

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



## **Mémoire de Master**

**Présenté à l'Université de 8 Mai 1945 Guelma**

**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Département de : Génie Civil & Hydraulique**

**Spécialité : Génie Civil**

**Option : Structures**

**Présenté par : GUENDOUZ Imad Chawki**

**Thème :**

---

# **Comportement mécanique des mortiers de revêtement (caractérisation et durabilité)**

---

**Sous la direction de : Pr. Benouis A.  
Dr. Boukour S.**

**Juin 2022**

# *REMERCIEMENTS*

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant, de m'avoir illuminé et ouvert les voies du savoir, pour m'avoir accordé le courage, l'optimisme et toute la capacité physique et morale pour mener à bien et faire aboutir ce travail.

Je tiens tout particulièrement à remercier le Pr. Benouis Abdelhalim qui a accepté de m'encadrer et me guider par ses orientations et ses conseils durant la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Mes plus vives gratitude vont au Dr. Boukour Salima (Co-encadrante) pour l'intérêt et le suivi qu'elle a portés à ce travail ainsi que pour ses conseils toujours pertinents et enrichissants

Je remercie tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.

Comme je tiens à remercier les membres de jury qui me font l'honneur d'examiner mon modeste travail.

Je remercie aussi tous mes amis et mes collègues pour leur aide, leur patience, leur compréhension et leur encouragement.

Je tiens enfin à remercier tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près pour l'élaboration de ce projet.

# Dédicaces

*Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant notre existence.*

*Je dédie ce mémoire :*

*À mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ils ont été à mes côtés et m'ont soutenu durant toute ma vie, et qui se sont sacrifiés toujours afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents, je vous aime énormément.*

*À mes chers frères : Iskander et Ishaq.*

*À toute ma famille sans exception, spécialement Fateh et Faouzi.*

*À tous mes amis : Adel, Islem, Zaki, Amine et Ilyes.*

*À tous les membres de B.E.T Khallouf Med Charrif.*

*À tous mes collègues et mes athlètes du club de natation A.S.G.*

*À M<sup>me</sup> Pr. Benouis, Dr. Boukour et tous les enseignants qui m'ont dirigé vers la porte de la réussite.*

*Guendouz Imad Chawki*

## Résumé

Les mortiers de revêtement sont soumis durant leur utilisation à plusieurs sollicitations extérieures, qui peuvent affecter négativement leur durabilité et conduire à une perte d'adhérence entre ses derniers avec le support.

Trois supports différents ont été utilisés pour prospecter l'adhérence d'un mortier en faisant varier l'épaisseur et le mode de cure. L'adhérence du mortier de deux épaisseurs différentes (1.5 et 2 cm) appliqué sur trois supports différents (brique, parpaing et béton) a été caractérisé par les vitesses ultrasoniques et les résistances au cisaillement après séjour dans quatre environnements (à l'air libre, dans l'eau, dans l'eau de mer et dans une solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) pendant 28 jours.

Auparavant, le mortier a été caractérisé à l'état frais (étalement) et à l'état durci (porosité, masse volumique, résistance à la compression et flexion, vitesse ultrasonique) tandis que les supports ont été caractérisés par leur seule absorption d'eau capillarité.

**Mots clés :** mortier, revêtement, support, adhérence, ultrasons, durabilité.

## **Abstract**

Coating mortars are subjected during their use to several external stresses, which can negatively affect their durability and lead to a loss of adhesion between them and the support.

Three different supports were used to investigate the adhesion of a mortar by varying the thickness and the curing method. The adhesion of mortar of two different thicknesses (1.5 and 2 cm) applied to three different supports (brick, cinder block and concrete) was characterized by ultrasonic velocities and shear strengths after conservation in four different environments (outdoors, water, sea water and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution) for 28 days.

Previously, the mortar was characterized in the fresh state (spreading) and in the hardened state (porosity, density, compressive and flexural strength, ultrasonic velocity) while the supports were characterized by their capillary water absorption only.

**Key words:** mortar, coating, support, adhesion, ultrasound, durability.

## ملخص

تتعرض ملاط الطلاء أثناء استخدامها للعديد من الضغوط الخارجية، والتي يمكن أن تؤثر سلبيًا على متانتها وتؤدي إلى فقدان الالتصاق بينها وبين الركائز.

تم استخدام ثلاث ركائز مختلفة لاستكشاف إلتصاق الملاط من خلال تغيير السمك وطريقة المعالجة. تميز التصاق الملاط بسمكين مختلفين (1.5 و 2 سم) المطبق على ثلاث دعائم مختلفة (الطوب كتلة جمره وخرسانه) بسرعات فوق صوتية لمدة 28 يومًا ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) في الهواء الطلق، في الماء، في مياه البحر وفي محلول (وقوة القص بعد الإقامة في أربع بيئات كان تحديد خصائص الملاط في الحالة السائلة (الاستطالة) وفي الحالة الصلبة (المسامية، الكثافة، مقاومة الانضغاط والانحناء، الموجات فوق الصوتية) بينما كان تحديد خصائص الركائز بامتصاصها للماء الشعري

**الكلمات المفتاحية:** ملاط ، تغطية، دعامة، إلتصاق، موجات فوق صوتية، الديمومة

# Sommaire

Résumé.....	i
Abstract .....	ii
ملخص.....	iii
Liste des figures .....	iii
Liste des tableaux.....	iiii
Introduction générale.....	iiii
<b>Chapitre I. Etat de l'art</b>	
I.1 Les mortiers.....	02
I.1.1 Définition.....	02
I.1.2 Les différents types de mortiers.....	02
I.1.2.1 Types des mortiers selon leur conception .....	02
I.1.2.2 Types des mortiers selon leur mode de fabrication.....	03
I.1.2.3 Types des mortiers selon leur domaines d'applications.....	03
I.1.3 Les mortiers de revêtement.....	07
I.1.4 Composition et propriétés des mortiers .....	08
I.1.4.1 Composition des mortiers.....	08
I.1.4.2 Propriétés à l'état frais.....	08
I.1.4.2.a Maniabilité.....	08
I.1.4.2.b Teneur en air .....	09
I.1.4.3 Propriétés à l'état durci.....	09
I.1.4.3.a Microstructure.....	09
I.1.4.3.b Porosité.....	09
I.1.4.3.c Retrait.....	09
I.1.4.3.d Propriétés mécaniques .....	10
I.1.5 Durabilité des mortiers .....	11
I.1.5.1 Les pathologies des enduits de mortiers.....	11
I.2 Caractérisation de l'adhérence des mortiers.....	12
I.2.1 l'essai d'arrachement.....	13
I.2.2 l'essai de cisaillement.....	14
I.3 L'auscultation ultrasonique.....	14
I.3.1 Les types d'ondes .....	15
I.3.2 Les ondes de volume .....	15

I.3.3 Les ondes transversales .....	16
I.3.4 Les ondes de surface .....	16
I.4 Temps de propagation et longueur du parcours.....	17
I.5. Appareillage de mesure.....	17
I.5.1 Les transducteurs.....	18
I.5.2 Modes d'acquisitions.....	19
I.6 Estimation des propriétés des matériaux par les ultrasons.....	19
I.7. Conclusion.....	20

## **Chapitre 2. Matériaux et procédures expérimentales**

II.1 Propriétés des matériaux (sable, ciment, eau) .....	21
II.1.1 Caractéristiques du sable.....	21
II.1.2 Caractéristiques physiques du ciment .....	22
II.1.3 Eau de gâchage.....	23
II. 2 Confection et conservation des corps d'épreuve.....	23
II.2.1 Composition du mortier.....	23
II.2.2 Confection des corps d'épreuve .....	23
II.2.3 Conservation du mortier et des corps d'épreuve .....	24
II.3 Méthodologie des essais .....	26
II.3.1 Caractérisation du mortier .....	26
II.3.1.1 Etat frais .....	26
II.3.1.2 Etat durci .....	27
II.3.1.2.a Essais ultrasoniques.....	27
II.3.1.2.b Porosité accessible à l'eau et masse volumique.....	28
II.3.1.2.c Essais de flexion sur mortier.....	28
II.3.1.2.d Essais de compression sur mortier.....	29
II. 3.2. Caractérisation des supports.....	30
II. 3.2.1 Essais d'absorption capillaire.....	30
II.3.2.1.a Le parpaing.....	31
II.3.2.1.b La brique .....	32
II.3.2.1.c. Le béton .....	32
II. 3.3. Caractérisation de l'adhérence des mortiers aux supports .....	33
II.3.3.1 Vitesses des ultrasons.....	33
II.3.3.2. Adhérence des mortiers aux supports.....	33

II.4. Conclusion.....	34
<b>Chapitre 3. Propriétés du mortier et des supports</b>	
III.1. Propriétés du mortier.....	35
III.1.1. Ouvrabilité.....	35
III.1.2. Porosité et masse volumique.....	35
III.1.3. Vitesses ultrasoniques .....	37
III.1.4. Résistances à la flexion.....	37
III.1.5. Résistances à la compression.....	38
III.2. Propriétés des supports.....	39
III.2.1. Absorption capillaire.....	39
III.3. Conclusion.....	41
<b>Chapitre 4. Adhérence du mortier aux différents supports</b>	
IV.1. Vitesses ultrasoniques et adhérences du mortier sur les supports.....	42
IV.2. Effet du support.....	45
IV.2.1. Effet du support sur les vitesses ultrasoniques .....	45
IV.2.2. Effet du support sur les résistances de l'adhérence par cisaillement.....	46
IV.3. Effet de l'épaisseur du mortier.....	47
IV.3.1 Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques.....	47
IV.3.2 Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement.....	50
IV.4 Durabilité de l'adhérence du mortier.....	52
IV.4.1. Effet de la cure sur les vitesses ultrasoniques.....	52
IV.4.2. Effet de la cure sur la résistance de l'adhérence par cisaillement.....	53
IV.4. Modes de rupture .....	54
IV.5. Conclusion.....	55
<b>Conclusion générale et perspectives.....</b>	<b>57</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>58</b>

## *Liste des figures*

<b>Figure I.1.</b> Mortier de maçonnerie (Net, I.1) .....	4
<b>Figure I.2.</b> Mortier pour chapes (Net, I.2) .....	5
<b>Figure I.3.</b> Mortier pour scellement et calage (Net, I.3).....	5
<b>Figure I.4.</b> Mortier projeté (Net, I.4) .....	6
<b>Figure I.5.</b> Mortier de réparation (Net, 5) .....	6
<b>Figure I.6.</b> Mortier de revêtement (Net, I.6) .....	8
<b>Figure I.7.</b> Échelle des ondes élastiques (Jacques, 2012) .....	15
<b>Figure I.8.</b> Les ondes de volume.....	15
<b>Figure I.9.</b> Propagation des ondes transversales .....	16
<b>Figure I.10.</b> Propagation des ondes de surface .....	16
<b>Figure I.11.</b> Propagation et longueur de parcours .....	17
<b>Figure I.12.</b> Un transducteur.....	18
<b>Figure I.13.</b> Mode d'acquisitions .....	19
<b>Figure II.1.</b> La tamiseuse.....	21
<b>Figure II.2.</b> L'analyse granulométrique du sable.....	22
<b>Figure II.3.</b> Les éprouvettes de mortier .....	24
<b>Figure II.4.</b> Confection des corps d'épreuve .....	24
<b>Figure II.5.</b> Conservation des éprouvettes de mortier .....	25
<b>Figure II.6.</b> Conservation des corps d'épreuve à l'air libre, dans l'eau de mer et dans l'eau...25	
<b>Figure II.7.</b> Conservation des corps d'épreuve dans une solution de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5%) .....	25
<b>Figure II.8.</b> Table à secousses (DGCH) .....	27
<b>Figure II.9.</b> Essai de flexion .....	29
<b>Figure II.10.</b> Essai de compression .....	30
<b>Figure II.11.</b> Essai d'absorption pour parpaing .....	31
<b>Figure II.12.</b> Essai d'absorption pour brique .....	32
<b>Figure II.13.</b> Essai d'absorption pour béton.....	32
<b>Figure II.14.</b> Essais de mesure des vitesses ultrasoniques de surface .....	33
<b>Figure II.15.</b> Essai de cisaillement par compression .....	34
<b>Figure III.1.</b> Porosité du mortier dans les différentes cures .....	36
<b>Figure III.2.</b> Masse volumique du mortier dans les différentes cures .....	36
<b>Figure III.3.</b> Vitesses ultrasoniques du mortier dans les différentes cures .....	37
<b>Figure III.4.</b> Resistance à flexion du mortier dans les différentes cures .....	38

<b>Figure III.5.</b> Resistance à la compression du mortier dans les différentes cures .....	39
<b>Figure III.6.</b> Absorption capillaire des différents supports .....	40
<b>Figure IV.1.</b> Vitesses ultrasoniques du mortier sur support en brique .....	42
<b>Figure IV.2.</b> Vitesses ultrasoniques du mortier sur support en parpaing .....	43
<b>Figure IV.3.</b> Vitesses ultrasoniques du mortier sur support en béton .....	44
<b>Figure IV.4.</b> Effet du support sur les vitesses ultrasoniques des mortiers (e = 1.5 cm) .....	45
<b>Figure IV.5.</b> Effet du support sur les vitesses ultrasoniques des mortiers (e = 2 cm) .....	45
<b>Figure IV.6.</b> Effet du support sur la résistance de l'adhérence par cisaillement des mortiers (e = 1.5 cm) .....	46
<b>Figure IV.7.</b> Effet du support sur la résistance de l'adhérence par cisaillement des mortiers (e = 2 cm) .....	46
<b>Figure IV.8.</b> Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (cure à l'air libre) .....	47
<b>Figure IV.9.</b> Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (cure dans l'eau) .....	48
<b>Figure IV.10.</b> Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (cure dans l'eau de mer) .....	48
<b>Figure IV.11.</b> Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (cure dans une solution à 5% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	49
<b>Figure IV.12.</b> Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (cure à l'air libre) .....	49
<b>Figure IV.13.</b> Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (cure dans l'eau) .....	50
<b>Figure IV.14.</b> Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (cure dans l'eau de mer) .....	50
<b>Figure IV.15.</b> Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (cure dans une solution à 5% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	51
<b>Figure IV.16.</b> Effet de la cure sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (e = 1.5 cm) .....	52
<b>Figure IV.17.</b> Effet de la cure sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (e = 2 cm) .....	52
<b>Figure IV.18.</b> Effet de la cure sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (e = 1.5 cm) .....	53

<b>Figure IV.19.</b>	cm) .....	53
<b>Figure IV.20.</b> Modes de rupture du mortier revêtement sur support en béton .....		54
<b>Figure IV.21.</b> Modes de rupture du mortier revêtement sur support en parpaing .....		55
<b>Figure IV.22.</b> Mode de rupture du mortier sur revêtement sur support en brique .....		55

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau I.1.</b> Types de mortiers selon leur conception et fabrication.....	3
<b>Tableau I.2.</b> Classification de l'ouvrabilité des mortiers (Boukour, 2017) .....	9
<b>Tableau II.1.</b> Caractéristiques du sable utilisé (Boudjedra, 2021) .....	22
<b>Tableau II.2.</b> Caractéristiques chimiques et physiques du ciment utilisé .....	23
<b>Tableau.III.1.</b> Propriétés du mortier à l'état durci .....	35
<b>Tableau.III.2.</b> Masses des supports lors de l'absorption capillaire .....	40
<b>Tableau IV.1.</b> Vitesses ultrasoniques du mortier sur les différents supports (m/s) .....	44
<b>Tableau IV.2.</b> Adhérence du mortier sur les différents supports (MPa) .....	44

## **Introduction générale**

Les détériorations des mortiers de revêtement sont assez fréquentes et ne sont pas sans conséquences sur les aspects visuels et même performanciels des ouvrages. Ce qui exige des réparations et donc représente un enjeu aussi bien économique qu'écologique.

Ces détériorations sont dues à la fissuration du mortier et à son décollement. Les causes de ces dégradations sont diverses mais elles sont généralement dûe à une mauvaise adhérence à leurs supports accentuée par des phénomènes extérieurs. L'eau de pluie ruisselant sur un mur le lessive. L'eau capillaire qui remonte du sol ou introduite par la pluie, la vapeur en provenance du local qui s'est condensée sous l'effet de la température, se retrouvent au niveau de l'enduit (Ghomari, 2011).

L'objectif de ce travail est de prospecter l'effet de deux paramètres sur l'évolution de l'adhérence du mortier de revêtement sur son support. Ces deux paramètres sont la nature du support et l'épaisseur du mortier dont l'effet est évalué à travers les vitesses ultrasoniques et l'adhérence. L'aspect durabilité est traité à travers ces deux propriétés après séjour des corps d'épreuve dans quatre environnements différents (à l'air libre, dans l'eau, dans l'eau de mer et dans une solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Ce document se divise en quatre chapitres qui regroupe le travail réalisé lors de ce projet de fin d'étude dans le cadre du master en Génie Civil pour la spécialité Structures.

Dans le premier chapitre, on présente un état d'art sur les mortiers en général et les mortiers de revêtement en particulier allant de leurs compositions à leurs caractérisations. On y retrouve aussi l'aspect du contrôle non destructif à travers l'utilisation des ultrasons pour la caractérisation par les ondes de surface.

Le second chapitre présente les matériaux étudiés et supports utilisés dans notre travail, les méthodes de préparation des éprouvettes pour les essais physico-mécaniques sur mortier et supports. Il se termine par la présentation des essais non destructifs par les ultrasons et les essais de cisaillement pour l'estimation de l'adhérence des mortiers à divers supports.

Dans le troisième chapitre, on expose la caractérisation du mortier à l'état frais et durci ainsi que son comportement durable dans différents environnements de conservation.

Le quatrième chapitre développe les résultats des essais mécaniques pour caractériser l'adhérence des mortiers avec de l'effet de la nature du support, de l'épaisseur du mortier ainsi que celui du mode de cure pour la durabilité.

Enfin, le document est terminé par une conclusion générale et des perspectives.

*Chapitre I :*

*Etat de l'art*

## Introduction

Les constructions sont généralement constituées des éléments qui doivent être reliés ou protégés par des revêtements. Toutes ces opérations se font toujours à l'aide d'un liant mélangé avec du sable, de l'eau et potentiellement d'adjuvants pour obtenir un « mortier » qui se distingue du béton par l'absence de gravier.

Le mortier pour revêtement peut être dosé et malaxé sur site ou pré-dosé en usine, ce dernier ne nécessitant alors qu'être mélangé avec de l'eau au moment de l'emploi (mortier prêt à l'emploi).

L'adhérence du revêtement et son aspect final dépendra de la bonne préparation du support. Les enduits sont appliqués à des supports de propriétés très différentes : brique ou parpaings, béton, maçonnerie en pierre, béton de granulats légers, béton cellulaire, fibrociment (fibres-ciment). Certains supports permettent une application directe, c'est le cas des briques, des parpaings, des maçonneries en pierre. Mais il y a d'autres supports nécessitent un prétraitement.

