

# INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE LA ROTULE PLASTIQUE SUR LA REPONSE LOCALE D'UN PORTIQUE ETAGE EN BETON ARME

A. NEKMOUCHE <sup>1</sup>, A. KAHIL A. <sup>2</sup>, M. HAMIZI <sup>2</sup>, S. BOUKAIS <sup>2</sup>, N.E. HANNACHI <sup>2</sup>

1. Université Abderrahmane Mira de Bejaia, Algérie, Laboratoire (LaMoMS), aminenekmouche@yahoo.com
2. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Laboratoire (LaMoMS) amar.kahil@yahoo.com
2. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Laboratoire (LaMoMS) chamizi@yahoo.fr
2. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Laboratoire (LaMoMS) sbouka58@yahoo.fr
2. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Laboratoire (LaMoMS) hannachina@yahoo.fr

## Résumé

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'influence de la longueur de la rotule plastique sur le comportement d'un portique étagé en béton armé en utilisant l'approche globale. Sous un chargement sismique l'apparition des rotules plastiques se fait aux extrémités des éléments structuraux, de préférence dans les poutres. La dissipation de l'énergie sismique se fait à travers l'apparition de ses rotules plastiques, qui peuvent d'ailleurs, être réparées dans le cadre d'une réhabilitation. La technique utilisée est, lors de la modélisation post-élastique du portique, d'introduire des lois de comportement non linéaire des rotules plastiques aux extrémités des éléments poutres et poteaux du portique. Le paramètre essentiel qui définit ces rotules, dans les lois de comportement, est la longueur de la rotule plastique ( $L_p$ ). Dans ce travail, trois formules théoriques différentes ont été utilisées afin d'estimer ce ( $L_p$ ), dans le but d'évaluer son influence sur le comportement global et local des portiques en béton armé. Les résultats obtenus, dans le cadre de cette étude, montrent que le modèle numérique a pu reproduire le comportement expérimental du portique étudié. L'influence de ( $L_p$ ) sur la réponse locale est notable dans ce cas de figure.

**Mots clefs :** *Portique en béton armé, zone nodale, comportement non linéaire, rotule plastique, longueur de la rotule,*

## 1. Introduction

Les bâtiments à typologie poteaux-poutres en béton armé, surtout lorsqu'ils sont un peu élancés, se comportent d'une manière fragile lors de séismes forts. Cette fragilité est due, souvent, à un manque de résistance aux nœuds et à une mauvaise dissipation d'énergie lors de ces chargements sismiques [1]. Les zones les plus névralgiques sont les zones nodales où la performance sismique est réduite. Il se trouve que ces zones nodales deviennent des zones critiques qui se comportent comme un noyau de transfert des efforts des poutres aux poteaux et le lieu par excellence de la défaillance pouvant compromettre le comportement de la structure entière. Pour éviter cette rupture fragile de la

structure, la technique recommandée est de guider l'apparition des rotules plastiques pour favoriser leur positionnement au niveau des poutres et non des poteaux et aussi loin que possible des zones nodales. Une attention particulière doit être accordée à ces zones nodales lors de la modélisation numérique avec des lois de comportement appropriées qui doivent refléter le comportement réel de ces portiques, contrairement aux zones courantes qui sont, par contre, modélisées par des éléments barres qui travaillent dans le domaine élastique linéaire. Dans ce travail, le portique de Vecchio [2] est simulé avec le code éléments finis 'SAP 2000', les lois de comportements non linéaires utilisées sont celles obtenues par le logiciel de calcul de section 'Response 2000' et le paramètre de la longueur de la rotule plastique ( $L_p$ ) est évalué par trois formules théoriques différentes afin de montrer son influence sur la réponse du portique étudié et les comparer aux résultats expérimentaux [4].

## 2. Présentation du modèle étudié

Le modèle de Vecchio est retenu dans cette étude. La Géométrie du portique est donnée sur la figure1.

