la brique (exemple : briques creuses), les fissures Peuvent se produire à cause d'un dépassement de la résistance à la traction dans les Briques.
Comme approximation, la résistance à la traction de la maçonnerie dans ce cas peut être Égalisée à la résistance à la traction de la brique.

I.7.2. Traction de la maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers :

Pour le chargement de traction parallèle aux joints de mortier un programme complet D'essai a été installé par Backes (1985).

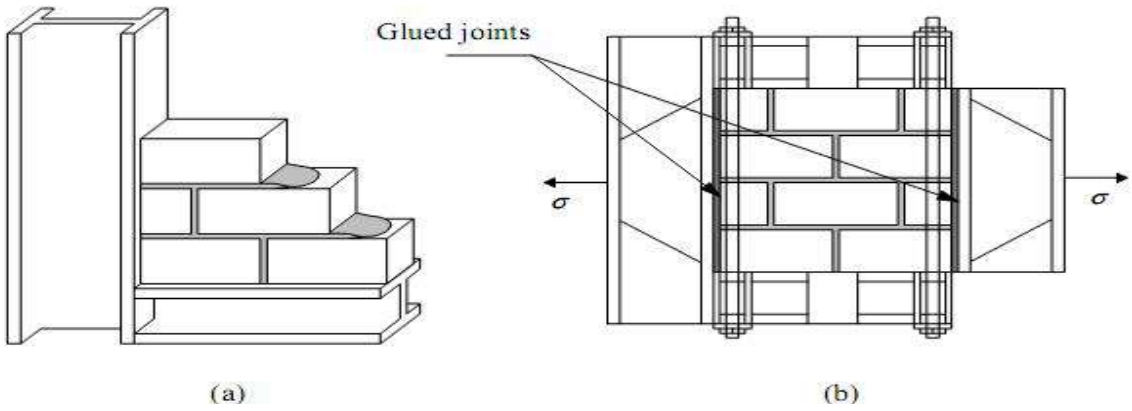


Figure I.19 .L'installation de l'essai de résistance à la traction pour la maçonnerie avec Un chargement parallèle aux joints de mortier.

Deux différents types de fissurations sont possibles, elles dépendent de la résistance Relative des joints de mortier et des briques (figure I.20).
Le premier type de fissuration prend une forme d'escaliers suivant les joints verticaux et Horizontaux. Le deuxième type de fissuration se produit presque verticalement par Rapport aux briques et aux joints de mortier horizontaux.

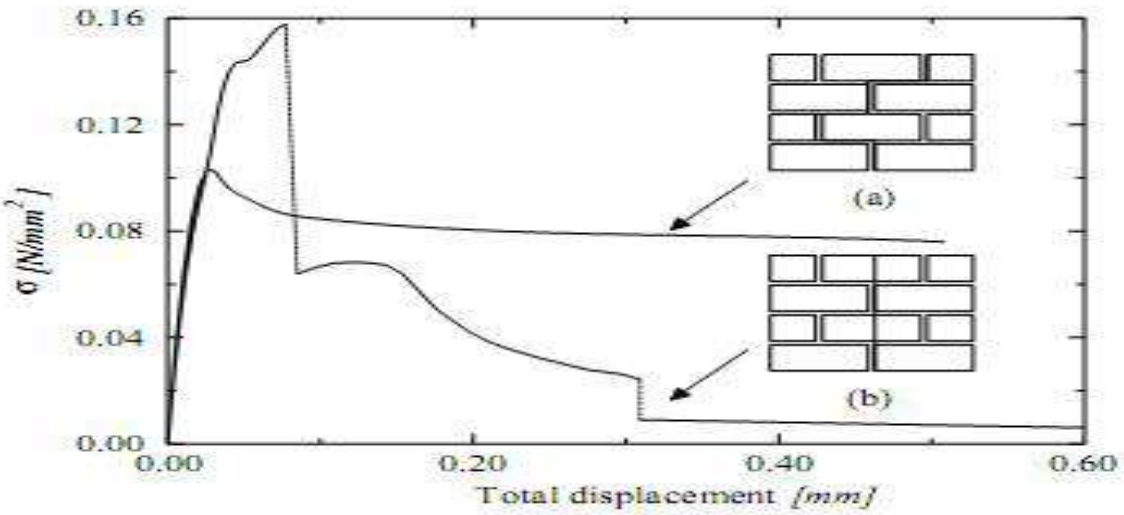


Figure I.20 *:* diagramme typique contraintes-déplacements pour l'essai de résistance à la Traction dans une maçonnerie avec un chargement parallèle aux joints de mortier.

I.8. Comportement de la maçonnerie au cisaillement :

L'évaluation de la résistance au cisaillement est requise pour les murs en maçonnerie Soumis aux actions horizontales, tel que le séisme et le vent. Les actions horizontales sont Généralement combinées avec les actions gravitaires du poids propre ou des surcharges Normales aux joints de mortier.

I.8.1. Contrainte de cisaillement :

Le comportement au cisaillement de la maçonnerie sous chargement horizontal avec une Pré-compression peut être représenté par la loi de frottement de Coulomb qui établie une Relation linéaire entre la contrainte de cisaillement (τ) et la contrainte normale de Compression (σ_c) qui s'écrit sous la forme suivante :

$$\tau = \tau_0 + \mu\ \sigma_c$$

I.8.2. Résistance au cisaillement pour (τo) :

La résistance au cisaillement dépend principalement du type de mortier, de la surface des Briques, et de l'adhésion brique-mortier. Il ne dépend pas des caractéristiques mécaniques Des briques. Les déplacements mesurés aux premiers de chargements sont généralement Linéaires, deviennent plus accentués une fois la rupture totale est atteinte.

I .8.4. Coefficient de frottement (μ) :

Le coefficient de frottement dépend particulièrement des mêmes propriétés des mortiers Que la résistance au cisaillement pur, mais les caractéristiques mécaniques des briques ont Une certaine influence, puisque pour déterminer cette propriété intrinsèque de l'assemblage Des briques en cisaillement, on fait intervenir la compression en même temps que le Cisaillement.

L'augmentation des contraintes de compression augmente automatiquement la résistance Au cisaillement d'une façon linéaire. La pente de la courbe contrainte de cisaillement en Fonction de la compression représente le coefficient de frottement.

I.8.5. Angle de dilatation (Ψ) :

Une autre caractéristique des joints de mortier a été définie par Lourenco P.B (2003), C est l'angle de dilatation Ψ qui mesure le changement de volume pendant le cisaillement, le rapport entre le déplacement normale et le déplacement de cisaillement donne la tangente de l'angle de dilatation Ψ, cet angle est généralement positif et tend vers zéro avec L'augmentation du déplacement de cisaillement et la contrainte de confinement.

Conclusion

La maçonnerie est considérée comme la technique de construction la plus ancienne et la plus répandue, elle est applicable par toutes les entreprises, et en particulier par l'artisan maçon qui réalise la plupart des constructions pavillonnaires. Elle se caractérise par ses matériaux support ; brique, parpaing, mortier ou chacun d'entre eux présente des avantages, particulièrement le cout de réalisation et la facilite

De transport dans les chantiers. Notre intérêt dans cette étude est de prédire le comportement des structures par rapport au cisaillement.

L'analyse bibliographique nous a permet de constater que le comportement des maçonneries est en fonction de types de chargement des conditions d'appui et des propriétés des briques et des joint de mortier.

Introduction

périmentale présente la caractérisation des matériaux utilisés et les essais effectuée en laboratoire.

II.1.Matériaux utilises :

On a utilisé des matériaux locaux fréquemment utilisés dans les chantiers algériens, Pour la construction des murets en maçonnerie on a besoin de préparer les matériaux suivants :

- Brique perforé
- Sable
- Ciment
- chaux
- Eau

II.2.Caractéristiques des matériaux :

- **Brique perforée :**

La Brique perforée utilisée a été fabrique par la briqueterie de Sétif. La brique est de forme parallélépipédique rectangle a base d'argile, (L'argile est souvent dégraissée par du sable). Les dimensions (Longueur x Largeur x Hauteur) sont données comme suit : 220 x 105 x 55 mm (Figure II.1).

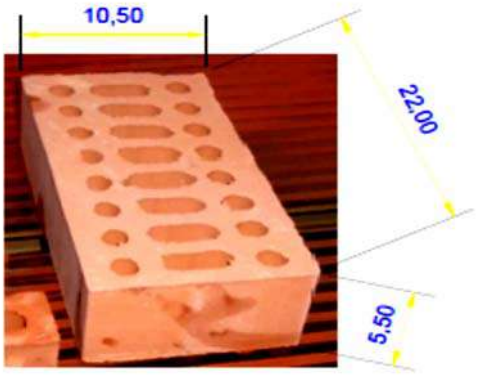


Figure II.1: Dimensions des briques perforées.

La masse volumique de la brique est déterminée par la méthode géométrique. Les mesures sont effectuées sur trois blocs La masse volumique d'un bloc ρ $(kg/m3)$ est calculée comme suit :

$$\rho = \frac{M}{V} (2.1)$$

Ou : ρ: Masse volumique apparente en (kg/m3).M : masse des blocs en (kg).V : volume net.

- **Caractéristiques mécaniques de la brique:**

Afin de caractériser la contrainte ultime en compression, les briques sont testées dans les trois directions caractéristiques (voir figure II.2).

Des essais de résistance à la compression ont été réalisés sur trois blocs jusqu'à la rupture. La résistance en MPa est calculée selon la formule suivante :

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_n} (2.2)$$ Où :

σb : résistance à la compression en (MPa)

Fb : charge maximale de rupture en (N)

Sn : section nette moyenne de la brique en (mm²)







Figure II.2: briques en compression selon les trois directions.

- **Caractéristiques des sables :**

✓ **Nous avons utilisé une sable :**

a-sable hassi bahbah

Pour déterminer les caractéristiques des sables on a fait les essais suivants :

- EQUIVALENT DE SABLE : **Selon la norme NFP 18-598**
- GRANULOMETRIE : **Selon la norme NF P18-560**
- MASSE VOLUMIQUE : **Selon la norme NF P18-554 ; 18-555**

➢ MODULE DE FINESSE : **Selon la norme NF P 18-101**

- **Equivalent de sable :**

Selon la norme **NF P 18-598 [11]**, la mesure de l'équivalent de sable se fait sur des tubes en verre. Les étapes suivies sont [Dupain.00]**:**

1. On remplies les éprouvettes avec la solution lavante, jusqu'au premier trait ;
2. On verse la quantité de sable voulue en éliminant les bulles d'air ;
3. On Bouche les éprouvettes et on les agite par des mouvements rectilignes horizontaux de20cm d'amplitude, 90 allers retours en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine ;
4. On lave et on remplies les éprouvettes, avec le tube plongeur
   - On rince le bouchon au dessus de l'éprouvette ;
   - On faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts pour laver les parois intérieures de l'éprouvette ;
   - On lave le sable en faisant descendre et on remonte lentement le tube laveur dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure ;
5. On faire Sortir le tube, et on ferme le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisse reposer 20 mn en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 10sec) car la hauteur du floculat dépend fortement de celui-ci ;
6. Puis on Mesure à vue les hauteurs h1 et h2

La mesure de h2 n'est pas toujours aisée donc l'ESV qui en découle contient des incertitudes, Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES en utilisant la méthode du piston ;

7. On descend le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieure de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable.

