



# Confection d'un éco-mortier dédié a la restauration des ornements architecturaux

Said BELDJILALI<sup>a</sup> et José Luís Barroso de AGUIAR<sup>b</sup>

<sup>a</sup> university of Abdelhamid Ben Badis-Mostaganem Department of Civil Engineering, [said.beldjilali@univ-mosta.dz](mailto:said.beldjilali@univ-mosta.dz), Algérie

<sup>b</sup> University of Minho Department of Civil Engineering, [aguiar@civil.uminho.pt](mailto:aguiar@civil.uminho.pt), Portugal

## Résumé

Les ornements architecturaux, utilisés comme éléments décoratifs sont fabriqués en pierre ; mais la plupart de leurs composants contiennent du gypse. Il est constaté que la détérioration des ornements est attribuée à la pénétration de l'eau, à la colonisation biologique, à la micro et macro-fissuration et au détachement partiel et complet de leurs supports. De nombreuses opérations de réhabilitation des ornements architecturaux n'ont pas réussi à utiliser le matériau approprié pour les besoins du projet. L'utilisation des déchets de construction, en particulier la brique usagée, est actuellement largement répandue pour de tels opérations. Pour une utilisation efficace et durable de ces matériaux, une étude expérimentale a été menée pour examiner l'influence du contenu des déchets de briques sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre. Les principales variables de cette étude étant la teneur en briques usagées et le type de substrat. Le rapport Eau/Mortier de tous les mélanges a été maintenu constant afin de conserver un niveau d'ouvrabilité similaire. De nombreux tests ont été effectués pour évaluer le comportement physique et mécanique des mortiers de plâtre, y compris le test d'adhérence, la radiographie et l'analyse MEB. Les résultats obtenus montrent que les forces d'adhérence des mortiers sont plus importantes lorsque le substrat est fait de calcaire par rapport au substrat fait de briques. Cependant, un pourcentage excessif de déchets de briques dans le mortier peut avoir des effets négatifs et réduire la force d'adhésion. Les mortiers de plâtre fabriqués avec 75 % de briques usagées doivent être recommandés pour la réhabilitation des ornements architecturaux.

Mots-clés : Ornement ; Plâtre ; Déchet de brique ; Force d'adhérence.

## Abstract

Architectural ornaments, used as decorative elements, are made of stone; but most of their components contain gypsum. It is found that the deterioration of ornaments is attributed to water penetration, biological colonization, micro and macro cracking and partial and (or) complete detachment from their supports. Many rehabilitation operations of architectural ornaments have failed to use the appropriate material for the needs of the project. The use of construction waste, particularly used brick, is currently widespread for such operations. For an efficient and sustainable use of these materials, an experimental study was conducted to investigate the influence of the content of waste brick on the physical and mechanical properties of gypsum mortar. The main variables in this study being the waste brick content and the substrate type. The Water/Mortar ratio of all mixes was kept constant to maintain a similar level of workability. Numerous tests were performed to evaluate the physical and mechanical behavior of the gypsum mortars, including bond test, X-ray and SEM analysis. The results obtained show that the bond strengths of the mortars are greater when the substrate is made of limestone compared to the substrate made of bricks. However, an excessive percentage of brick waste in the mortar can have negative effects and reduce the bond strength. Plaster mortars made with 75% waste brick should be recommended for the rehabilitation of architectural ornaments.

**Keywords:** Ornament; Plaster; Brick waste; Bond strength.

## 1. Introduction

Les ornements architecturaux sont considérés comme des éléments décoratifs utilisés pour orner les façades des bâtiments, et ils étaient souvent utilisés dans les styles Art nouveau et Art déco [1]

Il est rapporté que la détérioration des ornements est attribuée à la pénétration de l'eau, à la colonisation biologique, aux micro et macro fissures [2]. Une étude pathologique menée sur les ornements architecturaux des immeubles du centre ville de Mostaganem, au nord ouest de l'Algérie, a permis de définir les causes du décolllement de ces éléments (détachement partiel et



complet), qui sont principalement liées au comportement mécanique [3].

Il est constaté que la dégradation des ornements en plâtre montre plusieurs pathologies, à savoir le délitage des motifs<sup>1</sup>, l'apparition de micro fissures, l'apparition de grandes fissures ou de trous et, le décollement partiel et total des ornements architecturaux du support. Ce dernier représente la pathologie la plus remarquée [4, 5]. Le décollement de l'ornement en plâtre se produit en général sous l'action de son propre poids. Les forces d'adhésion et de cohésion dans la matrice de plâtre qui sont responsables de la fixation et l'attachement des éléments en plâtre à leurs supports doivent être assez importantes pour résister aux forces de traction responsables du décollement.

