



HAL
open science

Analyse et Réduction de la Vulnérabilité Sismique d'une Structure Existante en Béton Armé : Renforcement par TFC

C. Desprez, Panagiotis Kotronis, J. Mazars

► **To cite this version:**

C. Desprez, Panagiotis Kotronis, J. Mazars. Analyse et Réduction de la Vulnérabilité Sismique d'une Structure Existante en Béton Armé : Renforcement par TFC. 8ème Colloque National de l'Association Française de Génie Parasismique, AFPS 2011, Sep 2011, Marne-La-Vallée, France. pp.383-389. hal-01007879

HAL Id: hal-01007879

<https://hal.science/hal-01007879v1>

Submitted on 7 Jan 2020

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.



Analyse et Réduction de la Vulnérabilité Sismique d'une Structure Existante en Béton Armé : Renforcement par TFC.

Cédric Desprez*,* — Panagiotis Kotronis** —, Jacky Mazars***.

* Laboratoire de Mécanique et de Technologie, Ecole Normale Supérieure de Cachan
61 avenue du Président Wilson, 94235 Cachan cedex, France
Desprez@dgc.ens-cachan.fr

** LUNAM Université, Ecole Centrale de Nantes, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM),
UMR CNRS 6183, 1 Rue de la Noë, F-44321 Nantes, France

***Laboratoire Sols, Solides, Structures – Risques, Institut National Polytechnique de Grenoble
Domaine Universitaire BP53 38041 Grenoble Cedex 9, France

RÉSUMÉ. En génie parasismique, la réduction de la vulnérabilité des structures existantes est un enjeu majeur. Le renforcement externe d'éléments par collage de Tissus de Fibre de Carbone (TFC) est une réponse intéressante à cette problématique. Cet article présente une méthode d'analyse destinée à évaluer la vulnérabilité d'un ouvrage avant et après son confortement par TFC. La structure est modélisée avec des éléments finis de types poutres multifibres. Des analyses dynamiques non-linéaires et statiques non-linéaires (Pushover) sont réalisées suivant les prescriptions de l'Eurocode 8.

ABSTRACT. In structural engineering, the seismic vulnerability reduction of existing structures is a crucial issue. External reinforcement using Fiber Reinforced Polymer (FRP) is an interesting tool in order to fulfil this aim. This paper presents a method to assess the seismic vulnerability of a building before and after its FRP retrofitting. The structure is simulated using multifiber beam elements. Non linear dynamic and static (Pushover) analyses are performed according to the Eurocode 8 design code.

MOTS-CLÉS : Renforcement; TFC; Béton armé; Poutre multifibres, vulnérabilité, Analyse statique, analyse dynamique.

KEYWORDS: Reinforcement; FRP; Reinforced concrete; Multifiber beam, Vulnerability, Pushover, Time story analysis.

1. Introduction

Beaucoup de bâtiments européens sont situés dans des régions de faible ou moyenne sismicité. Toutefois, la plupart d'entre eux n'ont pas été conçus selon les prescriptions parasismiques des codes de calculs modernes. L'évaluation de la vulnérabilité sismique des structures existantes est donc un enjeu majeur du génie civil. De plus, les analyses élastiques ne sont en général pas suffisantes pour évaluer finement les performances des structures en béton et leur vulnérabilité vis-à-vis d'une action accidentelle telle qu'un séisme. Les approches non linéaires sont nécessaires pour fournir une analyse plus poussée et apporter une meilleure compréhension du comportement réel de l'ouvrage.

En s'appuyant sur une étude de cas, ce papier présente une méthode d'analyse par éléments finis de type poutres multifibres du comportement sismique d'une structure existante en béton armé. Cette méthode est employée pour évaluer le comportement non linéaire de l'ouvrage avant et après son confortement par tissus de fibres de carbone. Plus spécifiquement, une analyse dynamique non linéaire et statique non linéaire (Pushover) sont conduites selon les prescriptions de l'Eurocode 8. La section 2 présente les outils de modélisation employés. La troisième partie expose les principaux résultats de l'étude menée sur la structure avant son confortement. Enfin, la quatrième partie met en avant la réponse de l'ouvrage dans le cas d'un renforcement par tissus de fibres de carbone.

