

PERFORMANCE DES POTEAUX EN BETON ARME RENFORCES PAR CHEMISAGE EN ACIER

Abdesslem CHAIR, Abdesselam BOUROUZ, Nabil DJEBBAR

Laboratoire des Matériaux et Durabilité des Constructions,
Université des Frères Mentouri Constantine, Algeria

Reçu le 16 Novembre 2015 – Accepté le 12 Décembre 2016

Résumé

Les colonnes en béton confiné par chemise en acier peuvent être utilisées comme élément composant un système structurel, vu leur excellente capacité d'absorption et de dissipation d'énergie, conduisant à une optimisation remarquable des matériaux mis en œuvre. De même la chemise en acier peut être utilisée comme outil de réparation pour un éventuel renforcement ou réhabilitation structurelle, offrant ainsi une meilleure flexibilité au concepteur.

Cependant ce type d'élément structurel n'est pas encore réglementairement couvert. Le travail présenté s'inscrit dans l'optique de faire ressortir leur performance structurelle. Il consiste en la présentation d'une synthèse sur les principaux modèles caractérisant les lois de comportement du béton confiné par chemise en acier, tout en mettant en évidence les paramètres influents.

Une investigation numérique faisant ressortir la capacité sectionnelle d'une section en béton renforcée par chemisage en acier a aussi été menée. Les résultats obtenus ont permis la comparaison avec ceux obtenus par des codes de notoriété internationale

Mots clés : Performance, résistance, ductilité, chemisage en acier, béton

Abstract

Concrete columns confined by steel jacket can be used as component of a structural system, due to their excellent absorption and dissipation of energy, leading to a remarkable optimization of the materials used. Similarly, the steel jacket can be used as a repair tool for possible reinforcement or structural rehabilitation, thus offering greater flexibility to the designer.

However, this type of structural element is not yet regulated. The work presented is designed to highlight their structural performance. It consists of the presentation of a synthesis on the main models characterizing the laws of behavior of concrete confined by steel jacket, while highlighting the influential parameters.

A numerical investigation revealing the sectional capacity of a concrete section reinforced by steel lining was also carried out. The results obtained made it possible to compare them with those obtained by codes of international notoriety.

Key words: Performance, strength, ductility, steel lining, concrete

ملخص

الأعمدة المركبة من البيتون المقيد بغلاف فولاذي خارجي لها استعمال واسع في ميدان البناء كعناصر حاملة ضمن الأنظمة الإنشائية لما تمتاز به من حسن السلوك في قدرة الامتصاص وتبديد الطاقة، و الاستغلال الافضل والمثالي لتوزيع المادة. يستعمل أيضا الغلاف الفولاذي كوسيلة للإصلاح الافتراضي عند التدعيم أو إعادة التهيئة الإنشائية حيث يوفر للمصمم أحسن مرونة.

العمل المقدم في هذا البحث يندرج في إطار المساهمة لإبراز المميزات الإنشائية للأعمدة المركبة من البيتون المقيد بغلاف فولاذي خارجي، وهو يحتوي على عرض حوصله لأهم النماذج المثالية التي تعطي صور خاصة لقوانين سلوك هذه الأعمدة، وإظهار البارامترات الأكثر تأثيرا وفعالية.

لقد تم نشر طريقة حسابية لتحديد قدرة المقاومة المقطعية لهذه العناصر الإنشائية المركبة، النتائج التي تحصلنا عليها تمت مقارنتها مع النتائج المتحصل عليها اعتمادا على بعض أنظمة الحسابات ذات الشهرة العالمية.

الكلمات المفتاحية : تحسينات، مقاومة، مطيلية، غلاف فولاذي، البيتون

L'information recueillie suite au séisme de Kobé (1995) a montré les avantages relatifs au potentiel économique des poteaux en béton armé renforcés par chemise externe en acier dans la conception des structures multi étagées, comparativement avec les systèmes de contreventement en charpente ou en béton armé. Ces éléments structurels utilisent d'une manière avantageuse les caractéristiques des matériaux acier et béton.

Les tubes d'acier sont considérés à leur état limite comme des cerces traditionnelles avec un espacement nul développant ainsi de bonne performance du point de vue résistance, ductilité et rigidité. Ces propriétés ont été bénéfiques pour la bonne tenue de ces structures dans les régions sismiques en enregistrant un taux d'endommagement acceptable, tout en conférant une capacité d'absorption et de dissipation de l'énergie sismique par déformation post élastique. En outre, ces poteaux présentent plusieurs avantages comparativement aux systèmes traditionnels, à savoir :

- ❖ le flambage local de la chemise d'acier est différé
- ❖ l'efficacité de la construction; pas de montage de coffrage, réduisant ainsi le coût et la durée de réalisation
- ❖ la tenue vis à vis du feu.

L'objectif principal de ce travail est de présenter une synthèse des différents modèles caractérisant les lois de comportement du béton confiné par chemisage en acier afin de comprendre son effet et pouvoir ainsi l'évaluer. Une étude numérique basée sur le modèle de Susantha [1], a été conduite afin de mettre en évidence les paramètres déterminants sur le comportement du matériau ainsi conçu, et situer les gains enregistrés en résistance et en déformation. Une investigation relative à la détermination de la charge axiale des poteaux circulaires en tube d'acier remplis de béton est alors menée, et les résultats obtenus sont comparés à ceux donnés par certains codes [2], [3].

L'état de déformation d'une structure dépend intimement des lois de comportement des matériaux constitutifs. Le travail de recherche sur le béton confiné initié par Richard *et al* en 1928, a conduit ces quatre dernières décennies à une recherche intensive, expérimentale et analytique, qui a permis l'identification des principaux paramètres ainsi que l'évaluation de leur influence.

