

# NOUVELLE TECHNIQUE DE RENFORCEMENT DES PORTIQUES EN BETON ARME

A. NEKMOUCHE<sup>1</sup>, N. KHELIL<sup>2</sup>, A.KAHIL<sup>3</sup>, A.KEZMANE<sup>4</sup>, S.BOUKAIS<sup>5</sup>, M.HAMIZI<sup>6</sup>

1. Université Abderrahmane Mira de Bejaia, Algérie, Laboratoire (LaMoMS), [aminenekmouche@yahoo.com](mailto:aminenekmouche@yahoo.com)
2. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, [nacim.khelil@ummto.dz](mailto:nacim.khelil@ummto.dz).
3. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Laboratoire (LaMoMS), [amar.kahil@yahoo.com](mailto:amar.kahil@yahoo.com)
4. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, [ali.kezmane@hotmail.fr](mailto:ali.kezmane@hotmail.fr)
5. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Laboratoire (LaMoMS), [sbouka58@yahoo.fr](mailto:sbouka58@yahoo.fr)
6. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Laboratoire (LaMoMS), [chamizi@yahoo.fr](mailto:chamizi@yahoo.fr)

## Résumé

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'influence d'une nouvelle technique de renforcement des structures auto-stables, basée sur l'incorporation d'armatures disposées en X sur les faces latérales du portique, au voisinage des zones nodales (zones sujettes à l'apparition de rotules plastiques). Trois modèles ont été testés : Un modèle classique de référence, un modèle renforcé uniquement au niveau de la poutre, et un modèle avec renforts sur poutre et poteau. L'étude du modèle classique permet d'appréhender le comportement du portique sous un chargement horizontal et de localiser les zones endommagées. Deux types de renforts ont été conçus afin d'évaluer et améliorer le comportement mécanique de la structure. La simulation a été menée sur Abaqus version 6.10.1, en considérant un comportement élasto-plastique pour l'acier et un comportement élasto-plastique endommageable pour le béton.

**Mots clefs :** *Endommagement, portique en B.A., renforcement, zones nodales.*

## 1. Introduction

Les séismes se produisent de plus en plus souvent et sont de plus en plus dévastateurs, violents, ils entraînent des pertes nombreuses en vies humaines, en majeure partie due à l'effondrement des bâtiments. En Algérie, l'activité sismique est relativement modérée, les grands séismes qui ont touché ces dernières années les régions de CHLEF (1980), TIPAZA (1989), AIN TIMOUCHENT (1999) et de BOUMERDES en Mai 2003 en témoignent [1]. L'analyse des dommages causés par le séisme de Boumerdes a mis en lumière la fragilité des structures due à la négligence des recommandations parasismiques dans la réalisation des bâtiments, notamment au niveau des zones nodales (dans le cas des structures en système poteau-poutre). Les nœuds dans un système poteau-poutre en béton armé représentent les zones mécaniques les plus critiques dans la dissipation de l'énergie sismique. Afin d'assurer un comportement dissipatif et ductile d'ensemble, les ruptures fragiles et les instabilités mécaniques doivent être évitées. L'insuffisance structurale des jonctions poteau-poutre a été justifiée comme étant le résultat des observations

répétées des ruptures dans des tremblements de terre. Pour éviter un mode de ruine dangereux et imprévisible, le Règlement Parasismique Algérien [2] exige que les poteaux des structures en portiques auto stables offrent une résistance flexionnelle adéquate afin de favoriser un développement de mécanisme lié à la formation des rotules plastiques dans les poutres plutôt que dans les poteaux. Le coefficient de majoration des moments fléchissant des poteaux est supérieur de 25% ceux des poutres (poteau-fort, poutre-faible). L'évaluation de l'endommagement des structures en béton armé constitue une aide pertinente pour la prise de décision quant au remplacement ou à la réhabilitation d'un ouvrage. Les indicateurs de dommages [3] ont pour objet de quantifier l'état de dégradation d'une section, d'un élément ou d'une structure en béton armé, relativement à sa résistance ultime. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude des zones critiques des éléments de structures auto stables en béton armé (portique en poteau-poutre). L'apparition des premières zones endommagées dans le portique, renseigne sur la position du renfort à appliquer afin d'améliorer le niveau de performance.

