
Effet du mode constructif sur le comportement au séisme de portiques béton armé avec panneau de maçonnerie

J.-P. Plassiard¹, C. Belghiat^{1,2}, I. Layadi^{1,2}, O. Plé¹, P. Perrotin¹, A. Messabhia², M. Guenfoud³

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

² *Université de Tébessa, Laboratoire de Génie Civil Appliqué, 12002 Tébessa, Algérie*

³ *Université du 8 MAI 1945, Guelma, Algérie*

RÉSUMÉ. Ce travail concerne les structures de type portique béton armé avec remplissage en briques de terre cuite. Ces modes de contreventement sont courants en Algérie et sont exposés au risque sismique. En effet, le remplissage en maçonnerie peut subir un endommagement important durant le séisme, pouvant aller jusqu'à son chute du cadre. La résistance latérale du portique vide est alors nettement affaiblie et présente un risque de rupture conséquent. Afin d'éviter ce phénomène, le mode constructif peut être modifié : c'est le cas de la maçonnerie chaînée ou de la maçonnerie harpée. L'efficacité de ces structures a été comparée lors d'une campagne expérimentale. Deux murs correspondant à chacun des modes constructifs précités ont été confectionnés en vue de les tester suivant un essai de type pushover. Chaque type de mur a été caractérisé en terme de résistance, type d'irréversibilités ou encore perte de raideur avec le chargement. Des recommandations sont alors faites concernant l'aptitude de chacune d'elles vis à vis du sollicitation sismique.

ABSTRACT. This work deals with reinforced concrete frames with infill masonry. These bracing structures are usually used in Algeria and are exposed due to seismic hazard. Indeed, the infill can be severely damaged during the earthquake solicitation, that can even results in the fall of the masonry panel from the concrete frame. In order to avoid this phenomenon, the construction mode can be modified: this is the case for the confined masonry or the toothed masonry.

The efficiency of these structures was compared during an experimental campaign. Two walls corresponding to each of the aforementioned construction modes were prepared to test them following a pushover test. Each type of wall has been characterized in terms of resistance, type of irreversibility or loss of stiffness with the load. Recommendations are proposed concerning the efficiency of each structures against seismic solicitation.

MOTS-CLÉS : maçonnerie, mode constructif, essai pushover, modes de rupture.

KEY WORDS: masonry, constructive mode, pushover test, failure mode.

1. Introduction

La structure associant portique en béton armé et remplissage en briques est un mode constructif largement répandu en Algérie. Ce mode de contreventement se révèle efficace tant que le remplissage reste en place. Mais la structure perd une grande part de son efficacité en terme de résistance et de limitation des déplacements lorsque le remplissage rompt [DAV 2003]. Dans ce but, des modes constructifs alternatifs ont été mis au point : le chaînage correspond au cas où le béton est coulé à postériori de la maçonnerie, conférant une meilleure intégrité à l'assemblage. Le harpage peut aussi être utilisé. Il correspond à un coulage à postériori de la maçonnerie, mais les demi briques de rives sont remplacées par du béton lors du coulage. L'indentation ainsi créée a pour but d'améliorer la résistance.

2. Présentation des expérimentations

Afin d'évaluer la capacité de ces différentes structures vis-à-vis de la sollicitation sismique, un ensemble de murs a été confectionné (Figure 1). Les modes constructifs réalisés sont les suivants :

- le portique en béton armé sans remplissage, servant de référence et permettant de caractériser le comportement du portique en béton armé seul.
- le portique avec remplissage en maçonnerie, pour lequel la maçonnerie est placée à postériori du portique.
- le portique avec maçonnerie chaînée.
- le portique avec une maçonnerie harpée.

