

SYNTHÈSE

ANALYSE FIABILISTE DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DE L'HABITAT AVEC TOITURE EN CHARPENTES INDUSTRIALISEES EN BOIS

CHARPENTE STRUCTURE



Crédits photos : Architecte Florence GULGONEN – FIBC/SCIBO

Réalisation :



Avec le soutien de :



REALISATION



L'Institut Technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois-Construction Ameublement), a pour mission de promouvoir le progrès technique, participer à l'amélioration de la performance et à la garantie de la qualité dans l'industrie. Son champ d'action couvre l'ensemble des industries de la sylviculture, de la pâte à papier, de l'exploitation forestière, de la scierie, de l'emballage, de la charpente, de la menuiserie, de la préservation du bois, des panneaux dérivés du bois et de l'ameublement. FCBA propose également ses services et compétences auprès de divers fournisseurs de ces secteurs d'activité. Pour en savoir plus : www.fcba.fr

Ainsi que :



FINANCEMENT



Le CODIFAB, devenu Comité Professionnel de Développement Economique par décret en conseil d'Etat en 2009, a été créé à la demande des professions de l'ameublement et de la seconde transformation du bois : CAPEB, FIBC, UFC, UFME, UIPP, UMB-FFB, UNAMA, UNIFA.

Le CODIFAB a pour mission de conduire et financer des actions collectives dans le respect de la réglementation européenne et dans le cadre des missions mentionnées à l'article 2 de la loi du 22 Juin 1978 ; ceci par le produit d'une taxe fiscale affectée, créée par l'article 71 de la loi de finances rectificative pour 2003 du 30 Décembre 2003 (modifiée), et dont il assure la collecte.



L'ANR finance la recherche sur projets. Sur un mode de sélection compétitive qui respecte les standards internationaux, elle s'attache à favoriser la créativité, le décloisonnement, les émergences et les partenariats. Depuis 2010, elle est aussi le principal opérateur des Investissements d'Avenir dans le domaine de l'enseignement supérieur et de la recherche. Dans ce cadre, elle assure la sélection, le financement et le suivi des projets.

■ Objectif et contexte

Depuis octobre 2010, la France dispose d'une nouvelle réglementation parasismique impliquant que le pourcentage des communes en zones sismiques en France métropolitaine passe de 14% à 60%. Pour les maisons individuelles, 25% des communes françaises sont ainsi concernées par le règlement parasismique. En France, plus de 85% des maisons individuelles sont des maisons à murs maçonnés et 75% des maisons ont une toiture en charpentes industrialisées en bois. Or, au niveau normatif, par manque de connaissances scientifiques, les règles de dimensionnement pour le comportement sismique semblent très défavorables aux charpentes industrialisées en bois : quelle que soit l'orientation, elles sont assimilées aux structures treillis assemblées par connecteurs dont le comportement est à faible niveau de ductilité ce qui est pénalisant pour leur dimensionnement aux séismes. Dans ce contexte, l'objectif de SISBAT est d'améliorer la connaissance scientifique du comportement global de l'habitat individuel neuf avec toitures en charpentes industrialisées en bois pour les configurations suivantes : toitures à combles perdus et à combles habitables à deux pans dont le système de stabilisation continu est constitué de contreventements et d'anti-flambements assemblés par pointes, et non par connecteurs. Il est primordial d'étudier la conception parasismique de la maison individuelle dans une approche globale car elle permet d'intégrer des critères positifs tels que la régularité des constructions, la compatibilité structurale des différents composants et l'optimisation des zones critiques.

Les enjeux de SISBAT sont donc d'optimiser la conception et le dimensionnement aux séismes des charpentes industrialisées en bois.

■ Principaux résultats

Le programme scientifique de SISBAT est représenté schématiquement en figure 1.

SISBAT est basé sur une approche multi-échelles (assemblages / sous-structures/ maisons) (cf. figure 1). A chaque niveau d'échelle, le programme repose sur le couplage entre **une approche expérimentale** et une approche numérique par **Eléments Finis Stochastiques**.

Echelle 1 : Les assemblages de type plaques métalliques embouties, équerres et pointes, utilisés pour la fabrication des charpentes industrialisées en bois et pour leur fixation au bâti et pour la fabrication des murs à ossature bois ont été étudiés.

Les essais (au total : 69 monotones et 85 cycliques) ont permis de déterminer les lois de comportement en force/déplacement monotone et cyclique et les ductilités statique et cyclique de ces assemblages. Sur la base de ces essais, un modèle de comportement hystérétique des assemblages a été développé via les travaux d'une thèse.

Le verrou scientifique résolu par ce modèle est sa versatilité, permettant de modéliser différents types d'assemblages (pointes, équerres, plaques embouties), sous différents chargements cycliques, et permettant aussi d'être utilisé pour la modélisation à des échelles supérieures (cf. paragraphes suivants).

