

CONFINEMENT DU BETON : ETUDE COMPARATIVE DE MODELES ET INFLUENCE SUR LA DUCTILITE DE SECTION

B. BOUSALEM ; N. DJEBBAR & N. CHIKH

*Laboratoire des Matériaux et Durabilité des Constructions
université Mentouri - Constantine*

Résumé :

Cette communication porte essentiellement sur l'aspect théorique du confinement, paramètre déterminant sur la performance du béton, afin de mettre en évidence son incidence significative sur le comportement flexionnel des sections dissipatives d'énergie. Dans ce contexte, une revue sur les modèles développés est présentée.

Mots-clés :

ductilité – confinement du béton – armature
confinement – modèles

Abstract :

This paper study the nature of confinement from the theoretical point of view. The confinement is one of the parameter that greatly influence the performance of concrete. In this context a literature research on confinement models is conducted in order to show its significant effect on flexural behavior of sections designed to dissipate energy.

Keywords: ductility – confinement of concrete
– confinement steel – models

1. Introduction :

Pour survivre à un séisme majeur, la plupart des structures en portique doivent développer des déformations inélastiques par conséquent dissiper l'énergie via un comportement ductile de leur éléments. La quasi totalité de cette énergie est dissipée dans les rotules plastiques supposée être formées dans des zones prédéterminées. L'utilisation de l'armature de confinement dans ces zones critiques conçues pour résister à l'action sismique, est le moyen courant pour réaliser un comportement structurel ductile. L'acier transversal, en concomitance avec l'acier longitudinal influencent clairement les propriétés du béton qui dépendent de plusieurs paramètres entre autres la distribution de l'acier, l'espacement des barres longitudinales et transversales, le gradient de déformation. le gradient de déformation. Parmi l'ensemble des paramètres considérés dans les modèles de confinement, le rapport

volumétrique de l'acier transversal est celui qui à reçu le plus d'attention.

2. Principe :

L'influence de l'armature transversal est facilement visualisée en considérant comme modèle un fût en acier rempli de sable (Fig.1). Quand le sable est soumis à une force P, une pression latérale est exercée sur le fût par le sable; générant ainsi une traction sur la paroi en acier. La force sur la sable peut prendre des valeurs encore plus grande jusqu'à ce que la traction dans l'acier devient assez grande pour faire éclater le fût. A lui seul, sans être confiné dans le fût, le sable n'aurait supporté aucun chargement.

Un poteau cylindrique en béton, possède certainement une résistance définie, sans aucun confinement latéral. Une fois chargé, il se raccourcit longitudinalement et se dilate transversalement en fonction de son coefficient de poisson. La présence d'armature transversale, judicieusement disposée, confine le poteau et contrebalance l'expansion, générant ainsi une traction dans l'acier transversal au moment où l'on affiche une forte augmentation de la capacité portante du béton confiné dans le noyau. La rupture n'aura lieu qu'après plastification

totale de l'acier de transversal; réduisant substantiellement l'effet de confinement.

3. Aspect mécanique :

Plusieurs études [1,2,3] ont montré que les éléments en béton fortement comprimés, munis d'aciers transversaux nécessaires pour la résistance uniquement, exhibent une rupture brutale. En effet, le béton inscrit entre deux lits successifs d'armature transversale se gonfle et se désintègre et l'armature longitudinale flambe. L'élément est ainsi dans l'incapacité de fournir une résistance additionnelle pour pouvoir supporter une charge plus grande que la charge ultime. Par contre, la présence d'une armature transversale supplémentaire, bien disposée latéralement, contribue à confiner le béton du noyau de la section.

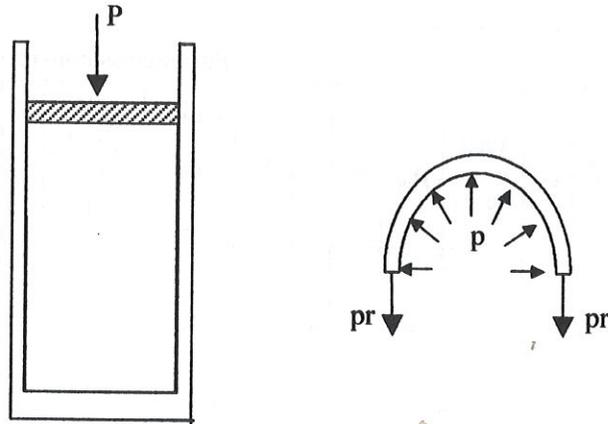


Fig.1 Modèle de l'action de l'armature transversale

Soumise à la même charge ultime, la section dans ce cas se dérobe à l'effort par déformations inélastiques et ce n'est que le béton d'enrobage qui éclate. Ceci illustre bien le comportement ductile des sections de béton confiné où le ferrailage transversal permet :

- d'agir comme armature de cisaillement ;
- d'augmenter la capacité de résistance et de déformation du béton confiné en compression ;
- d'empêcher le flambement prématuré des armatures longitudinales comprimées ;
- de réduire l'effet disruptif du noyau de béton sous une action cyclique de grandes amplitudes.