2. Outils de modélisation

2.1. Eléments poutres multifibres

Les éléments poutres multifibres permettent de simplifier la modélisation d'une structure (Kotronis, 2000) (Kotronis et al., 2005), (Mazars et al., 2006), (Kotronis, 2008). A chacune des fibres peut être appliquée une loi de comportement propre. Ceci permet de représenter plusieurs matériaux dans une même section (figure 1). Les éléments multifibres utilisés dans ces travaux sont des éléments poutres Timoshenko implémentés dans le code éléments finis Cast3m (Combescure, 2000).

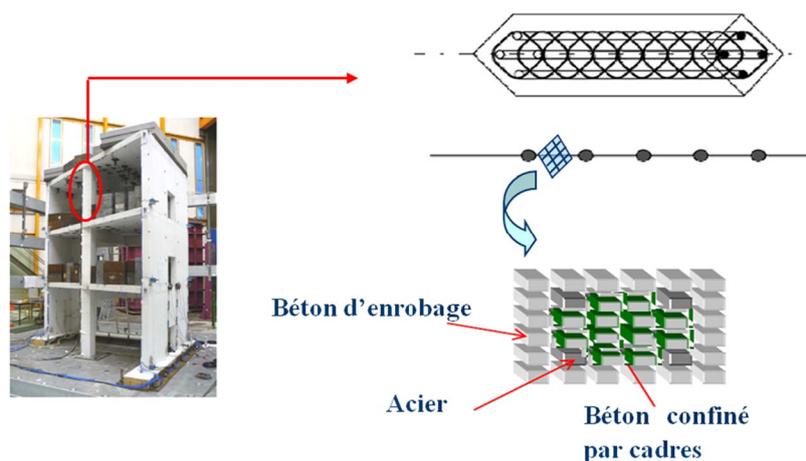


Figure 1. *Elément poutre multifibres (Guedes et al., 1994, Kotronis, 2000).*

2.2. Comportement du béton et de l'acier

Le béton est représenté avec un modèle unilatéral d'endommagement (La Borderie, 1991), (La Borderie, 1998). Cette représentation permet de prendre en compte les phénomènes d'ouverture et de fermeture des fissures (perte et reprise de raideur) sous chargements cycliques (figure 2).

Le comportement de l'acier est représenté par un modèle elasto-plastique de Ménégo-Pinto à écrouissage cinématique, modifié pour prendre en compte le flambement des armatures métalliques (figure 3).

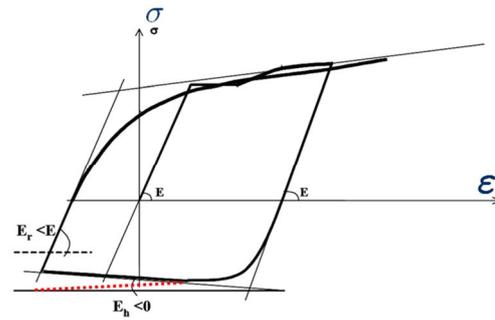
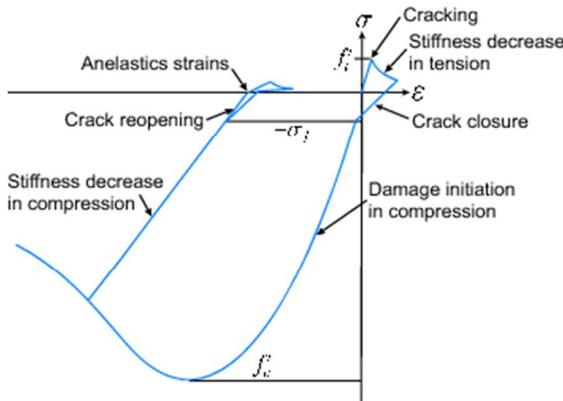


Figure 2. Modèle cyclique de béton (La Borderie, 1991) - Relation contrainte-déformation uniaxiale.

Figure 3. Modèle cyclique d'acier (Menegoto et al., 1973) - Relation contrainte - déformation uniaxiale.

