



HAL
open science

Modélisation de structures en béton armé avec des éléments poutres multifibres

Xuân-Huy Nguyen, Jacky Mazars, Panagiotis Kotronis

► **To cite this version:**

Xuân-Huy Nguyen, Jacky Mazars, Panagiotis Kotronis. Modélisation de structures en béton armé avec des éléments poutres multifibres. 17e Congrès Français de Mécanique, Sep 2005, Troyes, France. hal-02342172

HAL Id: hal-02342172

<https://hal.science/hal-02342172>

Submitted on 31 Oct 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation de structures en béton armé avec des éléments poutres multifibres

Xuân Huy Nguyen, Jacky Mazars, Panagiotis Kotronis

Laboratoire Sols, Solides, Structures (L3S)
Domaine Universitaire - BP 53
38041 GRENOBLE CEDEX 9 - FRANCE

Résumé :

On présente dans cette étude la modélisation du comportement de structures en béton armé en utilisant des éléments poutres multifibres. Les modèles du comportement utilisés associent plasticité pour les aciers et endommagement pour le béton. Les structures étudiées sont un poteau soumis à un chargement cyclique 3D, testé au laboratoire ELSA d'Ispira et un bâtiment à deux murs contreventés, testé à la table sismique du laboratoire LNEC à Lisbonne.

Abstract :

We present in this study the modelling of the behaviour of different reinforced concrete structures using multi-fibre beam elements and constitutive laws based on plasticity for steels and damage mechanics for concrete. The study concerns the modelling of a column submitted to 3D cyclic loading tested in the laboratory ELSA at Ispira and a building tested on the seismic table of the laboratory LNEC at Lisbon.

Mots clefs :

Modélisation simplifiée ; Poutre multifibre ; Béton armé ; Séisme.

1 Introduction

On présente dans cette étude la modélisation du comportement de structures en béton armé soumises à des chargements dynamiques (séismes) avec des éléments poutres multifibres. La comparaison des résultats numériques avec les résultats expérimentaux montre la capacité et les limites de la stratégie de modélisation choisie.

2 Modélisation avec des poutres multifibres

L'analyse de structures soumises à des chargements dynamiques nécessite des stratégies de modélisation capables de représenter le comportement non linéaire jusqu'à la ruine. Ces dernières peuvent être classées selon deux groupes :

- des stratégies détaillées, fondées sur la mécanique du solide et une description du comportement des matériaux au niveau local. La rhéologie est exprimée en terme de relations de type "contrainte - déformation" et l'analyse est souvent lourde car l'état du matériau est pris en compte en chaque point d'intégration de l'élément fini considéré.
- des stratégies fondées sur une discrétisation globale. A cette échelle c'est le comportement inélastique de la section courante, prise dans son ensemble, qui est défini à partir des lois de chaque matériau. Celles-ci sont formulées directement en fonction des contraintes généralisées que sont les efforts résultants sur une section (effort normal, moment fléchissant etc).

Dans la première catégorie - qui nous intéresse plus particulièrement dans ce travail - nous trouvons des modèles "classiques" éléments finis où la structure est modélisée par des éléments de milieu continu 2D ou 3D et des modèles de type "fibre" ayant un élément de type poutre comme support. Ces derniers sont souvent considérés dans la littérature appartenant à une échelle semi-globale (figure 1).

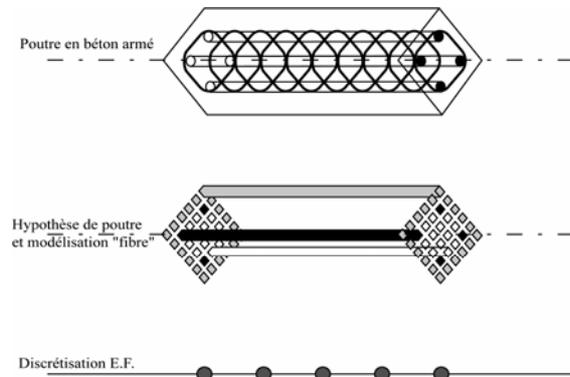


FIG. 1: Description d'une modélisation avec des poutres multifibres.