On Mesure alors h2'. Ces opérations sont identiques pour les 2 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures h1, h2 et h'2 doivent être faites avec la précision du mm

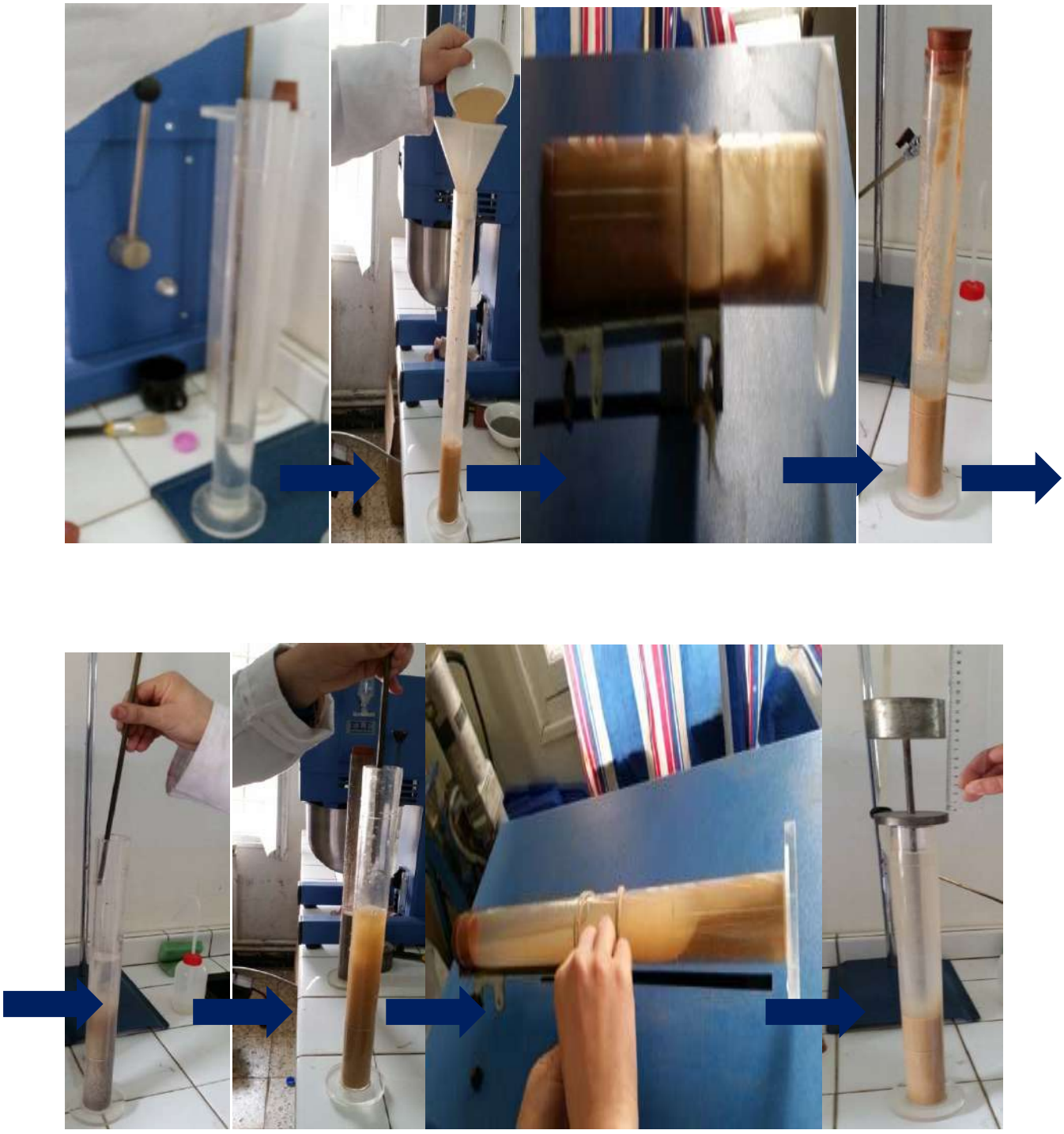


Figure II.4.Essai d'équivalent de sable

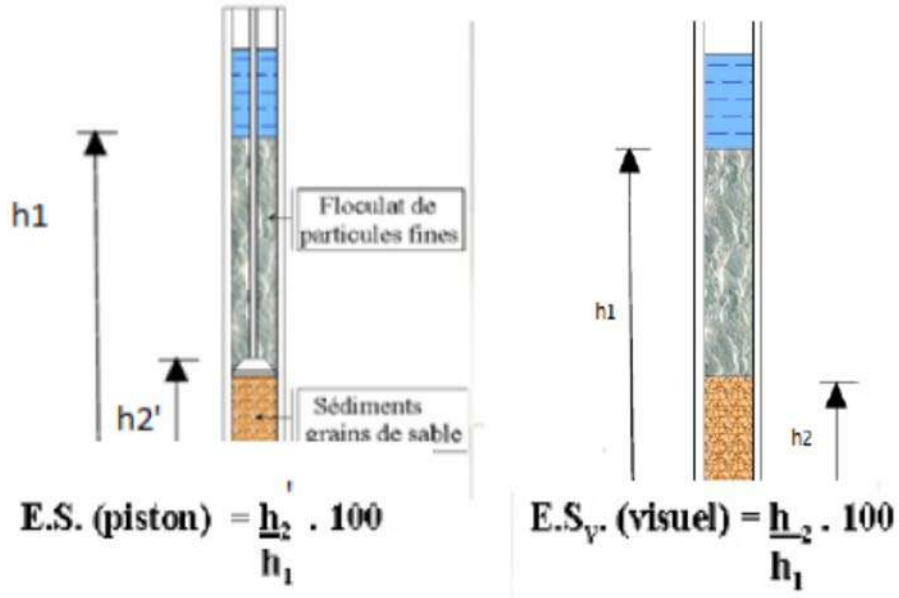


Figure II.5. Procédure de mesure de l'équivalent de sable.

- **Expression des résultats :**

On Calcul pour chaque éprouvette ESV et ES avec une précision décimale et retenir les Moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche

ES =100. (h2**'** / h1)**(2.3)**

ESV =100. (h2/ h1)**(2.4)**

- **Granulométrie :**

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NA 2607 [12]** où le sable passant à travers une série de maille décroissante (Figure III.7) dont on pèse le refus de chaque tamis *[Dupain.00]*.

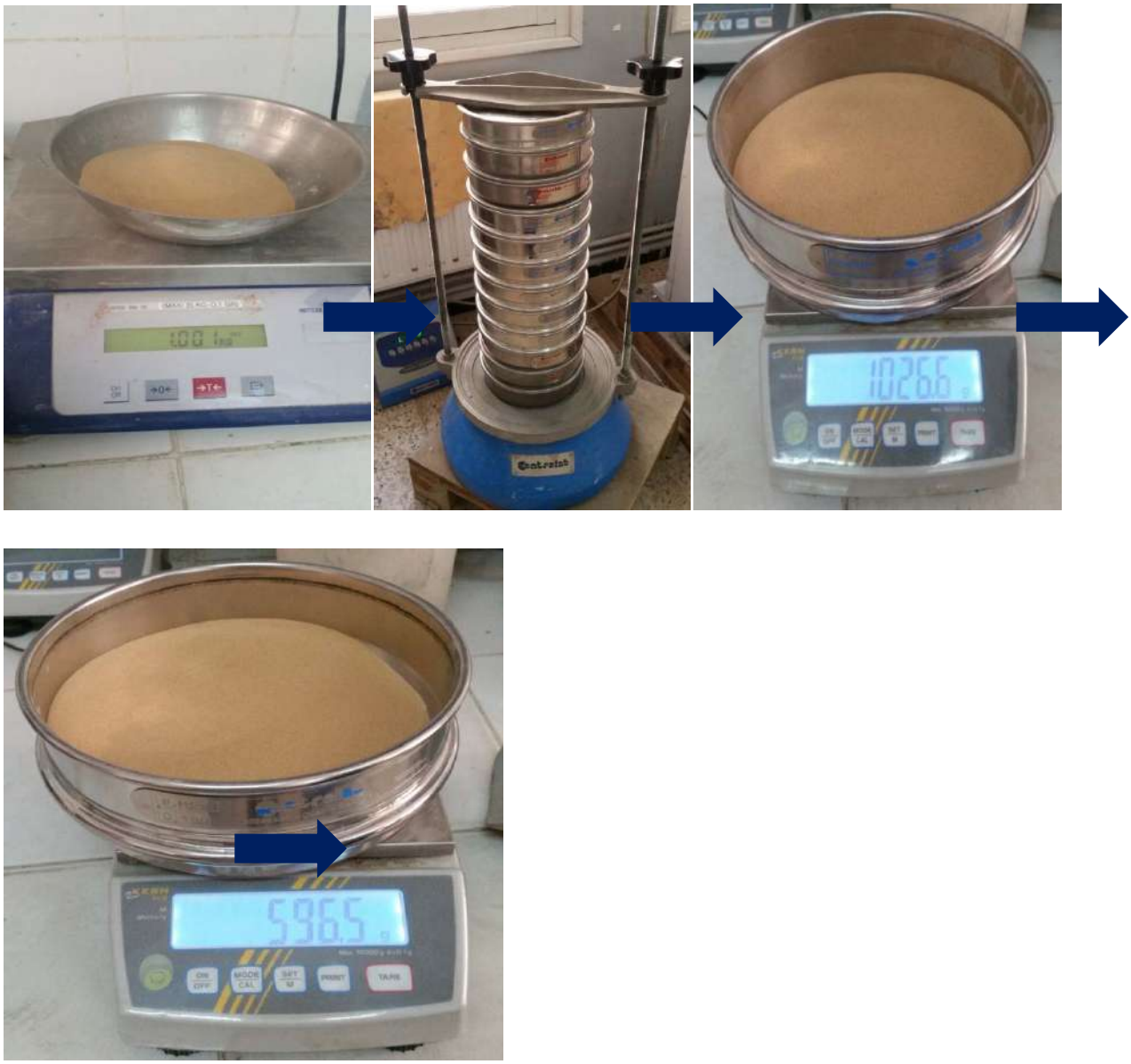


Figure II.7 : Essai d'analyse grannulométrique

- **La masse volumique :**

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'une substance par unité de volume.