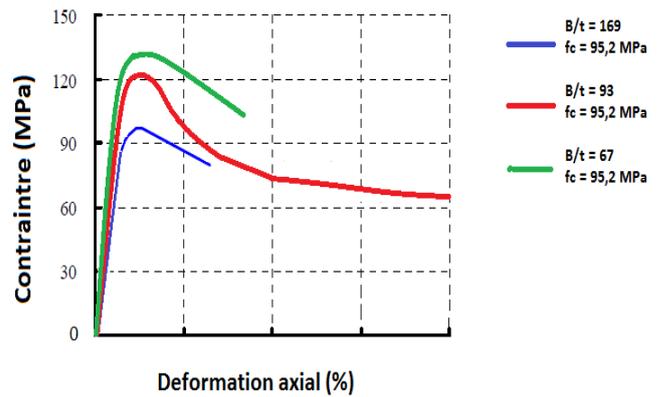
Ces travaux ont été couronnés par l'élaboration de plusieurs modèles de béton ordinaire ou à haute résistance confiné par armature traditionnelle. Le champ d'investigation s'est étendu au béton confiné par chemise d'acier (Tomi [4] 1991; Liang et Uy [5] 2000; Susantha *et al.* [1] 2001; Bradford, Loh, et Uy [6] 2002, Huang *et al.* [7] 2002, Morino et Tsuda [8] 2002; Hu *et al* [9] 2003; Han [10] 2004; Ehab et Young [11] 2006 ; Y. Sun [12] 2008 ; Gajalaksmy *et al* [13] 2011]. Les résultats d'essais expérimentaux existants ont permis de dégager les paramètres influents sur les lois de comportement du matériau: diamètre du poteau, épaisseur du tube d'acier, résistance caractéristique du béton et limite élastique de l'acier.

1. REVUES DES METHODES UTILISEES

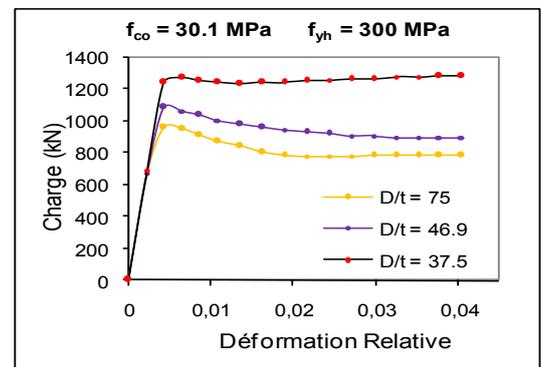
1.1. Résultats expérimentaux

Les figures 1 et 2 présentent les relations $\sigma - \varepsilon$ et charge – déformation découlant des résultats expérimentaux de Sun [12], Giakoumelis [14] et Tomii [15] sur des spécimens en tubes d'acier circulaires et carrés remplis de béton sous chargement monotone axial, où les principaux paramètres sont mis en évidence.

1.1.1. Effet du rapport D/t



(a) selon Sun [12]



(b) selon Giakoumelis [14] et Tomii [15]

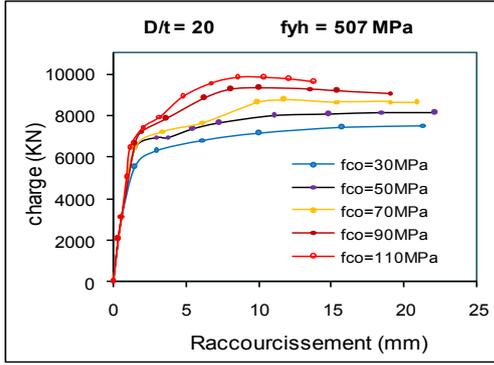
Figure 1 : Effet du rapport D/t

La figure 1a, équation (03) et figure 1b montrent l'influence du rapport de l'élançement géométrique (diamètre sur l'épaisseur du tube d'acier) sur la performance du matériau composé et de l'élément structurel.

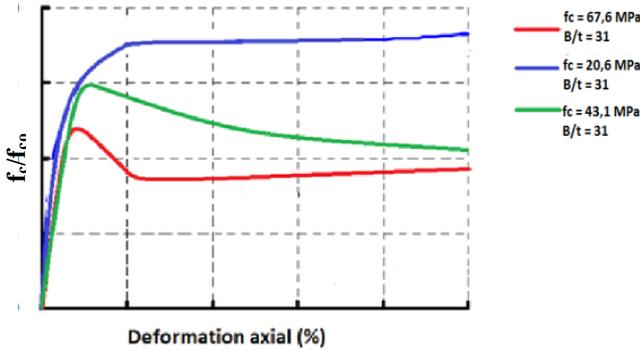
La résistance de l'élément augmente avec la diminution de l'élançement géométrique de la chemise ; plus la chemise est rigide moins est la chute de résistance après écoulement.

1.1.2. Effet de $f_{co} - f_c/f_{co}$

La figure 2(a) montre l'influence de la résistance du béton sur le comportement du spécimen circulaire. On constate que la rigidité initiale reste non affectée par f_{co} , alors que la capacité de déformation s'en trouve réduite si la résistance augmente.



(a) comportement du spécimen circulaire



(b) comportement du spécimen carré

Figure 2 : Effet de f_{co}

La figure 2 (b), équation (03) montre l'influence du rapport de résistance sur le comportement du spécimen carré ($f_c/f_{co} - \varepsilon$). On constate que pour de faibles résistances du béton l'apport du confinement est plus prononcé. La rigidité initiale s'en trouve aussi non affectée.