2.3. Renforcement axial par TFC.

Le tissu de fibres de carbone (TFC) lorsqu'il est collé sur la face d'un élément en béton (poutre, voile,...) possède une fonction similaire à celle de barres d'armatures externes (Figure 4). Dans le cas du renforcement axial, l'utilisation d'éléments poutres multifibres offre la possibilité de représenter cette contribution en ajoutant des fibres additionnelles dans la section initiale (béton et acier) de l'élément multifibres (Figure 5). Le comportement du TFC est alors représenté par un modèle de comportement élastique-linéaire fragile. Cette stratégie de modélisation à été validée par comparaison de résultats numériques et expérimentaux relatifs à des poutres renforcées sollicitées en flexion 4 points (Figure 7). Seul le cas du renforcement axial est présenté dans cette étude, toutefois le cas du confinement des poteaux peut également être abordé dans une modélisation multifibres (Desprez, 2010), (Desprez et al., 2011)



Figure 4. Poutre renforcée par TFC.

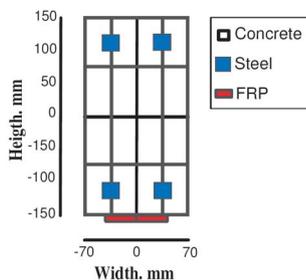


Figure 5. Représentation du TFC dans une section multifibres.

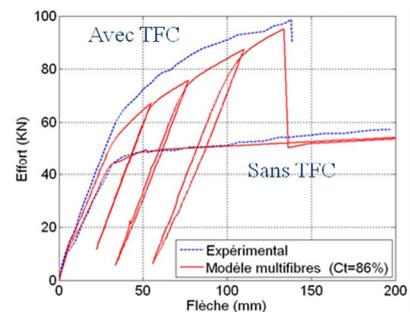


Figure 6. Poutre renforcée en flexion 4 points.

3. Etude de cas

3.1. Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage étudié est l'Hôtel de ville de Grenoble, une structure en R+11 en béton armé de 1966. Il possède deux parties principales, une tour et un bâtiment en périphérie de sa base (Figure 7). Seule la tour (qui est dissociée du reste de la structure) est étudiée. Les dimensions sont, 43m de long, 13 de large et 52m de haut. La tour est composée de cages de circulation (dont la raideur est élevée), d'un réseau de poteaux et de poutres et de planchers. La structure porteuse principale est assurée par quatre noyaux (cages de circulation) dont le changement de géométrie à la naissance des étages courants est un point important. Cette structure possède une instrumentation permanente par mesure de bruit ambiant (Michel et al., 2010) permettant ainsi de déterminer des caractéristiques propres de l'ouvrage in-situ (fréquences, modes propre...) ainsi que sa réponse vis-à-vis de faibles sollicitations (vent, séismes,...).

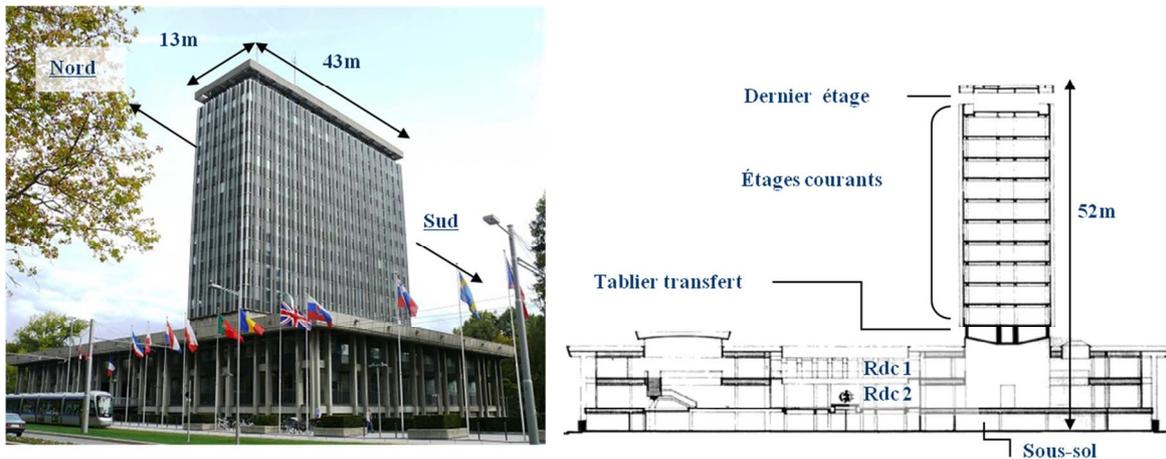


Figure 7. Hôtel de ville de Grenoble : (gauche) Vue extérieur et (droite) Coupe transversale.

