

COMPORTEMENT AXIAL DE COLONNES EN BÉTON ARMÉ ET CONFINÉES À L'AIDE DE TUBES EN MATÉRIAUX COMPOSITES

Radhouane Masmoudi¹ et Hamdy Mohamed²

1: Professeur, Département de génie civil, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Qc, J1K 2R1

2: Stagiaire postdoctoral, Département de génie civil, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Qc, J1K 2R1

Résumé: Les tubes en matériaux composites présentent plusieurs avantages, notamment: la protection du béton et de l'armature contre la rouille et les environnements agressifs; ils peuvent être utilisés en partie ou en totalité comme armature de cisaillement et/ou de flexion; et remplacent le coffrage temporaire, ce qui permet des économies substantielles, relativement aux opérations de mise en place et de décoffrage des coffrages temporaires en bois ou en acier. Cet article présente les résultats expérimentaux sur des colonnes de hauteurs courtes (cylindre) et moyennes. Les paramètres étudiés comprennent l'effet de l'épaisseur du tube, la résistance à la compression du béton, le rapport élancement (rapport hauteur / diamètre) et la présence de barres d'acier longitudinal. Au total, seize échantillons CFFT et une colonne de référence armée de treillis en acier spiral ont été testées sous une charge de compression axiale. Le diamètre des tubes utilisés était de 152 mm (6 pouces). Les résultats indiquent des augmentations considérables des capacités axiales et des déformations ultimes suite à l'utilisation des tubes en matériaux composites.

Mots Clés: Colonne; Tube en matériaux composites, Béton armé; Confinement, Rapport d'élancement, Capacité axiale, Coffrage, durabilité.

INTRODUCTION

Tous les spécialistes, chercheurs, ingénieurs et administrateurs des ministères qui s'occupent des infrastructures en béton, de même que les ingénieurs du génie de la construction, s'entendent sur l'état de dégradation avancée de l'infrastructure en béton armé (BA), particulièrement dans les régions avec des conditions climatiques très sévères comme le Québec et le Canada [1-7]. La détérioration des structures en BA (piliers et tabliers de ponts, stationnements multi-étagés, structures marines, etc.) est accentuée par l'utilisation des sels de déglacage et les fluctuations de la température et de l'humidité relative. Ces dernières accélèrent le processus de corrosion de l'armature en acier, ce qui fait gonfler le volume occupé par l'armature d'acier et fait éclater et écailler le béton [8-10]. La demande pour des structures plus durables et structurellement plus efficaces ne cesse de croître et un besoin urgent pour trouver des alternatives permettant d'allonger la durée de vie utile des structures en BA est de plus en plus criant. Les piliers, colonnes et poutres en BA sont parmi les éléments structuraux les plus exposés, non seulement à des conditions environnementales agressives et à l'épandage des sels de déglacage, mais aussi à des forces d'impact, de vibration et de collision entraînant ainsi une durée de vie utile réduite, et des coûts de réparation élevés [11].

L'utilisation de polymères renforcés de fibres (PRF) comme coffrage permanent, intégré à la structure en BA, élimine complètement le coffrage temporaire en bois ou en acier, ce qui permet

une économie substantielle relativement aux coûts des opérations de mise en place et de décoffrage. Au cours de la dernière décennie, l'utilisation de tubes en matériaux composites (MC) dans des applications telles que les colonnes en BA, les piliers de ponts, continue de démontrer que cette nouvelle technique est l'une des plus prometteuses en vue de protéger les structures en BA face à l'utilisation des sels de déglacage et face aux conditions environnementales très agressives.

IMPORTANCE DE CETTE RECHERCHE

L'utilisation des tubes en MC comme coffrage permanent pour des structures en béton armé est une technologie relativement récente et très peu documentée [12 -15]. L'interaction entre le tube en MC et le béton est un phénomène qui n'a pas encore été étudié. Afin de tirer profit de l'existence des tubes en MC, il faut optimiser la conception en fonction des propriétés mécaniques de chaque composante: armature interne, béton et tube en MC.

PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

Matériaux

Tubes en matériaux composites: Trois types de tubes en polymère renforcé de fibres de verre (PRFV) ont été utilisés. Les tubes ont été fabriqués en utilisant le procédé d'enroulement filamentaire; et sont composés de fibres de verre et de résine époxy. Le diamètre intérieur pour tous les tubes est constant et égal à 152 mm. Le tableau 1 présente les propriétés géométriques et mécaniques en traction pour les trois types A, B et C des tubes dans les directions longitudinale et circonférentielle. Différents angles de fibres par rapport à l'axe longitudinal des tubes ont été utilisés: ($\pm 60^\circ$), pour le type de tube A et B, et ($\pm 65^\circ$, $\pm 45^\circ$) pour le type de tube C. Des essais sur des anneaux ont été réalisés selon la méthode normalisée ASTM D-2290-04 sur cinq échantillons de chaque type de tubes afin de déterminer les résistances à la traction et le module de ces échantillons (voir Figure 1).

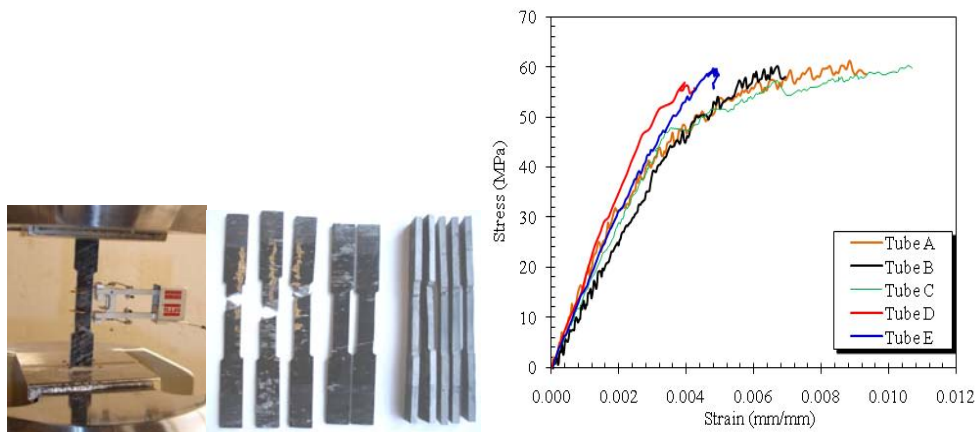
Béton: Tous les échantillons ont été construits à partir de deux coulées de béton commercial (N et M) afin de prendre en considération l'effet de la résistance du béton sur le comportement axial des colonnes CFFT. La taille maximale des agrégats était d'environ 20 mm et 16 mm pour le premier type (N) et le deuxième (M), respectivement. Dix cylindres de béton (152 x 305 mm) ont été préparés à partir de lots N et M. La résistance du béton à 28 jours en moyenne a été trouvée égale à $30 \pm 0,5$ et $45 \pm 0,5$ MPa pour les types N et M, respectivement.

Échantillons et paramètres d'essais

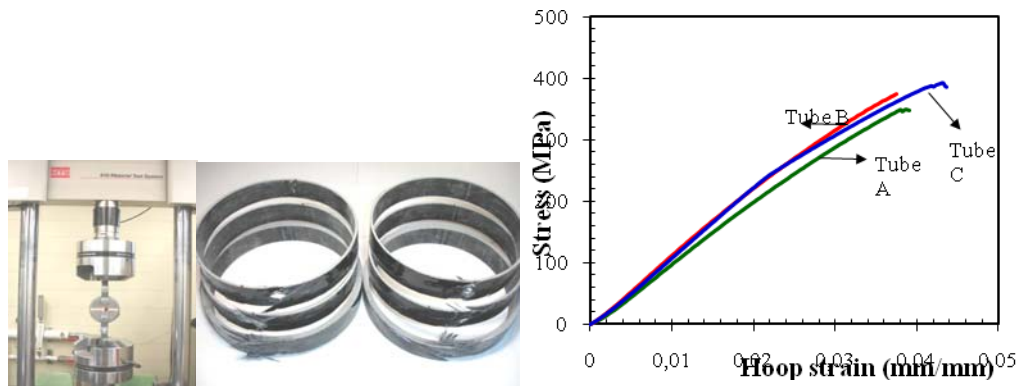
Cet article étudie expérimentalement le comportement axial de colonnes de hauteurs courtes et moyennes, renforcées longitudinalement de barres en acier. Le programme d'essais est divisé en 5 groupes d'échantillons, qui sont identifiés comme indiqué au Tableau 2. La première lettre indique le type du tube utilisé dans le Tableau 1, le premier nombre indique la hauteur de la colonne varie de 30 à 120 cm et la seconde lettre indique le type du mélange de béton.

