REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DE LA MATIERE

FILIERE GENIE CIVIL

Mémoire de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master en génie civil

Option : Structure

THEME

Etude comparative entre deux types de mortier : Bâtard et Ordinaire.

Réalisé par :

Mr. KERMEZLI Abdessalam

promoteur :

Mr. BOUKSANI Omar

Co-promoteur:

Mr.BELHAMEL Farid

Promotion: juin 2015



السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

الإهداء

*** و ما توفيقي إلا بالله عليه توكلت و إليه أنيب ***

أحمدك ربي حمدا يليق بجلال وجهك و عظيم سلطانك والصلاة و السلام عليك يا سيدي رسول الله:

أهدي هذا العمل الذي هو نتاج لثمرة ظلت تينع طيلة خمس سنوات من الجهد إلى:

اللذان كان لهما الفضل الكبير بعد الله عز وجل في انجازه.

إلى التي أوصاني عليها رسول الله صلى الله عليه و سلم فقال: أمك ثم أمك ثم أمك ثم أبوك...

إليك أمي الحنون: شريفة' التي لا تكفيني و لا تسعني أي عبارات لكي أعرب لها عن مدى حبي وامتناني لها.

إلى أبي العزيز محمد الذي سهر و تعب على تربيتي و راحتي و لطالما مد يد العون لي.

إلى أبنتي خديجة وزوجتي أسماء

وإلى إخوتي : أمين ،حسين، محمد منير، محسن، محمد وإلى أخواتي : سمية ، منيرة ، ربيعة وإلى نسرين و خولة

إلى جدي أحمد و عثمان

إلى جدتي كلثوم وعائشة

إلى كل عائلة قرمز لي و بن حمودة

إلى صديقي و رفيقي في هذه المذكرة: يونس منصور' متمنيا له مستقبلا زاهرا.

إلى كل الأصدقاء و رفقاء الدرب الذين عرفتهم و تعلق بهم قلبي و أخص بالذكر:

إلياس يرقي ،يونس، أسامة،هشام....

إلى جميع زملاء الدراسة و إلى كل من ساهم في إنجاح هذا العمل من قريب أو من بعيد.

إلى كل خريجي جامعة يحيى فارس فرع هندسة مدنية دفعة 2015.



عبد السلام

Remerciement

Nos premiers remerciements vont pour le bon dieu, le tout puissant, qui nous a donné la force et la sagesse d'arriver à ce stade dans nos études.

Nos vifs remerciements vont aussi à notre encadreur :

Monsieur **BOUKSANI OMAR**. Qui a fait tout son possible pour nous aider.

Monsieur **BELHAMEL FARID**. Qui a fait tout son possible pour nous aider.

Tous les enseignants de l'institut de génie civil de l'université de MEDEA.

Tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner nôtres travail.

Tous les personnes qui ont contribué de prés ou de loin, à la réalisation de ce mémoire ; et en particulier les ingénieurs:

Boukoftane Yassine, OULD DALI NADHIR, Meziane med et chellouche krim et redha bachen, Boukhelkhal Djamila, Belhamel de CNERIB, safiddine, Mansour Younes, yerki et Bailiche Oussama et boukhelkhal Hichem.

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 (maniabilité, 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.

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

Introduction……...1

I.1 Le mortier ……1

I.1.1 Introduction ……1

I.1.2 Types de mortier……..1

I.1.2.1 Mortier de ciment ……..1

I.1.2.2 Mortier de chaux hydrauliques……..……1

I.1.2.3 Mortier bâtard ……..…..2

I.1.2.4 Mortier de hourdage de maçonnerie ……..2

I.1.2.5 Mortier fabriqué sur chantier ……...…..2

I.1.2.6 Mortier industriel ……..…..2

I.2 Formulations des mortiers ……...3

I.2.1Propriété spécifique des mortiers ……..…3

I.3 Domaines d'utilisation des mortiers ……...…….4

I.3.1 Mortiers pour Chappe……...…….4

I.3.2 Mortiers et coulis de réparation…….……5

I.3.3 Mortiers de scellements et calages……5

I.3.4 Cure et protection du mortier……....5

I.3.5 Contrôle de qualité du mortier ……..……6

I.3.5 Paramètres permettant de caractériser le comportement mécanique des mortiers frais ……...……8

I.3.5.1 Consistance……8

I.3.5.1.1 Mesure de la consistance…….……9

I.3.5.1.2 Influence du seuil d'écoulement et de la viscosité plastique sur le comportement du mortier frais dans les constructions de maçonneries……9

I.3.7.2 Rétention d'eau……10
I.3.8.1.2 Masse volumique sèche……..…11
I.3.8.2 La résistance à la traction des mortiers durcis……..12
I.3.9 Interface bloc-mortier……..12
I.3.9.1 Mesure de l'adhérence entre le bloc et le mortier……...……..12
I.3.10 Les Mortiers et l'Environnement……..…..13
I.3.10.1 Composants de mortier……...……14
I.3.10.1.1 Les liants minéraux.....……...14
I.3.10.1.2 Le ciment ……..……..14
C. Constituants de base du ciment……..……16
D. Classification normalisées des ciments……..…..…..19
D.1.1 Ciment portland……19
D.1.2 Ciment de haut fourneau (CHF)……..……..20
D.1.3 Ciment pouzzolanique……...…20
D.1.4 Ciment au laitier et aux cendres……..…21
D.2 Classification des ciments d'après leur classe de résistance……22
I.4 La chaux ……...22
I.4.1 Le cycle de production……...22
I.5 Introduction à la maçonnerie……23
I.5.1 Historique de la maçonnerie……...…23
I.5.2 Caractéristiques des constituants de la maçonnerie……...24
I.5.2.1 Briques ……...24
I.5.2.2 Brique terre cuite ……24
I.5.2.3 Briques de laitier……..…25
I.5.2.4 Briques silico-calcaires……..…..25

I.6 Les joints de mortier……..…27
I.6.1 Propriétés mécaniques de la maçonnerie……...29
I.6.2 Comportement sous sollicitation de compression uni axiale……....29
I.6.3 Comportement sous sollicitation de traction uni axiale……..31
I.6.4 Influence de l'adhérence bloc-mortier sur le comportement de la maçonnerie...32
I.6.5 Rupture de l'interface en mode I…….....33
I.6.6 Rupture de l'interface en mode II……37
I.6.6.1 Essais sur briques cuites……..….37

CHAPITRE II : Matériaux et essais

II.2 Dosage en ciment ……42
II.2 Programme expérimental et protocole d'essais……42
II.3 Matériaux utilisées……...…42
II.4 Ciment……..42
A-Définition…….43
B- Analyse et caractérisation……...…43
II.5 Le Sable……...44
II.6 Chaux……46
II.7 Eau de gâchage…….……47
II.8 Briques……..47
II.9 Confection des Eprouvettes……...…48
II.10 Confection des Mortiers……..…48
a) Mortier Ordinaire…….……48
b) Mortier bâtard……..……48

II.11 Malaxage des mortiers……..49

II.12 Les essais sur sable……..……..50

a- Equivalent de sable ……50

b- Granulométrie ……50

II.13 Les essais effectués sur le mortier à l'état frais……..…51

A. L'ouvrabilité……...51

B – Maniabilité du mortier……52

C - Air occlus ……..53

II.14 Les essais effectués sur le mortier à l'état durci……...……54

A- Essai de retrait et gonflement ……54

B - Essai de traction par flexion ……....55

C- Essai de compression ……56

II.15 ESSAIS MECANIQUES sur muret ……...57

II.16 Essai de compression centrée sur colonne de brique……57

II .17 Essai de compression centrée sur muret……...…58

II .18 Essai de compression diagonale ……..58

II.19 Essai mécaniques de l'interface brique- mortier……...…..59

II .20 Essai de cisaillement ……....59

II .21 Essai d'adhérence par dynamomètre de traction ……..……60

II.22-Variables étudiées……...…60

CHAPITRE III : Résultats et interprétations

III.1 Introduction……62

III. 2 Essais sur un mortier frais……..62

III.2.1 Maniabilité……...62

III.2. 2 Air occlus……..……..63

III. 3 Essai sur un mortier durci……...…64

III. 3.1 Résistance à la traction par flexion……..…64

III. 3.2 Résistance à la compression……64

III. 3.3 L'essai de retrait……..65

III.4 Essai sur muret ……...66

III. 4.1 Essai d'écrasement de colonne……...…66

III. 4.2 Essai d'écrasement de muret (uni axial)……..67

III. 4.2.1 Déplacement horizontal ……...67

III. 4.2.2 Déplacement vertical……....68

III. 4.3 Essai de cisaillement de triplet……68

III. 4.4 Essai d'adhérence……70

III. 4.5 Conclusion partielle……70

CONCLUSIONS……71

RECOMMANDATIONS……73

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FIGURES **TITRE** **PAGE**

Figure I.1 : Les mortiers pour chapes ……..…..….4

Figure I.2 : Les mortiers et coulis de réparation ……..……...5

Figure I.3 : Influence de l'élancement des éprouvettes sur la résistance à la compression...…..12

Figure I.4 - Système d'anti-frettage et schéma de représentation des capteurs de proximité.....13

Figure I.5 - Modes de fissuration du bloc et du mortier sous chargement vertical……...14

Figure 1.6 - Nomination de différente face d'unité de brique……....…25

Figure *I*.7- Briques creuses…….….....26

Figure 1.8 : Dimensions et surfaces…….….27

Figure 1.9 - Exemples de briques LD NF EN 771…….....28

Figure 1.10 : Exemples de briques HD NF EN 771…….28

Figure I.11 : la maçonnerie sous l'effet d'un effort normal aux joints horizontaux……...…31

Figure I.12 : Essai de traction dans la direction parallèle aux joints horizontaux……....32

Figure 1.13 : Diagramme contrainte -déplacement, essai de traction suivant la direction ….....33

Figure I.14 : Dispositif expérimental de l'essai de poutres " Bond wrench Test "…….34

Figure I.15 : Dispositif expérimental de l'essai de poutres "Bond Beam Test "……..35

Figure I.16 : Essai de poutres et dalles…….....36

Figure I.17 : Deux façons de tester l'adhérence entre les joints de mortier et les blocs……..…37

Figure I.18 : Modes possibles de rupture dans les murs…….37

Figure I.19 : Dispositif expérimental pour un essai de traction directe …….38

Figue I.20 - Essai proposé par des Australiens ; Fig. I.17 - b) Essai similaire……....40

FIGURES **TITRE** **PAGE**

Figure I.21 - Essai proposé par Hoffmann et Stockl……41

Figure I.22 - Essai proposé par Benjamin et Williams - rupture mode I et II ……....41

Figure II.1: dosage en ciment et de chaux pour la préparation MO et MB…….…....42

Figure II.2 : Le ciment utilisé.....44

Figure II.3: Sable roulé de HASSI BAHBAH…….....44

Figure II.4: Courbe granulométrique de sable utilisé……..45

Figure II.5 : La chaux utilisée……..47

Figure II.6 : Des briques utilisée……...47

Figure II.7 : Equipement nécessaire……..…..49

Figure II.8 : Procédure de mesure de l'équivalent de sable ……...50

Figure II.9 : Séries de tamis……..51

Figure II.10 : Développement de l'essai d'étalement……...52

Figure II.11 : Maniabilimètre à mortier……52

Figure II.12 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre à mortier ……53

Figure II.13 : Etat du mortier avant et après mesure du temps d'écoulement……....53

Figure II.14:Aéromètre à mortier ……..…..54

Figure II.15 : Etat final du mortier dans la cuve avant mesure……...54

Figure II.16 : Rétractomètre et son étalonnage……..…54

Figure II.17 : Principe de mesure du retrait…….……55

Figure II.18: Dispositif pour l'essai de résistance à la traction……55

Figure II.19 : Dispositif de rupture à la compression……...56

Figure. II.20 : Essai de compression centrée sur colonne de brique ……57

FIGURES **TITRE** **PAGE**

Figure. II.21 : Essai de compression centrée sur colonne de brique……..58

Figure. II.22 : Essai de compression centrée sur muret…….58

Figure. II.23 : Essai de cisaillement……..……..…60

Figure. II.24 : Appareil de l'essai d'adhérence par dynamomètre…….……...……..…60

Figure. II.25 : Variables étudiées……..61

Figure III.1 : les étapes de préparation des mortiers réalisés ……...……..62

Figure III.2 : Maniabilité ……...……63

Figure III.3 : Air occlus des mortiers réalisés ……63

Figure III.4 : Résistance à la traction par flexion……...…64

Figure III.5 : Résistance à la compression……..65

Figure III.6 : Perte en masse (%)…….……65

Figure III.7 : Résultat de retrait……66

Figure III.8 : Résultat d'écrasement de colonne…….66

Figure III.9 : Essai d'écrasement de muret (uni axial)……...……67

Figure III.11 : Déplacement vertical ……...…68

Figure III.12 : Résultat de cisaillement de triplet……..…..69

Figure III.13 : Essai de cisaillement de triplet…….……69

Figure III.14 : Résultat d'essai d'adhérence…….……..……70

TABLEAUX **TITRE** **PAGE**

Tableau I.1 : Annexe de la norme [ASTM C270] ……...…….....3

Tableau I.2 : Spécification par proportion selon la norme [ASTM C270] …….4

Tableau I.3 : constituants du clinker…….....18

Tableau I.4 : composition chimique du laitier granulé…….....18

Tableau I.5 : composition chimique moyenne des cendres de houille…….19

Tableau I.6 : conditionnement industriel aux fumées de silice…….....20

Tableau I.7 : Teneur en laitier dans les ciments de haut fourneau …….....22

Tableau I.8 : Classification normalisée des ciments ……..……..……23

Le tableau 1.9 : caractéristiques des briques……...……...27

Tableau II.1 : L'Analyse chimique du ciment et composition du clinker…….……...43

Tableau II.2 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge…….……..….44

Tableau II.3: Propriétés physiques d'identification de sable utilisé…….…….45

Tableau II.4 : Propriétés physiques et chimiques de la chaux Saida……....46

Tableau II.5 composition des mortiers ordinaires et bâtards (kg/m3)……..48

Tableau II.6 Opérations de malaxage du mortier ……...…….49

LISTE DES EQUATIONS

(Equation II.1)……...…50

(Equation II.2)……..50

(Equation II.3)……...…51

(Equation II.4)……..55

(Equation II.5)……..56

(Equation II.6)……..56

(Equation II.7)……..…56

(Equation II.8)……...56

(Equation II.9)……...…56

(Equation II.10)…….……..56

(Equation II.11)……..…..57

(Equation II.12)…….58

(Equation II.13)……58

(Equation II.14)……...58

(Equation II.15)……59

(Equation II.16)…….59

NOTATIONS

d : La dimension du plus petit granulat

D : La dimension du plus gros granulat

CaO : La chaux

SiO_2 : La silice

Al_2O_3 : L'alumine

Fe_2O_3 : L'oxyde de fer

$3CaO\ SiO_2$ (C_3S) : Le silicate tricalcique impur (Alite)

$2CaO\ SiO_2$ (C_2S) : Le silicate bi-calcique impur (Bélite)

$3CaO\ Al_2O_3$, (C_3A) : L'aluminate tricalcique (Célite)

$4CaO\ Al_2O_3\ Fe_2O_3$ (C_4AF) : L'alumino-ferrite tétra-calcique

MgO : Oxyde de magnésium

CaCO3 : Teneur en calcaire

TOC : Teneur en matières organiques

P : Pouzzolanes naturelles

D : Les fumées de silice

F : Les fillers

CPA : Le ciment portland artificiel

CHF : Ciment de haut fourneau

CPJ : Le ciment portland composé

NA : Norme Algérienne

NE : Norme Européenne

f_c : Résistance souhaitée du béton a 28 jours

f_{mc} : Résistance nominale du ciment

K_b : Coefficient relatif au squelette granulaire

C : Dosage du ciment

e : Quantité d'eau efficace

v : Quantité d'air occlus dans le béton

c : la compacité

p : la porosité

W : Teneur en eau

ES : Equivalent de sable à piston

ESV : Equivalent de sable à vue

Mf : Module de finesse

S : Le sable

R_t : La résistance a la traction

R_C : La résistance a compression

ΔL : Variation de longueur par apport à la longueur origine

L_0 : Longueur de base, prise égale à 160mm

Δ**M** : Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage

$\mathbf{M_0}$: Masse de l'éprouvette au moment du démoulage

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge

I : Moment d'inertie de la section transversale

v : La distance de la fibre la plus éloignée

E : Dosage en eau

E/C : Rapport (eau /ciment)

MO : Mortier ordinaire

MB : Mortier bâtard (hybride)

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Introduction

Ce chapitre regroupe les travaux de recherche sur les mortiers comme élément de jointement dans la maçonnerie, en soulignant l'influence de l'ajout de la chaux dans un mortier par substitution et comparaison avec mortier ordinaire.

I.1 Le mortier

I.1.1 Introduction

On appelle mortier les matériaux obtenus en gâchant dans un malaxeur des proportions convenables de ciment, d'eau et de sable avec éventuellement un ou plusieurs adjuvants. C'est la dimension D du plus gros granulat qui détermine l'appellation : mortier pour $D \leq 4mm$.

Le sable constitue le squelette granulaire du mortier par contre le ciment, l'eau et l'adjuvant forment la partie liante. Lorsqu'il n'ya pas de squelette granulaire, on parle de coulis de ciment.

I.1.2 Types de mortier

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

I.1.2.1 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.1.2.2 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.1.2.3 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.1.2.4 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.1.2.5 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.1.2.6 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. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins.

I.2 Formulations des mortiers

Les mortiers composés de chaux et de ciment portland sont définis en deux étapes. Le mortier doit d'abord être défini en fonction de la résistance requise pour l'application. Ensuite, il faut décider si on spécifie les proportions ou les propriétés énumérées dans la norme Américaine [ASTM C270].

La norme [ASTM C270] (Mortar for Unit Masonry) 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**A**S**O**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 :

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

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

I.2.1Propriété 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**).