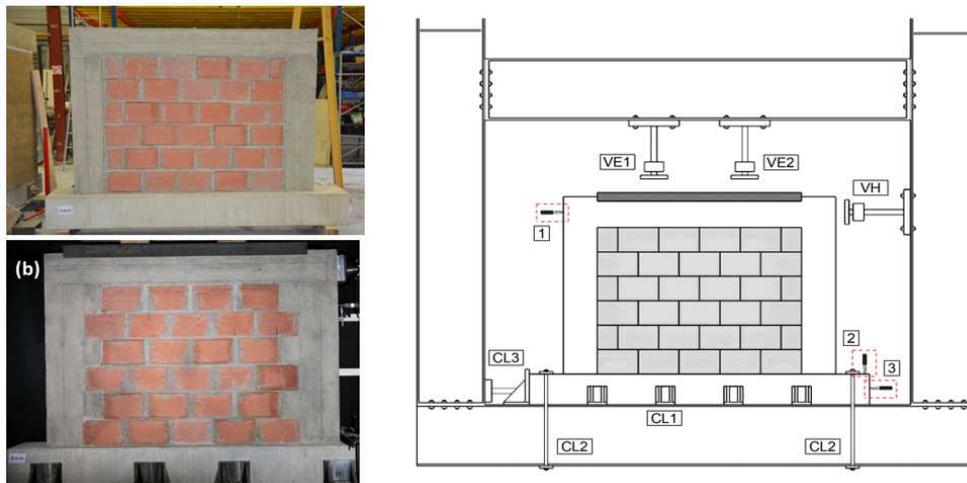


Figure 1. Portiques avec maçonnerie chaînée (à gauche en haut), avec harpage (à gauche en bas) et dispositif d'essai pushover (à droite).

Chaque structure a été réalisée en deux exemplaires afin de vérifier la répétabilité des résultats. Tous les murs ont des dimensions globales équivalentes afin de permettre l'étude comparative. Pour permettre la réalisation dans la plateforme de test, des murs à l'échelle $\frac{1}{2}$ ont été choisis. L'élancement du mur est proche d'un coefficient $\frac{3}{4}$ (2,06m de longueur pour 1,52m de hauteur). Les poteaux et la poutre ont une section de $25 * 25$ cm² et sont ferrailés pour supporter les efforts de 40kN/ml en charge répartie sur la poutre et de 60kN de charge ponctuelle en tête de mur. La charge verticale représente le poids du plancher supérieur ramené sur la poutre tandis que l'effort horizontal correspond à l'action sismique agissant sur le bâtiment.

Les essais pushover (Figure 1) sont réalisés après une durée minimale de montée en résistance de 28 jours pour le béton du mur. La résistance des matériaux est identifiée à partir d'essais de caractérisation. Plus particulièrement, la résistance du béton est évaluée le jour où le mur correspondant est testé. L'essai consiste dans un premier temps à fixer le mur testé dans le bâti de chargement au moyen de mors et de dispositifs anti basculement et anti glissement (CL1, CL2 et CL3 dans la). Le test est réalisé en deux phases : une première au cours de laquelle la charge verticale est appliquée progressivement, via les vérins électriques VE1 et VE2, jusqu'à atteindre la charge visée (40 kN/ml). La seconde phase consiste à appliquer un déplacement horizontal VH de 1mm/min en tête de mur, par l'intermédiaire du vérin horizontal. Une caméra haute définition assure l'acquisition d'images de la face complète du mur pendant l'intégralité du test. Cela permet, à postériori, de déterminer les champs de déplacements, de quantifier les déformations et d'analyser les localisations.

3. Résultats

Certains essais ont été réalisés avec des cycles de charge et décharge afin d'établir la perte de raideur avec le chargement. D'autres essais ont été réalisés en chargement monotone (Figure 2). Il ressort en premier lieu que les essais sont répétables. Le portique vide résiste à une charge de 75 kN tandis que le portique avec remplissage résiste à une charge de 205 kN, ce qui correspond à un gain de 170% environ. Les portiques avec maçonnerie chaînée ou harpée présentent un comportement nettement plus rigide que le portique avec remplissage. Leurs courbes sont bilinéaires avec une rupture de pente située autour de 175 à 200 kN. Leurs résistances maximales n'ont pas été déterminées car la capacité du vérin est limitée à 300 kN. On constate néanmoins que la charge atteinte est supérieure de 20 à 25%, comparée à la résistance fournie par le portique avec remplissage.