1.2. Modèles de confinement par chemise en acier

1.2.1 Y. Sun [12]

L'auteur a proposé une équation simple qui décrit le comportement des poteaux composés. Le modèle répond à une large gamme de conception : résistances variables des caractéristiques des matériaux acier et béton, et configuration géométrique diverse (carrées et circulaires).

$$f'_{cc} = Kf_p = \left[1 + 46 \frac{\left(\frac{B}{t} - 1\right)}{\left(\frac{B}{t} - 2\right)^2} \left(\frac{t}{c}\right) \frac{f_{yt}}{f_p} \right] f_p \quad (01)$$

Résistance pic du béton confiné par tube d'acier carré

$$f'_{cc} = Kf_p = \left[1 + 8.2 \frac{\left(\frac{B}{t} - 1\right)}{\left(\frac{B}{t} - 2\right)^2} \frac{f_{yt}}{f_p} \right] f_p \quad (02)$$

Résistance pic du béton confiné par tube d'acier circulaire

La relation contrainte-déformation développée par Sun *et al* pour le béton conventionnellement confiné par cerces ou spirales, est directement appliquée pour prédire le

comportement axial du béton confiné par tube d'acier. Elle s'écrit comme suit :

$$f_c = Kf_p \cdot \frac{aX + (b - 1)X^2}{1 + (a - 2)X + bX^2} \quad (03)$$

K : rapport de gain de résistance du béton confiné

f_p : résistance du béton non confiné

X : déformation axiale au pic

La relation (3) nécessite la détermination de trois paramètres : ε_{co} , a, b

$$\frac{\varepsilon_{co}}{\varepsilon_0} = \begin{cases} (1 + 4.7(K - 1)) & K \leq 1.5 \\ (3.35 + 20(K - 1.5)) & K > 1.5 \end{cases}$$

$$a = \frac{E_c}{E_{sec \square}} = \frac{E_c \varepsilon_0}{Kf_p}$$

$$b = 1.5 - 0.017f_p + 2.4 \sqrt{\frac{(K - 1)f_p}{23}}$$

$$\varepsilon_{co} = 0.94(f_p)^{1/4} 10^{-3}$$

$$E_c = (0.69 + 0.332 \sqrt{f_p}) \times 10^4 \text{ (in MPa)}$$

$f'_c = f_p$ béton confiné par tube d'acier carré

$f'_c = 0.85f_p$ béton confiné par tube d'acier circulaire

L'effet bénéfique de cette conception a été vérifié expérimentalement par l'auteur, en réalisant des poteaux composés dans les étages inférieurs d'une structure multi étagée sous chargement latéral. L'amélioration de la performance structurelle résultante a été mise en évidence.

1.2.2. Ehab *et al.* [11]

L'approche utilisée dans l'établissement du modèle est similaire à celle de Mander *et al.* [16]. La contrainte pic de confinement et la déformation correspondante sont données par les expressions suivantes :

$$f_{cc} = f_{co} + 4.1f_l \quad \text{et} \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left(1 + 20.5 \frac{f_l}{f_c} \right) \quad (04)$$

où f_l représente la pression latérale de confinement imposée par le tube circulaire en acier.

Les expressions formulant la courbe contrainte déformation du béton confiné par le tube circulaire sont données par :

▪ pour la partie ascendante qui est d'ailleurs basée sur l'équation de Saenz [17] :

$$f_c = \frac{E_c \varepsilon_c}{1 + (R + R_E - 2)x - (2R - 1)x^2 + Rx^3} \quad , \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc} \quad (05)$$

avec $x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}$ et R_E et R sont respectivement données

par les équations :

$$R_E = \frac{E_c \varepsilon_{cc}}{f_{cc}} \quad \text{et} \quad R = \frac{R_E (R_E - 1)}{(R_E - 1)^2} - \frac{1}{R_E} \quad (06)$$

Selon Hu *et al.* [9], les constantes R_σ et R_ε sont pris égales à 4.

- pour la partie descendante, le modèle opte pour une variation linéaire dictée par l'expression suivante :

$$f_c = f_{cc} - \frac{(1-rk_3)f_{cc}}{10\varepsilon_{cc}}(\varepsilon_c - \varepsilon_{cc}), \quad \varepsilon_c \geq \varepsilon_{cc} \quad (07)$$

Selon Hu *et al.* [9], le coefficient k_3 dépend du rapport D/t et la limite élastique de l'acier f_{yh} . Le coefficient r est pris égal à 1 pour une résistance à la compression du béton inférieure à 30MPa et 0.5 pour des contraintes supérieures à 100MPa. Les autres valeurs de contrainte sont déterminées par interpolation [6].

1.2.3. Han *et al.*[10]

Le confinement du béton est régi par les équations suivantes :

- Partie ascendante $\frac{f_c}{f_{cc}} = 2x - x^2, \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc} \quad (08)$

- Partie descendante $\frac{f_c}{f_{cc}} = \frac{x}{\beta(x-1)^n + x}, \quad \varepsilon_c \geq \varepsilon_{cc} \quad (09)$

avec $x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}$

La résistance pic est formulée comme suit :

$$f_{cc} = \left[1 + \left(-0.0135\xi^2 + 0.1\xi \right) \left(\frac{24}{f_c} \right)^{0.45} \right] f_c \quad (10)$$

où $\xi = \frac{A_s f_{yh}}{A_c f_{co}}$

avec A_s : la section du tube d'acier, f_{co} : la résistance du béton, A_c : la section de béton confiné

La déformation correspondante à la résistance pic est exprimée par :

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cl} + \left[1330 + 760 \left(\frac{f_c}{24} - 1 \right) \right] \xi^{0.2}$$

avec $\varepsilon_{cl} = 1300 + 12.5f_c \quad (\mu\varepsilon)$
 $\eta = 1.6 + 1.5/x \quad (11)$

et

$$\beta = \begin{cases} \frac{f_c^{0.1}}{1.35\sqrt{1. + \varepsilon_{co}}} & (\xi \leq 3.0) \\ \frac{f_c^{0.1}}{1.35\sqrt{1. + \varepsilon_{co}} (\xi - 2)^2} & (\xi > 3.0) \end{cases} \quad (12)$$

1.2.4. Susantha *et al.* [1]

Le modèle proposé par l'auteur est basé sur l'équation de Popovics¹⁸ ultérieurement modifiée par Mander *et al.* [16], peut intégrer les cas des sections composées (circulaires, caissons, octogonales). L'étreinte latérale

développée peut être évaluée en concordance avec la résistance du béton à travers une bonne connaissance des formules empiriques.

