
Réparation d'un mur maçonné avec un TRM innovant

J.-P. Plassiard¹, O. Plé¹, P. Perrotin¹

Univ. Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, LOCIE 73000, Chambéry, France

jean-patrick.plassiard@univ-smb.fr

RÉSUMÉ. Cette étude exploratoire présente une série d'essais effectués sur un composite à destination du bâtiment, et de la protection vis-à-vis du risque sismique notamment. L'association d'un mortier de réparation et d'une grille en acier inoxydable vise notamment à favoriser le comportement ductile. Des essais de caractérisation permettent de vérifier le bon fonctionnement du composite sur son support et d'optimiser son épaisseur. L'application de cette solution à un mur maçonné, endommagé au préalable, est ensuite présentée. Le mur est sollicité suivant un essai pushover afin de représenter l'effet d'une sollicitation sismique. Le comportement du mur réparé est comparé à celui du mur nu en termes de résistance, de raideur et de ductilité.

ABSTRACT. This exploratory study focuses on a series of tests performed on a composite that is devoted to the building structure. A repair mortar and a stainless steel grid are combined in order to emphasize the ductility behaviour. Characterisation tests allow to verify the proper functioning of the composite on its support and to optimize its thickness. The application of this solution to a masonry wall, previously damaged, is then presented. The wall is solicited according to a pushover test that represents the effect of a seismic solicitation. The behavior of the repaired wall is compared to that of non repaired wall in terms of resistance, stiffness and ductility

MOTS-CLÉS : un maximum de six mots significatifs : mur maçonné, réparation, composite, grille d'acier inoxydable, ductilité.
KEYWORDS: a maximum of six significant words: masonry wall, repair, composite, stainless steel grid, ductility.

1. Introduction

Dans un contexte de réhabilitation des bâtiments, la réparation et le renforcement structurels ont un rôle important à jouer. La technique consistant à ajouter localement un composite sur la surface du bâtiment existant est développée depuis plusieurs décennies. La fibre de carbone est encore largement utilisée en génie civil mais présente des contraintes d'ordre sanitaire et une faible résistance au feu, peu compatibles avec le bâtiment [BUI 2015]. Des techniques alternatives ont été développées, associant une matrice inorganique avec des fibres diverses, comme le carbone ou le verre [BAB 17]. Ces techniques présentent généralement un comportement élastique bilinéaire suivi d'une rupture de type fragile. De plus, la fissuration par traction au sein du composite est généralement localisée. La capacité d'une structure à dissiper l'énergie sismique doit dans ce cas être intrinsèque à la structure de base, ce qui n'est pas forcément le cas pour la maçonnerie. Dans ce cas, la capacité de dissipation énergétique au sein même du composite se révèle utile.

En ce sens, un composite de réparation / renforcement a été développé au laboratoire LOCIE [CON 15]. Il s'agit de l'association d'un mortier de réparation commercial et d'une grille constituée de mono filaments ondulés en acier inoxydable. La grille en acier offre une grande ductilité tandis que le mortier a été choisi pour ses vertus de résistance au feu. Il est constitué de liants hydrauliques, de fibres et possède une granulométrie comprise dans l'intervalle [0 ; 1,5mm]. Les données du fournisseur indiquent que la résistance en compression à 28 jours vaut 35 MPa tandis que la résistance à la traction vaut 7,5 MPa. La grille possède une maille de 6mm de côté, formée par des fils de 1mm de diamètre. Les essais de traction préliminaires ont montré que sa raideur initiale vaut 1150 kN/m et sa résistance à la traction vaut 80 kN/m. Les essais de traction réalisés ont permis d'atteindre des déformations de l'ordre de 20 à 30%, assurant la capacité de ductilité nécessaire.

Le paragraphe qui suit présente les essais matériaux ayant permis de définir la géométrie du composite convenant pour contribuer à une reprise d'effort adéquate. Des essais d'arrachement du composite ont été réalisés sur des éprouvettes de deux épaisseurs différentes. Ces résultats sont ensuite exploités pour réparer un mur maçonné constitué de briques monomur, qui a été, préalablement, endommagé. La comparaison des états sain, endommagé et réparé permet de vérifier l'efficacité du composite sur un élément représentatif d'une structure.