Il n'y a pratiquement aucune étude rigoureuse qui porte sur la recherche de la mise en valeur de ce patrimoine colonial et plus précisément la restauration de la modénature<sup>2</sup>, à travers la recherche d'un matériau innovant et écologique capable d'apporter un meilleur comportement vis-à-vis de l'adhérence de l'ornement à son support.

Dans la littérature sur le renforcement du plâtre, Eires a montré que l'incorporation de granulés de liège dans les mortiers offre une meilleure cohésion et un meilleur aspect de finition lorsqu'il est appliqué sur des plaques de plâtre pressées [6]. Des études récentes [7] ont démontrées que le comportement et les propriétés des mortiers de gypse sont liés à la taille et à la forme des granulats fins. La résistance diminue avec l'augmentation de la rugosité de surface de l'agrégat mais cela ne détériore pas la force d'adhérence.

L'objectif de cette recherche est d'étudier un nouveau matériau basé sur une matrice de plâtre pour la restauration des ornements architecturaux. L'effet de la teneur en briques sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier a été étudié. Ces propriétés comprennent la résistance à la compression, à la flexion, et à l'adhésion, l'absorption d'eau et la microstructure. Les résultats obtenus à partir de cette étude pourraient fournir une voie alternative pour la réutilisation des déchets de briques dans les mortiers de plâtre pour la restauration des ornements.

## 2. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette campagne expérimentale concernant le mortier composite se compose de plâtre (G), de sable naturel (SN), de déchet de brique (DB), d'eau potable du laboratoire et d'un superplastifiant (S).

Le plâtre de gypse utilisé est un produit commercial utilisé dans la construction, fabriqué par la société SIVAL<sup>3</sup> (Portugal) ayant une grande finesse et une masse volumique de 2960 kg.m<sup>-3</sup>.

Le sable naturel est un sable normalisé avec une granulométrie moyenne de 439,9 µm et une masse volumique de 2600 kg.m<sup>-3</sup> [8]. Le sable artificiel à base de déchet de brique utilisé dans ces essais a été obtenu après concassage à l'aide d'un concasseur, puis tamisé pour obtenir une taille similaire au sable naturel (Figure 1).

Le superplastifiant utilisé est le GLENIUM® SKY 617, ayant une masse volumique de 1050 kg.m<sup>-3</sup>.

L'absorption en eau des granulats de sable naturel et sable de déchet de brique est effectuée selon la norme (ASTM C188-17 2017) [9]. Les masses volumiques de ces matériaux ont été déterminées en utilisant la méthode du Volumétre<sup>4</sup> de Le châtelier avec du kérosène comme liquide non réactif avec le mélange (Figure 2).

<sup>1</sup> Dégradation en surface des motifs.

<sup>2</sup> Ensemble d'éléments qui constituent l'ornement d'une façade extérieure

<sup>3</sup> Pour plus de détails sur le matériau, se référer au site [www.sival.pt](http://www.sival.pt).

<sup>4</sup> Ou Densitromètre de Le châtelier



Figure 1. Fabrication du déchet de brique en terre cuite et l'appareil de concassage utilisée.



Figure 2. Absorption des grains de sable et de déchet de brique par le kérosène.

### 3. Caractérisation des matériaux

La caractérisation des matériaux a été effectuée selon la norme BSI 2012 [10]. L'analyse granulométrique des deux sables est illustrée par la figure 3.