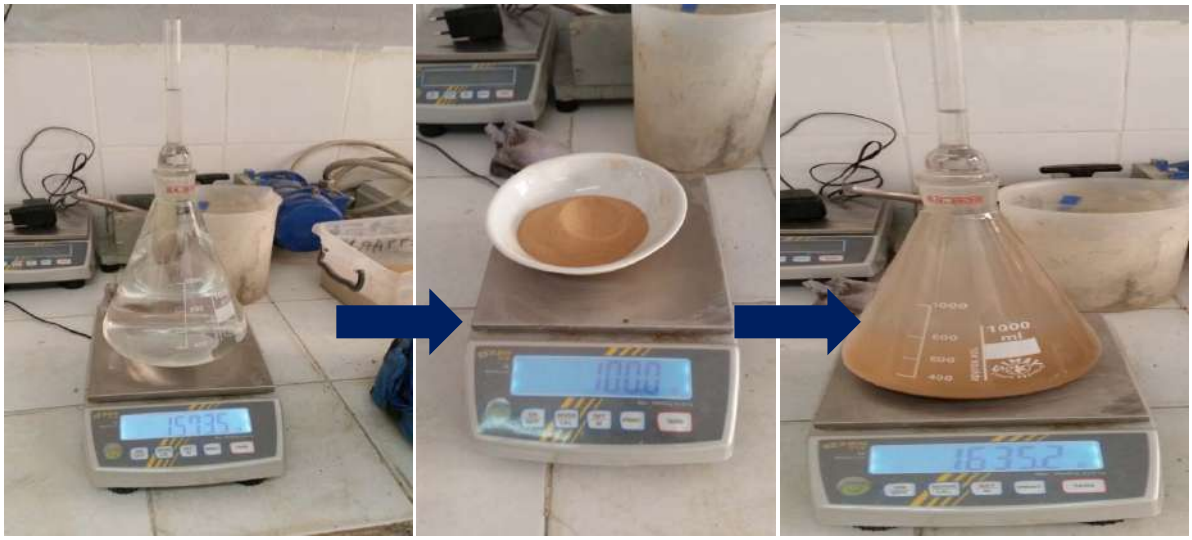


Figure II.9: Essai de massevolumique de sable

- **Module de finesse :**

Le module de finesse (Mf) d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés (exprimée en pourcentage) des fraction granulaires obtenues sur les tamis de modules : 23 - 26 - 29 - 32 - 35 - 38 - 41 - 44 - 47 - 50 (respectivement des tamis de la série 0,16 mm - 0,315 mm - 0,63 mm - 1,25 mm - 2,5 mm - 5 mm - 10 mm - 20 mm - 40 mm et 80 mm).

- **Eau de gâchage :**

L'eau de gâchage utilisée est une eau potable de robinet. Elle permet à la fois d'hydrater le liant (ciment ou chaux) et à contribuer à l'ouvrabilité du mortier. Le dosage en eau est pris selon l'ouvrabilité du mortier.

- **Ciment :**

Au cours de cette étude nous avons utilisé un ciment portland composé (CPJ-CEM II /A 4,25 produite par l'entreprise des ciments et dérives de Chleff.



Figure II.10: Ciment de Matine.

Le ciment portland composé est conforme à la norme NA 442 et à la norme NF P 15-301 et il dépasse considérablement les exigences de résistance de ces normes.

- **La chaux :**

La chaux utilisée est un liant Ariane obtenue à partir de la carrière de Hassani Saida.



Figure II.11 : chaux de Saida.

II.3. Mortiers utilisés :

Afin d'étudier l'influence du type de mortier sur le comportement des éléments en maçonnerie, on a utilisé quatre type de mortier bâtardavec variation de quantité du sable:

A-II.3.1.Essai sur mortier frais

A) 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 qui peut être muni d'un vibrateur

B) la 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). Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 4,0 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 1,0 mm du niveau supérieur.

B-II.3.2.Essai sur mortier durci

La résistance à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier. Selon la norme EN196-1

- les éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm sont place dans une machine d'essai à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150.
- Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN avec une vitesse de mise en charge de 50 N/s ± 10N/s.





Figure II.12*:* Moule prismatique et éprouvettes 4x4x16 cm de mortier**.**

Si Ffest la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut Ffl/4 et la contrainte de traction correspondante sur la face inferieure de l'éprouvette est :

$$Rf = \frac{1.5\ Ff.l}{b^3} \qquad (2.5)$$

b-Résistance à la compression :

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion seront rompus en Compression comme indique sur la figure 3.8. Si F_C est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$Rc = \frac{Fc}{b^2}$(2.6)

$Rc = \frac{F}{1600}$ (2.7)

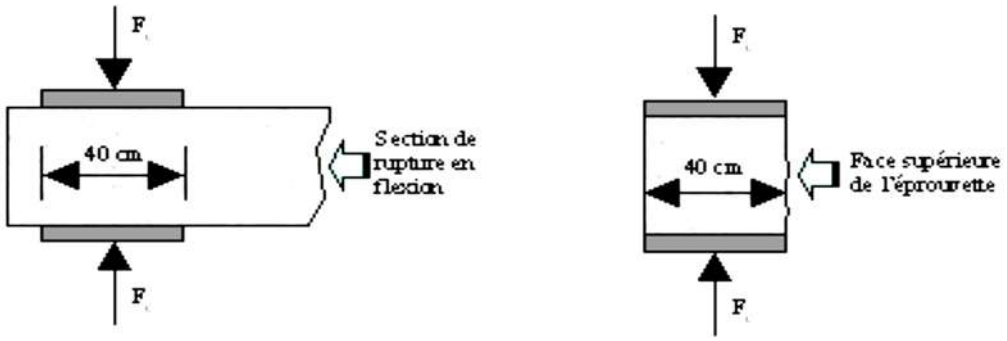


Figure II.13.Dispositif pour l'essai de résistance à la compression. (Michael, 1989).

II.3.3.Composition de mortier bâtard :

Le mortier bâtard est constitué par un mélange de Ciment-Chaux-Sable.

Matériaux	Ciment	chaux	Sable
1 :3	**1**	**1**	3
1 :4	**1**	**1**	4
1 :5	**1**	**1**	5
1 :6	**1**	**1**	6

Tableau II.1 : dosage de mortier bâtard.

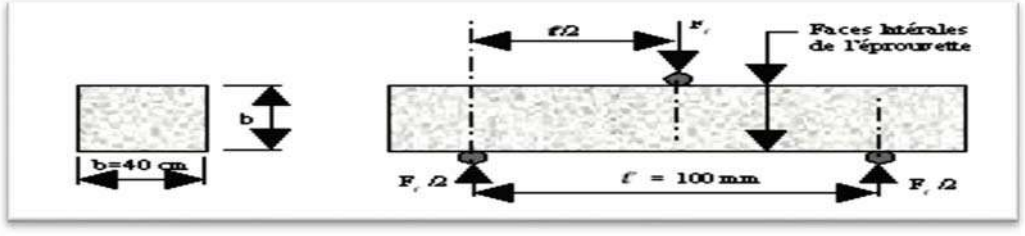




Figure II.16.Le dosage en ciment-chaux-Sable pour la préparation de différent type de mortier.



Figure II.117. les étapes de préparation les éprouvettes prismatique.



Figure II.19.conservation dans l'eau a 20°c+/- 2°.

III. Comportement mécanique des maçonneries

III.1 Introduction

Il est important de souligner que la résistance aux séismes des constructions en maçonnerie dépend entièrement de la tenue mécanique des murs sous l'effet des forces latérales. Cependant, il est indispensable de connaître les différents paramètres qui gouvernent le comportement cisaillement dans le but de prédire et évaluer la tenue sismique de ces structures Il est donc nécessaire de modéliser et d'étudier expérimentalement la réponse des murs maçonné soumis à un effort cyclique horizontal. De nombreux auteurs se sont penchés sur cette question concernant l'étude expérimentale des structures maçonnées. Dans la littérature plusieurs essais sont proposés pour la caractérisation du comportement au cisaillement à l'échelle locale de ces structures. Le but des différents essais est d'assurer une distribution uniforme des contraintes normale et tangentielle.

La différence que nous avons constatée entre ces différents tests s'articule essentiellement autour du choix d'un volume élémentaire représentatif de la maçonnerie (VER). Ce Verdit faire intervenir en même temps les différents constituants de la maçonnerie. Ci-dessous nous donnons quelques exemples de cette panoplie de forme et de taille des VER rencontré dans la littérature.

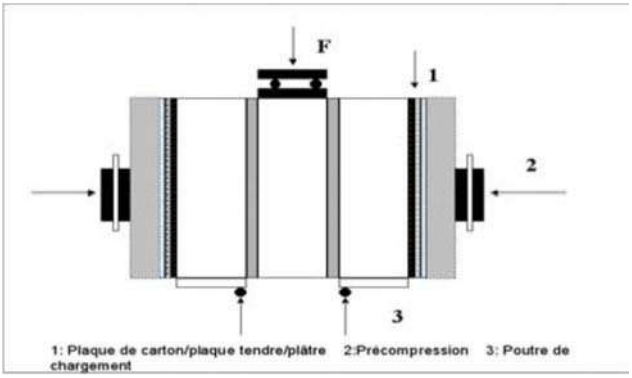
La figure 2.22a représente un essai de cisaillement sur des couplets, ce cas a été adopté parPluijm Rdv [73] et Abdou et al [1]. La figure 2.22b est l'essai de cisaillements standards sourds triplets

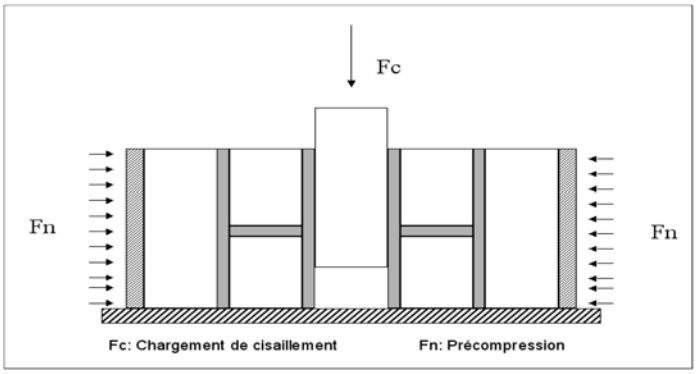
conçu d'après la norme NF EN 1052-3 [70] ; il faut savoir que cet essai est le plus souvent utilisé. L'essai de cisaillement montré par les figures 2.22c et 2.22d utilisé par Lourenço et al [54] ainsi que Gabor [36] et qui sont conçus d'après la norme RILEM [58].

