

Calcul de la charge limite ultime de portiques en béton armé

B.H. Pham¹, D. Brancherie², L. Davenne¹, A. Ibrahimbegovic¹

¹ LMT-Cachan, ENS Cachan, France{pham,luc.davenne,adnan.ibrahimbegovic}@lmt.ens-cachan.fr

² Laboratoire Roberval, Université de Technologie de Compiègne, France, delphine.brancherie@utc.fr

Résumé — Dans ce travail, nous présentons un enrichissement des modèles Éléments Finis de poutres de Timoshenko capable de décrire le comportement jusqu'à rupture de structures de type portique en béton armé. Le modèle proposé combine la prise en compte de phénomènes de rupture diffus et le développement de rotules plastiques gérées par l'introduction de discontinuités de rotation. Les paramètres du modèle macro de poutre de Timoshenko sont déterminés à partir d'un modèle plus fin s'appuyant sur des éléments multi-fibres eux-mêmes enrichis de discontinuités de déplacement en mode I.

Mots clés — béton armé, rupture localisée, discontinuité forte, modèle multi-fibre.

Le travail présenté ici a pour objectif le développement d'outils numériques permettant l'optimisation du dimensionnement des structures de type portique en béton armé. Les procédures standards de dimensionnement de ces structures s'appuient, en général, sur l'analyse limite des sections droites à partir des efforts généralisés obtenus sur le composant considéré. Pour des structures hyperstatiques, la rupture d'un composant ne conduisant pas nécessairement à la ruine complète de la structure, de telles approches se traduisent par un sur-dimensionnement. Pour cette raison, de nouvelles procédures de dimensionnement dites de « conception basée sur la performance » ("performance-based design") sont de plus en plus largement explorées afin d'obtenir des évaluations prédictives des charges limites à rupture des structures. Pour les structures de type portique, de telles approches supposent de disposer d'outils numériques permettant de décrire le comportement - éventuellement non linéaire - avant rupture des différents composants de la structure mais également de prendre en compte l'apparition de zones dites rotules plastiques dans lesquelles se concentrent l'endommagement et/ou la plasticité.

Les approches classiques visant à évaluer la charge limite et la ruine des structures s'appuient sur les modèles dits "lumped plasticity models" [1, 2] qui consistent à introduire des rotules non linéaires à chacune des extrémités des poteaux et poutres de la structure. Tous les phénomènes dissipatifs sont alors concentrés sur les extrémités des différents composants ce qui ne permet pas de traiter le comportement non-linéaire pré-pic. D'autres approches [3, 4, 5] évaluent la charge limite ultime en s'appuyant sur des modèles d'endommagement. Pour de telles approches, la phase adoucissante du comportement est dépendante du maillage et nécessite un traitement spécifique.

L'objectif du présent travail est de proposer une approche incluant à la fois la description du comportement pré-pic et l'apparition des zones d'endommagement ou plasticité localisée pour le cas des structures en béton armé de type portique. Pour ce faire, un modèle «macro» basé sur une formulation de poutre de Timoshenko est développé. Les phénomènes non-linéaires apparaissant avant la rupture du composant - tels que la rupture du béton ou la plastification des armatures - sont pris en compte par l'intermédiaire d'un modèle non-linéaire écrit en termes d'efforts généralisés. Le développement de rotules plastiques est quant à lui décrit par l'introduction, sur le principe des méthodes à discontinuité forte [6], d'un saut du champ de rotation. Nous présentons la formulation de l'élément ainsi enrichi.

Un tel modèle présente l'avantage d'être robuste et peut donc être efficacement utilisé comme outil de dimensionnement des structures en contexte industriel. Cependant, les modèles «macros» considérés tant pour le comportement pré-pic que pour le comportement des rotules plastiques ne peuvent, de par leur nature, que rendre compte de façon approchée des différents mécanismes conduisant à la ruine complète de la structure. Ainsi, afin de garantir la prédictivité des résultats obtenus, une attention particulière doit être portée à la formulation et l'identification des lois de comportement «macros» considérées à l'échelle de chaque composant poteau ou poutre. Pour ce faire, un modèle plus fin intégrant les comportements non-linéaires pré-pic et à rupture de chaque matériau (béton, armatures et éventuellement liaison

acier/béton) est considéré. Ce dernier consiste en un modèle multi-fibre des sections droites. À chaque fibre, considérée comme un élément de barre, est affecté un comportement élasto-plastique ou élasto-endommageable pour décrire la phase pré-pic. Par ailleurs, la rupture ou l'apparition de phénomènes localisés est décrite au niveau de chaque fibre par l'introduction d'un saut de déplacement axial sur la base des modèles à discontinuité forte. Ces modifications de la cinématique des fibres se répercutent sur la formulation des éléments multi-fibres. Ce modèle, plus fin que le précédent, sert de base à l'identification des paramètres du modèle «macro» utilisé à l'échelle de la structure. L'identification est menée en considérant un élément et un chargement représentatifs du composant étudié et de son fonctionnement dans la structure. Un calcul fin est alors réalisé à l'aide du modèle multi-fibre incluant la description spécifique de chaque matériau. Les résultats de ces calculs servent alors à calibrer et identifier les paramètres des modèles «macro» présentés précédemment.

Les résultats numériques présentés permettent de conclure à la non-dépendance de la solution à la discrétisation Éléments Finis dont souffrent les approches classiques. Par ailleurs, la stratégie proposée est également validée sur plusieurs exemples numériques parmi lesquels un essai de flexion 3 points sur une poutre en béton armé ainsi qu'un essai jusqu'à la ruine réalisé sur un portique à deux étages. Pour ce dernier exemple, les résultats numériques sont validés à partir des résultats expérimentaux obtenus en termes de scénario de ruine (ordre d'apparition des rotules plastiques) mais également à partir de la réponse globale mesurée au cours du chargement.

Références

- [1] P. Riva and MZ. Cohn. Engineering approach to nonlinear analysis of concrete structures. *Journal of Structural Engineering*, 116(8) :2162–2186, 1990.
- [2] ME. Marante, R. Picon, and J. Florez-Lopez. Analysis of Localization in Frame Members with Plastic Hinges. *International Journal of Solids and Structures*, 41 :3961–3975, 2004.
- [3] E. Spacone, FC. Filippou, and FF. Taucer. Fiber beam-column model for nonlinear analysis of RC frames. *Earthquake engineering and structural dynamics*, 25(7) :711–742, 1996.
- [4] P. Kotronis, J. Mazars, and L. Davenne. The equivalent reinforced concrete model for simulating the behavior of walls under dynamic shear loading. *Engineering Fracture Mechanics*, 70(7-8) :1085 – 1097, 2003.
- [5] J. Florez-Lopez. Frame Analysis and Continuum Damage Mechanics. *European Journal of Mechanics, A/Solids*, 17(2) :269–283, 1998.
- [6] D. Brancherie and A. Ibrahimbegovic. Novel anisotropic continuum-discrete damage model capable of representing localized failure of massive structures. Part I : theoretical formulation and numerical implementation. *Journal of Engineering Computations*, 26 :100–127, 2009.