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

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	

I.3 Domaines d'utilisation des mortiers

I.3.1 Mortiers pour Chappe

Ce type de mortier illustré dans la figure I.1 est utilisé généralement pour:

- mise à niveau de la dalle et régularité de la surface ;
- Support de revêtement, ou isolation incorporée ;



Figure I.1 : Les mortiers pour chapes

I.3.2 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.2 illustre en gros une partie du cas pratique.



Figure I.2 : Les mortiers et coulis de réparation

I.3.3 Mortiers de scellements et calages

- Absence de retrait ;
- Caractère expansif du mortier ;
- Résistance au jeune âge ;

I.3.4 Cure et protection du mortier

Les mortiers à base de liants hydrauliques à durcissement lent, comme la chaux hydraulique, devraient être soumis à une cure humide d'au moins sept jours, et les mortiers de ciment Portland et de chaux de type N et O, à une cure humide de trois à quatre jours. Pour créer les conditions de la cure humide, installer une toile de jute humide (recouverte d'une membrane de plastique) sur la maçonnerie et ré-humecter régulièrement la toile de jute avant qu'elle ne sèche. (Tenir la toile de jute hors de contact de la maçonnerie pour éviter les taches de mortier).

L'humectation régulière seule de la maçonnerie ne suffit pas, car l'évaporation de l'eau à la surface de la maçonnerie peut se produire très rapidement par temps chaud, sec et venteux. Éviter que l'eau ne s'écoule des joints de mortier pendant la cure humide, sous peine de lessiver la chaux contenue dans le mortier et de causer des taches. Veiller à

rejointoyer bien avant ou bien après les périodes de gel. Si le rejointoiement s'est involontairement poursuivi dans la saison froide, protégé du gel le mortier fraîchement placé. Pour les mortiers plus résistants, planifier la cure suivante :

- Pour les trois premiers jours, la cure humide devrait se dérouler à une température toujours supérieure à 10 °C.

  (Installer une toile de jute humide recouverte d'une membrane de plastique.). Cette période doit être prolongée pour atteindre jusqu'à 7 jours lorsqu'il s'agit de mortiers moins résistants.
- Pour les quatre jours suivants, la maçonnerie devrait être protégée du vent et de la pluie et maintenue à une température supérieure à 0 °C. À cette étape, il convient de retirer la toile de jute et la membrane de plastique). Cela permettra au mortier de sécher partiellement avant son exposition au gel. Toutefois, éviter un séchage trop rapide du mortier (le chauffage de l'air réduit son humidité relative). On s'assurera donc de maintenir une humidité relative élevée à l'intérieur de l'abri chauffé. Dans le cas des mortiers de très faible résistance, une période plus longue de protection contre les intempéries peut s'imposer.

I.3.5 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) 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) 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.

C) Résistances mécaniques :

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 (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 ;

D) 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.

E) les propriétés physiques et caractéristiques des mortiers

Nous avons trois propriétés physiques responsables pour les caractéristiques des mortiers:

a) Cohésion : il s'agit de l'union des constituants du mortier. Cette propriété est directement liée aux constituants les plus fins, c'est à dire à la surface spécifique des liants.

b) Viscosité : c'est la vitesse de déformation d'un corps. Elle est directement liée à la pâte. La viscosité des matériaux cimentaires est diminuée par agitation, ce qui provoque une diminution dans la cohésion entre les particules et aussi dans le frottement interne du volume travaillé.

c) Frottement interne : contrairement à la cohésion, cette propriété est plutôt liée aux constituants les plus gros et à leur distribution dans le mélange. Il peut varier avec la forme, la surface et la dimension des grains. Le frottement est aussi lié au volume de pâte interstitielle et sa teneur en eau.

La cohésion, le frottement interne et la viscosité déterminent ou définissent ensemble ce que l'on appelle "maniabilité".

La cohésion et le frottement interne déterminent le seuil d'écoulement qui représente la résistance au cisaillement. Comme le frottement interne est surtout causé par les grains les plus gros, comme les graviers pour les bétons, le seuil d'écoulement des mortiers et pâtes se réduisent en pratique à la cohésion, ce qui génère une confusion entre ces deux termes.

I.3.5 Paramètres permettant de caractériser le comportement mécanique des mortiers frais

I.3.5.1 Consistance

Dans cette thèse, la consistance est un paramètre empirique qui définit la teneur en eau optimum du mortier frais pour une certaine application. Cette teneur en eau est associée à la mesure obtenue par l'essai utilisé. Cette mesure peut être un affaissement ou un étalement du mortier ou la facilité de celui-ci d'être pénétré par un objet.

I.3.5.1.1 Mesure de la consistance

La consistance peut être mesurée par plusieurs essais. Chaque chercheur choisit l'essai qu'il trouve être le meilleur ou celui qui peut être réalisé au sein de son laboratoire.

La seule exigence est que l'essai puisse faire une lecture fiable de la variation de la teneur en eau de gâchage.

a) Essai au mini-cône d'Abrams

Cet essai est de loin le plus utilisé par les chercheurs, dû à sa simplicité. La mesure obtenue est l'affaissement du mortier causé par son poids propre. On associe les valeurs d'affaissement aux valeurs de seuil d'écoulement du mortier ou du béton. **[LAR 98b].**

b) Essai de la table d'écoulement

D'utilisation aussi courante, cet essai est quand même moins utilisé vu la difficulté de l'utiliser dans un chantier par exemple. On observe aussi un manque de standardisation de cet équipement, ce qui provoque une moins bonne reproductibilité des résultats. La mesure obtenue est l'étalement du cône de mortier sur une surface horizontale, après l'écoulement de celui-ci causé par des coups dynamiques pendant quelques secondes. Cet essai est indiqué par la norme française NF 413-2.

I.3.5.1.2 Influence du seuil d'écoulement et de la viscosité plastique sur le comportement du mortier frais dans les constructions de maçonneries

L'influence du seuil d'écoulement sur le comportement du mortier frais est directement liée à la consistance de celui-ci. Ni un mortier sec avec un seuil d'écoulement élevé ni un mortier fluide présentant un seuil d'écoulement faible.les mortiers sont appropriés à la construction des maçonneries. On étudie le seuil d'écoulement d'un mortier si sa seule valeur de consistance pourrait suffire en pratique.

Pour le mortier conventionnel, ciment : sable, l'explication est liée au fait que ce mortier peut aussi constituer un béton avec l'addition des granulats, comme celui autoplaçant, comme déjà cité précédemment.

L'importance de l'étude des propriétés rhéologiques de la pate de ciment, comme la viscosité, le seuil de cisaillement et l'évolution du seuil dans le temps.
Un autre point de vue, encore considérant le mortier de ciment, serait lié au côté industriel. Avec des données scientifiques précises sur la rhéologie du mortier ciment : sable, celui-ci peut être malaxé en grande quantité, avec plus de garantie de son homogénéité.

I.3.7.2 Rétention d'eau

La rétention d'eau est une caractéristique importante des mortiers, surtout en ce qui concerne l'adhérence entre la couche du mortier et les blocs dans une maçonnerie.
Il s'agit d'un paramètre pour lequel nous devons toujours, parallèlement _a l'obtention des valeurs des mortiers, obtenir aussi les valeurs des absorptions des blocs qui seront liés les uns aux autres avec ces mortiers.

Les fines ont une influence très importante dans le pouvoir de rétention d'eau des mortiers, est élevées. Parmi les mortiers fabriqués par eux lors de leur recherche, celui qui contenait la teneur la plus grande en fines (fines inférieurs à 75µm) , égale à 14%, sans air injecté, a été le mortier qui a montré la meilleure rétention d'eau. Par contre, avec une injection d'air, le mortier a aussi présenté une bonne rétention d'eau même si fabriqué avec une teneur en fines de l'ordre de 9% ou même 1%.

La construction en maçonnerie reste encore un métier dépendant de l'habileté manuelle du maçon et surtout de son savoir faire parce que c'est lui qui juge la maniabilité du mortier. Le maçon accepte un mortier à sa maniabilité jugée à vue et _a la truelle.

Ce jugement empirique peut être insuffisant car le maçon ne sait pas toujours, même après plusieurs expérimentations, quelles conséquences peuvent être provoquées par ce mortier en ce qui concerne le retrait, la résistance à la compression et celle à la traction et surtout l'adhérence entre les éléments de la maçonnerie.

En revanche, nous devons comprendre avec nos propres outils, le comportement du mortier afin de pouvoir intervenir pour, soit justifier le travail du maçon, soit lui donner les moyens de mieux apprécier sur chantier les mortiers.

La qualité du mortier durci est liée aux propriétés du mortier frais. Nous discutons donc dans cette session comment les constituants du mortier peuvent influencer les propriétés du mortier frais, tels que le seuil d'écoulement et la viscosité plastique.

I.3.8.1.2 Masse volumique sèche

La masse volumique sèche est aussi un paramètre important qui est proportionnel, pour un même matériau, à l'augmentation de la résistance du mortier.

Le rapport masse volumique sèche en fonction de la résistance pour les blocs de terre comprimé. Si ce rapport n'est pas vérifié, il est probable qu'il y a un problème avec la procédure de l'essai. Il faudrait vérifier cependant, si la masse volumique sèche de l'éprouvette fabriquée en laboratoire est équivalente à celle du mortier lorsqu'il fait la liaison entre les blocs d'une maçonnerie. Une idée est de confectionner de nombreux triplets, un ensemble de trois blocs unis par le mortier, et d'essayer d'en retirer la masse volumique sèche du mortier qui le compose.

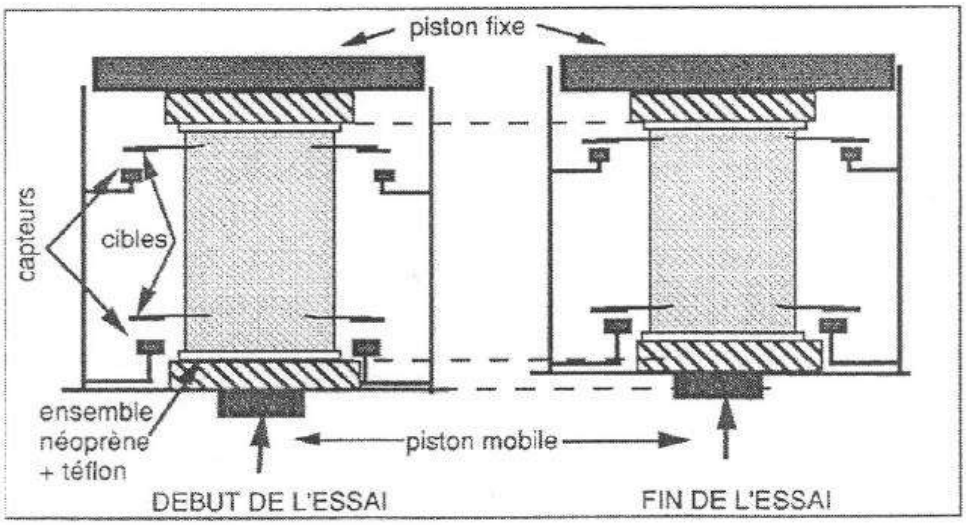


Figure I.4 - Système d'anti-frettage et schéma de représentation des capteurs de proximité

I.3.8.2 La résistance à la traction des mortiers durcis

Si on suppose que l'adhérence aux blocs du mortier est suffisamment bonne, pour ne pas être un point de faiblesse mécanique, ce qui est rarement le cas , alors la rupture en traction du mortier peut se faire présente dans le cas ou la maçonnerie est chargée horizontalement, soit par un chargement latéral comme le vent ou même une excentricité du chargement de compression, par exemple, ou même un tassement différentiel dans les fondations. Même pour le cas d'un mur chargé en compression, il peut y avoir des fissures de traction importantes, soient dans les blocs, soient dans les joints de mortiers, selon les modules de Young, coefficient de Poisson et la déformation limite des deux constituants. La figure I.5 illustre ces modes de fissuration. Mais, en réalité, la mesure de cette résistance est plus un contrôle de qualité qu'un réel besoin pour le calcul des structures, car il y aura plutôt un décollement du joint. **[JUK 98],**

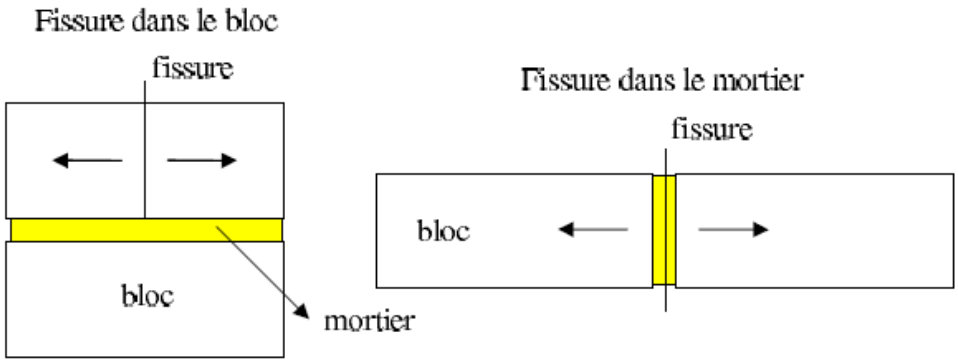


Figure I.5 - Modes de fissuration du bloc et du mortier sous chargement vertical

I.3.9 Interface bloc-mortier

I.3.9.1 Mesure de l'adhérence entre le bloc et le mortier

Des essais ont déjà été réalisées avec la finalité de valider un mode opératoire permettant la détermination de la résistance d'adhérence entre les mortiers et les blocs dans

une maçonnerie. Cette adhérence est en général mesurée pour deux modes de rupture, modes I et II.

Le mode de rupture I est associé aux contraintes de traction, parce que le décollement arrive par traction, soit directe soit par flexion. Le mode II est associé aux contraintes de cisaillement, parce que le décollement arrive par glissement ou cisaillement entre les deux corps.

Pour le mode I de rupture, nous connaissons le "Bond wrench Test" qui a été développé en Australie et l'essai de poutres "Bond-beam Test" (voir figure I.14 et figure I.15). Pour le mode II, il y a l'essai de cisaillement réalisé sous plusieurs modes opératoires.

I.3.10 Les Mortiers et l'Environnement

- Les mortiers sont des produits respectueux de leur environnement, issus de matières premières naturelles (roches, calcaire)

- Les mortiers contribuent à l'élaboration des constructions durables, sur le plan énergétique, thermique qui permettant les calculs de l'ouvrage pour lequel ils sont utilisés. Enfin, les mortiers lorsqu'ils sont visibles, sont esthétiques et décoratifs et permettent un large choix architectural en neuf comme en rénovation, en extérieur comme en intérieur.

Dans le souhait de rappeler tous ces éléments, en Europe une grande opération de communication entre les économistes, promoteurs, bureaux d'étude, architectes vient d'être engagée par les industriels. Une enveloppe leur est adressée contient une brochure explicative sur le respect de l'environnement dans la construction grâce aux mortiers, et rappelle comme une évidence toutes les utilisations possibles avec les mortiers, et avec son calendrier en façade, elle a pour objectif de rester « durable».

I.3.10.1 Composants de mortier

I.3.10.1.1 Les liants minéraux

Les liants minéraux sont des composés ou des substances finement divisées qui forment avec l'eau une pâte collante qui durcit progressivement. Le durcissement de la pâte et sa transformation en une matière analogue à la pierre sont le résultat de phénomènes physico – chimiques qui se déroulent surtout entre le liant et l'eau

On distingue deux types de liant différents:

- **Liants aériens :** Ces produits durcissent par réaction avec le dioxyde de carbone CO_2, L'eau H_2O ou avec différentes solutions de sel ; Après durcissement, ils ne sont pas résistants à L'eau mais stables à l'air.

- **Liants hydrauliques :** Ces produits durcissent aussi bien à l'air que dans l'eau : ciments Portland, chaux hydrauliques …etc**.**

I.3.10.1.2 Le ciment

A. Définitions :

Selon la norme [FD ENV 197-2] les ciments usuels sont appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pate liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Dans le langage courant, le terme de ciment peut être source de confusion lorsqu'il est utilisé pour désigner à la fois :

- La poudre de ciment (telle qu'elle est commercialisée en sac) ;
- La pâte de ciment au moment de son gâchage avec l'eau,
- Le produit obtenu après durcissement.

Dans tout ce qui suit, on distinguera ces différents états en appelant :

- Ciment anhydre, la poudre de ciment avant son gâchage avec l'eau,

- Ciment hydraté, les composés, insolubles dans l'eau, obtenus par combinaison chimique de l'eau avec le grain de ciment anhydre ;
- pâte fraiche de ciment, le mélange d'eau et de ciment anhydre avant que l'hydratation n'ait conduit à en faire un solide appelé pate de ciment durcie ;

L'expression de « pate de ciment durcissant » sera utilisée pour désigner la pate de ciment dans sa transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide.

B. Fabrication du ciment :

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes :

- **Extraction :**

L'extraction consiste en général pour le calcaire, à abattre la roche à l'explosif, dans des carrières généralement à ciel ouvert, par contre, pour l'argile qui est beaucoup plus meuble est exploitée au moyen d'excavateurs ou de roues-pelles avant d'être transportée par camions.

- **Concassage**

Les matériaux extrait des carrières présentant des granulométries grossières allant jusqu'au m^3, On est obligé de limiter celle-ci jusqu'au 100mm par le concassage.

- **Préparation**

C'est la phase de mélange entre le calcaire et l'argile pour préparer le clinker, et se fait en quatre procédés :

La voie sèche ; La voie humide ; La voie semi-sèche ; La voie semi-humide.

Pour chaque procédé, il faut quatre phases :

Pré homogénéisation ; Broyage-séchage ; Séparation ; Homogénéisation.

- **Cuisson**

Réalisée dans des fours rotatifs de 5m de diamètre et de 80 à 100m de longueur à une température comprise entre 1400 et 1500 C°, la cuisson permet la transformation du cru en clinker.

- **Refroidissement**

Cette opération a pour but d'abaisser la température du clinker.

