

---

# Caractérisation expérimentale du comportement de murs maçonnés renforcés par matériaux composites sollicités en fatigue dans leur plan

REBOUL Nadège<sup>1</sup>, MESTICOU Zyed<sup>2</sup>, SI LARBI Amir<sup>3</sup>, FERRIER Emmanuel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> LMC2, IUT Lyon 1, 82 boulevard Niels Bohr, 69100 Villeurbanne, France, [nadege.reboul@univ-lyon1.fr](mailto:nadege.reboul@univ-lyon1.fr)

<sup>2</sup> LTDS, ENISE, 58 rue Jean Parot, 42000 Saint-Etienne, France, [zyed.mesticou@enise.fr](mailto:zyed.mesticou@enise.fr)

<sup>3</sup> LTDS, ENISE, 58 rue Jean Parot, 42000 Saint-Etienne, France, [amir.si-larbi@enise.fr](mailto:amir.si-larbi@enise.fr)

<sup>4</sup> LMC2, IUT Lyon 1, 82 bd Niels Bohr, 69100 Villeurbanne, France, [emmanuel.ferrier@univ-lyon1.fr](mailto:emmanuel.ferrier@univ-lyon1.fr)

---

*RÉSUMÉ.* Ce travail consiste en une étude expérimentale du comportement de murs maçonnés sollicités dans leur plan. Une série de cinq murs maçonnés a été réalisée, se composant d'un mur témoin non renforcé et de quatre murs renforcés par collage externe de matériaux composites, soit de type FRP (polymères renforcés par des fibres), soit de type TRC (composite textile-mortier). Chaque mur a été soumis à une charge de compression verticale ainsi qu'à des cycles de déplacement alternés jusqu'à rupture. Cet article présente les résultats en termes de charge / déplacement, analyse les modes d'endommagement et de rupture des différents murs et procède à une étude comparative en termes de rigidité et d'évolution de cette rigidité au cours des cycles, de capacité portante, de ductilité pour mettre en lumière les apports et les limitations des différents matériaux de renforcement.

*ABSTRACT.* This study presents the results of an experimental campaign on masonry walls to characterize their behaviour under in-plane solicitations. A series of five walls has been built, including one reference wall and four walls reinforced with externally bonded composites which are either FRP-composites (fiber reinforced polymer) or TRC-composites (textile reinforced mortar). Each wall has been tested under a vertical compression load and cyclic reversed horizontal displacements until failure. This article presents the results in terms of load / displacement curves, analyses the damage and failure modes of the different walls and provides a comparative study based on stiffness and its evolution during cycles, on load capacity, on ductility to highlight advantages and limitations of the different strengthening materials.

*MOTS-CLÉS :* Maçonnerie, Renforcement, FRP, TRC, Essais cycliques

*KEYWORDS :* Masonry, Strengthening, FRP, TRC, Cyclic tests

---

## 1. Introduction

Le renforcement des maçonneries en prévention des événements sismiques requiert l'attention d'une communauté croissante de chercheurs, en particulier depuis la révision du zonage sismique associée à l'application des eurocodes. Une des techniques développées ces dernières années pour pallier le manque de résistance en traction des maçonneries est le recours au collage externe de matériaux composites ([TRI 98], [MAR 11]). L'utilisation des polymères renforcés par des fibres (FRP) s'est notamment démocratisée en raison de leur légèreté et de leur facilité de mise en œuvre. Ces matériaux possèdent d'excellentes propriétés mécaniques (qui génèrent donc des coûts importants) mais leur collage sur des maçonneries aux caractéristiques beaucoup plus faibles tend généralement à sous-exploiter leur potentiel. Par ailleurs, en dépit de leurs avantages, ces matériaux composites à base de résines époxydiques présentent quelques défauts majeurs : une faible résistance aux hautes températures, des difficultés à être appliqués en conditions humides et surtout un fort impact environnemental et un risque sanitaire pour les personnes en charge de leur mise en œuvre. A ces limites, viennent s'ajouter une difficulté de mise en œuvre compte tenu de la non planéité des surfaces ainsi que la faible perméabilité à la vapeur d'eau susceptible de générer, à terme, des problèmes de condensation. Une solution alternative consiste à remplacer les matrices polymères par des matrices cimentaires et à se tourner vers les composites textile-mortier ([BAB 14], [BUI 15]).