La relation contrainte-déformation du béton confiné dépend de plusieurs facteurs. Pour le développement d'un modèle analytique de la courbe contrainte-déformation du béton confiné, plusieurs travaux de recherche ont été réalisés [3,4,5] pour évaluer les effets d'un champ de variables représentées sur le tableau 1 .

4. Mise en équations :

Les premières recherches investies dans le comportement et la modélisation du béton confiné ont montré que la résistance et la déformation longitudinale correspondante à un béton confiné par une pression hydrostatique peuvent être exprimées respectivement par les relations suivantes :

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f'_1 ; \quad \epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left(1 + k_2 \frac{f'_1}{f'_{co}} \right)$$

où f'_{cc} et ϵ_{cc} désignent respectivement la résistance maximale et la déformation correspondante sous l'action d'une pression hydrostatique latérale; f'_{co} et ϵ_{co} désignent respectivement la résistance du béton non confiné et la déformation correspondante ; k_1

et k_2 sont des coefficients fonction de la composition du béton et de l'étreinte latérale. Suite aux résultats de certains essais expérimentaux [6], les coefficients k_1 et k_2 ont été évalués moyennement aux valeurs respectives 4.1 et $5 k_1$. Il a été également conclu que la résistance du béton confiné par une pression hydrostatique passive est sensiblement égale à celle d'un béton soumis à une pression passive latérale équivalente de confinement due à la présence d'armature en spires étroitement espacées.

Par conséquent, la pression passive latérale de confinement déployée par l'armature transversale sur le noyau du béton, résultant d'un état de compression triaxial, améliore nettement la résistance à la compression et éventuellement le comportement ductile (Fig.2). Partant de ce fait, la déformation longitudinale ultime de compression du béton confiné ne sera atteinte que par rupture de l'armature transversale. Les coefficients matérialisant respectivement le gain en résistance et en déformation ont pour expressions :

$$f'_{cc} = K_r f'_{co} \quad \text{avec} \quad K_r = 1 + k_1 \frac{f'_1}{f'_{co}}$$

$$\text{et} \quad \epsilon_{cc} = K_d \epsilon_{co} \quad \text{avec} \quad K_d = 1 + k_2 \frac{f'_1}{f'_{co}}$$

5. Modèles analytiques :

5.1 Kent & Park Modifié :

Ce modèle, Figure 3, a été originalement proposé par Kent et Park [5] et modifié par la suite par Park et al.[7]. Cette modification a porté essentiellement sur l'introduction d'un coefficient K tenant compte de l'effet du confinement sur l'amélioration de la résistance et la déformation correspondante du béton. L'allure de la pente de la branche descendante de la courbe a été maintenue jusqu'à 20% de la

Modèles	Paramètres considérés														
	f'_c	ρ_l	Dist de A_l	ρ_{sh}	ϕ_t	s	A_t	Confi de A_t	$\frac{A_c}{A_g}$	f_{yh}	f_s	v	Forme section	Facteur forme	Gradient de déformation
Shamim-Uzumeri, 1982	*	*	*	*		*	*			*		*			*
Kent-Park, 1982	*		*	*	*	*	*			*					
Mander, 1988	*	*	*	*		*	*			*	*		*	*	
Murat-Ravzi, 1992	*	*	*	*			*	*		*			*	*	*

* facteur observé

Tableau : 1

résistance maximale, au delà de cette valeur la pente est représentée par une ligne horizontale. Le gain en résistance et en déformation est exprimé par le coefficient K qui est pris égal à :

$$K=1+\rho_{sh} \frac{f_{yh}}{f'_c}$$

5.2 Sheikh & Uzumeri :

Le développement de ce modèle [8] est basé sur l'hypothèse stipulant que l'aire du béton effectivement confinée, déterminée selon la distribution de l'armature longitudinale, la configuration de l'armature transversale résultante et son espacement, est inférieure à configuration de l'armature transversale résultante et son espacement, est inférieure à l'aire du noyau de béton. Ce modèle, indiqué sur la Figure 3, a été ajusté par des résultats expérimentaux sur des spécimens à échelle réelle sous sollicitation concentrique. Ce modèle a été ultérieurement modifié pour tenir compte, de l'effet bénéfique du gradient de déformation sur la ductilité. Le gain en résistance est exprimé par les relation :

$$K_s=1+\frac{B^2}{140P_{occ}} \left[\left(1-\frac{nC^2}{5.5B^2} \right) \left(1-\frac{s}{2B} \right)^2 \right] \sqrt{\rho_{sh} f'_s}$$