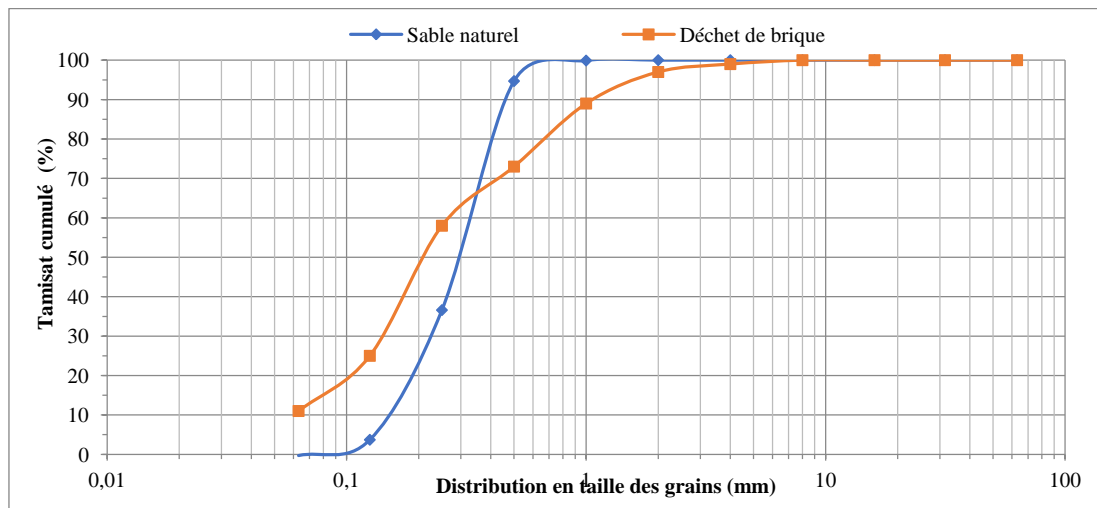


Figure 3. Granulométrie du sable naturel et du sable de déchet de brique.

Les particules des deux matériaux passent au travers d'un tamis de 4,74 mm et plus de 50 % d'entre elles sont inférieures à 0,74 mm, ce qui conduit à considérer les matériaux comme du sable fin. Selon leur coefficient d'uniformité et de courbure ( $C_u$ ,  $C_c$ ), DB présente un matériau bien calibré par rapport au SN. Cela générera une bonne répartition des particules dans le mélange de

mortier et créera moins de pores vides. On peut s'attendre à un comportement mécanique correct pour le mortier réalisé avec DB.

Le coefficient ou taux d'absorption (%), défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion dans l'eau pendant 24

heures à 22° C jusqu'à saturation à la masse sèche de l'échantillon, est donné par :

$$P = \frac{(M_1 - M_3)}{(M_1 - M_2)} \times 100 \quad (1)$$

avec M1 la masse de l'éprouvette saturée dans l'air, exprimée en grammes; M2 la masse hydrostatique de l'échantillon saturé, exprimée en grammes ; M3 la masse de l'échantillon sec, exprimée en grammes (Tableau 1).

Tableau 1  
Détail de calcul du taux d'absorption des deux sables étudiés.

Matériel	Masse des éprouvettes (g)			Pourcentage d'absorption d'eau
	M1	M2	M3	
Sable naturel	508,30	306,35	498	5,10
Déchet de brique	500,78	273,86	454,9	20,22

On constate que le déchet de brique absorbe près de quatre fois la quantité d'eau absorbée par le sable naturel. Selon cette observation, on s'attend à une différence dans le comportement rhéologique et mécanique du mélange avec et sans déchet de brique.

Pour la formulation des mortiers, il a été procédé à un remplacement graduel du poids du sable naturel de 25 %, 50 %, 75 % et 100 %. Le détail de la composition des mélanges est donné dans le Tableau 2.

Tableau 2  
Constitution des cinq mélanges de mortier pour 1 m<sup>3</sup>.

	SN % : DB %	E/G	G (g)	SN (g)	DB (g)	SP (g)	E (g)
M 1	100 : 0	0,40	800	976,20	0,00	40	270,67
M 2	75 : 25	0,45	800	650,14	216,71	40	283,02
M 3	50 : 50	0,50	800	381,21	381,21	40	297,52
M 4	25 : 75	0,52	800	180,16	540,48	40	303,48
M 5	0 : 100	0,55	800	0,00	660,74	40	306,40

#### 4. Caractérisation du mortier par DRX

La diffraction des rayons X sur poudre (DRX) a été réalisée sur un Bruker® D8 Discover<sup>5</sup> avec un rayonnement Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$ ) à 40 kV et 40 mA, en mode  $\theta/2\theta$ . Chaque échantillon a été scanné de 5° à 90° à une vitesse de 0,04° s<sup>-1</sup> ([International Center for Diffraction Data](http://www.icdd.com))<sup>6</sup> [11].

#### 5. Programme expérimental

L'étude expérimentale est réalisée en considérant en premier lieu le pourcentage de remplacement du déchet de brique dans le mortier de plâtre. L'effet du taux de substitution du déchet de brique dans le dit mortier sur son comportement physique et mécanique est évalué à travers les essais de traction, compression et adhésion effectués [12].

Le test d'arrachement a été utilisé, conformément à la norme EN 1015-12 [13], pour mesurer la force d'adhérence du mortier sur son support. La méthode consiste à arracher un disque métallique hourdé d'un mortier de plâtre de 15 mm d'épaisseur sur un substrat.

Les tests d'adhérence sont appliqués sur les cinq mortiers préparés : M1, M2, M3, M4 et M5 placés sur deux types de supports, à savoir la pierre de calcaire et la maçonnerie de brique.

Le mortier est appliqué sur la surface des deux supports (5 briques et 5 pierres de calcaire) à l'aide de deux plaques de bois et conservé pendant 28 jours (Figure 4).