L'objectif de la présente étude est d'évaluer les potentialités de ces différents matériaux composites pour le renforcement des structures maçonnées à base de blocs de béton creux. Une campagne expérimentale est menée dans laquelle cinq murs maçonnés, renforcés ou non, sont soumis à des essais de compression-cisaillement. L'analyse des résultats doit conduire à une meilleure compréhension des mécanismes de fonctionnement des murs renforcés.

## 2. Programme expérimental

### 2.1. Construction des murs maçonnés

Les cinq murs maçonnés ont été élevés à base de blocs de béton creux. Initialement de dimensions 500 x 200 x 75 mm<sup>3</sup>, ces blocs ont été coupés en leur milieu par commodité. Le mortier utilisé pour appareiller les blocs est un mortier de ciment Portland (CEM I) formulé en proportions ciment/sable/eau de 1/3/0,5. Les joints de mortier mesurent environ 10 mm.

Chaque mur repose sur une semelle en béton armé et est surmonté d'une arase en béton armé destinée à assurer un transfert de charges (latérale et verticale) le plus uniforme possible.

Quatre murs ont fait l'objet d'un renforcement : deux ont été renforcés par collage externe de matériaux composites à matrice polymère (FRP, Fiber Reinforced Polymer) tandis que des matériaux composites à matrice cimentaire (TRC, Textile Reinforced Concrete) ont été utilisés pour les deux autres.

#### 2.1.1. Les matériaux et configurations de renforcement par FRP

Deux matériaux de renforcement, se distinguant par les matériaux constitutifs des textiles, ont été employés dans cette étude :

- un tissu de fibres de carbone bidirectionnel combiné à une matrice époxydique (CFRP).

- un tissu de fibres de verre bidirectionnel combiné à une matrice époxydique (GFRP). Il s'agit d'un tissu de verre bidirectionnel de grammage 300 g/m<sup>2</sup>, disponible en grandes surfaces de bricolage.

Le mur MnC CFRP (Mur non Chainé renforcé par CFRP ; Figure 1 (d)) a été renforcé symétriquement par l'ajout de chaque côté de chacune de ses faces d'une bande de 70 mm de CFRP.

Le mur MnC GFRP (Mur non Chainé renforcé par GFRP ; Figure 1 (g)) a été renforcé symétriquement par l'ajout de chaque côté de chacune de ses faces de deux bandes de 400 mm de GFRP superposées.

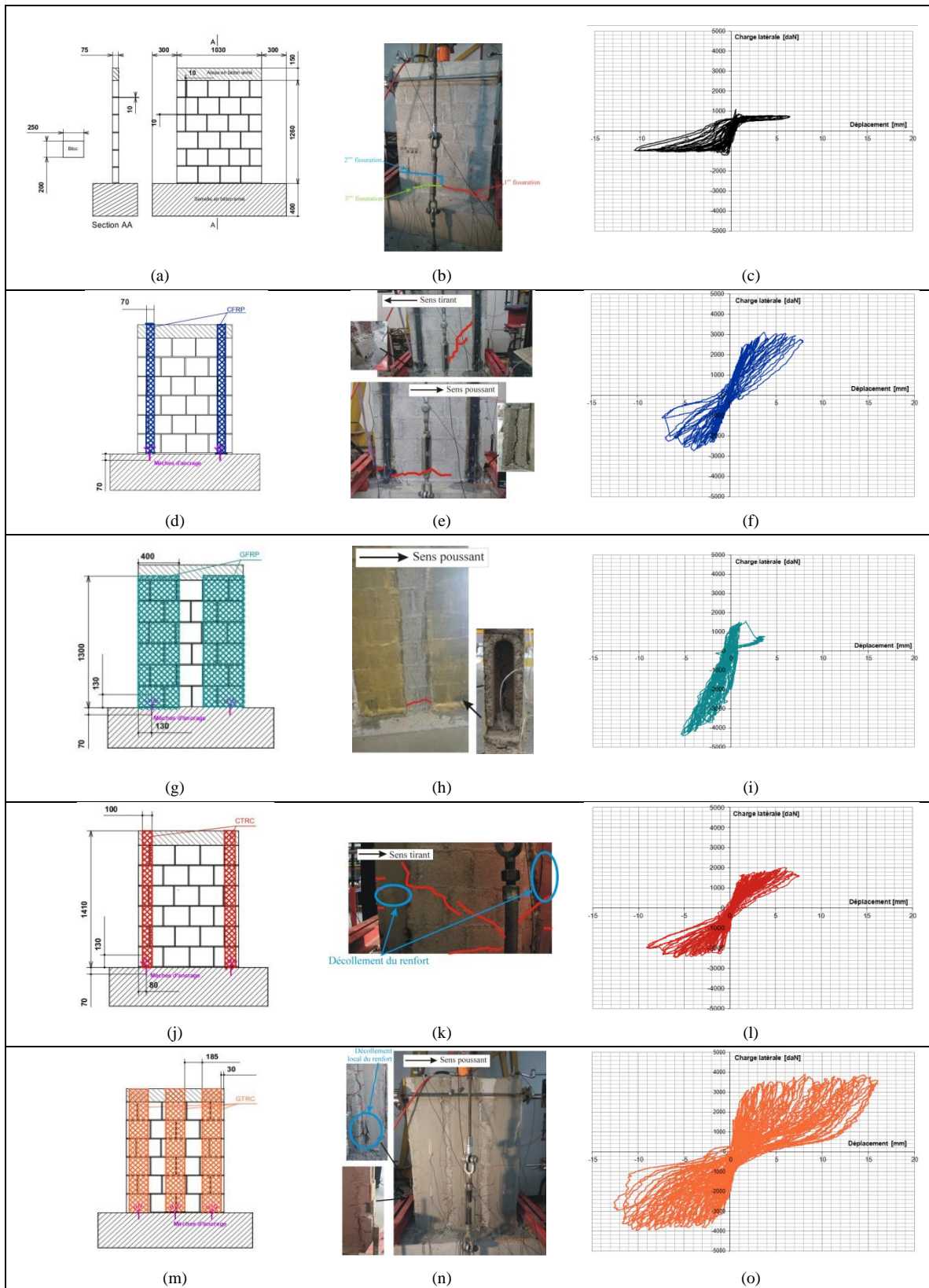
#### 2.1.2. Les matériaux et configurations de renforcement par TRC