Tandis que les modèles "classiques" sont des outils puissants pour la simulation du comportement non-linéaire des parties complexes de structures (joints, assemblages...), leur application à la totalité d'une structure peut s'avérer peu pratique à cause du temps de calcul prohibitif et de la taille de mémoire nécessaire à la réalisation de ce calcul. Par contre, ce type de description possède les avantages d'hypothèses simplificatrices associées à une cinématique de type poutre Euler-Bernoulli¹ ou Timoschenko² tout en offrant une solution pratique et efficace pour une analyse non linéaire complexe de structures composites (par exemple en béton armé).

3 Modèles du comportement des matériaux

3.1 Béton

Le modèle du béton est basé sur la mécanique de l'endommagement³. Il est adapté à la description du comportement généré par la création de micro fissures (diminution de la raideur) et du fonctionnement lié à leur re-fermeture au cours des cycles. Les principales caractéristiques du modèle sont :

- utilisation de deux variables d'endommagement (l'une en traction et l'autre en compression).
- prise en compte des déformations permanentes liées à l'endommagement.
- gestion de l'ouverture et de re-fermeture des fissures en introduisant une restauration progressive de la raideur.

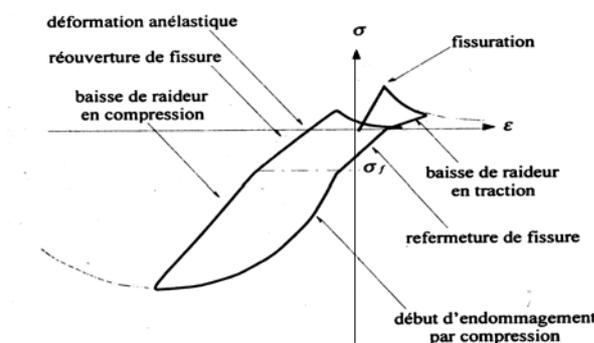


FIG. 2: Réponse uniaxial du modèle utilisé pour le béton.

Les équations qui le décrivent sont: $\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p$

$$\varepsilon^e = \frac{\sigma^+}{E_0(1-D_1)} + \frac{\sigma^-}{E_0(1-D_2)} + \frac{\nu}{E_0}(\sigma - Tr\sigma)$$

$$\varepsilon^p = \frac{\beta_1 D_1}{E_0 (1 - D_1)} f'(\sigma) + \frac{\beta_2 D_2}{E_0 (1 - D_2)} \mathbf{1}$$

Avec E_0 le module de Young initial, ν le coefficient de Poisson, σ^+ et σ^- les tenseurs de contraintes positifs et négatifs et $\mathbf{1}$ est la matrice unitaire. D_1 et D_2 sont respectivement les variables d'endommagement de traction et de compression, β_1 et β_2 des constantes - paramètres caractéristiques du matériau, $f(\sigma)$ une fonction qui permet de gérer les effets de l'ouverture et de refermeture des fissures.

3.2 Armatures

Le comportement de l'acier est modélisé par la loi Pinto - Menegotto avec écrouissage isotrope⁴. Sous chargement monotone, la loi possède un plateau plastique suivi d'un écrouissage jusqu'à la limite ultime. Sous chargement cyclique, l'écrouissage est cinématique.

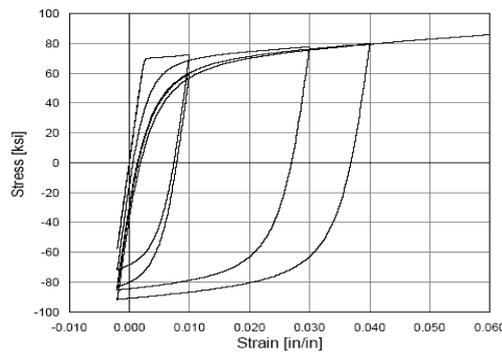


FIG. 3: Réponse cyclique du modèle utilisé pour l'acier.