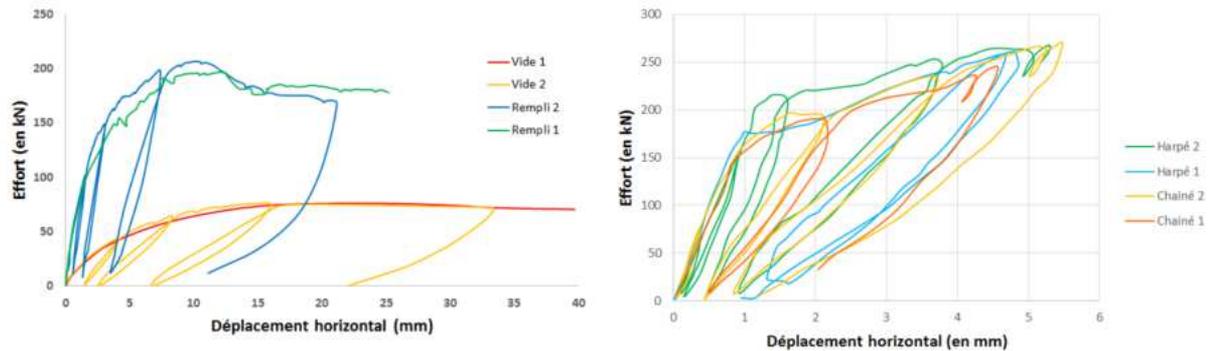


Figure 2. Courbe force – déplacement en tête de mur pour les différents spécimens étudiés.

Un dispositif de corrélation d'images a été utilisé afin de suivre les déplacements de la face avant de chaque mur [DUM 99]. Le logiciel utilisé détecte les déplacements de 20 μm sur l'intégralité de la surface du mur et permet ainsi de relier les irréversibilités avec le chargement appliqué. Dans le cas du portique avec remplissage, la première non linéarité correspond à la désolidarisation du portique et du remplissage pour un effort proche de 150 kN (Figure 3). Apparaît ensuite la fissuration dans le remplissage (163 kN) puis la fissuration de la connexion poteau poutre de droite (175 kN). La charge maximale vaut 207 kN et coïncide avec la propagation de la fissuration du panneau de maçonnerie jusqu'à la connexion poteau poutre évoquée précédemment.

Pour le portique à maçonnerie chaînée, la première non linéarité correspond à l'apparition de la fissure dans le panneau de maçonnerie (Figure 4). Cette fissure apparaît pour une charge de 81 kN, chargement nettement inférieur à celui constaté pour le portique avec remplissage. La fissuration du poteau est diffuse et intervient pour un chargement au-delà de 192 kN. Pour ce type de mur, il n'y a pas de désolidarisation de la maçonnerie par rapport au portique béton armé. Il s'agit de la seule différence notée dans les types de fissures entre les Figure 3 et Figure 4. On peut donc supposer que c'est la meilleure adhérence entre béton et brique de la maçonnerie chaînée qui permet d'obtenir une résistance plus élevée que dans le cas avec remplissage. Les résultats concernant le portique avec harpage sont similaires à ceux du portique avec remplissage et ne seront donc pas détaillés par la suite. Comme dans le cas de la maçonnerie chaînée, l'intégrité du mur est conservée malgré la sollicitation sévère. Ce constat avait été observé lors d'études précédentes [RAI 14].

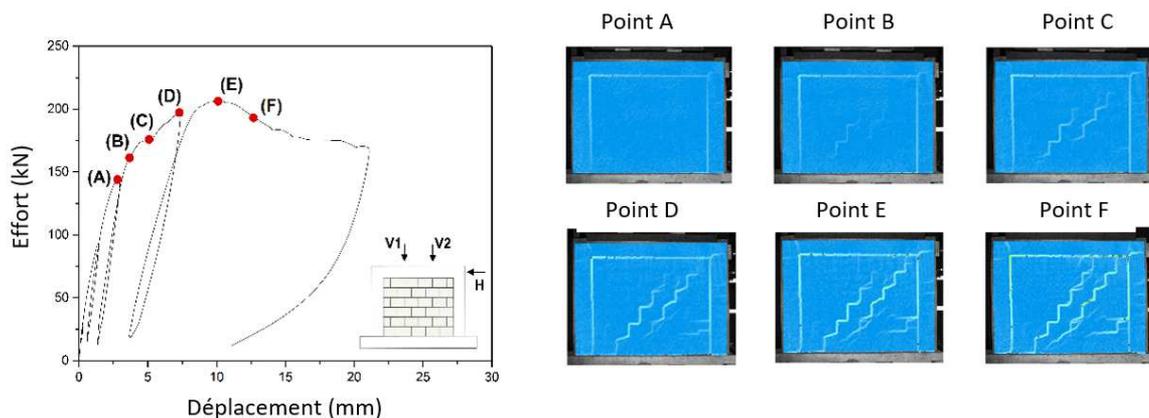


Figure 3. Irréversibilités apparaissant en fonction du chargement pour le portique avec remplissage.

