
Analyse du comportement parasismique des maisons à ossature bois à partir d'une approche performentielle

Verdret Yassine^{1,2}

¹Université Bordeaux, I2M, département GCE, Bât. B18, Avenue des facultés, 33405 Talence (e-mail : yassine.verdret@u-bordeaux.fr).

²Institut technologique FCBA (Forêt, Cellulose, Bois-construction et Ameublement), Allée Boutaut, BP227, 33028 Bordeaux cedex.

Prix Jeunes Chercheurs « René Houpert »

RÉSUMÉ. Depuis une dizaine d'années de gros efforts sont réalisés au sein de la filière de la construction bois afin de mieux connaître le comportement aux séismes de ces structures. C'est dans cette optique que nous présentons dans cette communication, la démarche de caractérisation adoptée dans le cas particulier des murs à ossature bois avec diaphragme (OSB/3 de 12 mm d'épaisseur) agrafé. On décrit notamment les campagnes d'essais menées à différentes échelles (assemblage, 1:1) ce qui permet l'étude de la variabilité du comportement de ces structures, l'adaptation de la méthode N2 pour les structures à ossature bois ainsi que la construction de courbes de vulnérabilité prenant en compte les sources d'incertitude et de variabilité.

ABSTRACT. The aim of this communication is to characterize the timber light-framed wall with stapled and nailed diaphragm (12 mm thick OSB/3) during the presence of seismic stress or earthquakes. Series of methods were conducted. First is the experimental method. This permitted to know the response of the structure and the connectors' behavior under static and dynamic conditions. Second is the application of a numerical modeling that intends to reproduce the behaviors obtained from the experimental method. Third is the employment of the N2 method. In here, the capacity to predict was tested considering the parameters acceleration and displacement. Last is the vulnerability method. In general, the approach allowed: (i) presenting the variation of these behaviors as a function of rigidity, strength, etc.; (ii) explaining the adaptability of the N2 method in the timber light-framed structures; and (iii) assessing the sensitivity and vulnerability of the structures by taking into account the sources of uncertainty and variability.

MOTS-CLÉS: Génie parasismique, construction bois, essais statiques, essais dynamiques, performance structurelle, vulnérabilité

KEY WORDS: Earthquake engineering, timber construction, static tests, dynamic tests, structural performance, vulnerability

1. Contexte

Il est communément admis que la résistance et la rigidité des structures à ossature bois sont conditionnées par le comportement des assemblages-panneaux – ossature [SAR 13]. Les mécanismes de dissipation d'énergie au niveau des assemblages entre ces panneaux et l'ossature bois, confèrent une importante ductilité globale à l'ouvrage, caractéristique importante pour une structure située en zone à forte activité sismique [HUM 14]. Parmi les assemblages panneaux – ossature utilisés dans les murs à ossature bois, les assemblages agrafés sont en fort développement du fait d'une fabrication plus rapide donc plus économique. Cependant peu d'études sont disponibles sur ce type d'assemblages.

Dans ce contexte, il devient important pour les entreprises de la filière bois d'améliorer la connaissance du comportement sismique des maisons à ossature bois avec diaphragme agrafé dans le but d'optimiser leur dimensionnement. L'apparition ces dernières années de méthode de dimensionnement performentielle, telle la méthode N2 [FAJ 00], permet alors au bureau d'étude de se passer d'une analyse dynamique non-linéaire tout en gardant un ratio précision/temps de calcul acceptable [VER 13]. Malgré l'acceptation grandissante par la communauté du génie civil de ces méthodes de dimensionnement, il reste de nombreux obstacles à franchir avant une reconnaissance totale de ces méthodes. Parmi ceux-là, la prise en compte des différentes sources d'incertitudes (variabilité des séismes, variabilité des propriétés des matériaux de construction, incertitude sur les modèles de comportement,...) est primordiale [GU 13] [ELA 13].

On se propose, dans cette communication, de présenter les résultats de travaux ayant permis la caractérisation du comportement des murs à ossature bois avec diaphragme agrafés en OSB/3 de 12 mm d'épaisseur sous différentes sollicitations (statique / dynamique) ainsi que le développement de méthodes capacitatives (figure 1). Sur l'ensemble de ces travaux, il est porté une attention particulière aux différentes sources d'incertitude et de variabilité. Ce dernier point mène à considérer les objectifs de performance (tenue aux sollicitations extrêmes) dans un contexte probabiliste en faisant appel aux courbes de fragilité.