Figure 4. Pose du mortier sur les supports

Après 28 jours de la prise du mortier, on enlève les deux planches et on trace six (06) cercles avec une distance de 2,5 cm entre les cercles, après on creuse autour de ces cercles afin d'obtenir des disques de mortier de dimensions 50×20 mm<sup>2</sup> en carottant jusqu'à atteindre la surface du support. On procède au nettoyage des trous de la poussière à l'aide d'un nettoyeur à air à haute pression afin d'obtenir des surfaces lisses. Un disque métallique de diamètre Ø50 mm est collé avec une résine époxy sur le disque de mortier et on laisse la résine sécher pendant 24 heures. La procédure de préparation des échantillons est illustrée sur la figure 5.

Au cours du test d'adhérence, une inspection optique a été effectuée sur la surface où le mortier a été appliqué dans le but d'évaluer le mode de rupture entre le mortier

<sup>5</sup> <https://www.bruker.com/fr.html>

<sup>6</sup> <https://www.icdd.com>



et le substrat. On applique la charge de traction perpendiculairement à la zone d'essai à travers les plaques de tête de traction au moyen de la machine présentée sur la figure 6.



Figure 6 : Dispositif de l'essai d'adhésion



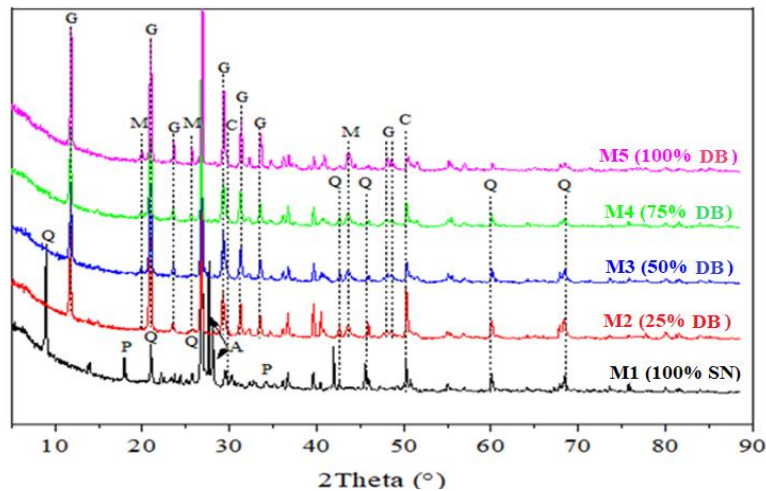
Nettoyage de la surface des trous    Collage du disque métallique

Figure 5 : Mise en œuvre des échantillons pour le test d'adhérence

## 6. Resultats et discussion

### 6.1. Diffraction aux Rayons X (DRX)

Les pics du mortier M1 (100 % SN) présentent certaines phases minérales telles que le quartz, l'albite, la portlandite et la calcite comme principales phases cristallines. Les quatre autres mélanges présentent la disparition de la phase principale du quartz avec la diminution de la teneur en sable naturel dans les échantillons. La trace du plâtre était présente dans les échantillons renfermant le DB, alors qu'elle n'y était plus dans l'échantillon de mortier incorporant le sable naturel. Cela peut s'expliquer par la présence de sable qui cache la phase du gypse. Les échantillons présentent également le reflet de la phase calcite et la phase muscovite, qui sont probablement les phases majeures du déchet de la brique. L'augmentation de leur reflet avec l'augmentation de la teneur en déchet de brique dans le mélange peut éventuellement expliquer mieux les résultats d'adhérence retrouvés plus tard (Figure 7).



Q: Quartz, P: Portlandite, A: Albite, C: Calcite, G: Gypse, M: Muscovite  
Figure 7 : Analyse de diffraction des rayons X des échantillons de mortiers après 28 jours de durcissement

L'apparition de la phase portlandite dans le mortier contenant uniquement du sable et sa disparition dans le mortier renfermant le DB peut signifier que cette phase

a été probablement consommée par le déchet de brique

donnant des phases de CSH<sup>7</sup> supplémentaires. Cette observation peut probablement indiquer le comportement pouzzolanique du déchet de brique. Cependant, la phase C-S-H n'a pas été détectée dans les profils DRX, ce qui peut conduire à deux hypothèses ; soit les C-S-H formés sont amorphes, soit la quantité de C-S-H est trop faible pour être détectée par l'analyse DRX.

En revanche, la diffraction des rayons X des échantillons réalisés avec le DB n'a montré aucune trace d'autres nouvelles phases cristallines ; par conséquent, il est raisonnable de dire que le déchet de brique n'a pas eu de réaction chimique avec le plâtre après le malaxage.