Dans tous les cas le support doit être débarrassé des tous sels et poussières, être sans trace de plâtre. Si ce n'est pas assez rugueux, on est obligé de le brosser ou le piquer pour une bonne adhérence de l'enduit. Le support doit aussi être suffisamment mouillé avant la projection de la première couche d'accrochage (parfois plusieurs humidifications par jour ou jours à l'avance).

Une bonne adhérence du revêtement à son support est cruciale. On vérifie une très mauvaise adhérence du revêtement décollé quant localement, il sonne creux. Le non adhérence cause la détérioration de revêtement qui se détachera par plaques.

Les défauts d'adhérence majeurs sont dus à : des supports trop lisses ; du béton brut de décoffrage, avec des traces d'huile de démoulage ou de produits de cure ; des supports sales avec des dépôts organiques ou des traces d'ancien enduit en plâtre ; ce support ne sera pas neutre car le plâtre réagira avec le ciment du mortier, produisant des produits expansifs ; des supports trop secs qui ne sont pas suffisamment mouillés avant la projection de la première couche d'accrochage ; mauvaise composition du mortier, appliqué trop tard ; un mortier avec un retrait excessif (surdosage en liant). En fin, si certaines précautions ne sont pas prises, de l'eau peut s'infiltrer entre le support et le revêtement et provoquer son décollement lorsqu'il gèle en hiver, comme l'eau qui remonte du sol ou un revêtement non protégé en partie de dessus. Enfin, il est conseillé d'éviter d'utiliser la peinture par temps froid. Un revêtement

bienfait tient très longtemps, sa réalisation demande du soin, une main-d'œuvre qualifiée, un matériel adapté parfaitement et du mortier performant.

## **I.1. Les mortiers**

### **I.1.1. Définition**

Le terme mortier désigne le mélange d'un ou de plusieurs liants (ciment ou plâtre ou chaux), de granulats et parfois d'adjuvants et/ou d'ajout.

Il existe différents types de mortier selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

Les mortiers sont présents dans tous les types de construction, bâtiments comme ouvrages d'art, dans le neuf comme en rénovation, dans les domaines de protection et la décoration, l'isolation, la préparation des sols, le renforcement, l'assemblage, la fixation, la réparation et le collage structurel.

Ils sont constitués par le mélange de sable, de liant, de l'eau et éventuellement de ajouts (adjuvants, fibres...)

### **I.1.2. Les différents types de mortiers**

#### **I.1.2.1. Types des mortiers selon leur conception**

##### **- Mortier performancier (formulé)**

Mortier dont la conception et la méthode de fabrication ont été choisies par le fabricant en vue d'obtenir des caractéristiques spécifiques (concept de performance). Il est défini par ses caractéristiques et performances. Il ne peut être mélangé qu'en usine (mortier industriel).

##### **- Mortier de recette**

Mortier fabriqué selon des proportions prédéterminées et dont les propriétés résultent des proportions des constituants déclarées (concept de recette).

Ce mortier est défini par sa composition. Il peut être mélangé sur chantier (mortier de chantier) ou en usine (mortier industriel).

### I.1.2.2. Types de mortiers selon leur mode de fabrication

#### - Mortier industriel

Mortier dosé et mélangé en usine qui peut être fourni sous forme de mortier «sec » (poudre), prêt à gâcher avec de l'eau ou sous forme de « mortier frais » (pâte), prêt à l'emploi.

#### - Mortier pré dosé

Mortier dont les constituants sont entièrement dosés en usine et livrés sur le chantier où ils sont mélangés selon les spécifications et conditions indiquées par le fabricant.

Tableau I1. Types de mortiers selon leur conception et fabrication

	Mortier de recette (Composition)	Mortier performancier (Formulé)
Mortier de chantier	Oui	Non
Mortier industriel	Oui	Oui

#### - Mortier pré mélangé

Mortier dont les constituants sont entièrement dosés en usine et livrés sur le chantier où d'autres constituants spécifiés ou fournis sont ajoutés selon les spécifications et conditions indiquées par le fabricant (ex. Liants spéciaux avec ajout du sable sur chantier).

#### - Mortier de chantier

Mortier composé de constituants individuels (chaux, ciment, sables, adjuvants) dosés et mélangés sur le chantier.

### I.1.2.3. Types de mortiers selon leurs domaines d'application

#### - Les joints de maçonnerie

Les structures constituées d'éléments de maçonnerie (blocs de béton, briques, ...) doivent être assemblées avec du mortier, qui doit avoir des propriétés mécaniques suffisantes pour assurer le transfert de charge et une compacité suffisante pour l'étanchéité. Il est souvent avantageux d'utiliser un mortier avec un module d'élasticité pas trop élevé afin de pouvoir s'adapter sans se fissurer aux variations dimensionnelles des éléments auxquels il est incorporé. Par conséquent, le mortier de joint est une partie importante de la maçonnerie, et il

doit être étudié et mis en œuvre en profondeur pour assurer sa fonction. Cela est particulièrement vrai pour la maçonnerie apparente. La norme XP P 10-202-1 « DTU 20.1. Ouvrage en maçonnerie de petits éléments Parois et murs. » (XP, 2008). Fournit des informations sur le dosage préconisé du mortier de scellement, ainsi que des préconisations de mise en œuvre.



Figure I. 1. Mortier de maçonnerie (Net, I.1)

## - Les chapes

La fonction de la chape est d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : des produits spécifiques y sont alors généralement ajoutés. Elles peuvent également former des supports pour des revêtements de sol. Les chapes doivent avoir une résistance suffisante pour assurer le transfert des charges sur le support et parfois aussi résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhésive ou flottante, la chape peut aussi être thermiquement ou acoustiquement fonctionnelle. Ces ouvrages sont décrits dans la norme NF P 14-201 « DTU 26.2 Travaux de bâtiment. Chapes et dalles à base de liants hydrauliques ». (NF, 2008).



Figure I. 2 Mortier pour chapes (Net, I.2)

#### - Les scellements et les calages

La variété des problèmes de scellement et de calage a conduit les fabricants des mortiers industriels à développer des produits spécifiques adaptés au travail à réaliser : scellements d'éléments de couverture, scellements d'éléments décoratifs, scellements de mobilier urbain, étanchéité de regards, assemblage d'éléments préfabriqués...



Figure I.3. Mortier pour scellement et calage (Net, I.3)

#### - La projection

Fabriqués sur chantier, ou plus généralement pré-dosés, les mortiers projetés comprennent, outre les liants et sables habituels, des adjuvants spécifiques pour améliorer l'adhérence, des charges (silice, carbonates...), et parfois des fibres (verre, polypropylène ou acier). ).

Projeté à l'aide d'une machine (généralement à air comprimé), le mortier est plus compact, adhère mieux aux supports et il est idéal pour l'appliquer sur des pièces de structure difficiles d'accès et de forme irrégulière. La suppression d'opérations délicates et pénibles, associée à une productivité accrue, explique le succès des mortiers projetés dans de nombreuses applications :

- enduit monocouche, enduit isolant ;
- revêtements de voûtes, galeries, renforcement des remblais (consolidation de talus) ;
- travaux de réparation, etc.



Figure I.4. Mortier projeté (Net, I.4)

## - Les mortiers de réparation

L'injection de mortier n'a d'intérêt que pour certains types de travaux où les cavités à remplir



Figure I. 5. Mortier de réparation (Net, I.5)

**I.1.3. Les mortiers de revêtement (d'enduit)**

On donne ci-après la définition des phases et parties des mortiers de revêtement :

**-Système d'enduit**

Toutes les différentes couches d'enduit à appliquer peuvent être combinées avec des supports d'enduit ajoutés et/ou des armatures d'enduit et/ou un traitement préparatoire des supports. Un traitement préparatoire (par exemple gobetis) peut être considéré comme un revêtement spécifique.

**- Couche d'enduit**

La structure obtenue après durcissement du mortier frais appliqué sur les parois d'une épaisseur définie. L'enduit peut être obtenu en utilisant le même mortier "frais" en plusieurs passes effectuées avant le durcissement précédent.

**- Passe d'enduit**

Application en épaisseur régulière d'un mortier frais.

**- Gobetis**

Première couche de mortier appliquée par projection pour régulariser la porosité du support de maçonnerie et assurer l'accrochage de couches ultérieures d'enduit. Le gobetis peut être confectionné sur chantier ou constitué d'un mortier performant fabriqué en usine sous forme de poudre (prête à gâcher) ou de pâte (prête à l'emploi).

**- Corps d'enduit (sous-enduit)**

Couche réalisée par l'application d'un mortier en une ou plusieurs passes. Cette couche est réalisée avant la couche de finition, c'est pour cela que le mortier utilisé est aussi appelé « Sous-enduit ».

**- Finition**

Dernière couche, décorative ou non, d'un système d'enduit multicouches.



Figure I.6. Mortier de revêtement (Net, I.6)

#### I.1.4. Composition et propriétés des mortiers

Auparavant, les mortiers d'enduit étaient uniquement définis par leurs recettes (dosage des liants et sables), préparés sur le chantier ou dosés et pré-mélangés en usine. Aujourd'hui, ils sont normalisés NF EN 998-1 (NF, 2016) et définis par leurs types selon leurs emplois et les caractéristiques de l'enduit durci. Tous les mortiers d'enduit sont désignés selon leurs résistances à la compression et leurs absorptions d'eau par capillarité (Boukour, 2017).

##### I.1.4.1. Compositions des mortiers

Le mortier contient du liant (les ciments normalisés, les ciments spéciaux, les liants à maçonner, les chaux hydrauliques naturelles, les chaux éteintes), du sable (naturels concassés, naturels et roulés, spéciaux), des adjuvants (les plastifiants, les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise, les hydrofuges) et éventuellement des additions (polymères, poudres fines pouzzolaniques, fibres de différentes natures, colorants).

##### I.1.4.2. Propriétés à l'état frais

###### a. Maniabilité

L'ouvrabilité du mortier est un paramètre important pour les mortiers d'enduit, elle dépend principalement de la composition du mortier. On recherche généralement un mortier plastique car un mortier d'enduit très ferme est difficile à mettre en œuvre, et un mortier très fluide risque de ne pas s'adhérer au support. Pour la caractériser, on utilise divers procédés (le cône et la table à secousses, le maniabilimètre du LCPC).

Tableau I.2. Classification de l'ouvrabilité des mortiers (Boukour, 2017)

Consistance d'utilisation	Valeurs d'étalement
Mortier fluide	>200 mm
Mortier plastique	entre 140 et 200 mm
Mortier raide (ferme)	>14 mm

### b. Teneur en air

Les normes britannique et européenne recommandent toujours l'utilisation de mortiers entraînés par l'air. L'utilisation des entraîneurs d'air produit des mortiers avec des propriétés améliorées, en plus d'être beaucoup plus durables et résistants aux effets du gel et dégel.

### I.1.4.3. Propriétés à l'état durci

#### a. Microstructure

Ce phénomène se présente pendant ou après la mise en place du mortier à cause de la différence de masse volumique entre chacun de ses composants. L'eau du micro-ressuage est piégée à la partie inférieure des particules sous l'effet de la pesanteur. Ce phénomène provoque un gradient du rapport E/C local dans l'interphase, conduisant à une porosité irrégulière à l'interphase. (Hoshino M, 1989) (Baroghel-Bouny V, 1994)

#### b. Porosité

La porosité est considérée comme un indicateur de durabilité des mortiers de réparation. Des propriétés de durabilité comme la résistance à la corrosion et la perméabilité sont étroitement liées à la structure poreuse du matériau. (Bagel, 1997)

#### c. Retrait

Le retrait est un phénomène simple qui correspond à une contraction volumétrique que l'on observe quand du béton se dessèche. Il se développe dans les trois dimensions mais, en général, on ne l'exprime que sous la forme d'une déformation linéaire : en effet, dans la majorité des cas, les éléments structuraux ont une ou deux dimensions nettement plus petites que la troisième, où les effets du retrait sont les plus sensibles.

**d. Propriétés mécaniques****\* Influence de la nature des constituants**

D'après la nature du liant, on distingue :

•**Mortiers de ciments** : Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus, un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour un mètre cube de sable. (CIMBÉTON, 2005)

•**Mortiers de chaux** : Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique. (CIMBÉTON, 2005)

•**Mortiers bâtards** : Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. (CIMBÉTON, 2005)

Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires ; leur granulométrie est de préférence continue. Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants selon la caractéristique recherchée : plastifiants, entraîneurs d'air, retardateurs de prise, hydrofuges. L'incorporation de fibres de métalliques ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables. (CIMBÉTON, 2005)

•**Mortiers de plâtre** : préparé à base de liants gypseux, à savoir les plâtres et les liants d'anhydrite

•**Mortiers mixtes** : obtenus en utilisant les liants de ciment à la chaux et ciment à l'argile. Le choix du type de liant est fait suivant la destination du mortier, les exigences requises, les conditions de températures et d'humidité pendant le durcissement et les conditions d'exploitation du bâtiment.

**\* Influence de la cure**

Le processus d'hydratation des mortiers est un phénomène complexe pour lequel les conditions environnementales constituent des paramètres importants. L'ensemble des réactions mises en jeu lors du durcissement de ces matériaux engendre la formation de leur

porosité. C'est pourquoi ces facteurs environnementaux, c'est-à-dire les conditions et la nature de la cure sont nécessairement pris en compte lors de l'étude de leur porosité et des propriétés qui y sont liées.

### **I.1.5. Durabilité des mortiers**

Un ouvrage doit résister au cours du temps aux diverses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques...), c'est-à-dire aux charges auxquelles il est soumis, ainsi qu'aux actions diverses telles que le vent, la pluie, le froid, la chaleur, le milieu ambiant... tout en conservant son esthétique. Il doit satisfaire, sans perdre ses performances, aux besoins des utilisateurs au cours du temps. Il devient possible de définir des objectifs de durabilité et de choisir avec précision les caractéristiques du mortier ou béton en fonction de l'agressivité du milieu dans lequel se trouve l'ouvrage et d'optimiser ses caractéristiques afin de les adapter à la durée d'utilisation souhaitée.

#### **I.1.5.1. Les pathologies des enduits de mortiers**

A cause de leurs expositions aux différents agents agressifs, les enduits sont sujets à des pathologies de dégradation qui se manifestent sous différentes manières. On expose ci-après quelques pathologies touchant les enduits de mortiers.

##### **-L'attaque sulfatique**

Les mortiers peuvent se trouver ou être en contact avec des milieux industriels ou naturels agressifs pour les mortiers même. Ses produits chimiques agressifs nuisent à la durabilité du mortier entraînant des coûts d'entretien élevés et détériorant la performance du cycle de sa vie. Certaines des sources de sulfate peuvent être trouvées sous forme de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  et  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , en particulier dans les eaux souterraines et l'eau de mer. En outre, les structures en béton dans les zones industrielles sont susceptibles de se détériorer en raison des pluies acides dont l'acide sulfurique est un composant principal ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

##### **- Faïençage**

Craquelure superficielle des peintures, vernis, enduits et bétons, sous forme de fins réseaux de microfissures de largeur inférieure à 0.2mm, disposées en mailles régulières fermées, de quelques cm de côté. Le faïençage traduit un retrait superficiel trop important ou trop rapide (remontée de liant en surface, couche trop épaisse). Contrairement aux fissures, qui affectent les matériaux dans toute leur épaisseur, les faïençages n'ont qu'un

inconvenient esthétique. On peut mettre en évidence un faïençage, sur un béton ou un enduit de ciment, en mouillant la surface. Remontée de liant en surface, couche trop épaisse.

#### **- Fissures**

Fente visible affectant la surface d'une maçonnerie, d'un dallage, etc. Par convention, la fissure a entre 0.2 et 2mm de largeur. Au-dessous il s'agit d'un faïençage. Dans leur majorité, les fissures n'ont qu'un inconvenient esthétique : fissure de retrait, ou de mouvement différentiel à la jonction de deux matériaux.

Les fissures sont graves si elles portent atteinte à l'imperméabilité des parois (fissures pénétrantes laissant passer l'eau de pluie à travers un mur exposé) ; plus graves encore sont les fissures traduisant un affaissement des fondations, ou des mouvements du sol.

#### **- Abrasion / Érosion**

Lorsque la surface du béton est incapable de résister à l'usure causée par le frottement et la friction on apparition des dommages causés par l'abrasion. Au fur et à mesure que la pâte extérieure du béton s'use, les granulats sont exposés ce qui entraînent une dégradation supplémentaire liée à la force d'adhérence et à la dureté de du granulat. (Benchiheub, 2018).

### **I.2. Caractérisation de l'adhérence des mortiers**

De nombreuses études et expérimentations ont été menées dans différents pays autour d'essais d'adhérence pour quantifier l'adhérence des mortiers sur des supports. Dans de nombreux cas, ces développements ont donné lieu à la rédaction de normes et de prescriptions.

Les travaux de réparation des ouvrages en béton une préparation de surface adéquate (ACI Manual of Concrete Practice,1998), (Cleland, Yeoh, Long, 1992), de telle sorte que les conditions favorables à l'adhésion (Courard,2000), (Bijen,J.and Salet,1994), entre autres par effet d'interpénétration mécanique, soit réunis. Il faut veiller notamment à ce que la technique de préparation (Silfwerbrand, 1990) - burinage, marteau-piqueur, scarification, hydro sable, etc... n'endommage pas la couche superficielle du béton support et ne provoque pas de décohésions (Courard, 2000). Avant l'application d'un système de réparation, il convient donc d'être capable d'évaluer la qualité du travail. Il est nécessaire de quantifier l'effet de la

préparation et de la définition des critères d'acceptation. Il faut donc bien faire la distinction entre l'essai de traction béton, qui vise à donner une valeur globale de la résistance en traction du béton, l'essai d'adhérence, qui vis déterminer si un produit de réparation adhère bien au béton sur lequel il est appliqué et enfin l'essai de cohésion Superficielle, qui a pour mais de vérifier l'état du béton en surface, avant que le produit de réparation soit appliqué. La réflexion a été menée ici sur l'adaptation de l'essai d'adhérence par traction pour mesurer la cohésion superficielle du béton. S'il existe diverses méthodes (Ohama, al.,1986) développés pour évaluer l'adhésion d'une réparation sur un support en béton, la documentation scientifique relative à l'évaluation de la surface en béton elle-même est pauvre. (Long, A.E.,1983) de pouvoir être réalisé en laboratoire ou sur site, De plus, elle est aisée à mettre en œuvre, permet une interprétation immédiate et ne nécessite pas un appareillage complexe (Aguiar,J.L.B and Cruz ,D.,1998) (Cleland, D.J. and Long ,A.E ,1997).

### **I.2.1. L'essai d'arrachement**

Les travaux de réparation des ouvrages en béton exige une préparation de surface adéquate de telle sorte qu'on aura les conditions favorables à l'adhésion (Courard, 2000 ; Bijen J, Salat T 1994). Avant l'application d'un système de réparation, il convient donc d'être capable d'évaluer la qualité du travail. Il est nécessaire de « quantifier » l'effet de la préparation et de la définition des critères d'acceptation.