- **Broyage**

Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granulés de clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout du gypse.

- **Stockage, ensachage et expédition**

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers les silos de stockage, pour être soit ensaché soit expédié.

C. Constituants de base du ciment :

C.1 Le clinker

Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de combinaison de la chaux (CaO) avec la silice(SiO_2) ,l'alumine (Al_2O_3), et l'oxyde de fer (Fe_2O_3). La chaux nécessaire est apportée des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles.

Calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450°C) dans un four .le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker portland. Les oxydes se combinent en début de fusion pour former des silicates et aluminates hydrauliques :

- Le silicate tricalcique impur (Alite) : 3CaO SiO_2, que l'on écrit C_3S
- Le silicate bi-calcique impur (Bélite) : 2CaO SiO_2, que l'on écrit C_2S
- L'aluminate tricalcique (Célite) : 3CaO Al_2O_3, que l'on écrit C_3A
- L'alumino-ferrite tétra-calcique : 4CaO Al_2O_3 Fe_2O_3 que l'on écrit C_4AF

Tableau I.3 : constituants du clinker

Constituants	Alite	Bélite	Célite	
			C_3A	Félite
Etendue (%)	50 - 75	7 - 30	0 - 18	4 - 20
Moyenne (%)	55	23	10	12

Le rapport en masse (CaO)/ (SiO_2), ne doit pas être inférieur a 2.0, la teneur en oxyde de magnésium (MgO) ne doit pas dépasser 5.0 % en masse.

C.2 Constitutions secondaires selon la norme [NF P 15 301].

- **Laitier granulé de haut-fourneau (L)**

Le laitier est un sous produit de la fabrication de fonte dans les hauts fourneaux, à partir du minerai et du coke métallurgique. Le laitier qui surnage la fonte en fusion se présente a la sortie du haut fourneau sous forme d'un liquide.

Le laitier destiné aux cimenteries subit, a la sortie du haut fourneau une opération de trempe par brusque immersion dans un bassin rempli d'eau.

Il se présente alors sous forme de grains de dimensions (0/5) mm ; c'est le laitier granulé, dont la composition chimique est reproduite au niveau du tableau suivant:

Tableau I.4 : composition chimique du laitier granulé

Eléments	Pourcentage (%)
CaO	40 – 50
SiO_2	26 - 32
Al_2O_3	12 - 20
MgO	2 – 6

La composition du laitier granulé doit être constituée d'au moins deux tiers, en masse, de la somme (CaO, MgO, SiO_2).

Le rapport en masse [(CaO + MgO)/(SiO_2)] doit dépasser 1.

- **Cendres volantes (C)**

Ce sont des résidus provenant de la combustion du charbon pulvérisé dans les centrales thermiques et recueillis dans des dépoussiéreurs. Les cendres volantes se présentent sous forme de poudre grise- noirâtre dont la dimension des grains varie de 1 à 200 microns. La masse volumique est de l'ordre de (2 g/ cm^3) à l'état brut et de (2.6 g/ cm^3)

après broyage. La composition chimique moyenne des cendres est reproduite dans le tableau suivant:

Tableau I.5 : composition chimique moyenne des cendres de houille

Eléments	Pourcentage (%)
SiO_2	50
Al_2O_3	30
Fe_2O_3	8
CaO	2
$Na_2O + K_2O$	5

- **Les calcaires**

Lorsqu'ils sont utilisés dans une proportion excédant 5 %, en masse les calcaires doivent satisfaire aux spécifications suivantes:

* Teneur en calcaire : $CaCO_3 \geq 75$ % en masse;
* Adsorption de bleu de méthylène : ≤ 1.20 g / 100g
* Teneur en matières organiques : (TOC) ≤ 0.50% en masse.

- **Les fillers (F)**

Les filler sont des matières inorganiques minérales, naturelles ou artificielles qui améliorent les propriétés physiques des ciments (ouvrabilité ou pouvoir de rétention d'eau). Ils sont inertes ou présentent des propriétés faiblement hydrauliques ou pouzzolanique.

- **Sulfate de calcium**

Le sulfate de calcium doit être ajouté en faible quantité aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication en vue de régler la prise.

- **Pouzzolanes naturelles (P)**

Les pouzzolanes naturelles sont des produits d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés pouzzolanique. Elles sont composées de silice réactive (plus de 25%), d'alumine et d'oxyde de fer.

- **Additifs**

Les additifs sont des constituants ajoutés pour améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment **[8]**.

- **Les fumées de silice (D)**

Les fumées de silice sont formées de particules sphériques très fine ayant une très haute teneur en silice amorphe. Les fumées de silice utilisées dans l'industrie cimentaire doivent satisfaite aux conditions suivantes :

Tableau I.6 : conditionnement industriel aux fumées de silice

Silice amorphe	$SiO_2 \geq 85\%$ en masse
Perte au feu	$\leq 4\%$ en masse
Aire massique	≥ 15 m2 /g

D. Classification normalisées des ciments

La classification des ciments est faite de deux manières : soit d'après leur composition chimiques, soit d'après leur classe de résistance.

D.1.1 Ciment portland

La famille des ciments portland comporte principalement :

- Le ciment portland artificiel (CPA) : c'est un ciment constitué de 95 % à 100% de clinker et de 0 à5 % de constituants secondaires;

- le ciment portland composé (CPJ) : c'est un ciment contenant au moins 65 % de clinker, le reste étant l'un ou plusieurs de constituants secondaires suivant : laitier, pouzzolane, cendre, et filler.

D.1.2 Ciment de haut fourneau (CHF)

Les ciments de haut fourneau sont constitués d'un mélange de clinker et de laitier de haut fourneau granulé et broyé. Il existe trois classes de ciment de haut fourneau, ces classes sont nommées ciments de haut fourneau désignées par : CHF – CEM III/A, CHF -CEM III/B, et CHF- CEM III/ C.

Tous ces ciments peuvent comporter jusqu'à 5 % de filler, mais la différence est dans la proportion de laitier de haut fourneau granulé broyé.
Ces proportions sont les suivantes:

Tableau I.7 : Teneur en laitier dans les ciments de haut fourneau

Classe du ciment	laitier (%)
CHF – CEM III/A	36 – 65
CHF -CEM III/B	66 - 80
CHF- CEM III/ C	81 - 95

D.1.3 Ciment pouzzolanique

Il existe deux classes de ciment pouzzolanique:

- la classe CPZ – CEM IV/A: dont le pourcentage en cendres ou pouzzolanes est compris entre 10 et 35 % ;
- la classe CPZ – CEM IV/B : dont le pourcentage en cendres ou pouzzolanes est compris entre 36 et 55 %.

Le ciment pouzzolanique est présente une faible résistance à 7 jours mais c'est un ciment à faible chaleur d'hydratation.

D.1.4 Ciment au laitier et aux cendres

Il existe deux types:

- CLC – CEM V/A : dont le pourcentage de la pouzzolane ou cendre est compris entre 18 et 30 %;
- CLC – CEM V/B : dont le pourcentage de la pouzzolane ou cendre est compris entre 31 et 50 %.

Les ciments courants, doivent avoir une composition minéralogique conforme aux normes indiquées dans le tableau suivant:

Tableau I.8 : Classification normalisée des ciments

Désignation	Notation	Clinker(%)
Ciment portland	CPA – CEM I	95 - 100
Ciment composé	CPJ - CEM II/A	80 - 94
	CPJ - CEM II/B	65 - 79
Ciment haut fourneau	CLH- CEM III/A	35 - 64
	CLH – CEM III/B	20 - 34
	CLH – CEM III/C	5 - 19
Ciment pouzzolanique	CPZ – CEM IV/A	65 - 90
	CPZ – CEM IV/B	45 - 64
Ciment au laitier et cendres	CLC – CEM V/A	40 - 64
	CLC – CEM V/B	20 - 39

D.2 Classification des ciments d'après leur classe de résistance

Les ciments peuvent être également classés selon leur résistance nominale conformément à la norme [NA 234]. Cette norme distingue trois classes de résistances :

Classe I = 32.5 (MPa) / Classe II= 42.5 (MPa) / Classe III =52.5 (MPa)

I.4 La chaux : Document rédigé par Luc NEPLES

I.4.1 Le cycle de production

1 - LA PIERRE, calcaire pur ou argileux, détermine la prise, aérienne ou hydraulique, de la chaux, veut dire que :

*Le calcaire pur donne une chaux aérienne calcique qui fait prise à l'air

*Le calcaire argileux rend la chaux hydraulique. Elle fera prise à l'eau.

2 - LA CUISSON transforme la pierre en chaux vive.

3 - LA CHAUX VIVE est broyée à la sortie du four. Elle s'utilise en l'état pour certains travaux ou sera éteinte.

4 - L'EXTINCTION sans excès d'eau transforme la chaux en poudre. Mise en sac elle sera vendue sous le nom de chaux aérienne ou de chaux hydraulique. Eteinte par immersion, seule la chaux aérienne peut se conserver en pâte.

5 - Les chaux éteintes répondent à des NORMES qui permettent de savoir si la chaux est calcique ou magnésienne, aérienne ou hydraulique, de résistance faible ou forte, pure ou bâtardée.

6 - La conservation des chaux commercialisées dépend de leur état. Les chaux en poudre se conservent environ 1 an en sac. En pâte, la chaux aérienne se conserve sous l'eau sans limite de temps.

I.5 Introduction à la maçonnerie

Par définition la maçonnerie est l'art qui consiste à ranger des pierres avec du mortier ou avec une autre liaison. Elle est également définie comme étant une construction dans laquelle on emploie de la pierre, de la brique, du mortier . . . .

Nous aborderons successivement les points suivants :

– l'historique de la maçonnerie.
– le comportement des constituants et des structures en maçonnerie.

I.5.1 Historique de la maçonnerie

La maçonnerie est le plus ancien matériau utilisé dans la construction qui trouve encore sa place dans la construction industrielle moderne, ceci malgré l'utilisation intensive de matériaux de construction comme le béton ou l'acier.

Des améliorations importantes ont été apportées à ce matériau, mais la technique d'empilement des briques ou des pierres est restée essentiellement la même au fil du temps. Ceci lui donne une caractéristique simple et très particulière et offre beaucoup d'avantages dans la construction tels que : l'esthétique, la solidité, la durabilité, la bonne isolation phonique et thermique, la protection contre le feu ... Elle peut également jouer le rôle de murs porteurs dans une structure puisqu'elle possède une bonne résistance aux efforts horizontaux notamment aux efforts sismiques.

D'un point de vue scientifique, beaucoup de chercheurs se sont intéressés et s'intéressent à l'étude des comportements des structures maçonnées, pour la restauration et la sauvegarde de leur patrimoine architectural.

I.5.2 Caractéristiques des constituants de la maçonnerie

I.5.2.1 Les briques

Les briques sont des pierres artificielles à base de terres argileuses (briques de terre moulée et cuites), de laitier (brique de laitier) ou à base de chaux et de silice (briques silico-calcaires).

Ce sont des unités prismatiques disponibles dans une grande variété de tailles, de textures, de couleurs et de formes. Elles peuvent être pleines, perforées ou creuses.

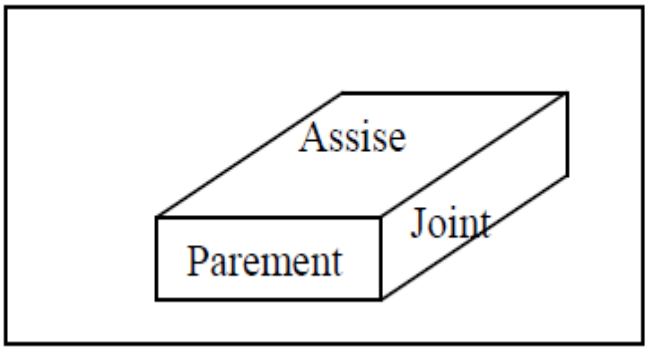


Figure 1.6 - Nomination de différente face d'unité de brique.

I.5.2.2 Brique terre cuite :

Les briques cuites sont des pierres artificielles à base de terres argileuses subirent à un traitement avant le moulage



Figure *I.*7- Briques creuses

I.5.2.3 Briques de laitier

Les briques de laitier s'obtiennent par le mélange sous presse (pression d'environ 30 GPa) d'un mélange de laitier et de liant (chaux grasse, chaux au laitier ou ciment de laitier). La fabrication de ces briques est totalement mécanisée. En France, elles ont des dimensions assez réduites puisqu'il faut en général 145 briques pour la construction d'un mètre carré de mur de 22cm d'épaisseur. Elles sont surtout employées comme matériau de parement.

– Les briques pleines ont une résistance à la compression qui se situe autour de 15MPa

– Les briques de céramique ont des résistances qui avoisinent les 40 MPa.

– En traction, les résistances varient entre 6 et 12MPa. Elles ont également un module d'élasticité compris entre 9 et 14 GPa. Ce qui donne en moyenne pour un mur de briques de premier choix un module de 15 GPa.

I.5.2.4 Briques silico-calcaires

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 des surfaces permet l'accrochage des enduits.

L'emploi des silico-calcaires légers 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.

En géneral Les briques sont caractérisées par leur résistance à la compression et à la traction comme indiqué dans le tableau 1.1 :

Le tableau 1.9 : caractéristiques des briques

Texture	Masse volumique (Kg/m3)	Module élastique (MPa)	Coefficient de Poisson	Résistance Compression (MPa)	Résistance Traction (MPa)
Brique creuse	3000	5000	0.3	20	8
Brique pleine	3000	15000	0.2	40	4

Quelques figures montrent les différents types de briques :

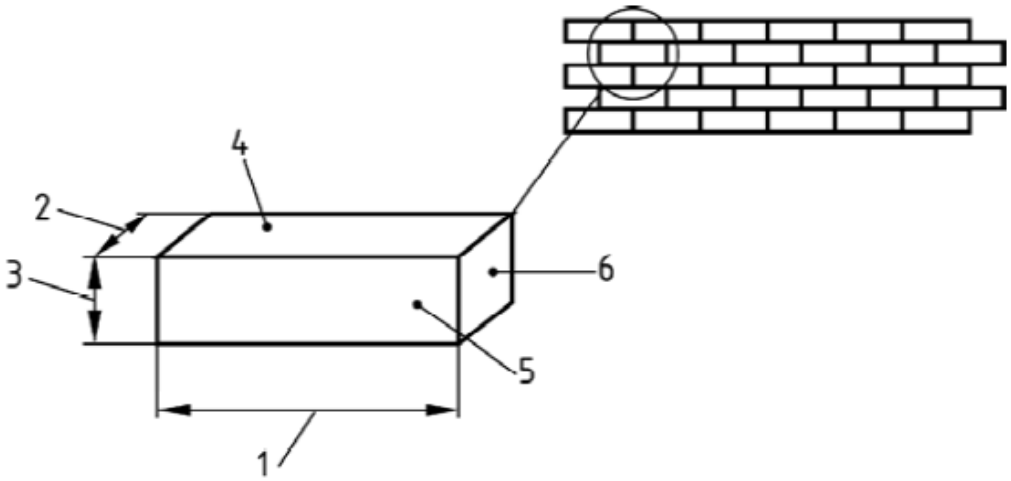


Figure 1.8 : Dimensions et surfaces

1 Longueur 2 Largeur 3 Hauteur 4 Face de scellement 5 Face 6 About

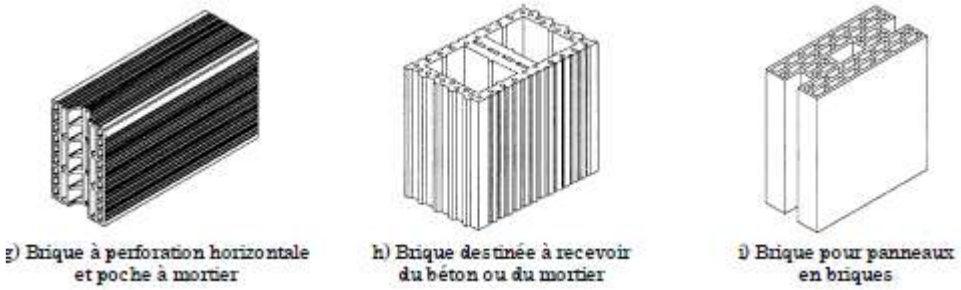
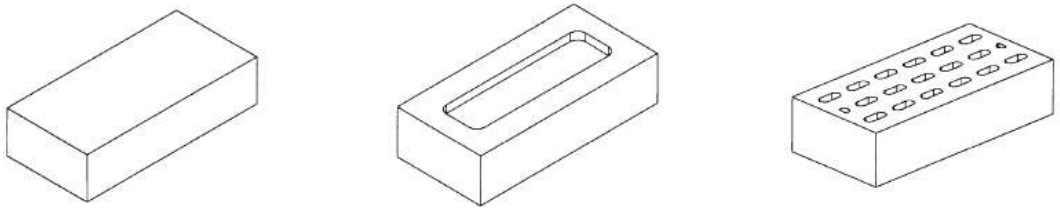
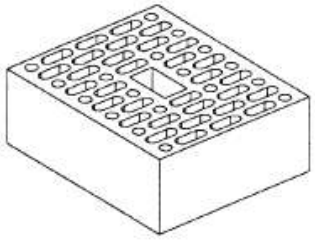


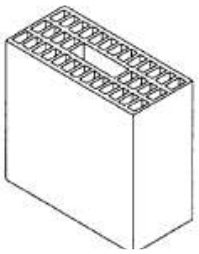
Figure 1.9 - Exemples de briques LD NF EN 771



a) Brique massive b) Brique avec renforcement c) Brique à perforations verticales



d) Brique à perforations verticales



e) Brique à perforations verticales

Figure 1.10 - Exemples de briques HD NF EN 771

I.6 Les joints de mortier

Les caractéristiques mécaniques du mortier dépendent essentiellement de la phase de préparation (mise en œuvre) et de la phase finale c'est-à-dire après le durcissement.