4 Applications

Cette partie concerne la validation de la stratégie de modélisation adoptée. Le comportement non linéaire de deux maquettes soumises à des chargements cycliques ou dynamiques est étudié.

4.1 Poteau sous chargement cyclique 3D

Les essais réalisés par Bousias et al. (1995) concernent le comportement de 12 poteaux en béton armé dimensionnés selon l'Eurocode 8 et soumis à différents chargements cycliques⁵. Les poteaux étant identiques, les but des essais est d'étudier l'influence du trajet de chargement. Les principales caractéristiques des poteaux sont représentées à la figure 4. La modélisation du poteau S5 est présentée ci-dessous :

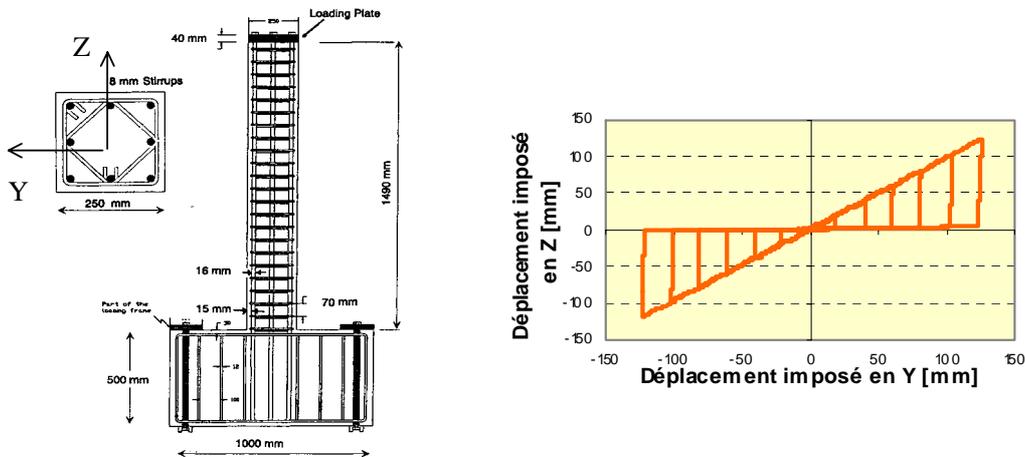


FIG. 4: Poteau S5 - Déplacement horizontal imposé en tête.

Pour la simulation numérique on utilise le code ASTER⁶. Le poteau S5 est discrétisé avec 22 éléments poutre multifibre de cinématique Euler - Bernoulli dans la hauteur, ayant la même section composée de 36

fibres. La dalle inférieure n'a pas été modélisée et le poteau est considéré encasturé à la base. Les propriétés des matériaux utilisés pour la modélisation sont présentées à la table 1.

Module de Young (béton)	20000 MPa
Coefficient de Poisson (béton)	0,2
Résistance en compr. (béton)	31 MPa
Module de Young (acier)	200000 MPa
Coefficient de Poisson (acier)	0,3
Limite élastique (acier)	460 MPa
Résistance ultime (acier)	710 MPa
Déformation ultime (acier)	11%

Table 1: Poteau S5 -Propriétés des matériaux utilisées pour la simulation.

La réponse numérique du poteau et la comparaison avec les résultats expérimentaux sont présentés à la figure 5.