2. Essais sur composite

La caractérisation du composite a été entreprise sur un essai nommé « essai 2 en 1 » (Figure 1). La traction exercée sur la partie libre du composite permet de déterminer la résistance à la traction du composite ainsi que sa résistance à l'arrachement de son support. Le support est constitué de deux briques monomur collées avec du mortier de joint mince. Le composite est ensuite réalisé en trois phases : une demi épaisseur de mortier est serrée à la truelle dans un moule PVC placé sur les briques et un support, servant à réaliser la partie libre du composite. La grille d'acier inoxydable est alors marouflée dans la couche de mortier. Une seconde passe de mortier serré permet d'achever le composite. Le composite possède une largeur de 10cm pour une longueur d'accroche de 50cm et une partie libre de 50cm. Durant le test, 25cm de la partie libre sont utilisés pour le dispositif de serrage, si bien que l'étude du phénomène de traction est réalisée sur une longueur de 25cm. Deux épaisseurs de composite ont été testées durant cette phase : 6mm et 10mm. La Figure 1 montre la courbe effort – déplacement obtenue lors d'un essai pour l'épaisseur de 6mm. Elle présente une phase linéaire initiale jusqu'à 4 kN, suivie d'une seconde phase linéaire jusqu'à 6kN environ. Une importante ductilité est observée et l'effort est maintenu même pour des déplacements de 80mm. Le redressement progressif de l'ondulation des fils orientés dans le sens de la sollicitation, allié au confinement donné par la matrice cimentaire confère au composite cette caractéristique. Les cycles de décharge – recharge effectués indiquent également que la raideur reste élevée et que le composite présente une bonne capacité à dissiper de l'énergie. L'évolution de la fissuration du composite en lien avec le chargement est présentée dans la Figure 1 (a, b, c). La fissuration est diffuse avec une répétition régulière de fissures. Au-delà des déplacements de 5mm, les éprouvettes de 10mm d'épaisseur n'ont pas montré d'amélioration notable en termes de résistance ou de rigidité, par rapport à celle de 6mm. Cette dernière épaisseur est donc choisie pour réaliser la réparation à l'échelle du mur maçonné. Dans une perspective de mise en œuvre, cette solution pourra être facilement associée à un enduit de façade.

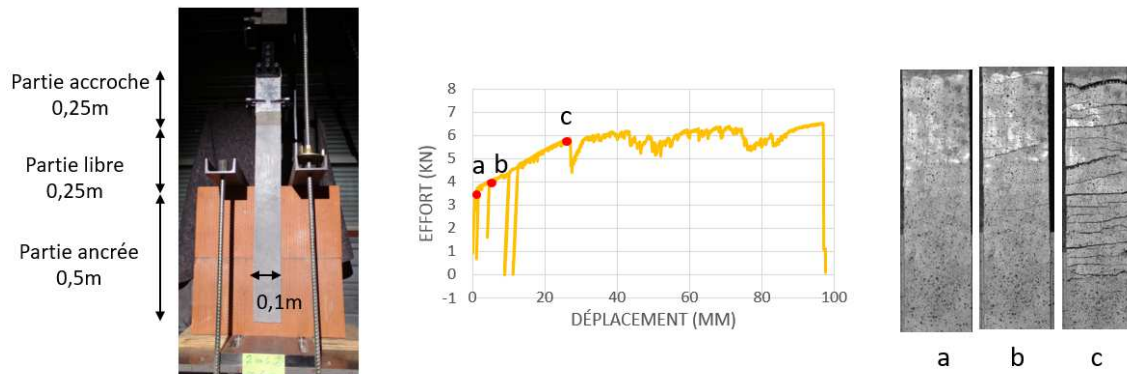


Figure 1. Configuration d'essai 2 en 1, courbe force – déplacement pour une éprouvette de 6mm d'épaisseur et évolution des fissures dans le composite.