La première phase est fonction de l'ouvrabilité du mortier. Cette caractéristique est généralement définie par le maçon. On ne peut pas lui donner une signification précise par manque de norme spécifique le concernant. Ce qu'il faut retenir c'est que pendant cette phase, le mortier doit avoir une certaine viscosité, être facile à écarter avec une truelle et impérativement coller sur les surfaces verticales.

Les ingrédients qui peuvent augmenter l'ouvrabilité du mortier sont la taille des agrégats et la quantité d'eau utilisée pour le malaxage. L'entraînement d'air est un additif qui crée des bulles d'air minuscules dans le mélange. Ces bulles vont aider les ingrédients du mortier à se déplacer plus librement. Par ailleurs, elles vont réduire la résistance du matériau puisque la densité et la surface de liaison entre les unités de maçonnerie vont être naturellement affaiblies.

L'hétérogénéité des constituants du mortier, les phénomènes de prise, de durcissement, de retrait et de fluage donnent à ce matériau une certaine spécificité qui est souvent difficile à prendre en compte dans les calculs. Ces paramètres du mortier sont contrôlés par le choix des granulats et des liants et par leurs pourcentages respectifs dans le mélange. Le sable est généralement le granulat employé. Il est inerte dans la réaction chimique d'hydratation, mais participe à la compacité du mortier durci. Dans les constructions modernes, il doit

répondre à des exigences de granulométrie pour conférer plus au moins au mortier son homogénéité.

Les liants sont de nature variée ce qui leur donne des caractéristiques mécaniques différentes.

Ils sont donc très différents suivant leur conception et leur emploi.

Les mortiers anciens étaient à base de chaux, ils possédaient une très bonne viscosité, mais leur résistance mécanique était faible et leur durcissement lent. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive, est la base du mortier traditionnel rencontré dans les édifices anciens. Pour des raisons de coût, la chaux hydratée sèche est la plus utilisée aujourd'hui.

– La terre argileuse est un type de liant qui a été utilisé dans les constructions traditionnelles.

On le reconnaît à sa résistance qui est mauvaise avec le temps.

– Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante. Cette dernière a une consistance de départ plus ou moins fluide, se transforme en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. La composition de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec la silice (SiO2) et l'oxyde de fer (Fe2 O3). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles.

Calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 ^{o}c) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (par le procédé de la trempe) est le clinker Portland.

Cette dénomination rappelle l'origine anglaise de la redécouverte du ciment à la fin du XVIIIe siècle (les Romains savaient déjà fabriquer des liants hydrauliques). L'appellation anglaise de clinker évoque le mode d'obtention du matériau. La qualification de Portland vient du fait que l'ingénieur J. Smeaton trouva que le ciment de sa fabrication, qu'il avait utilisé pour la reconstruction d'un phare en Cornouailles en 1756, " égalait en solidité et en durabilité la meilleur pierre de Portland ".

Les oxydes se combinent en début de fusion pour former des silicates et aluminates hydrauliques:

– le silicate tricalcique : 3CaO SiO2, que l'on écrit C 3 S et qui représente 50 à 70 % du clinker,
– le silicate bicalcique : 2CaO SiO2, que l'on écrit C 2 S (10 à 30%),
– l'aluminate tricalcique : 3CaO Al2O3, que l'on écrit C 3A (2 à 15%),
– l'alumino-ferrite tétracalcique : 4CaO Al2O3 FeO3, que l'on écrit C 4AF (5 à 15%).
Le clinker, auquel on ajoute quelques pourcentages de gypse est ensuite finement broyé (moins de 1/10 ème de mm) de manière à obtenir une poudre dont la masse volumique absolue varie de 3,0 à 3,2 g/cm3.
Associés au clinker, les autres constituants modifient les propriétés du ciment grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques. Dans la mesure où ils sont des sous-produits d'autres industries, ils contribuent aussi à en amoindrir le prix de revient. On appelle "constituant principal", un constituant entrant dans la composition du ciment dans une proportion excédant
5% de la masse. A titre indicatif, on va en citer quelques uns, laitiers granulés de haut fourneau, pouzzolanes naturelles, cendres volantes, fumées de silice ...
La résistance à la compression du mortier est parfois considérée comme critère principal pour choisir le type de mortier, puisqu'elle est relativement facile à mesurer. Elle se relie généralement à quelques autres propriétés, comme la résistance à la traction et le pouvoir de rétention d'eau du mortier. La résistance à la compression du mortier dépend en grande partie du contenu du ciment (la chaux et le sable) utilisé et du rapport (E/C) eau-ciment. Par exemple, le rapport E/C est égal à 0,5 pour un mortier.

I.6.1 Propriétés mécaniques de la maçonnerie

Les propriétés des briques varient avec le mode de fabrication. Si l'on casse une brique produite par agglomération, on constate que l'état de surface de la cassure est "gréneux" (mauvaise compacité).

I.6.2 Comportement sous sollicitation de compression uni axiale

La résistance à la compression des maçonneries dans la direction normale aux joints horizontaux est généralement considérée comme le seul critère qui permette de définir la résistance globale de la structure qui est un matériau composite.

Les essais usuels qui sont utilisés pour obtenir cette résistance à la compression uni-axiale sont présentés sur la Figure I.11. Le premier cas représenté est un essai sur une pile de brique (Figure I.11-a) qui reste un essai peu représentatif de la maçonnerie du fait de la résistance de l'échantillon pendant l'essai.

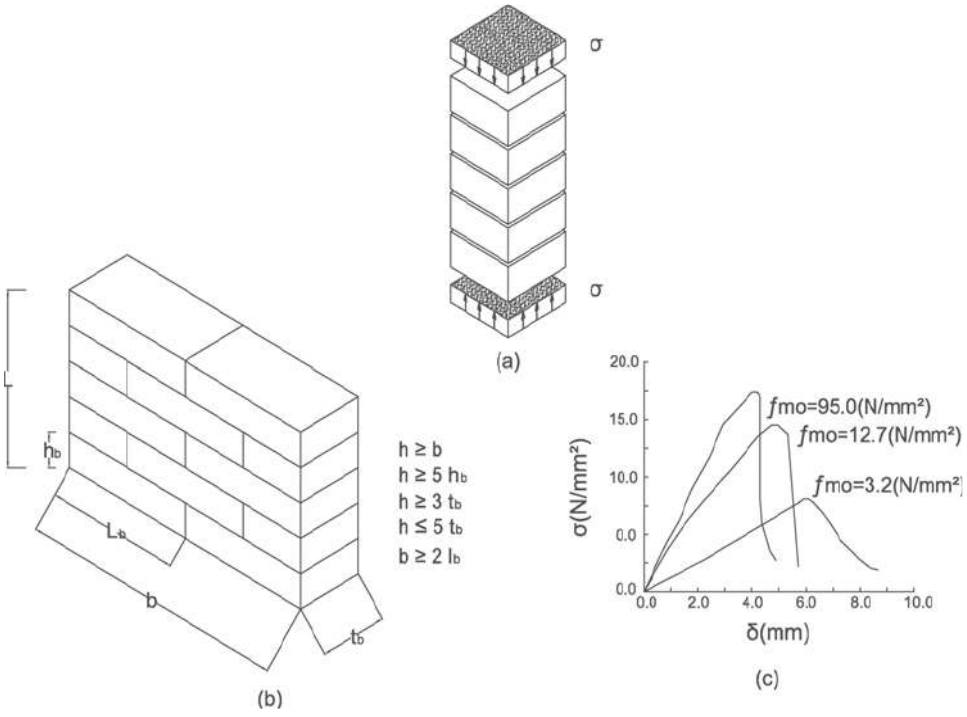


Figure I.11 – Comportement de la maçonnerie sous l'effet d'un effort normal aux joints horizontaux

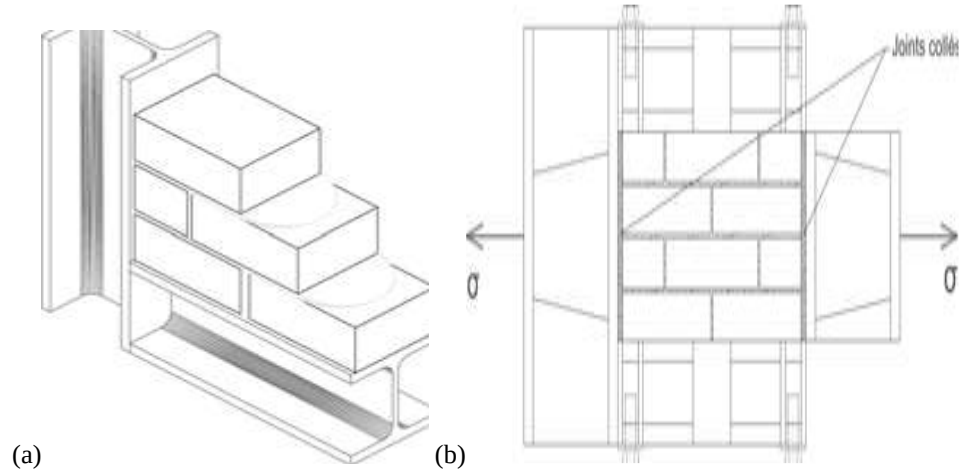
a) cas d'un empilement simple de briques.
b) Spécimen RILEM.
c) Diagramme contrainte - déformation d'un essai compression sur un prisme de maçonnerie (500 × 250 × 600mm3) : résistance à la compression du mortier.

Compris entre 0.2 et 0.8. Ces résultats ont été observés sur des éprouvettes de maçonnerie qui sont constituées par des briques pleines et perforées à base d'argile, de calcium silicate et aussi du béton léger.

I.6.3 Comportement sous sollicitation de traction uni axiale

Pour une structure maçonnée soumise à une charge de traction dans le sens perpendiculaire aux joints horizontaux, la rupture est généralement causée par le décollement entre les briques et le mortier. Le comportement à la traction peut être caractérisé par la résistance d'adhérence entre la brique et le joint de mortier, donc par la tenue en traction de l'interface élément/mortier.

Cependant, il semble que ce mécanisme est dû à un processus physico-chimique dans lequel la porosité des deux composants joue un rôle essentiel. Par conséquent, les sables fins dans le mortier diminuent l'adhérence. Par ailleurs, cette adhérence entre le mortier et les briques ne se produit pas sur toute la surface de contact. On peut estimer que la surface nette d'adhérence apparaît à l'intérieur de la surface de contact et en représente approximativement 59% dans le cas d'un mur simple.



(a) (b)

Figure I.12 – Essai de traction dans la direction parallèle aux joints horizontaux
a) Phase de construction
b) Dispositif de l'essai de traction.

Dans le cas de chargement de traction parallèle aux joints horizontaux des maçonneries. Les diagrammes contrainte - déplacement sont présentés sur la *Figure I.*3 (a - b). Les résultats ont montré que :

– La rupture est produite le plus souvent par un glissement dans les joints horizontaux et une perte d'adhérence dans les joints verticaux.

– Lorsque la résistance à la traction des briques est plus faible que l'adhérence entre ces dernières et le mortier (dans le cas d'un mortier résistant par rapport aux briques perforées ou creuses), la rupture peut se produire par le dépassement de la résistance à la traction des briques.

Ceci peut influencer la résistance à la traction globale de la maçonnerie qui est finalement dominée par la résistance à la traction des briques.

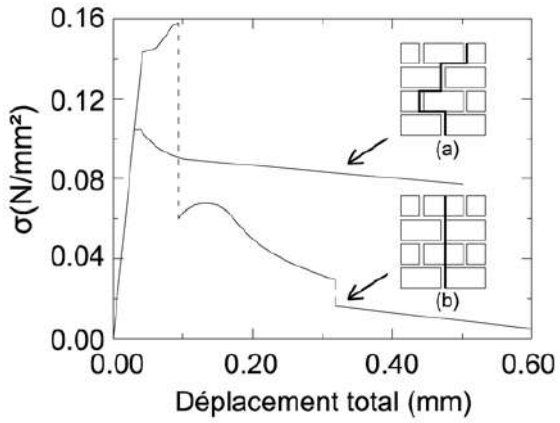


Figure 1.13 – Diagramme contrainte -déplacement pour un essai de traction suivant la direction parallèle aux joints horizontaux :

a) Rupture induite par le glissement dans les joints horizontaux et une perte d'adhérence dans les joints verticaux

b) Rupture totale des joints et des briques.

I.6.4 Influence de l'adhérence bloc-mortier sur le comportement de la maçonnerie :

Il est très utile de connaître les résistances à la rupture mode I pour les maçonneries subissant un chargement hors plan et mode II pour celles subissant un chargement de cisaillement (cas des contreventements, "shear-walls").

Dans ce mémoire nous avons étudié les deux types de rupture. Pour les deux cas, c'est l'adhérence qui va intervenir le plus dans la séparation des matériaux. Cette adhérence est très influencée par la rétention d'eau, le retrait des mortiers et l'absorption des blocs. D'après, le retrait plastique a une influence très importante pour les joints verticaux des maçonneries classiques en terre cuite.

Avec la diminution de l'épaisseur du joint lors du séchage, il y aurait séparation entre le mortier et le bloc. Pour les joints horizontaux, par contre, il y a diminution de l'épaisseur mais pas séparation entre les éléments, puisque la couche de blocs au-dessus de celle du mortier, aidée par son poids, suit le mouvement du retrait.

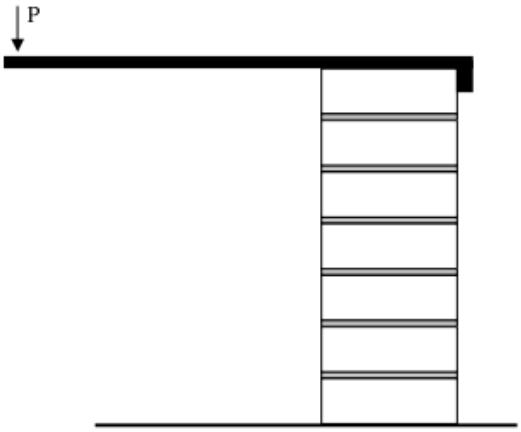


Figure I.14 - Dispositif expérimental de l'essai de poutres " Bond wrench Test "

I.6.5 Rupture de l'interface en mode I

Nous avons deux types d'essais pour étudier la rupture mode I, les essais de flexion et l'essai de traction (directe et indirecte). D'après, il fallait que les valeurs de résistance à l'adhérence données par ces essais, flexion et traction, soient identiques. Pourtant, les valeurs de résistance ne sont pas les mêmes, par plusieurs raisons comme la non prise en compte de la non-uniformité des contraintes,

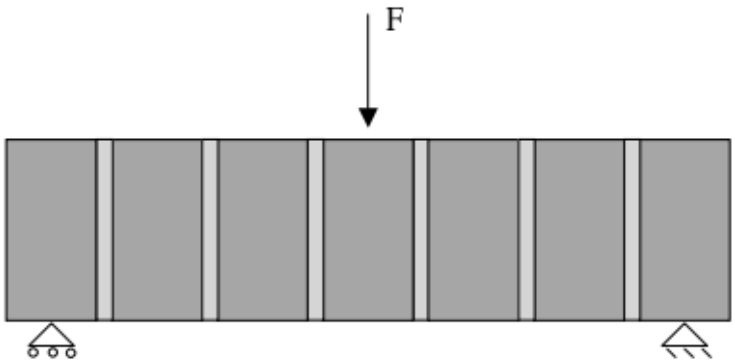


Figure I.15 - Dispositif expérimental de l'essai de poutres "Bond Beam Test "

Pour l'essai de traction directe, et la non-homogénéité du joint de mortier qui adhère plus au centre du bloc qu'à ses extrémités et même les micro-fissures de retrait qui se produisent à l'extérieur de ces joints là, pour les essais de flexion.

On ne sait pas encore aujourd'hui quels sont ou quel est l'essai le plus adéquat pour mesurer la résistance à l'adhérence entre le mortier et le bloc. Des tas d'essais ont été proposés et chacun présente ses avantages et inconvénients, comme cela sera discute ci dessous.

Pourtant, ce que l'on sait pour l'instant c'est que le meilleur essai doit présenter certaines caractéristiques telles que garantir une bonne distribution de contraintes, une simplicité dans la construction des structures et aussi dans la réalisation de l'essai et finalement une bonne résultat.

Les essais de flexion peuvent être réalisés en forme de murs (voir la figure I.16) ou de prismes (voir les figures I.14 et I.15). Les murs sont testés donc comme une dalle, mais de préférence dans le sens vertical comme suggéré par British Standard BS5628

[Bst92]. Et les prismes sont testés soit par le BWT soit par le BBT. Dans tous les cas, la théorie des poutres (Resistance des matériaux) est utilisée pour calculer la contrainte maximale de traction dans le joint de mortier. Cette contrainte là est considérée donc comme la résistance d'adhérence en traction par flexion.

Il est vrai que les poutres ici essayes ne sont pas continues ni homogènes. La résistance des matériaux n'aurait pas du être appliquée. En revanche, tant qu'il n'y a pas de fissuration, l'hypothèse de continuité et d'homogénéité des poutres est ici considérée. Grâce à cette hypothèse, les efforts internes sont déterminés. Ensuite, on utilise le fait que la poutre n'est

pas homogène pour montrer que la rupture a lieu par fissuration dans le joint faible et non ailleurs.

Avant fissuration, on sait que les déformations sont petites et que le matériau est linéaire et élastique. Il est assez vrai car la rupture en traction a lieu environ 10 fois avant celle en compression. A 1/10 de la résistance à la rupture par compression, le comportement du mortier en compression est raisonnablement linéaire et élastique (peu dédommagement). On utilise ce comportement élastique du mortier pour avoir la distribution linéaire de la contrainte σxx de flexion.

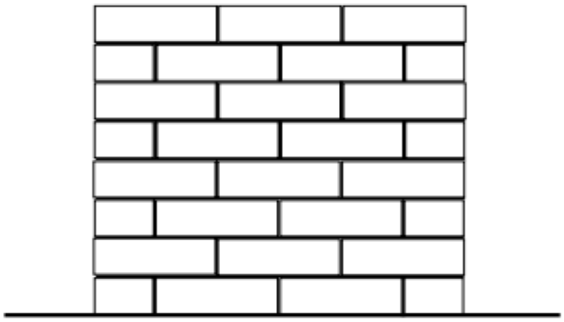


Figure I.16 - Essai de poutres et dalles

Ces essais ont la finalité de mesurer la résistance à la traction en flexion d'un élément de maçonnerie.