### 6.2. Résistance à la traction par flexion

La résistance à la traction par flexion a été mesurée sur des éprouvettes 4×4×16 cm<sup>3</sup> jusqu'à l'échéance de 28 jours. La moyenne arithmétique des valeurs les plus proches a été retenue comme résistance moyenne à la traction par flexion (Figure. 8).

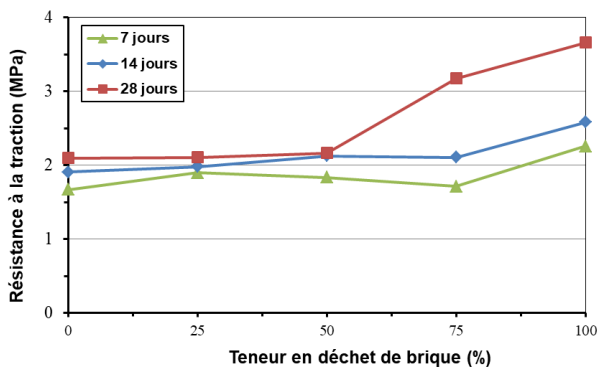


Figure 8. Résistances à la traction par flexion des mortiers de plâtre

De la figure 8, on constate que la meilleure résistance à 7 jours est enregistrée par M5 avec 2,26 MPa, après M2 et M3 avec des résultats très proches (1,89 et 1,83 MPa), la faible résistante étant enregistrée par M1 avec 1,67 MPa. Cela prouve que l'introduction des déchets de brique dans le mélange de plâtre a une influence positive sur la résistance à la traction au jeune âge. A 14 jours, nous remarquons aussi que les résultats de la résistance à la traction de

M1/M2/M3/M4 sont aussi presque similaires, à l'exception du M5 qui représente la meilleure résistance. Le mortier M5 contient seulement des déchets de brique, comme si la présence de sable empêche le développement des résistances. A 28 jours, on constate que les résultats varient entre 2,10 et 2,17 MPa pour M1/M2/M3, mais on remarque que M4 enregistre des bons résultats de traction avec 3,17 MPa. La meilleure résistance est toujours fournie par l'échantillon M5 mentionné avec 3,66 MPa.

L'évolution de la résistance à la traction des mortiers de plâtre avec la teneur en DB en fonction de l'âge est illustrée dans la figure 8. On enregistre une très légère augmentation de la résistance de traction entre 7, 14 et 28 jours en moyenne de 5 % pour les mortiers M1, M2 et M3 ; en revanche, le mortier M4 et M5 montrent de meilleurs résultats à l'âge de 28 jours avec un accroissement de plus de 50 %.

Il semble que lorsque le taux de remplacement de la brique usagée est égal ou inférieur à 50 %, aucun effet significatif de la présence de la brique usagée n'est observé sur le comportement en flexion des mortiers. Au-delà de cette teneur, les mortiers commencent à montrer une corrélation manifeste entre le taux de DB et la résistance à la traction en particulier à 28 jours. Probablement le taux élevé de déchet de brique engendre une activation au niveau des réactions d'hydratation du mélange de plâtre.

### 6.3. Résistance à la compression

La résistance à la compression des échantillons de mortiers a été mesurée sur des demi-éprouvettes obtenues après l'essai de traction par flexion (si celles-ci ne sont pas endommagées). Ces mesures ont donc été effectuées sur six (06) cubes. La moyenne arithmétique des valeurs les plus proches a été retenue comme résistance à la compression.

Selon la figure 9, on constate que la faible résistance à 7 jours est enregistrée par le mortier M1 avec 3,46 MPa et la meilleure résistance est enregistrée par M5 avec 6,78 MPa. Cette dernière est supérieure de 50 % par rapport au mortier de référence M1 et 30 % par rapport au mortier M4. En général, on remarque que plus l'augmentation du dosage de DB dans le mélange est élevée, plus les mortiers donnent une résistance importante à l'exception du mortier M2 (de valeur 4,48 MPa). La corrélation entre l'évolution de la

<sup>7</sup> Le Silicate de calcium hydraté (en anglais, Calcium Silicate Hydrate ou CSH)

résistance à la compression et le pourcentage d'incorporation du DB est remarquable à 14 jours, la différence de cette augmentation la plus élevée est enregistrée entre M1 et M2 avec un taux de plus de 23 %. Ceci prouve que l'introduction du déchet de brique dans le mélange pour la première fois engendre une modification de la résistance du mortier. Plus le dosage du DB est important, plus la résistance est grande. Ceci peut être attribué à la distribution en taille des grains de déchets de brique. Le pic d'augmentation est important entre M1 et M2 avec plus de 22 %, les valeurs de M2/M3/M4 sont respectivement de 6,89, 6,93 et 7,35 MPa avec un accroissement très léger, la meilleure résistance à la compression est enregistrée par le mortier M5 avec 8,05 MPa.