De même que pour les FRP, l'influence du textile employé dans le composite est aussi étudiée dans le cas du TRC en employant deux matériaux de renforcement à base de matrice cimentaire :

- un tissu de fibres de carbone bidirectionnel combiné à une matrice minérale (CTRC).

- un tissu de fibres de verre bidirectionnel combiné à une matrice minérale (GTRC). Ce composite est le résultat d'une étude paramétrique conduite par Contamine et al. [CON 11], visant à développer un composite

alliant à la fois de bonnes performances mécaniques (donc une adhérence fibre/matrice satisfaisante) et une ouvrabilité permettant la mise en œuvre in situ du composite à des fins de renforcement.



**Figure 1: Configuration de renforcement, mode de rupture et courbe d'évolution de la charge latérale en fonction du déplacement en tête de mur. (a), (b), (c) pour le mur non renforcé, (d), (e), (f) pour le mur MnC CFRP, (g), (h), (i) pour le mur MnC GFRP, (j), (k), (l) pour le mur MnC CTRC et (m), (n), (o) pour le mur MnC GTRC.**

Le mur MnC CTRC (Mur non Chainé renforcé par CTRC ; Figure 1 (j)) a été renforcé symétriquement par l'ajout de chaque côté de chacune de ses faces d'une bande de 100 mm de CTRC.

Le mur MnC GTRC (Mur non Chainé renforcé par GTRC ; Figure 1 (m)) a été renforcé symétriquement par l'ajout de chaque côté de chacune de ses faces de deux bandes de 200 mm de GTRC superposées.

Il est à noter que toutes les bandes de renforcement, qu'elles soient en TRC ou en FRP, ont été ancrées dans la semelle de fondation en béton armé par l'intermédiaire de mèches de carbone, placées dans des réservations de profondeur 150 mm et de diamètre 16 mm, l'objectif étant de mieux valoriser le potentiel des renforts.

## 2.2. Dispositif de chargement et protocole de l'essai

Le dispositif de chargement est schématisé sur la Figure 2 (a). Les semelles en béton armé sur lesquelles reposent les murs sont ancrées à la dalle d'essai grâce à un système de tiges filetées dont l'objectif est de supprimer les glissements ou soulèvements potentiels du mur consécutivement à la sollicitation en flexion. La charge de compression, destinée à simuler la descente de charge, est appliquée par l'intermédiaire d'un vérin hydraulique, piloté en force et de capacité 500 kN. Cette charge est maintenue constante et égale à 1500 daN durant toute la durée de l'essai.