Les équations régissant le modèle sont comme suit :

- branche ascendante : $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc}$

$$f_c = f_{cc} \left[\frac{rx}{r-1+x^r} \right] \quad \text{avec } x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad \text{et } r = \frac{E_c}{E_c - \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}}} \quad (13)$$

$$\text{Et } f_{cc} = f_c + 4f_{rp}, \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cc}}{f_c} - 1 \right) \right] \quad (14)$$

La contrainte latérale de confinement est prise égale à :

$$f_{rp} = \frac{2}{\frac{D_{eq}}{t} - 2} f_{yh} \quad (15)$$

$$D_{eq} = D \quad \text{Section circulaire}$$

$$D_{eq} = \frac{2b}{\sqrt{\pi}} \quad \text{Section carrée}$$

$$D_{eq} = 2 \sqrt{\frac{A_c}{\pi}} \quad \text{Section octogonale}$$

- branche descendante : $\varepsilon_c \geq \varepsilon_{cc}$

$$f_c = f_{cc} - Z(\varepsilon_c - \varepsilon_{cc}) \quad (16)$$

où Z est le taux d'adoucissement ; il est fonction des conditions suivantes :

$$Z = 0 \quad \text{pour } R_t(f_{co}/f_{yh}) \leq 0.006$$

$$Z = 1.0 \times 10^5 R_t \frac{f_{co}}{f_{yh}} - 600$$

$$\text{Pour } R_t(f_{co}/f_{yh}) \geq 0.006 \quad \text{et } f_{yh} \leq 283 \text{MPa}$$

$$Z = 1.0 \times 10^5 R_t \frac{f_{co}}{f_{yh}} - 6000$$

$$\text{Pour } R_t(f_{co}/f_{yh}) \geq 0.006 \quad \text{et } f_{yh} \geq 336 \text{MPa}$$

$$Z = \left(\frac{f_{yh}}{283} \right)^{13.4} \left[1.0 \times 10^5 R_t \frac{f_{co}}{f_{yh}} - 600 \right]$$

$$\text{Pour } R_t(f_{co}/f_{yh}) \geq 0.006 \quad \text{et } 283 \text{MPa} \leq f_{yh} \leq 336 \text{MPa}$$

$$\text{avec } R_t = \sqrt{3(1-v^2)} \frac{f_{yh}}{E_s} \frac{D}{2t}$$

L'analyse par la méthode des éléments fibres, a été conduite afin d'établir un critère de prédiction à l'état limite ultime des poteaux conçus en acier remplis de béton dans les structures résistantes aux séismes.

2. DEVELOPPEMENTS THEORIQUES

2.1 Etude paramétrique selon le modèle de Susantha *et al.* [1]

Les figures 3, 4 et 5 montrent analytiquement l'effet des principaux paramètres influant selon le modèle de Susantha.

On remarque que le modèle reflète raisonnablement les résultats expérimentaux obtenus par Tokinoya *et al.* [19] à savoir l'influence de f_{co} et D/t . L'effet de la limite élastique sur la courbe contrainte-déformation est favorable du point de vue comportement de l'élément.

