



## Matériaux

# MODÉLISATION DU COMPORTEMENT D'UN MUR À OSSATURE BOIS SOUS ACTION SISMIQUE

**Y. VERDRET<sup>1,2</sup>, S.-M. ELACHACHI<sup>1</sup>, C. FAYE<sup>2</sup>, P. GARCIA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Université Bordeaux 1, I2M, département GCE, Bât. B18, Avenue des facultés, 33405 Talence  
(e-mail : yassine.verdret@etu.u-bordeaux1.fr).

<sup>2</sup> Institut technologique FCBA (Forêt, Cellulose, Bois construction et Ameublement), Allée Boutaut, BP227,  
33028 Bordeaux cedex  
yassine.verdret@fcba.fr

## 1. INTRODUCTION

La France est, comme plusieurs pays européens, concernée par le risque sismique. En ce qui concerne l'habitat individuel, depuis les décrets sur le zonage sismique d'octobre 2010, 25% des communes françaises sont concernées dorénavant par le règlement parasismique contre 14% précédemment. Le nombre d'ouvrages en bois sur le territoire français selon la catégorie de bâtiments considérée étaient en 2011 de :

- 16 100 maisons individuelles, soit 10% des maisons individuelles tous matériaux confondus ;
- 8 000 logements résidentiels hors maisons individuelles, soit 3% du parc résidentiel ;
- 920 ouvrages pour les autres types de bâtiments et tertiaires, soit 2% tous matériaux confondus ;

Du fait de cette nouvelle réglementation et de la généralisation des Eurocodes (et en particulier les Eurocodes 5 et 8 dédiés respectivement aux constructions bois et au dimensionnement parasismique), le dimensionnement des structures bois et leur justification vis-à-vis des sollicitations sismiques deviennent quasi-systématiques. Plus particulièrement, dans le cas des structures bois, l'Eurocode 8, indique que leur dimensionnement aux séismes doit être fait selon l'un des deux principes suivants :

- a) comportement de structure faiblement dissipatif ; ce principe s'applique aux structures dont la classe de ductilité est DCL (faible ductilité) ;

b) comportement de structure dissipatif ; dans ce cas, la classe de ductilité à laquelle appartient la structure et le système constructif est DCM (ductilité moyenne) ou DCH (haute ductilité).

L'Eurocode 8 propose les règles de moyens suivantes permettant d'affecter aux murs à ossature bois un comportement dissipatif :

- Les panneaux de particules ont une masse volumique d'au moins 650kg/m<sup>3</sup> ;
- Les panneaux de contreplaqué ont une épaisseur d'au moins 9 mm ;
- Les panneaux de particules ou de fibre ont une épaisseur d'au moins 13 mm ;

En revanche, aucune règle de moyens permettant d'affecter une classe de ductilité élevée n'est proposée pour les murs à ossature bois avec panneaux OSB (Oriented Strain Board), alors qu'ils représentent environ 80% du marché français de la maison à ossature bois, devant les panneaux de particules et de contreplaqué.

Dans ce contexte, améliorer la connaissance du comportement sismique des maisons à ossature bois dans le but d'optimiser leur dimensionnement avec le niveau de fiabilité suffisant, est un enjeu important pour les entreprises de la filière bois. C'est pourquoi de nombreux chercheurs ont proposé, en lieu et place d'une analyse dynamique non-linéaire, l'utilisation de procédures d'analyse statique non-linéaire. Ces approches combinent une analyse statique non-linéaire (*pushover*) d'un modèle à plusieurs degrés de

liberté (MDOF) à une analyse par spectre de réponse d'un modèle à un seul degré de liberté (SDOF) équivalent. On peut citer parmi ces procédures la méthode par spectre de capacité (CSM, [Freeman, 1978]- [ATC 40, 1996]), la méthode des coefficients de déplacement (DCM, [FEMA 356, 2000]), la méthode N2 ou méthode Spectrale Non-Linéaire [Fajfar, 2000] et l'Analyse Modale Pushover (MPA, [Chopra & Goel, 2002]).