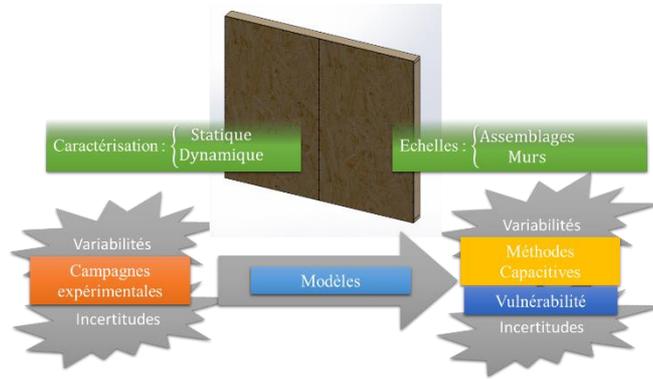


Figure 1. Démarche globale suivie pour l'analyse des murs à ossature bois avec diaphragme agrafé

2. Approche et démarche

2.1. Campagnes expérimentales

L'examen du comportement des assemblages agrafés et plus généralement du comportement des murs à ossature bois a été réalisé à l'aide de trois campagnes d'essais effectuées au sein de l'institut technologique FCBA, à l'échelle de l'assemblage (essais statiques : monotones et cycliques) et du mur en grandeur d'emploi (essais statiques : monotones et cycliques / essais dynamiques).

Afin de qualifier le comportement des assemblages agrafés selon l'orientation de la tête d'agrafe (inclinés à 0° et 90° par rapport au fil du bois - figure 2(a)) comparativement aux assemblages pointés ainsi que d'étudier l'influence de la vitesse de sollicitation durant les essais cycliques sur la réponse globale de l'assemblage, il a été mis au point l'éprouvette donnée en figure 2(b). Au moment de la fabrication des éprouvettes, il est tenu un soin particulier au respect des côtes données en figure 2(b) afin d'introduire dans les essais le moins de variabilité possible liée à la géométrie. De même, les conditions de stockage (chambre climatique) ont permis de s'assurer que le taux d'humidité soit stable d'une éprouvette à une autre. Entre trois et cinq essais ont été réalisés par configuration.

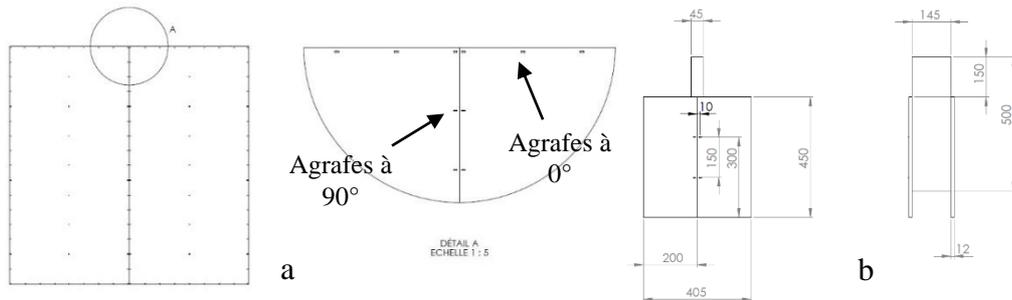


Figure 2. (a) Orientation des agrafes dans un mur à ossature bois à l'échelle 1:1, (b) Spécifications géométriques de l'éprouvette d'essais à l'échelle de l'assemblage

Faisant suite à cette première campagne d'essais statiques à l'échelle de l'assemblage, des essais statiques ont été menés à l'échelle supérieure. L'influence de la vitesse de sollicitation pour les essais cycliques (essais réalisés en 4h ou en 1 min) pour des masses variables (à vide, 300 kg par montant, 600 kg par montant) est étudiée. La figure 3 reproduit les dimensions de l'éprouvette.

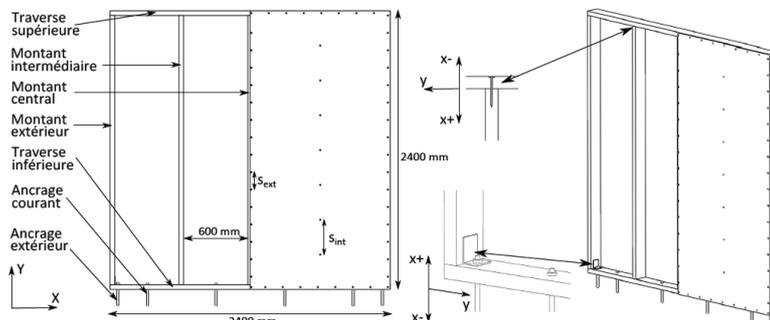


Figure 3. Dimensions et détails d'un mur à ossature bois [BOU 12]

En préambule de chaque essai, un essai de vibration libre est réalisé sur l'éprouvette. Cela permet de quantifier la variabilité inhérente aux groupes de mur à ossature bois utilisé pour les essais statiques.

Un essai monotone et 3 à 4 essais cycliques par configuration ont été réalisés. La figure 4 présente un exemple de courbes d'essais cycliques pour les configurations :

- Essai rapide (1 min) à vide (figure 4(a)) ;
- Essai rapide (1 min) pour une descente de charge de 600 kg par montant (figure 4(b)).