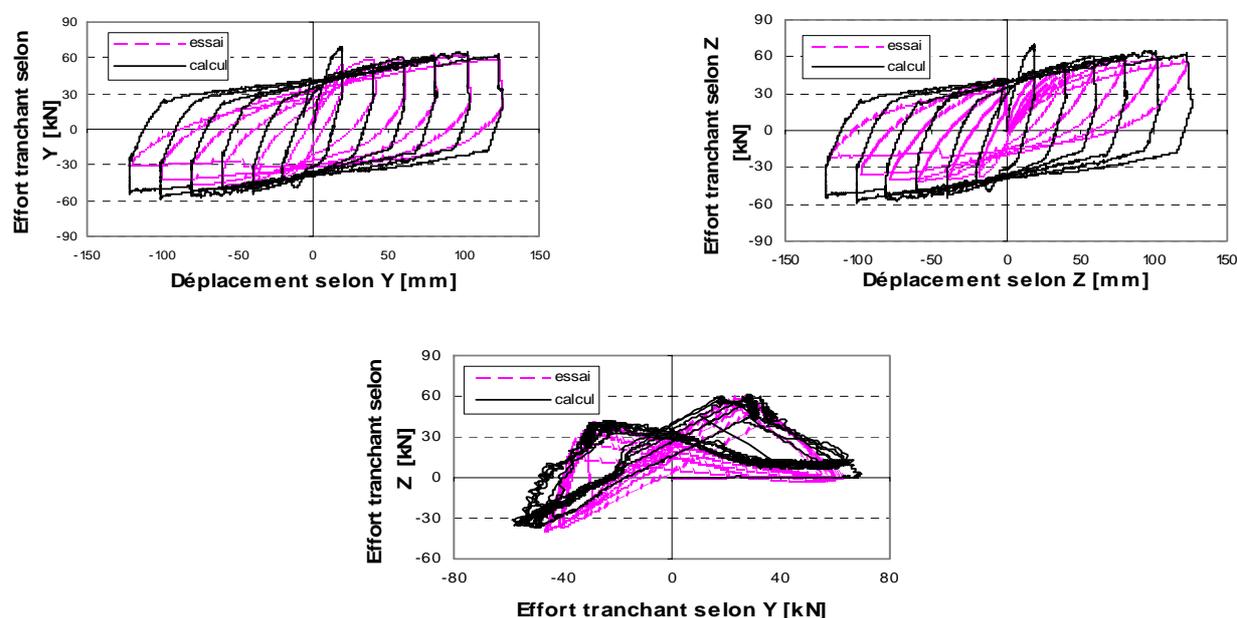


FIG. 5: Poteau S5 - Comparaison calcul – essai.

Les résultats sont satisfaisants et montrent la capacité de la stratégie de modélisation de reproduire le comportement global du poteau. Les boucles d'hystérésis sont correctement reproduites ainsi que la valeur maximale d'efforts dans les deux directions.

4.2 Description de la maquette ECOLEADER

La maquette testée est à l'échelle 1/3 et possède une masse de 31,6 tonnes. Elle est composée de deux murs porteurs liés par six planchers et une longrine inférieure ancrée sur la table vibrante afin de reproduire une liaison de type encastrement. De plus, elle est contreventée dans le sens perpendiculaire aux murs par un mur intérieur avec ouvertures. Les murs ont chacun une hauteur de 5,1 m, une longueur de 1,60 m et une épaisseur de 6 cm. La longrine inférieure a une longueur de 2m, une hauteur de 0,6 m et une épaisseur de 20 cm. Des masses additionnelles sont ajoutées à la partie supérieure et inférieure de chaque plancher, sauf celle de rez-de-chaussée. Les principales caractéristiques de la maquette sont données à la figure 6. Les armatures de la maquette sont présentées dans la table 2. Les étages ne sont pas tous ferrailés de la même façon. Les niveaux 1 et 2 sont identiques et davantage armés que les étages supérieurs.