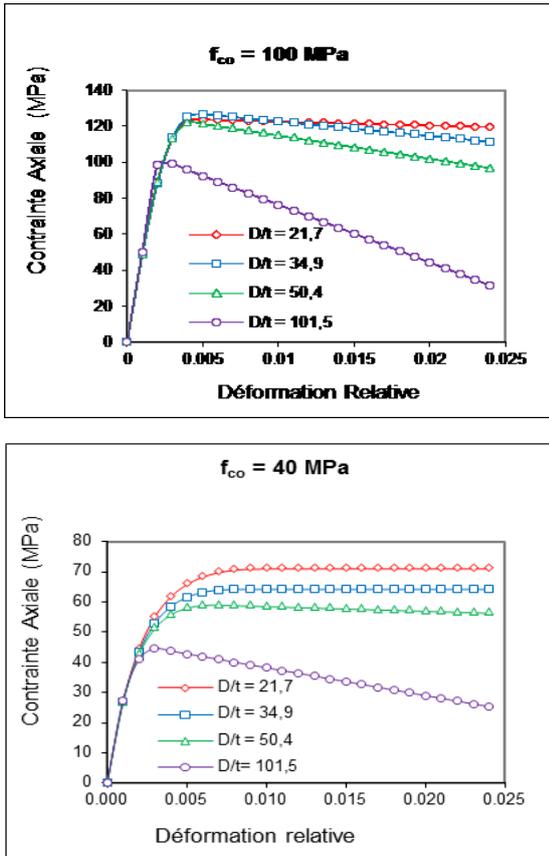


Figure 3 : Effet de D/t

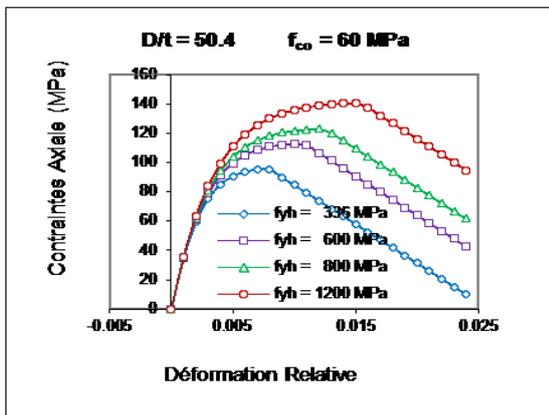


Figure 4 : Effet de f_{yh}

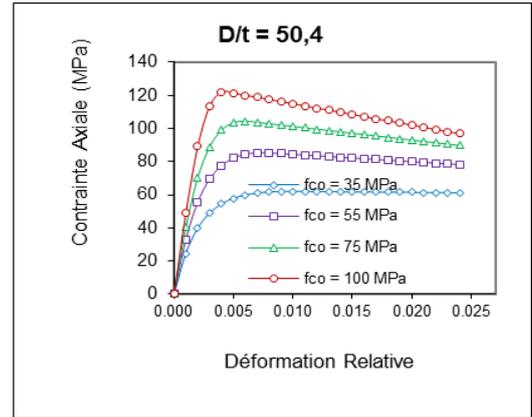


Figure 5 : Effet de f_{co}

2.2. Evaluation des paramètres de confinement

De la relation contrainte-déformation, on définit les caractéristiques suivantes :

- Le gain en résistance, le paramètre K_s ($K_s = f_{cc}/f_{co}$) exprimant le rapport des contraintes pics des bétons confinés et non confiné ;
- Le gain en déformation, le paramètre K_d ($K_d = \epsilon_{cc}/\epsilon_{co}$) exprimant le rapport des déformations correspondantes respectivement aux contraintes pics du béton confiné et non confiné.

Dans le cas du modèle de Susantha¹, on exprime ces rapports comme suit :

Gain en résistance

$$K_s = 1 + 4 \left(\frac{f_{yp}}{f_c} \right) = 1 + \left(\frac{D}{t} - 2 \right) \frac{f_{yh}}{f_{co}} \quad (17)$$

Le coefficient K_s est directement proportionnel à f_{yh} et inversement proportionnel à f_{co} et D/t

Gain en déformation

$$K_d = \frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon_{co}} = \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right) \right] \quad (18)$$

Le coefficient K_d est directement proportionnel à f_{cc} et inversement proportionnel à f_{co} .

3. DETERMINATION DE LA CAPACITE AXIALE ULTIME

L'évaluation de la charge ultime P s'articule sur les hypothèses suivantes :

- L'état limite ultime est dicté par la perte de résistance
- Il n'y a pas de glissement relatif entre l'acier et le béton
- La loi du béton confiné est dictée par les équations proposées dans le modèle de Susantha.
- L'acier utilisé présente une loi élastique parfaitement plastique.

L'équation de base permettant de déterminer la charge ultime est de la forme:

$$P = P_c + P_s = A_c f_c + A_s f_s \quad (19)$$

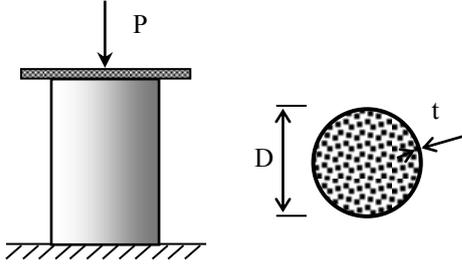


Figure 6 : Élément en tube d'acier soumis à une force de compression P

Dans cette équation les termes A_c et A_s sont supposés connus, ils représentent respectivement l'aire du béton et celle de l'acier enveloppant. Les contraintes f_c et f_s respectivement du béton et de l'acier, sont à déterminer. Pour résoudre cette équation, un code en Visual Basic a été développé s'appuyant sur l'algorithme suivant :

1. Initialiser une valeur de P_{ext} (effort sollicitant l'élément).
2. Initialiser des valeurs de D/t , D , f_{co} , f_{yh} (caractéristiques géométriques et mécaniques)

pour le calcul de : A_c , A_s , résistance du béton confiné, P_{ult}

3. Initialiser une valeur de la déformation dans le béton ε_c ; ($\varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$)

pour le calcul de f_c , équation régissant le modèle (contrainte-déformation)

4. Déterminer les contraintes dans le béton et l'acier (f_c et f_s) en utilisant les lois de comportement contraintes-déformations appropriées.
5. Calculer l'effort axial P par l'équation 19.
6. Comparer P_{ext} et P.
7. Si l'équilibre entre les deux efforts, sollicitant et résistant est satisfaisant, la combinaison la combinaison P, D/t , D , f_{yh} , f_{co} constitue une solution du problème et passer à l'étape 8, sinon revenir à l'étape 3 et incrémenter la valeur de ε_c .
8. Calculer la valeur de contrainte latérale de confinement f_{rp} .
9. Incrémenter P_{ext} , (si $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ $P_{ext} = P_{ult}$)

3.1 Résultats et discussions

Le tableau 1 présente les propriétés des différents spécimens ainsi que les caractéristiques des matériaux utilisés [11]. Le tableau 2 regroupe les différents résultats, obtenus à partir des équations proposées, ceux obtenus de l'étude par éléments finis menée par Ehab¹¹ ainsi que ceux des codes ACI et EC4. Pour conduire son étude Ehab a utilisé le programme ABAQUS en considérant un élément fini solide tridimensionnel à 8 nœuds (C3D8). Il a pris en considération dans sa modélisation le comportement de l'interface béton-

chemise, les lois de comportement σ - ε du béton et du béton confiné ainsi que des courbes multi linéaires σ - ε pour l'acier. L'analyse numérique a été conduite selon le protocole de calcul précité en intégrant le modèle de confinement de Susantha. Elle a été menée sur la base de la méthode des éléments fibres, intégrée dans le code Visual Basic.