Par sa nature graphique et sa rapidité de mise en œuvre, la Méthode par Spectre de Capacité (CSM) est largement utilisée dans le domaine du parasismique [Gencturk & Elnashai, 2008]. Comme pour les autres méthodes, l'analyse par CSM est utilisée afin de prédire le déplacement de la structure imposé par le séisme. Depuis sa mise en place par l'ATC 40, elle a subi de nombreuses évaluations [Chopra & Goel, 1999] et améliorations [Lin & Miranda, 2004], [Iwan & Guyader, 2002]. Malgré les efforts des chercheurs pour améliorer cette méthode, elle reste à ce jour très imparfaite notamment à cause des problèmes de convergence et une surestimation très forte des déplacements encourus [Chopra & Goel, 1999].

Une autre voie possible de dimensionnement est la méthode dite capacitive ou Méthode Spectrale Non-Linéaire [Fajfar, 2000]. A l'heure actuelle, cette méthode n'est que peu utilisée par les bureaux d'étude pour les structures en béton armé ou en construction métallique et ne l'est pas encore pour les structures en charpente bois.

On se propose dans cette communication de présenter les résultats obtenus suite à l'application de la Méthode Spectrale Non-Linéaire à l'analyse du comportement d'un élément de mur à ossature bois sous une action sismique connue afin de prédire son déplacement en tête. La loi de comportement de cet élément est obtenue par idéalisatation bilinéaire de la courbe enveloppe des essais cycliques qui diffère d'une courbe obtenue à partir d'un chargement monotone. Différentes méthodes de détermination du seuil de plasticité d'une loi de comportement idéalisée ont été examinées.

## 2. ESSAIS SUR MURS À OSSATURE BOIS

### 2.1. Description des échantillons

Les murs sur lesquels ont été effectuées les campagnes d'essais présentent les caractéristiques suivantes (voir figure 1.a ci-dessous) :

- Les dimensions globales des murs sont de 2400x2400 mm<sup>2</sup>.
  - Ossature sapin / épicéa, section de 45x145 mm<sup>2</sup>, les montants sont espacés de 600 mm et les assemblages montants / traverses sont réalisés par 4 pointes annelées 3,2x90 mm<sup>2</sup>.
  - Les pointes réalisant les assemblages panneaux / montants sont de types bichromate annelées 2,5x50 mm<sup>2</sup>, espacées de 150 mm en rives et de 300 mm au centre.
- La structure décrite précédemment est constituée de 2 panneaux de dimensions 1200x2400 mm<sup>2</sup> et a été testée pour différents types de voile. Nous ne présentons ici que les résultats concernant le voile travaillant en panneaux OSB (Oriented Strain Board) de 12 mm d'épaisseur (nommés ensuite OSB12).
- Notons que chacun des échantillons a une masse de  $m=120$  kg et que le système tel que décrit peut être assimilé à un système à un degré de liberté (SDOF) sollicité dans son plan.

### 2.2. Caractérisation des murs à ossature bois

Afin de qualifier expérimentalement le comportement parasismique des murs à ossature bois, l'Institut technologique FCBA a procédé à des campagnes d'essais cycliques et dynamiques. Ces essais ont été réalisés pour différents types de voiles travaillant et chargements verticaux représentant la descente de charge dans une structure bois.

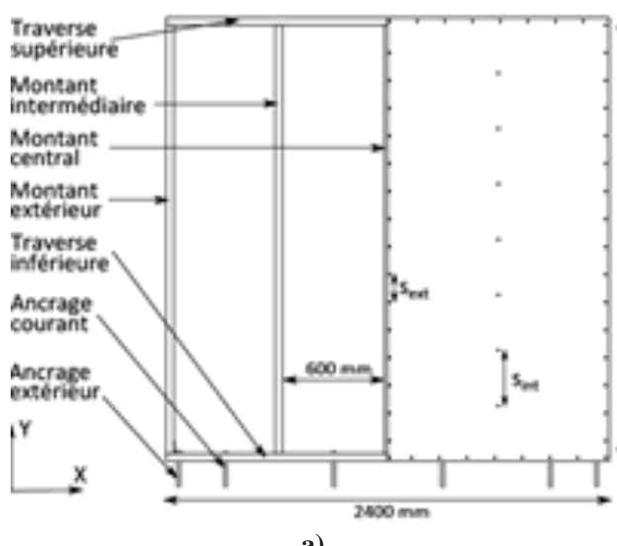


Figure 1. a) Détails des murs d'essais. b) courbe d'essai cyclique et enveloppe.