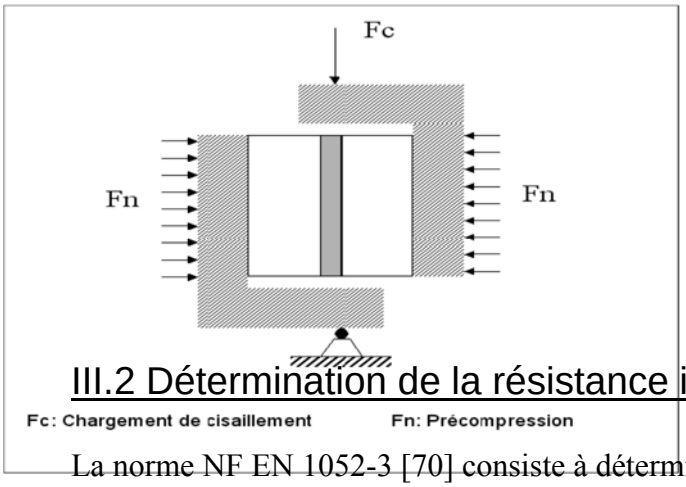
Dans le même esprit, et dans le but de caractériser le comportement au cisaillement de la maçonnerie au niveau de l'interface brique/mortier nous avons effectué l'essai montré par la figure 2.23.

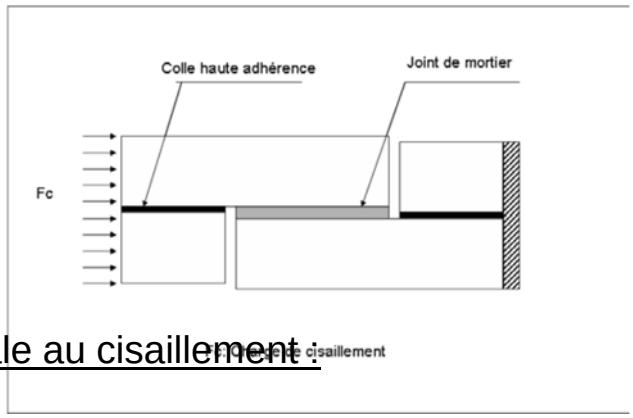
Nous avons constaté que ce montage ne permet pas de réaliser l'essai souhaité. Le modèle rupture (figure 2.24) obtenu montre une fissuration au milieu de la brique chargée. CE comportement est produit par la flexion de la brique sans que l'interface brique/mortier ne soit endommagée.

Notre contribution dans ce domaine est de présenter une étude expérimentale comparative entre deux types d'essai de cisaillement composés sur des triplets non renforcé et triplet renforcé, ceci afin d'élargir les connaissances sur le comportement au cisaillement des maçonneries à l'échelle locale.









III.2 Détermination de la résistance initiale au cisaillement :

La norme NF EN 1052-3 [70] consiste à déterminer la résistance initiale au cisaillement danse plan des joints d'assise horizontaux de la maçonnerie, à l'aide d'un corps d'épreuve soumis un essai de cisaillement jusqu'à la rupture. Cette norme nous donne également toutes les indications nécessaires concernant la préparation des corps d'épreuve.



Fig. 2.24 – Essai de cisaillement N3 : Modes de rupture

La résistance initiale au cisaillement de la maçonnerie est déduite de la résistance de murets de maçonnerie testés jusqu'à rupture. Les corps d'épreuve sont soumis à un essai de cisaillement sous une charge appliquée en quatre points avec une pré-compression appliquée perpendiculairement aux joints d'assise (figure 2.22b).

IV.Procédé expérimental :

IV.1.Préparation de triplet :

Notre étude concerne la réalisation de vin quatre triplet en maçonnerie construits en briques perforés, ces briques sont jointées par un mortier batard1 :1 : 3et1 :1 :4et 1 :1 : 5et 1 :1 :6d'une épaisseur de 10mm, les triplets fabriques sont soumis à un chargement de cisaillement avec quater niveaux de contrainte de confinement0-*0.4-0.8-1 MPa*, respectivement sur des triplets non renforcés et des triplets renforcé par PRFC LAMINÉ**(**Fibres de carbone Sika carboDur lamelles)

- **triplet non renforcé :**

Dans le but de décrire le comportement des maçonneries à l'échelle locale, on s'est intéressé cette fois-ci à déterminer la réponse des prismes de maçonnerie composés de triplets en briques perforèe(figure 1…1 et figure12…..).

Les assemblages sont connectés par des joints de mortier d'une épaisseur de 10mm.

Les échantillons sont disposés dans la machine d'essai et soumis à un chargement monotone croissant uniformément réparti jusqu'à la rupture, Enplus, L'éprouvette est soumise aux contraintes de Confinement horizontales sur les côtés latérales des briques. La machine d'essai et le capteur sont connectés une chaîne d'acquisition (PC) qui enregistre les informations qui sont produites au course

l'essai. Ces informations sont les déformations longitudinales et le chargement appliqué Nous appelons la force de rupture la force maximale atteinte au cours de l'essai. Afin de déterminer une loi de comportement en cisaillement, nous avons tracé la courbe contrainte de cisaillement en fonction des déplacements relatifs. Les résultats obtenus sont présentés et commentés dans les paragraphes suivants

Nous avons traité au total seize prismes, quatre triplets pour chaque type de mortier avec
Les résultats obtenus nous ont conduits à tracer les différentes courbes concernant l'évolution des déplacements longitudinaux en fonction des contraintes de cisaillement calculées d'après l'équation 2.7. Tous les résultats sur les triplets en briques creuses sont présentés plus en détail dans les paragraphes suivants.