Tableau 1 — Propriétés mécaniques en traction des tubes utilisés

Type du tube	Diamètre, D (mm)	Épaisseur, t_{FRP} (mm)	Nombre de couche	Séquence d'enroulement	Circonférentielle			Longitudinale		
					Module E (MPa)	Résistance F_u (MPa)	Déform. ultime (%)	Module E (MPa)	Résistance F_u (MPa)	Déform. ultime (%)
A	152	2.65	6	$[\pm 60]_3$	10,1	348	3,88	12,8	60	0,88
B	152	2.85	8	$[\pm 60]_4$	11,2	372	3,75	12,5	60	0,87
C	152	6.4	14	$[\pm 65]_3, \pm 45, \pm 65]_3$	11,5	391	4,28	13,5	60	1,06



(a) Essais de traction: Direction longitudinale



(b) Essais de traction: Direction circonférentielle

Figure 1. Propriétés en traction des tubes A, B, et C dans les deux directions: longitudinale et circonférentielle

Tableau 2 — Programme d’essais et identification des échantillons

Group2 No.	Identification des échantillons	Hauteur (mm)	Type du Tube	4t/D [‡] %	(H/D)	Armature longitudinale	Résistance à la compression du béton (MPa)	Nombre d’échantillons
1	Cylinder N	305	-	-	2	----	30	10
	Cylinder M	305	-	-			45	10
	Colonne de Référence	912	Étrier en acier spiral		6	6 No. 10	30	1
2	A30N	305	A	6.97	2	----	30	2
	B30N		B	7.50				2
	C30N		C	13.15				2
	A30M		A	6.97			45	2
3	A60N	608	A	6.97	4	6 No. 10	30	1
	A90N	912			6			1
	A120N	1216			8			1
4	A60M	608	A	6.97	4	6 No. 10	45	1
	A90M	912			6			1
	A120M	1216			8			1
5	B90N	912	B	7.50	6	6 No. 10	30	1
	B90N-W	912				without		1

[‡] Pourcentage d’armature de confinement

Les paramètres testés dans cette étude sont: la résistance à la compression du béton, l'épaisseur des tubes en matériaux composites, la présence de barres d'acier et le rapport d'élanement. Le Groupe no. 1 se compose de dix cylindres de béton brut (152x305 mm) pour chaque type de béton et d'une colonne référence. Cette colonne de hauteur 912 mm, a été armée longitudinalement de six barres no.10M et transversalement (armature de confinement) à l'aide d'un étrier en acier de diamètre 3,2 mm sous forme spirale. L'espace entre les spirales est de 50,6 mm et il a été réduit à 25 mm sur une distance de 125 mm pour chaque extrémité de la colonne, dans le but de mieux confiner les bouts de la colonne et d'éviter une rupture prématurée. Le Groupe no. 2 est composé de huit cylindres CFFT (152x305 mm), deux échantillons identiques ont été coupés à partir de chacun des tubes A, B et C (différentes épaisseurs de paroi), voir la Figure 2. Ces cylindres ont été testés pour obtenir le comportement contrainte-déformation du béton confiné. Le Groupe no. 3 étudie l'effet du rapport d'élanement : trois hauteurs ont été considérées : 608, 912 et 1216 mm (Voir Figures 2 et 3).