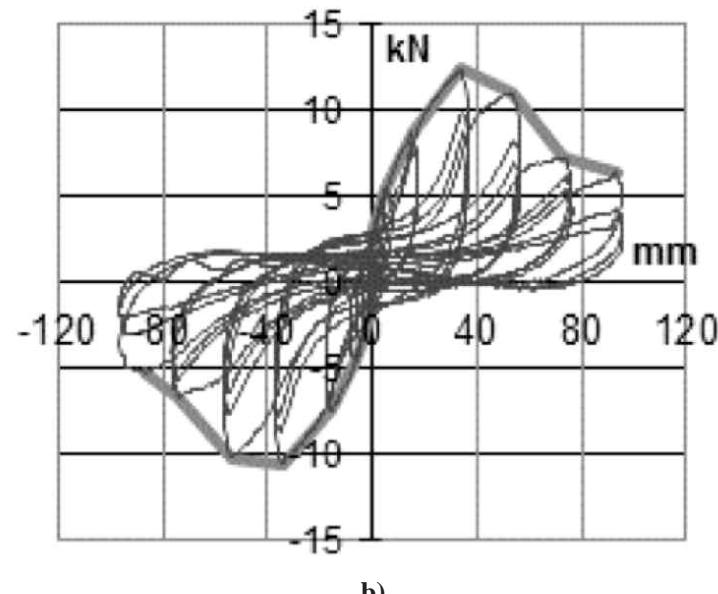




Figure 2. Montage pour les essais cycliques.

Tout d'abord, les essais cycliques (figure 1.b et figure 2) consistent à déterminer les propriétés de ductilité, d'affaiblissement de résistance et d'amortissement des murs de contreventement à ossature bois. Ils ont été menés selon la norme d'essais cycliques ISO/DIS 21581.

Pour la configuration présentée, 2 essais cycliques avec un chargement vertical, qui correspond à une masse répartie de 1,5 tonne, sont réalisés. L'ajout d'un chargement vertical modélise la descente de charge et permet de tenir compte des conditions réelles de mise en œuvre des murs. Par manque de place, les résultats des essais cycliques ne sont pas présentés.

Afin d'appliquer la méthode Spectrale Non-linéaire sur les éléments de murs tels que décrits, nous posons l'hypothèse que la courbe enveloppe des essais cycliques 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.

La configuration présentée précédemment a également fait l'objet d'une campagne d'essais dynamiques sur table vibrante (figure 3). Un protocole d'essai a été développé

permettant de simuler différents séismes et d'appréhender le comportement dynamique linéaire et non-linéaire de murs en grandeurs d'emploi. Ce protocole permet d'identifier les paramètres modaux (fréquences propres, amortissements, déformées modales), les fonctions de transferts et le seuil de non-linéarité.

Le signal d'entrée utilisé pour mener les essais sur table vibrante a été choisi dans des bases de données fournies par le BRGM pour être représentatifs de l'aléa moyen et fort en France et obtenir l'effondrement des murs avant d'atteindre les limites physiques de la table. Nous le nommons séisme *Lointain* et il correspond au séisme de Miyagi (PGA = 0,33 g). A son niveau initial ce signal sismique garde la structure dans son domaine élastique. Cependant certains essais dynamiques ont été réalisés pour des niveaux de PGA amenant la structure dans le domaine non-linéaire.

Sur l'ensemble des essais réalisés, 4 murs ont été retenus pour cette étude. Le Tableau 1 présente les caractéristiques de chacun d'eux. Enfin, il a été mesuré un amortissement de 15% pour l'OSB12.

	Niveau initial (g)	Déplacement (mm)	Accélération ( $m.s^{-2}$ )	Période propre (s)	Raideur ( $MN.m^{-1}$ )
<b>MD 7</b>	0,33	9,4/-9,1	4,8	0,15	2,96
<b>MD 8</b>	0,33	10,2/-13	5,3	0,17	2,16
<b>MD 11</b>	0,33	9,3/-8,3	5,2	0,14	3,31
<b>MD 12</b>	1,06	36,3/-37,6	17,8	0,14	3,13

Tableau 1. Résultats expérimentaux pour les essais dynamiques (MD : Mur testé en Dynamique).



Figure 3. Mur à ossature bois placé sur la table vibrante de l'institut technologique FCBA.