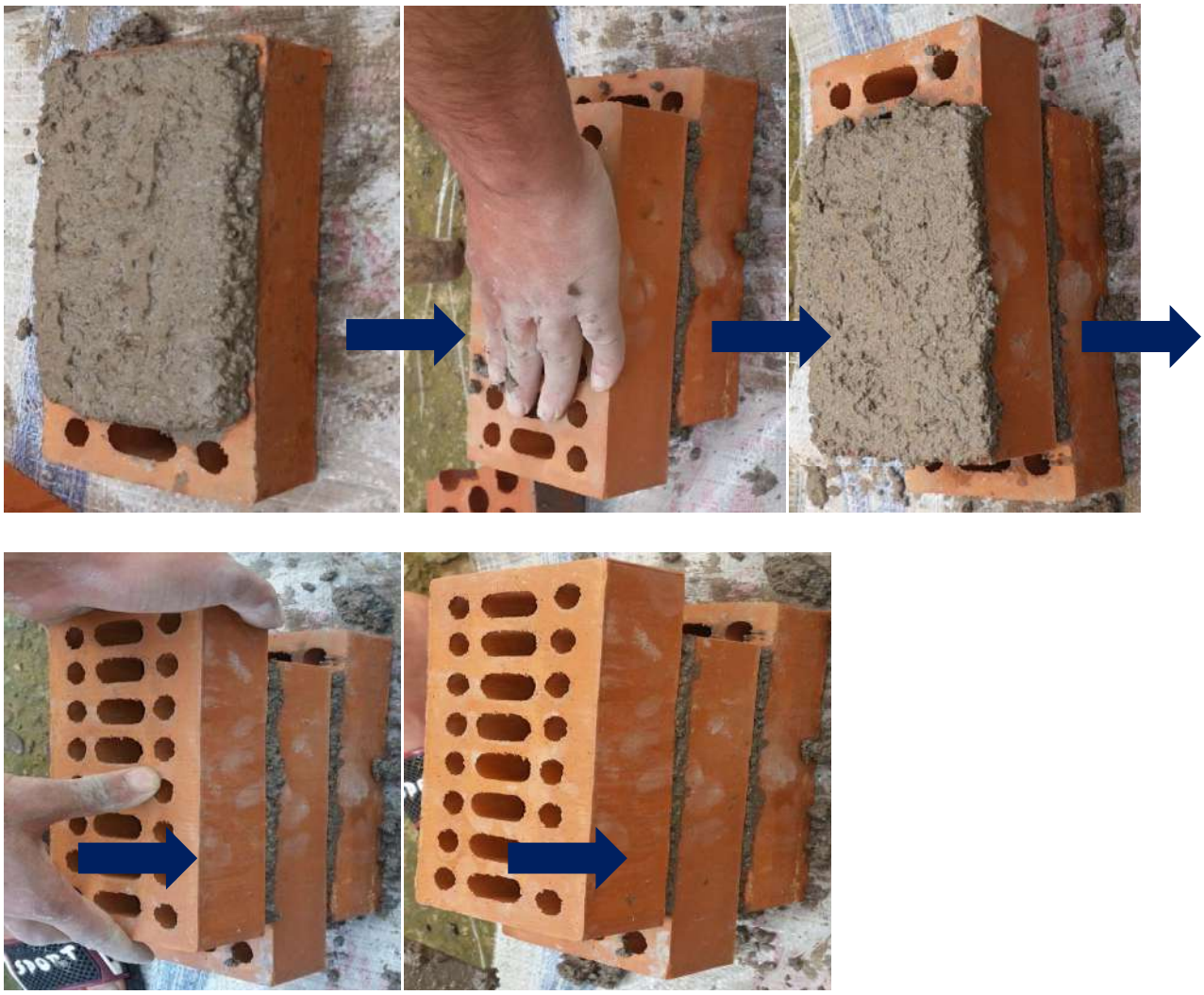


Figure II.20. Préparation de triplet

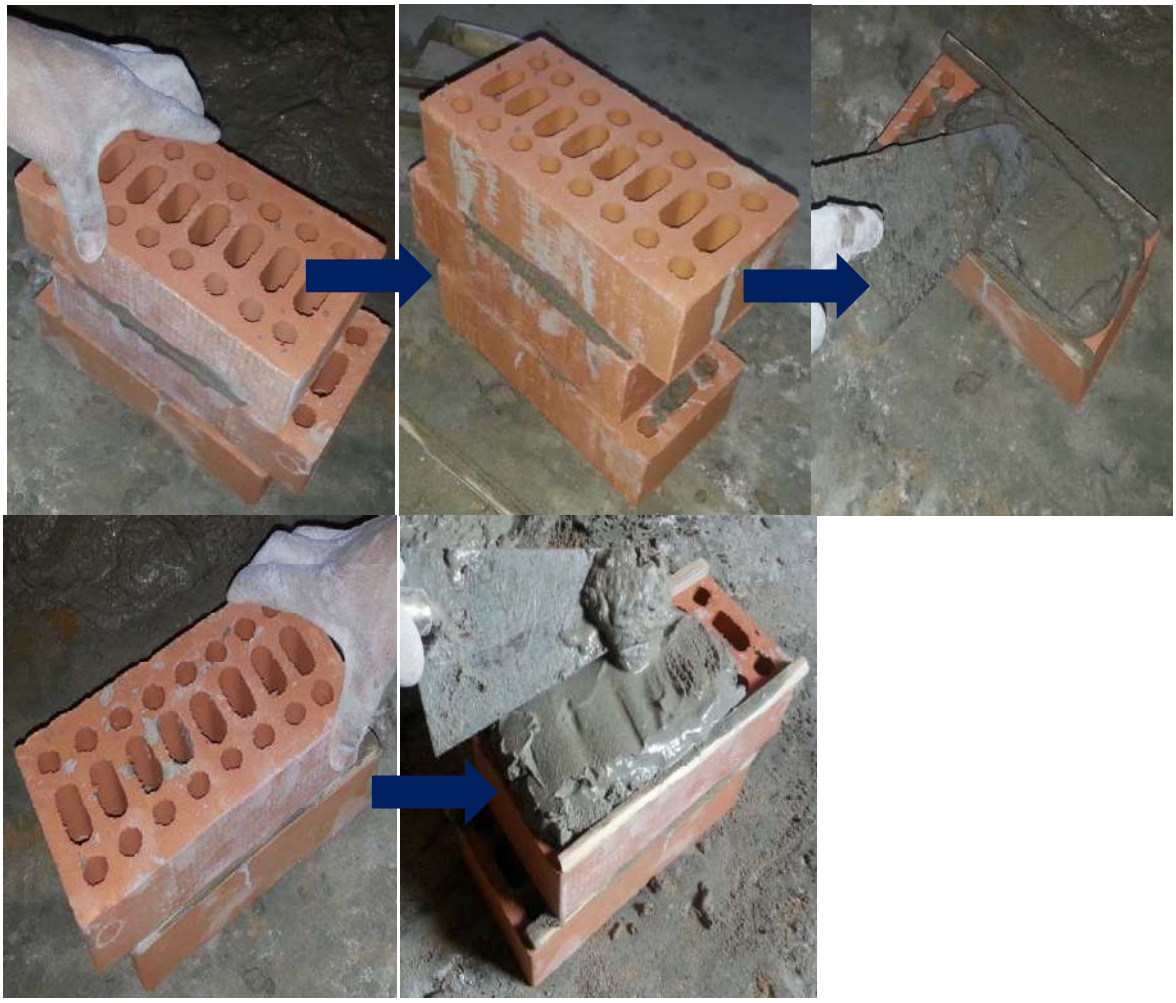


Figure II.21. Préparation de triplet

IV.6.1 Matériaux de renforcement :

IV.6.1.1 Fibres de carbone Sika carboDur lamelles :

Les Sika® CarboDur® Lamelles sont des P.R.F.C. pultrudés (Polymères Renforcés de Fibres de Carbone), à base de fibres de carbone noyées dans une matrice époxydique. Elles se présentent sous forme de lamelles préfabriquées en usine, et sont conçues pour le renforcement des structures en béton armé, en béton précontraint, en bois, en maçonnerie, en métal.

Les lamelles sont collées in-situ avec la colle structurale Sikadur®-30.





Figure IV.17: lamelle en fibre de carbone

Tableau IV.3: caractéristiques de fibre de carbone

Largeur de lamelle	**15 mm**
Longueur de rouleaux	**10 m**
section	**37,5 mm2**
Epaisseur de lamelle	**2.5 mm**
Module d'élasticité	**165 000 Mpa**
Résistance a la traction	**3 100 N/mm²**
Allongement a la rupture	**1.7 %**

IV.6.1.2 Résine d'imprégnation pour le système Sikadur®-30

Sikadur®-30 est une colle structurale thixotrope à 2 composants, mélange de résine époxydique et de fillers spéciaux.

Les caractéristiques techniques sont résumées dans le tableau suivant IV.4

Tableau IV.4 : caractéristiques de la Résine

COLORIS	Composant A	Blanc
	Composant B	Gris
	Composant A+B	Gris clair (consistance crémeuse)
CONSERVATION		2 ans dans son emballage
RAPPORT DE MALAXAGE		Par volume 3,68:1 Par poids 4:1
VISCOSITE		Environ 500 cps
RESISTANCE A LA TRACTION ASTM D638		30 N / mm2 (7 jours à + 23 ° C)
MODULE EN TRACTION ASTM D638		4800 N/mm2
ALLONGEMENT A LA RUPTURE		0.9% (7 days at +23°C)

- **LE MELANGE DES COMPOSANTS DE LA RESINE EPOXY SIKADUR -30 :**



Figure IV.21 : composants A et B de la résine époxy bi-composants

B-Essais de cisaillement sur le triplet :

Le comportement en cisaillement des maçonneries est obtenu par une pré-compression appliquée perpendiculairement aux joints d'assise

Dans cet essai, on possède deux surfaces cisaillées (NF EN 1052-3)

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot S} \qquad (2.8)$$

Aussi, cet essai permet d'établir la relation linéaire de Mohr-Coulomb en fonction de l'adhérence entre le mortier et la brique par la relation suivante

c: Cohésion du mortier

S : surface de brique perforé

Figure Essai de cisaillement sur un assemblage de triplet en briques creuses (type de mortier 1-1-3)



Figure Essai de cisaillement sur un assemblage de triplet en briques perforée (type de mortier 1-1-4)



Figure Essai de cisaillement sur un assemblage de triplet en briques creuses (type de mortier 1-1-5)

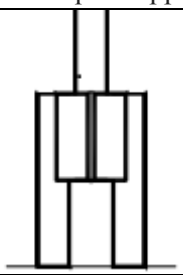
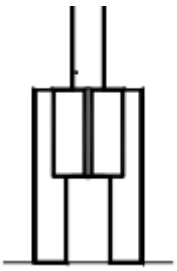


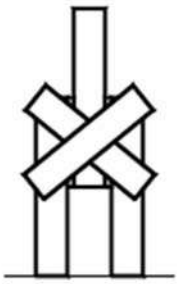
Figure Essai de cisaillement sur un assemblage de triplet en briques creuses (type de mortier 1-1-6)



- **triplet renforcé :**

Les spécimens sont renforcés sous différents motifs géométries et variantes quantitatives de deux systèmes de renforcement de fibres de carbone
Les systèmes de renforcement utilisés sont: des lamelles en FRP, qui sont Adhérer à la surface de l'usine au moyen de résine époxy. En plus des matériaux trois autres variables sont considérées dans l'application : le motif géométrique le type de mortier et application sur un ou deux côtés selon plusieurs schémas différents ; renforcement horizontal d'un seul côté et de deux coté, renforcement verticale de deux côtés et renforcement de forme X de deux côtés avec différent type de mortier
Le tableau 3.4 présente une synthèse des groupes d'essais de cisaillement uni axial

Nom prismes	Motif géométrique d'application	Renforcement
TRV1		Adhésion d'une bande de CFRP laminé dans position horizontale, perpendiculaire aux joint mortier et la direction de la charge de cisaillement. Le renforcement est appliqué seulement sur un seul côté
TRV2		Adhésion d'une bande de CFRP laminé dans position horizontale, perpendiculaire aux joint mortier et la direction de la charge de cisaillement. Le renforcement est appliqué sur les deux cotés

TRX		Adhésion d'une bande de CFRP laminé dans position diagonale, forme de X formant un angle d'environ 50º par rapport aux réunions de mortier et la direction de la charge de cisaillement. Le renforcement est appliqué sur deux côtés

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques utilisées pour la réalisation du programme expérimental. La confection des triplets est réalisée en prenant les nécessaires. Dans le prochain chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus lors des écrasements des triplets et les essais en laboratoire.

Les différents modes de rupture trouvés confirment l'hétérogénéité de la maçonnerie. Nous pouvons distinguer deux types de fissures qui se développent :

– soit au niveau de l'interface brique-mortier

– soit au niveau de l'interface brique-mortier et au niveau du joint de mortier

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des différents essais réalisés sur les sables (fin), mortier durci et triplet en brique perforé. Les différentes Courbes contraintes-déformations sont présentées et nous montrons l'influence de chaque Paramètre sur le comportement de la maçonnerie.

III.1.résultats expérimentale sur les matériaux

III.1.1 .Les briques

a) Caractéristiques géométriques :

Les panneaux sont confectionnés à partir des briques perforés, dont les caractéristiques géométriques sont :

- Briques perfore : 220 x 105 x 55 mm3

b) Caractéristiques physiques :

Le tableau III.1 montre que la masse volumique des briques et de l'ordre de 1800 Kg/m3.

N°	$M(g)$	$V\ (cm3)$	$\rho\ (g/cm3)$	$\rho moy\ \ (Kg/m3)$
01	1589,2	877	1,81	1800
02	1592,4	880	1,81	
03	1588,7	895	1,78	

Tableau III.1 caractéristiques physiques des briques perforé.

c) **Caractéristiques mécaniques :**

La résistance à la compression en fonction de la disposition des briques est donnée dans le tableau (III.2) et la figure III.1.

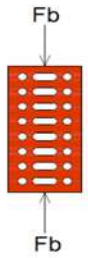
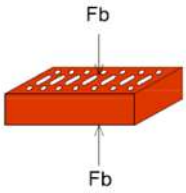
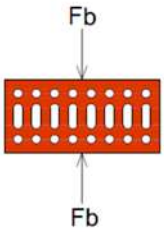
Direction 1	Direction 2	Direction 3
		
9,35(MPa)	23,50(MPa)	3,21(MPa)

Tableau III.2 : résultats d'essai de compression sur briques.