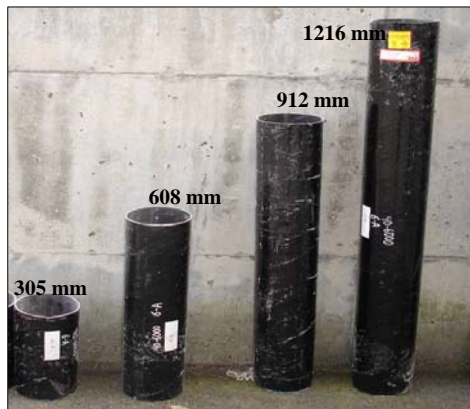


(a) Tube en PRFV avant le coulage du béton



(b) instrumentation et mise en place

Figure 2 — Fabrication et instrumentation des cylindres confinés à l'aide de tubes en matériaux composites.



(a) Tubes en MC



(b) Armature de l'échantillon de référence

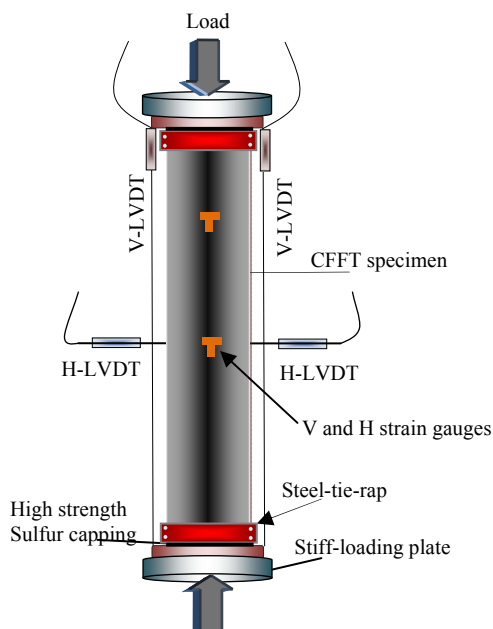
Figure 3 — Fabrication des colonnes en béton armé confinés à l'aide de tubes en MC

La variation de la hauteur a été choisie pour donner des élancements (H/D) égale à 4, 6 et 8 pour chaque hauteur, respectivement, où H et D sont la hauteur et le diamètre intérieur des colonnes, respectivement. Le pourcentage d'armature de confinement fournit par le tube en MC est calculé à l'aide de la formule $(4t/D)$, où t est l'épaisseur du tube en MC. Les trois types de colonnes ont été coulés avec le type de béton (N) et le tube A. Ces colonnes ont été renforcées avec six barres d'acier No. 10M, de sorte que le taux d'armature longitudinale est égale à 2,99%. Les barres ont été distribuées de manière uniforme à l'intérieur de la section transversale du tube. Les barres ont été soudées en haut et en bas par deux étriers en acier de diamètre 3,2 mm, pour les fixer à l'intérieur du tube lors de la coulée du béton. La distance entre les barres et les tubes était de 8 mm. De plus, une épaisseur de recouvrement en béton de 10 mm a été prévue entre les extrémités des barres longitudinales en acier et les faces supérieure et inférieure des colonnes afin d'éviter la concentration de contraintes aux extrémités des barres d'acier. Le Groupe no 4 est identique aux échantillons du Groupe no 3, à l'exception du type de béton : béton M (45 MPa) au lieu du béton N (30 MPa) pour le Groupe no. 3. Le Groupe no. 5 est constitué de deux colonnes de hauteur 912 mm en utilisant le tube en MC de type B. L'échantillon B90N était renforcé à l'intérieur avec six barres d'acier no. 10 M; toutefois l'échantillon B90N-W a été coulé sans barres d'acier. Ce groupe se propose d'étudier l'effet de la présence d'armature d'acier longitudinale à l'intérieur des

colonnes confinées à l'aide de tubes en matériaux composites. Enfin, le spécimen du groupe no 6 est une spirale d'acier renforcé colonne de béton avec une hauteur égale à 912 mm, de mélange de béton (N) a été utilisé. Le spécimen a été renforcé avec 6 barres longitudinales en acier déformées no. 10 M. De plus, les barres d'acier doux de 3,2 mm de diamètre sont utilisés pour le renforcement spirale. Tous les échantillons ont été coulés dans une position verticale. Ceci est effectué en fixant les tubes en MC en position verticale à l'intérieur du coffrage boîte en bois. Deux trous ont été forés dans la partie supérieure et inférieure de la boîte en bois pour fixer l'échantillon verticalement. En outre, la surface inférieure de la boîte en bois est attachée avec une plaque de bois horizontale pour empêcher la fuite du béton.