L'essai des poutres était en fait le plus utilisé par les australiens, malgré les difficultés de réalisation sur le chantier. Par contre, dans les laboratoires, cet essai est plus facile à réaliser.

L'essai de dalles, de son coté, est beaucoup plus complet dans la mesure où l'éprouvette représente bien la structure de la maçonnerie des bâtiments. Aussi, la dalle comporte suffisamment d'éléments mortiers et blocs pour avoir un comportement homogène.

Par contre, il s'agit d'échantillons lourds et donc difficiles à fabriquer. Cet essai peut être réalisé de deux manières, la première consiste à avoir le plan de rupture parallèle aux joints horizontaux de mortiers et la deuxième dans un plan perpendiculaire à ces joints.

Le mode de chargement pour ces deux essais est montré dans la figure I.14.

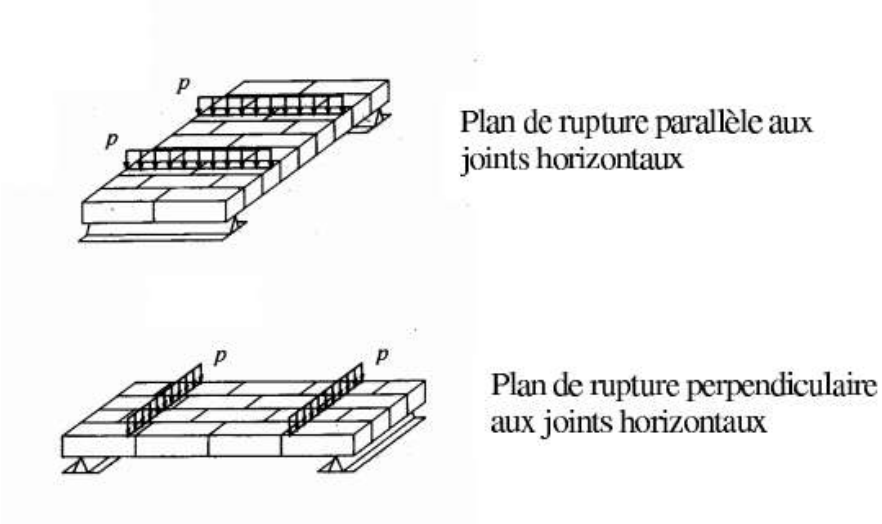


Figure I.17 - Deux façons de tester l'adhérence entre les joints de mortier et les blocs

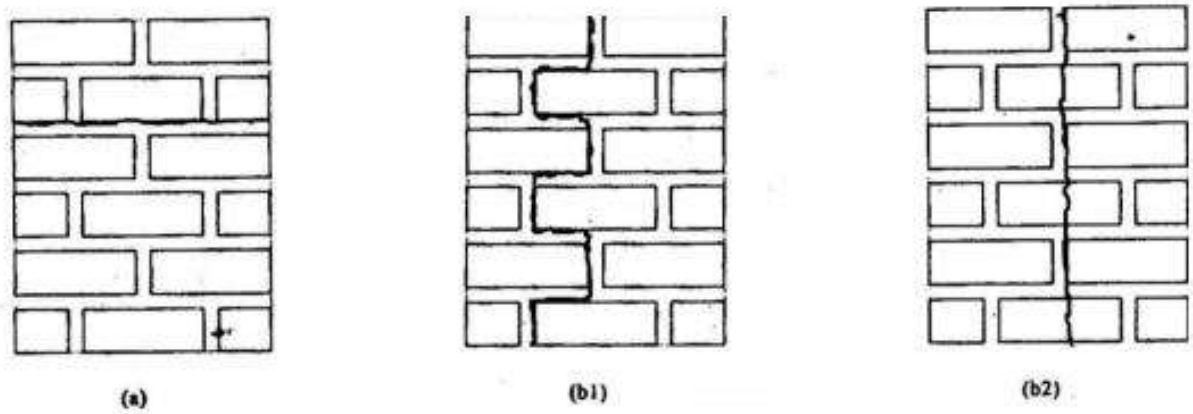


Figure I.18 - Modes possibles de rupture dans les murs

Pour le premier mode de chargement, la rupture est soit un décollage entre le joint de mortier et les blocs, soit une rupture directe au niveau des blocs ou du joint de mortier. Tout va dépendre des valeurs de résistance à la traction du bloc, du mortier et de l'interface entre ces deux matériaux, c'est _a dire l'adhérence (voir figure I.15(a)).

Pour le deuxième mode de chargement, les modes de rupture possibles sont présentés aussi dans la figure I.15 (b1) en forme de dents et (b2) une rupture droite.

En faisant une comparaison entre les essais de poutres et de dalles, on peut dire que celui de poutres est l'essai de dalles simplifie, sous la forme du premier mode de chargement.

En effet, les dalles sont plus appropriées lorsque des résultats concernant des ruptures dans le plan perpendiculaire aux joints horizontaux de mortier sont demandés.

Parce que pour mesurer l'adhérence dans le plan parallèle aux joints horizontaux, le test de prismes est plus que suffisant et aussi plus simple.

I.6.6 Rupture de l'interface en mode II

Vu le manque d'informations sur le phénomène de la rupture mode II pour les maçonneries en terre, la bibliographie a été réalisée principalement sur des recherches sur la maçonnerie conventionnelle, c'est-à-dire, avec les briques cuites.

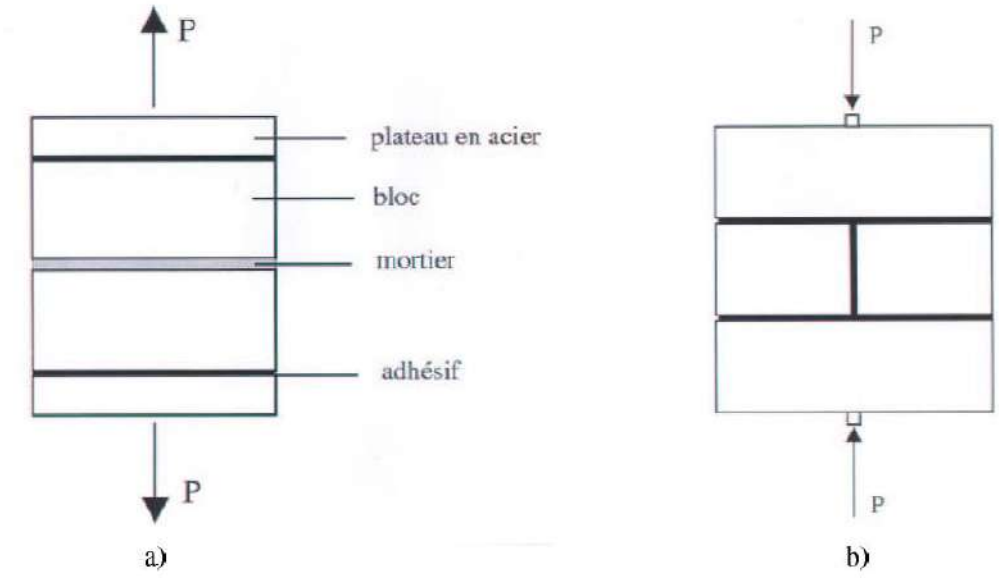


Figure I.19 - Dispositif expérimental pour un essai de traction directe

a) Utilisation d'adhésif pour relier les blocs et les plateaux de la presse

b) Essai de traction indirecte

I.6.6.1 Essais sur briques cuites

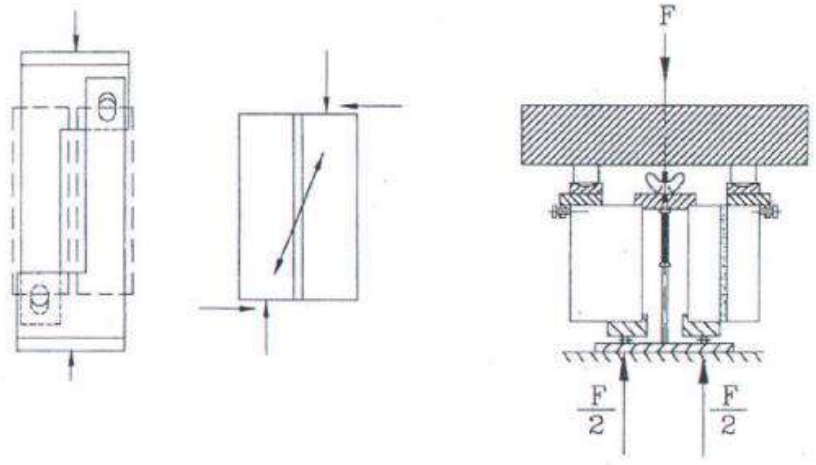
Plusieurs méthodes ont été proposées pour mesurer la résistance au cisaillement des maçonneries.

Il est en général accepté que cette résistance est associée à la contrainte de compression qui agit sur les joints et que, dans les niveaux typiquement rencontrés dans les structures, L'essai idéal est celui homogène, ou les contraintes et aussi les déformations seront constantes en tous les points de l'échantillon. Dans la pratique, il «existe pas un essai idéal de ce type là, mais certains donnent de résultats assez fiables pour garantir leur utilisation dans l'analyse des maçonneries.

Tests de doublets

Un des premiers modes opératoires à être utilisé a été la boîte de cisaillement de mécanique des sols. Et depuis ce premier essai, le plus grand problème est l'impossibilité d'appliquer le chargement de cisaillement dans le plan du joint et cela impose un moment de flexion au niveau de ce joint. Comme conséquence, la rupture peut avoir lieu en mode I et pas en mode II.

En 1974, les australiens ont adopté un mode opératoire (voir figure I.17 "a)" -
qui présentait aussi les mêmes inconvénients, ce qui a causé son abandon quelques années plus tard. D'ailleurs, les chercheurs ont montré par les éléments finis que la distribution de contraintes donnée par ce mode opératoire était loin d'être uniforme.
En 1986 ont adopté un dispositif expérimental similaire (voir la figure I.17 "b)"), ont montré par la méthode des éléments finis les mêmes problèmes observés lors de son analyse de l'essai



Figue I.20 - Essai proposé par des Australiens ; Fig. I.17 - b) Essai similaire

En 1986, les allemands Stöckl et Hoffmann ont proposée un mode opératoire, qui du point de vue de la distribution uniforme de contraintes était plus acceptable que n'importe quel autre dispositif expérimental (voir la figure I.18).

Le seul inconvénient était la complexité de réalisation de l'essai, ont aussi utilisé le test des doublets. Leur recherche expérimentale avait comme finalité la mise au point des essais en vue d'établir la courbe intrinsèque de comportement de l'interface. De cette façon, un essai assez simple a été proposé par ces chercheurs ou deux blocs sont reliés par un joint de mortier, dont l'angle varie de 0° à 120° degrés, comme montre dans la figure I.19.

Ils ont observé que les modes de rupture pouvaient être d'écrits par la loi de Mohr-Coulomb. La rupture intervenait au niveau du plan de liaison entre le joint de mortier et la brique. Ce mode de rupture est dû au fait que l'on atteint soit la résistance d'adhérence en traction soit celle en cisaillement.

Ils ont aussi adopté le critère de rupture Mohr-Coulomb pour représenter le comportement au cisaillement des éléments de maçonnerie. Dans leurs essais, une pré-compression a été utilisée pour simuler plus réellement ce qui se passe dans un mur.

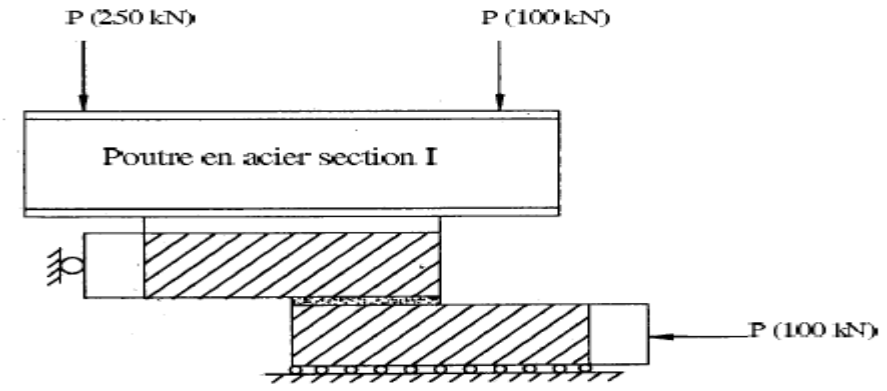


Figure I.21 - Essai proposé par Hoffmann et Stockl

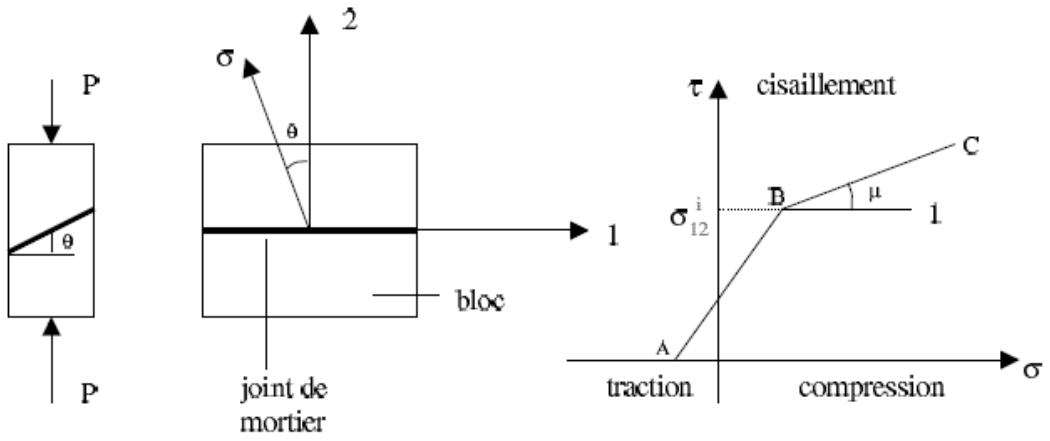


Figure I.22 - Essai proposé par Benjamin et Williams - rupture mode I et II

Ils ont montré que le coefficient μ était fonction de la contrainte de compression et qu'il diminuait lorsque cette contrainte augmentait. Ils concluent que :

a) Le mortier n'a pas une grande influence sur la résistance au cisaillement ;
b) Il n'existe pas une relation linéaire entre σ et τ ;
c) μ diminue lorsque la force de pré-compression augmente.

il est en général cité que l'équation du type Coulomb est acceptée pour représenter une relation entre la contrainte de cisaillement τ et la contrainte de pré-compression σ_c, pour des valeurs de σc inférieures à 2 N/mm2. Dans cette équation, τ_o est égale à la contrainte de cisaillement lorsque $\sigma_o = 0$.

Chapitre II

Matériaux et essais



II.1 Introduction

Cette partie concerne la caractérisation des matériaux utilisés et les essais faits en laboratoire. Des essais expérimentaux sont effectués afin d'étudier les propriétés physiques, mécaniques du mortier.

II.2 Dosage en ciment

On fait une comparaison entre les mortiers MO et MB sachant que le dosage en ciment comme suit :

2 volumes ciment----- 6 volumes sable MO

1 volume ciment ------1volume chaux--------6volumes sable MB





Figure II.1: Le dosage en ciment et de chaux pour la préparation de mortier MO et MB

II.2 Programme expérimental et protocole d'essais

II.3 Matériaux utilisées

Dans ce travail et dans le but de pouvoir comparaitre les résultats d'un mortier témoin et un autre mortier à base d'un mélange des liants (ciment+chaux) en substitution de chaux par rapport à la masse du ciment. Les constituants entrant dans la composition de la matrice sont :

II.4 Ciment :

Un seul type de ciment est utilisé au cours de cette étude expérimentale. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5, produit par la cimenterie de (Chleff) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme NA 442.

A-Définition :

Ciment de « CHLEF » est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

B- Analyse et caractérisation :

-Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker :

Le tableau **II.1** résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment (Annexes).

Tableau II.1 : L'Analyse chimique du ciment et composition du clinker.

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition hypothétique du clincker	Silicates tricalciques C_3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C_3A (%)	6.00-8.00

Tableau II.2 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge

Ages (jour)	**Résistance à la compression (MPa)**
2	>20
28	42.5 et 62.5



Figure II.2 : Le ciment utilisé.

II.5 Le Sable :

Le sable roulé utilisé dans cette étude est HASSI BAHBAH de la région de DJELFA, située à 300 km au sud d'Alger, sa classe granulaire est 0,5.

La **Figure II.3** suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé.



Figure II.3: Sable roulé de HASSI BAHBAH.

Tableau II.3: Propriétés physiques d'identification de sable utilisé.