## 2. Présentation du portique étudié

### Géométrie :

- Longueur (H)= 3.5m (entre nus).
- Hauteur (V)= 3m.
- Section des poteaux = (25\*25) cm<sup>2</sup>.
- Section de poutre = (25\*30) cm<sup>2</sup>.
- Section de la fondation = (60\*60) cm<sup>2</sup>.

### Ferraillage :

#### 2.1 Poteaux :

Armatures longitudinales : 4HA14.  
Armatures transversales : HA8 avec un espacement de 14 [cm] en zone nodale et 21[cm] en zone courante.

#### 2.2 Poutres :

Nous avons adopté une section d'armature de 3.75cm<sup>2</sup> équivalente à 4HA12. Aciers longitudinaux : 4HA12. Armatures transversales : HA8 avec espacement de 7.5 [cm] en zone nodale et 15 [cm] en zones courantes.

### 3. Comportement des matériaux :

#### 3.1 Béton :

Un couplage entre la plasticité (représentation des déformations irréversibles) et l'endommagement (représentation des fissures) est utilisé afin de décrire le comportement mécanique du béton, ce modèle est intégré dans le code éléments finis ABAQUS (Concrete Damaged Plasticity). Ce dernier utilise la fonction de charge développée par [4] et incorpore les modifications proposées par [5] pour tenir compte des évolutions différentes de résistance entre la tension et la compression. L'approche de fissuration répartie est utilisée; le matériau réel fissuré est modélisé par un matériau homogène équivalent dans lequel l'ouverture de fissure est assimilée à une distribution de la déformation plastique. Cependant ce modèle, à cause de la forte localisation des déformations, diverge rapidement dès que le critère de fissuration est atteint. Pour éviter cette divergence, les paramètres principaux à définir soigneusement sont : la loi contrainte-déformation (puisque cette dernière permet de calculer les valeurs d'écroutissage) qui ne doit pas poser de problème d'intégration numérique et l'utilisation des énergies de fissuration qui offre à l'algorithme du modèle une bonne capacité de convergence [6],[7],[8]. La figure 3 illustre le comportement uni-axial du béton utilisé dans cette étude [9].  $f_{bc} = 25\text{Mpa}$ ,  $f_{bt} = 2.1\text{Mpa}$ ,  $E = 32\text{GPa}$ ,  $\nu = 0.18$

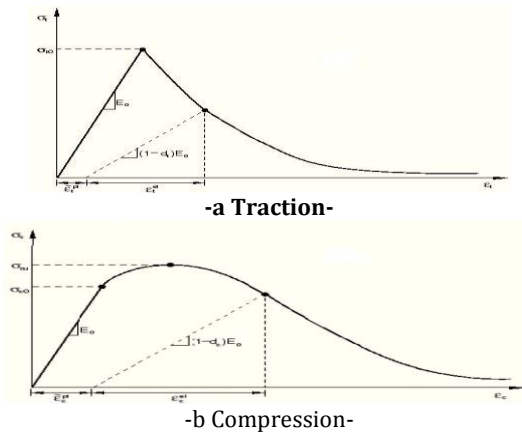


Figure 1 : comportement uni axial du béton

#### 3.2 Acier :

Un Comportement élasto-plastique à écroutissage isotrope est adopté dans cette étude pour modéliser les barres d'aciers. Les paramètres utilisés sont le module de Young  $E$  ( $E = 210\text{GPa}$ ), le coefficient de poisson  $\nu$  ( $\nu = 0.3$ ), la limite élastique  $\sigma_y = 348\text{Mpa}$  et la contrainte ultime  $\sigma_u = 527\text{Mpa}$ .