### 3. MÉTHODE SPECTRALE NON-LINÉAIRE

#### 3.1. Théorie

La méthode Spectrale Non-Linéaire 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 (SDOF). 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.

Le développement de la méthode Spectrale Non-Linéaire a commencé à la fin des années 1980 par les publications de Fajfar & Fishinger [1987], [1989] et Gaspersic & al. [1992]. Il continue encore d'évoluer avec la publication de Kreslin & Fajfar [2011] concernant la prise en compte d'effets des modes supérieurs de vibrations.

Les étapes de calculs constituant la méthode Spectrale Non-Linéaire pour un système MDOF sont :

- Construction du spectre de réponse élastique à partir d'un accélérogramme réel. Ce spectre est défini dans le plan Accélération-Période ( $S_{ae} = f(T)$ ) ;
- Projection du spectre de réponse élastique dans le plan spectral Accélération-Déplacement ( $S_{ae} = f(S_{de})$ ) ;
- Détermination du spectre inélastique de calcul,  $S_a = f(S_d)$  de la sollicitation sismique par utilisation du coefficient de comportement  $q$  ;
- Analyse en poussée progressive de la structure afin de déterminer une loi de comportement globale Force-Déplacement ( $F=f(V)$ ) ;
- Détermination des caractéristiques du système SDOF équivalent au système MDOF et de la courbe de capacité par idéalisat ion bilinéaire de la courbe de poussée progressive ;
- Détermination du point de performance, lieu d'intersection entre le spectre inélastique du système SDOF et de la courbe de capacité ;
- Retour au système MDOF et calcul des déplacements globaux, inter-étages et forces sismique.

Dans le cas où la période élastique du système SDOF équivalent est plus petite que la période caractéristique du mouvement de sol ( $T_c$ ), la demande en déplacement inélastique est égale à la demande en déplacement inélastique (figure 4) et il est alors possible de ne pas utiliser le coefficient de comportement pour le passage en inélastique. Comme l'on cherche à comparer les résultats de la méthode Spectrale Non-Linéaire avec les essais dynamique sur table on se place dans le cas d'un sol rocheux (classe A selon Eurocode 8) pour laquelle  $T_c = 0,2$  s.