Instrumentation et montage expérimental

Les échantillons ont été Instrumentés à l'intérieur (barres d'armatures et à l'extérieur sur les tubes en MC). Avant la coulée, deux des barres d'acier longitudinal diamétralement opposées ont été instrumentées de jauges électriques (6 mm de longueur) à la mi-hauteur de la colonne. L'armature en acier en spirale a également été instrumentée de jauges de déformation. Chaque tube en MC a été instrumenté de deux jauges électriques dans la direction longitudinale et de deux autres jauges dans la direction transversale. Chaque paire de jauges (une longitudinale et une transversale) est située à mi-hauteur et elle est diamétralement opposée à l'autre. Deux autres jauges ont collées au quart de longueur des tubes en MC de hauteur 1216 mm. Des jauges de déformation de longueur-30 mm ont été collées sur la surface des cylindres de béton et sur l'échantillon de référence.



(a)

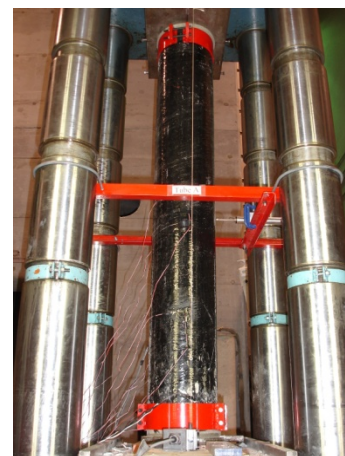


Schéma du montage expérimental
(b) Vue du montage expérimental

Figure 4 —Montage expérimental des essais en compression de colonnes confinées à l'aide de Tubes en MC.

Le déplacement axial pour chaque colonne a été mesuré par deux capteurs de déplacement (LVDT) positionnés à 180 degrés à l'extrémité supérieure de la colonne (Voir Figure 4). En outre, pour mesurer le déplacement horizontal, quatre capteurs de déplacement ont été montés horizontalement à mi-hauteur de la colonne de 90 degrés autour de la colonne. Tous les échantillons ont été préparés avant l'essai par une mince couche de soufre sur les faces supérieure et inférieure pour assurer la distribution uniforme de la charge de compression. Deux anneaux circulaires en acier de 4,0 mm d'épaisseur et 60,0 mm de largeur ont été utilisés pour confiner les deux extrémités de la colonne afin d'éviter la rupture localisée dans ces zones. Les échantillons ont été testés à l'aide d'une machine FORNEY de capacité égale à 6000 kN. La charge appliquée, les jauges de déformation et les capteurs LVDT sont reliés à un système d'acquisition de données et les données ont été enregistrées à un rythme d'une lecture par seconde durant le test. Le taux de chargement se situait entre 2,0 à 2,50 kN/s.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

Le tableau 3 présente un résumé des résultats expérimentaux en termes de charge axiale maximale P_{\max} , la résistance à la compression du béton confiné f'_{cc} , le rapport de f'_{cc}/f'_c (la résistance à la compression du béton confiné f'_{cc} sur celle non confinée f'_c , et les déformations ultimes dans les deux directions axiales ϵ_{cc} , et circonférentielle ϵ_{ch} . Les résultats expérimentaux sur les colonnes en béton confinées à l'aide tubes en MC sont discutés ci-dessous.

Tableau 3 — Les résultats expérimentaux

Group2 no.	Specimen ID	P_{\max} (kN)	f'_c (MPa)	f'_{cc} (MPa)	Axiale (ϵ_{cc}) (%)	circonférentielle (ϵ_{ch}) (%)	$\frac{f'_{cc}}{f'_c}$
1	Cylindre N		30				
	Cylindre M		45				
	Colonne de référence	822	30				
2	A30N-1	1350	30	74	4,50	3,80	2.48
	A30N-2	1283		71	3,00	2,70	2.37
	B30N-1	1490		82	3,90	3,40	2.73
	B30N-2	1450		80	4,00	2,30	2.67
	C30N-1	2160	45	119	4,60	3,30	4.00
	C30N-2	2302		128	4,10	2,80	4.23
	A30M-1	1620		89	4,10	3,40	1.98
	A30M-2	1502		83	3,50	3,30	1.82
3	A60N	1302	30	71	2,10	1,50	2.37
	A90N	1454		80	4,20	2,80	2.67
	A120N	1201		66	2,50	2,00	2.2
4	A60M	1741	45	95	2,50	1,40	2.11
	A90M	1595		87	3,20	4,30	1.93
	A120M	1366		75	1,80	1,70	1.70