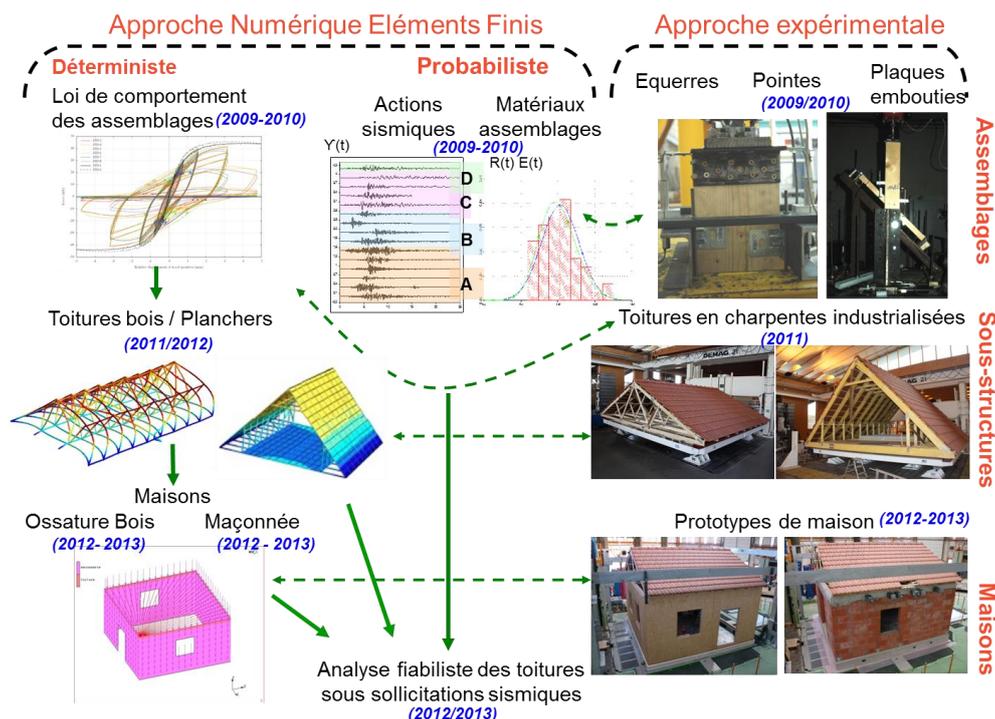


Figure 1 : démarche scientifique développée dans SISBAT basée sur une approche multi-échelles (en lecture verticale) et sur le couplage EFS / expérimentation (en lecture horizontale).

Les verrous techniques résolus par ce modèle sont la prise en compte de la non linéarité de la courbe monotone y compris dans sa phase post-pic qui caractérise la ductilité de l'assemblage. La dégradation se traduit alors par les diminutions de la raideur et de la résistance au cours des cycles, l'aire des courbes d'hystérésis qui aura une influence sur l'énergie dissipée par la structure au cours du séisme et, enfin, la dissymétrie du comportement selon les sens de sollicitations.

Echelle 2 : Les sous-structures de type toitures en charpentes industrialisées en bois et murs maçonnés et à ossature bois ont été étudiées.

Concernant les toitures, la première phase a permis de modéliser le comportement non linéaire de deux toitures (à combles perdus et à combles habitables) représentatives des maquettes (6m×6m) testées en dynamiques afin d'aider à la mise en place de ces essais (détermination des configurations de toitures, mise en place des capteurs de déplacement et d'accéléromètres). Les lois de comportement sous chargements cycliques déterminées à l'échelle 1 ont constitué les paramètres d'entrée de cette modélisation. Pour valider ces modèles de toiture, quatorze essais uni-axiaux sur table vibrante ont été menés dans chacune des deux directions des toitures (dans le plan des fermes et perpendiculairement aux fermes). Ces essais ont permis d'une part, de valider la modélisation dynamique non linéaire des toitures et d'autre part, de déterminer le critère d'arrêt du calcul de la modélisation dynamique non linéaire des toitures.

La seconde phase a été de mener l'analyse fiabiliste des toitures dont l'objectif était d'étudier l'impact de la variabilité des sollicitations sismiques d'une part et de la variabilité des propriétés des constituants (bois et assemblages) des toitures d'autre part. Il a été nécessaire d'étendre la modélisation élaborée dans la première phase à des toitures de dimensions (8m×12m) représentatives de l'habitat français. De plus, afin de prendre en compte la variabilité des propriétés des assemblages, il a été nécessaire de mener une analyse statistique des essais réalisés à l'échelle 1 pour lesquels 5 éprouvettes par configuration d'essais ont été testées. Concernant la variabilité du module d'élasticité des éléments bois des charpentes industrialisées, la modélisation probabiliste a été faite à partir d'une base de données existante pour des éléments bois classés pour un usage mécanique. Enfin, environ 50 séismes ont été utilisés pour simuler le mouvement à la base des structures. Il a été montré que l'effet système et le comportement non linéaire des assemblages conduisent à des variabilités structurales réduites (de l'ordre de 4%) qui sont nettement inférieures à celles dues à l'action sismique (de l'ordre de 25%).

Concernant les éléments de murs à ossature bois, une modélisation numérique du comportement non linéaire dynamique a été développée en vue de la modélisation des maisons (cf. § suivant intitulé Echelle 3 : les maisons). La première étape a été de mener cette modélisation avec, comme paramètres d'entrée, la modélisation du comportement hystérétique pour chaque assemblage pointé fixant le panneau de contreventement à l'ossature bois du mur, grâce au modèle développé à l'échelle 1. La seconde étape a été de développer, à partir de la modélisation "fine" précédente, un macro-élément représentant le mur lui-même. Ce macro-élément ne possède qu'un seul degré de liberté dont la loi de comportement est régie par la loi développée à l'échelle 1 mais avec un nouveau jeu de paramètres. Cette approche a permis de reproduire plusieurs séries d'essais. Cependant, il a été constaté que, pour des essais à niveaux de séisme tels que les murs s'approchent du critère de rupture, les valeurs numériques des déplacements en tête de murs surestimaient les déplacements expérimentaux et ce de façon variable en fonction des séismes. Les raisons possibles, qui restent à explorer, concernent notamment la prise en compte, d'un point de vue numérique, des phénomènes d'amortissement agissant au sein du mur pour ces grands déplacements. Ce travail a fait l'objet des travaux d'une thèse et d'un projet SISMOB concernant les essais dynamiques sur murs, mené en parallèle à SISBAT.

Concernant les murs maçonnés, il n'était pas prévu de développement de loi de comportement dynamique non linéaire. La non linéarité des murs de la maison maçonnée a été simulée avec un module d'élasticité réduit.

Echelle 3 : Les maisons à murs maçonnés et ossature bois

Deux essais sur maquettes de maisons de dimensions (6m×6m) ont été menés sur table vibrante triaxiale pour des séismes représentatifs de l'aléa réglementaire en France.

Les principaux objectifs étaient :

-d'une part de comparer le comportement de la toiture lors de ces essais sur maquettes de maisons avec les essais sur toitures seules (cf. § précédent intitulé Echelle 2) : il a été montré que, pour des niveaux de séismes conduisant à un comportement non linéaire des toitures, les déplacements au faîtage sont significativement plus importants dans le cas des essais sur toitures seules. Ainsi, le critère d'arrêt des calculs utilisé pour l'analyse fiabiliste a été établi de manière sécuritaire ;

- et d'autre part, de valider les modélisations numériques à l'échelle des maisons. Concernant les maisons à ossature bois, la comparaison entre la maquette et la modélisation montre des résultats cohérents en terme d'analyse modale. Pour des séismes engendrant des déplacements en tête de murs supérieurs au centimètre, une première modélisation en aveugle, avant les essais, surestime les déplacements et accélérations en tête de murs. Cette modélisation ignorait la mise en œuvre réelle des essais sur table vibrante. Concernant les maisons à murs maçonnés, la comparaison entre la modélisation et les essais montre des résultats cohérents autant en termes de comportement modal que de niveaux de déplacements atteints sous les différents séismes appliqués. Par ailleurs, les contraintes de l'essai ont fait que la maquette était légèrement plus raide qu'une maison en (8m×12m) qu'elle était censée représenter. L'influence de ces deux points sur les transferts de spectres opérés par les murs maçonnés devra être prise en considération pour une extrapolation correcte des résultats d'essais au cas d'une maison (8m×12m).

■ Points clés et valorisation

D'un point de vue scientifique, SISBAT a permis (via les travaux de trois thèses) le développement de modèles numériques dynamiques non linéaires de toitures et le couplage de ces modèles à des méthodes fiabilistes. Ceci a permis de quantifier la sensibilité de la réponse mécanique de la toiture en charpentes industrielles en bois (8m×12m) soumise aux actions sismiques en prenant en compte les incertitudes liées aux séismes et la variabilité des propriétés mécaniques des éléments. Par ailleurs, les essais sur table vibrante ont été menés selon un protocole expérimental développé dans SISBAT car il n'existe pas d'essais normalisés pour caractériser le comportement sismique de ces structures.

D'un point de vue technique, SISBAT va permettre d'optimiser la conception et le dimensionnement des toitures en charpentes industrialisées en bois. En particulier, la valorisation de ce projet va conduire à l'élaboration de règles de moyens et de mise en œuvre en zone sismique permettant de s'affranchir de l'approche calculatoire de l'Eurocode 5 et de l'Eurocode 8. Ceci est notamment très important pour les petites entreprises et constitue un gain de temps pour la justification de solutions constructives courantes. Ce travail (projet SISTACI), en cours de réalisation, est financé par le CODIFAB et mené par le FCBA et en lien avec le SCIBO. Par ailleurs, les constatations sur le comportement des tuiles faites lors des essais sur table vibrante des toitures et des maisons permettront d'alimenter le guide II de l'AFPS sur les Eléments Non Structuraux.