La courbe contrainte déformation est ensuite délimité en 4 régions selon la déformation qui à son tour se trouve affectée par une multitude de paramètres prenant en considération l'effet de l'étreinte latérale de confinement. Ultérieurement un autre coefficient η a été introduit, afin de tenir compte de l'intensité de l'effort normal appliqué sur la section [9]. L'expression régissant la résistance du béton confiné est :

$$f'_{cc}=\eta K_s f'_{co} \quad \text{avec} \quad \eta=1-0.575 \frac{P-P_b}{f'_{co} A_g} \leq 1$$

5.3 Mander & al:

Le modèle unifié [10], découlant des travaux de recherche entrepris par l'école New-Zélandaise, est caractérisé par sa simplicité et son application pour les sections circulaires et rectangulaires (Fig.3). La courbe contrainte déformation est basée sur l'équation de Popovics [11] dans laquelle l'allure de sa partie descendante dépend du module sécant correspondant au pic de la courbe. La contrainte de confinement latérale effective, égale dans chaque direction, a été trouvée fonction du rapport des résistances à la compression du béton confiné f'_{cc} et non confiné f'_{co} .

$$f'_{cc} = K_r f'_{co} \quad \text{avec} \quad K_r = -1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_l}{f'_{co}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}}}$$

et

$$\varepsilon_{cc} = K_d \varepsilon_{co} \quad \text{avec} \quad K_d = 1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right)$$

5.4 Murrat et al:

Le modèle [12], représenté dans la Figure 3, a été développé à partir d'une étude analytique et expérimentale ayant pour but d'apprécier l'impact du gradient de déformation sur le béton confiné. Ce modèle a été validé par des résultats expérimentaux où deux niveaux d'excentricité sont pris en considération. Il a été conclu que le comportement flexionnel des poteaux peut être fidèlement prédit en utilisant le modèle relatif au chargement concentrique pourvu que les paramètres affectant le confinement et l'érouissage des aciers sont pris en considération. Le gain en résistance est traduit par la relation :

$$f'_{cc} = K_r f'_{co} \quad \text{avec} \quad K_r = 1 + k_1 \frac{f_{le}}{f'_{co}}$$

où f_{le} représente la pression latérale équivalente qui produirait le même effet qu'une pression uniforme

La courbe contrainte déformation est délimitée par trois régions selon la valeur de la déformation où il a été aussi tenu compte du confinement.

6. Etude comparative sur les modèles :

La Figure 2 montre des courbes contraintes déformations types du béton confiné relatives aux modèles précités. Il est évident que le modèle de Mander et Murat prédisent des valeurs de la résistance plus grandes que celles données par les courbes de Shamim ou Park. A l'exception du modèle de Shamim, il a été omis de tenir compte, dans les autres modèles, de la variation de la contrainte de l'acier transversal avec le raccourcissement longitudinal du béton et par conséquent considérée comme constante. Le modèle de Shamim est le seul modèle où l'intensité de l'effort normal est prise en considération, seulement ce coefficient reste probablement valable uniquement dans le programme expérimental mené par l'auteur. L'importance primordiale du paramètre ρ_{sh} , rapport volumétrique de l'acier transversal, est nettement reflétée sur les Figures 3 et 4. On constate que la résistance et la déformation croissent considérablement avec l'accroissement de ce rapport. En réalité, les déformations

ultimes indiquées dans la Figure 3 sont inférieures à ces valeurs. La déformation ultime obtenue pour $\rho_{sh} = 1.68 \%$ a été assignée dans les équations analytiques représentée dans la Figure 3 afin que les courbes soient plus représentatives et occupent tous les domaines régis par les différentes équations.

L'expression régissant l'influence de l'étreinte latérale, caractérisant l'état triple de compression, varie d'un modèle l'autre, en raison notamment de la différence entre les programmes et les données expérimentaux.