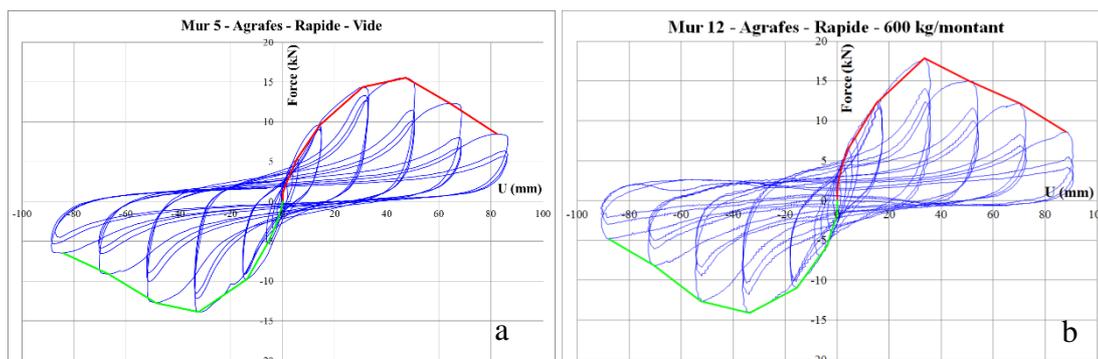


Figure 4. Exemple de courbes cycliques accompagnées des courbes enveloppes (en rouge : positive / en vert : négative) issues des essais sur murs en grandeur d'emploi, (a) essai rapide (1min) à vide, (b) essai rapide (1min) pour un chargement vertical de 600 kg par montant

Les propriétés, et leur variabilité, en termes d'effort, de raideur et de ductilité sont étudiées sur la base des courbes enveloppes construite telles que données en figure 4 (courbe rouge pour le côté positif et verte pour le côté négatif).

Enfin, la dernière campagne d'essais a eu pour but de qualifier le comportement dynamique des structures décrites au paragraphe précédent. Ces essais ont été effectués sur table vibrante (figure 5) au sein de l'institut technologique FCBA pour différentes masses en tête (300 kg par montant et 335 kg par montant) et accélérogrammes représentatifs du contexte sismo-tectonique français [FAY 13].

Chaque essai suit un protocole permettant d'identifier les paramètres modaux (fréquence propre, amortissement, déformée modale), les fonctions de transfert et le seuil de non-linéarité des murs à ossature bois. Etant donnée les conditions d'essais et la faible masse du mur (120 kg) face à la charge, on considère qu'un tel système peut être modélisé par un système à un degré de liberté (DDL).

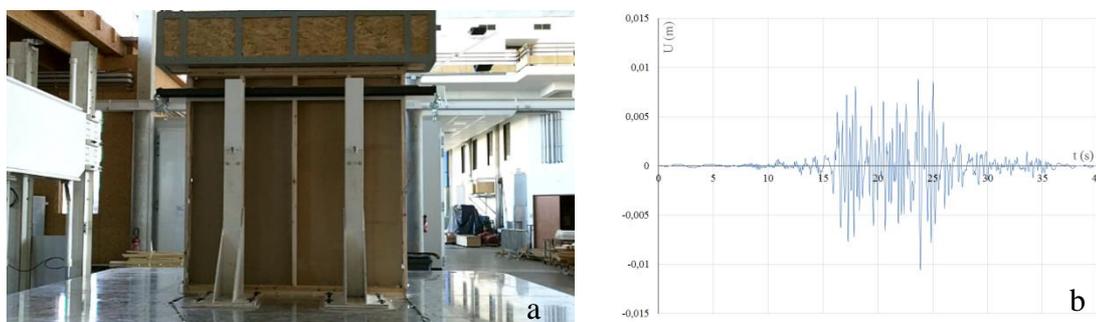


Figure 5. (a) Mur à ossature bois placé sur la table vibrante de l'institut technologique FCBA, (b) Exemple de réponse en déplacement d'un essai sur table vibrante

La restitution d'un accélérogramme numérique sur une table vibrante introduit de l'incertitude et de la variabilité sur le contenu fréquentiel par rapport au signal initial. Il est important de quantifier cet écart entre signaux initiaux et ce que « vit » la structure lors de l'essai dynamique.

2.2. Modélisation

Un des problèmes récurrent dans le génie parasismique est la modélisation du comportement non-linéaire des structures sous une sollicitation dynamique [IBA 05]. Le modèle doit être capable de reproduire l'ensemble des

phénomènes de dissipation d'énergie et de dégradation, en force et en raideur, de la structure tout en gardant des temps de calculs accessibles. Dans le cas des structures à ossature bois, la ductilité est conférée par les assemblages bois – bois par connecteur métallique, le modèle doit donc être capable de reproduire le plus finement possible le comportement de tels assemblages. Suite à une recherche bibliographique de nombreuses lois hystérétiques ont été identifiées pouvant reproduire le comportement global des éléments de mur à ossature bois et le comportement des assemblages. Les qualités de reproduction du comportement et la complexité de mise en œuvre varient grandement d'un modèle à un autre.