Tous les murs sont ensuite soumis à des cycles de déplacement alternés à l'aide d'un vérin hydraulique de capacité 500kN, relié d'un côté à deux tiges filetées de diamètre 16 mm coulées dans l'arase en béton armé et de l'autre à un mur de réaction de capacité 200kN. Un cadre, réalisé avec quatre tiges filetées, enserre l'arase en béton armé pour assurer un pilotage en déplacement correct lorsque le vérin « tire » sur le mur. Le cycle de chargement consiste en l'application de déplacements d'amplitude croissante par trains de trois cycles (Figure 2(b)).

Des capteurs de déplacement sont positionnés afin de vérifier les conditions aux limites des corps d'épreuve : pour cela, des capteurs placés de part et d'autre de la semelle en béton armé (LVDT 2 et LVDT 3 sur la Figure 2 (c)) permettent de s'assurer du non-glissement des murs tandis que les capteurs LVDT 4 et LVDT 5 permettent de suivre les conditions de rotation en tête de mur. D'autres capteurs de déplacement viennent compléter cette instrumentation pour caractériser le comportement global du mur : le capteur laser fournit le déplacement en tête de mur tandis que le capteur LVDT 1 renvoie le déplacement à mi-hauteur.

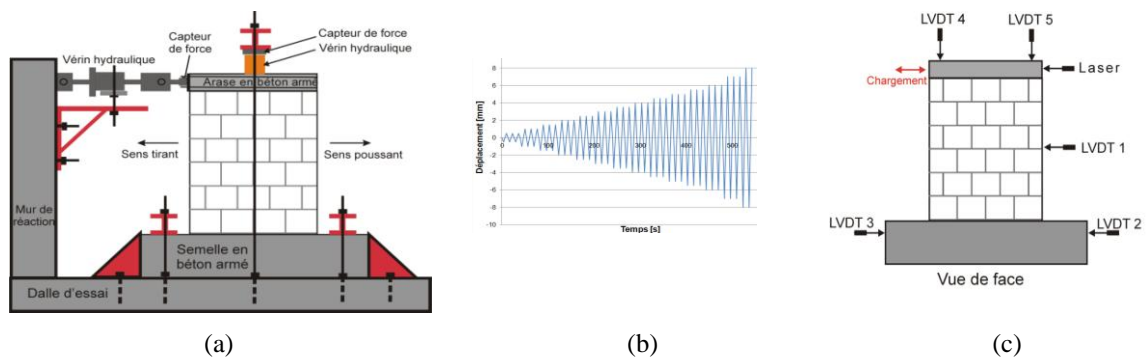


Figure 2: Dispositif et protocole d'essai. (a) Schéma du banc d'essai. (b) Trains de cycles appliqués en sollicitation latérale. (c) Instrumentation adoptée.

## 3. Comportement des murs - Modes de rupture et courbes d'hystérésis

La Figure 1 présente les modes de rupture et les courbes d'évolution de la charge latérale en fonction du déplacement appliqué en tête du mur pour l'ensemble des murs testés.

### 3.1. Comportement du mur non renforcé

Le mur non renforcé présente un mode de rupture couplé flexion/cisaillement (Figure 1 (b)). Les premiers signes de fissuration du mur non renforcé apparaissent lors de la sollicitation dans le sens tirant avec une fissuration au niveau du premier lit de mortier. Cette fissure s'incline ensuite d'environ 25° et se propage à travers les blocs du premier rang. Apparaît ensuite une fissuration dans le sens poussant au niveau du deuxième lit de mortier qui se prolonge jusqu'à rejoindre les fissures déjà existantes. Dès lors, il se produit dans le sens poussant un glissement du mur qui se traduit au niveau de la courbe d'hystérésis par une dissipation d'énergie plus importante et des

déplacements résiduels plus conséquents que dans l'autre sens. Dans le sens tirant, le mur continue à être sollicité en flexion avec une propagation de la fissuration le long des blocs du premier rang. Ce mécanisme d'endommagement s'accompagne d'une plus faible dissipation d'énergie avec des cycles plus resserrés.