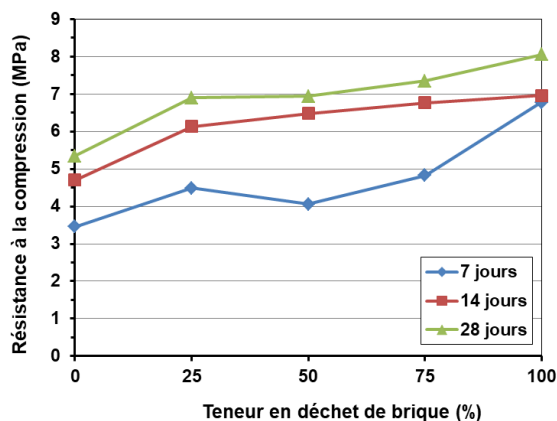


Figure 9. Résistances à la compression des mortiers en fonction de l'âge.

Le remplacement de 25 % de SN par 25 % de DB dans les mortiers de plâtre améliore la résistance à la compression d'environ 30 %. Cette contribution positive peut être attribuée à la distribution granulométrique. Selon les résultats trouvés sur la résistance à la compression, il est possible de remplacer entièrement le SN par le DB sans aucun effet nuisible. Il faut signaler qu'une résistance à la compression d'environ 8 MPa à 28 jours est suffisante pour résister à la charge de l'ornement [14].

#### 6.4. Adhésion

Le plâtre est connu pour avoir des résistances à la compression et à la traction faibles. C'est pour cette raison que son utilisation est limitée seulement aux travaux de revêtement et de décoration. Cependant,

l'adhérence est connue pour être l'une des propriétés les plus importantes des performances mécaniques du mortier à base de plâtre utilisé comme matériau décoratif.

La figure 10, montre les résultats de l'adhérence des mortiers étudiés sur deux supports de nature différente. On constate que l'adhérence des mortiers de plâtre augmente avec l'augmentation du taux de remplacement de déchet de brique pour les deux supports. La valeur maximale de l'adhérence est atteinte au taux de 75 % de DB pour les deux supports. De plus, l'adhérence des mortiers est meilleure lorsque le support est en calcaire. Cependant, un pourcentage excessif de déchet de brique dans le mortier peut entraîner des effets indésirables et réduire l'adhérence (100 % DB).

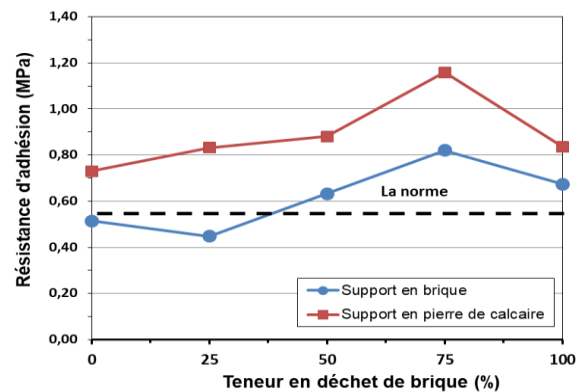


Figure 10. Adhérence des mortiers à 28 jours sur support en brique de terre cuite et pierre calcaire.

On remarque que, l'adhérence obtenue par le mortier M1 est de 0,73 MPa ; tandis que la meilleure adhérence est enregistrée par le mortier M4 avec 1,16 MPa, soit une augmentation de 37 % par rapport au mortier de référence.

En général, tous les résultats d'adhérence obtenus sont tout à fait satisfaisants, puisqu'ils dépassent la valeur seuil requise pour le plâtre décoratif (0,57 MPa) [14] à l'exception des mortiers M1 et M2 lorsque le support est en brique. La présence du déchet de brique a amélioré l'adhérence du mortier de plâtre, ce qui a entraîné une amélioration de la résistance aux fissures dans ce mortier. Il est à conclure que 75 % de DB est la valeur optimale pour le taux de remplacement du déchet de brique pour l'obtention d'un mortier qui peut être appliqué à la réhabilitation des ornements architecturaux.