Malgré sa difficulté de mise en œuvre et le grand nombre de paramètres (24, figure 5(a)), le modèle d'Humbert [HUM 10] se montre assez générique et permet de reproduire le comportement de n'importe quel connecteur métallique bois – bois [BOU 12]. Il permet, notamment, la modélisation de la dégradation en raideur de charge / décharge et l'endommagement en force. L'endommagement dans une direction est calculé à partir du déplacement précédent dans cette direction et est cumulatif. Cela permet des calculs pour des assemblages ayant un comportement dissymétrique.

A partir des données expérimentales et du modèle de loi de comportement, trois types d'identification ont pu être réalisés : individuel, moyen (sur la base des courbes enveloppes des essais cycliques - figure 6) et probabiliste. Le premier se borne à reproduire le comportement cyclique d'un essai en particulier. Le second permet d'identifier le comportement moyen d'une configuration à partir de plusieurs identifications individuelles. Le dernier permet d'inclure la variabilité expérimentale dans le jeu de paramètres.

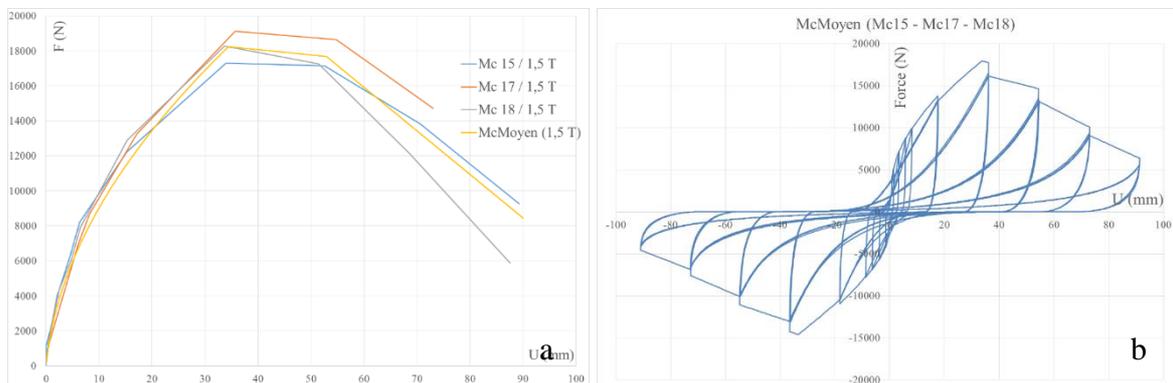


Figure 6. Construction de la courbe enveloppe moyenne à partir de courbes enveloppes issues d'essais cycliques, (b) Exemple de courbe hystérétique d'un mur moyen construite à partir du modèle d'Humbert

A partir de différentes identifications explicitées précédemment, le mur moyen est modélisé comme un système à 1 DDL afin de réaliser les analyses dynamiques. La figure 7 compare la réponse du mur moyen pour l'amortissement moyen relevé durant les essais à la réponse d'un essai dynamique.

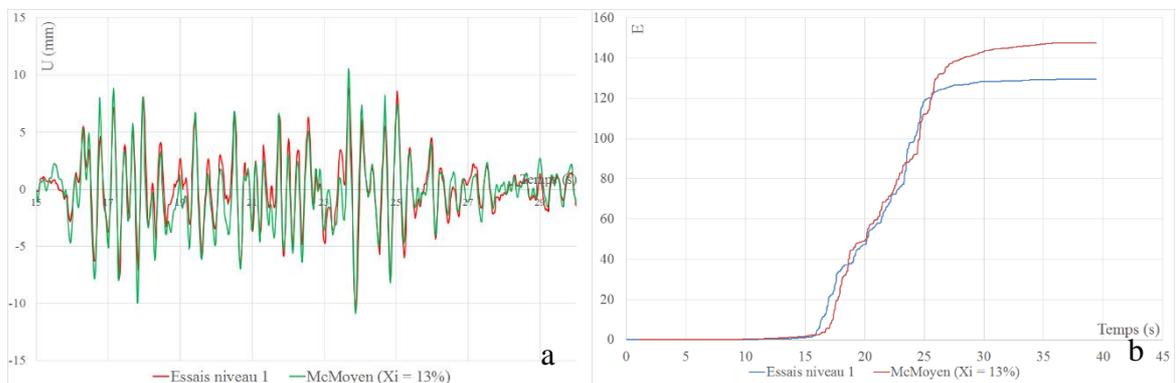


Figure 7. (a) Exemple de réponse en déplacement d'un mur moyen et comparaison avec une courbe expérimentale, (b) comparaison de l'énergie mise en jeux durant la réponse en déplacement expérimentale