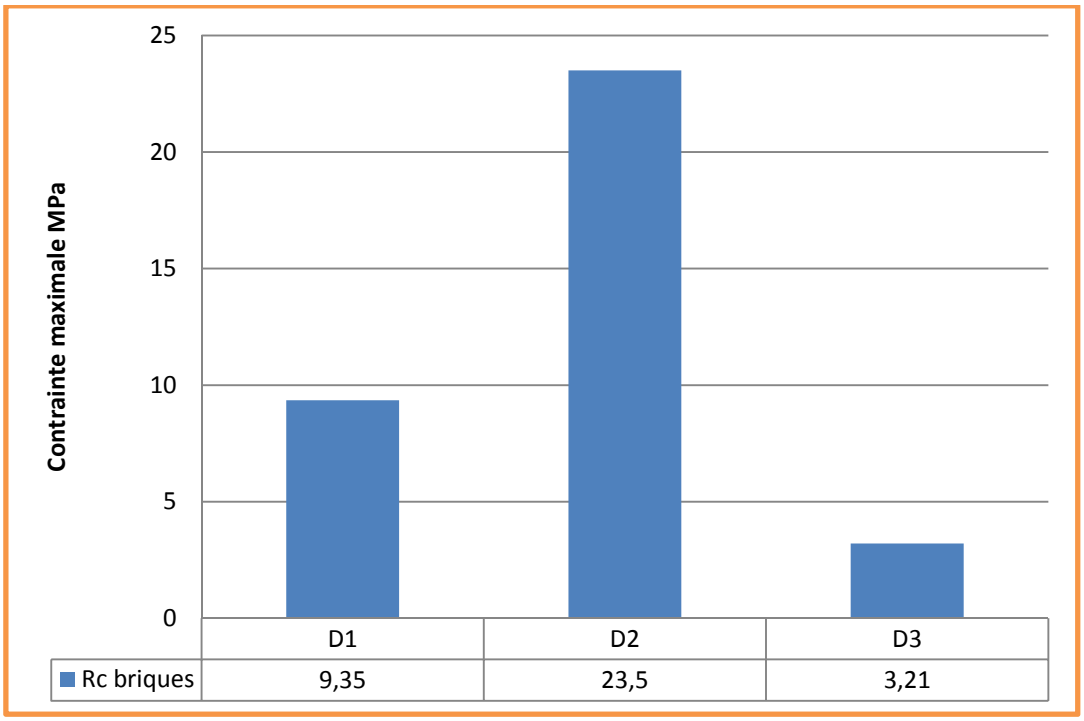


Figure III.1.résultats d'essai de compression sur brique.

III.1.2.Les sable :

Les résultats des essais réalisés sur les deux types de sables sont représentent dans le tableau suivante :

III.1.2.1.Analyse granulométrique de sable Fin :

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés(%)	Tamisât cumulés(%)
0.315	591.2	59.12	90.88
0.20	727.8	72.78	27.22
0.16	981.2	98.12	4.88
0.1	998.3	99.83	0.17
0.08	998.9	99.89	0.11
Fond	999.8	99.98	0.02

Tableau III.4 : Analyse granulométrique de sable fin.

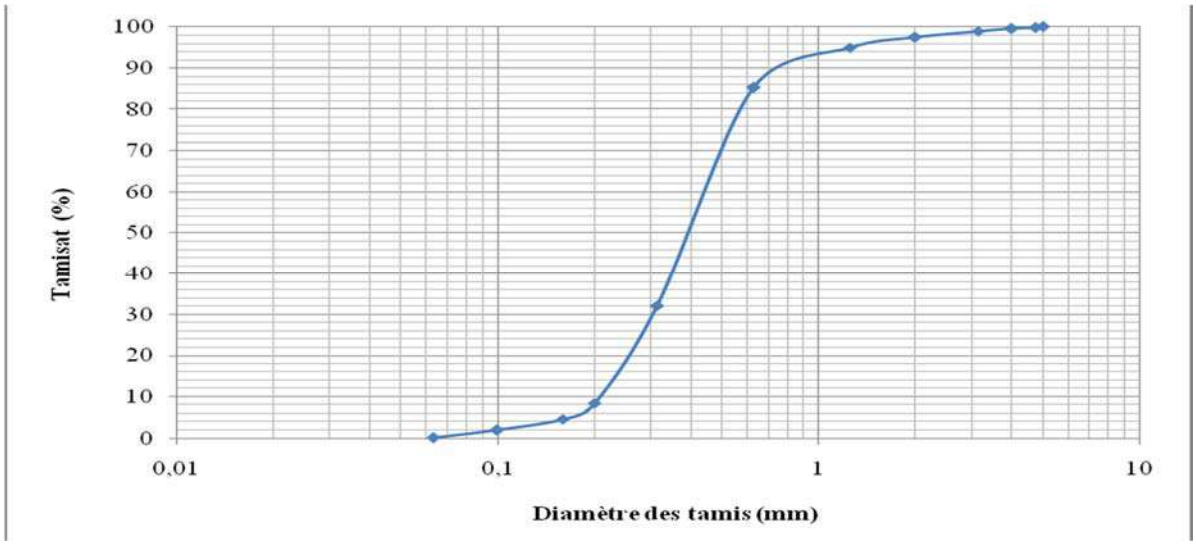


Figure III.3.courbe granulométrique de sable Fin.

III.1.2.2. Module de finesse:

$$\mathbf{MF}= 1/100 \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{0.16\text{-}0.315\text{-}0.63\text{-}1.25\text{-}2.5\text{-}5\}$$

MF=1.57

- ✓ **Classification:**

Le module de finesse est < 1.8 ⟹ sable très fin

III.1.2.4.Résultats de L'équivalant de sable Fin.

Sable Fin	Eprouvette°1
Hauteur de la colonne(H1)	13.2
Hauteur de sable à vue(H2)	10
Hauteur au piston (H2')	8.6
ESV%	75.75
ESP %	65.15

Tableau III.6:Résultats de l'équivalent de sable Fin.

Observation : Sable propre

Origine de sable	ES(%)	
	ESV	ESP
Sable FIN	75.75	65.15

Tableau III.7:Résultats de l'équivalent de sable (Fin).

ESV à vue en (%)	ES piston (en%)	Nature et qualité du sable
ESV<65	ES < 60	Sable argileux
65 ≤ ESV < 75	60 ≤ ES< 70	Sable légèrement argileux
75≤ ESV < 85	70≤ ES< 80	Sable propre
ESV ≥ 85	ES ≥ 80	Sable très propre

Tableau III.8.Nature et qualité de sable en fonction de (ESV et ESP).

Observation :

- **le sable Fin est Sable très propre**

III.1.2.5. Résultat de la masse volumique :

A) la masse volumique absolue de sable fin.

Pycnomètre 1 : $\boldsymbol{\rho abs}$=(100/1573.5+100-1636.1)x1 $\Longrightarrow \boldsymbol{\rho abs}$=2.67 g/m3

La masse	m1	M2	M3
Valeur(g)	1573.5	100	1636.1
$\boldsymbol{\rho ab}$ (g/dm3)	2.67		

Tableau III.10.Résultats dela masse volumique absolue (sable fin).

III.1.3. Caractéristique mécanique du mortier frais

Les résultats sont illustrés dans l'histogramme de la Figure 3.4. D'après l'histogramme de la figure, on remarque que la résistance à la compression des mortiers avec est supérieure par rapport a celles avec sable fin.

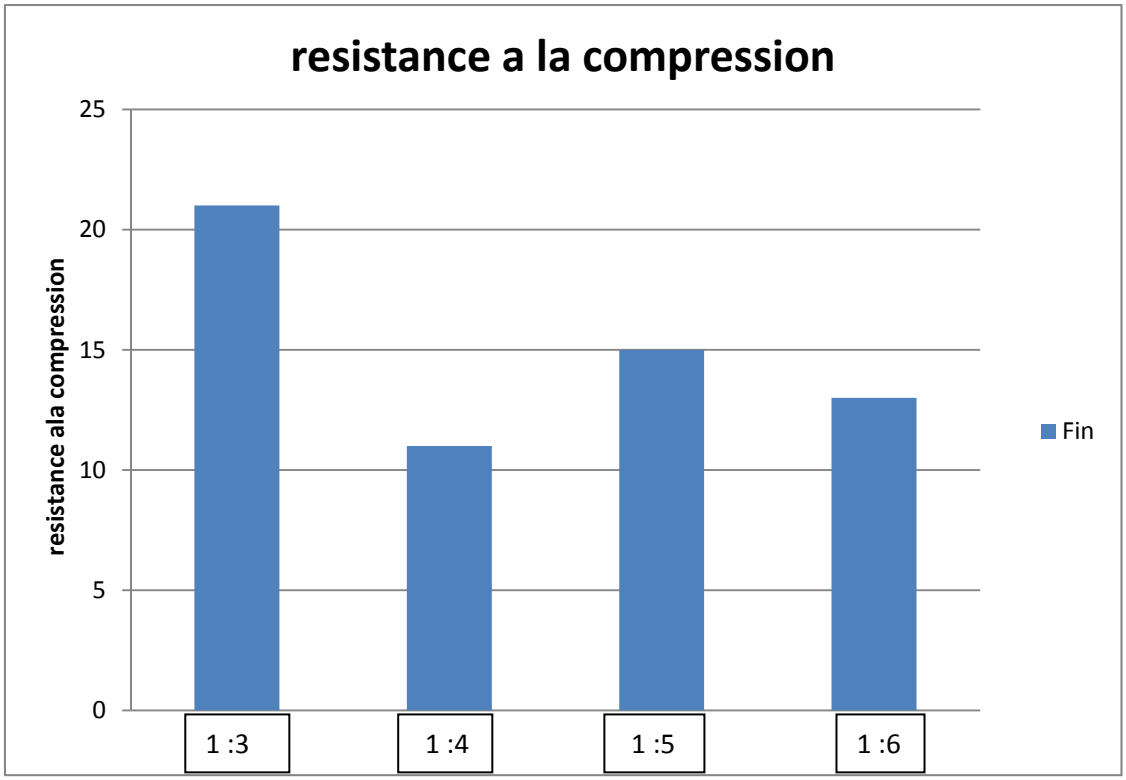
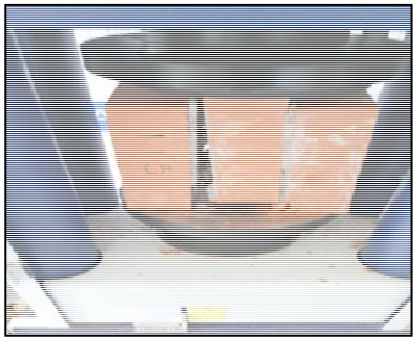


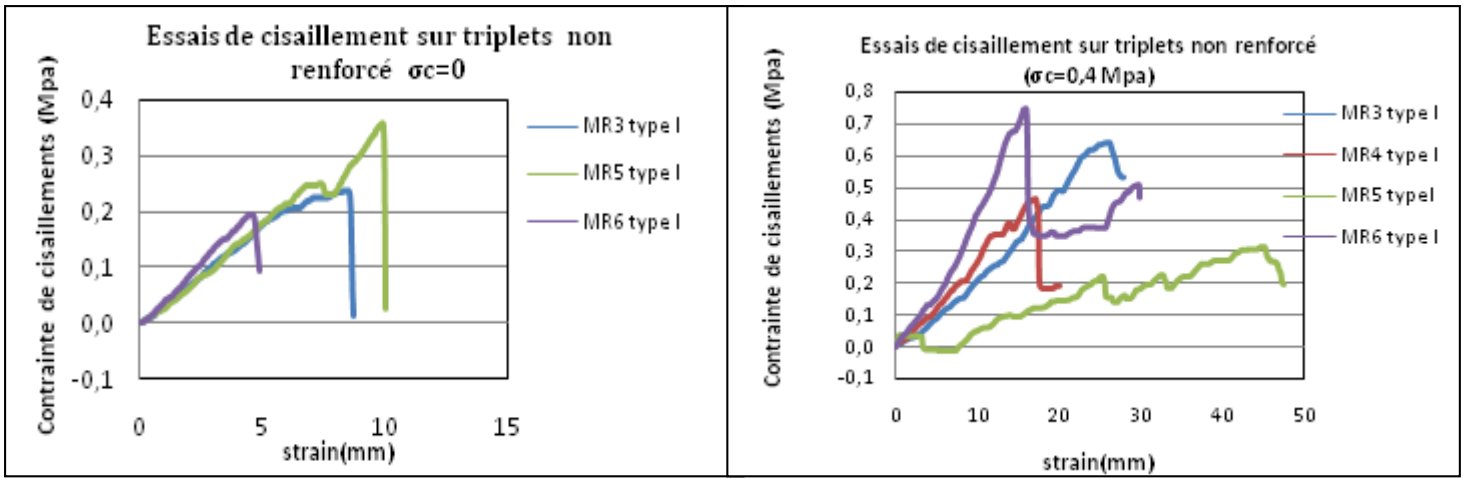
Figure III.4.Variation du Résistance à la compression de défirent mortiers réalisé (Fin).