### 3.2. Comportement des murs renforcés par FRP

L'endommagement du mur renforcé par CFRP (Figure 1 (e)) se constate tout d'abord par une fissuration dans le sens poussant aux alentours de l'ancrage, qui ne génère pas pour autant de défaillance de celui-ci. Par la suite, une fissure apparaît le long de la diagonale dans le sens tirant – elle possède une inclinaison d'environ 60 degrés et se localise dans la zone non renforcée. On constate donc ici la capacité des renforts ainsi que des ancrages, à infléchir le cheminement des fissures. Quel que soit le sens de sollicitation, les blocs comprimés en pied de mur présentent des signes d'écrasement.

Le mur renforcé par GFRP présente une courbe d'hystérésis asymétrique qui se justifie par un dysfonctionnement du protocole de chargement : pour ce mur, testé en premier, le dispositif employé pour solliciter le mur en sens tirant n'a pas permis d'atteindre les déplacements escomptés (une solution a été trouvée pour remédier à ce problème pour les murs testés ultérieurement). Seul le chargement en sens poussant, considéré comme non impacté par ce dysfonctionnement, sera donc étudié dans la suite. Les mécanismes d'endommagement se traduisent ici par des fissures qui apparaissent dans le premier rang de blocs, dans la zone non renforcée ainsi que par une macro-fissuration du bloc au niveau du pied comprimé (Figure 1 (h)).

### 3.3. Comportement des murs renforcés par TRC

Le mur renforcé par CTRC présente une rupture par cisaillement avec deux lézardes apparues selon les deux diagonales, dans la zone non renforcée de la moitié inférieure du mur (Figure 1 (k)). Ces fissures sont inclinées d'environ 30 degrés dans le sens poussant et de 40 degrés dans le sens tirant. Au cours des cycles, des fissures courtes se sont créées et multipliées le long des bandes de TRC pour finalement engendrer des décollements locaux des TRC.

L'endommagement du mur renforcé par GTRC (Figure 1 (n)) se manifeste par l'apparition de multiples fissures, courtes, dans les zones non renforcées, entre les bandes de composite. On constate également, dans l'épaisseur du mur, une fissuration horizontale prononcée des blocs dont la localisation peut être corrélée aux multifissures des bandes de TRC. Un décollement local du composite a été constaté à la base de la bande de TRC située du côté de l'application de la charge latérale, ce décollement ne s'est produit que sur une seule des deux faces du mur.

En définitive, il apparaît que les mécanismes d'endommagement se concentrent dans la moitié basse des murs avec des fissures dont l'ampleur et la configuration dépendent des configurations et de la nature du renforcement. Dans le cas des FRP, les mécanismes dissipatifs se localisent dans les zones non renforcées avec des macro-fissures qui s'élargissent au cours du temps tandis que dans le cas des TRC, un processus de dissipation additionnel existe à même le renfort avec un endommagement constaté de la matrice cimentaire, menant parfois au décollement localisé de ces composites.

## 4. Analyse comparative des murs

### 4.1. Analyse des courbes enveloppes

L'analyse comparative repose sur des paramètres de performance déterminés à partir des courbes enveloppes des courbes d'hystérésis (Figure 3 (a)) et jugés pertinents pour évaluer et quantifier les réponses des murs aux sollicitations latérales. Pour les faibles niveaux de chargement, les murs présentent une phase linéaire qui se caractérise par une rigidité  $K_{el}$ . Pour déterminer le déplacement  $d_e$ , associé à la fin de cette phase linéaire, une démarche analogue à celle proposée par Pozza *et al.* [POZ 12] dans le cadre de l'analyse sous chargement cyclique de structures mixtes bois/béton est ici adoptée. Cette démarche est transposable dans notre cas car les courbes enveloppes des murs renforcés présentent une deuxième phase linéaire avec un écrouissage positif. Il s'agit donc de réaliser une approximation exponentielle de chaque courbe enveloppe (Figure 3 (b)) de la forme :

$$H = (\beta d + H_0) \left( 1 - \exp \left( -\frac{K_0 d}{H_0} \right) \right) \quad [1]$$

où  $H$  est la charge latérale appliquée, associée au déplacement courant  $d$ .  $\beta$  est la pente de la deuxième phase linéaire et  $H_0$  est l'ordonnée à l'origine de cette deuxième phase.  $K_0$  est la tangente à l'origine de l'exponentielle

qui approche au mieux la courbe enveloppe expérimentale.  $\alpha$  est une rigidité sécante calculée en égalisant l'énergie de déformation sous la courbe exponentielle à l'énergie de déformation sous la courbe idéalisée par les deux droites, de pentes respectives  $\alpha$  et  $\beta$ . A l'intersection des deux droites ainsi définies se trouve  $d_e$ .