L'ensemble du signal expérimental est reproduit correctement par la modélisation sur l'ensemble de la phase forte du signal. Ponctuellement, la modélisation surestime ou sous-estime l'amplitude des pics de déplacement. Cela peut s'expliquer par l'ensemble des incertitudes introduites par le modèle. Egalement, la comparaison des signaux expérimentaux un-à-un avec la modélisation du mur moyen est conditionnée par le nombre d'éprouvettes

ayant permis la construction du mur moyen. On observe enfin un décrochage de l'analyse dynamique sur la dernière partie du signal qui correspond plutôt à des pics de basses fréquences. La méconnaissance des mécanismes d'amortissement peut être également considérée comme une cause des différences entre les deux signaux.

2.3. Méthodes capacitives

La méthode N2 combine une analyse en poussée progressive (ou *pushover*) d'un système à plusieurs degrés de liberté (MDOF) et une analyse en spectre de réponse inélastique d'un système à un seul degré de liberté équivalent. L'originalité et l'intérêt de cette procédure reposent sur cette combinaison permettant d'analyser un phénomène dynamique en faisant appel à une méthode statique non-linéaire ainsi que sur la projection des variables dans un plan de représentation spectral : spectre d'accélération - spectre de déplacement ($S_a=f(S_d)$). Elle permet d'obtenir toutes les grandeurs d'intérêt (déplacement, effort à la base, effort sismique pour chaque degré de liberté) à une analyse parasismique des structures sans itération, tout en garantissant des résultats acceptables.

Concernant les étapes de calculs constituant la méthode N2 pour un système MDOF on se reportera à l'étude de [VER 13]. On précise que l'application de la méthode N2 aux éléments de murs se fait en utilisant les courbes enveloppes des essais cycliques du côté positif. Cette dernière est privilégiée car il s'agit du premier sens de sollicitation durant l'essai cyclique et nous posons l'hypothèse qu'elle correspond à la courbe de poussée progressive permettant d'établir une relation entre l'effort tranchant à la base de la structure et le déplacement en tête.

Afin de construire le diagramme de capacité et de distinguer le comportement élastique du comportement inélastique pour chacun des échantillons, les courbes enveloppes sont idéalisées par une relation Force-Déformation bilinéaire. Pour ce faire, on procède par équivalence énergétique. Le calcul de la raideur initiale a fait l'objet d'une attention toute particulière puisque quatre méthodes différentes ont été utilisées, la méthode de l'EN 594, la méthode de l'ASTM E2126 [AST 08], la méthode de Karacabeyli et Ceccotti (K&C) et la méthode du CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) (figure 8). Afin de discriminer les quatre méthodes d'idéalisation bilinéaire, l'indice d'erreur suivant a été utilisé :

$$e^2 = \left(\frac{U_{\text{model}} - U_{\text{exp}}}{U_{\text{exp}}} \right)^2 + \left(\frac{A_{\text{model}} - A_{\text{exp}}}{A_{\text{exp}}} \right)^2 \quad [1]$$

Où U_{model} représente le déplacement obtenu par la méthode capacitive, U_{exp} le déplacement expérimental, A_{model} l'accélération obtenue par la méthode capacitive et A_{exp} l'accélération expérimentale. La 8 (tableau) donne les valeurs de l'indice e pour toutes les méthodes d'idéalisation. Plus petite est la valeur de e , plus la méthode d'idéalisation fournit des résultats proches de l'expérimental. A partir de cet indice, on distingue deux groupes (dans l'ordre croissant de précision) : ASTM E2126, CSIRO d'un côté et EN 594, K&C de l'autre.

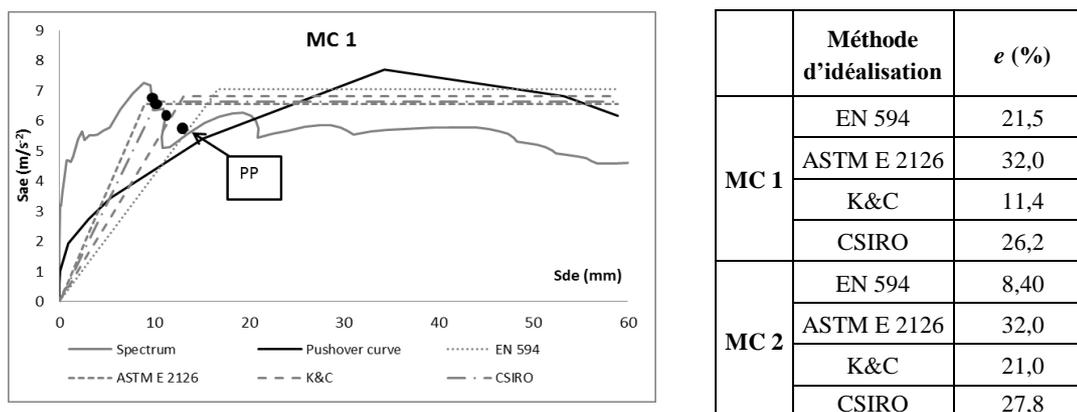


Figure 8. Exemple d'application de la méthode N2, (a) point de performance (PP) déterminé pour un mur à ossature bois (OSB12) et les quatre méthodes d'idéalisation (séisme à 0,33g),