### 6.5. Interface mortier et le support

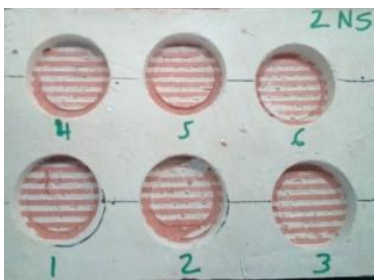
Le tableau 3 résume les observations visuelles des tests d'adhérence réalisés sur des mortiers d'enduits enduits (âgés de 28 jours) après rupture entre le mortier et le support. On peut voir que toutes les ruptures se produisent entre le substrat et le mortier (appelées ruptures adhésives) et qu'aucune rupture ne se produit dans le mortier (appelées ruptures cohésives). Par exemple, une rupture d'interface de 90 % signifie que seulement 10 % du substrat est séparé et scellé avec du mortier. Le principe est de tourner la pièce, de regarder la surface du mortier, et de voir le pourcentage de matériau de base attaché au mortier. Plus l'épaisseur et la surface du matériau de base sur le mortier sont importantes, plus la force d'adhérence est importante.

Pour les deux supports, il n'y a pas de rupture cohésive, toutes les ruptures se situent entre le substrat et la couche de mortier. Ceci confirme que l'incorporation de DB dans le gypse a un effet positif sur la force d'adhérence du mortier. Ceci constitue l'une

des solutions à utiliser pour lutter contre le détachement des ornements architecturaux (Figure 11).

Tableau 3  
Mode de rupture sur les deux supports

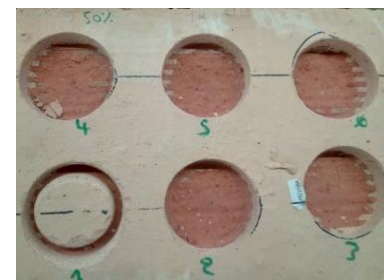
Identification	Mortier	Mode de rupture	% de rupture
Support En Brick	M1 (0%DB)	Rupture adhesive	100% interface
	M2(25%DB)	Rupture adhesive	90% interface
	M3(50%DB)	Rupture adhesive	80% interface
	M4(75%DB)	Rupture adhesive	80% interface
	M5(100%DB)	Rupture adhesive	90% interface
Support En pierre De calcaire	M1 (0%DB)	Rupture adhesive	100% interface
	M2(25%DB)	Rupture adhesive	90% interface
	M3(50%DB)	Rupture adhesive	80% interface
	M4(75%DB)	Rupture adhesive	80% interface
	M5(100%DB)	Rupture adhesive	90% interface



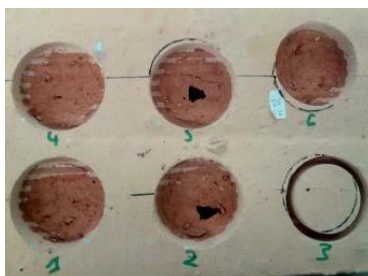
Mortier 1 (0 % DB)/Interface du support  
0 % détachement au support



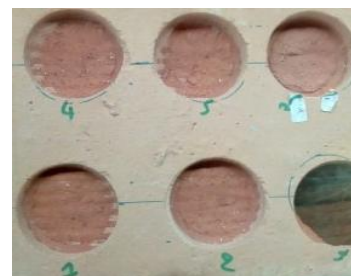
Mortier 2 (25 % DB)/ Interface du support  
70 % détachement au support



Mortier 3 (50 % DB)/ Interface du support  
85 % détachement au support



Mortier 4 (75 % DB)/ Interface du support  
85 % détachement au support



Mortier 5 (100 % DB)/ Interface du support  
95 % détachement au support

Figure 11: Observations visuelles sur le mode de rupture



## 7. Conclusion

L'utilisation des déchets de brique (DB) dans la production d'un mortier de plâtre destiné à la réhabilitation d'ornements décoratifs, a été évaluée dans cette étude. Les conclusions les plus importantes sont résumées comme suit :

- 1- Les échantillons réalisés avec DB n'ont montré aucune trace d'autres nouvelles phases cristallines. On pense que le DB n'a pas eu de réaction chimique avec le plâtre après le malaxage et son effet n'est que physique.
- 2- Lorsque le taux de remplacement de déchet de brique est égal ou inférieur à 50 %, aucun effet n'est observé qui est dû à la présence de DB sur le comportement en flexion des mortiers. Au-delà de cette teneur, les mortiers commencent à montrer une corrélation substantielle entre le taux de DB et la résistance à la traction en particulier à 28 jours.
- 3- Plus l'augmentation du dosage de déchet de brique (DB) dans le mélange est élevée, plus les mortiers donnent une résistance à la compression importante à l'exception du mortier M2. Le remplacement de 25 % de SN par 25 % de DB dans les mortiers de plâtre améliore la résistance à la compression d'environ 30 %. Cette contribution peut être attribuée à la finesse de mouture de DB.
- 4- La présence de DB dans le mortier de plâtre a amélioré leur adhérence, ce qui peut entraîner une amélioration de la résistance à l'apparition de fissures. Le taux de 75 % de déchet de brique constitue la valeur optimale pour le remplacement de SN par DB pour obtenir un mortier qui peut être appliqué à la réhabilitation des ornements architecturaux. La force d'adhésion du mortier est meilleure avec le support de pierre de calcaire qu'avec celui du support en brique de terre cuite.