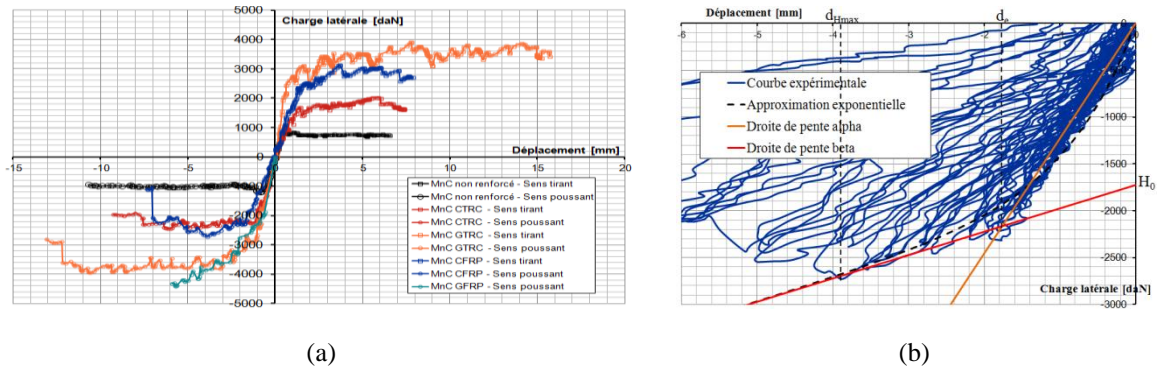


Figure 3 : (a) Superposition des courbes enveloppes de tous les murs testés (b). Protocole d'identification des paramètres  $d_e$  et  $\beta$  à partir des courbes enveloppes des murs renforcés.

La deuxième phase linéaire s'étend jusqu'à la charge maximale  $H_{max}$  associée au déplacement  $d_{Hmax}$ . La charge latérale ultime correspond conventionnellement à 80% de la charge maximale sur la branche descendante de la courbe enveloppe et est associée au déplacement  $d_u$ . Le Tableau 1 recense les valeurs de ces différents paramètres pour l'ensemble des murs testés dans cette campagne expérimentale. A titre indicatif, les taux de renforcement vertical ( $\rho_v$ ) des différents murs sont également donnés dans ce tableau.

Tableau 1: Paramètres décrivant les niveaux de performance des différents murs testés

Mur	$\rho_v$ [%]	Sens	$K_{el}$ [daN/mm]	$K_0$ [daN/mm]	$\alpha$	$\beta$	$d_e$ [mm]	$d_{Hmax}$ [mm]	$H_{max}$ [daN]	Gain de charge [%]	$d_u$ [mm]	$\mu = \frac{d_u}{d_e}$
MnC	-	Poussant	2210	2210	-	-	0,45	0,83	1200	-	2,3	5,1
		Tirant	1800	1800	-	-	0,49	0,64	1081	-	0,64	1,3
MnC CFRP	0,17	Poussant	1291	2183	1229	249	1,76	3,88	2731	+ 128	5,6	3,2
		Tirant	1801	3309	1873	395	1,1	3,71	3119	+189	(*)	-
MnC GFRP	7,04	Poussant	3081	4166	2252	317	1,33	5,67	4406	+267	(*)	-
MnC CTRC	1,55	Poussant	2427	4393	2232	71	0,94	6,16	2456	+105	8	8,5
		Tirant	1409	2463	1291	113	1,14	5,82	2019	+87	7,3	6,4
MnC GTRC	9,32	Poussant	2516	4370	2224	77	1,47	10,7	3950	+229	12,2	8,3
		Tirant	3616	6175	3144	113	0,91	7,8	3913	+262	(*)	-

(\*) Le test a été arrêté avant de constater une chute de l'effort repris de 20%.

*Rigidités.* Les murs présentent des rigidités initiales  $K_{el}$  du même ordre de grandeur, même si l'on peut constater que les rigidités ont tendance à augmenter avec les épaisseurs de renfort mises en jeu et le nombre de couches de textile. Les murs renforcés par des bandes de deux couches de tissu de fibres de verre présentent en effet les plus grandes rigidités initiales. La rigidité sécante  $\alpha$ , obtenue à partir de l'approximation exponentielle, représente une estimation satisfaisante de la rigidité élastique.