L'application de la méthode N2 pour deux niveaux de sollicitation (0,33g et 1,06g) et quatre méthodes d'idéalisation a montré que les méthodes de l'EN 594 et de K&C permettent de reproduire correctement les déplacements et accélérations. Les marges d'erreur entre expérimentation et modélisation pour les autres méthodes sont moins stables d'une configuration à une autre. La variabilité du matériau bois doit être intégrée notamment à partir d'un calage probabiliste des modèles de loi de comportement.

2.4. Vulnérabilité et incertitudes

Suite aux différentes campagnes d'essais ayant permis l'examen de la variabilité associée au matériau bois, nous introduisons cette variabilité aléatoire dans la méthode N2 afin de construire des courbes de vulnérabilité à l'aide de la méthode Monte Carlo.

Les courbes de vulnérabilité expriment la probabilité d'atteinte ou de dépassement d'un état limite donné connaissant un indicateur de mouvement de sol (s), ce qui s'exprime par [JEO 07] :

$$P(LS|s) = P[(d_{ls} \leq d_{max})|s] = 1 - \phi(r) \quad [2]$$

Où d_{ls} et d_{max} représentent respectivement le déplacement à l'état limite considéré et la demande en déplacement maximum pour un indicateur de mouvement de sol, s . Dans notre cas, l'indicateur de mouvement de sol, s , correspond à l'accélération maximale du sol (ou PGA) à partir duquel les spectres sont amplifiés.

Trois échantillons sont disponibles pour chaque configuration d'essais (§2.1) et sur la base desquels les moyennes et écarts-types sont estimés et devraient être représentatifs de la variabilité des propriétés mécaniques des murs à ossature bois. On associe aux paramètres descripteurs (figure 9(a)) des courbes enveloppes des essais cycliques une loi de distribution de probabilité.

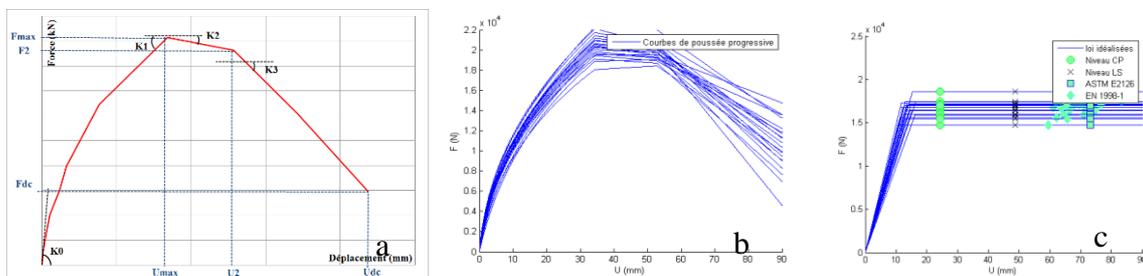


Figure 9. (a) Paramètre de définition de la courbe enveloppe des essais cycliques, (b) échantillon d'une famille de courbe de poussée progressive, (c) idéalisation bilinéaire des courbes de poussée progressive

La construction de courbes de vulnérabilité implique la définition d'états limites. Dans le cadre examiné ici, on définit 4 états limites à partir de textes normatifs [AST 08] ou réglementaires [FEM 00] [NFE 05] (figure 9(c)). Enfin, la variabilité des mouvements de sol est prise en compte par la génération d'un ensemble de séismes synthétiques [GAS 76] correspondant au spectre élastique défini par [NFE 05].

3. Quelques résultats

3.1. Influence de la vitesse de sollicitation, de la descente de charge et de l'orientation de l'agrafe sur les murs à ossature bois

Comme décrit au paragraphe §2.1, trois campagnes d'essais ont pu être menées à l'institut technologique FCBA afin d'examiner l'influence de la vitesse de sollicitation, de la descente de charge et de l'orientation de l'agrafe à l'échelle de l'assemblage.

Concernant l'effet de l'orientation de l'agrafe, les essais à l'échelle de l'assemblage ont permis de mettre en avant que l'effort maximum atteint par l'assemblage à 0° par rapport au fil du bois est réduit de près de 20% comparativement aux assemblages pointés ou agrafés à 90° par rapport au fil du bois. Concernant la raideur tangentielle déterminée par la méthode de l'ASTM E2126, on retrouve une performance similaire dans le cas des agrafes à 90° et des pointes mais celle-ci est inférieure aux valeurs déterminées dans le cas des agrafes à 0° . On peut expliquer cela par le fait que les pattes des agrafes ont tendance à se croiser durant l'implémentation dans le montant de l'éprouvette et dans le cas à 0° ce phénomène semble augmenter significativement la raideur de l'éprouvette.