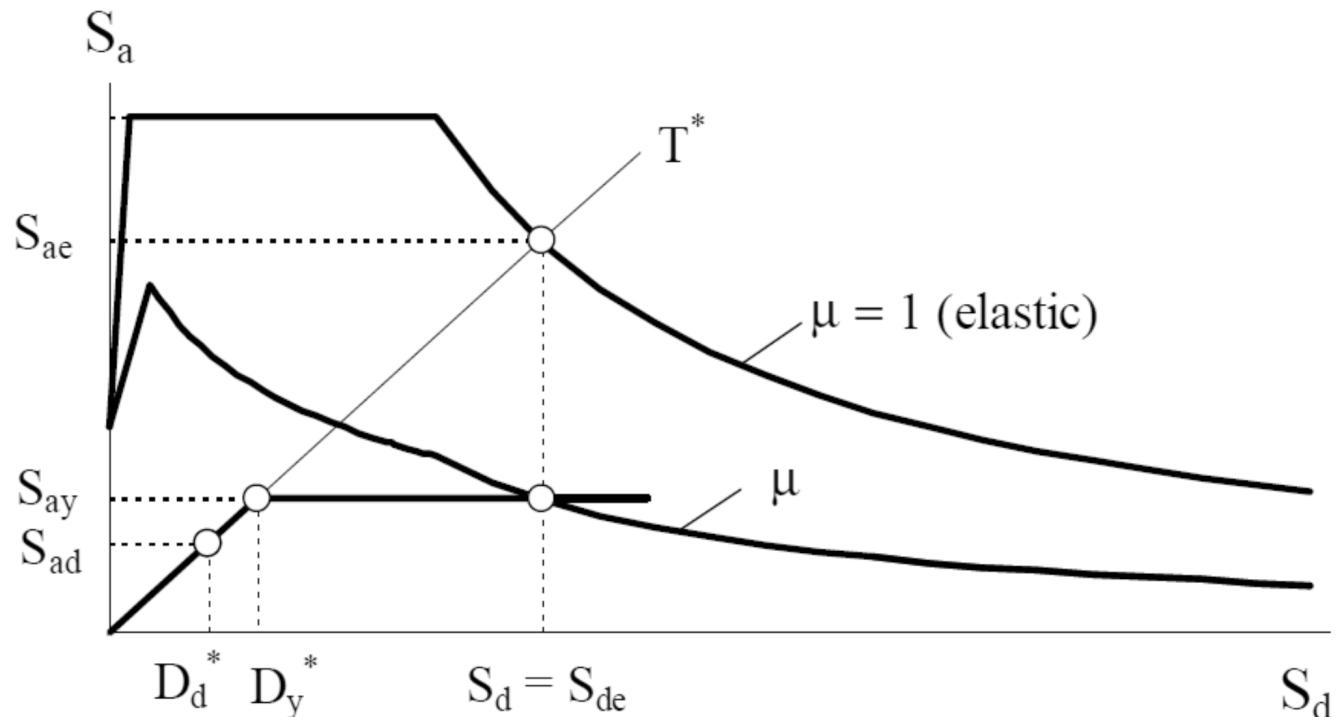


Figure 4. Détermination du point de performance par superposition des spectres de demande inélastique et élastique et du diagramme de capacité dans le cas où  $T^3 = T_c$  [Fajfar, 2000].

### 3.2. Application de la méthode Spectrale Non-linéaire à un mur à ossature bois

Afin d'appliquer la méthode Spectrale Non-Linéaire, les accélérogrammes sont transformés en spectres de réponse élastique dans le plan spectral Accélération-Déplacement ( $S_{ae} = f(S_{de})$ ) pour l'amortissement relevé durant les essais dynamiques, soit 15%.

Dans un deuxième temps, on construit le diagramme de capacité des murs à ossature bois. On considère que le matériau est faiblement hétérogène (hypothèse forte) pour que la courbe cyclique soit représentative de tous les murs et on rappelle que le système étudié ne possède qu'un seul degré de liberté.

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 bилиnaire. Pour ce faire, on détermine une raideur initiale puis le palier plastique est ajusté de telle sorte que les aires situées sous les courbes Force-Déformation réelle et idéalisée soient égales. On garde ainsi une équivalence énergétique entre les deux systèmes. La raideur post-pic est supposée nulle.

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 pour laquelle la raideur initiale est définie à partir de la relation :  $K_{EN} = \frac{0,4F_m - 0,2F_m}{V_{0,4F_m} - V_{0,2F_m}}$ ,

– La méthode de l'ASTM E 2126 pour laquelle la raideur initiale est définie à partir de la relation :  $K_{ASTM} = \frac{0,4F_m}{V_{0,4F_m}}$ ,

– La méthode de Karacabeyli et Ceccotti (2005) (K&C). Contrairement aux méthodes précédentes, celle-ci permet le calcul du glissement limite  $V_y$ . Cependant, pour garder l'équivalence énergétique entre les deux systèmes, on utilise leur définition du glissement limite uniquement dans le but de calculer la raideur initiale puis on procède à l'égalisation des aires sous les courbes. Ainsi nous avons :  $K_{K\&C} = \frac{0,5F_m}{V_{0,5F_m}}$ ,

– La méthode CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). Comme précédemment cette méthode s'emploie communément pour la détermination du glissement limite. Dans notre cas on s'en sert pour la détermination de la raideur initiale et

nous avons :  $K_{CSIRO} = \frac{F_{1,25V_{0,4F_m}}}{1,25V_{0,4F_m}}$ .

On construit alors le diagramme de capacité en divisant les efforts par la masse totale du système étudié. Afin de comparer les résultats de notre étude aux résultats des essais dynamiques, on considère que le système, comme durant les essais, reprend une masse de 1,5 tonnes. Nous obtenons donc une masse totale de  $m_t = 1620$  kg.

En superposant le diagramme de capacité et le spectre de réponse élastique exprimé dans le plan spectral



Accélération – Déplacement, il est possible de déterminer le point de performance (PP) de la structure correspondant à l'intersection entre l'idéalisat ion et le spectre de réponse exprimé dans le plan spectral Accélération – Déplacement. On donne en exemple la Figure 5 représentant la superposition du diagramme de capacité obtenu pour un mur en OSB 12, son idéalisat ion bilinéaire suivant les quatre méthodes décrites précédemment et le spectre de réponse dans le plan spectral Accélération – Déplacement.