*Résistance latérale des murs.* Les configurations de renforcement adoptées conduisent à des augmentations des charges latérales maximales des murs renforcés par rapport au mur non renforcé, quel que soit le matériau de renforcement. Le gain est a minima de 87% pour le mur MnC CTRC et atteint 267% pour le mur MnC GFRP.

Coefficient  $\beta$ , pente de la deuxième phase linéaire. Ce coefficient semble à relier à la nature de la matrice des matériaux de renforcement puisque les murs MnC CTRC et MnC GTRC présentent des coefficients du même ordre de grandeur, de même que les coefficients obtenus pour les murs MnC CFRP et MnC GFRP.

**Ductilité.** La ductilité  $\mu$  (Tableau 1), qui désigne le rapport du déplacement ultime sur le déplacement en fin de zone élastique, est améliorée par toutes les configurations de renforcement testées dans la présente étude. Le gain apporté par les configurations renforcées par TRC tend à être supérieur à celui apporté par les configurations renforcées par FRP : néanmoins, peu de valeurs sont ici disponibles concernant les FRP, un ancrage expérimental plus conséquent serait donc nécessaire pour valider ce constat. Il convient également de souligner que ce paramètre est également conditionné par la charge de compression appliquée au mur, choisie dans notre étude plutôt faible.

#### 4.2. Analyse des cycles de chargement

L'analyse des cycles d'hystérésis conduit à constater que l'endommagement des murs s'accompagne d'une diminution de la raideur sécante (définie comme étant le rapport entre la charge maximale du cycle et le déplacement qui lui est associé,  $K_{s,i}$  sur la Figure 4 (a)). Dans la littérature, différents auteurs ([CHU 12], [HAA 09]) proposent de suivre l'évolution du rapport de la raideur sécante à chaque cycle par rapport à la raideur sécante à la charge maximale ( $K_{s,i}/K_s$ ) en fonction du rapport entre le déplacement maximal imposé à chaque cycle et celui correspond à la charge maximale ( $d_{max,i}/d_{Hmax}$ ). Dans leurs cas d'étude, un seul paramètre d'ajustement,  $\gamma$ , est alors nécessaire pour décrire la dégradation de raideur (équation [2]).

$$\frac{K_{s,i}}{K_s} = \left( \frac{d_{max,i}}{d_{Hmax}} \right)^\gamma \quad [2]$$

Les figures 4 (a) et (b) mettent en évidence que cette formulation est également pertinente dans le cas présent pour rendre compte de la dégradation de raideur des murs maçonnés renforcés par matériaux composites.

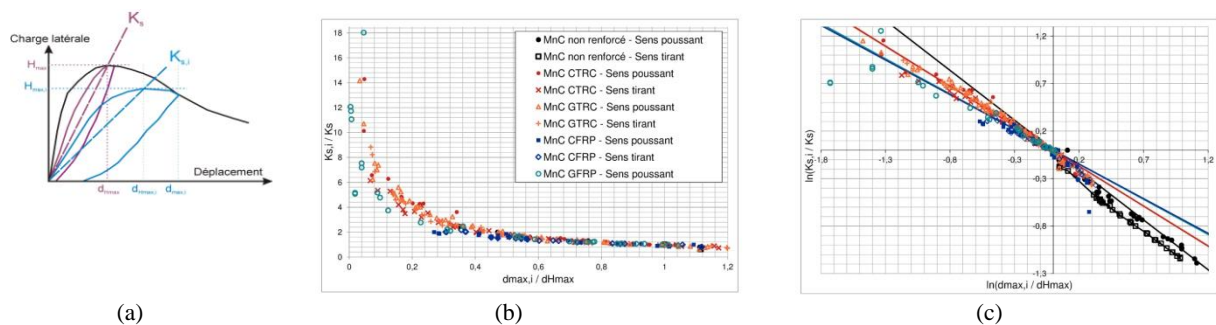


Figure 4 : Dégradation de raideur . (a) Définition des paramètres pour l'évaluation de la dégradation de raideur (b) Evolution de la dégradation de raideur  $K_{s,i}/K_s$  en fonction de  $d_{max,i}/d_{Hmax}$  .(c) Evolution de  $\ln(K_{s,i}/K_s)$  en fonction de  $\ln(d_{max,i}/d_{Hmax})$ .

