

Effet d'un mur de remplissage sur la résistance latérale d'un bâtiment en BA

S. ATTAJKANI¹, A. KHAMLICH²

1. Systèmes de communications et détection, Université Abdelmalek Essaâdi, FS Tétouan.

sabri.attajkani@gmail.com

2. Systèmes de communications et détection, Université Abdelmalek Essaâdi, ENSA Tétouan.

khamlich7@yahoo.es

Résumé

Le comportement sismique d'un bâtiment dépend de la résistance de l'ossature principale qui le compose et du remplissage. Ce dernier peut augmenter la rigidité et la résistance latérales. Il gouverne aussi les phénomènes bien connus en génie parasismique: étage faible et poteau court. Dans le cas des bâtiments réguliers, l'appréciation du niveau de la sollicitation sismique entraînant la ruine sous un séisme est rendue par une analyse non linéaire statique, dite pushover. Dans le cadre de cette analyse, le remplissage peut être représenté par des barres diagonales équivalentes qui travaillent en compression. Les caractéristiques d'une barre équivalente à un mur dépendent essentiellement de l'épaisseur et du matériau du remplissage ainsi que des propriétés des membrures du portique bordant ce mur.

Dans ce travail, nous avons modélisé l'effet du remplissage sur la capacité de résistance latérale de bâtiments typiques en béton armé en utilisant l'analyse pushover sous le logiciel ZeusNL. Les résultats obtenus montrent qu'un remplissage entraîne généralement un effet bénéfique sur la rigidité et la résistance latérales. Mais, cet effet est très contrasté. Il dépend de la quantité et de la qualité du remplissage utilisé. L'effet n'est remarquable que si les étages inférieurs du bâtiment sont emplis. L'efficacité du remplissage peut être mauvaise lorsque le remplissage ne concerne que les étages supérieurs. A même quantité de matériaux, un remplissage total s'est avéré plus avantageux qu'un remplissage partiel du bâtiment.

Mots clefs: *Bâtiment, béton armé, remplissage, séisme, pushover, barre diagonale équivalente.*

1. Introduction

Les murs de remplissage étaient longtemps considérés comme des éléments non structuraux et leur participation à la résistance du bâtiment avait été négligée. L'analyse des structures a énormément évolué aujourd'hui, ce qui a incité à valoriser le rôle mécanique des panneaux de remplissage en les considérant comme des éléments porteurs. Ce rôle n'est pas toujours conservatif car certains événements récents tels que le tremblement de terre de l'Aquila en Italie ont montré que le remplissage peut avoir un effet négatif sur la résistance [1].

L'étude du comportement des murs de remplissage requiert de distinguer deux grands types d'actions: hors-

plan et en plan. Dans le premier cas, on examine la réponse du mur de remplissage sous l'action d'une sollicitation qui lui est transversale. Dans le cas en plan, les murs de remplissage sont sollicités essentiellement dans leur plan et les actions hors-plan sont écartées de l'analyse. En présence d'une sollicitation d'origine sismique, les mécanismes en plan sont en général prépondérants [2].

Dans le contexte en plan, différentes approches ont été introduites. On trouve l'approche macromécanique à base du concept de barre de compression équivalente à l'action du panneau de remplissage [3]. Il existe aussi une approche micromécanique qui s'appuie en général sur la méthode des éléments finis. La modélisation globale d'un bâtiment est a priori nécessaire pour le dimensionner vis-à-vis des sollicitations latérales de type séisme. Cependant, lorsque le bâtiment est régulier une analyse statique non linéaire (pushover) s'avère suffisante [4]. Le pushover consiste à appliquer au bâtiment un chargement statique équivalent au chargement réel. Les aspects dynamiques sont intégrés par l'intermédiaire de la période propre de vibration du bâtiment et du facteur d'amplification [5]. Le bâtiment est alors représenté par un portique équivalent. Le chargement équivalent suivant la direction la plus défavorable est réparti de manière proportionnelle à la hauteur.