Tableau 1 : Dimensions et propriétés des spécimens

Spécimen	Dimensions				Propriétés des matériaux	
	L [mm]	D [mm]	t [mm]	D/t	f_{co} [MPa]	f_{yh} [MPa]
S1	300	114	7.6	15	30	343
S6	300	114	2.85	40	30	343
S11	300	114	2.07	55	30	343
S16	300	114	1.63	70	30	343
S21	714	238	11.90	20	30	507
S26	714	238	3.97	60	30	507
S31	1080	360	8.00	45	30	525
S36	1080	360	6.55	55	30	525

Tableau 2 : Charge ultime des poteaux obtenue par différentes approches

Spécimen	Capacité axiale ultime				
	Analyse	MEF	P_{EC4}	P_{ACI}	$\frac{\text{Analyse}}{P_{EC4}}$
S1	1339.0	1560.0	1554.2	1028.2	0,86
S6	812.5	757.5	798.5	529.5	1,02
S11	683.4	567.9	654.3	443.2	1,04
S16	594.2	491.3	459.1	329.7	1,29
S21	6488.3	7360.0	7782.3	5206.5	0,83
S26	3389.0	2932.0	3694.8	2540.9	0,92
S31	9466.0	8440.0	10391.5	7017.3	0,91
S36	8349.5	7200.0	9127.1	6231.0	0,91
				COV, Vp	0.1515

Les expressions préconisées par l'Eurocode 4², et l'ACI³, sont comme suit :

$$P_{EC4} = A_c f_c \left(1 + \eta_1 \frac{t f_y}{D f_c} \right) + A_s f_{yh} \eta_2 \quad (20)$$

A_c : aire de la section transversale du béton

A_s : aire de la section transversale de l'acier de construction

f_c et f_{yh} : résistances caractéristiques

t : épaisseur de la paroi du tube en acier

d : diamètre extérieur du poteau.

$$P_{ACI} = 0.85 A_c f_c + A_s f_{yh} \quad (21)$$

Les résultats obtenus par les différentes approches permettent la confrontation numérique. La résistance de conception prédite par EC4 est généralement non conservative, sauf pour le spécimen S6 ($D/t = 40$), le spécimen S11 ($D/t = 55$) et le spécimen S16 ($D/t = 70$). Les résultats de l'EC4 sont très proches de ceux prédits par l'analyse basée la méthode des fibres pour les spécimens S26, S31, S36 correspondant respectivement à l'éclatement géométrique 60, 45 et 55. La valeur moyenne du rapport P_{ANAL}/P_{EC4} est de 0.97 avec un coefficient de variation correspondant à COV de 0.1515.

Ces mêmes résultats restent aussi proches de ceux obtenus à partir de l'analyse par la méthode des éléments finis. Par contre, les résultats obtenus en utilisant le code ACI sont très conservatifs. On peut conclure que l'EC4 introduit d'une certaine manière l'effet du confinement, ce qui n'est pas le cas de l'ACI.

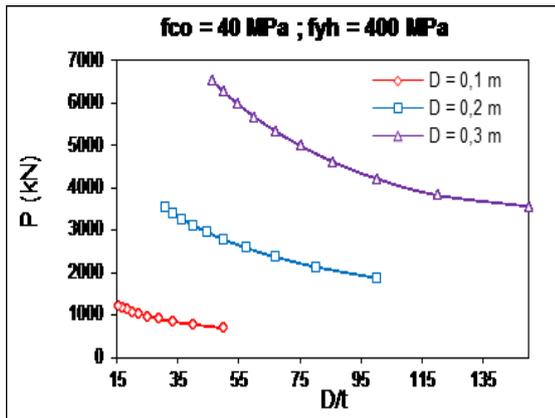
3.2 Paramètres influents

Les figures 8, 9 et 10 établies à partir de l'analyse par la méthode des fibres mettent en relief l'effet des principaux paramètres sur la variation de la capacité ultime des tubes d'acier remplis de béton.

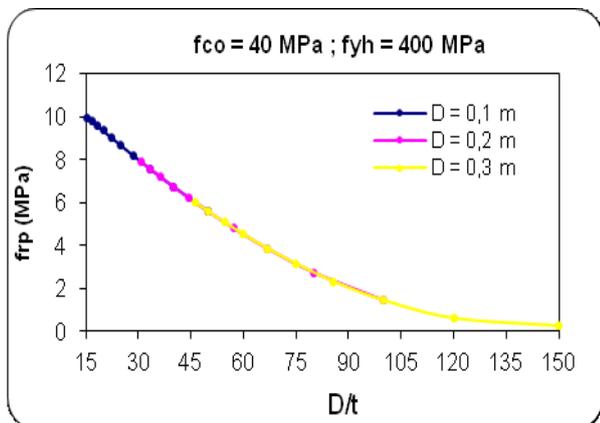
3.2.1. Effet de D/t

Les Figures 8a et 8b montrent respectivement la variation du rapport D/t avec la charge portante P et la contrainte latérale de confinement f_{rp} . On remarque que la charge portante P décroît avec l'augmentation de D/t quel que soit la valeur de D.

Le taux de diminution de la charge avec D/t croît avec l'augmentation du diamètre D. Sur la Figure 8b, la contrainte latérale de confinement diminue avec l'augmentation de D/t et le diamètre D, affichant un taux de diminution constant.



(a)

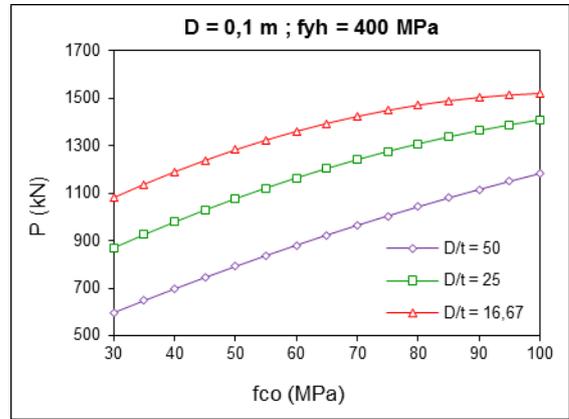


(b)