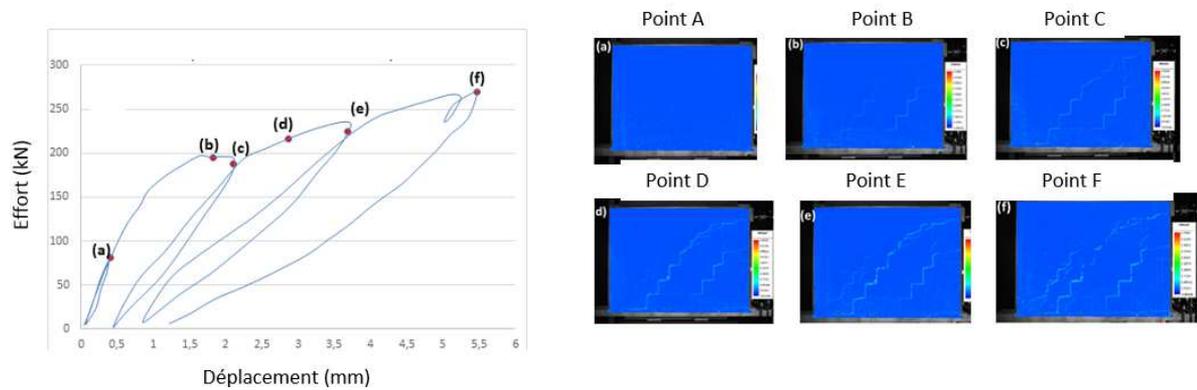


Figure 4. Irréversibilités apparaissant en fonction du chargement pour le portique avec maçonnerie chaînée

Les résistances et raideurs initiales des maçonneries chaînées et harpées semblent plus favorables que celles obtenues pour le portique avec remplissage. Leurs comportements sont cependant différents : le panneau la maçonnerie chaînée présente une fissuration diffuse, tandis que la fissuration est localisée dans une fissure principale pour la maçonnerie harpée (Figure 5). Cette localisation coïncide avec une chute brutale de la raideur tandis qu'une diminution progressive est observée pour le portique avec maçonnerie chaînée. La maçonnerie chaînée semble donc plus adéquate en vue de la reprise d'un chargement sismique.

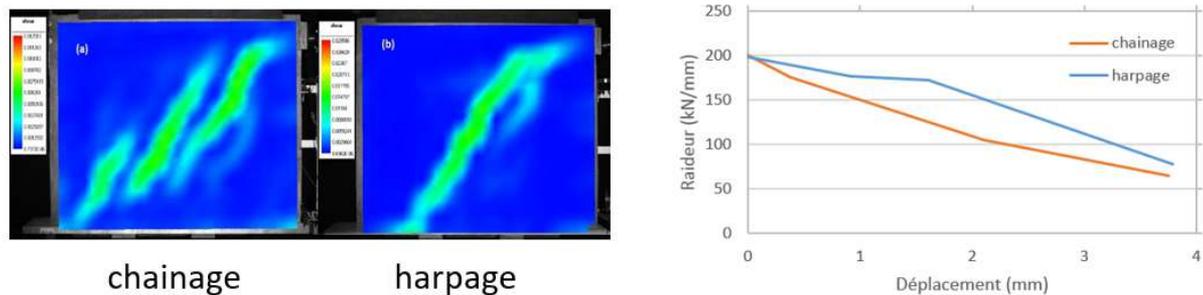


Figure 5. État de fissuration et perte de raideur pour les murs à maçonneries chaînées et harpées.

4. Conclusion

Une série d'expérimentations a été menée afin d'établir le mode constructif le plus adéquat, dans le cas de l'association portique béton armé et panneau de maçonnerie. La maçonnerie avec remplissage montre une moins grande résistance que celle obtenues pour les maçonneries chaînées et harpées. De plus, la maçonnerie chaînée semble plus recommandable en raison d'une rupture plus diffuse du panneau et d'une perte de raideur moins brutale également vis-à-vis du comportement sismique.

[DAV 03] DAVIDOVICI V., ASéisme de Bourmerdès 21 Mai 2003, Preliminary Report, 2003.

[DUM 99] DUMOULIN S., VACHER P., MGUIL-TOUCHAL S., « Bidimensional strain measurement using digital images », *Proc Inst Mech Eng, Part C: J Mech Eng Sci*, Vol. 213, 1999, p. 811-817.

[RAI 14] RAI D.- C., SINGHAL V., PAIKARA S., MUKHERJEE D. « Sub-paneling of masonry walls using precast reinforced concrete elements for earthquake resistance », *Earthq. Spectra*, Vol. 30, 2014, p. 913-937.