3. Essais sur mur

Les essais sont réalisés sur un mur maçonné constitué de briques monomur, construit sur une longrine en béton armé (Figure 2). Une seconde longrine est ajoutée en partie supérieure de mur afin de pouvoir appliquer l'ensemble des conditions limite durant l'essai. La hauteur et la longueur du mur sont de 1,5m tandis que son épaisseur mesure 0,2m. Les briques sont manufacturées et mesurent 299mm de hauteur pour 500mm de longueur et 200mm d'épaisseur. Leur résistance moyenne à la compression est égale à 8 MPa dans la direction perpendiculaire à la face de pose. Ce mur est collé au mortier de joint mince. Ces murs ont été construits dans le cadre de travaux portant sur la réhabilitation de maçonnerie ancienne, pour lesquelles les joints verticaux étaient des joints secs. Le bâti de chargement est un portique métallique constitué de profilés HEB400 (Figure 2). L'essai réalisé correspond à un essai pushover, appliqué au rez de chaussée d'un bâtiment de type R+1. La poutre inférieure du mur est placée dans des mors de serrage. Sa stabilité durant l'essai est assurée par des dispositifs d'anti glissement et d'anti basculement. Deux vérins électriques (VE1 et VE2) sont disposés sur la traverse afin d'appliquer un effort de précontrainte verticale, qui sera maintenu constant durant tout l'essai grâce à l'asservissement des vérins en effort. La charge appliquée vaut 200 kN et correspond à la charge transmise par l'étage supérieur sur le mur. Un système de rouleau est placé sur la poutre supérieure afin de libérer les déplacements horizontaux en tête de mur. Le vérin horizontal (VH), placé latéralement, est piloté en déplacement. Il applique un déplacement de 1mm/min afin que la sollicitation horizontale soit quasistatique. Des comparateurs de déplacement sont ajoutés pour vérifier le bon fonctionnement et vérifier que le glissement, le basculement et le mouvement hors plan du mur reste limité. Une caméra haute précision est placée face au mur afin d'acquérir des images régulières de la face avant. Ce dispositif sert à postériori pour étudier l'apparition des fissures grâce à un logiciel de corrélation d'images. Cet essai de réparation comprend plusieurs phases expérimentales : un premier essai pushover dont le but est d'endommager la maçonnerie en appliquant le déplacement horizontal jusqu'à atteindre la résistance du mur. Une seconde phase de réparation, durant laquelle le chargement vertical est maintenu. Cela comprend à la fois la phase de confection de la réparation ainsi que la durée de montée en résistance. L'objectif de cette approche est d'éviter qu'une partie de l'effort vertical appliqué ne transite pas le matériau de réparation. Une dernière phase au cours de laquelle le mur réparé est à nouveau sollicité avec un essai pushover.

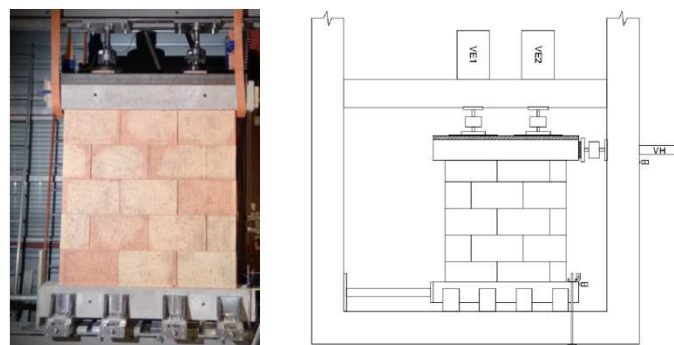


Figure 2. Mur testé et configuration d'essai pushover.