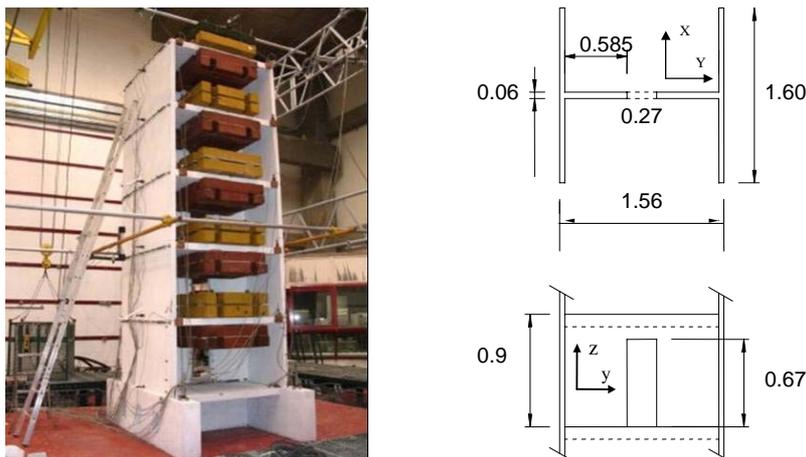


FIG. 6: Maquette ECOLEADER - Description de la structure (dimensions en m).

	Armatures verticales du mur selon Oy	Armatures verticales du mur selon Ox
5 ^{ème} étage	2 $\Phi 6 = 0,57 \text{ cm}^2$	1 $\Phi 4,5 = 0,159 \text{ cm}^2$
4 ^{ème} étage	2 $\Phi 4,5 + 2 \Phi 6 = 0,88 \text{ cm}^2$	1 $\Phi 4,5 = 0,159 \text{ cm}^2$
3 ^{ème} étage	3 $\Phi 4,5 + 2 \Phi 6 = 1,04 \text{ cm}^2$	2 $\Phi 4,5 = 0,318 \text{ cm}^2$
2 ^{ème} étage	4 $\Phi 4,5 + 2 \Phi 6 = 1,20 \text{ cm}^2$	2 $\Phi 5 + 1 \Phi 4,5 = 0,561 \text{ cm}^2$
1 ^{er} étage	4 $\Phi 4,5 + 2 \Phi 6 = 1,20 \text{ cm}^2$	2 $\Phi 5 + 3 \Phi 4,5 = 0,869 \text{ cm}^2$

Table 2: Maquette ECOLEADER - Ferrailage.

La maquette est considérée comme un portique multi-étagé dont des poutres multifibres horizontales (section en T) représentent les planchers et des poutres multifibres verticales (section en T) les murs extérieurs et intérieurs. Chaque section comporte 36 fibres (figure 7). Les masses additionnelles sont distribuées au niveau de chaque plancher.

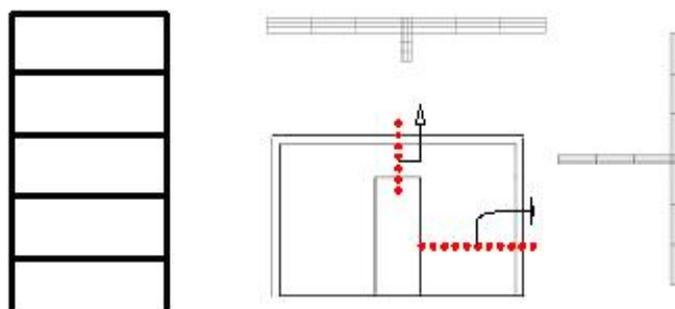


FIG. 7: Maquette ECOLEADER - Discrétisation.

La maquette ECOLEADER a été construite et testée au laboratoire LNEC à Lisbonne. Les essais ont été réalisés sur une table vibrante qui permet l'application des sollicitations indépendantes dans les deux directions horizontales (X, Y). Dans un premier temps, un essai de bruit blanc a été effectué. Ce passage permet de mesurer les fréquences propres. Ensuite, une série d'accélérogrammes est appliquée à la maquette suivant la direction X et la direction Y. Pour les résultats d'une analyse prédictive (pré - essai) le lecteur intéressé pourrait s'adresser à la référence 7.

Une analyse modale est effectuée afin d'accéder aux modes fondamentaux de la structure. La maquette est supposée encastree à la base et l'influence de la table sismique n'est pas prise en compte dans un premier temps. La présence des masses additionnelles sur les planchers et considérée en leur conférant une raideur plus importante ($E=40000 \text{ MPa}$). Les fréquences trouvées sont similaires à celles issus d'un modèle 3D effectué par INSA de Lyon⁸.