Concernant l'effet de la vitesse de sollicitation, les essais à l'échelle de l'assemblage et de la structure ont permis de mettre en avant que dans le cas des essais cycliques à l'échelle de l'assemblage, la vitesse semble avoir une influence non négligeable sur le comportement des éprouvettes pointées : le chargement maximum atteint durant les essais rapides est supérieur de 30%. Pour les assemblages agrafés, cette remarque n'est vraie que du côté compression. En passant à l'échelle de la structure, on observe également une augmentation de la capacité portante couplé à l'augmentation de la vitesse d'essai, cela s'accompagne néanmoins d'une chute de résistance d'autant plus rapide. De plus, augmenter la vitesse implique une décroissance de la ductilité calculée selon l'ASTM E2126 quel que soit l'échelle.

L'examen aux différentes échelles des coefficients de variation associées aux paramètres d'effort montre une réduction de ceux-ci lorsque l'on passe à l'échelle 1:1. Cela pourrait s'expliquer, entre autre, par le fait d'une construction manuelle des assemblages contrairement au processus automatisé de montage des murs qui aurait tendance à être plus précis.

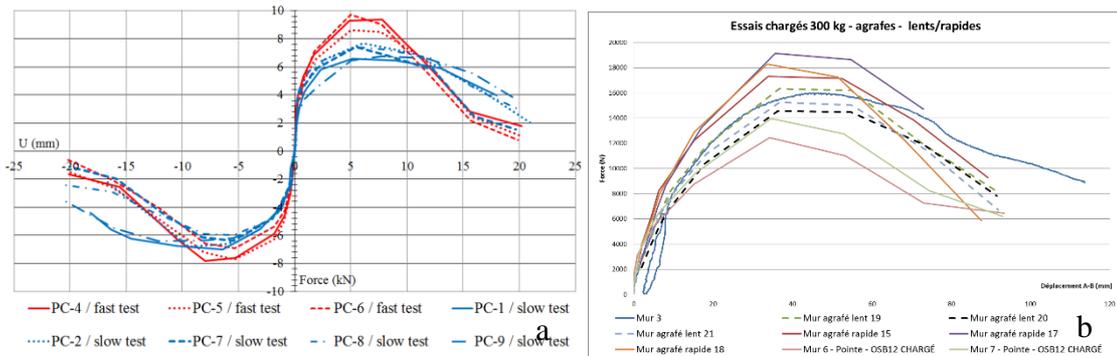


Figure 10. Influence de la vitesse sur les courbes enveloppes des essais cycliques (a) à l'échelle de l'assemblage pour les assemblages pointés, (b) à l'échelle des murs à ossature bois agrafés

Concernant enfin l'influence de la descente de charge sur les murs à ossature bois avec diaphragme agrafé, celle-ci semble avoir moins d'effet que la vitesse de sollicitation. On montre notamment (test de Student pour un risque de 10% sur l'effort maximum) qu'on ne peut distinguer les configurations entre elles.

3.2. Courbe de vulnérabilité de structures à ossature bois et méthode performencielle

On présente ci-après les courbes de fragilité construites à partir de l'ensemble des courbes de poussée progressive générées par la méthode Monte Carlo pour deux configurations de murs. La figure 7 présente les courbes de fragilité construites à partir des expressions [3]. Pour montrer l'effet du choix de la méthode d'idéalisation, les courbes bleues correspondent à l'idéalisation par la méthode ASTM E2126 tandis que les courbes jaunes correspondent à l'idéalisation par la méthode de la norme NF EN 594.

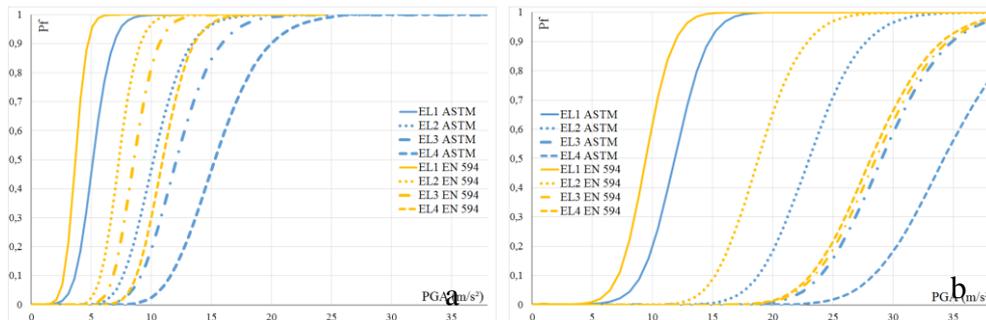


Figure 11. Courbes de fragilité construites par la méthode N2 pour les configurations chargé à 600 kg par montant (a) et 300 kg par montant (b)

Quatre états-limites (EL) distincts ont été définis. On constate que, pour un EL et une probabilité de dépassement donnés, la méthode d'idéalisation de l'ASTM E2126 est moins conservatrice que l'EN 594 car menant à des accélérations plus importantes. Cette différence est plus marquée dans le cas des configurations les moins chargées (300 kg par montant). On constate également que dans ce cas, les courbes de probabilité de dépassement des EL 3 et 4 sont quasiment confondues ce qui n'est pas le cas pour la seconde configuration.