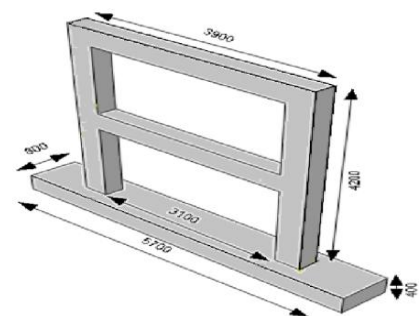


Figure1 :Géométrie 3D du portique deVecchio

Le Ferrailage ainsi que les caractéristiques des matériaux du modèle étudié sont détaillées en [4]. Un chargement horizontal piloté en déplacement imposé ( $U=16$  cm) est appliqué en tête du portique ainsi que

deux charge verticale constantes ( $P= 700$  KN) sont appliquées sur les deux poteaux.

### 3. Modélisation des rotules plastiques

Les rotules plastiques sont modélisées par des lois de comportement bilinaire en moment-rotation. Dans ce travail, nous utilisons les formulations de l'ATC-40 [3], de Corley [4] et Mattok [5] pour le calcul de la longueur de la rotule plastique (Tableau 1).

**Tableau1** : formules de calcul de  $L_p$  utilisées.

Auteurs	Formules de ( $L_p$ )
Corley (1966)	$L_p = 0.5d + 0.2\sqrt{d}(z/d)$
Mattok (1967)	$L_p = 0.5d + 0.05z$
ATC-40 (1997)	$L_p = \frac{h}{2}$

Avec :  $d$  = la hauteur utile de la section transversale,  
 $z$  = la distance entre la fibre la plus sollicitée et le centre de gravité de la section et  $h$  : la hauteur totale de la section transversale.

Une fois le choix de la formule de calcul de la longueur plastique est adopté, nous calculons la rotation plastique  $\theta_p$  comme suit :

$$\theta_p = (\Phi_u - \Phi_y) * L_p \quad (1)$$

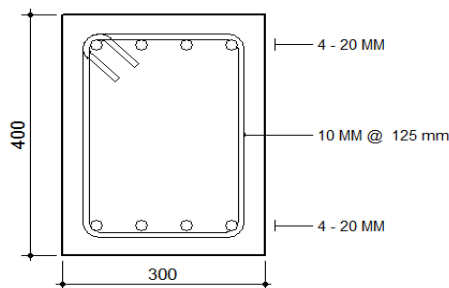
Avec  $\Phi_u$  : courbure ultime et  $\Phi_y$  : courbure élastique

### 4. Simulation Numérique

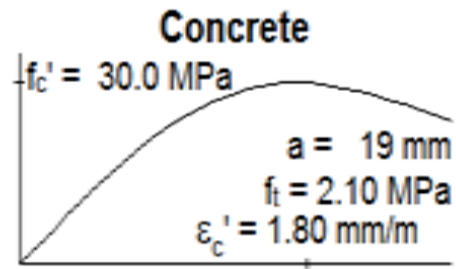
Le portique de Vecchio est simulé via le code de calcul 'Sap2000 V14', Les lois de comportements utilisées sont de type 'Moment-Courbure' pour les poutres et les poteaux. Ces dernières sont calculées en utilisant le code éléments finis 'Response2000'. Ce code est basé sur la théorie des déformations compatibles [6].

#### 4.1. Calcul des lois moment-courbure Via 'Response2000'

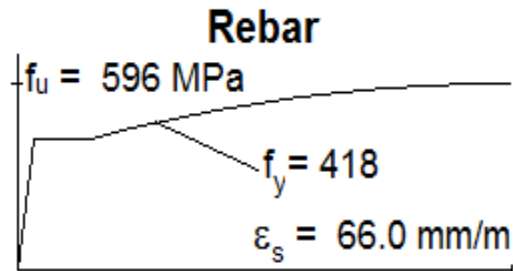
La section étudiée ainsi que lois de comportement des matériaux béton et acier utilisées dans cette simulation sont présentées respectivement dans la Figure 2, Figure 3 et Figure 4:



**Figure2** : Présentations de la section transversale de la poutre



**Figure 3** : Loi du béton adoptée (en compression)

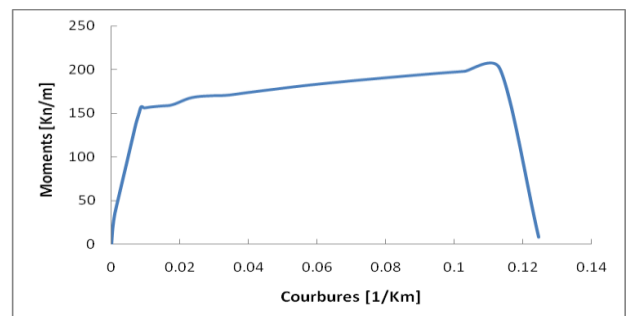


**Figure 4** : Loi de l'acier utilisée.

Les phénomènes de compression-softening de Vecchio-Collin (1986) ainsi que ceux de tension-stifening développés par Bentz (2001) sont pris en considération dans l'évaluation du comportement de la section béton armée.

#### 4.2. Les lois simplifiées homogénéisées obtenues par réponse 2000 et utilisées dans le code de calcul SAP 2000

Les figure 5 et 6 montrent la réponse de la section des poutres et poteaux respectivement utilisées dans la modélisation du portique de Vecchio sous 'SAP 2000', aux quelles nous avons rajouter la valeur de  $L_p$  afin de pouvoir calculer les rotations plastiques selon la formule (1). Les poutres sont modélisées avec des rotules plastiques de flexion  $M_3$  par contre, les poteaux sont modélisés par une loi de comportement qui prend en considération l'interaction entre l'effort normal et le moment de flexion nommée P-M3 dans le code de calcul.



**Figure 5** : Réponse moment-courbure pour la section transversale de la poutre

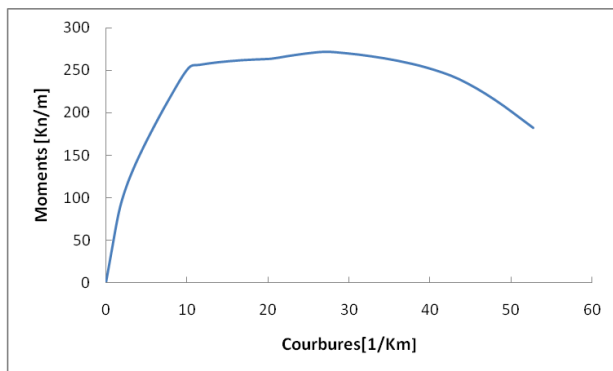


Figure 6 : Réponse moment-courbure pour la section transversale du poteau

#### 4.3. Modélisation du portique de Vecchio sous SAP 2000

Trois simulations ont été effectuées via ce code en tenant compte des lois de comportement des sections introduites en (4.1) et des longueurs de ( $L_p$ ) dans les poutres estimées avec les trois formules présentées dans le (tableau 1), par contre, La longueur ( $L_p$ ) dans les poteaux est prise constante ( $L_p=20$  cm) pour les trois simulations

### 5. Résultats et Discussion .

#### 5.1. Influence de $L_p$ sur la réponse globale

Nous présentons à la (Figure 7) la réponse charge déplacement obtenue pour le portique. Les trois modèles reproduisent le comportement expérimental d'une manière satisfaisante. Néanmoins, une différence est relevée entre les 3 courbes numériques, elle se manifeste dans la charge de rupture ainsi que le déplacement correspondant au début d'adoucissement de chaque courbe.