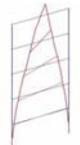
	Flexion selon X	Flexion selon Y	Torsion
Modèle simplifié sans la table	 f1= 9.13 Hz	 f2= 10.04 Hz	 f3= 14.80 Hz
Modèle 3D sans la table	f1= 8.50 Hz	f2= 10.22 Hz	f3= 11.46 Hz
Modèle simplifié avec la table	f1= 4.90 Hz	f2= 7.10 Hz	f3= 14.60 Hz
Modèle 3D avec la table	f1= 5.15 Hz	f2= 7.06 Hz	f3= 9.90 Hz
Essai	f1=4.5Hz (Peu fiable)	f2= 7.13 Hz	Pas connue

Table 3: Maquette ECOLEADER - Fréquences propres.

Les résultats de l'essai de bruit blanc montrent clairement la nécessité de prendre en compte correctement les conditions limites. Pour reproduire la flexibilité de la table vibrante quatre ressorts linéaires sont utilisés, la table elle-même étant modélisée par des poutres horizontales (infiniment raides dans leurs plans). Le calibrage de la raideur des ressorts nous permet d'obtenir les fréquences de la maquette et de reproduire les principales caractéristiques de la table seule. L'étape suivante sera de procéder à l'étude du comportement non linéaire de l'ensemble table-maquette et comparer les résultats avec les résultats de l'expérience.

5 Conclusion

Une stratégie de modélisation simplifiée de structures en béton armé soumises à des chargements cycliques ou sismiques a été présentée dans cette étude. Les structures sont modélisées en utilisant des éléments de type poutre multifibre de cinématique Bernoulli. Les résultats numériques sur des poteaux montrent les avantages de la méthode choisie. Quant à la maquette ECOLEADER, cette première analyse montre que le modèle est capable de décrire correctement les fréquences et modes propres de la structure. Le calcul transitoire non linéaire devra nous permettre de comparer les résultats numériques et expérimentaux et étudier le comportement de la structure jusqu'à la ruine.

References

- ¹ Ghavamian S, Davenne L, Gatuingt F (2002), "Elément de poutre multifibre (droite)". *Fascicule R3.08 - Document Code Aster*.
- ² Kotronis P., Davenne L., Mazars J (2004), 'Poutre 3D multifibre Timoshenko pour la modélisation des structures en béton armé soumises à des chargements sévères'. *Revue Française de Génie Civil*, vol. 8, issues 2-3, pp. 329-343.
- ³ La Borderie C.L (1991), "Phénomènes unilatéraux dans un matériau endommageable : modélisation et application à l'analyse des structures en béton". *Thèse de doctorat Université Paris 6*.
- ⁴ Menegotto M, Pinto P.E, (1973), "Method of analysis for cyclically loaded reinforced concrete plane frames including changes in geometry and non elastic behavior of elements under combines normal force and bending". *I ABSE symp. On resistance and ultimate deformability of structures acted on by well-defined repeated loads*, Final Report, Lisbon..
- ⁵ Bousias N, Verzeletti G, Fardis N, Gutierrez E (1995), "Load-path in column biaxial bending with axial force". *Journal of Engineering Mechanics*, Vol 121, No.5, May.
- ⁶ Site web Code Aster www.code-aster.com
- ⁷ Nguyen XH, Mazars J, Kotronis P (2005), "Analyse prévisionnelle du comportement sismique d'une structure en béton à murs contreventés". *Colloque National MECAMAT*, Aussois 24-28 Janvier, Org. Groupe Français de Mécanique des Matériaux, C.Génin, F.Hild, L.Rota et le Pôle Francilien de Dynamique.
- ⁸ Ile N, J.M Reynouard (2005), "Analyse modale de la maquette française testée sur la table sismique du LNEC". *Rapport provisoire du projet ECOLEADER*.