

Modélisation du comportement de structures en béton armé sous chargement sismique

S. Abouri (EDF / DIN / SEPTEN), S. Fayolle (EDF / R&D / AMA)

Contexte et objectif

Dans le cadre des ré-examens périodiques de sûreté, en tant qu'exploitant nucléaire, EDF est amené à démontrer la résistance au séisme de ses installations. Pour y parvenir, EDF réalise des simulations numériques dans le but de déterminer les marges de sûreté. C'est pour répondre à ces objectifs qu'EDF a développé dans *Code_Aster* une méthodologie de modélisation éléments finis des structures en béton armé exhibant des comportements non-linéaires en dynamique.

Modélisation du béton armé homogénéisé

Communément, trois méthodes classiques sont reconnues pour la modélisation éléments finis des structures béton armé :

- L'approche locale où une modélisation fine est utilisée pour chacune des phases (acier, béton) et de leurs interactions (adhérence) ;



Figure 1 : Vue de la maquette SMART.

- L'approche semi-globale, qui consiste à exploiter l'élançement de la structure afin de simplifier la description de la cinématique, aboutit aux modèles de coques multi-couches ;
- L'approche globale correspond au développement d'un modèle de comportement qui s'écrit directement en termes de contraintes et déformations généralisées.

Afin de garantir la robustesse ainsi qu'un temps de calcul raisonnable de nos simulations, l'approche globale a été retenue. Pour nos applications, la modélisation de l'endommagement et la réponse après fissuration du béton armé sont essentielles, tandis qu'il est rare d'aller jusqu'à mobiliser la plastification généralisée des aciers.

En se basant sur ces hypothèses, cela a abouti au développement, dans *Code_Aster*, de la loi globale de béton armé pour les éléments de plaques (GLRC_DM : Global Law for Reinforced Concrete). Cette loi a été développée dans le cadre de la thermodynamique. Elle modélise un comportement élastique endommageable qui utilise 2 variables d'endommagement couplées pour décrire l'endommagement par flexion-extension (une pour chaque face de la plaque). De plus, cette loi est capable de décrire l'effet de fermeture des fissures. Comme le comportement du béton et de l'acier est homogénéisé, le modèle global n'est pas adoucissant. De ce fait, la plupart des problèmes de non-convergence et de localisation de l'endommagement sont évités. Les paramètres de la loi, en nombre réduit, sont recalés à partir de cas de référence en sollicitation simple (flexion pure, traction pure).

Modélisation du comportement de structures en béton armé sous chargement sismique

S. Abouri (EDF / DIN / SEPTEN), S. Fayolle (EDF / R&D / AMA)

Qualification des modèles de Code_Aster par le benchmark SMART

Cette modélisation du béton armé a été utilisée dans le cadre du benchmark SMART. Le benchmark SMART (Seismic design and best-estimate Methods Assessment for Reinforced concrete buildings subjected to Torsion and non-linear effects), organisé par CEA et EDF, vise à l'amélioration des connaissances en matière de comportement non-linéaire des bétons, des phénomènes de torsion mis en jeu lors d'un séisme ainsi qu'à l'évaluation des méthodes d'ingénierie parasismique. Une maquette de bâtiment dissymétrique, représentative d'un bâtiment électrique CPY à l'échelle $\frac{1}{4}$, a été construite au CEA et testée sur la table vibrante AZALEE. La campagne de tests a consisté en l'application de 13 jeux d'accélérogrammes réels et synthétiques à niveau de PGA croissant, de 0.05g à 1g.

La phase 1 du benchmark se compose de deux sous-phases. La première (phase 1a) consistait à une prédiction en aveugle du comportement de la maquette. La seconde (phase 1b) permettait aux participants de recaler leur modèle à partir de résultats expérimentaux et de fournir de nouveaux résultats pour les essais à forts niveaux d'accélération. Un modèle éléments finis de la maquette constitué d'éléments de plaques et poutres et utilisant la loi de comportement GLRC_DM a été construit et a fait l'objet d'une analyse en dynamique transitoire non linéaire.

Les résultats de cette analyse ont montré une cohérence globale avec les mesures expérimentales.

Le décalage fréquentiel dû à l'endommagement de la maquette et obtenu dans les calculs correspond à celui observé lors des essais. Pour les autres grandeurs physiques, la modélisation numérique a tendance à surestimer les accélérations et les efforts, et à sous-estimer les déplacements. Ces éléments sont particulièrement observables sur les spectres de réponse de plancher. Si les pics de fréquence sont correctement évalués, l'amplitude des spectres montre un certain écart les résultats expérimentaux.

Ces différences sont certainement liées à la modélisation de l'amortissement qui, dans ces modélisations homogénéisées de béton armé, n'est pas suffisamment précise.

Conclusion

La méthodologie de modélisation éléments finis utilisant la loi de béton armé GLRC_DM développée dans Code_Aster permet de répondre avec une cohérence satisfaisante à l'analyse des structures béton armé exhibant des comportements non-linéaires en dynamique. Dans le cas de la maquette SMART, les résultats obtenus sont globalement en bon accord avec le comportement observé. Par ailleurs, les temps de calculs corrects laissent présager l'applicabilité de cette méthodologie à des structures de taille industrielle.

Cependant, des travaux complémentaires sont nécessaires pour parvenir notamment à une modélisation plus adéquate de l'amortissement.

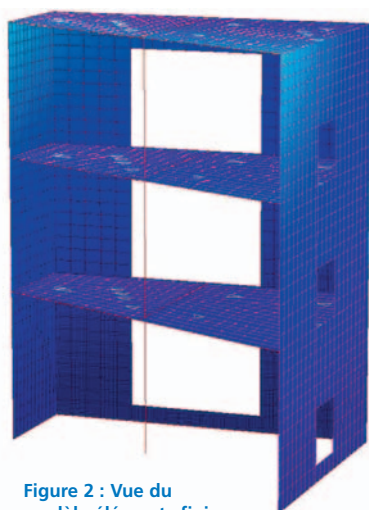


Figure 2 : Vue du modèle éléments finis.

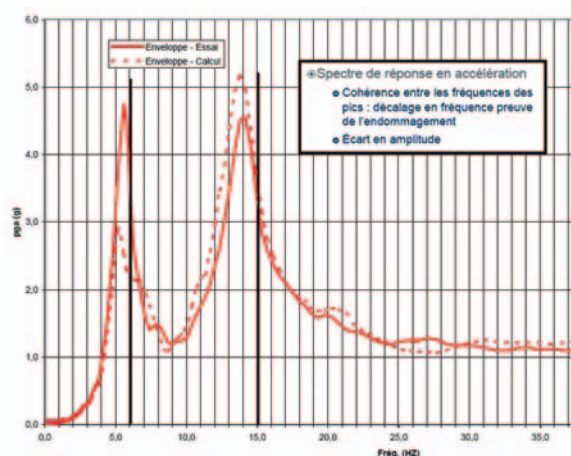


Figure 3 : Spectres enveloppes au niveau 3 - Essai & Calcul Essai à 0,20g.