III. 2.Contrainte de cisaillement de triplet :

Afin des simplifier l'exploitation des résultats, on va discuter le comportement des triplets Pour chaque niveau de pré-compression :







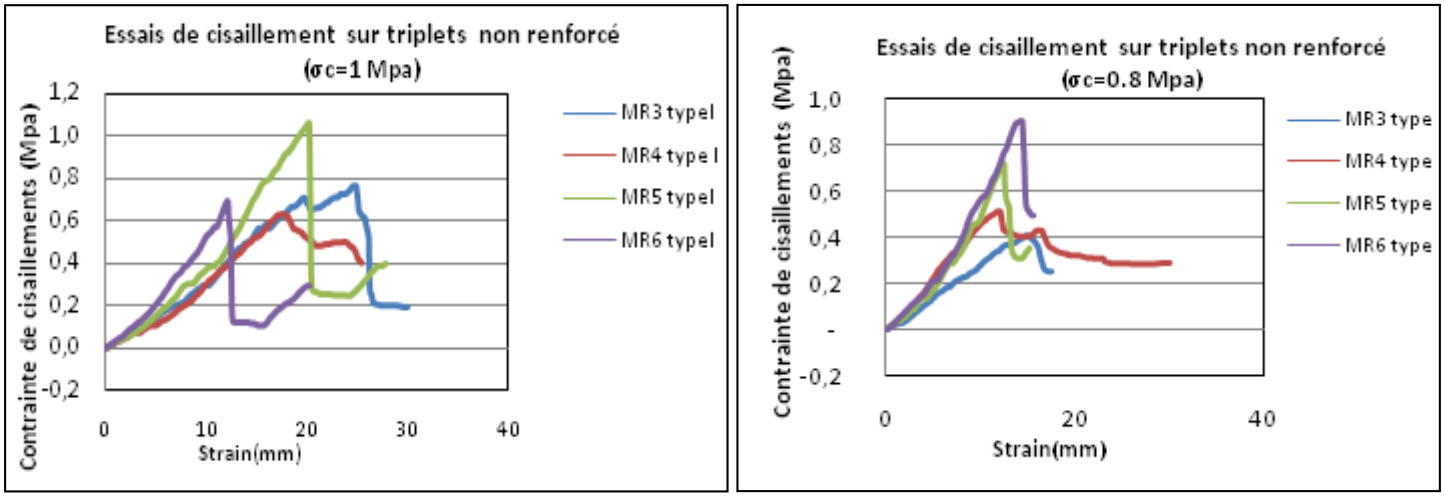


Figure III.5. Essai de cisaillement sur un assemblage des triplets en briques perforé non renforcé

Mode de rupture :

- **triplet non renforcé**





Figure III.6. Essai de cisaillement sur le triplet de type A(1.1.3)



Figure III.7. Essai de cisaillement sur le triplet de type B(1.1.4)



Figure III.8. Essai de cisaillement sur le triplet de type C(1.1.5)



Figure III.9. Essai de cisaillement sur le triplet de type D(1.1.6)



Les courbes de déplacements relatifs en fonction de la contrainte de cisaillement (figure III.6 et figure III.7) montrent également des différences importantes sur la valeur de la contrainte limite de rupture.

A propos des triplets en briques perforé les valeurs de la contrainte limite de rupture pour les différents échantillons sont de 3.56MPa, 0.55MPa, 1.24MPa et 0.55MPa pour les triplets type A,B,C et D respectivement.

Le déplacement mesuré est de l'ordre de quelques microns.

La partie élastique de la loi de comportement des triplets est caractérisée par un comportement très rigide.

A partir de la contrainte maximale nous observons un comportement fragile sur les triplets en briques perforée type D (figure III.9), contrairement à la réponse des triplets en briques creuses qui est gouvernée par un comportement d'adoucissement suivi par un mouvement de glissement entre les briques adjacentes (figure III.9).

- **triplets renforcés :**

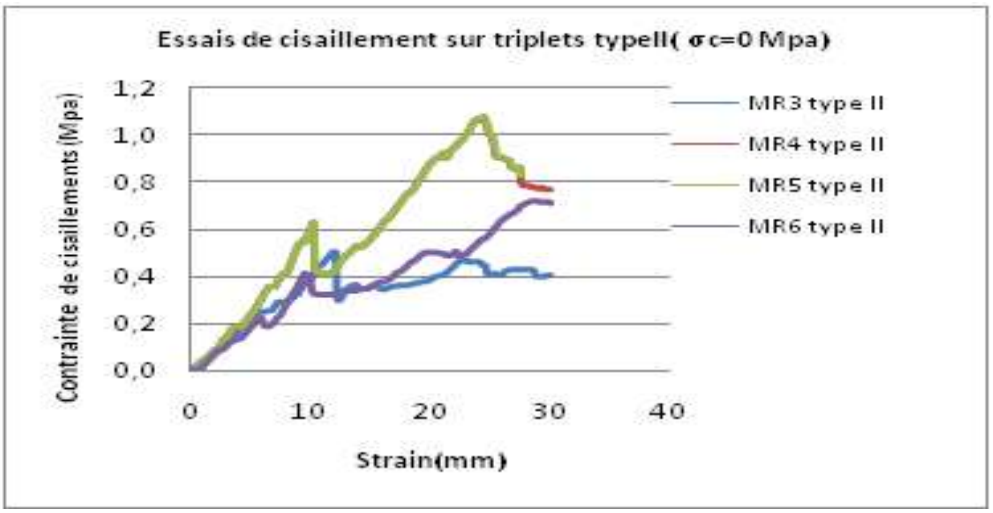


Figure III.10. Essai de cisaillement sur les triplets renforcés de type II pour différent type de Mortier

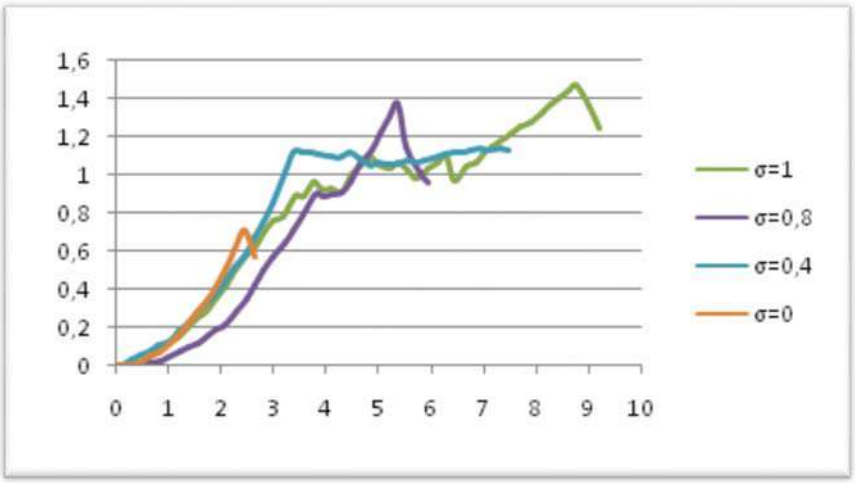


Figure III.11.**Effet contrainte de pré compression sur la contrainte de cisaillement pour les différents types de mortier**

Mode de rupture :

- **triplet renforcé par des lamelle FRP**















III.3.Détermination de la relation MOHR-COLOUMB.

la relation linéaire de Mohr-Coulomb en fonction de l'adhérence entre le mortier et la brique par la relation suivante :