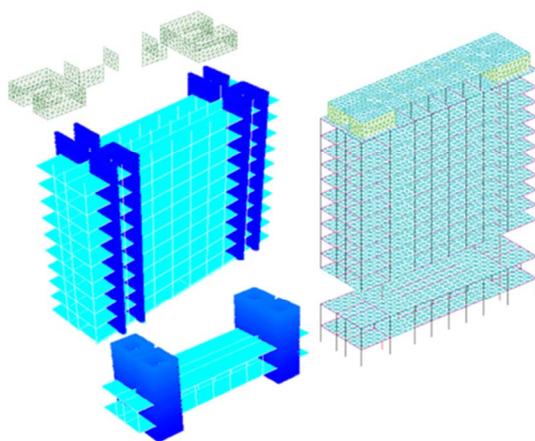


Figure 8. Modèle éléments finis de l'Hôtel de ville de Grenoble.

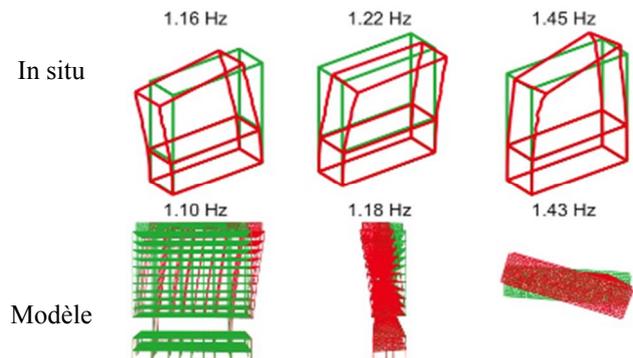


Figure 9. Comparaison des modes propres de vibrations (Michel et al., 2010).

3.2. Modélisation numérique.

Le bâtiment a été modélisé dans Cast3m avec des éléments finis non linéaires de types poutres multifibres pour la majorité des éléments verticaux ; des éléments plaques linéaires de type *DKT* ont été utilisés pour les dalles (figure 8). Les caractéristiques modales et les propriétés dynamiques linéaires de l'ouvrage ont été validées par l'exploitation des mesures de vibration ambiante (Figure 9), (Michel et al., 2010), (Gueguen et al., 2009).

Le modèle est également capable de transcrire précisément le comportement global de l'ouvrage, l'endommagement du béton et les déformations plastiques dans les armatures métalliques. Le coût de calcul restant raisonnable, cette stratégie représente une excellente alternative aux modèles tri-dimensionnels éléments finis.

3.3. Analyse de la vulnérabilité

La première partie de l'étude concerne l'analyse de la vulnérabilité sismique avant le confortement par TFC. Un signal sismique synthétique tri-directionnel basé sur les prescriptions de l'Eurocode 8 est employé pour l'analyse dynamique non linéaire. Les figures 10, 11 et 12 présentent les résultats de l'analyse numérique en terme de dommage, de déplacement inter-étage (drift) et de déformation dans les armatures métalliques

Plus précisément, le comportement de l'ouvrage est principalement composé de flexion, sans effets préjudiciables de torsion. Ce comportement de type poutre en flexion se prête bien à un renforcement par collage de TFC. Des dommages de traction du béton se localisent sur quatre zones importantes, mais aucune apparition d'endommagement en compression n'est visible. Concernant les armatures métalliques, l'évolution des déformations montre la formation de zone de rotules plastiques dans les noyaux de l'ouvrage. Les zones sensibles sont localisées, telles que les 3 étages au dessus de la naissance des étages courants et la naissance des noyaux, au bas de l'ouvrage.

Les conclusions de cette première analyse sont utilisées pour quantifier le niveau de dommage attendu dans l'ouvrage, et servent de base à l'étude de son renforcement dans le cas où cette solution serait envisagée.

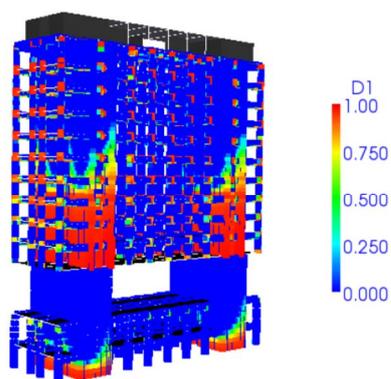


Figure 10. Localisation des dommages - endommagement du béton en traction.