Dans ce travail, nous considérons le cas des bâtiments réguliers à travers l'approche macromécanique. Le remplissage sera assimilé à des barres diagonales équivalentes travaillant en compression. Les caractéristiques de ces barres sont identifiées selon le modèle de Mainstone [6]. Nous évaluerons l'effet du remplissage sur la réponse sismique du bâtiment en considérant le phénomène d'étage faible pour lequel un étage du bâtiment ne contient pas de remplissage. Nous analyserons ensuite de façon paramétrique l'influence due à la configuration en élévation d'un remplissage partiel. Nous quantifierons également l'effet dû à l'épaisseur et à la rigidité du remplissage utilisé.

2. Modélisation des murs de remplissage

La modélisation du remplissage s'appuie sur le concept de barre équivalente. L'évaluation du comportement des panneaux de remplissage non armé composé de briques en terre cuite est faite selon l'Eurocode 6 [7]. Cette norme permet de prendre pour le module d'Young une valeur mesurée par des essais expérimentaux ou une estimation obtenue par homogénéisation entre les

propriétés des unités de maçonnerie et du mortier de scellement. La résistance caractéristique de maçonnerie est estimée en utilisant la résistance moyenne des éléments de maçonnerie et celle du mortier par

$$f'_m = K(f_b)^\alpha (f_{mor})^\beta \quad (1)$$

où f'_m désigne la résistance caractéristique de compression du matériau constituant le mur de remplissage, f_b la résistance à la compression d'un élément de maçonnerie, f_{mor} la résistance à la compression de mortier. α , β et K sont des constantes du modèle.

Le module d'élasticité à court terme est donné en l'absence de données expérimentales par

$$E_m = 1000 f'_m \quad (2)$$

Par ailleurs, le panneau solide est représenté par une barre diagonale de compression admettant la même épaisseur que celle du mur de remplissage et de largeur effective calculée selon Mainstone [6]. La largeur de la diagonale équivalente notée a est fonction d'un facteur λ . Dans le cas d'un remplissage en briques, l'expression de la largeur s'écrit:

$$\lambda \leq 5: a = \frac{0.175}{\lambda^{0.4}} \sqrt{\ell^2 + L^2} \quad \text{et} \quad \lambda > 5: a = \frac{0.16}{\lambda^{0.3}} \sqrt{\ell^2 + L^2} \quad (3)$$

$$\text{avec } \lambda = h_f \left(\frac{E_m t_m \sin(2\theta)}{4E_f I_c \ell} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{\ell}{L} \right) \text{ et où } L$$

est la longueur du panneau de remplissage, ℓ sa hauteur, h_f la hauteur du portique cadre, t_m l'épaisseur du mur de remplissage, E_f le module d'Young du béton constituant le portique, E_m le module d'Young estimé du matériau constituant le panneau de remplissage et I_c le moment d'inertie du poteau, enfin θ représente l'inclinaison par rapport à l'horizontale de la diagonale du panneau.

Dans le cadre de ce travail, le logiciel Zeus NonLinear (ZeusNL) est utilisé [8]. ZeusNL permet d'effectuer l'analyse statique nonlinéaire de type pushover afin d'obtenir le déplacement du toit et les déplacements entre-étages sous un chargement latérale donnée.

3. Résultats et discussion

Deux bâtiments réguliers R+3 en béton armé de typologie courante sont étudiés dans la suite: bâtiment lourd ($f_c = 20\text{MPa}$) et bâtiment léger ($f_c = 30\text{MPa}$). Le portique équivalent est représenté sur la figure 1.

Deux types de remplissage ont été choisis:

- un remplissage rigide (R) composé de briques pleines en terre cuite de dimensions $200 \times 135 \times 50$ pour lesquelles un mortier M12 est utilisé;
- un remplissage souple (S) composé de briques rouges en terre cuite pressées cuites en four continu à 6 trous

dont les dimensions sont $235 \times 135 \times 70$ pour lesquelles un mortier M8 est utilisé.