S'il existe diverses méthodes (Ohama, 1986) développées pour évaluer l'adhésion d'une réparation sur un support en béton, l'essai d'arrachement est le plus couramment utilisée pour identifier l'adhérence des matériaux cimentaires. C'est notamment ce test qui est préconisé dans la norme française NF EN 1015-12 (AFNOR, 2001) pour identifier la résistance d'adhérence des enduits de façade. Un seuil est réalisé dans le mortier autour de la surface rectangulaire (ou circulaire) à tester. Un carreau (ou un disque) métallique est collé à la surface du mortier. La jonction entre cette pièce et la presse est réalisée par une tige filetée vissée en son centre. Un effort de traction est ainsi appliqué sur l'ensemble de la surface. La contrainte à rupture peut, de fait, être aisément calculée. C'est la simplicité d'exploitation des résultats ainsi que son adaptabilité sur chantier, qui expliquent le succès de ce test. Cependant, cet essai nécessite une attention particulière quant à l'alignement de l'axe de chargement, qui en cas de d'excentrement peut induire des efforts de flexion et fausser l'interprétation des mesures.

Le disque métallique est collé sur l'élément à tester et est muni d'un filetage qui permet de le connecter, au moyen d'une tige filetée, aux mors. La norme européenne prEN 1542 (EN 1542 ; 1994) précise que les disques employés pour fixer les éprouvettes doivent avoir une épaisseur d'au moins 20 mm ou 30 mm selon qu'ils sont fabriqués en acier ou en aluminium.

### **I.2.1. L'essai de cisaillement**

Le cisaillement simple correspond dans la pratique à une sollicitation d'extension-compression biaxial, le concept de cisaillement est utilisé dans plusieurs domaines tel que les différents assemblages de construction (assemblage boulonné, clavetés, soudés).

Un matériau subit une sollicitation de cisaillement lorsqu'il est soumis à deux systèmes d'actions directement opposées perpendiculaire à la fibre moyenne de ce matériau et sont très proches, sous l'action de ces deux forces le matériau tend à se séparer en deux tranches glissantes l'une par rapport à l'autre et provoquant des contraintes tangentielles.

### **I.3. L'auscultation ultrasonique**

La propagation des ondes ultrasonores est utilisée comme technique non destructive de contrôle des matériaux et de suivi de leur endommagement. Elles permettent de déterminer des caractéristiques mécaniques telles que les modules d'élasticité et le coefficient de Poisson, ou encore le taux de porosité du milieu ausculté et d'en apprécier l'homogénéité (en détectant des vides, délaminages et microfissurations), de caractériser un béton dont le rapport E/C est incorrect, ou ayant subi une modification structurelle (cas des bétons gelés ou incendiés) (Saint Pierre, 2007).

La méthode d'auscultation par ultrasons la plus courante pour l'évaluation des structures en béton est la méthode par vitesse de pulsation. Elle a été utilisée avec succès autant en laboratoire que sur le chantier. Il est possible d'utiliser cette technique pour évaluer la qualité d'un béton ainsi que pour en faire l'analyse de sa détérioration. Comme indiqué précédemment, la détermination du module d'élasticité dynamique et du rapport de Poisson est l'utilisation la plus directe de ce système et la plus acceptable du côté théorique. De nombreux chercheurs ont publié des résultats sur ces deux propriétés (Naik et Malhotra, 1991).

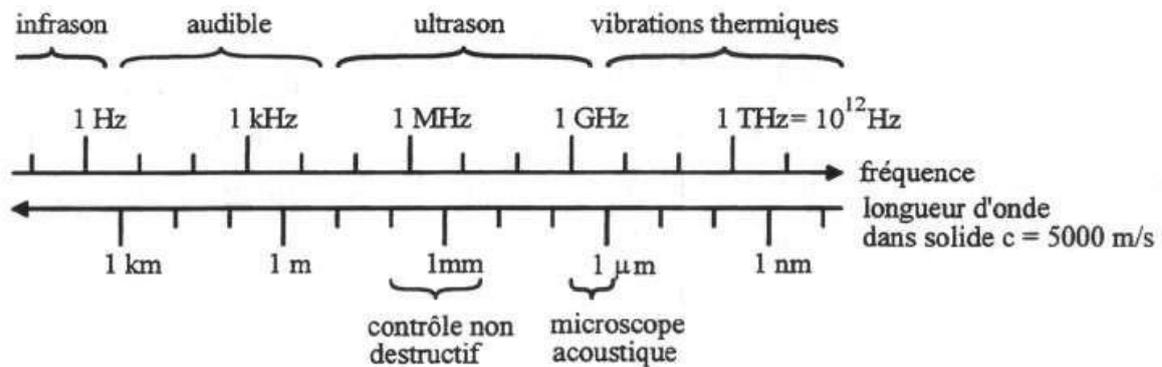


Figure I.7. Échelle des ondes élastiques (Jacques, 2012).

### I.3.1. Les types d'ondes

Il s'agit d'ondes mécaniques, donc induisant un déplacement de matière, dans un matériau fluide ou solide. Dans les milieux solides, on considère la propagation d'ondes suivants différents types de critères :

Polarisation, domaine d'application et milieux d'existence.

Une caractéristique fondamentale est la direction de vibration : la Polarisation (Longitudinales (fluides, solides), Transversales (solides), Quasi L ou T (milieux anisotropes)).

On distingue :

### I.3.2. Les ondes de volume

Les ondes longitudinales sont caractérisées par le fait que la direction de la vibration (direction du déplacement des particules ou encore polarisation de l'onde) est la même que celle de la propagation.

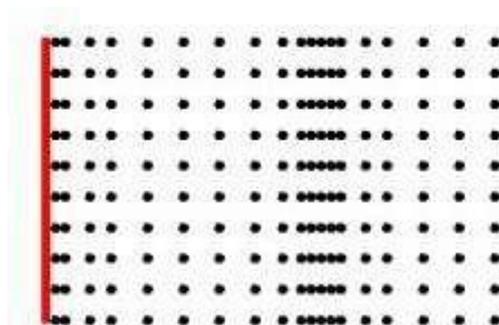


Figure I.8. Les ondes de volume

### I.3.3. Les ondes transversales

Les ondes transversales se propagent dans une direction perpendiculaire à celle de la vibration. Ces ondes ne peuvent exister que dans les solides car leur existence est liée à une résistance au cisaillement que ne possèdent ni les liquides ni les gaz.

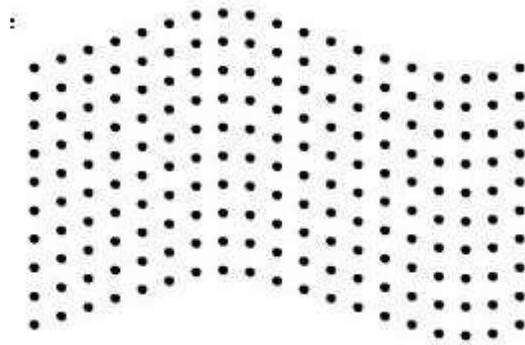


Figure I.9. Propagation des ondes transversales

### I.3.4. Les ondes de surface

L'existence des ondes ultrasonores qui se propagent à la surface des matériaux. Les ondes de surface le plus couramment utilisées sont les ondes de Rayleigh. Elles ont un déplacement elliptique parallèle à la direction de propagation. Elles intéressent une faible épaisseur du matériau au voisinage de la surface libre, de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, et présentent une très grande sensibilité à toute discontinuité de surface, quelle que soit son orientation (Toukal, 2010).

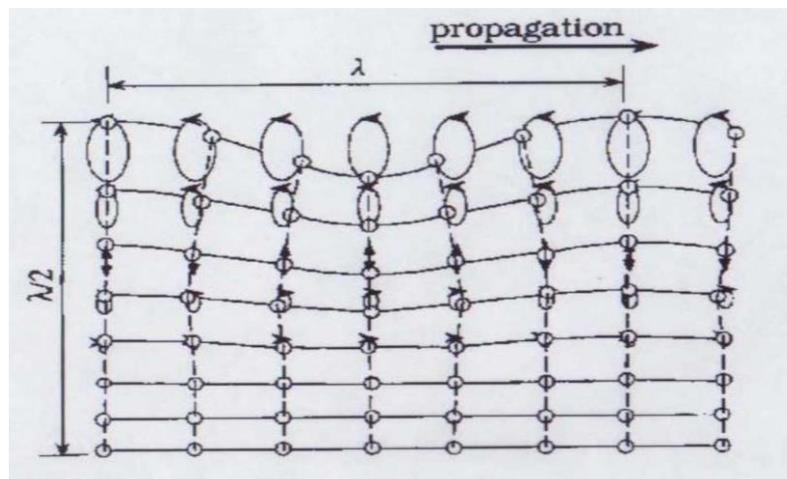


Figure I.10. Propagation des ondes de surface

#### I.4. Temps de propagation et longueur de parcours

En transmission directe, la longueur de parcours est la distance entre les deux transducteurs. En transmission semi-directe, il est généralement suffisant de déterminer la distance de centre à centre des transducteurs. La précision d'estimation de la longueur de parcours dépendra de la dimension des transducteurs comparée à la distance centre à centre.

En transmission indirecte ou de surface, il y a une certaine incertitude par rapport à la longueur exacte de la longueur de parcours. Il est dès lors souhaitable d'effectuer une série de mesures à différents espacements de transducteurs pour éliminer cette incertitude.

Le transducteur émetteur sera placé en contact avec la surface du béton en un point P fixe et le transducteur récepteur sera déplacé en différents points alignés à des distances fixes. La pente de la meilleure droite passant par les points sera mesurée et relevée comme vitesse conventionnelle de propagation.

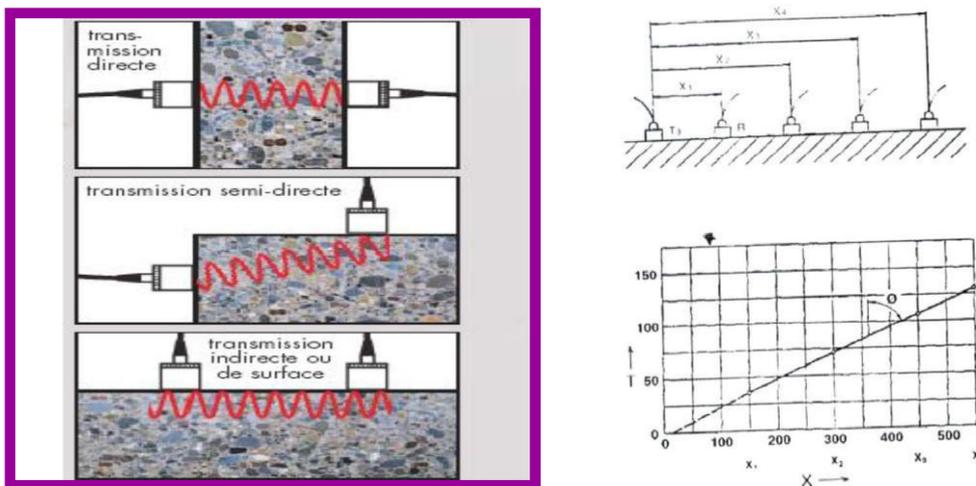


Figure I.11. Propagation et longueur de parcours

#### I.5. Appareillage de mesure

Généralement, l'appareillage de mesure comprend :

- \* Un générateur d'impulsions électriques
  - \* Un dispositif électronique de mesure de temps du parcours
  - \* Une paire de transducteurs
    - $10 \text{ kHz} \leq f \leq 40 \text{ kHz}$  (basses fréquences) : parcours long (jusqu'à 15 m)
    - $60 \text{ kHz} \leq f \leq 200 \text{ kHz}$  (hautes fréquences) : parcours court (à partir 50 mm)
- $40 \text{ kHz} \leq f \leq 60 \text{ kHz}$  : conviennent pour la plupart des applications

### I.5.1. Les Transducteurs

Les faces métallisées d'une pastille céramique piézoélectrique transforment une décharge électrique en Vibration mécanique.

\* L'onde se propage dans la semelle et pénètre dans le matériau à travers une couche liquide assurant le couplage acoustique.

\* Transformation inverse de l'énergie en réception

Eléments constitutifs :

\* pastille piézoélectrique : céramique de synthèse

(PZT : titanate-zirconate de plomb ; MBP : métaniobate de plomb ; ...)

\* électrodes (décharges de 100 à 400 V)

\* semelle fixe ou interchangeable, assurant la génération de l'onde (L ou T) sous l'angle voulu.

\* amortisseur (mélange de résine et de poudre de tungstène) absorbant l'onde émise à la face arrière de la céramique, et limitant la durée de la vibration mécanique.

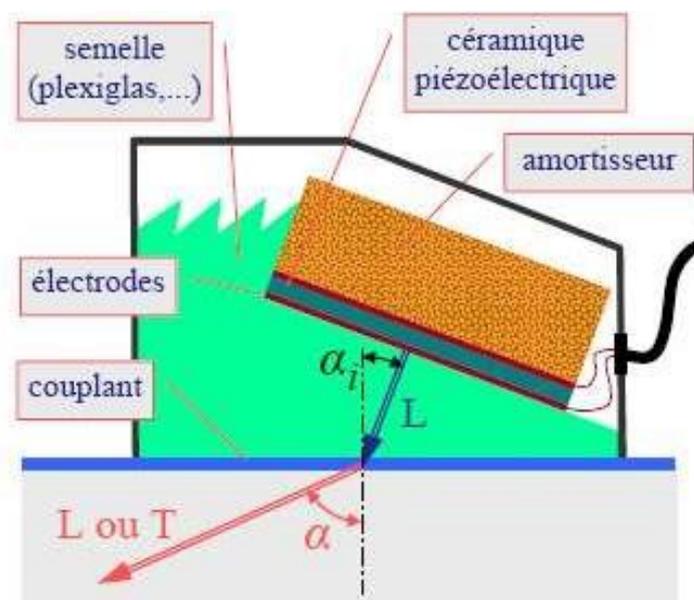


Figure I.12. Un Transducteur

### I.5.2. Modes d'acquisitions

Les capteurs peuvent être placés suivant différentes positions par rapport aux matériaux testés. Chaque agencement de position, appelée aussi mode, favorise la mesure d'un ou plusieurs types d'ondes (Figure 4-8). Le mode d'acquisition indirecte est idéal pour la mesure d'ondes de surface. Le mode d'acquisition semi-directe a des applications intéressantes pour la mesure d'ondes de cisailment. Le mode d'acquisition directe est surtout utilisé pour mesurer les ondes de compression. Le mode échographie est idéal pour la mesure d'ondes rétrodiffusées. Il est à noter qu'en mode échographie, l'émetteur et le récepteur correspondent à un même capteur (Saint Pieree, 2007).

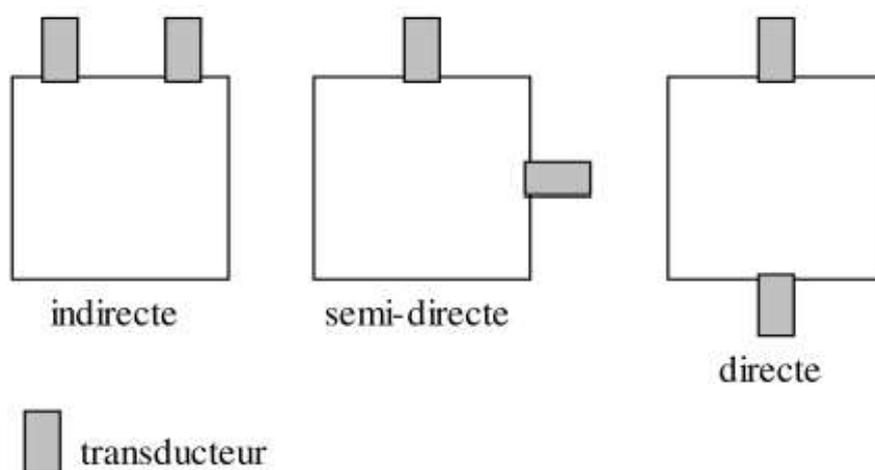


Figure I.13. Mode d'acquisitions

### I.6. Estimation des propriétés des matériaux par les ultrasons

La méthode des vitesses ultrasoniques est principalement utilisée pour la détermination du module dynamique d'élasticité et du coefficient de Poisson mais beaucoup de chercheurs ont démontré l'existence de relations entre les vitesses ultrasoniques et quelques propriétés des bétons et mortiers. Mais plusieurs paramètres peuvent influencer ces relations y compris la composition du béton et son taux d'humidité. Cependant ils existent des normes qui proposent, pour dépasser ces difficultés, des corrélations tel que (RILEM, 1973 ; ASTM, 2009 ; British, 2004).

Benaïcha et Grini se sont intéressées aux propriétés des bétons dans leur état frais par la prédiction de leur homogénéité par les ultrasons (Benaïcha, 2015 ; Grini, 2018). Quant au

béton durci, ses propriétés ont beaucoup été étudiés par des estimations ultrasoniques) ou pour l'auscultation de son état (Bayan et al., 2016 ; Fnine, 2006). Mais des incertitudes restent existantes dans ces relations (Khaldi, 2020 ; Boudjedra, 2021) et qui feront surement l'objet de futures études.

### **I.7. Conclusion**

A travers cette étude bibliographique, on remarque l'importance de la nature du mortier ainsi que le support sur lequel il est appliqué. La préparation de la surface du support joue un rôle important dans l'adhérence du mortier ainsi que l'épaisseur de ce dernier. Il est aussi remarqué la multitude d'essais de caractérisation de l'adhérence d'une manière destructive ou non destructive. La durabilité des mortiers de revêtement est influencée par l'environnement de l'ouvrage.

***Chapitre II :***

*Matériaux et  
procédures  
expérimentales*

## II. 1. Propriétés des matériaux utilisés

Nous allons présenter dans cette partie, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la réalisation des différents essais. Nous avons utilisé pour les essais des matériaux disponibles et très utilisés localement. Ces matériaux sont : un sable de la région de Guelma, un ciment CPJ–CEM II-A 42.5 de la cimenterie de Hdjar-Essoud (Skikda) et de l'eau potable disponible au niveau du laboratoire pédagogique de l'université 8 Mai 1945 Guelma. On a aussi utilisé trois supports différents, du parpaing et de la brique creuse achetés localement ainsi que des éprouvettes cubiques de béton récupérées au niveau du laboratoire LGCH de l'université 8 Mai 1945 Guelma.

### II.1.1. Caractéristiques du sable

Le sable utilisé est un sable calcaire concassé de classe (0/4) provenant de la carrière de Boucelba, dans la wilaya de Guelma (Algérie).