## 4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Dans cette partie, nous allons étudier l'influence de l'idéalisat ion bilinéaire sur les résultats de la méthode Spectrale Non-Linéaire appliquée à un mur à ossature bois puis les comparer aux déplacements obtenus par essais dynamiques.

Pour chacune des configurations testées en cyclique avec un chargement vertical de 1,5 tonne, on procède à une idéalisat ion bilinéaire suivant les méthodes décrites précédemment. On donne alors les périodes propres des systèmes équivalents ainsi que les résultats de l'application de la méthode Spectrale Non-Linéaire concernant le voile en OSB12 dans le Tableau 2. *Déplacements et accélérations obtenus par la méthode Spectrale Non-Linéaire en fonction de la méthode pour l'OSB12* pour le signal *Lointain* au niveau initial (PGA = 0,33 g). On compare les résultats de la modélisation avec la valeur maximale – en valeur absolue – de déplacement obtenue lors des essais dynamiques, voir Tableau 1.

Les valeurs des périodes propres sont obtenues sur la base de la raideur initiale calculée par les différentes méthodes d'idéalisat ion. Elles sont à comparer aux valeurs des périodes propres et de raideur du Tableau 1 obtenues par analyse modale lors des essais dynamiques. Les valeurs des périodes propres obtenues après idéalisat ion sont de l'ordre de 30 à 50% supérieures tandis que les raideurs associées représentent globalement moins de la moitié des raideurs relevées durant les essais dynamiques. Les systèmes modélisés sont donc beaucoup plus souples que les structures réelles.

Pour chacune des configurations modélisées, les valeurs des raideurs sont très disparates allant du simple au double suivant le modèle d'idéalisat ion. La méthode de l'EN 594 nous donne la raideur la plus faible représentant 42% de la raideur déterminée par la méthode de l'ASTM 2126 dans un cas et 34% dans l'autre. Cependant, les déplacements obtenus par l'EN 594 diffèrent de 3% par rapport à la plus grande valeur relevée sur table (référencée MC 1) et de 13% (référencée MC 2). Les méthodes de Karacabeyli & Ceccotti et du CSIRO se situent entre les deux avec la marge d'erreur la plus élevée de 23% pour la méthode de Karacabeyli & Ceccotti dans le cas de la différence entre le mur référencé MC1 et le mur 8. Les autres marges d'erreur pour ces deux méthodes se situent entre 6 et 18%. On peut également voir que pour les trois premières méthodes les valeurs de l'accélération sont bien reproduites puisque la méthode de l'EN 594 conduit à prédire la bonne accélération dans le cas du système référencé MC 1 tandis que dans l'autre cas la différence est de moins de 2%. La différence la plus élevée est de 16% pour la méthode de Karacabeyli & Ceccotti. Quant à la méthode du CSIRO, elle surévalue l'accélération de 21% (référence MC 1) et de 22% (référence MC 2).

Les résultats précédents sont valables pour les murs à ossature bois sollicités dans le domaine élastique. Cependant, un autre essai sur voile en OSB12 a été réalisé pour le