Le Tableau 2 renseigne sur les paramètres d'ajustement obtenus pour chaque mur étudié. Même si ce résultat nécessite d'être conforté par une campagne expérimentale plus étendue, ces premiers résultats laissent penser que ce paramètre d'ajustement peut être corrélé au matériau de renforcement puisque quelle que soit la configuration de renforcement adoptée et quel que soit le sens de sollicitation, les murs renforcés par FRP présentent des paramètres d'ajustement du même ordre (compris entre -0,74 et -0,723) et ce constat s'opère également avec les murs renforcés par TRC pour lesquels le paramètre d'ajustement varie de -0,856 à -0,83. L'endommagement potentiel de la matrice cimentaire des TRC s'accompagne donc d'une dégradation de raideur plus marquée qu'avec les FRP.

**Tableau 2 : Paramètres d'ajustement permettant de rendre compte de la dégradation de raideur au cours des cycles**

Mur	$\gamma$ - Sens poussant	$\gamma$ - Sens tirant
MnC – Mur non renforcé	-1,045	-1,067
MnC CFRP	-0,739	-0,723
MnC GFRP	-0,74	
MnC CTRC	-0,856	-0,83
MnC GTRC	-0,838	-0,843

## 5. Conclusion

Cette campagne expérimentale conforte l'intérêt d'utiliser des matériaux composites et un système d'ancrage de ces matériaux à la fondation pour renforcer les structures maçonnées puisque toutes les configurations permettent à la fois un gain de capacité portante et de ductilité. Selon les taux de renforcement vertical adoptés, les gains de capacité générés par les FRP vont de 128 à 267 % et ceux apportés par les TRC s'étalent de 87 à 262 %. Sous la charge de compression adoptée ici, les renforcements par TRC contribuent plus efficacement à l'augmentation du coefficient de ductilité que les renforts par FRP. Les mécanismes de fissuration diffèrent selon les configurations de renforcement et les matériaux adoptés mais il s'agit généralement de macro-fissures situées dans les zones non renforcées qui s'élargissent au cours des cycles. Le mur MnC GTRC, caractérisé par un fort taux de renforcement et une importante superficie renforcée, fait figure d'exception puisque l'on constate une multiplication des fissures et un endommagement des renforts eux-mêmes. Les capacités dissipatives de ce mur en sont donc améliorées, indépendamment des mécanismes dissipatifs internes à la maçonnerie.

## 6. Bibliographie

[BAA 14] BABAEIDARABAD S., ARBOLEDA D., LORETO G., NANNI A., « Shear strengthening of un-reinforced concrete masonry walls with fabric-reinforced-cementitious-matrix », *Construction and Building Materials*, 65 (2014) 243-253.

[BUI 15] BUI L., SI LARBI A., REBOUL N., FERRIER E., « Shear behaviour of masonry walls strengthened by external bonded FRP and TRC », *Composite Structures*, 132 (2015) 923-932.

[CHU 12] CHURILOV S., Experimental and analytical research of strengthened masonry, Thèse de doctorat, University « Ss. Cyril and Methodius » Skopje, 2012.

[CON 11] CONTAMINE R., Contribution à l'étude du comportement mécanique de composites textile-mortier. Application à la réparation et/ou renforcement de poutres en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant, Thèse de doctorat, Université Lyon 1, 2011.

[HAA 09] HAACH V., Development of a design method for reinforced masonry subjected to in-plane loading based on experimental and numerical analysis, Thèse de doctorat, Universidade do Minho, 2009.

[MAR 11] MARCARI G., OLIVEIRA D., FABBROCINO G., LOURENCO P., « Shear capacity assessment of tuff panels strengthened with FRP diagonal layout », *Composites Part B : Engineering*, 42 (2011) 1956-1965.

[POZ 12] POZZA L., SCOTTA R., POLASTRI A., CECCOTTI A., « Seismic behaviour of wood-concrete frame shear-wall system and comparison with code provisions », In : Proceedings of the 45th Meeting, *International Council for Research and Innovation in Building Construction*, Working Commission W18, Timber Structures, CIB-W18, Vaxjo, Sweden, 2012.

[TRI 98] TRIANTAFILLOU T., « Strengthening of masonry structures using epoxy-bonded FRP laminates », *Journal of composites for construction*, 2 (1998) 96-104.