Les courbes force - déplacement du mur nu et du mur réparé sont présentées dans la Figure 3. La réponse du mur nu est linéaire jusqu'à 50 kN et atteint sa résistance maximale pour 76 kN. Les déformations de cisaillement indiquent que la fissuration est située dans le quart inférieur droit laissant supposer que la résistance en flexion et en cisaillement du mur sont toutes deux atteintes durant l'essai. La réparation a été réalisée de manière analogue à la confection des éprouvettes de caractérisation. Les deux faces du mur ont été réparées, pour des raisons de stabilité hors plan. Cette réparation a été réalisée localement, dans une zone située à 15cm de la fissuration (Figure 4). La courbe force - déplacement du mur réparé indique que la charge maximale est égale à 83 kN, soit un gain de 10% en terme de résistance. On observe également une raideur initiale plus importante pour le mur réparé que pour le mur nu. On constate également que la ductilité du mur réparé est plus importante, conférant au mur une meilleure capacité à dissiper l'énergie. Les déformations déduites de la corrélation d'images indiquent que la zone réparée est peu endommagée et que la fissuration a été repoussée en dehors de la zone réparée.

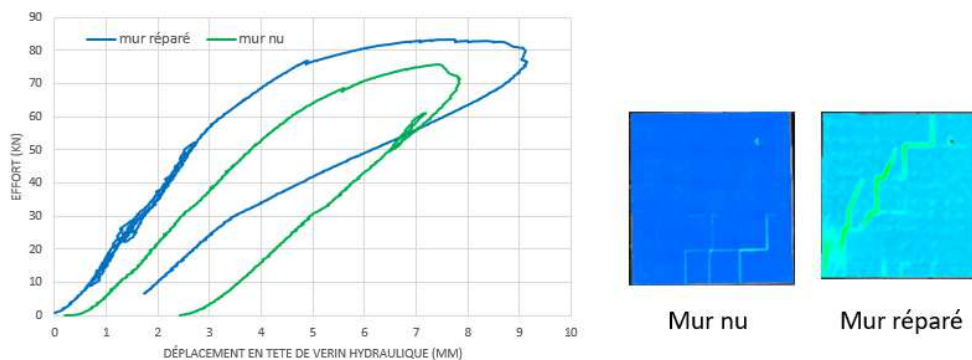


Figure 3. Courbes force – déplacement en tête de mur pour le mur nu et le mur réparé, déformations de cisaillement au déplacement maximal pour les deux configurations.

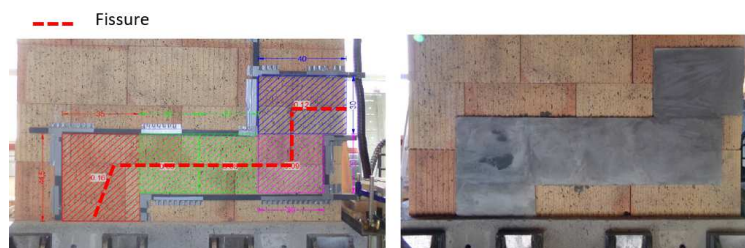


Figure 4. Coffrage autour de la fissure et réparation après la période de cure.

4. Conclusion

L'étude d'un composite de réparation à base de matrice cimentaire et d'une grille d'acier inoxydable a été présentée. Les essais 2 en 1 ont permis de vérifier son bon fonctionnement et d'optimiser l'épaisseur du composite. Son application à un mur maçonné pré-endommagé a montré un regain de 10% de résistance du mur ainsi qu'une meilleure rigidité et ductilité. De nouvelles expérimentations sont désormais nécessaires pour établir l'intérêt de cette technique vis-à-vis du risque sismique.

5. Bibliographie

- [BUI 15] BUI T. L., LARBI A. S., REBOUL N., FERRIER E., « Shear behaviour of masonry walls strengthened by external bonded FRP and TRC », *Composite Structures*, vol. 132, p. 923-932..
- [BAB 17] BABATUNDE A., « Review of strengthening techniques for masonry using fiber reinforced polymers », *Composite Structures*, vol. 255, p. 161-246.
- [CON 15] CONTAMINE R., PLASSIARD J.-P., PERROTIN P., « Confrontation de composites textile-mortier (TRC) à renfort carbone ou acier pour le renforcement d'éléments de maçonnerie », *RGCU 2015*, Anglet, France.