## References

1. Koetz L. et Thibault E., Ornement architectural et expression constructive : concepts d'hier et débats d'aujourd'hui, [HTML] : Images re-vues, 10 (2012). <https://journals.openedition.org/imagesrevues/2386>. DOI : <https://doi.org/10.4000/imagesrevues.2386>
2. Cotrim H., M. do R. Veiga, J. de Brito, Freixo palace: rehabilitation of decorative gypsum plasters, Constr. Build. Mater., 22 (2008) : 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.060>
3. Beldjilali S., Etude architecturale des ornements architecturaux des façades coloniales françaises : cas d'étude le centre ville de Mostaganem, African and Mediterranean Journal of Architecture and Urbanism, 3-2 (6) (2021) . <https://doi.org/10.48399/IMIST.PRSM/amjau-v3i2.27086>
4. Nadian-Ghomsheh A., Farahani B. and Kavian M, A hierarchical privacy-preserving IoT architecture for vision-based hand rehabilitation assessment, Multimedia Tools and Applications, 80 (2021): 31357-31380. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10563-2>
5. Beldjilali S., Bougara A., Bouhamou N-E., Architectural ornaments of colonial towns in Algeria: the case of Mostaganem, Int. Soc. Study Vernac. Settlements, 7 (2020) : 1–11. [https://www.researchgate.net/publication/360688798\\_Architectural\\_Ornaments\\_of\\_Colonial\\_Towns\\_in\\_Algeria\\_The\\_Case\\_of\\_Mostaganem](https://www.researchgate.net/publication/360688798_Architectural_Ornaments_of_Colonial_Towns_in_Algeria_The_Case_of_Mostaganem) (Consulté le 02/06/2022).
6. Eires R., Camões A., Jalali S., Eco-friendly construction materials using gypsum and industrial wastes, In. Challenge of the industry for the new millennium : proceedings of the Sustainable Construction, Materials and Practices Conference (Portugal SB07), Lisboa, Portugal, 2007". Amsterdam: IOS Press, 2007. ISBN 978-1-58603-785-7. pt. 2, p. 942-949. <http://hdl.handle.net/1822/7576> (Consulté le 23/05/2022).
7. Jitka K., Magdalena D., Radka P., Petr S. & Alena V., The influence of different aggregates on the behavior and properties of gypsum mortars, Cement and Concrete Composites, 92 (2018): 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.06.007>
8. Cunha S., Aguiar J.B., and Pacheco-Torgal F., Effect of Temperature on Mortars with Incorporation of Phase Change Materials, Construction and Building Materials, 98 (2015) : 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.077>.
9. ASTM C188-17, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, 95 (Reapproved) (2017) : 1–3. <https://doi.org/10.1520/C0188-17>.
10. EN 933-1: Tests for Geometrical Properties of Aggregates Part 1: Determination of Particle Size Distribution - Sieving Method." British Standards Institution, 3 (1) (2012) : 1–7. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/100b983f-85a4-4a80-934c-e93c584dbdb4/en-933-1-2012> (Consulté le 11/09/2022)
11. De Aguiar J.B, Civil Engineering Department. 2019. "Technical Report : Microstructural and Crystallographic Characterization of Mortars." SEMAT/ University of Minho [Texte imprimé].
12. Cassar JA., Torpiano A., Zammit T. and Micallef A., Proposal for the Nomination of Lower Globigerina Limestone of the Maltese Islands as a "Global Heritage Stone Resource", Episodes Journal of International Geoscience, 40 (3) (2017) : 221–31. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i3/017025>.
13. European Committee for Standardization (CEN). 2000. "Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 12: Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates". [HTML]: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/2c3a36e8-3b1d-4568-a40e-f2cb01e275cc/en-1015-12-2000> (Consulté le 15/12/2022).
14. Li H., Dong L., Jiang Z., Yang X., Yang Z., Study on Utilization of Red Brick Waste Powder in the Production of Cement-Based Red Decorative Plaster for Walls, Journal of Cleaner Production, 133 (2016) : 1017–26. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.149>.