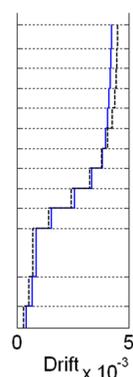


Figure 11. Drift maximal à chaque niveau.

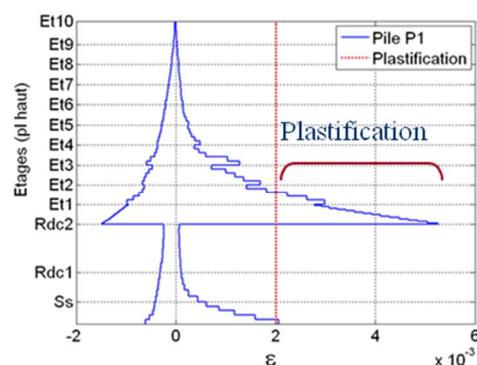


Figure 12. Déformations maximale des armatures métalliques sur la hauteur d'un noyau (cage de circulation) de l'ouvrage.

3.4. Réduction de la vulnérabilité

La seconde partie de l'étude considère la structure numérique renforcée par TFC. Le renforcement est appliqué sur les zones sensibles des quatre noyaux principaux. Le dimensionnement du TFC est conçu avec pour objectif d'éviter les zones de formations plastiques dans les armatures métalliques. Selon les résultats de l'étude sur l'édifice non renforcé, le TFC est appliqué sur le premier niveau à la base de l'ouvrage et sur les quatre premiers niveaux à la naissance des étages courants. Après confortement, une analyse statique non linéaire par poussée progressive (Pushover) et une analyse dynamique non linéaire sont réalisées.

L'analyse statique met en évidence l'accroissement de capacité vis-à-vis de la flexion (Figure 13). En effet, le TFC permet de réduire la localisation des déformations due au comportement plastique des armatures métalliques. Toutefois, l'impact du renforcement sur la réponse dynamique de la structure peut s'avérer surprenante. Le TFC permet d'aboutir à une diminution des déformations dans les armatures, mais une nouvelle zone de localisation est mise en évidence, au dessus du dernier étage renforcé (figure 15). Par ailleurs, les déplacements et drifts maximums sont plus élevés que dans le cas non renforcé. Il apparaît alors nécessaire de disposer d'outils numériques tels que ceux présentés dans ce papier, afin de procéder à différentes analyses de confortement (Desprez, 2010) (Desprez et al., 2011)..

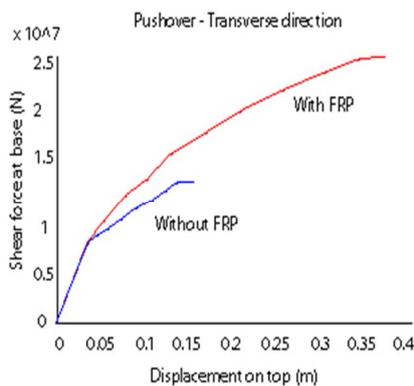


Figure 13. Analyse Pushover - Résistance latérale avec et sans TFC.

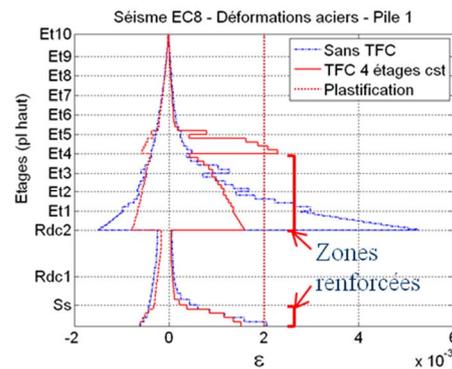


Figure 14. Déformations maximales des armatures métalliques sur la hauteur d'un noyau de l'ouvrage - avec et sans TFC.

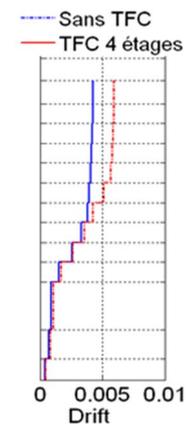


Figure 15. Drift maximal à chaque niveau - avec et sans TFC.