L'ensemble des courbes de fragilité sont construites à partir de modèles approchés faisant appel à des hypothèses et des simplifications sur le comportement des murs à ossature bois pouvant être appréhendées en prenant en compte les incertitudes aléatoires et épistémiques inhérentes.

4. Conclusion

Nous présentons dans cette communication, la démarche d'analyse du comportement parasismique des murs à ossature bois avec diaphragme (panneau OSB/3 de 12 mm d'épaisseur) agrafé suivie du développement de la méthode N2 pour ce type de structures. Pour cela, trois campagnes expérimentales ont été menées à l'échelle de la structure et de l'assemblage permettant d'effectuer une caractérisation de ces systèmes pour des combinaisons

d'action variables (descente de charge, vitesse de sollicitation,...). Ces essais posent également les bases d'une étude probabiliste de leur comportement dynamique. On montre au travers de cette communication, l'influence prépondérante, face à la descente de charge, de la vitesse de sollicitation durant les essais cycliques. Une attention particulière est portée aux sources d'incertitudes et de variabilité à chaque étape du développement avec notamment la déclinaison des courbes de vulnérabilité à l'aide de la méthode N2.

5. Remerciements

Nous tenons à remercier le Conseil Régional d'Aquitaine, le CODIFAB et l'ANRT pour leur soutien à ces travaux.

Bibliographie

- [AST 08] ASTM E2126. (2008). *Standard Test Methods for Cyclic Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems for Buildings*. AFNOR.
- [BOU 12] Boudaud, C. (2012). *Analyse de la vulnérabilité sismique des structures à ossature bois*. Grenoble: Ph.D. thesis, Université de Grenoble.
- [ELA 13] Elachachi, S., M. Mekki, M., & Breysse, D. (2013). Effect of soil-structure interaction and soil variability on RC structures within a performance-based earthquake engineering framework. *ICOSSAR 16-20 June 2013*. New York: 11th International Conference on Structural Safety and Reliability.
- [FAJ 00] Fajfar, P. (2000). A Non Linear Analysis Method for Performance-Based Design. *Earthquake Spectra*, Vol 16, N°3, 573-592.
- [FAY 13] Faye, C., Le Magorou, L., Garcia, P., & Duccini, J.-C. (2013). Experimental investigations on seismic behaviour of conventional timber frame wall with OSB sheathing proposal of behaviour factor. *CIB-W18 - timber structures*. Vancouver: Center for Advanced Wood Processing.
- [FEM 00] FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Federal Emergency Management Agency.
- [GAS 76] Gasparini, D. A., & Vanmarcke, E. H. (1976). *Simulated earthquake motions compatible with prescribed response spectra*. Cambridge, Mass.: MIT Civil Engineering.
- [GU 13] Gu, J. (2013). Seismic Reliability Analysis of Wood Shear Walls Using Different Methods. *Journal of Structural Engineering*.
- [HUM 10] Humbert, J. (2010). *Characterization du comportement des structures bois à assemblages métallique sous sollicitations sismiques*. Grenoble: PH.D. thesis, Université de Grenoble.
- [HUM 14] Humbert, J., Boudaud, C., Baroth, J., Hameury, S., & Daudeville, L. (2014). Joints and wood shear walls modelling I: Constitutive law, experimental tests and FE model under quasi-static loading. *Engineering Structures*, 52-61.
- [IBA 05] Ibarra, L. F., Medina, R. A., & Krawinkler, H. (2005). Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1489-1511.
- [NFE 05] NF EN 1998-1. (2005). *Calcul des structures pour leur résistance aux séismes*. AFNOR.
- [ROS 02] Rosowsky, D. V. (2002). Reliability-based Seismic Design of Wood Shear Walls. *Journal of structural Engineering*, 1439-1459.
- [SAR 13] Sartori, T., & Tomasi, R. (2013). Experimental investigation on sheathing-to-framing connections in wood shear walls. *Engineering Structures*, 2197-2205.
- [VER 13] Verdret, Y., Elachachi, S.M., Faye, C., & Garcia, P. (2013). Modélisation du comportement d'un mur à ossature bois sous action sismique. *Rencontre Universitaire de Génie Civile*. Cachan.