Caractéristique	Sable de HASSI BAHBAH	Normes
Classe granulaire	0/3	**NF EN 933-1**
Module de finesse	1.86	
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.55	**NF EN 1097-6**
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.49	**NF EN 1097-3**
Equivalent de sable (%)	62,5	**NF EN 933-8**
Taux d'absorption d'eau (%)	**1.5**	**NF EN 1097-6**

L'analyse granulométrique du sable utilisé est présentée sur la **Figure II.4** suivante :

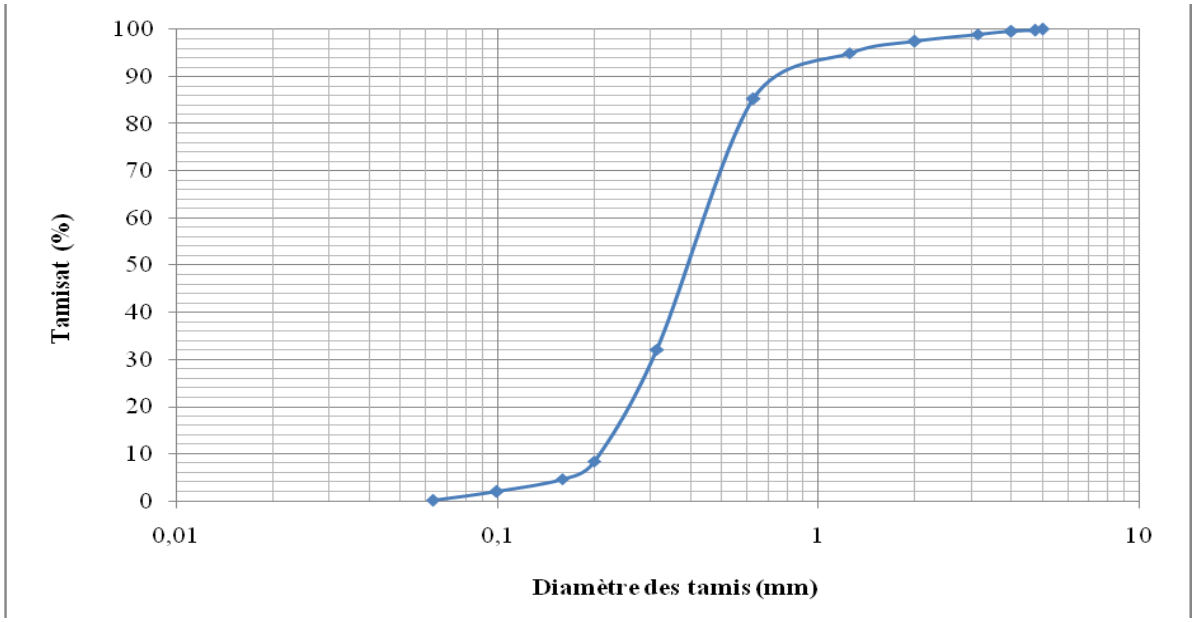


Figure II.4: Courbe granulométrique de sable utilisé.

II.6 Chaux :

La chaux éteinte (NHL) est issue de la carrière de chaux de Hassasna de SAIDA. Elle est fabriquée par la société BMSD selon les normes DIN1060. Ces propriétés physiques et chimiques sont données au **Tableau II.4**.

Tableau II.4 : Propriétés physiques et chimiques de la chaux Saida

Apparence physique	Poudre blanche sèche
CaO [%]	> 73.3
MgO [%]	< 0.5
Fe_2O_3 [%]	< 2
Al_2O_3 [%]	< 1.5
SiO_2 [%]	< 2.5
SO_3 [%]	< 0.5
Na_2O [%]	0.4 - 0.5
CO_2 [%]	< 5
$CaCO_3$ [%]	< 10
Densité spécifique [g/cm^3]	2
Plus de 90 µm [%]	< 10
Plus de 630 µm [%]	0
Matériau insoluble [%]	< 1
Densité apparente [g/l]	600-900



Figure II.5 : La chaux utilisée.

II.7 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est une eau potable de robinet, qui ne contient pas d'impuretés. 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.

II.8 Briques :

Des briques (HD) en terre cuite à perforations verticales et de dimensions de 210 × 100 × 50 mm^3 ont été utilisées dans cette étude.



Figure II.6 : Des briques utilisée.

II.9 Confection des Eprouvettes

II.10 Confection des Mortiers :

Les mortiers contiennent des liants (ciment, chaux) du sable et de l'eau

Afin d'étudier l'influence du type de mortier sur le comportement des éléments en maçonnerie, le mortier colle au montage des maçonneries de blocs de béton cellulaire. Ces mortiers se distinguent par leurs composition en ciment, chaux et sable et donc par leurs résistance mécanique:

a) Mortier Ordinaire

Le mortier ordinaire utilisé est un mélange de sable et de ciment avec un rapport de volume sable sur ciment égal à 3.

b) Mortier bâtard

Le mortier bâtard utilisé est un mélange de ciment et de chaux et de sable (1v- 1v- 6v) avec les proportions d'un volume et un volume de ciment pour un volume de chaux et six volumes de sable.

Tableau II.5 composition volumétriques des mortiers ordinaires et bâtards (kg/m3)

	Mortier de ciment	Mortier bâtard
Ciment	2	1
Sable	6	6
Chaux	0	1
Eau	0.5	0.625

II.11 Malaxage des mortiers

La procédure de malaxage pour les deux types de mortier est représentée dans le tableau II.6.

Tableau II.6 Opérations de malaxage du mortier

Opérations	Durée	Etat du malaxeur
Introduction du sable	-	Arrêt
Introduction du ciment		
Malaxage	30 s	Vitesse lente
Introduction de l'eau	-	
Malaxage	30 s	Vitesse rapide
Raclage de la cuve	15 s	Arrêt
-	1min 15s	
Malaxage	60s	Vitesse rapide

➢



Figure II.7 : Equipement nécessaire

II.12 Les essais sur sable

a- Equivalent de sable

Selon la norme [NF P 18-598], la procédure de mesure de l'équivalent de sable est comme suit:

- ✓ On dispose de trois éprouvettes propres pour chaque sable, puis on prendra la moyenne des trois résultats obtenus ;
- ✓ En versant une quantité de 120 g de sable, jusqu'au premier trait d'une éprouvette normalisée contenant une solution lavé, et on laisse à reposer 10 minutes.
- ✓ On bouche les éprouvettes et on les agite d'une manière automatique à l'aide d'une machine agitatrice pendant 30 secondes ;
- ✓ On lave et on remplit les éprouvettes par la solution lavé jusqu'au trait supérieur, et les laisse à reposer 20 minutes en évitant toute vibration ;
- ✓ On lit les hauteurs h_1 et h_2 puis à l'aide d'un piston on mesure h_2'.

$$ES = 100. (h2' / h1) \quad \text{(Equation II.1)}$$

$$ESV = 100. (h2/ h1) \quad \text{(Equation II.2)}$$

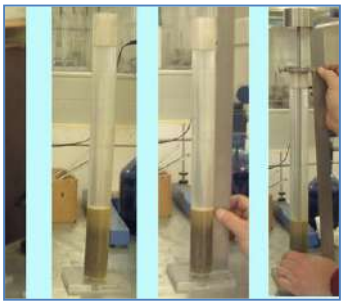


Figure II.8 : Procédure de mesure de l'équivalent de sable

b- Granulométrie

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme [NA 2607] où le sable passant à travers une série de maille décroissante (figure II.9) dont on pèse le refus de chaque tamis.



Figure II.9 : Séries de tamis

On utilise une quantité de 1000 g pour le sable de concassage et 1400 g pour le sable roulé. On trace les courbes granulométriques pour chaque sable, puis on tire les coefficients suivants :

- ✓ Le coefficient d'uniformité C_u ;
- ✓ Le coefficient de courbure C_c ;
- ✓ Le module de finesse Mf ;

A partir du module de finesse de chaque type de sable, on fait la correction du sable ayant le module de finesse le plus bas.

II.13 Les essais effectués sur le mortier à l'état frais :

A. L'ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils :

- **La table à secousses:**

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule :

$$\mathbf{E\ (\%) = 100\ \frac{Dr-Di}{Di}} \qquad \text{(Equation II.3)}$$

D_r = diamètre final

D_i = diamètre initial.



Figure II.10 : Développement de l'essai d'étalement.

Le maniabilimètre du LCPC:

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

B – Maniabilité du mortier

Selon les normes L.C.P.C [NF P 18-452] et [NF P 15-437] le but de cet essai est de quantifier l'ouvrabilité qui est une qualité, évolutive dans le temps, du mortier avant prise, et classer les mortiers suivant une échelle de fluidité croissante (ferme, plastique, très plastique et fluide). Dans cet essai la consistance est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide. L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre à mortier (figure II.11)



Figure II.11 : Maniabilimètre à mortier

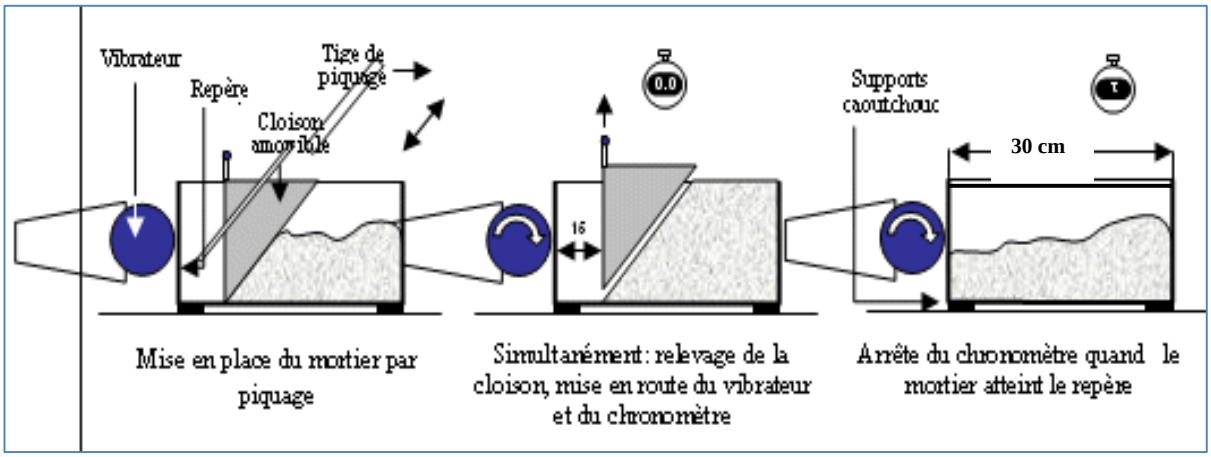


Figure II.12 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre à mortier

L'état du mortier après essais est illustré dans la figure II.20.



Figure II.13 : Etat du mortier avant et après mesure du temps d'écoulement

C - Air occlus

Selon la norme [NF P 18-353], une cuve hermétiquement close accueille un volume donné de mortier. Ce mortier contient de l'air, susceptible d'être comprimé sous l'action d'une pression. Lorsque l'on applique une pression à l'ensemble mortier / air occlus par l'intermédiaire d'un fluide incompressible, la pression se transmet intégralement à l'air occlus (on suppose les autres éléments du mortier incompressible). L'air est comprimé sous une pression permettant de négliger son volume final au regard de son volume initial.

Le fluide incompressible occupe la place de l'air occlus dans le mortier. Le rapport de son volume déplacé au volume total utilisé permet de déterminer le pourcentage volumique d'air occlus.



Figure II.14:Aéromètre à mortier



Figure II.15 : Etat final du mortier dans la cuve avant mesure

II.14 Les essais effectués sur le mortier à l'état durci :

A- Essai de retrait et gonflement

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16 cm) conformément à la norme [NF P 18-404]. Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un rétractomètre (figure II.16) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à de 1j jusqu'a 28 jours.



Figure II.16 : Rétractomètre et son étalonnage

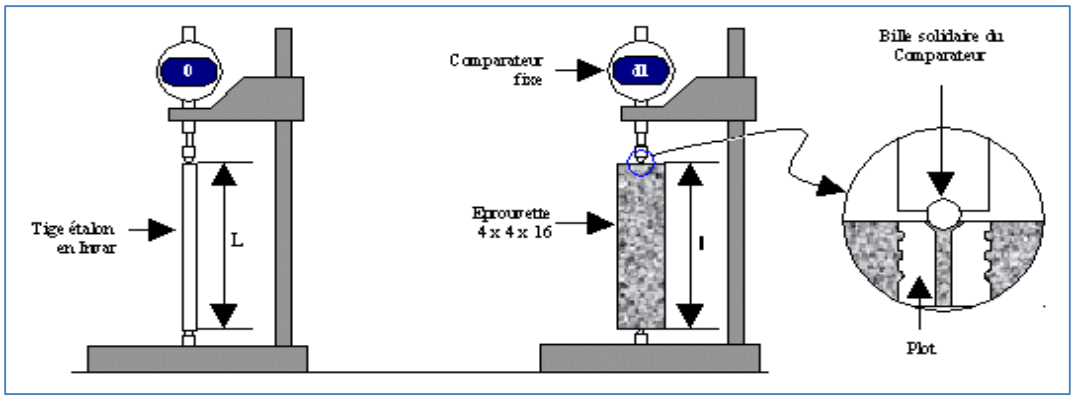


Figure II.17 : Principe de mesure du retrait

B - Essai de traction par flexion

Selon la norme [EN 196-1] c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure II.18), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3, 7, 28 jours.

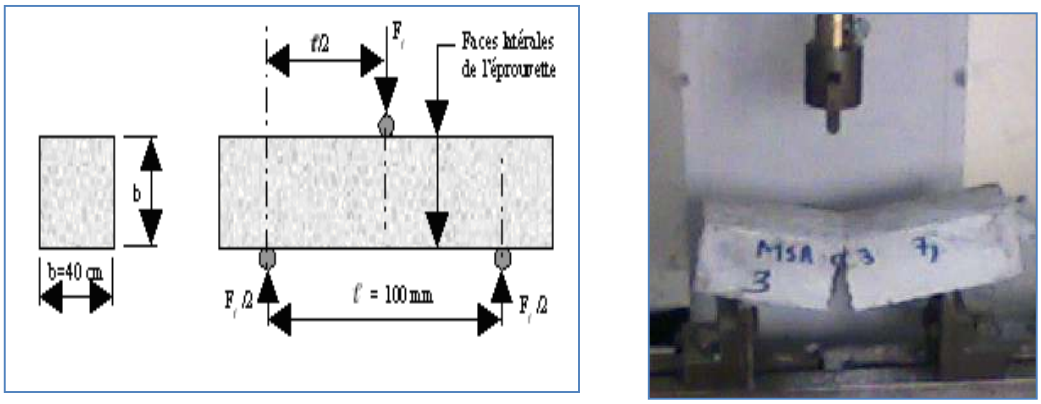


Figure II.18: Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante : $\sigma_t = \frac{M}{I} v$ (Equation II.4)

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge :

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{F_f L}}{\mathbf{4}} \quad \text{(Equation II.5)}$$

I : Moment d'inertie de la section transversale : $\mathbf{I} = \frac{\mathbf{a^4}}{\mathbf{12}}$ (Equation II.6)

v : La distance de la fibre la plus éloignée : $\mathbf{v} = \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{2}}$ (Equation II.7)

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

$$\boldsymbol{\sigma_t} = \frac{\mathbf{1.5F_f L}}{\mathbf{a^3}} \quad \text{(Equation II.8)}$$

$$\mathbf{f_{t28} = 0.9\ Ft.L\ /\ a^3} \quad \text{(Equation II.9)}$$

La rupture de chaque éprouvette en traction est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure.

C- Essai de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] par compression axiale pour demi prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3,7, 28jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN (Figure II.19). La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai.

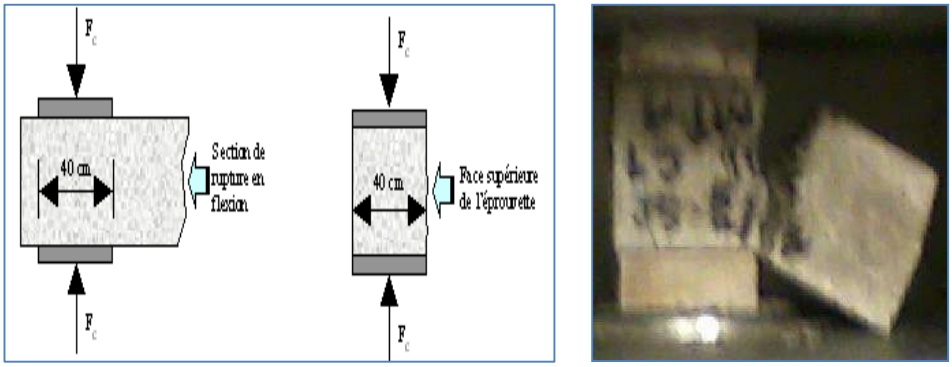


Figure II.19 : Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure II.19, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2} \quad \text{(Equation II.10)}$$

II.15 ESSAIS MECANIQUES sur muret

Les essais mécaniques pour la caractérisation d'une maçonnerie peuvent être effectués de plusieurs façons : Essai de compression centrée ou diagonale, Essai de cisaillement, essai d'adhérence par flexion et par dynamomètre de traction

II.16 Essai de compression centrée sur colonne de brique

La résistance à la compression sur des petits murets en brique est obtenue par l'essai de compression centrée au moyen d'une presse hydraulique de type (CONTROLLS), à deux échelles de capacité 3 MN. Le muret est placé et centré entre les deux plateaux de la presse, puis chargé progressivement à vitesse constante égale à 10 KN/S jusqu'à la rupture

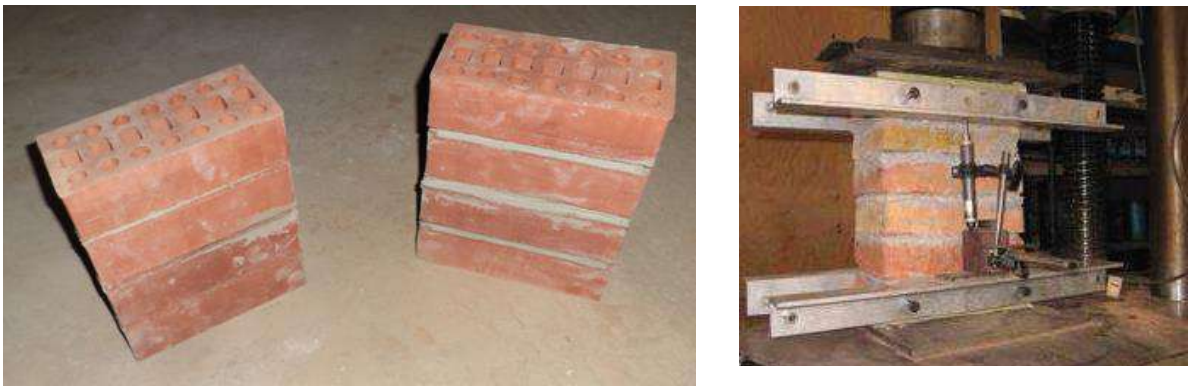


Figure. II.20 : Essai de compression centrée sur colonne de brique

$$f_m = \frac{P}{S} \qquad \text{(Equation II.11)}$$

II .17 Essai de compression centrée sur muret

La résistance à la compression sur des petits murets en brique est obtenue par l'essai de compression centrée au moyen d'une presse hydraulique de type (CONTROLLS), à deux échelles de capacité 3 MN (Photo5 Annexe3). Le muret est placé et centré entre les deux plateaux de la presse, puis chargé progressivement à vitesse constante égale à 10 KN/S jusqu'à la rupture.