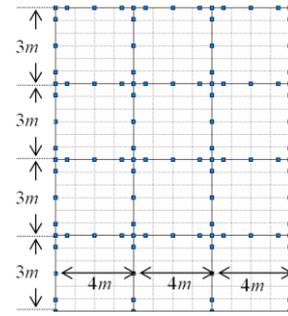


Figure 1: Portique équivalent au bâtiment R+3

Quatre situations de remplissage correspondant à un étage faible dans le bâtiment ont été examinées avec la combinaison suivante: cas (a) bâtiment lourd et remplissage rigide, cas (b) bâtiment lourd et remplissage souple, cas (c) bâtiment léger et remplissage rigide, cas (d) bâtiment léger et remplissage souple. La direction sismique la plus défavorable correspond à la largeur du bâtiment. L'action sismique est représentée par un chargement statique équivalent réparti triangulairement sur le côté gauche du portique. Les propriétés matérielles des aciers, du béton qu'il soit confiné par des armatures transversales ou non confiné, lorsqu'il est dans la zone d'enrobage, ainsi que celui du remplissage sont données dans [9]. Cette référence donne aussi les forces verticales dues au poids propre et à une fraction des charges d'exploitation, ainsi que les coffrages des poutres et des poteaux, le ferrailage des sections avec les sections d'armatures et leurs emplacements.

Le remplissage est modélisé par des poutres diagonales de section rectangulaire. Les dimensions de celles-ci dépendent de l'épaisseur du mur de remplissage et de la rigidité des briques. Le tableau 1 donne la largeur de la poutre diagonale équivalente en fonction de l'épaisseur du mur et de sa rigidité. Cette largeur est calculée à partir des équations (1) à (3).

Epaisseur du mur (mm)	150	300
Cas (a)	494	461
Cas (b)	552	515
Cas (c)	483	458
Cas (d)	498	465

Tableau 1: Largeur de la barre diagonale équivalente en fonction de l'épaisseur du mur et de sa rigidité

Le bâtiment subit latéralement un champ de forces statique qui modélise l'action sismique. Il s'agit d'un chargement proportionnel ayant la forme d'un triangle inversée produisant un déplacement du toit de $0.5m$.

En se référant à l'Eurocode 8 [10], dans le cas des bâtiments ayant des éléments non structuraux composés de matériaux fragiles fixés à la structure, l'exigence de «limitation des dommages» est considérée comme satisfaite si le déplacement de calcul entre-étages est à $0.005h_f$. Le tableau 2 donne l'effort tranchant à la base pour cet état limite ultime de rupture du remplissage.