Pour déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon on a utilisé l'analyse granulométrique. Cet essai est défini par la norme NF P18-560 EN 933-2 (NF EN 2012)



**Figure II.1.** La tamiseuse

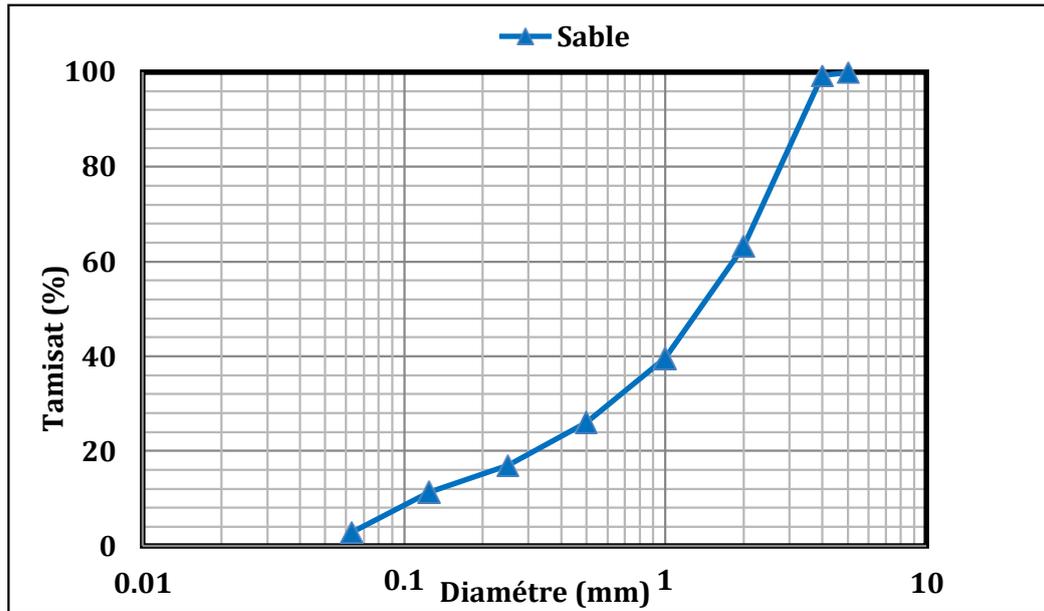


Figure II.2. L'analyse granulométrique du sable

Les autres caractéristiques du sable ont été repris des travaux de Boudjedra (Boudjedra, 2021), qui a utilisé le même sable.

Tableau II.1. Caractéristiques du sable utilisé (Boudjedra, 2021)

Caractéristiques	Sable (0/4)
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,50
Module de finesse (%)	3,54
Equivalent du Sable Visuel (%)	76,07
Equivalent de Sable au Piston (%)	71,25

Le sable est propre ( $75\% \leq \text{ESV} < 85\%$ ,  $70\% \leq \text{ES} < 80\%$ ).

### II.1.2 Caractéristiques physiques du ciment

Le ciment utilisé est un ciment CPJ-CEM II/A 42.5 provenant de la cimenterie de Hadjar-Soud (wilaya de Skikda, Algérie), ses caractéristiques chimiques et physiques qui sont présentées dans le tableau II.1 ont été fournies par le laboratoire de la cimenterie.

# Chapitre II Matériaux et procédures expérimentales

**Tableau II.2.** Caractéristiques chimiques et physiques du ciment utilisé

Caractéristiques chimiques		Caractéristiques physiques	
CaO (%)	55 - 65	Densité (kg/l)	3.15
SiO <sub>2</sub> (%)	22 - 28	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3300 - 4000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5 - 6		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3 - 3,6	Début de prise (mn) ≥ 60	
MgO (%)	1 - 2		
K <sub>2</sub> O (%)	0,3 - 0,6		
Na <sub>2</sub> O (%)	0,1 - 0,16	Fin de prise (mn)	150-250
SO <sub>3</sub> (%)	1,8 - 2,5		
CaOL (%)	0,8 - 1,8		
cl <sup>-</sup>	0 - 0,01		

## II.1.3 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est une eau potable disponible au niveau du laboratoire pédagogique de l'université 8 Mai 1945 de Guelma.

## II. 2. Confection et conservation des corps d'épreuve

### II.2.1. Composition du mortier

Les proportions de composition, de départ, de ce mortier sont les mêmes que celles d'un mortier normalisé mais avec un sable concassé (1/2 part d'eau, une part de ciment et 3 parts de sable) sauf que cette composition a conduit à un mortier ferme alors qu'on recherchait un mortier plastique. Ce qui a amené à augmenter la quantité d'eau, soit la composition suivante :

- Sable = 1350 Kg/m<sup>3</sup>
- Ciment = 450 Kg/m<sup>3</sup>.
- Eau de gâchage =  $\begin{cases} 225 \text{ Kg/m}^3 & \text{pour la 1ere composition du mortier (E/C= 0.5) mortier ferme.} \\ 247.5 \text{ Kg/m}^3 & \text{la 2eme composition du mortier (E/C= 0.55) mortier plastique.} \end{cases}$

### II.2.2. Confection des corps d'épreuve

Les essais expérimentaux de caractérisation du mortier sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques 4×4×16 cm<sup>3</sup>. La mise en moules a été effectuée directement après la fin du malaxage afin que l'expansion du matériau ne se produise pas à l'intérieur de la cuve du malaxeur ; les éprouvettes ont été coulées dans des moules précédemment huilés. Le mortier frais est placé en deux couches vibrées pendant 1 minute à l'aide d'une table vibrante. Après

## Chapitre II Matériaux et procédures expérimentales

que le moule est rempli, le surplus du mortier a été arasé et la surface a été égalisée à la truelle. Le démoulage est effectué après une durée de 24 heures.



**Figure II.3.** Les échantillons de mortier

Les corps d'épreuve « support-mortier » destinés à la caractérisation de l'adhérence du mortier ont été confectionnés en commençant par le nettoyage de la surface du support destinée à l'application du mortier en la débarrassant de la poussière ou toute autre matière. Après, on a mis en place un coffrage spécifique pour obtenir plusieurs échantillons à cisailier. Enfin, on applique le mortier en deux couches suivies de la phase finition. Cette procédure est suivie pour les deux épaisseurs du mortier (1.5 cm et 2 cm).



**Figure II.4.** Confection des corps d'épreuve

### II.2.3. Conservation du mortier et des corps d'épreuve

Les échantillons de mortier ainsi que les corps d'épreuve ont été conservés pendant 28 jours dans quatre ambiances différentes : à l'air libre, dans l'eau, dans l'eau de mer et dans une solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (dosée à 5%).

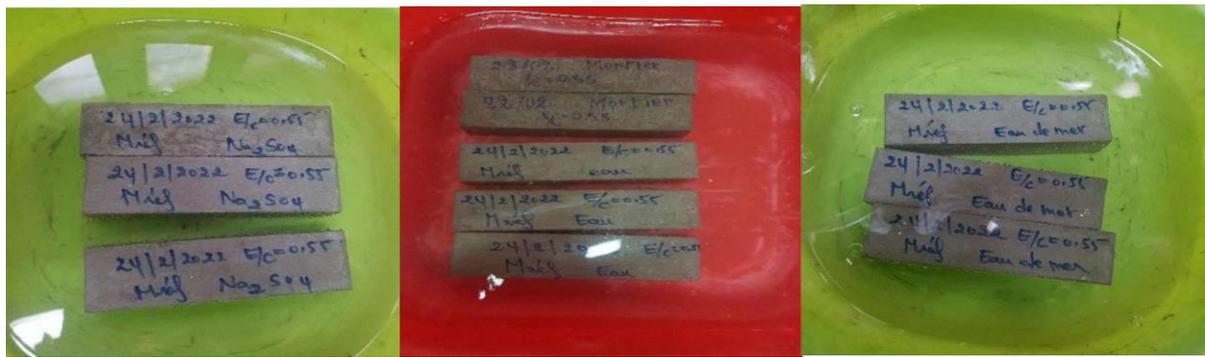


Figure II.5. Conservation des éprouvettes de mortier



Figure II.6. Conservation des corps d'épreuve à l'air libre, dans l'eau de mer et dans l'eau



Figure II.7. Conservation des corps d'épreuve dans une solution de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5%)

## II.3. Méthodologie des essais

### II.3.1. Caractérisation du mortier

Ce mortier a été caractérisé à l'état frais et à l'état durci.

#### II.3.1.1. Etat frais

On s'est limité aux seuls essais d'ouvrabilité.

##### - Essai de la table à secousses

La table à secousses est un essai qui nous permis à mesurer la consistance des mortiers. Cet essai d'étalement (fig. I8) est une mesure testant plus particulièrement l'aptitude du béton et mortier à s'étaler par écoulement. (Dreux et Festa, 1998).

La valeur d'étalement est mesurée par le diamètre moyen d'un échantillon de mortier frais, mis en place à l'aide d'un moule donné sur le plateau d'une table à secousses définie, et soumis à un nombre donné de secousses verticales en soulevant la table à secousses et en la laissant retomber librement d'une hauteur donnée.

Le moule tronconique de diamètre inférieur 100 mm, de diamètre supérieur 70 mm et de hauteur 60 mm est placé au centre de la table et après rempli de mortier. Le remplissage se fait en deux couches, chacune étant compactée avec 10 coups de bâton en pilon pour compacter la matière dans l'embase tronconique. Le moule est soulevé lentement et verticalement et la table à secousses est actionnée par 15 secousses à une cadence d'une par seconde est appliquée au mortier. Puis l'étalement de l'échantillon est mesuré à 2 endroits diamétralement opposés.

L'étalement est calculé par une moyenne de deux diamètres D1 et D2 en millimètre (mm). D1 et D2 sont respectivement le diamètre de la galette.

$$D_{moyen} = \frac{D1 + D2}{2}$$

Les valeurs sont arrondies au millimètre près.



**Figure II.8.** Table à secousses (DGCH)

### II.3.1.2. Etat durci

On a effectué plusieurs essais sur le mortier à son état durci. Ces essais ont concerné les vitesses ultrasoniques, la masse volumique et la porosité accessible à l'eau ainsi que les résistances à la flexion et à la compression. Ces essais ont été effectuées pour les différentes cures.

#### a - Essais ultrasoniques

Cet essai est effectué pour le mortier seul en mode de transmission direct, sur des éprouvettes ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ) conservées dans quatre milieux différents (l'air, l'eau, l'eau de mer, la solution sulfatique) pendant 28 jours.

Une chaîne d'ondes longitudinales (Controls : 54KHz) est produite par un transducteur (émetteur) électroacoustique maintenu au contact d'une surface du mortier soumis à l'essai ( $4 \times 4 \text{ cm}^2$ ). Après avoir parcouru une longueur connue dans le mortier (16 cm), la chaîne de vibrations est convertie en signal électrique par un deuxième transducteur (récepteur) positionné sur la surface opposée, et des compteurs électroniques de mesure du temps pour mesurer le temps de parcours de l'impulsion. Après avoir démarré l'appareil on lit le temps de propagation en microseconde ( $\mu\text{sec}$ ). La distance entre les têtes qui est connue nous permet de calculer la vitesse de propagation des ondes ultrasonique à partir de l'expression suivante :

$$V = \frac{L}{T}$$

V : La vitesse de propagation des ondes ultrasoniques dans le mortier en m/sec.

---

## Chapitre II Matériaux et procédures expérimentales

---

L : La distance entre les têtes en m.

T : Le temps de propagation en sec

D'après la vitesse calculée, on peut déterminer quelques paramètres intéressants comme le module d'élasticité dynamique et la résistance à la compression. Les essais ont été effectués par appareil ultrasonique de marque « Controls » qui nous été fourni par laboratoire pédagogique du département d'architecture de l'université 8 Mai 1945 de Guelma.

### b- Porosité accessible à l'eau et masse volumique

Pour mesurer la porosité accessible à l'eau, on calcule la différence de masse entre un échantillon à l'état sec et ce même échantillon à l'état saturé, on utilise la méthode de pesée hydrostatique. Après la conservation des éprouvettes  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  dans l'eau, l'eau de mer et la solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  jusqu'à 28 jours (état saturé), L'essai comprend les étapes suivantes :

. **Pesée hydrostatique** : Dans cette première étape, on fait immerger complètement l'éprouvette et à l'aide d'une balance hydrostatique on prend la valeur de masse affichée ( $M_{\text{eau}}$ ) la masse de l'éprouvette immergée dans l'eau).

. **Pesée à l'air** : Dans la deuxième étape, il faut essuyer rapidement et superficiellement l'éprouvette avec un chiffon sec sans toutefois retirer l'eau des pores. Ensuite peser immédiatement l'éprouvette à l'air. On obtient de cette manière, la masse d'échantillon dans l'air ( $M_{\text{air}}$ ).

. **Pesée à sec** : Cette troisième étape s'effectue par étuvage de l'échantillon à une température de  $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  jusqu'à stabilisation de la masse, c'est-à-dire lorsque deux pesées consécutives espacées de 24 heures ne diffèrent pas de plus de 0.05 %. La masse ainsi déterminée est la masse de l'éprouvette sèche  $M_{\text{sec}}$ . On utilise la formule suivante pour calculer la porosité accessible à l'eau P :

$$P = \frac{(M_{\text{air}} - M_{\text{sec}})}{(M_{\text{air}} - M_{\text{eau}})}$$

La masse volumique est obtenue en divisant la masse par le volume correspondant aux dimensions des éprouvettes, la masse volumique du mortier durci  $\rho$  sera :  $\rho = \frac{M}{V}$ .

### c- Essai de flexion sur mortier

Trois échantillons ont été testés en flexion simple sur une machine d'essais de résistance à la flexion (3 points) de marque "CONTROLS" permettant d'appliquer des charges jusqu'à 50KN avec une vitesse de mise en charge de 50 N/s. Les mesures sont

---

## Chapitre II Matériaux et procédures expérimentales

---

effectuées sur une presse qui répond aux normes NF EN 196-1 et NF EN 1015-11 (NF, 2000 ; NF, 2006).

Si  $F_f$  est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut  $F_f L/4$  et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{1,5F_f \cdot L}{b^3}$$

$F_f$  : la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

L : La distance entre les appuis ( $L = 100$  mm).

b : Le coté de la section carrée de l'éprouvette ( $b = 40$  mm).

Si  $F_f$  est exprimée en newtons (N), cette résistance exprimée en méga pascals (MPa) vaut :

$R_f$  (MPa) = 0.234  $F_f$  (N).



**Figure II.9.** Essai de flexion

### **d- Essai de compression sur mortier**

L'essai de compression est l'un des plus importants pour la caractérisation de la qualité. Cet essai s'effectue généralement monotone jusqu'à la rupture de l'éprouvette de mortier. Pour l'essai de résistance en compression, la presse hydraulique utilisée est du type Contolab, d'une capacité de 3000 KN conforme à la norme NF EN 196-1 et NF EN 1015-11 (NF EN2000 ; NF EN 2006), avec une vitesse de mise en charge de 2400 N/s  $\pm$  200 N/s. Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion ont été

---

## Chapitre II Matériaux et procédures expérimentales

---

rompus en compression. L'éprouvette de mortier est placée au milieu du plateau de la presse comme le montre la figure II.8, la surface de contact entre l'éprouvette et le plateau de compression est de 16 cm<sup>2</sup> (4×4 cm<sup>2</sup>).



Figure II.10. Essai de compression

### II. 3.2. Caractérisation des supports

On a utilisé trois supports (brique, parpaing et béton) pour lesquels leur caractérisation s'est limitée aux seuls essais d'absorption capillaire.

#### II. 3.2.1. Essais d'absorption capillaire

La mesure de l'absorption est un moyen qui permet de caractériser la cinétique d'absorption des matériaux. Plus l'absorption est élevée, plus le matériau est capable à être rapidement rempli de contact. C'est aussi une propriété qui caractérise la disposition des pores du matériau qui absorbent et transmettent l'eau par capillarité. Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire des supports non saturées, mises en contact avec de l'eau sans pression hydraulique. L'essai renseigne globalement sur les structures et sur l'importance du réseau capillaire. L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme NF EN 480-5 (NF EN, 2006) et consiste à déterminer la quantité d'eau absorbée par le support en fonction du temps. Le taux d'absorption par remontée capillaire due à la force de succion d'un support posée à sa base sur des petits supports (non absorbants) dans un bac à eau de telle manière que seuls les 5 premiers millimètres du bas de notre support soient immergés, le reste est préalablement

---

## Chapitre II Matériaux et procédures expérimentales

---

imperméabilisé par un film plastique sur toutes les autres faces afin d'obtenir un écoulement unidirectionnel, le bac d'eau muni d'un système d'alimentation automatique en eau permet de maintenir le niveau d'eau constant tout le long de l'expérience .

On note qu'on a utilisé le dispositif mis en place par le Dr. Bouteldja pour les besoins de ses recherches au niveau du laboratoire LGCH.

### II. 3.2.1.a. Le parpaing

Le parpaing utilisé provenant de l'unité de fabrication Belkheir, Il est de forme parallélépipédique de dimension 15 x 20 x 40 cm, il est constitué essentiellement de la pierre de taille et du ciment, c'est un matériau creux qui est utilisé dans la construction de murs.



**Figure II.11.** Essai d'absorption pour parpaing.

## II. 3.2.1.b. La brique

La brique utilisée est de dimensions  $15 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$



**Figure II.12.** Essai d'absorption pour brique.

## II. 3.2.1.c. Le béton

On a utilisé comme support des cubes en béton de dimension  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ , ils ont été récupérés au niveau du laboratoire LGCH.



**Figure II.13.** Essai d'absorption pour béton

## II. 3.3. Caractérisation de l'adhérence des mortiers aux supports

Deux types d'essais ont été effectués pour la caractérisation de l'adhérence du mortier aux différents supports. On a commencé par des essais non destructifs par la mesure de la vitesse ultrasonique de surface puis on a effectué des essais destructifs, sur les mêmes corps d'épreuve, par cisaillement.

### II.3.3.1 Vitesses des ultrasons

Pour les corps d'épreuve « support-mortier », les mesures des vitesses ultrasoniques ont été effectuées en mode indirect, donc à l'aide des ondes de surface. Le transducteur émetteur sera placé en contact avec la surface du mortier en un point fixe et le transducteur récepteur sera déplacé en différents points alignés à des distances fixes et qui sont différents pour chaque type de support. La pente de la meilleure droite passant par les points sera mesurée et relevée comme vitesse conventionnelle de propagation.

On note que le support en béton les distances des parcours sont assez proches et ne permettent pas une bonne précision des résultats des vitesses de surface.



**Figure II.14.** Essais de mesure des vitesses ultrasoniques de surface

### II.3.3.2. Adhérence des mortiers aux supports

L'adhérence des mortiers aux différents supports a été caractérisée par des essais de cisaillement (fig. II.15) en sollicitant en compression le mortier adhérent au support.

Les essais sont réalisés à l'aide d'une presse de capacité 150 kN avec une vitesse de montée en charge de 0,5 N/sec.

Pour chaque essai, il est noté le type de rupture. Cette rupture peut être adhésive (décollement du mortier) ou cohésive (rupture du support).



**Figure II.15.** Essai de cisaillement par compression

#### **II.4. Conclusion**

On a passé en revue, dans ce chapitre, l'ensemble des essais expérimentaux effectués dans notre travail et la méthodologie suivie pour la caractérisation de l'adhérence du mortier de deux épaisseurs différentes et sur trois supports différents. Les résultats obtenus pour le mortier et son adhérence font l'objet des chapitres suivants (chapitres 3 et 4).

***Chapitre III :***

*Propriétés des  
mortiers et des  
supports*

---

# Chapitre III Propriétés du mortier et des supports

---

On présente dans ce chapitre l'ensemble des résultats des essais réalisés sur le mortier ainsi que sur les différents supports.