Figure. II.21 : Essai de compression centrée sur colonne de brique

II .18 Essai de compression diagonale

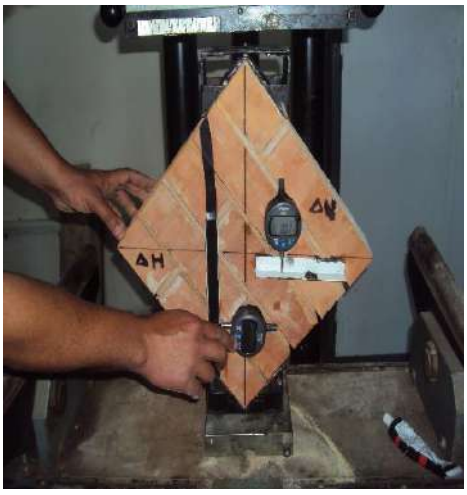


Figure. II.22 : Essai de compression centrée sur muret

Contrainte de cisaillement

$$\tau = \frac{P_{max}}{A_{inc}} cos45° \qquad \text{(Equation II.12)}$$

$$A_{inc} = \frac{(w+h)}{2} \times t \times n \qquad \text{(Equation II.13)}$$

w **:** Largeur du mur

h **:** Hauteur du mur

t **:** Épaisseur

Déformations

$$\varepsilon = \frac{\Delta h1 + \Delta V2}{g} \qquad \text{(Equation II.14)}$$

II.19 Essai mécaniques de l'interface brique- mortier

Le comportement d'un mur en maçonnerie est gouverné par la qualité de l'adhérence de l'interface brique- mortier. Dans cette partie, quatre types d'essais seront étudié : Essai de cisaillement : Essai de flexion sur poutre, de flexion sur muret et essai de traction directe.

II .20 Essai de cisaillement

La rupture par glissement de la liaison brique mortier est étudiée par l'essai de cisaillement.

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)**

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot S} \qquad \text{(Equation II.15)}$$

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 :

$\tau = c + \sigma \cdot tg\varphi$ (Equation II.16)

c: Cohésion du mortier

$tg\varphi$: Angle de frottement du mortier

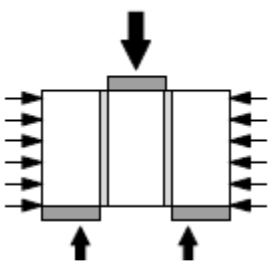




Figure. II.23 : Essai de cisaillement

II .21 Essai d'adhérence par dynamomètre de traction

Le degré d'accrochage d'un mortier sur une brique est évalué par un essai d'adhérence par l'application d'un effort de traction sur une pastille en acier collée par une résine époxy, sur une surface, délimitée, circulaire de diamètre de 5 cm.

Selon la norme NF P18-852, il s'agit d'un effort de traction normale sur la surface d'une pastille munie d'une rotule mâle où vient se loger une rotule femelle située à la base de l'axe central de l'appareil d'essai d'adhérence, qui est équipé d'un capteur de 16 KN (figure II.24)

Les essais ont été réalisés 24 h après le collage des pastilles

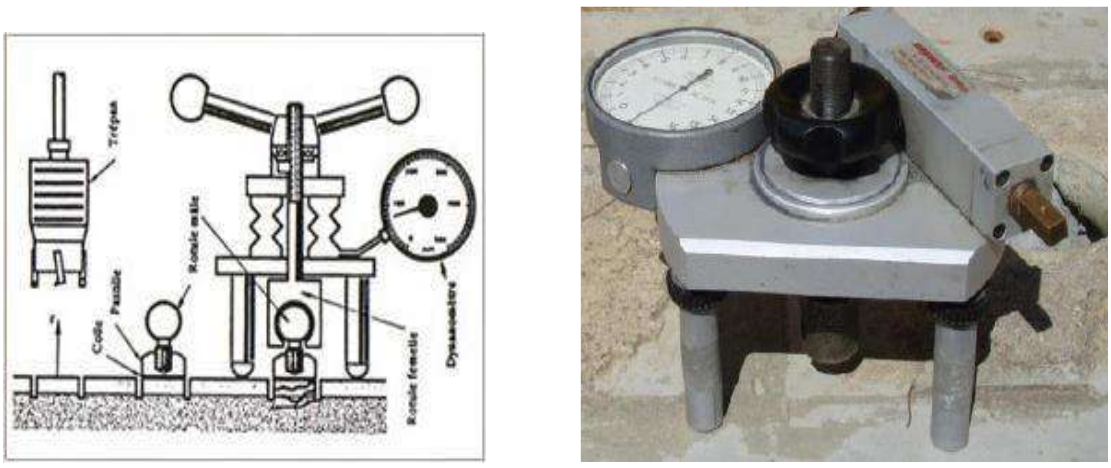


Figure. II.24 : Appareil de l'essai d'adhérence par dynamomètre

II.22-Variables étudiées :

Les variables d'étude utilisés au cours de ce travail sont résumés dans la **Figure II.25** suivante :

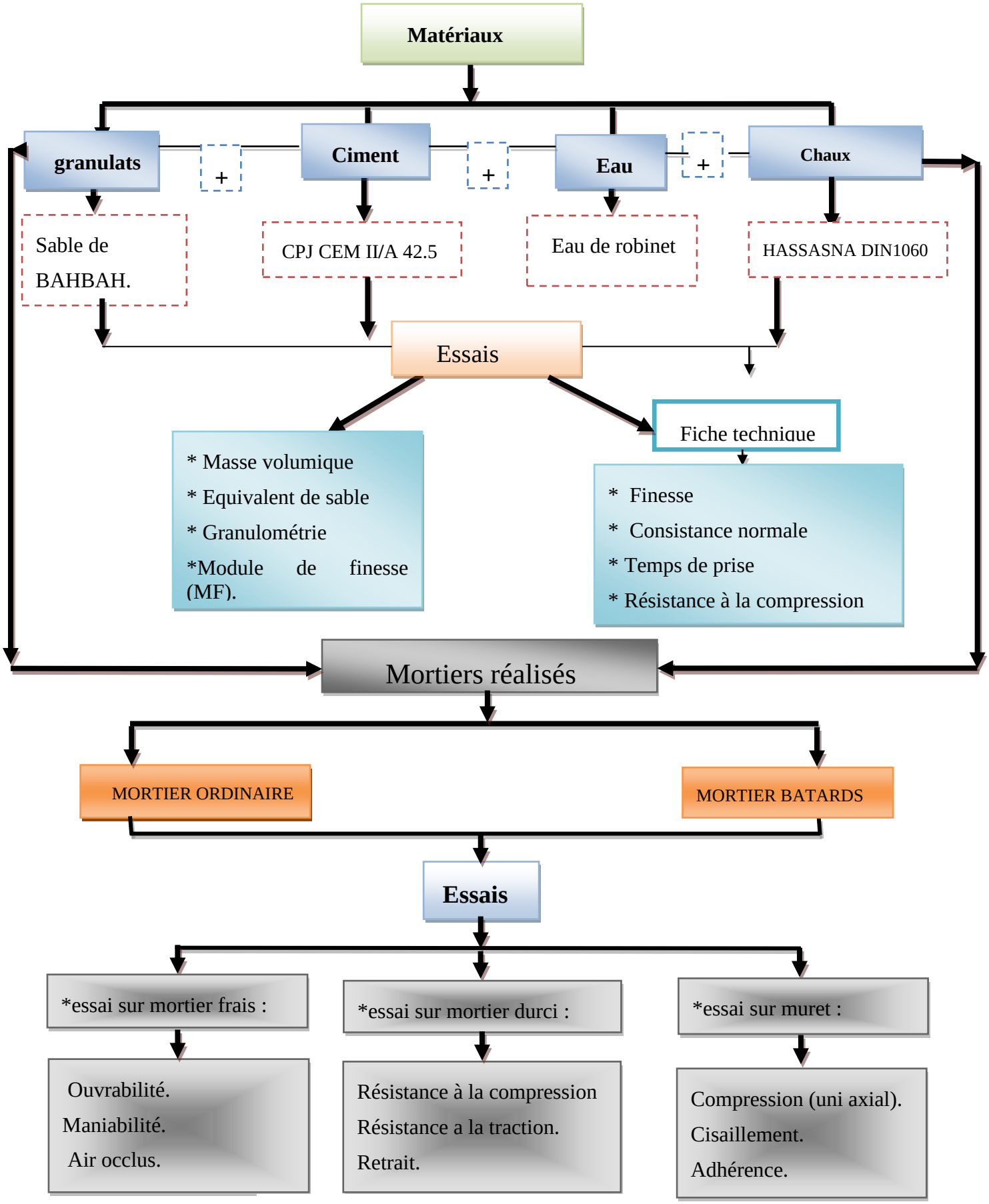


Figure II.25 : Variables étudiées

Chapitre III

Résultats et interprétations

III.1 Introduction

Les résultats des différents essais faîtes sur les granulats, le mortier frais et durci sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

III. 2 Essais sur un mortier frais

III.2.1 Maniabilité:

La maniabilité a été mesuré par le temps d'écoulement dans le maniabilimétre LCPC chacun des deux mortiers à savoir mortier ordinaire et bâtard.



Figure III.1 : les étapes de préparation des mortiers réalisés

Les résultats sont représentés sur l'histogramme de **Figure III.2** qui permet de comparer le temps d'écoulement des mortiers ordinaire et bâtard.

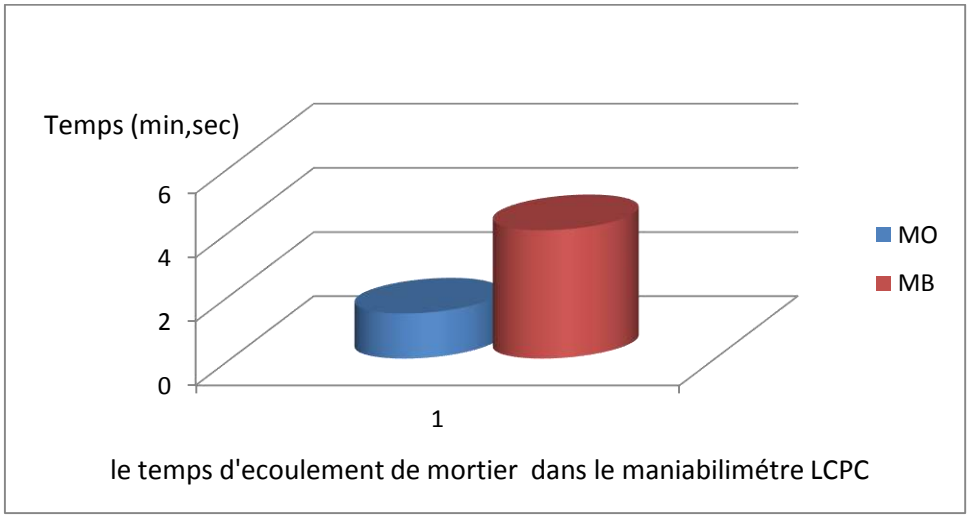


Figure III.2 : Essai de Maniabilité

On remarque que l'écoulement de mortier ordinaire est très rapide (t=101 sec) par rapport au mortier bâtard (t=241 sec), à cause de l'ajout de la chaux qui absorbe l'eau.

III.2. 2 Air occlus

Dans cet essai on a mesuré l'air occlus en (%) pour les mortiers ordinaire et bâtard. Les résultats obtenus sont résumés dans la (figure III.4).

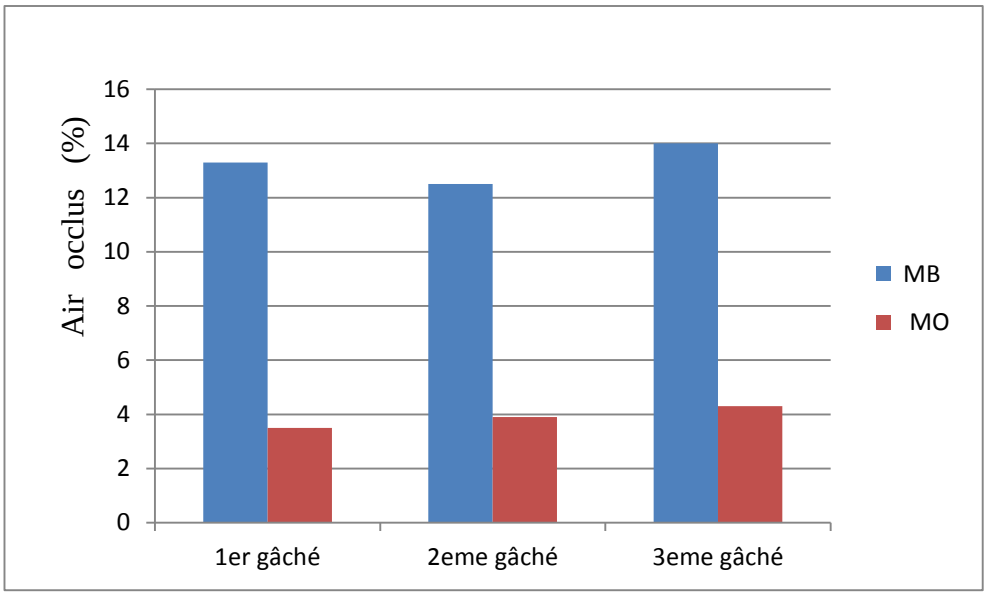


Figure III.3 : Air occlus des mortiers réalisés

D'après cette figure, on remarque que le MO cause moins d'air occlus que les gâchés de mortier MB. Car, l'air occlus est de 14 % pour les mortiers batard contre 4.5 % pour les mortiers ordinaire. Cela explique que le mortier à base de ciment est compacté par rapport à l'autre, et par conséquence moins poreux.

III. 3 Essai sur un mortier durci

III. 3.1 Résistance à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence ciment+chaux (un liant composé). Les résultats sont présentés dans la figure III.4:

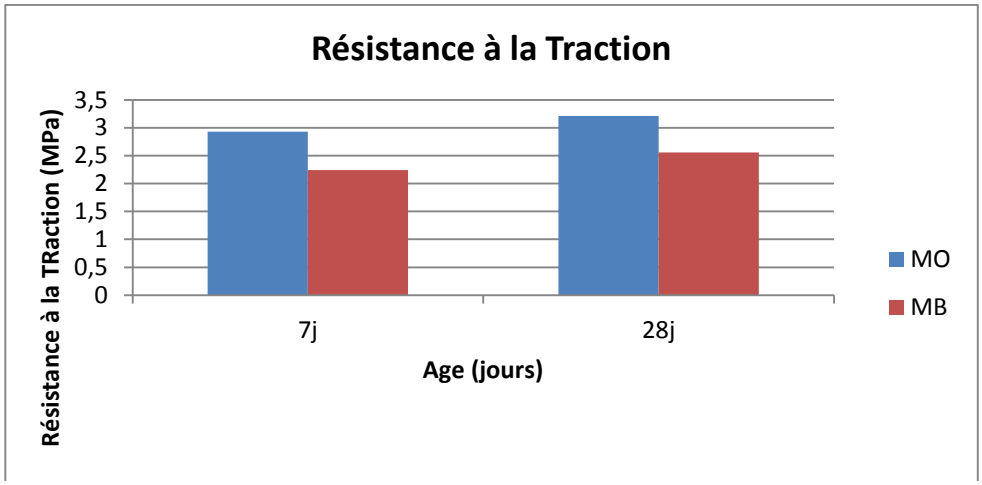


Figure III.4 : Résistance à la traction par flexion

A partir de l'histogramme de la figure III.4 on remarque que la résistance à la traction est approximativement la même à 7 jours puisqu'elle est de 2.93MPa pour le mortier ordinaire et de l'ordre de 2.24MPa pour le mortier bâtard.

Cependant, il ya une légère augmentation à28jours puisque elle passe de 2.25MPa à 3.21MPa respectivement entre le mortier bâtard et ordinaire.

III. 3.2 Résistance à la compression :

Les résultats sont illustrés dans l'histogramme de la Figure III.5 ci-dessous :

D'après l'histogramme de la figure, on remarque que le mortier ordinaire est plus résistant. Ceci parce que parmi les caractéristiques de la chaux, l'absorption en excès d'eau ce qui provoque l'occupation de vide.

Donc dans un liant plus de porosité, moins d'adhérence, moins de résistance de compression.