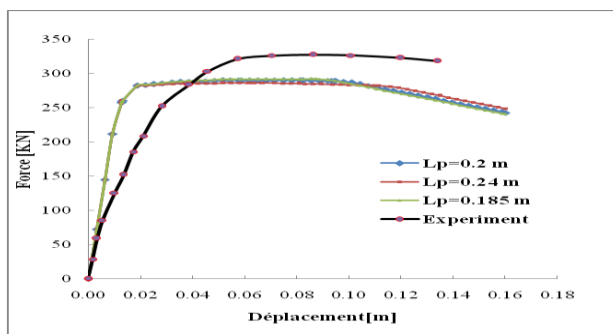


Figure 7 : Comparaison des courbes de capacités obtenues par rapport à l'expérimentation

#### 5.2. Comparaison à l'échelle locale

Le comportement local a été étudié dans chaque zone nodale après apparition des rotules plastiques. L'étude menée s'est concentrée sur la comparaison des réponses en moment-rotation plastique dès l'apparition de la 1<sup>ère</sup> rotule dans la structure pour les trois cas d'étude. La figure 8 montre la zone d'apparition de la 1<sup>ère</sup> rotule dans le portique de Vecchio. Le résultat obtenu est en concordance avec les résultats présentés dans [2], ce qui confirme que cette zone est la 1<sup>ère</sup> à atteindre la limite élastique des armatures.

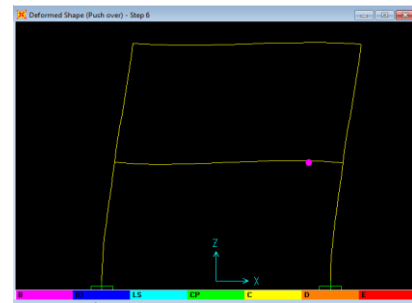


Figure 8 : 1<sup>ère</sup> rotule apparue dans le portique de Vecchio et al

#### 5.3. Influence de ( $L_p$ ) sur la réponse locale de la rotule plastique

La comparaison des courbes moment-rotation plastique pour les trois formules de ( $L_p$ ) utilisées est présentée sur la figure 9 . Selon cette figure , on voit très bien que le ( $L_p$ ) influe directement sur le critère de rupture de la rotule plastique. Trois rotations plastiques de ruine sont obtenues (0.019 rad pour Mattok, 0.021 rad pour l'ATC-40 et 0.025 rad pour Corley). En considérant la formule de l'ATC-40 comme référence, une erreur de 9.5 % est notée pour Mattok et 19.05 % pour Corley.

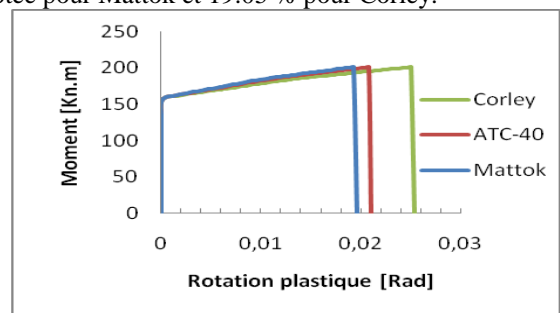


Figure 9 : Comparaison des courbes moment-rotation plastique obtenues dans la 1<sup>er</sup> rotule apparue

### 6. Conclusion

Les résultats de cette étude montrent très bien l'influence du choix de la formule de calcul de ( $L_p$ ) sur la réponse locale des portiques en béton armé.

### References

- [1]- V. Davidovici, " Rapport préliminaire du Ministère de l'Habitat, Séisme de BOUMERDES", Algérie, (Mai 2003).
- [2]- F. Vecchio and al. "Shear deformations in reinforced concrete frames". ACI Structural Journal, 89(1), pp 46-56. (1992).
- [3]- ATC-40. "Seismic evaluation and retrofit of concrete building", Report No.SSC 96-01. Redwood City, CA, USA, November (1996)
- [4]- W.G. Corley, "Rotational capacity of reinforced concrete beams", Journal of Structural Division ASCE, 92(ST5), 121-146. (1966).
- [5]- A.H. Mattock., "Rotational capacity of hinging regions in reinforced concrete beams", Journal of Structural Division ASCE, 93(ST2), 519-522. (1967).
- [6]- C. Bentz , "Sectional Analysis of Reinforced Concrete Members", Doctorate thesis, University of Toronto, Canada, (2001).