4. Conclusion

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude sur l'analyse de la vulnérabilité sismique des structures existantes. Différentes méthodes sont proposées dans la littérature, principalement basées sur des analyses statistiques (courbes de fragilité), et utiles pour étudier une typologie donnée d'ouvrage dans une région donnée. La méthode présentée ici s'applique à un ouvrage spécifique pour lequel une connaissance précise de la vulnérabilité est souhaitée.

Une description par éléments finis de l'ouvrage et une analyse dynamique non linéaire permettent d'accéder à la localisation des zones de forts dommages. A partir de ces conclusions, il devient possible de considérer un renforcement local de la structure et de l'intégrer à une nouvelle analyse numérique afin de fournir un outil d'aide à la décision.

Dans cet article, cette procédure a été appliquée sur un bâtiment d'une cinquantaine de mètres d'envergure. L'analyse non linéaire montre que la structure est endommagée pour un séisme respectant les prescriptions de l'Eurocode 8. Une solution de confortement par TFC est proposée et modélisée numériquement afin d'en évaluer son impact. La stratégie d'analyse utilisée peut servir d'outil simplifié dans l'optique de comparer différentes solutions de confortement par TFC.

5. Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre de l'ANR ARVISE (Analyse et Réduction de la vulnérabilité sismique du bâti existant), Projet ANR-2006-PGCU-007-01.

6. Bibliographie

- Combescur D. Modélisation des structures de génie civil sous chargement sismique à l'aide de castem 2000, CEA, Direction de l'énergie nucléaire, département modélisation de systèmes et structures, service d'études mécaniques et thermiques, Rapport DM2S. 2000 (<http://www-cast3m.cea.fr/>).
- Desprez C. Analyse et réduction de la vulnérabilité sismique des structures existantes : renforcement par collage de tissus de fibres de carbone (TFC). Thèse de doctorat, Inp Grenoble, 2010, (<http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00560438/fr/>).
- Desprez C., Kotronis P., Mazars J. Modèle cyclique de béton renforcé par TFC : Modélisation numérique de poteaux confinés, approche par éléments finis multifibres. 8ème Colloque National de l'Association Française de Génie Parasismique AFPS 2011, Ecole des Ponts ParisTech, Marne-La-Vallée, 12-14 Septembre 2011.
- Eurocode 8, European norm on “ seismic structural calculations” NF EN 1998-1, 2005.
- Guedes J., Pégon P. et Pinto, A. 1994. A fibre Timoshenko beam element in CASTEM 2000, Special publication nr. i.94.31. Technical report, J.R.C, I-21020, Ispra, Italy. 1994.
- Kotronis P. Cisaillement dynamique de murs en béton armé. Modèles simplifiés 2D et 3D. Thèse de doctorat ENS Cachan, 2000 (<http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00074469/fr/>).
- Kotronis P. and Mazars J. "Simplified modelling strategies to simulate the dynamic behavior of R/C walls", *Journal of Earthquake Engineering*, 9(2), 285–306, 2005.
- Kotronis P. Stratégies de modélisation de structures en béton soumises à des chargements sévères. Habilitation à diriger des recherches, <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00350461/fr/>, Université Joseph Fourier, 2008.
- La Borderie C. Phénomènes unilatéraux dans un matériau endommageable: Modélisation et application à l'analyse des structures en béton. Thèse de doctorat, Université Paris VI, Paris, France, 1991.
- La Borderie C. Stratégies et modèles de calculs pour les structures en béton. Habilitation à diriger des recherches, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, 2003.
- Mazars J., Kotronis P., Ragueneau F., and Casaux G. "Using multifiber beams to account for shear and torsion : Applications to concrete structural elements", *Computer Methods in Applied Mechanics and engineering*, 195(52), 7264–7281, 2006.
- Menegotto M. and Pinto P. Method of analysis of cyclically loaded reinforced concrete plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending, IABSE Symposium on resistance and ultimate deformability of structures acted on by well-defined repeated loads, final report, Lisbon, 1973.
- Michel C., Gueguen P., El Arem S., Mazars J., Kotronis P. "Full scale dynamic response of a RC building under weak seismic motions using earthquake loadings, ambient vibrations and modelling". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, volume 39, issue 4, pages 419-441, April, 2010.