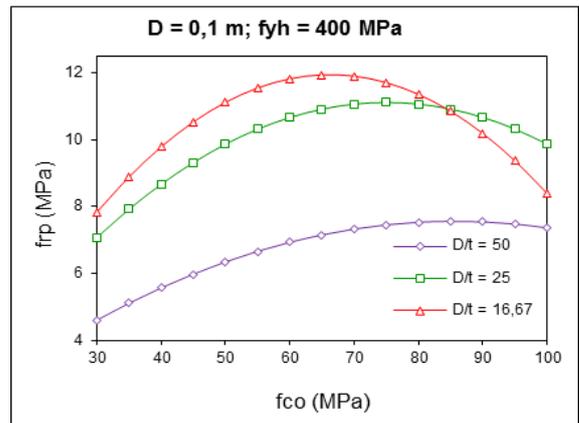
Figure 8 : Effet de D/t

3.2.2. Effet de la résistance du béton, f_{co}

Les Figures 9a et 9b montrent respectivement la variation de f_{co} avec la charge portante P et la contrainte latérale de confinement f_{rp} pour différentes valeurs de D/t.



(a)



(b)

Figure 9 : Effet de la résistance du béton, f_{co}

On remarque que la charge portante P croît avec la diminution de D/t pour une valeur de D constante. Le taux d'accroissement de la charge s'atténue pour les faibles valeurs de D/t [Fig.9a]. La variation de la contrainte latérale de confinement croît avec l'augmentation de f_{co} et le rapport D/t jusqu'à une certaine valeur de f_{co} ($f_{co} \approx 70$ MPa). Au delà de cette valeur, la contrainte latérale de confinement diminue avec l'accroissement de f_{co} . Cette diminution devient de plus en plus significative pour les chemises hautement rigides [Fig.9b]. Ces courbes mettent en évidence l'influence de l'interaction béton - tube d'acier : plus le béton est résistant, moindre est sa capacité de déformation transversale générant l'étreinte latérale.

3.2.3. Effet de la limite élastique de l'acier, f_{yh}

Les Figures 10 montrent l'influence de la limite élastique de l'acier sur la charge portante P. On remarque que la capacité de résistance augmente avec la limite élastique de l'acier. Cette augmentation est moins importante pour les rapports D/t élevés. Elle devient insignifiante pour les chemises élancées [Fig.10c]. Ceci

résulte de la faible contribution de l'étreinte latérale de confinement [Fig.10d]. L'examen des Figures 10b et 10d révèle que l'effet de la limite élastique de l'acier f_{yh} sur la variation de l'étreinte latérale de confinement est plus important pour les petits diamètres et devient négligeable pour des rapports D/t importants.

CONCLUSIONS

Les poteaux renforcés par chemise externe en acier ont montré des performances structurelles appréciables. Les résistances, ductilité et rigidité enregistrées confèrent à ces éléments une bonne tenue vis à vis de l'action sismique avec un taux d'endommagement acceptable.

L'étude présentée a permis en premier lieu de mettre en relief l'effet de l'étreinte latérale développée par la chemise où différents modèles théoriques ont été analysés. Ceci a permis d'émettre les points suivants :

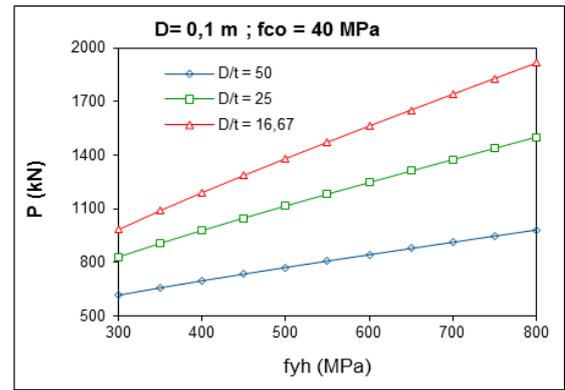
- L'identification de l'effet des paramètres influant sur le comportement du béton confiné par tube d'acier: la résistance du béton, la limite élastique du tube d'acier et l'élançement géométrique D/t .
- Evaluation du gain en résistance à travers le paramètre K_s , rapport croissant proportionnellement avec la limite élastique de l'acier, la résistance du béton, diminuant avec l'accroissement du rapport D/t .
- Evaluation du gain en déformation à travers le paramètre K_d , rapport décroissant avec l'augmentation de la résistance de l'acier, tout en restant in affecté par la variation du rapport D/t et la résistance du béton.

En second lieu, et afin de faire ressortir l'effet du béton confiné sur la capacité portante des poteaux chemisés par tube d'acier, une investigation numérique basée sur le modèle de Susantha a été conduite. Pour ce, une équation simple a été proposée pour prédire la charge axiale en considérant les états limites des matériaux.

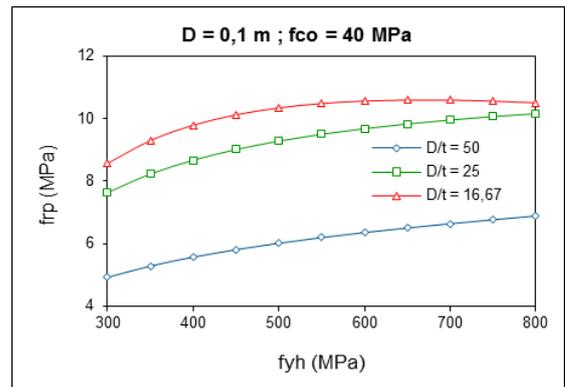
L'application numérique en question n'a touché que les poteaux circulaires. La comparaison des résultats découlant de cette analyse avec les valeurs données par EC4 et la méthode des éléments finis, pour différentes résistances et différentes dimensions géométriques, a montré une bonne concordance.

En effet les résistances prédites par l'EC4 sont généralement non conservatives, pour les spécimens pour les élançements géométriques inférieures à 20, et restent très proches de ceux obtenus par l'analyse proposée pour $D/t \geq 40$ supérieures à 40.