## III.1. Propriétés du mortier

Le tableau suivant présente les résultats des essais réalisés à l'état durci sur le mortier. Ces résultats sont les moyennes de trois essais pour chaque propriété sauf pour la compression où la moyenne est celle de six essais.

**Tableau.III.1.** Propriétés du mortier à l'état durci

Cure	Air	Eau	Eau de mer	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Porosité (%)	/	<b>21.73</b> ± 0.28	<b>21.61</b> ± 0.20	<b>20.68</b> ± 0.07
Masse volumique	/	<b>2110</b> ± 7	<b>2101</b> ± 2.5	<b>2127</b> ± 1.4
Vitesse ultrasonique (m/sec)	<b>3294</b> ± 263	<b>3481</b> ± 34	<b>3298</b> ± 80	<b>3251</b> ± 125
Résistance flexion (MPa)	<b>2.53</b> ± 0.2	<b>4.49</b> ± 0.07	<b>4.54</b> ± 0.18	<b>3.85</b> ± 0.48
Résistance compression (MPa)	<b>30.81</b> ± 1.57	<b>55.05</b> ± 0.40	<b>52.07</b> ± 1.35	<b>49.76</b> ± 0.69

### III.1.1. Ouvrabilité

Les essais d'affaissement réalisés à la table de secousses ont donné un diamètre moyen de la galette de 13.9 cm pour la première composition du mortier (E/C= 0.5), ce qui correspond à un mortier ferme. Le fait qu'on vise un mortier plastique, on était amené à augmenter le rapport E/C à 0.55. On a obtenu un diamètre moyen de 17.6 cm, ce qui correspond à un mortier plastique.

### III.1.2. Porosité et masse volumique

Pour calculer la porosité on a utilisé l'essai de la pesée hydrostatique qui est effectué dans trois étapes (pesée hydrostatique, pesée à l'air et pesée à sec). Comme il est mentionnée dans le chapitre deux. Après la réalisation de l'essai et l'obtention des valeurs des masse ( $M_{\text{eau}}$ ,  $M_{\text{air}}$ ,  $M_{\text{sec}}$ ) on calcul la porosité de chaque échantillon selon l'équation suivante :

$$P = \frac{(M_{\text{air}} - M_{\text{sec}})}{(M_{\text{air}} - M_{\text{eau}})}$$

---

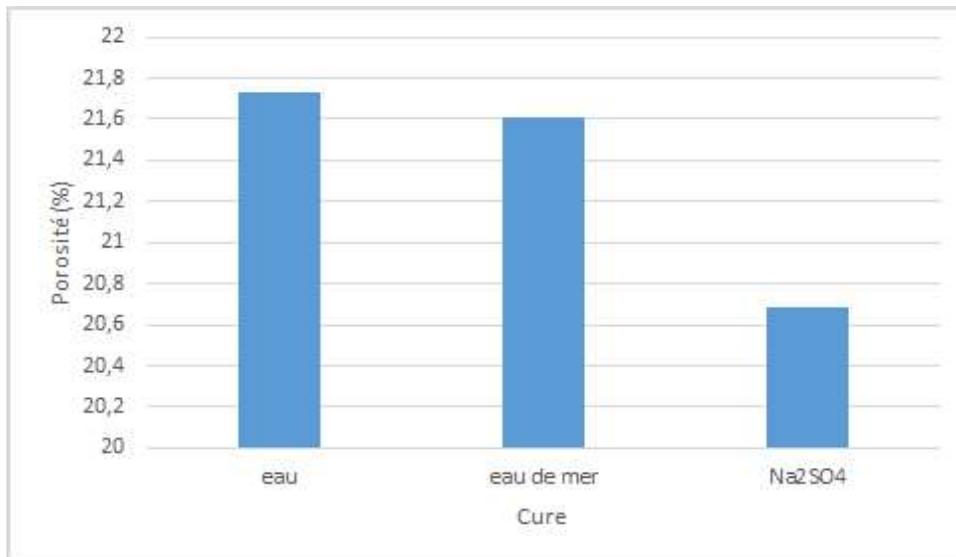
# Chapitre III Propriétés du mortier et des supports

---

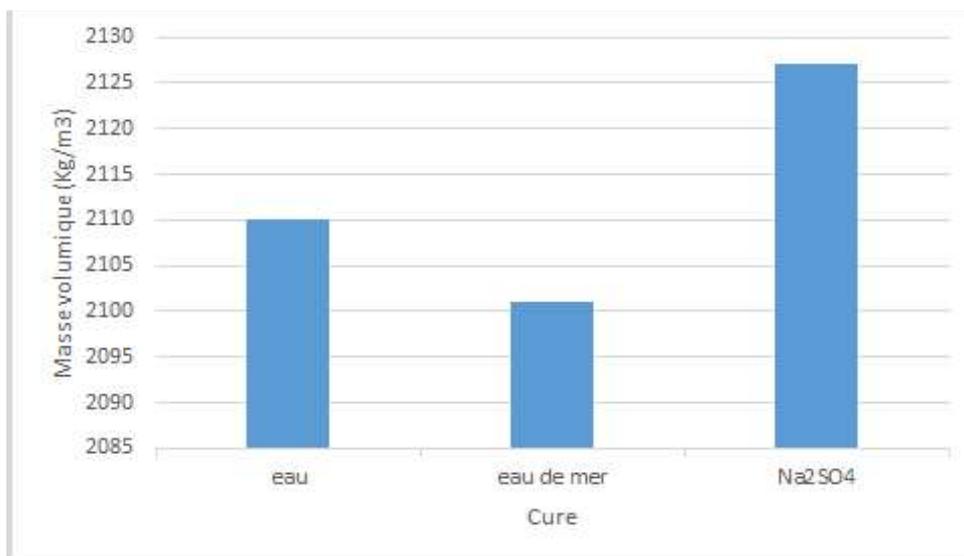
Concernant la masse volumique, après le séchage des éprouvettes dans une étuve réglée, on calcule les masses volumiques sèches à partir de la relation suivante :  $\rho = \frac{M}{V}$

Donc après pesée l'échantillon sec ( $M_{\text{sec}}$ ) on le divise sur le volume du même échantillon (V).

Les résultats de la porosité et de la masse volumique sont illustrés dans les histogrammes suivants pour les trois modes de conservation (eau, eau de mer et solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) :



**Figure III.1.** Porosité du mortier dans les différentes cures



**Figure III.2.** Masse volumique du mortier dans les différentes cures

---

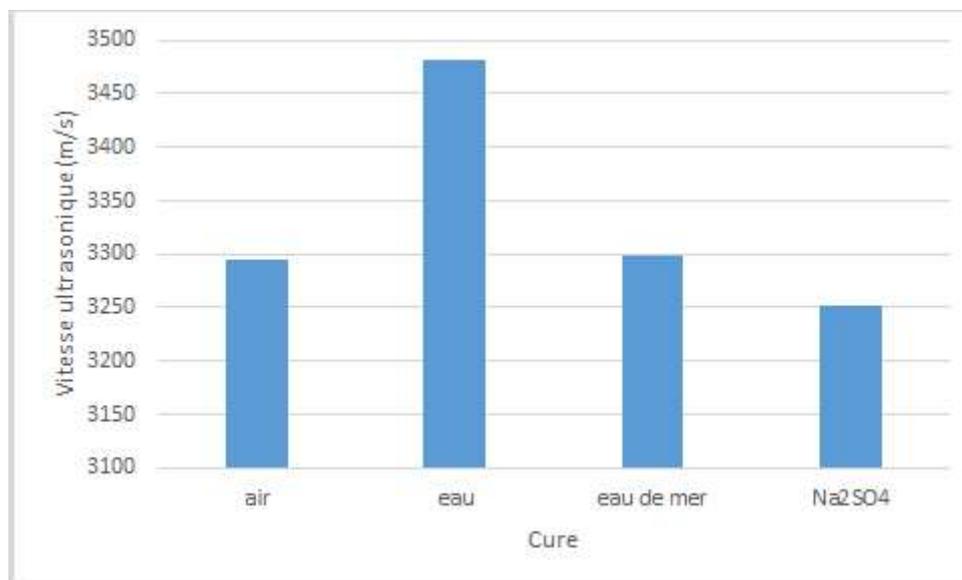
## Chapitre III Propriétés du mortier et des supports

---

La masse volumique et la porosité du mortier sont très peu influencées par le mode de conservation. On a moins de 2% de différence pour la masse volumique alors la porosité dans la solution du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  présente une diminution de 5% par rapport à celle dans l'eau. Ce qui ne reflète pas l'effet d'attaque de cette solution.

### III.3. Vitesses ultrasoniques

L'ensemble des résultats des vitesses de propagation des impulsions ultrasonores appliquées sur les mortiers à l'âge de 28 jours dans les différentes cures est illustré par la figure suivante :



**Figure III.3.** Vitesses ultrasoniques du mortier dans les différentes cures

On remarque que le résultat de la vitesse déterminée à l'air libre est la plus perturbée mais reste acceptable, on a moins de 10% d'incertitude. La vitesse dans les éprouvettes immergées dans l'eau est la plus importante avec  $v = 3481$  m/s. Les vitesses à l'air libre, dans l'eau de mer et dans la solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  subissent des diminutions respectivement de 5.4%, 5.2% et 6.6%.

Donc, l'effet des attaques est plus ou moins visible.

### III.4. Résistances à la flexion

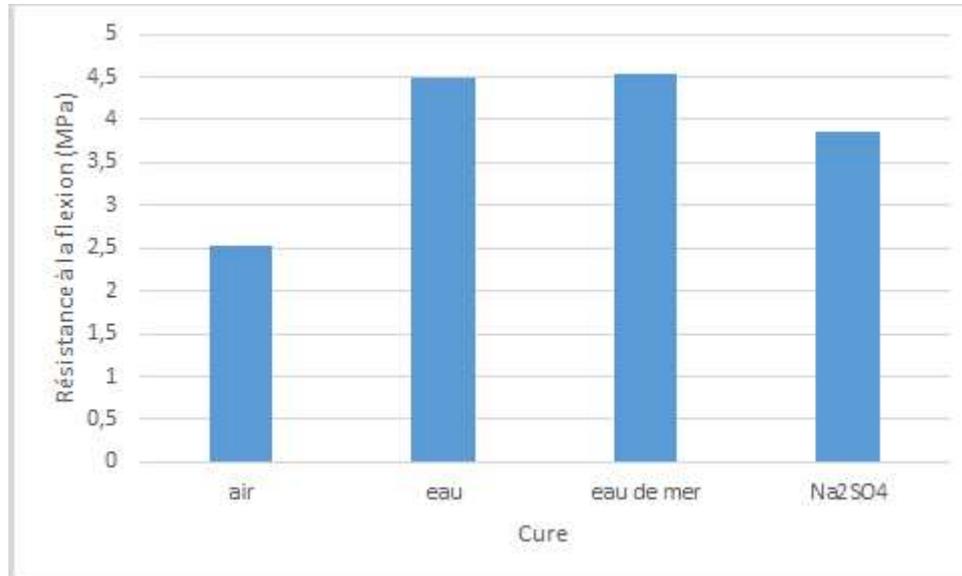
La résistance à la flexion des mortiers a été déterminé par flexion trois points sur des éprouvettes prismatiques  $4 \times 4 \times 16$  cm<sup>3</sup>. Ces éprouvettes ont été conservées après démoulage

---

## Chapitre III Propriétés du mortier et des supports

---

dans les quatre environnements précédents. La figure III.4 montre l'évolution de ces résistances avec les différentes cures.

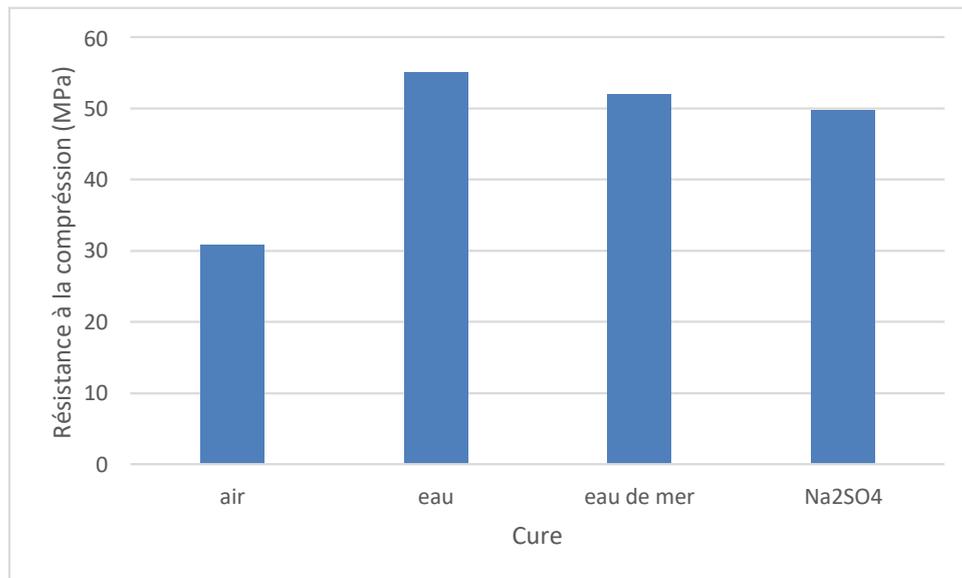


**Figure III.4.** Resistance à flexion du mortier dans les différentes cures

La résistance à la flexion ne semble pas être influencée par l'eau de mer où la résistance des éprouvettes conservées dans cette eau est légèrement supérieure à celle des éprouvettes conservées dans l'eau où on a une différence de 1%. La solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a provoqué une chute de la résistance de 15% par rapport à celle conservées dans l'eau. Les éprouvettes conservées à l'air libre ont des résistances 44% inférieures à celles dans l'eau.

### III.1.5. Résistances à la compression

Les résistances à la compression du mortier ont été déterminés sur les demi-éprouvettes issues des essais de flexion. Elles sont résumées par la figure III.5.



**Figure III.5.** Résistance à la compression du mortier dans les différentes cures

Comme pour les résistances à la flexion, la résistance du mortier conservé dans l'eau est la plus importante. Elle est supérieure à celles des mortiers conservés à l'air libre, dans l'eau de mer et dans la solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  respectivement de 79%, 6% et 11%.

## III.2. Propriétés des supports

### III.2.1. Absorption capillaire

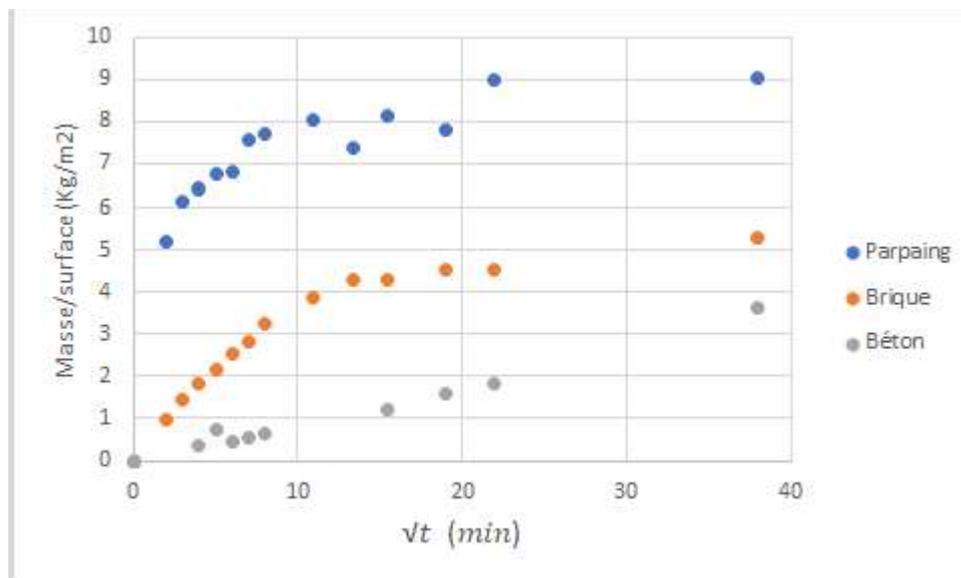
Pour déterminer la susceptibilité aux infiltrations d'eau à travers les pores du support et pour étudier son effet sur l'adhérence du mortier, on a utilisé l'essai d'absorption capillaire qui se base sur la quantité d'eau absorbée pendant une durée déterminée.

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité sur les différents types de supports utilisées sont donnés par le tableau III.1 et présentés sous la forme des courbes de la figure III.6

# Chapitre III Propriétés du mortier et des supports

**Tableau.III.2.** Masses des supports lors de l'absorption capillaire

T (minutes)	Parpaing	Brique	Béton
	Masse (g)	Masse (g)	Masse (g)
0	11635	2686	2354
4	12050	2745	2424
9	12125	2774	2356
16	12150	2796	2362
25	12175	2817	2371
36	12180	2837	2365
49	12240	2855	2367
64	12252	2880	2368
120	12280	2919	2373
180	12225	2942	2464
240	12285	2944	2381
360	12260	2958	2390
480	12355	2959	2395
1440	12357	3003	2435



**Figure III.6.** Absorption capillaire des différents supports

On remarque que la masse d'eau absorbée rapportée à la surface dépend du support. Elle est plus importante pour le support en parpaing et la plus faible est celle de béton. En termes de coefficient d'absorption capillaire, il est généralement déterminé par la meilleure pente

---

## Chapitre III Propriétés du mortier et des supports

---

dans les premiers temps. On choisit les 100 premières minutes ce qui a donné les coefficients d'absorption suivants :

$$C_{\text{béton}} = 0.07 \text{ Kg/m}^2 \text{ min}^{1/2} \quad C_{\text{parpaing}} = 0.39 \text{ Kg/m}^2 \text{ min}^{1/2} \quad C_{\text{brique}} = 0.36 \text{ Kg/m}^2 \text{ min}^{1/2}$$

Si les coefficients d'absorption du parpaing et de la brique sont proches, celui du béton est beaucoup plus faible. L'absorption capillaire reflète la structure poreuse du support où le parpaing présente une structure très poreuse alors celle du béton est beaucoup plus compacte.