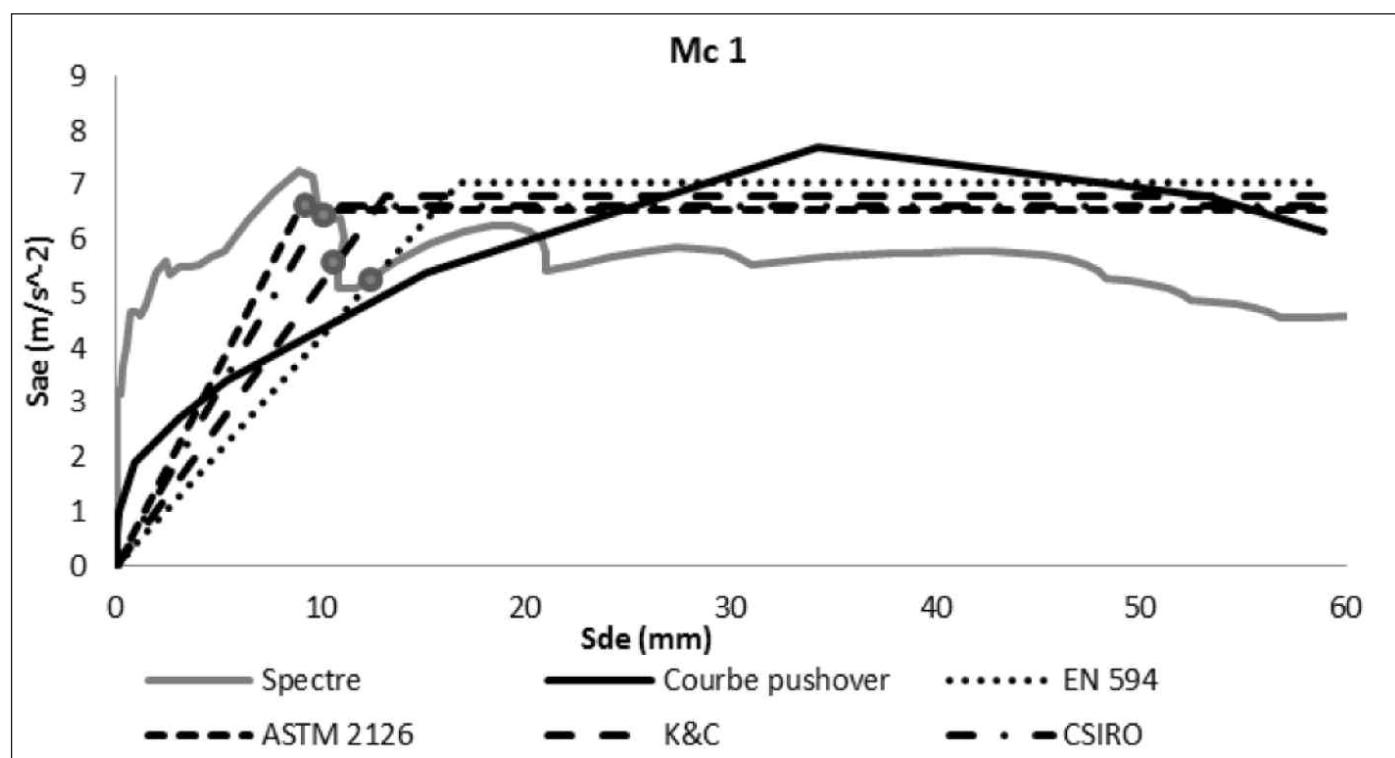


Figure 5. Courbe de poussée progressive pour un mur en OSB 12 et son idéalisat ion bilinéaire (Mc : Mur testé en Cyclique).

Référence mur	Idéalisation	Raideur (MN.m <sup>-1</sup> )	Période propre (s)	Déplacement au point de performance (mm)	Accélération au point de performance (m.s <sup>-2</sup> )
MC 1	<b>EN 594</b>	0,681	0,3	12,6	5,31
	<b>ASTM E 2126</b>	1,18	0,23	7,2	5,27
	<b>K&amp;C</b>	0,837	0,28	10,9	5,66
	<b>CSIRO</b>	1,04	0,25	10	6,41
MC 2	<b>EN594</b>	0,779	0,29	11,2	5,40
	<b>ASTM E 2126</b>	1,18	0,23	7,2	5,27
	<b>K&amp;C</b>	0,895	0,27	11,1	6,14
	<b>CSIRO</b>	1,06	0,25	9,9	6,48

**Tableau 2. Déplacements et accélérations obtenus par la méthode Spectrale Non-Linéaire en fonction de la méthode pour l'OSB12 sollicité par le séisme Lointain à 100%.**

séisme *Lointain* à 320% du PGA initial, ce qui induit une incursion de la structure dans son domaine plastique. Nous avons supposé que la période caractéristique du mouvement de sol,  $T_c$  était de 0,2 s. Dans ce cas, les périodes propres des systèmes équivalents construits par idéalisation de la courbe enveloppe des essais cycliques sont supérieurs à  $T_c$ . Il est alors possible de déterminer le déplacement du système par intersection entre la droite de coefficient directeur  $T^*$  (voir Figure 5) et le spectre élastique dans le plan spectral Accélération - Déplacement. Le Tableau 3 donne les résultats pour le séisme *Lointain* à 320%.