#### 4. Condition aux limites :

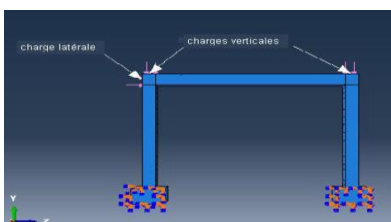


Figure 2 : conditions aux limites.

Le contact acier-béton a été considéré parfait dans cette simulation. Il est assuré par l'option (embedded region) d'Abaqus.

#### 5. Représentation du renfort :

Deux barres en X ont été disposées de chaque côté [Figure 3] au niveau des zones nodales, du fait que les dommages furent localisés à ces endroits lors de l'étude du modèle classique (M-C).

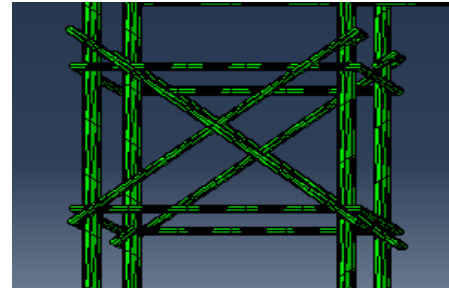


Figure 3 : Exemple de positionnement des barres de renforcements.

#### 6. Résultat et discussion :

##### 6.1 Comparaison des courbes de capacités :

Il est à noter sur ces courbes (Figure 4), une redistribution importante des efforts du fait de l'introduction des renforts en X dans les zones critiques. La capacité portante du premier modèle renforcé (renfort au niveau de la poutre M-RP) a augmenté de 18 %, alors que le gain pour celui présentant un renforcement dans la poutre et le poteau (M-RPP) s'élève à 34%. Cette disposition d'armatures dans les zones critiques du portique a permis d'améliorer son comportement global vis-à-vis du chargement horizontal.

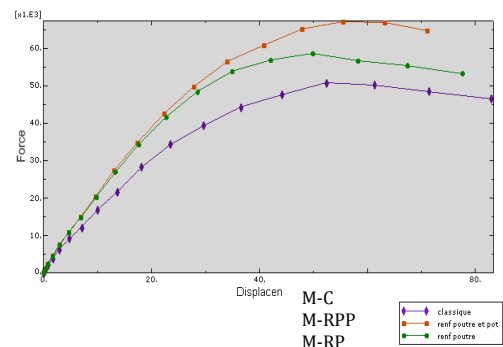


Figure 4 : Comparaison des courbes de capacités.

##### 6.2 Comparaison des dommages à l'échelle globale :

###### 6.2.1 En traction :

Le béton aux extrémités des poutres est fortement fissuré (rupture par fissuration) surtout dans le M-C (figure 5), cela traduit l'apparition des rotules plastiques dans les poutres en premier lieu. On a une réduction de 20% en terme de dommage en traction pour le M-RP. Les dommages dans le modèle M-RPP sont supérieurs à ceux du M-RP, cela est dû à la redistribution des efforts des poteaux vers la poutre.

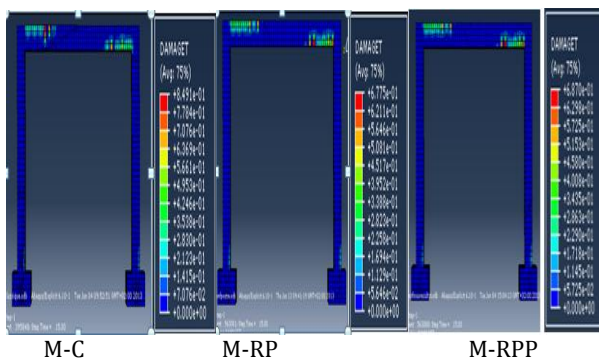


Figure 5: comparaison des dommages en traction pour un même pas de chargement.