### III.3. Conclusion

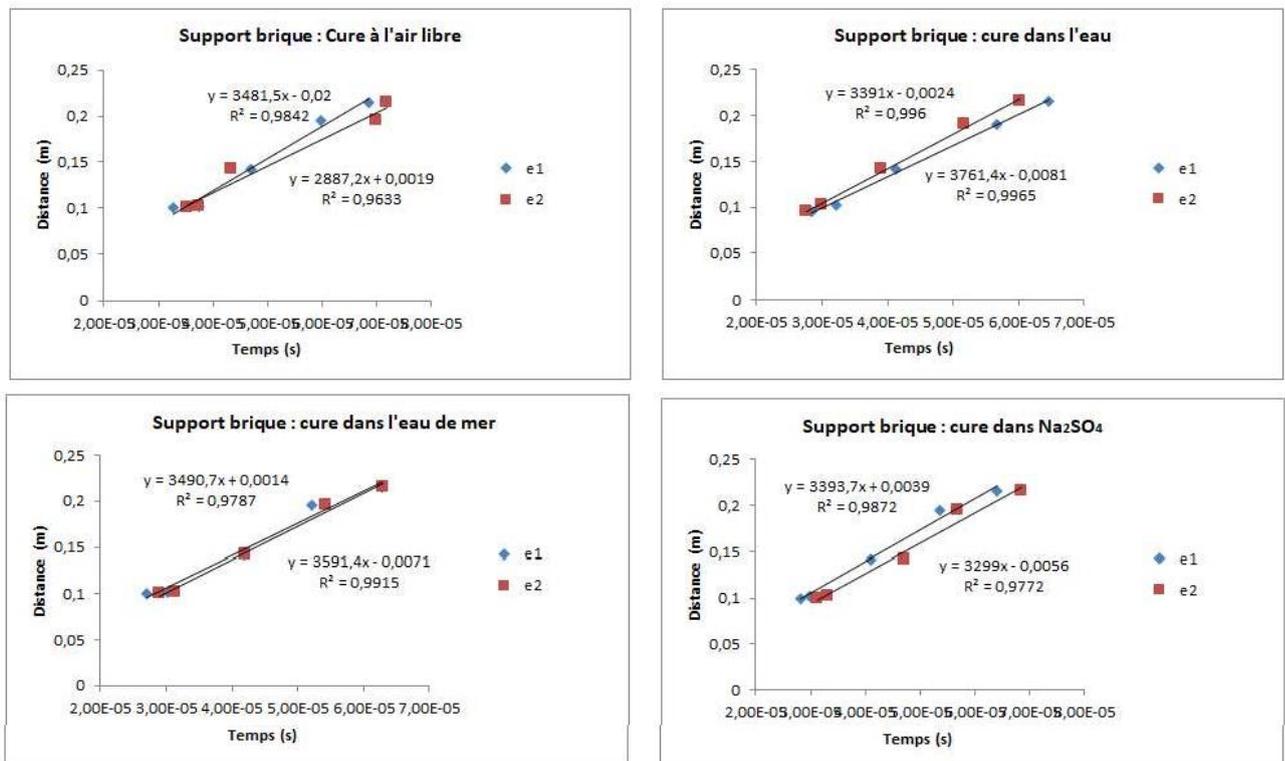
Le mortier utilisé dans cette étude est un mortier plastique et présente des propriétés physiques et mécaniques très acceptables. La cure du mortier joue un rôle important sur ces propriétés. La conservation à l'air libre est celle qui a donné les performances les plus faibles. Même si la durée de conservation n'est pas longue (28 jours), on peut avancer que la solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  provoque les chutes les plus importantes alors la conservation dans l'eau de mer n'a pas vraiment impacté les différentes propriétés.

***Chapitre IV :***

*Adhérence du  
mortier au  
différents  
supports*

## IV.1. Vitesses ultrasoniques et adhérences du mortier sur les supports

La vitesse conventionnelle de propagation en mode indirect est obtenue par la pente de la meilleure droite passant par les points mesurés. Les figures IV.1   IV.3 indiquent les meilleures courbes obtenues ainsi que leurs pentes. Les vitesses des mortiers sur les différents supports et dans les différents environnements de conservations sont résumées dans le tableau VI.1 et par les figures IV.4 et IV.5. Les résistances de l'adhérence par cisaillement du mortier sont résumées dans le tableau IV.2. On note que ces résistances sont les moyennes obtenues pour trois résultats sauf pour le support en béton où on avait testé une seule éprouvette.



**Figure IV.1.** Vitesses ultrasoniques du mortier sur support en brique

# Chapitre IV Adhérence du mortier aux différents supports

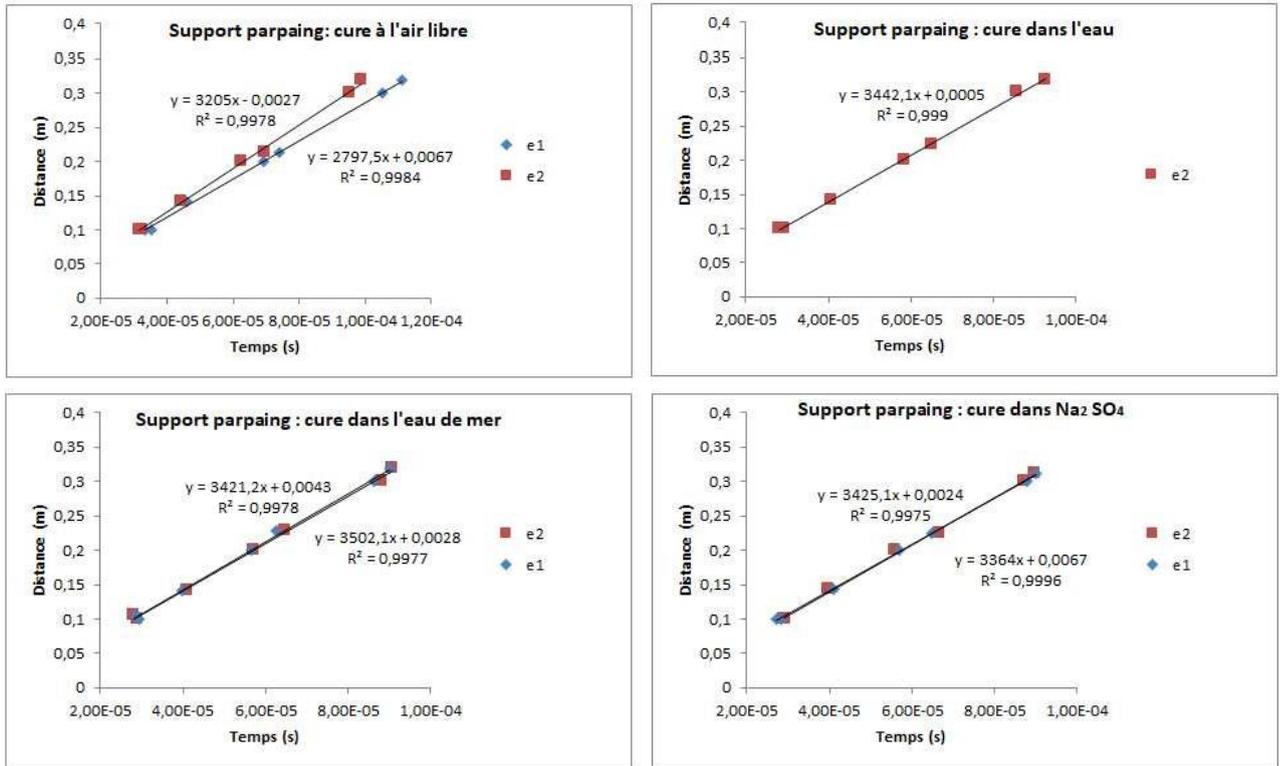
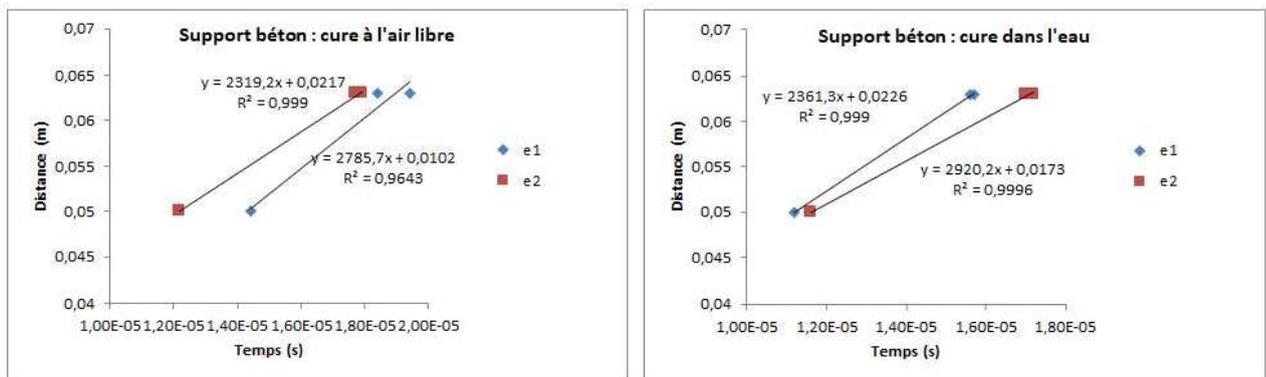
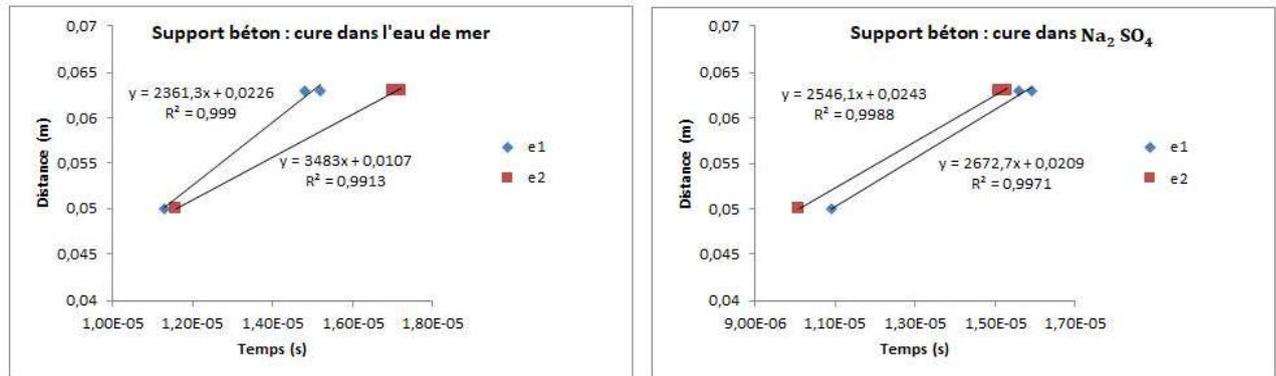


Figure IV.2. Vitesses ultrasoniques du mortier sur support en parpaing



# Chapitre IV Adhérence du mortier aux différents supports



**Figure IV.3.** Vitesses ultrasoniques du mortier sur support en béton

**Tableau IV.1.** Vitesses ultrasoniques du mortier sur les différents supports (m/s)

Support	Cure	Air libre	Eau	Eau de mer	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Epaisseur				
Brique	e <sub>1</sub>	3481	3391	3490	3393
	e <sub>2</sub>	2887	3761	3591	3299
Parpaing	e <sub>1</sub>	2797	-----	3502	3364
	e <sub>2</sub>	3205	3442	3421	3425
Béton	e <sub>1</sub>	2785	2920	3483	2672
	e <sub>2</sub>	2319	2361	2361	2546

**Tableau IV.2.** Adhérence du mortier sur les différents supports (MPa)

Support	Cure	Air libre	Eau	Eau de mer	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Epaisseur				
Brique	e <sub>1</sub>	<b>3,03</b> ±0,01	<b>5,91</b> ±0,36	<b>6,23</b> ±0,46	<b>4,61</b> ±0,53
	e <sub>2</sub>	<b>4,90</b> ±1,63	<b>7,16</b> ±0,64	<b>7,44</b> ±0,18	<b>4,96</b> ±0,02
Parpaing	e <sub>1</sub>	<b>6,32</b> ±0,67	<b>12,29</b> ±0,16	<b>11,43</b> ±1,19	<b>10,11</b> ±0,40
	e <sub>2</sub>	<b>8,73</b> ±0,86	<b>15,3</b> ±0,73	<b>13,11</b> ±0,11	<b>10,57</b> ±0,60
Béton	e <sub>1</sub>	<b>0,85</b>	<b>1,92</b>	<b>1,06</b>	<b>0,86</b>
	e <sub>2</sub>	<b>2,42</b>	<b>1,9</b>	<b>2,88</b>	<b>3,36</b>

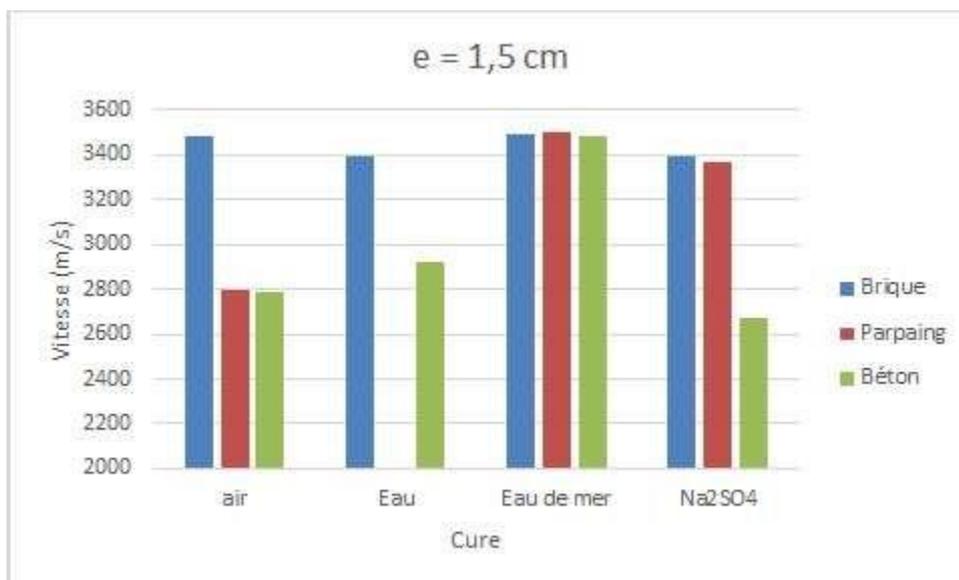
On prospecte dans la suite de ce chapitre l'ensemble des essais réalisés sur les corps d'épreuve comprenant le mortier appliqué aux différents supports. Cette prospection concerne

l'effet de la nature du support ainsi que l'effet de l'épaisseur du mortier sur les vitesses ultrasoniques et l'adhérence à travers la résistance au cisaillement.

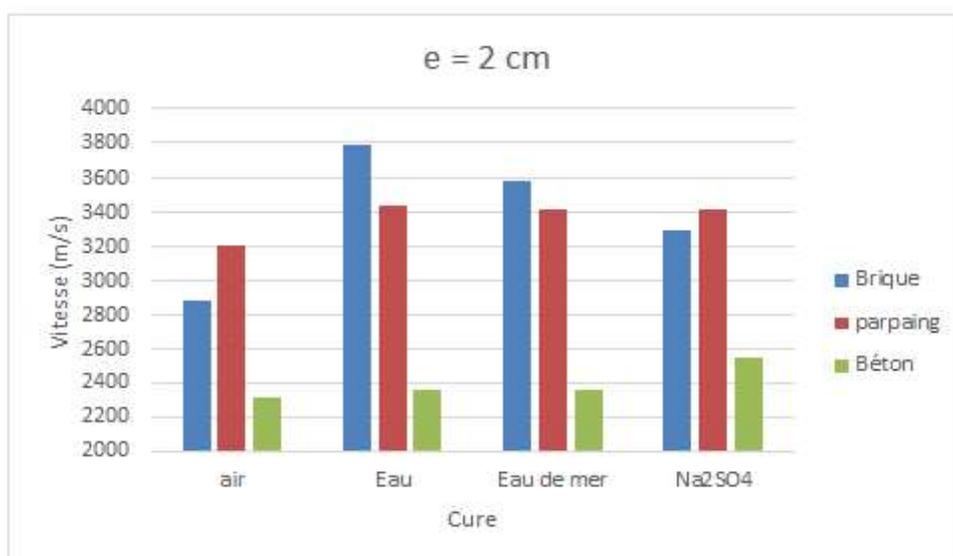
Enfin, on s'intéresse à l'aspect durabilité de l'adhérence du mortier dans différents milieux de conservation.

## IV.2. Effet du support

### IV.2.1. Effet du support sur les vitesses ultrasoniques



**Figure IV.4.** Effet du support sur les vitesses ultrasoniques des mortiers (e = 1.5 cm)



**Figure IV.5.** Effet du support sur les vitesses ultrasoniques des mortiers (e = 2 cm)

Les résultats des vitesses ultrasoniques relatifs à chaque support montrent que les supports en brique et en parpaing conduisent à des vitesses relativement proches à l'exception de la cure à l'air libre. Le support en béton conduit aux vitesses les plus faibles où la diminution maximale approche les 40% par rapport à la vitesse sur support en brique du mortier de 2 cm d'épaisseur conservé dans l'eau.