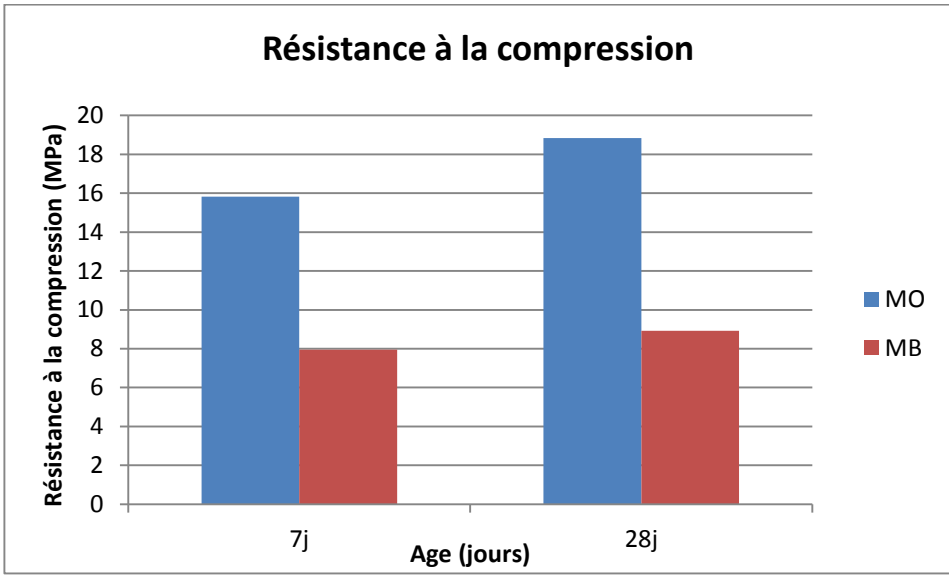


Figure III.5 : Résistance à la compression

III. 3.3 L'essai de retrait

D'après l'histogramme ci-dessous, on remarque que le retrait en air libre du mortier à base de ciment+ chaux est nettement plus important que celui du mortier ordinaire jusqu'à au 14 eme jour. Cependant, à partir de 28 jours le mortier ordinaire est stable donc ya pas de mouvement aérienne donc la porosité celle qui provoqué par la chaux qu'elle libéré la quantité d'eau absorbé lors le malaxage (l'eau de gâchage).

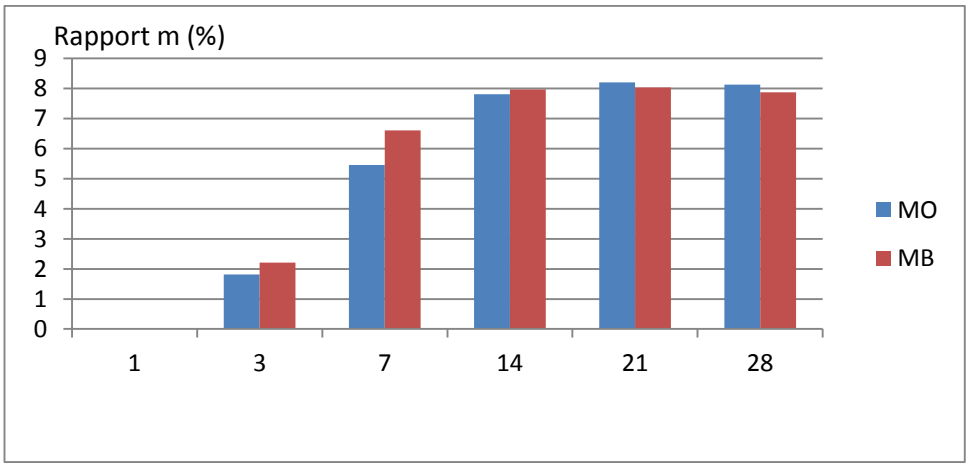


Figure III.6 : Perte en masse (%)

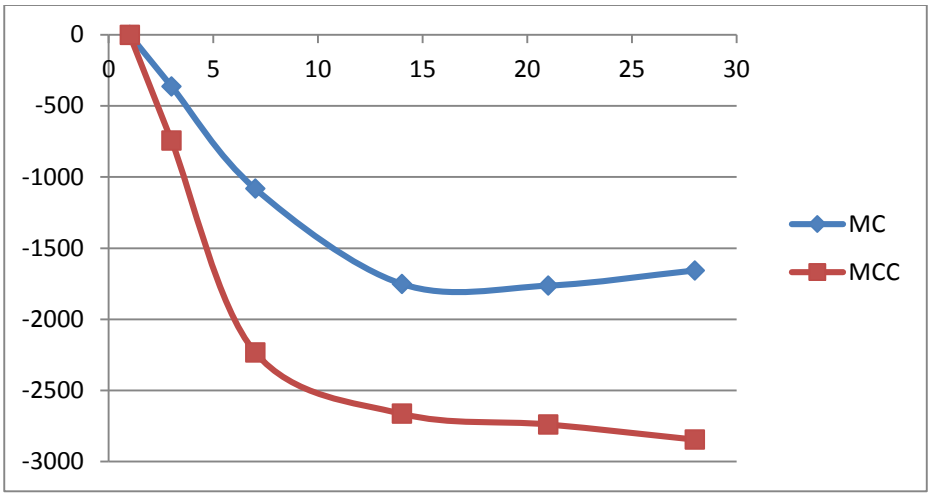


Figure III.7 : Résultat de retrait

III.4 Essai sur muret

III. 4.1 Essai d'écrasement de colonne

Les résultats de l'essai d'écrasement par compression sur des murets formé d'une seule colonne est donnée sur la figure suivant :

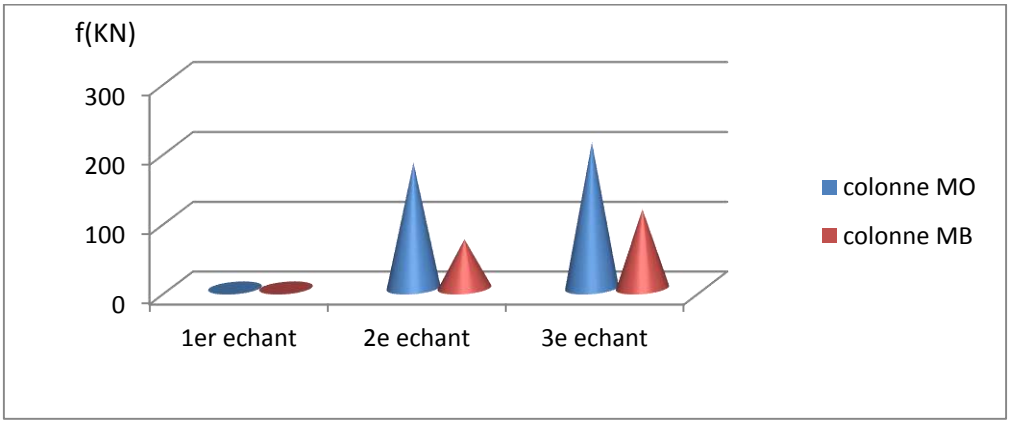


Figure III.8 : Résultat d'écrasement de colonne

On remarque que la première fissuration est de 180KN à la colonne MO, et de 70KN à la colonne 180KN, mais la cohésion de mortier jusqu'à la détérioration est de 209.2KN à la colonne MO, et de 113KN à la colonne MB.

III. 4.2 Essai d'écrasement de muret (uni axial)

Les résultats de l'essai d'écrasement par compression diagonale sur des murets carré est donnée sur la figure suivant :



Figure III.9 : Essai d'écrasement de muret (uni axial)

Et les résultats obtenus seront résumés dans les histogrammes ci-dessous :

III. 4.2.1 Déplacement horizontal :

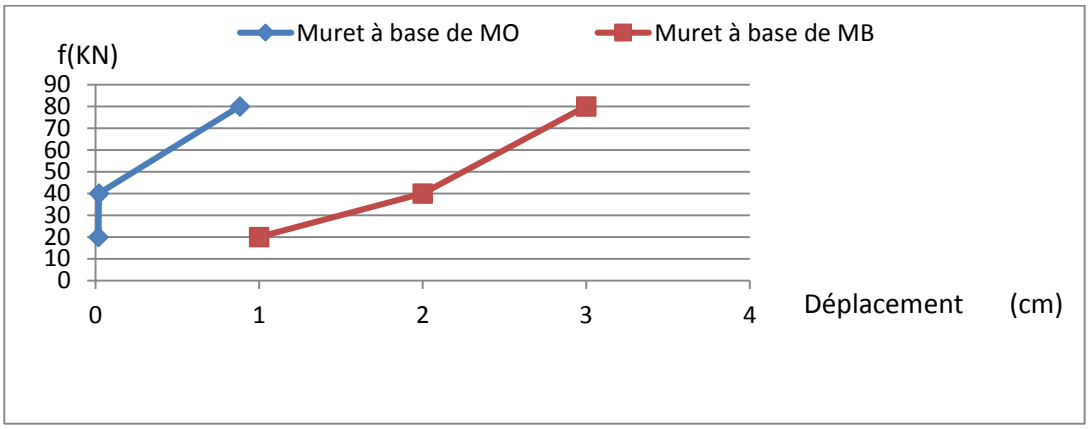


Figure III.10 : Déplacement horizontal

Le déplacement horizontal du muret jointé par mortier bâtard est largement inférieur par rapport au muret jointé par mortier ordinaire.

III. 4.2.2 Déplacement vertical :

Le déplacement vertical du muret jointé par mortier bâtard est très faible par rapport au muret jointé par mortier ordinaire



Figure III.11 : Déplacement vertical

Observation :

Aussi, on peut constater une fissuration en escalier selon joint, avec quelque bloc lorsqu'on atteint la fissuration finale (détérioration) par rapport aux deux types de mortier.

III. 4.3 Essai de cisaillement de triplet

Les résultats de l'essai de cisaillement sur des triplets est donnée sur la figure suivant :

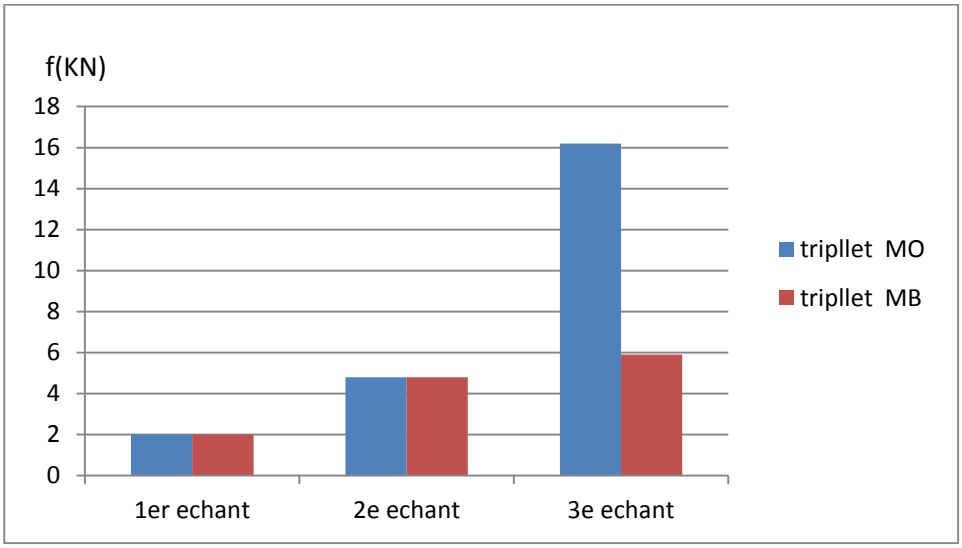


Figure III.12 : Résultat de cisaillement de triplet

Quelque photo qui indique les étapes d'essai pré compression, compression, résultat :



Résultat d'écrasement triplet sous l'appareil de compression triplet pré compression

Figure III.13 : Essai de cisaillement de triplet

Lorsque la force de compression atteint 5.9KN de on observe une fissuration au triplet MB, par contre le triplet MB jusqu'à 16.19KN. Ceci signifie que la résistance au cisaillement et la cohésion du mortier bâtard sont nettement inférieur au mortier ordinaire.

III. 4.4 Essai d'adhérence

On va faire des préparations sur mortier posé sur brique grâce à une pate spécial colée entre les pastilles et les deux types de mortier, après on les laisse 24 H de repos, le lendemain on applique un dispositif d'arrachement qui a un aiguail indicateur qui montre la force maximale d'arrachement et les résultats seront résumés dans le histogramme ci-dessous :

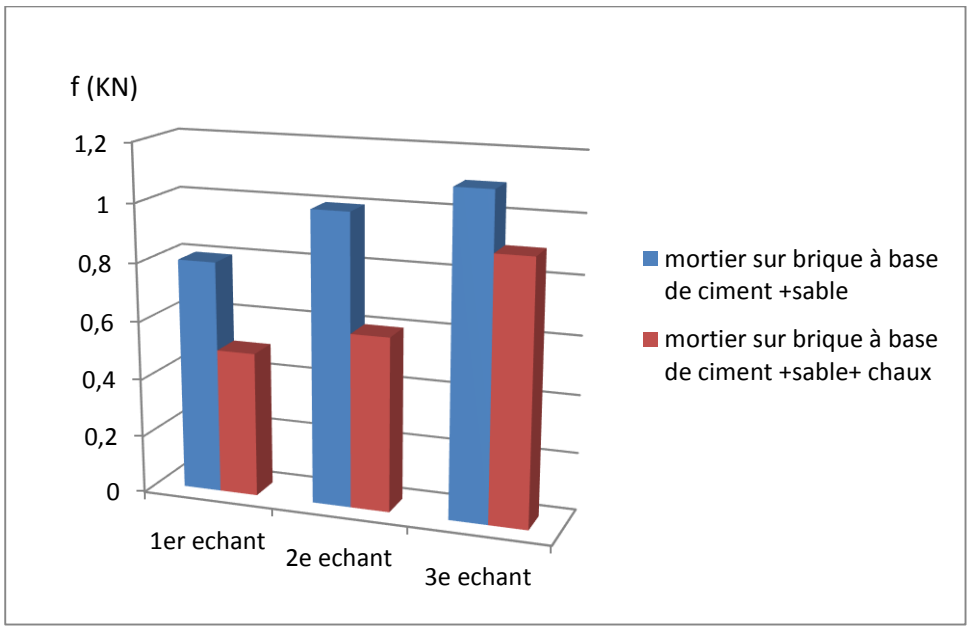


Figure III.14 : Résultat d'essai d'adhérence

On a pour le 2eme échantillon pastille de MO que nous donne 1KNet le 3eme échantillon MB de 0.9KN. Les résultats de la force contre l'arrachement sont converge donc on peut adopte le mortier bâtard à base de ciment, sable, chaux comme un mortier utile au crépissage.

III. 4.5 Conclusion partielle

Le mortier de ciment est de comportement rigide, par ailleurs le mortier bâtard est de comportement ductile.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSIONS

L'objectif de ce travail était de déterminer l'effet de changement d'une dose de ciment par une dose de la chaux et comparer les performances du mortier à l'état frais et durci, et ainsi que le comportement de ce liant avec la maçonnerie. La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

1- Les mortiers de ciments sont très résistants, durcissent rapidement ;

2- 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;

3- Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante. Cette dernière a une consistance de départ plus ou moins fluide, se transforme en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. La composition de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec la silice (SiO2) et l'oxyde de fer (Fe2 O3). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles.

4- Le comportement à la traction peut être caractérisé par la résistance d'adhérence entre la brique et le joint de mortier, donc par la tenue en traction de l'interface élément/mortier.

5- La résistance à la compression des maçonneries dans la direction normale aux joints horizontaux est généralement considérée comme le seul critère qui

permette de définir la résistance globale de la structure qui est un matériau composite.

6- L'affaissement du MO est plus rapide par rapport au MB, puisque le MB qui contient la chaux absorbe l'eau que le MB, l'apparaissant de l'eau au tour de MO par contre le MB qu'il conserve de l'eau de gâchage.

7- L'écoulement de mortier ordinaire est très rapide (t=1.41min) par rapport au mortier bâtard (t=4.01), à cause de l'ajout de la chaux qui absorbe l'eau. Cela explique que le mortier à base de ciment est compacté par rapport à l'autre, et par conséquence moins poreux.

8- La résistance à la traction est approximativement la même.

9- Le mortier ordinaire est plus résistant à la compression.

10- Le retrait en air libre du mortier à base de ciment+ chaux est nettement plus important que celui du mortier ordinaire jusqu'à au 14 eme jour.

11- La fissuration est en escalier selon joint.

12- La résistance au cisaillement et la cohésion du mortier bâtard sont nettement inférieur au mortier ordinaire.

13- Les résultats de la force contre l'arrachement sont converge donc on peut adopte le mortier bâtard à base de ciment, sable, chaux comme un mortier utile au crépissage pour minimiser et économiser la quantité de ciment.

14- Et encore pour une grande quantité de malaxage de mortier on choisit le mortier hybride (bâtard) parce que, il a une très lente prise.

RECOMMANDATIONS

Les observations et les analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener à prendre le mortier bâtard comme mortier usuel dans le cas de grande surface de travail ou de crépissage pour minimiser et économiser la quantité de ciment.

De varié le dosage à chaux /ciment.
De joué sur le type de sable (fin, grossier).
D'ajouté des autres liant minéraux à la chaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Mr AZIZI Noureddine. CARACTERISATION DES CIMENTS ALGERIENS ET LEURS EFFETS SUR LES PERFORMANCES DU BETON. UNIVERSITE Dr. YAHIA FARES DE MEDEA.

Melle. Settari Chafika. Etude des effets climatiques sur le comportement du mortier. UNIVERSITE Dr. YAHIA FARES DE MEDEA.

Givanildo ALVES DE AZEREDO. Ingénieur génie civil de l'Université Fédérale de Paraiba – Brésil. MISE AU POINT DE PROCEDURES D'ESSAIS MECANIQUES SUR MORTIERS DE TERRE : APPLICATION A L'ETUDE DE LEUR RHEOLOGIE. L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON.

Robert Perales. Modélisation du comportement mécanique par élément direct des ouvrages maconnes tridimensionnels. Contributions à la définition d'éléments de contacts surfaciques. Université MONTPELLIER II.

Sulpicio SÁNCHEZ TIZAPA. Étude expérimental et numérique des murs en maçonnerie confinée chargés dans leur plane. Cas: État de Guerrero (Mexique). UNIVERSITÉ PARIS-EST ÉCOLE DOCTORALE "MATERIAUX – OUVRAGES – DURABILITÉ – ENVIRONNEMENT - STRUCTURES"

Fazia 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

Document rédigé par Luc NEPLES .LES CHAUX NATURELLES. www.patrimoine-facades.com

Tesina d'Especialitat. Analyse comportementale aux Eléments Finis de la maçonnerie en tant que revêtement des tunnels anciens. Application à la construction des niches de protection de personnel. Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins Canals i Ports de Barcelona.

Farid Brahim HOUTI. COMPORTEMENT DES STRUCTURESEN MAÇONNERIE SOUS SOLLICITATION UNIAXIALE. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN.