

De bonnes vibrations pour les bâtiments

Pierre-Eric Thévenin, Thierry Vassail, Antoine Petiteau
Spécialistes construction parasismique Bureau Veritas

Évaluer la capacité d'un bâtiment à résister au séisme n'est pas chose facile

Il y a un grand nombre de paramètres à intégrer et une très grande difficulté à surmonter : l'ouvrage étant construit, il n'y a plus moyen d'accéder à nombre d'informations essentielles, comme la qualité réelle des matériaux utilisés, la bonne mise en place des armatures, voire même tout simplement le niveau d'endommagement ou d'usure des éléments de structure, pour beaucoup inaccessibles ou cachés. D'où l'idée de doubler l'analyse visuelle, phase incontournable de l'évaluation, par une série de mesures de la réponse du bâtiment à des sollicitations très faibles, toujours présentes : les vibrations ambiantes.

Un exemple : une tour de 18 niveaux

Nous avons été sollicités pour donner un avis sur le risque encouru en cas de séisme par les occupants d'un bâtiment de grande hauteur (18 niveaux sur 8 niveaux de sous-sols pour une hauteur totale en superstructure de 80 mètres) situé dans un pays à forte sismicité. De construction récente, le bâtiment avait été conçu et dimensionné selon les règles de construction parasismique en vigueur dans le pays, règles assez proches de celles applicables en France. La structure porteuse est une ossature poteaux poutres en béton armé, continue sur toute la hauteur du bâtiment. Le bureau d'études a procédé à un calcul de cette structure et défini le dimensionnement des éléments à partir des résultats de ce calcul.

Première phase : l'examen visuel

Lors de l'examen visuel, deux points ont été relevés :

- Un grand nombre de remplissages en maçonnerie étaient présents
- Un changement notable de section des poteaux entre le 14^{ème} et le 15^{ème} étage.

Ces 2 points sont considérés comme des facteurs notables de vulnérabilité, entraînant une augmentation du risque en cas de séisme :

- Les remplissages en maçonnerie bloquent la déformation des poteaux pendant le séisme et absorbent donc une grande part de l'énergie sismique, avant de casser brutalement, si leur résistance n'est pas suffisante. L'énergie ainsi dégagée se transmet instantanément aux poteaux « libérés », qui voient alors leur charge augmenter considérablement ;
- Le changement brutal de section d'un étage à l'autre signifie un changement de raideur, qui se traduira pendant le séisme par un phénomène de « coup de fouet » : la partie supérieure, plus souple que le reste du bâtiment, aura à supporter des mouvements beaucoup plus importants, générateurs d'efforts et de déformations également plus importants.

Deuxième phase : les mesures sous bruit de fond

Une série de mesures de la réponse du bâtiment sous vibrations ambiantes a été effectuée. Ceci consiste à enregistrer les mouvements du bâtiment sous les sollicitations très faibles dues au vent, au trafic, aux petits mouvements sismiques ...

L'avantage est que ces sollicitations sont constamment présentes et que le matériel nécessaire pour faire ces enregistrements est très limité, en taille et en poids. Il est ainsi possible de multiplier les points de mesure pour mieux analyser et comprendre la réponse du bâtiment.

Les résultats des mesures confirment les impressions de l'analyse visuelle :



Le bâtiment étudié © Bureau Veritas

■ Le bâtiment est nettement plus raide que le modèle de calcul du bureau d'études. La fréquence fondamentale mesurée est égale à 0,69 Hz tandis que le calcul indiquait 0,31 Hz. L'écart est beaucoup trop important pour être expliqué par la seule différence de masse ou par des caractéristiques mécaniques meilleures que prévu. L'explication est à rechercher dans la présence des maçonneries de remplissage

■ Les visualisations tirées des enregistrements démontrent un comportement en torsion du bâtiment, probablement causé par l'excentrement des panneaux de remplissage en maçonnerie ;

■ On note bien l'effet coup de fouet en partie supérieure du bâtiment. Les mesures ont donc été particulièrement utiles dans ce cas pour limiter les discussions suite à l'examen visuel. Il est en effet plus facile de s'appuyer sur des éléments convergents pour porter un avis que sur le seul ressenti de l'ingénieur ayant inspecté le bâtiment.

Cependant, les mesures sont effectuées sous bruit de fond, donc sous des sollicitations infiniment plus faibles que celles qui auront lieu lors d'un séisme (de l'ordre de 100 000 fois plus faibles). Elles donnent donc des indications sur le comportement du bâtiment avant séisme mais pas pendant séisme. D'où l'intérêt d'une étape complémentaire qui a consisté à recalculer la réponse du bâtiment, mais en utilisant les résultats des mesures, représentatives de l'ouvrage réel.

Troisième phase : les calculs

Un nouveau modèle a donc été réalisé, avec 2 objectifs :

- Retrouver les fréquences de vibration

mesurées et en déterminer l'influence des maçonneries de remplissage

- Etudier la réponse du bâtiment sous l'effet du séisme réglementaire et vérifier la tenue des maçonneries.

Pour le premier objectif, le seul moyen de retrouver les fréquences mesurées est de faire participer les maçonneries à

la raideur d'ensemble. Les modes de calcul et les modes mesurés correspondent alors parfaitement.

L'analyse des modes calculés démontre également le comportement en torsion du bâtiment, ce qui avait déjà été mis en évidence par les mesures. Cette torsion est due au fait que les panneaux de maçonnerie ne sont pas régulièrement distribués sur l'étage mais concentrés au voisinage des cages d'escalier et des ascenseurs, qui forment comme un noyau excentré.

Ces panneaux de maçonnerie avaient pourtant été désolidarisés de la structure principale (poteaux-poutres) par un joint en polystyrène d'épaisseur 2 cm. On constate que cette disposition ne fonctionne pas : le polystyrène confiné ne peut pas vraiment s'écraser et possède même une certaine capacité à transmettre des efforts. On rappellera que c'est la matière utilisée dans les casques de protection des cyclistes. En cas de choc, ce polystyrène confiné absorbe ne s'écrase quasiment pas mais répartit l'effort.

C'est exactement le même fonctionnement dans une ossature avec remplissage : le polystyrène transmet les efforts de l'ossature vers la maçonnerie. Comme celle-ci est plus raide, c'est elle qui supporte alors les efforts jusqu'à ce que sa limite de résistance soit atteinte. Les calculs sous séisme ont ensuite montré que cette résistance n'était pas suffisante à certains étages, d'où un risque très fort de rupture fragile (les maçonneries cèdent brutalement), ce qui doit être évité en contexte sismique.

Les zones fragiles étant identifiées, il a ensuite été facile de trouver des solutions de renforcement adaptées.

Il est ainsi possible de multiplier les points de mesure pour mieux analyser et comprendre la réponse du bâtiment

Les enseignements

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de cette expérience. Bien que l'étude ait été faite pour un bâtiment à l'étranger, ces conclusions peuvent être intégralement reprises pour les analyses des bâtiments français :

- Un avis sur la vulnérabilité au séisme d'un bâtiment peut être considéré comme fiable lorsque tous les critères (examen visuel, calculs, mesures) vont dans le même sens

- Un bâtiment peut être parfaitement conforme aux règles parasismiques tout en présentant un certain degré de vulnérabilité. En effet, les règles ne couvrent pas tous les aspects de la construction. En particulier, les dispositions relatives aux éléments non structuraux sont bien souvent inexistantes voire limitées au strict minimum

- Le bâtiment réel doit être le plus proche possible du bâtiment conçu : les adaptations de dernière minute sur le chantier sont donc à éviter puisqu'elles écartent l'ouvrage réel du modèle de calcul. Il n'est alors plus possible de garantir le même niveau de sécurité vis-à-vis du séisme

- Les mesures sous bruit de fond donnent des informations très intéressantes sur le comportement de l'ouvrage réel, pour peu qu'on sache les interpréter, dans leur domaine d'utilisation. Et en cas d'évènement sismique, il sera toujours possible de comparer les résultats des mesures avant et après le séisme, afin d'en tirer des conclusions sur l'état d'endommagement du bâtiment.