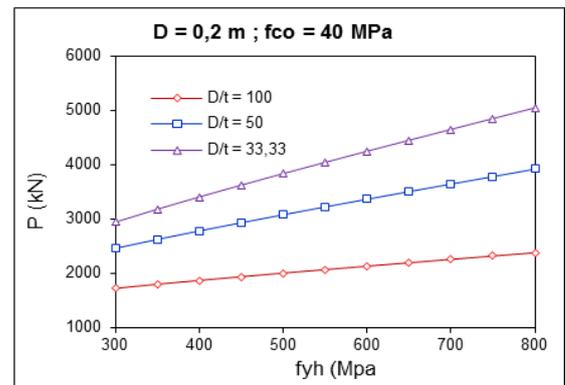
Par contre, les résistances déterminées à partir de l'ACI pour l'ensemble des poteaux restent conservatives du fait de la non prise en considération de l'apport de l'étreinte latérale due au confinement du béton par la chemise en acier. Les résultats analytiques ont montré l'effet favorable du confinement sur la capacité portante de ce type de structure.



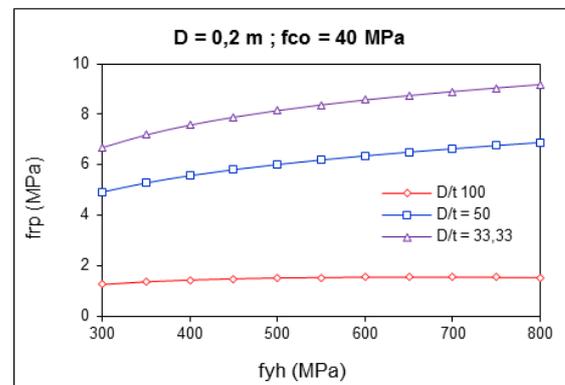
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 10 : Effet de la limite élastique de l'acier f_{yh}

REFERENCES

- [1] Susantha K. A. S., Hanbin G., Usami T., 'Uniaxial Stress-Strain Relationship of Concrete Confined by Various Shaped Steel Tubes', *Engineering Structures*, 23 (2001) 1331-1347.
- [2] Eurocode 4. 'Design of composite steel and concrete structures. Part 1.1, General rules for buildings' ENV 1994-1-1. London (UK): British Standards Institution; 1994
- [3] Building code requirements for structural concrete and commentary, ACI 318-99. Detroit (USA): ACI 1999.
- [4] Tomii M., 'Ductile and Strong Columns Composed of Steel Tubes Infilled Concrete and Longitudinal Steel Bars', Proc., 3rd Int. Conf. on Steel – Concrete Composite Structures, Fukuoka, Japan, 1991 [Special Volume].
- [5] Liang Q, and Uy B., 'Theoretical Study of the Post-local Buckling of Steel Plates in Concrete Filled Box Column' *Computers and Structures*, 75 [5] (2000).
- [6] Bradford M.A, Loh H.Y and Uy B., 'Slenderness Limits for Circular Filled Steel Tube Column' *Journal of Structural Engineering*, 125 [9] (2002), 1009-1019.
- [7] Huang C.S et al., 'Axial Load Behavior of Stiffened Concrete Filled Steel Column' *Journal of Structural Engineering* 128 [9] (2002), 1222-1230.
- [8] Morino S. and Tsuda K., 'Design and Construction of Concrete Filled Steel Tube Column System in Japan' *Earthquake Engineering and Earthquake seismology*, 4 [1] (2002), 52-73.
- [9] Hu HT, Huang CS, Wu MH, Nonlinear Analysis of Axially Loaded Concrete – Filled Tube Columns with Confinement Effect, *Journal of Structural Engineering*, ASCE 2003; 129; 1322-9.
- [10] Han LH, Concrete – Filled Tube Columns, Science Publishing Company, 2004.
- [11] Ehab E., Young B., Behaviour of Normal Strength Concrete-Filled Compact Steel Tube Circular Stub Columns, *Journal of Constructional Steel Research*. 62(2006) 706-715.
- [12] Y.Sun. Proposal and Application of Stress-Strain Model for Concrete Confined by Steel Tubes, the 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008 Beijing, China
- [13] P.Gajalaksmy, H .Jane Helena and R.Srinivasa B.S Abdur Rahman 'Experimental Investigation on the behavior of concrete –filled steel columns'. *Asian Journal of Civil Engineering* Vol 12 N°6(2011) pages 391-701
- [14] Giakoumelis G, Lam D. Axial capacity of circular concrete-filled tube columns. *Journal of Constructional Research* 2004, 60(7): 1049-68.
- [15] Tomii M, Yoshimura K, Morishita Y. 'Experimental Studies on Concrete Filled Steel Tubular Stub Columns under Concentric Loading'. Int. Colloquium on stability of structures under statically dynamic load; Washington, DC, 1977: 718-41.
- [16] Mander J. B., Priestley M. J. N., Park R., 'Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete', *Journal of Structural Engineering*, Vol.114, No. 8, August 1988b, pp. 1804-1826.
- [17] Saenz LP, Discussion of Equation for Stress-Strain Curve of Concrete, by Desayi P. and Krishnan S. *Journal of the American Concrete Institute*, 1964, 1229 – 35.
- [18] Popovics S., A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve Concrete, *Cement and Concrete Research*, vol. 3, 1973, pp. 583-599.
- [19] Tokinoya H., Kanoh Y, Fukumoto N, Murata Y, Fujimoto T, Mukai A, Structural Behaviour of Concrete Filled Steel Tubular Columns Axial Compressive Load, part 3m test results on circular columns. In .Abstracts of the annual Convention of the Architectural Institute of Japan, 1995: 739-40 (in Japanese).