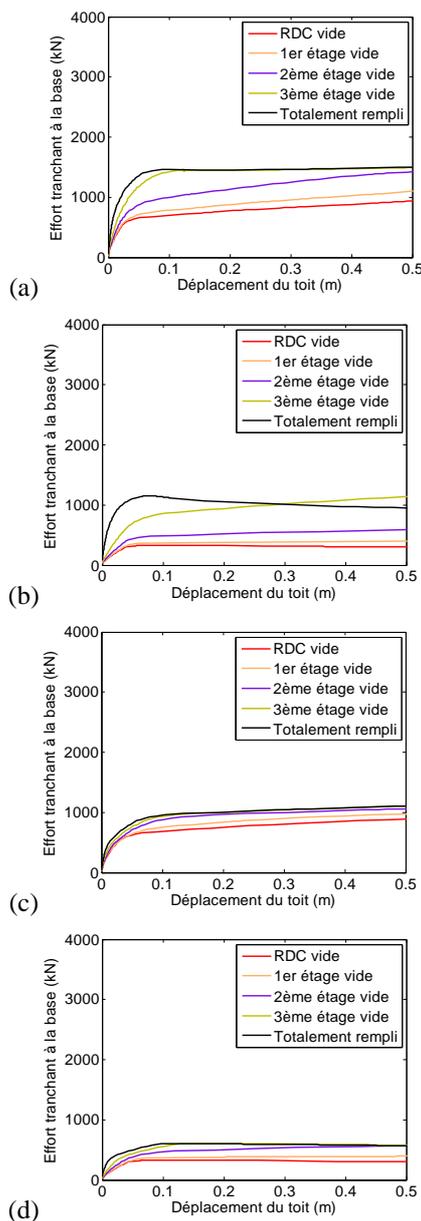


Figure 2: Courbes pushover du bâtiment à remplissage partiel ; épaisseur du remplissage 150mm ;

Epaisseur du mur (mm) et sa rigidité R ou S	150R	300R	150S	300S	
Bâtiment lourd $f_c = 20MPa$	(1)	440	440	440	440
	(2)	500	500	480	700
	(3)	500	520	480	500
	(4)	620	640	580	620
	(5)	1300	1940	780	1060
	(6)	1300	1960	780	1080
Bâtiment léger $f_c = 30MPa$	(1)	160	160	160	160
	(2)	180	180	180	180
	(3)	180	180	180	180
	(4)	220	220	220	220
	(5)	1060	1740	440	740
	(6)	1060	1760	460	740

Tableau 2: Effort tranchant à la base en (kN) à la rupture du remplissage; pour les différents cas de remplissage du bâtiment et de sa rigidité; (1) bâtiment vide, (2) RDC vide, (3) 1^{er} étage vide, (4) 2^{ème} étage vide, (5) 3^{ème} étage vide et (6) bâtiment entièrement rempli

La figure 2 et le tableau 2 montrent que la position de l'étage faible a une influence considérable sur la rigidité initiale ainsi que sur la résistance au point de rupture du remplissage. L'effet est plus accentué dans le cas du bâtiment lourd que dans le cas du bâtiment léger.

Les résultats obtenus corroborent le fait que plus l'étage est situé vers le haut, plus la capacité de résistance latérale est grande. Réciproquement, plus l'étage faible est bas, plus il est nocif et ce indifféremment de l'épaisseur de remplissage utilisée. Par ailleurs, un bâtiment uniformément rempli (6) constitue la configuration idéale permettant d'optimiser la quantité de remplissage utilisée.

Références

- [1] Braga F., Manfredi V., Masi A., Salvatori A., Vona M., *Performance of non-structural elements in RC buildings during the L'Aquila, 2009 earthquake*. Bull Earthquake Eng 9, 2010.
- [2] Celarec D., Ricci P., Dolšek M., *The sensitivity of seismic response parameters to the uncertain modelling variables of masonry-infilled reinforced concrete frames*, Engineering Structures 35, 2012.
- [3] Polyakov S.V. *On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall*. In Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, 1960.
- [4] Krawinkler H., Seneviratna G.D.P.K., *Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation*, Engineering Structures, 20, 1998.
- [5] Fiore A., Porco F., D. Raffaele D., Uva G., *About the influence of the infill panels over the collapse mechanisms actived under pushover analyses: Two case studies*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 39: 11-22, 2012.
- [6] Mainstone R.J., *On the stiffnesses and strengths of infilled frames 7360 S*, Proc Inst Civil Eng (Suppl. iv):57-90, 1971.
- [7] European Committee for Standardization, *Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, EN 1996-1-1*, European Committee for Standardization, CEN, Brussels, 2005.
- [8] Elnashai A.S., Papanikolaou V.K., Lee D.H., *ZeusNL A system for inelastic analysis: User Manual, Version 1.8.7*, University of Illinois at Urbana Champaign, Mid- America Earthquake Center, 2008.
- [9] Attjkani S. *Vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé ; effet des murs de remplissage et phénomène de poteau court*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de Tétouan, 2015.
- [10] European Committee for Standardization. *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance; Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, EN1998-1-2004*. European Committee for Standardization, CEN, Brussels, 2004