Les déplacements simulés (tableau 2, colonne 5) restent proches des déplacements relevés durant l'essai dynamique (tableau 1, colonne 3). En effet, l'erreur commise est, au plus, de 14% (référence MC 2, méthode CSIRO) et est au minimum de 3% (référence MC 2, méthode de Karacabeyli & Ceccotti). Pour la méthode de l'EN 594, nous avons une

erreur de 11% et 6% sur les déplacements tandis que sur les accélérations nous avons une erreur de 3% et 6%. Pour cette configuration la méthode de l'EN 594 reste la plus fiable pour reproduire l'essai dynamique. Enfin, la méthode de l'ASTM 2126 surestime les déplacements et accélérations avec des erreurs de 11% sur les déplacements et de plus de 23% sur les accélérations.

## 5. CONCLUSION

Afin de qualifier le comportement des murs à ossature bois sous sollicitation sismique deux campagnes d'essais ont été réalisées. Elles ont permis l'étude de l'applicabilité de la méthode Spectrale Non-Linéaire [Fajfar, 2000] grâce à laquelle il est possible de prédire le déplacement en tête d'une structure sous une sollicitation sismique donnée.

Référence mur	Idéalisation	Déplacement au point de performance (mm)	Accélération au point de performance (m.s <sup>-2</sup> )
MC 1	<b>EN 594</b>	41	17,2
	<b>ASTM E 2126</b>	32,7	22,5
	<b>K&amp;C</b>	35	18,1
	<b>CSIRO</b>	31,9	20,5
MC 2	<b>EN594</b>	34,7	16,7
	<b>ASTM E 2126</b>	32,6	22
	<b>K&amp;C</b>	35,6	19,6
	<b>CSIRO</b>	31,8	20,75

**Tableau 3. Déplacements et accélérations obtenus par la méthode Spectrale Non-Linéaire en fonction de la méthode d'idéalisation pour l'OSB12 sollicité par le séisme Lointain à 320%.**

Il a été établi que la méthode de l'EN 594 reproduit correctement les déplacements et accélérations avec des différences de 3% et 13% pour les déplacements tandis que l'erreur sur l'accélération est de moins de 2%. Concernant les autres configurations, les marges d'erreurs entre les grandeurs simulées et réelles sont moins stables et vont grandement dépendre de la courbe de poussée progressive ainsi que de la méthode d'idéalisation. La variabilité du matériau bois étant plus importante que pour les autres matériaux (béton, acier,...) d'autres essais cycliques et dynamiques devront être effectués.

## 6. REMERCIEMENTS

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

## 7. BIBLIOGRAPHIE

- ASTM E 2126. (2008). *Standard test methods for cyclic load test for shear resistance of vertical elements of the lateral resisting systems for buildings*. AFNOR.
- ATC 40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Applied Technology Council.
- Chopra, A. K., & Goel, R. K. (1999). *Capacity Demand Diagram methods for estimating seismic deformation of inelastic structures*. University of California: Berkeley : Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake engineering and structural dynamics*, 561-582.
- Fajfar, P. (2000). A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Seismic Design. *Earthquake Spectra*, Vol. 16, N°3, 573-592.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Washington, DC: FEMA.
- Freeman, S. (1978). *Prediction of response of concrete buildings to severe earthquake motion*. American Concrete Institute.
- Gencturk, B., & Elnashai, A. S. (2008). Development and application of an advanced capacity spectrum. *Engineering structures*, 3345-3354.
- Iwan, W. D., & Guyader, A. C. (2002). An improvement equivalent linearization procedure for the capacity spectrum method. *International Conference on Advanced and New Challenges in Earthquake Engineering Research*. Harbin, China.
- Karacabeyli, E., Yasumura, M., Foliente, G., & Ceccotti, A. (2005). Background information on ISO standard 16 670 for cycling testing of connections. *Proceedings of the International Council for Research and Innovation in building Construction, Working Commission W18, Timber structures*.
- Lin, Y.-Y., & Miranda, E. (2004). Non-iterative capacity spectrum method based on equivalent linearization for estimating inelastic deformation demands of buildings. *Structural Eng. / Earthquake Eng., JSCE*, Vol.21, N°2, 113-119.
- NF EN 594. (Février 1996). *Structures en bois - Méthodes d'essai - Essai de raideur et résistance au contreventement des murs à ossature en bois*.
- Verdret, Y. (2012). *Dimensionnement des murs à ossature bois par analyse pseudo-dynamique*. Bordeaux: Rapport interne FCBA-Université Bordeaux 1.