## IV.2.2. Effet du support sur les résistances de l'adhérence par cisaillement

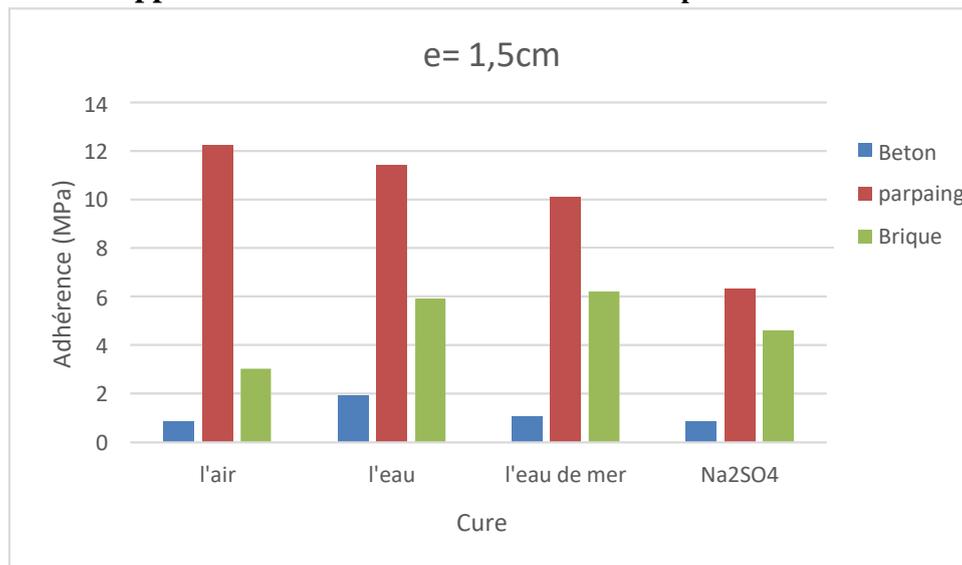


Figure IV.6. Effet du support sur la résistance de l'adhérence par cisaillement des mortiers (e = 1.5 cm)

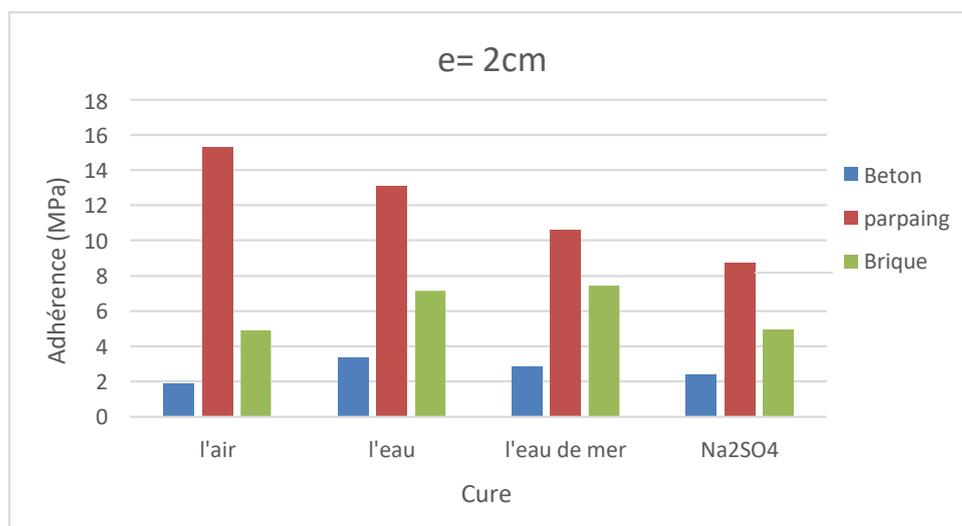


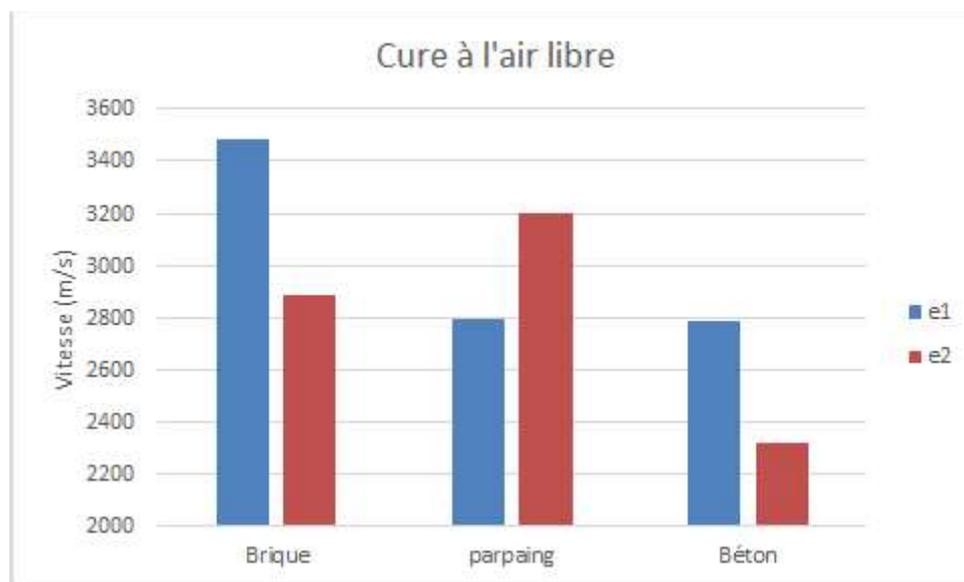
Figure IV.7. Effet du support sur la résistance de l'adhérence par cisaillement des mortiers (e = 2 cm)

Contrairement aux vitesses ultrasoniques, les résistances de l'adhérence par cisaillement présentent d'importantes différences entre tous les supports. Le support en parpaing présente des adhérences dépassant 2 fois celles du support en brique. Alors que le support en béton présente les adhérences les plus faibles et sont parfois 10 fois inférieures à celles du support en parpaing. Ces comparaisons sont valables pour les deux épaisseurs du mortier et pour toutes les cures. La résistance de l'adhérence maximale est de 15.3 MPa pour le support en parpaing avec une épaisseur de 2 mm dans une cure à l'eau. Elle est supérieure de 113 % à celle du support en brique et de 700 % à celle du support en béton.

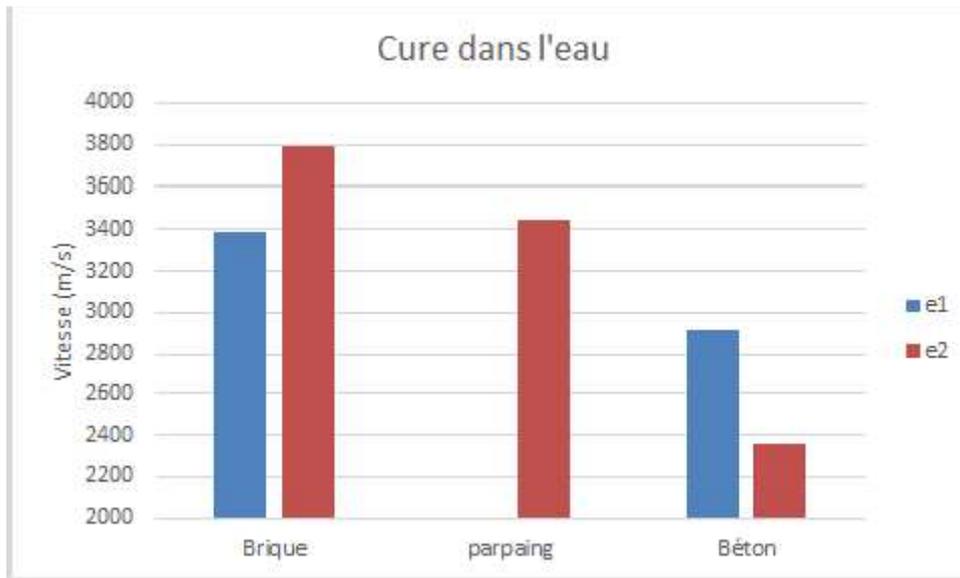
### IV.3. Effet de l'épaisseur du mortier

#### IV.3.1. Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques

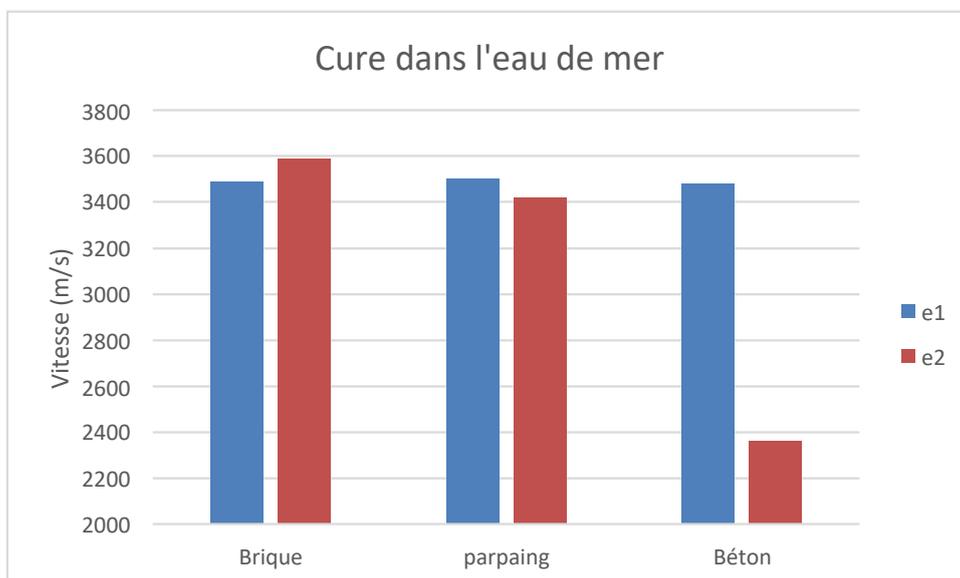
Les figures IV.8   IV.11 présentent l'effet de l'épaisseur du mortier sur l'évolution des vitesses ultrasoniques.



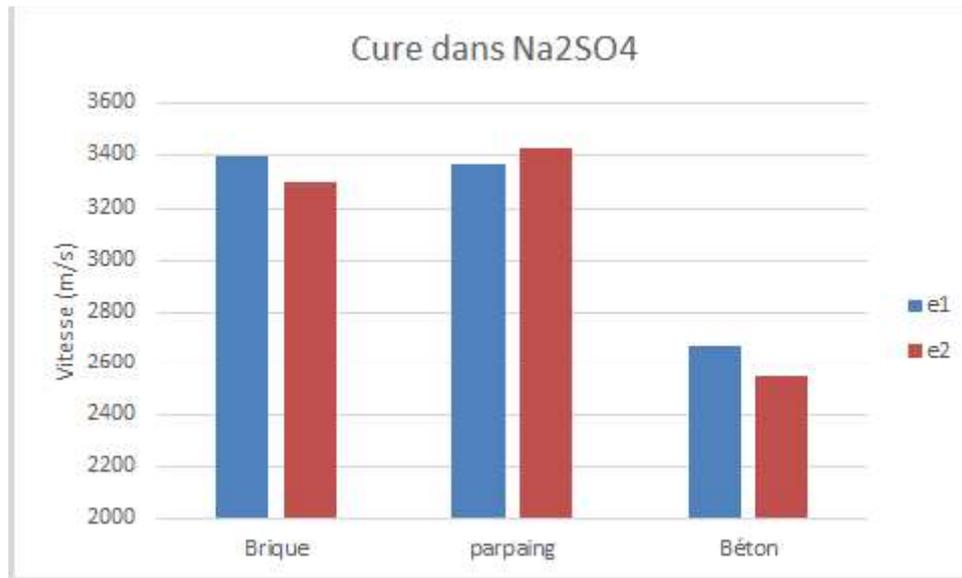
**Figure IV.8.** Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (cure à l'air libre)



**Figure IV.9.** Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (cure dans l'eau)



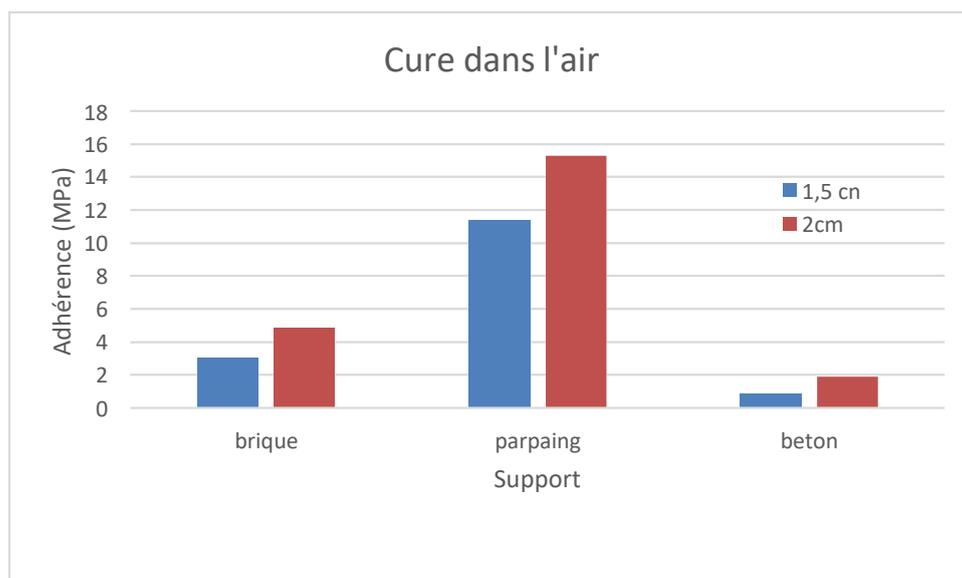
**Figure IV.10.** Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (cure dans l'eau de mer)



**Figure IV.11.** Effet de l'épaisseur sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers (cure dans une solution à 5%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

On remarque une fluctuation dans l'évolution des vitesses avec l'épaisseur du mortier. Les différences des vitesses restent relativement faibles sauf pour le support en béton où la différence maximale approche les 50% et concerne la cure dans l'eau de mer.

### IV.3.2. Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement



**Figure IV.12.** Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (cure à l'air libre)

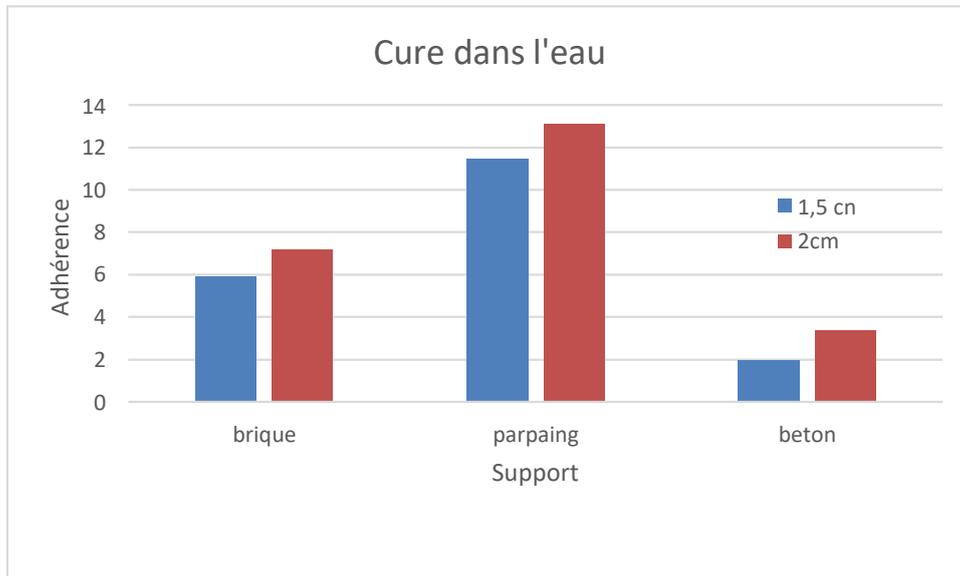


Figure IV.13. Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (cure dans l'eau)

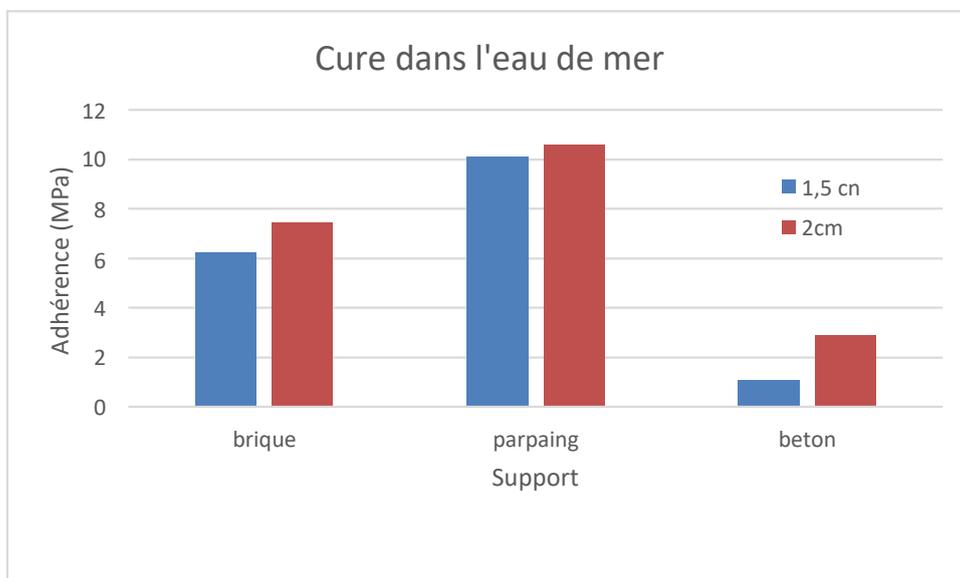
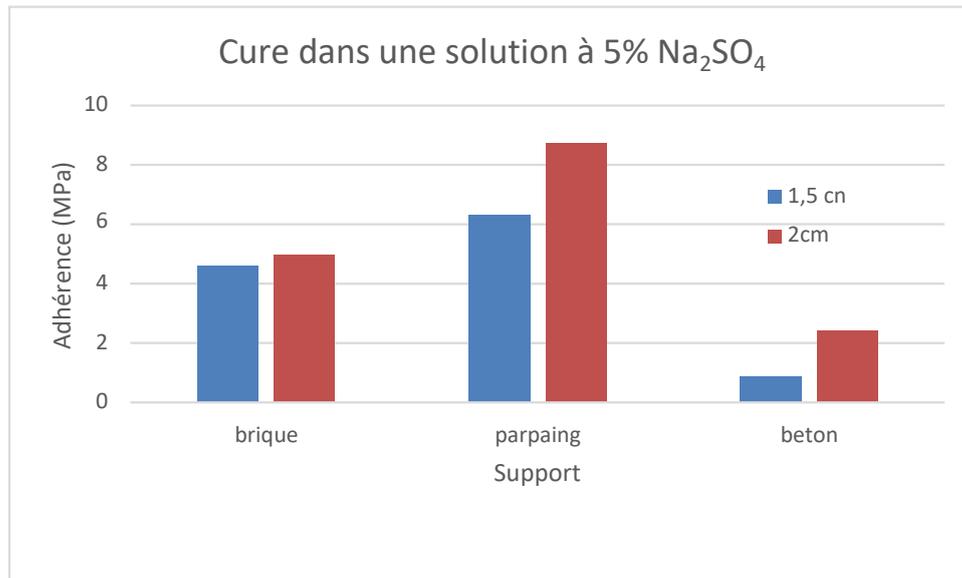


Figure IV.14. Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (cure dans l'eau de mer)



**Figure IV.15.** Effet de l'épaisseur sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (cure dans une solution à 5%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

L'effet de l'épaisseur est plus marqué dans le cas des adhérences. Les mortiers d'épaisseur de 2 mm présentent des résistances de l'adhérence supérieures à ceux d'épaisseur 1.5 mm. Cette différence est maximale (300 %) pour le support en béton dans la cure dans  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Mais comme on l'a indiqué précédemment, les résultats du support sont discutables à cause du manque d'éprouvettes (une seule éprouvette). Pour les deux autres supports, le support en brique présente la différence maximale pour la cure à l'air libre et qui est de 60%.

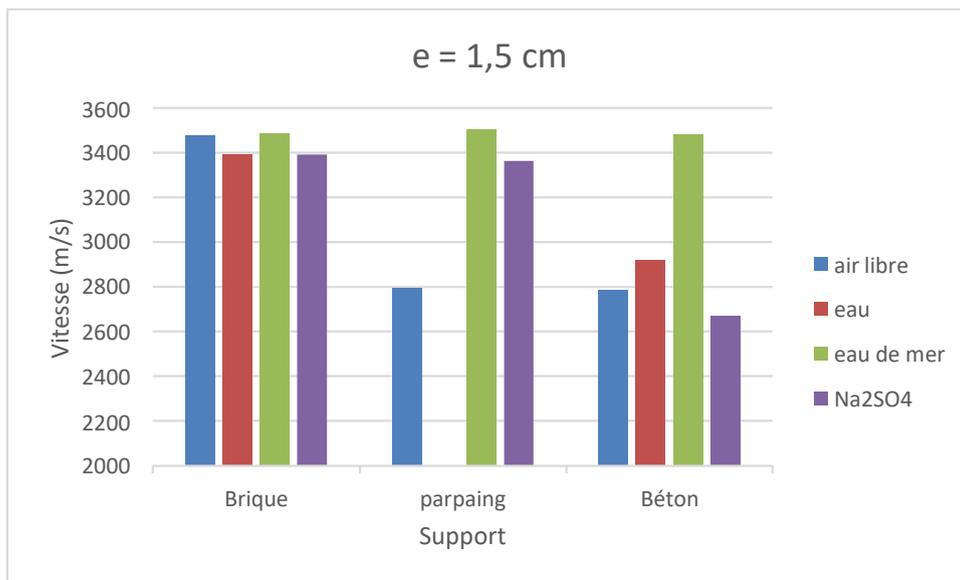
Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par Khaldi (Khaldi, 2020) où l'adhérence était inversement proportionnelle à l'épaisseur du mortier mais obtenue par un autre type d'essai et qui est l'essai d'arrachement. On pense que l'essai de cisaillement par compression intègre aussi l'épaisseur du mortier dans sa charge à la rupture et cet inconvénient a déjà été cité par Courard et Bisonnette (Courard, 2004).