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot S}$$

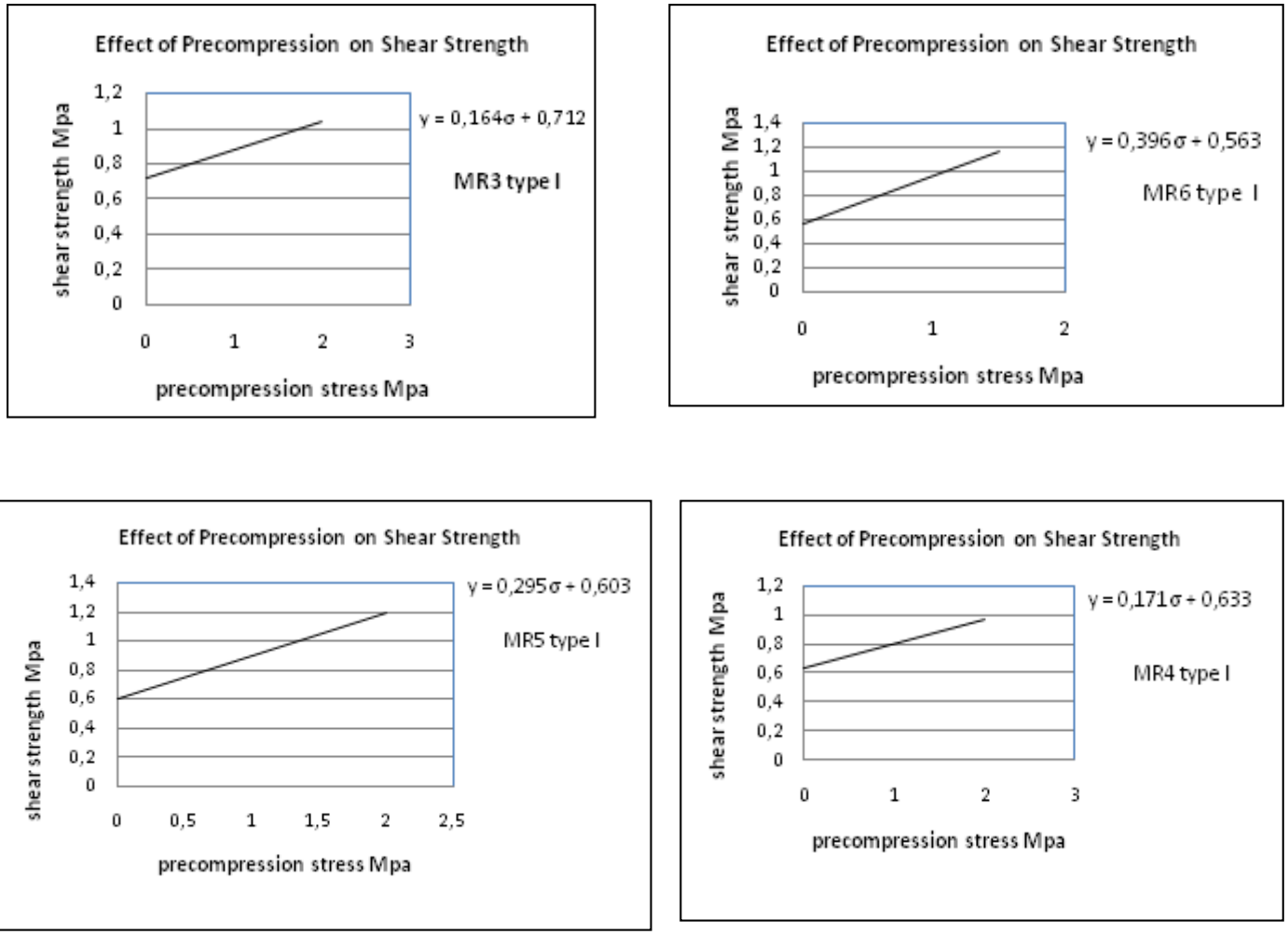


Figure.III.12.Diagramme de contrainte de cisaillement.

On constate que la relation entre la contrainte de cisaillement et la contrainte pré-compression est toujours linéaire. On remarque que la résistance au cisaillement des triplets de mortier type B donne toujours la plus forte valeur par rapport les autre type des mortiers

Conclusion

Dans cette partie, nous avons principalement mis l'accent sur nos travaux expérimentaux.

Pour conclure cette étude expérimentale qui est dédiée à :

1. la caractérisation des différents paramètres mécaniques des constituants de la maçonnerie (brique perfore et mortier) triplet non renforcé et triplet renforcé

2. la détermination du comportement mécanique en cisaillement des différents prismes de maçonnerie composés des triplets en briques perforé

Nous pouvons en tirer à partir des enseignements essentiels sur l'ensemble des tests effectués

Les points qui nous semblent importants sont :

– le comportement de la maçonnerie observé jusqu'à présent sur la totalité des échantillons est caractérisé par un comportement non linéaire ;

– l'ensemble des prismes testés possède un comportement très rigide sur la partie élastique ;

– le comportement des triplets est caractérisé par un comportement fragile après la valeur limite de rupture.

– le comportement des couplets et de triplets composés de briques creuses est caractérisé par un comportement d'adoucissement suivi par un mouvement de glissement entre les briques adjacentes après la valeur limite de rupture.

Nous pensons qu'il est important de souligner l'existence d'une large dispersion autour des résultats obtenus. Ceci est dû essentiellement aux défauts locaux des composants de la maçonnerie d'une part et de la répartition de mortier après son durcissement, d'autre part.

Souvent cette répartition est non uniforme notamment au niveau des "picots".

Les différents modes de rupture trouvés confirment l'hétérogénéité de la maçonnerie. Nous pouvons distinguer deux types de fissures qui se développent :

– soit au niveau de l'interface brique-mortier

– soit au niveau de l'interface brique-mortier et au niveau du joint de mortier

La courbe de charge-déplacement pour les triplets de maçonnerie collés avec FRP était beaucoup plus grande par rapport aux spécimens de triplet témoin indiquant une capacité accrue à absorber l'énergie.

Un modèle de rupture de décollement a été observé dans des spécimens de triplet collé avec des composites de PRF en configuration complète et bande.

La force de la maçonnerie collée avec des composites de PRF a été trouvée être satisfaisant. La différence maximale entre les prévisions et les valeurs obtenues expérimentalement étaient d'environ 17%.

Au final cette étude nous a permis d'identifier les phénomènes qui gouvernent la rupture de la maçonnerie à une échelle locale, de caractériser les propriétés mécaniques et bien évidemment dans une certaine mesure la loi de comportement à prendre en compte dans la modélisation des interfaces dans ces structures maçonnées.

CONCLUSIONS :

L'objectif de ce travail était de déterminer l'effet de dosage de sable (fin) sur le comportement des joints du mortier. La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

1- a/Les mortiers avec sable fin de triplet renforcé présente la contraint de cisaillement la plus élevée.
   b/ les mortier de triplet non renforcé présente la contraint et le même triplet renforcé la plus élevée.

2- La contraint de cisaillement des triplet mortiers avec sable fin sont moins résistants par rapport les mortiers avec triplet renforcé

3- La Loi de comportement MOHR COLOUMB qui régie le comportement entre les briques est conservée.
4- Le dosage optimal de triplet renforcé est donné pour des mortiers (1:6)
5- Le dosage optimal en sable fin de triplet non renforcé est donné pour les mortiers (1 :5).
6- de point de vue économique, l'utilisation traditionnelle des mortiers (1 :1 :5) est onéreuse.
7- La courbes de charge-déplacement pour les triplets de maçonnerie collés avec FRP était beaucoup plus grande par rapport aux spécimens de triplet témoin indiquant une capacité accrue à absorber l'énergie.
8- la force de la maçonnerie collée avec des composites de PRF a été trouvée être satisfaisant. La différence maximale entre les prévisions et les valeurs obtenues expérimentalement étaient d'environ 17%.
9- Au final cette étude nous a permis d'identifier les phénomènes qui gouvernent la rupture de la maçonnerie à une échelle locale, de caractériser les propriétés mécaniques et bien évidemment dans une certaine mesure la loi de comportement à prendre en compte dans la modélisation des interfaces dans ces structures maçonnées.

Références bibliographiques

REFERENCES

1. Corradi M., Tedeschi C., Binda L., Borri A., Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing. Construction and Building Materials, 22 p. 463–472, 2008."
2. Binda L., Pina-Henriques J., Anzani A., Fontana A., Lourenc P.B., A contribution for the understanding of load-transfer mechanisms in multi-leaf masonry walls: Testing and modeling. Engineering Structures 28 p. 1132–1148, 2006."
3. EC 96: Eurocode 6: Design of masonry structures—part 1-1: common rules for reinforced and unreinforced masonry structures, 2006."
4. Farid Brahim HOUTI,COMPORTEMENT DES STRUCTURES EN MAÇONNERIE SOUS SOLLICITATION UNIAXIALE,03 Novembre 2002
5. "Coignet J., Coignet L., Maçonnerie de pierre Matériaux et Techniques, désordres et interventions. Livre, 2007."
6. "Utilisation de la thermographie infrarouge et de l'émission acoustique pour l'identification de l'endommagement d'un composite stratifié carbone-époxy. (2014) In: VIIIèmes Journées d'Etudes Techniques - International congress for applied mechanics JET 2014, 28 April 2014 - 30 April 2014 (Marrakech, Morocco).
7. ASTM C 270-84 ≪ standard test method of mortar for unit masonry≫.
8. "Zimmermann T., Strauss A., Bergmeister K., Structural behavior of low- and normalstrength interface mortar of masonry, Materials and Structures, p.45:829–839, 2012."
9. "Masia M.J., Han Y., Player C.J., Correa M.R.S., Page A.W., Torsion shear test for mortar joints in masonry: Preliminary experimental results. In Tenth North American Masonry Conference, St Louis, Missouri, U.S.A., June 2007."
10. "Corradi M., Borri A., Vignoli A., Experimental study on the determination of strength of masonry walls, Construction and Building Materials p.17 325–337, 2003."
11. "RILEM TC 76-LUM. Diagonal tensile strength of small walls specimens. RILEPublications SARL; 1994."
12. "Frocht MM. Recent advances in photoelasticity. ASME Trans 1931;55:135–53 (September–December)."

13. "De Lorenzis L., Teng J.G., Near-surface mounted FRP reinforcement: An emerging technique for strengthening structures Composites: Part B 38 (2007) 119–143"
14. "Reparación y refuerzo de paredes de obra de fábrica. estudio experimental de la respuesta ante tensiones de corte"
15. Renforcement des structures historiques en ma connerie par mat eriaux composites : application aux murs en pierres calcaires

FOUCHAL. Contribution à la modélisation numérique des interfaces dans les structures maçonnées. Ingénieure en Génie Civil diplômée de l'Université des Sciences et de Technologie USTHB d' Alger-ALGERIE. DOCTEUR de l'UNIVERSITÉ de REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE

XAVIER riba anglada.shear tests on masonry triplets with different soft taver membranes8)

RILEM. LUMB1-Compressive strength of small walls and prisms. Technical Report, RILEM; 1994.

RILEM. LUMB5-Short-term shear test for the interface between the masonry units And mortar or moisture-insulating interlayer. Technical Report, RILEM; 1994.

Lisle des norms utilises

ASTM C 270-84 ≪standard test method of mortar for unit masonry≫.

- ASTM C 469-83 ≪standard test method of static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression≫.

- RILEM. LUMB1-Compressive strength of small walls and prisms. Technical Report, RILEM; 1994.-) RILEM. LUMB5-Short-term shear test for the interface between the masonry unit and mortar or moisture-insulating interlayer. Technical Report, RILEM; 1994.

-RILEM. LUMB6-Diagonal tensile strength tests of small wall specimens.

-[NA 2607], Normes Algérienne : « Granulats - Analyse granulométrique par tamisage », 1990.

-[NF P 18-412], 1981, << Essais pour béton frais .partie 6 : masse volumique >>.

-[XP P18-598], Norme françaises : Granulats équivalent de sable (indice de classement P18-3938), Octobre 1991.

-[NF P 18-404], Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules », Décembre 1989.

-Fiche technique : « Ciment MATINE CEM II/A 42.5 », Alger 2009.

-[NF EN 1052-3], Avril 2003 Méthodes d'essai de la maçonnerie - Partie 3 : détermination de la résistance initiale au cisaillement –