7. Influence du modèle sur la courbe M - Φ

L'influence du modèle de confinement sur la ductilité de la section est illustrée par la Figure 5. La disparité entre les différents résultats est due aux différents paramètres intervenant dans l'élaboration du modèle. Bien que tous les modèles reconnaissent l'influence du rapport volumétrique de l'acier transversal, paramètre déterminant, l'incidence des autres paramètres sur la prédiction de la résistance et la déformation est certaine.

Dans cette communication, l'influence du modèle sur le comportement de la section est la seule variable prise en considération. Une étude plus poussée où les variables affectant les différents modèles influençant par conséquent la ductilité de section pourrait aboutir à des conclusions encore plus nettes.

8. Conclusions :

- Les divers modèles analytiques présentés semblent adopter le même principe que celui du modèle de *Kent & Park* modifié sauf que chacun a incorporé ses propres variables affectant le comportement contrainte-déformation du béton confiné.
- Le modèle de *Mander & al.* apparaît le modèle le plus approprié du moment qu'il présente une simplification par rapport aux modèles précédents en l'unifiant pour des sections circulaires et rectangulaires. En plus, ce modèle décrit une courbe contrainte déformation continue, en s'articulant sur une formulation mathématique simplifiée [11]; ce qui lui a permis par ailleurs d'être communément repris et affiné dans plusieurs travaux ultérieurs et adopté par des codes tel que Caltrans [13].
- Il en ressort des différents travaux de recherche réalisés que les paramètres suivant affectent positivement le confinement, notamment:

Fig.2 Influence du confinement sur la courbe contrainte déformation du béton

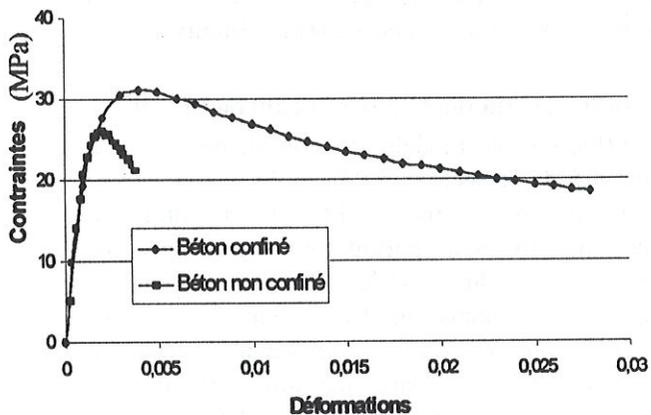


Fig.3 Courbes analytiques contraintes déformations du béton confiné

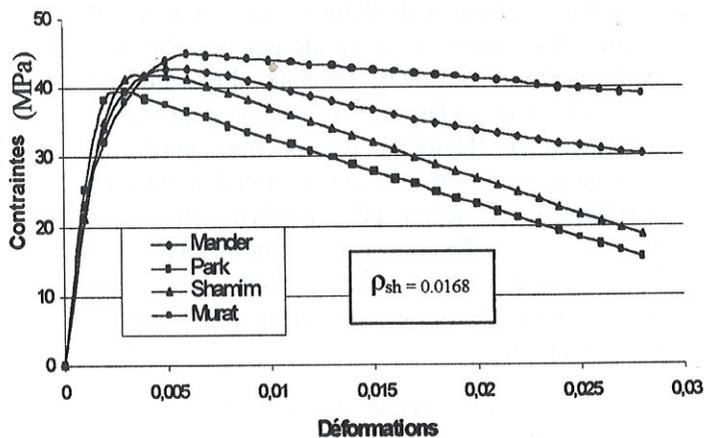


Fig.4 Courbes analytiques contrainte déformation du béton confiné

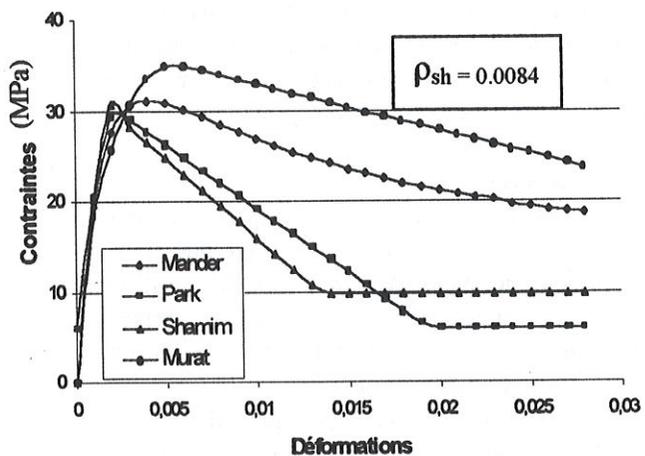
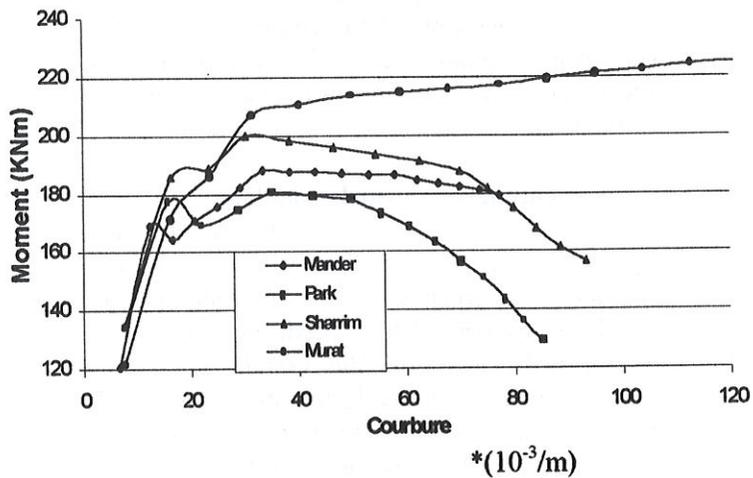


Fig.5 Influence du modèle sur la courbe Moment - Courbure



Confinement du Béton : Etude comparative de modèles et influence sur la ductilité de section.

- *taux et espacement de l'armature transversale ;*
- *rapport volumétrique et de la contrainte élastique de l'acier transversal ;*
- *distribution convenable de l'armature longitudinale et transversale ;*
- *étriers et épingles supplémentaires.*

Notations:

- A_g, A_c : aire totale du béton, aire du béton confiné
- A_t : aire d'un cours d'armature transversale
- B : hauteur de la section confinée
- C : distance entre les barres longitudinales
- n : nombre de barres longitudinales
- P : effort normal extérieur
- P_b : effort normal résistant correspondant à l'écoulement des aciers longitudinaux et l'écrasement du béton
- P_{occ} : effort normal résistant de la section confinée
- f'_c : résistance du béton sur cylindre
- f'_{le}, f'_l : contrainte latérale équivalente/effective, de confinement
- f_s, f_{yh} : contrainte/contrainte limite élastique, dans l'armature de confinement
- s : espacement de l'armature transversale
- ρ_l : taux d'armature longitudinale
- v : effort normal réduit
- ϕ_t : diamètre de l'armature transversale

- [7]- R.Park, M.J.N.Prestley, W.D.Gill, 'Ductility of Square Confined Concrete Columns' *Journal of Structural Engineering*, Vol.108, N°4, April, 1982.
- [8]- S.A.Sheikh, S.M.Uzumeri, 'Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns', *Journal of Structural Engineering*, Vol.108, N°12, December, 1982.
- [9]- S.A.Sheikh, 'Analytical Moment Curvature Relations for Tied Concrete Columns' *Journal of Structural Engineering*, Vol.118, N°2, February, 1992.
- [10]- J.B.Mander, M.J.Priestley, R.Park 'Stress-Strain Model for Confined Concrete' *Journal of Structural Engineering*, Vol.114, N°8, August, 1988.
- [11]- S.Popovics, 'A Numerical Approach to the Complete Stress Strain Curve of Concrete', *Cement and Concrete Research*, Vol.3, N°5, 1973.
- [12]- M.Saatcioglu, A.H.Salamat, S.R.Razvi 'Confined Columns under Eccentric Loading' *Journal of Structural Engineering*, Vol 121, N° 11, Nov., 1995.
- [13]- Caltrans Sismic Design Criteria, Version 1.1, July 1999

Références :

- [1]- R.Park, T.Paulay, 'Reinforced Concrete Structures', J.Wiley, New-York, 1975.
- [2]- M.Fintel, 'Handbook of Concrete Engineering', Second edition, 1985 Van Nostrand.
- [3]- K.Sakai, S.A.Sheikh, 'What do we know about Confinement in RC Columns, A Critical Review of Previous Work and Code Provisions', *ACI Structural Journal*, April 1989.
- [4]- S.A.Sheikh, 'A Comparative Study of Confinement Models' *ACI Journal*, July-August, 1982.
- [5]- D.C.Kent, R.Park, 'Flexural Members with Confined Concrete', *Journal of the Structural Division*, July, 1971.
- [6]- J.B.Mander, M.J.Priestley, R.Park 'Stress-Strain Model for Confined Concrete' *Journal of Structural Engineering*, Vol.114, N°8, August, 1988