### 6.3 Comparaison des dommages à l'échelle locale :

#### 6.3.1 En traction (poutre) :

Les courbes montrent parfaitement que les fissures dans le M-C ont une variation rapide jusqu'à l'atteinte de l'endommagement maximal, alors que dans les modèles renforcés, le béton se fissure progressivement sans jamais atteindre la limite maximale d'endommagement. La réduction de dommage vaut 11% à la fin du chargement. A une force correspondante au steps 18s le M-C atteint sa limite qui vaut 0.92 alors que les deux autres modèles ont atteint une valeur d'endommagement de 0.5, pour ce pas de chargement la réduction est de 45.65%. Les barres en X peuvent influencer par conséquent, la possibilité d'apparition des rotules plastiques.

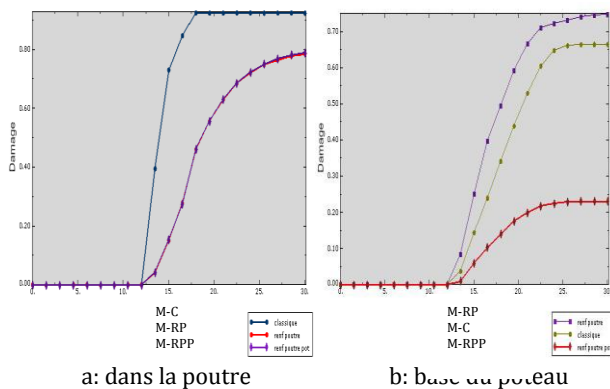


Figure 6 : comparaison des dommages en traction dans un élément de béton.

Les courbes de la figure 6.b montrent que les dommages sont très importants dans le M-RP, cela est dû à la redistribution des efforts de la poutre vers le poteau mais le M-RPP nous permet de réduire les dommages du M-C de 63%.

### 7. Conclusion :

Les résultats obtenus montrent une redistribution des efforts de la poutre vers les poteaux et vis versa (Figure 6.b). Ces derniers reflètent un système insuffisant 'poteau fort-poutre faible'. Le renfort de la poutre a permis de transférer ce mécanisme en un système 'poteau moyen-poutre moyen' !. On peut dire que le renfort en X dans les zones critique d'une structure est efficace lorsqu'il est placé judicieusement.

Dans ce cas il permet de retarder ou tout simplement d'éliminer l'apparition des rotules plastiques.

#### 7.1 Globalement :

Le renforcement de la poutre permet d'avoir un gain de capacité de 18%, tandis que le renforcement des poteaux et des poutres donne un gain de 34%, par rapport au MC. Dans le M-RP, on constate une réduction des dommages en traction dans la poutre de 20%.

Le (M-RPP) réduit les dommages en compression dans les poteaux de 15% par rapport aux deux autres modèles.

#### 7.2 Localement :

Pour un même pas de chargement, on note une réduction de dommages en traction estimé à 45.65% dans la poutre. Dans le poteau, nous avons une baisse des dommages en traction de 63% entre le M-C et le M-RPP. Pour les dommages en compression au pied du poteau, la réduction est de 25% pour le M-RP et de 47.5% pour le M-RPP.

#### Références

- [1] Victor DAVIDOVICI, *séisme de BOUMERDES – 21 mai 2003*, Rapport préliminaire, Ministère de l'Habitat, ALGERIE,.
- [2] RPA, *règlement parasismique Algérien*, (1999 version 2003).
- [3] Mazars J., *Application de la mécanique de l'endommagement au comportement non linéaire et à la rupture du béton de structure*, Thèse de doctorat d'état, Université Paris 6, 1984.
- [4] Lubliner J et al., *A Plastic-Damage model for concrete*, *International Journal of solids and structures*, 1989, vol. 25, n° 3, pp. 299-326
- [5] Lee J., Fenves G.L., *Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures*, *Journal of Engineering Mechanics*, (1998),124 (8), p. 892-900
- [6] Rots J.G., (1988), *Computational modeling of concrete fracture*, Dissertation, Delft University of Technology, Pays-Bas.
- [7] Hillerborg A., et al., *Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements*, *Cement and Concrete Research*, (1976), 6, p.
- [8] Kezmane, A et al... *3D modelling of reinforced concrete slab with yielding supports subject to impact load*. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, (2016) pp1-38.
- [9] Abaqus version 6.10.1.