#### IV.4. Durabilité de l'adhérence du mortier

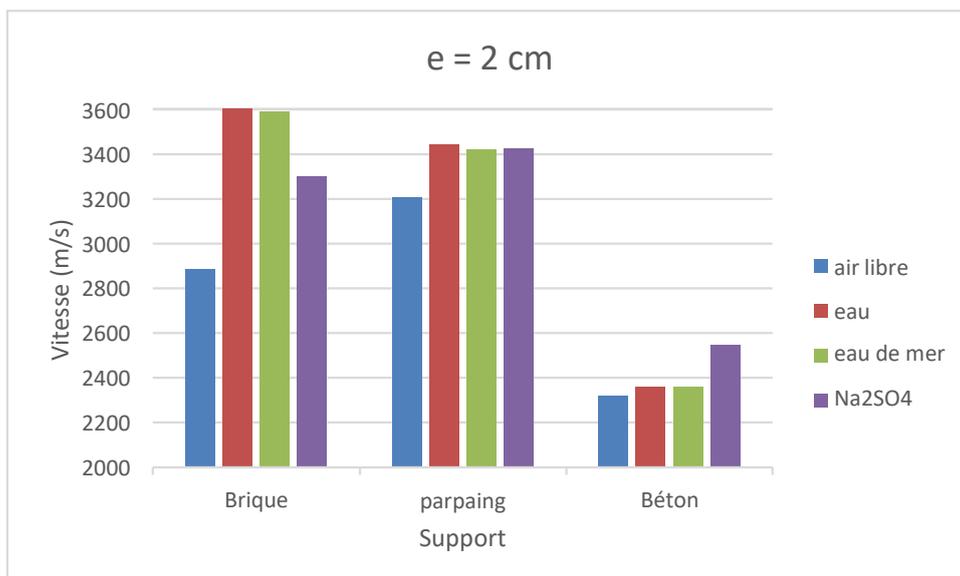
L'aspect durabilité est traité à travers les vitesses ultrasoniques et les résistances au cisaillement du mortier appliqué à son support après séjour dans quatre environnements différents. Les corps d'épreuve ont été maintenus à l'air libre et dans trois solutions (eau, eau de mer et une solution à 5% de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) pendant près d'un mois. On note que cette période de conservation ne permet pas vraiment de tirer des conclusions objectives sur cet aspect.

Les figures suivantes montrent l'évolution des vitesses ultrasoniques et les résistances de l'adhérence par cisaillement suite à ces séjours.

## IV.4.1. Effet de la cure sur les vitesses ultrasoniques



**Figure IV.16.** Effet de la cure sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers ( $e = 1.5$  cm)



**Figure IV.17.** Effet de la cure sur les vitesses ultrasoniques de l'adhérence des mortiers ( $e = 2$  cm)

En général, les vitesses obtenues à l'air libre sont les plus faibles à une exception près. Pour les éprouvettes ayant séjourné dans une solution, celles de la solution Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sont les plus faibles. Cette diminution dépasse les 20 % dans le cas du support en béton. Mais on ne peut tenir une conclusion sur cet aspect à cause de la fluctuation des résultats.

## IV.4.2. Effet de la cure sur la résistance de l'adhérence par cisaillement

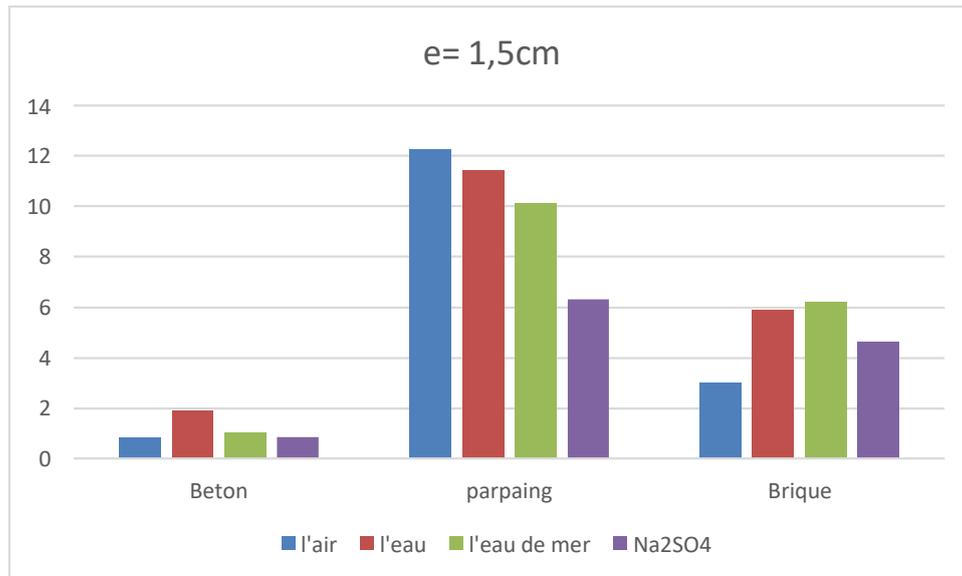


Figure IV.18. Effet de la cure sur la résistance de l'adhérence par cisaillement (e = 1.5 cm)

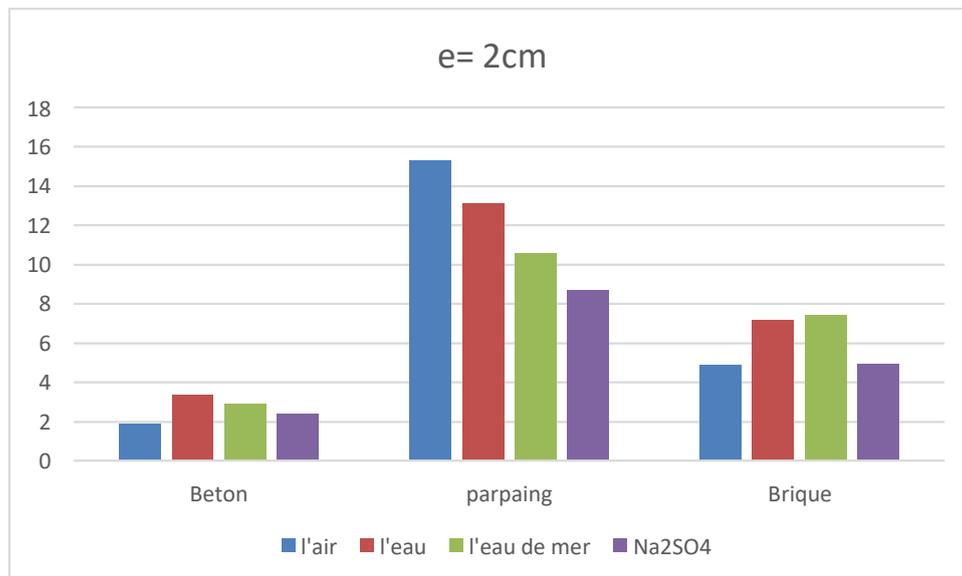


Figure IV.19. Effet de la cure la résistance de l'adhérence par cisaillement (e = 2 cm)

---

# Chapitre IV Adhérence du mortier aux différents supports

---

Les résistances de l'adhérence par cisaillement les plus faibles sont celles des corps d'épreuve conservés à l'air libre. Elles présentent des diminutions à l'alentour de 50% par rapport à celles dans l'eau. La conservation dans l'eau de mer conduit dans le cas du support en brique à des augmentations de 5% par rapport à la cure dans l'eau. Alors que pour le support en parpaing et en béton, on a des chutes appréciables qui atteignent plus de 50% pour le support en béton. L'effet du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  est appréciable sur les adhérences des mortiers où on a des chutes maximales par rapport à la conservation dans l'eau de 35%, 31% et 55% respectivement pour les supports en brique, parpaing et béton.

## IV.4. Modes de rupture

Le mode de rupture est beaucoup plus influencé par le type de support que par les autres paramètres. Les figures IV.20 à 22 présentent les modes de rupture obtenus lors des essais. On remarque que les supports en brique et en béton présentent une rupture adhésive. Le mortier est complètement enlevé du support sans d'autres dommages. Alors que le support en parpaing présente généralement une rupture cohésive. La rupture se produit dans le support et on a rarement une rupture adhésive. Ces modes de rupture reflètent les adhérences du mortier où le parpaing présente les meilleures résistances de l'adhérence par cisaillement.



**Figure IV.20.** Modes de rupture du mortier revêtement sur support en béton



**Figure IV.21.** Modes de rupture du mortier revêtement sur support en parpaing



**Figure IV.22.** Mode de rupture du mortier sur revêtement sur support en brique

#### **IV.5. Conclusion**

Les vitesses ultrasoniques concernant les supports en brique et en parpaing conduisent à des vitesses relativement proches. Le support en béton conduit aux vitesses les plus faibles.

Le support en parpaing présente des adhérences dépassant 2 fois celles du support en brique. Alors que le support en béton présente les adhérences les plus faibles et sont parfois 10 fois inférieures à celles du support en parpaing.

L'effet de l'épaisseur est plus marqué sur les adhérences que sur les vitesses ultrasoniques.

---

## Chapitre **IV** Adhérence du mortier aux différents supports

---

L'attaque par du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  conduit aux chutes maximales des adhérences des mortiers pour les différents supports.

Le mode de rupture est de type adhésif dans le cas du support en brique et en béton alors qu'elle est généralement de type cohésif dans le cas du support en parpaing.

## **Conclusion générale et perspectives**

A travers ce travail, on a remarqué que pour le mortier lui-même sa cure joue un rôle important sur ses propriétés. La conservation à l'air libre est celle qui a donné les performances les plus faibles. La solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  provoque les chutes les plus importantes, jusqu'à 15% pour les résistances. Alors que la conservation dans l'eau de mer n'a pas vraiment impacté les différentes propriétés pour la durée de conservation utilisée (jusqu'à 5%).

Pour l'influence de l'interaction du mortier avec le support sur lequel il est appliqué, la préparation de la surface à enduire a une grande influence sur la bonne adhérence du mortier. Plus cette surface est rugueuse et débarrassée des salissures et plus l'adhérence est importante. L'absorption du support impacte le comportement du mortier car son hydratation ne se réalise pas dans de bonnes conditions avec un manque d'eau.

L'épaisseur du mortier peut aussi influencer son adhérence par la création d'un gradient des propriétés. L'effet de l'épaisseur est plus marqué sur les adhérences que sur les vitesses ultrasoniques.

La durabilité du mortier de revêtement dépend de son environnement et des attaques qu'il peut subir. On note l'effet de la cure sur l'affaiblissement de son adhérence même si la durée de la cure des corps d'épreuve à l'air libre et dans les trois autres milieux n'était pas assez longue. L'effet du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  conduit aux chutes des adhérences des mortiers les plus importantes alors que l'eau de mer n'a presque d'effet par rapport à la conservation dans l'eau.

Les modes de rupture reflètent les adhérences du mortier où le parpaing présente les meilleures résistances de l'adhérence par cisaillement avec une rupture cohésive alors qu'elle est adhésive dans le cas de la brique et du béton.

Comme perspectives à ce travail, on pense premièrement à varier la composition du mortier pour évaluer son impact sur son adhérence avec ou sans adjuvant.

Les épaisseurs du mortier utilisées sont assez proches et n'ont pas permis d'évaluer convenablement son effet. Donc, on préconise des épaisseurs allant du minimum exigé à son maximum.

Faire durer la conservation des corps d'épreuve dans des solutions agressives pour des périodes plus importantes (six mois et plus).

Enfin, étudier l'effet de quelques ajouts, comme les fibres ou les déchets, sur les performances des mortiers de revêtement.

## Références bibliographiques

**(ASTM, 2003)** ASTM, (2003), ASTM-C597-02. Standard test method for pulse velocity through concrete. Normalization of American Society of Testing Materials.

**(ACI, 1998)** ACI Manual of Concrete Practice, Part 4 (1998) Concrete Repair Guide, ACI Committee 546, 41 p.

**(Aguiar, 1998)** Aguiar J L B. and Cruz D. , A study of the adhesion between hydraulic mortars and concrete, J. Adhesion Sci. Technol. 12 (11) (1998) 1243-1251.

**(Wittmann, 1994)** Wittmann F. H., (1994), Adherence of young and old Concrete, Unterengstringen, Switzerland) 1-24.

**(British, 2004)** British, (2004), Testing Concrete. Part 4. Determination of Ultrasonic Pulse Velocity, Standards Institution BS EN 12504-4, London.

**(Benaicha, 2015)** Benaicha M. and al. (2015), Prediction of Self-Compacting Concrete homogeneity by ultrasonic velocity, Alexandria Engineering Journal 54, 1181-1191.

**(Benchiheb, 2019)** Benchiheb D. (2019), Contribution à l'étude de la compréhension des phénomènes et mécanismes d'action des effets des additions sur le comportement des matrices cimentaires, Thèse de doctorat, université 20 Août 1955, Skikda, Algérie.

**(Boudjedra, 2021)** Boudjedra F. (2021), Contribution à l'étude de la ségrégation du béton hydraulique, Caractérisation par les ultrasons, Thèse de doctorat, université Larbi BenM'hidi, O.E.B, Algérie.

**(Baroghel-Bouny, 1994)** Baroghel-Bouny V. (1994), Caractérisation microstructurale et hydrique des pâtes de ciment et des bétons ordinaires et à très hautes performances. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.

**(Bagel, 1997)** Bagel L. and Kivica V. (1997), Relationship between pore structure and permeability of hardened cement mortars: on the choice of effective pore structure parameter, Cement and Concrete Research, vol 27, pp 1225-1235.

**(Bijen and Salat, 1994)** Bijen J. and Salat T. (1994), Adherence of young concrete to old concrete. Development of tools in civil engineering, in Proceeding of 2<sup>nd</sup> Bolomey Workshop (F.H Witmann, Aedificatio Verlag, Unterengstringen, Switzerland) 1-24.

**(CIMBÉTON, 2006)** CIMBÉTON, « Collection technique Ciments et bétons, » Conception et réalisation : Am principe Paris, France.

**(Courard, 2000)** Courard L., (2000), Parametric study for the creation of the interface between concrete and repair products, Mater Struct. 33 (225) 65-72.

**(Cleland et Long, 1997)** Cleland D J and Long A E. (1997), The pull off test for concrete patch repairs, Proc. instn Civ. Engrs Structs and Bldgs 122(11) 451-460.

**(Cleland et al. 1992)** Cleland, D. J Yeoh, K.M. and Long, A.E (1992), The influence of surface preparation method on adhesion strength of patch repairs for concrete, Proceedings of the 3rd Colloquium on Materials Science and Restoration, (Esslingen, Germany) 858-871.

**(Cherait et Nafa, 2006)** Cherait Y, Nafa Z. (2006), Eléments de matériaux de construction et essais. Collection : le livre de génie civil. Direction de la publication universitaire du 8 mai 1945 Guelma, Algérie.

**(Dreux et Festa, 1998)** Dreux. G., Festa, J. (1998), Nouveau guide du béton. Edition EYROLLES. Paris. France.

**(Fnine, 2006)** Fnine A. (2006), Auscultation de la peau du béton par ondes ultrasonores haute fréquence », Thèse de doctorat, université des sciences et technologies de Lille, France.

**(Grini, 2018)** Grini A. (2018), Contribution à l'étude de la ségrégation du béton hydraulique, Caractérisation par les ultrasons, Thèse de doctorat, université 8 mai 1945, Algérie.

**(Hoshino, 1989)** Hoshino M. (1989), Relation between bleeding, coarse aggregate, and specimen height of concrete. *Materials Journal*, 86(2):185-190.

**(Khaleel, 2016)** Khaleel (2016), Effect of Aggregate Content on the Concrete Compressive Strength - Ultrasonic Pulse Velocity Relationship», *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 4, No. 1.

**(Khaldi, 2020)** Khaldi N. (2020), Les incertitudes des essais non destructifs des structures en béton (essais ultrasoniques et sclérométriques), Thèse de doctorat, université 8 mai 1945, Algérie.

**(Long, 1983)** Long, A.E. (1983), A review of methods of assessing the in-situ strength of concrete', keynote paper NDT 83, 16-17 Nov. 1983 (Heathrow, London, England) 16 p.

**(NF-EN-12504-4, 2005)** NF-EN-12504-4 (2005), Essais pour les bétons dans les structures - partie 4: détermination de la vitesse de propagation du son. Normes Française, AFNOR.

**(NF DTU 20.1)** Norme Française DTU 20.1. Ouvrage en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs.

**(NF P 14-201)** Norme Française P 14-201 « DTU 26.2. Travaux de bâtiment. Chapes et dalles à base de liants hydrauliques ».

**(NF EN 998-1)** Norme Française et Européenne 998-1 : - Mortiers d'enduit monocouche « OC » pour les caractéristiques de : Masse volumique apparente, résistance en compression, adhérence, absorption d'eau par capillarité.

**(NF EN 196-1, 2006)** NF EN 196-1 (2006), Méthodes d'essais des ciments-Partie 1 : détermination des résistances mécaniques Indice de classement. Normes Française, AFNOR.

**(NF EN 1015-11, 2000)** NF EN 1015-11 (2000),. Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie-Partie 11 : détermination de la résistance en flexion et en compression du mortier durci. Normes Française, AFNOR.

**(NF EN ; 2006)** NF EN 480-5 (2006), Adjuvants pour Béton, Mortier et Coulis - Méthodes d'Essai -Partie5: détermination de l'absorption capillaire. Normes Française, AFNOR.

**(Ohama, 1986)** Ohama Y et al.(1986), Adhesion of polymer modified mortars to ordinary cement mortar by different methods, in proceeding ISAP 86 Adhesion between polymers and concrete, (H.R Sassa, Chapman and Hall, London) 719-729.

**(prEN1542, 1994)** 'Pruducts and systems for the protection and repair cpncretestructures\_Test methods. Pll-off test, ComitéEuropéen de Normalisation, Bruxelles.

**(Silfwerbrand, 1990)** Silfwerbrand J. (1990), Improving concrete bond in repaired bridge decks, Concrete International 12 (9) 61-66.

**(Saint Pieree, 2007)** Saint-pierre F. (2007), Suivi de l'évolution de la réaction alcalis-silice par méthodes ultrasoniques et par tomographie sonore. Thèse de doctorat en sciences appliquées, Université de SHERBROUKE. Spécialité Génie Civil. Canada.

## **Netographie**

**(Net, I.1 à I.6)** [https://www.pdfprof.com/PDF\\_Image.php?id=53174&t=25](https://www.pdfprof.com/PDF_Image.php?id=53174&t=25)