5	B90N	1597	30	88	3,80	3,10	2.93
	B90N-W	1182		65	3,30	2,70	2.16

Comportement des cylindres confinés à l'aide de Tubes en MC

La Figure 5 présente le mode de rupture pour les trois types de cylindres CFFT. Tous les échantillons ont rompu par la rupture des tubes en MC dans la direction circonférentielle, en suivant le patron d'enroulement des fibres de verre. La rupture des tubes en MC a eu lieu le long de la hauteur totale des cylindres ; où elle a débuté par le haut ou par le bas, tout en se propageant vers l'autre extrémité opposée. De faibles sons ont été entendus durant les premiers stades du chargement. Ces sons sont dus à la fissuration du béton, au déplacement interne des agrégats et à la haute déformation circonférentielle. À des niveaux plus élevés de la pression de confinement; de forts sons ont été entendus dus à la rupture des fibres dans les tubes en MC. La rupture ultime était explosive pour les spécimens des tubes A et B, mais une rupture plus ductile a été observée pour le tube C.

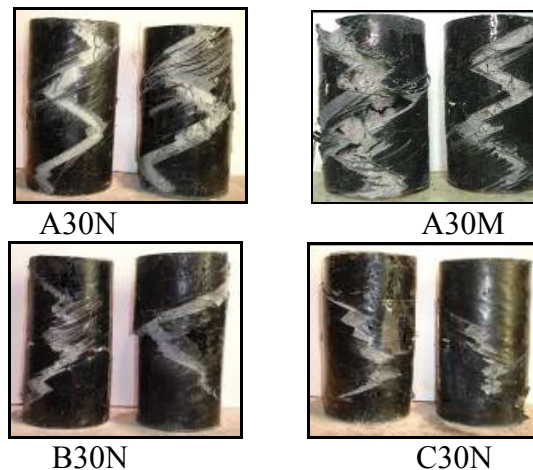


Figure 5 — Mode de rupture des cylindres confinés de tubes en MC

Comportement contrainte-déformation

Les comportements contrainte-déformation, des cylindres en béton confinés de tubes en MC, dans les deux directions axiale et circonférentielle, suivent un comportement bilinéaire, comme le montre la Figure 7. La courbe contrainte-déformation aux premiers stades du chargement est similaire au comportement du béton non confiné. Après avoir atteint la résistance à la compression du béton non confiné, les relations contrainte-déformation des cylindres confinés changent de direction mais demeurent approximativement linéaires jusqu'à la rupture finale due à la rupture du tube en MC. La Figure 7 montre un changement de direction brusque pour les cylindres confinés des tubes A et B, toutefois une transition progressive et en douceur a été observée pour le tube C.

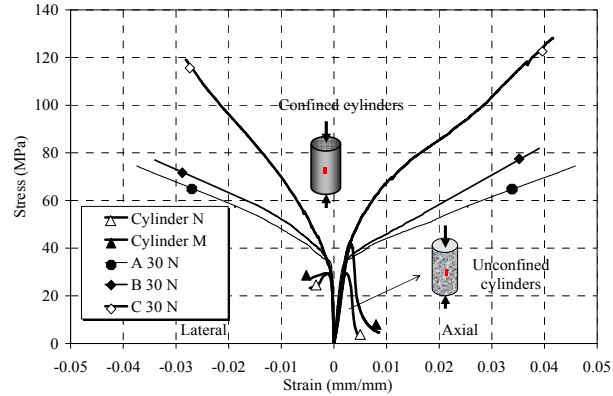


Figure 6— Comportement contrainte-déformation

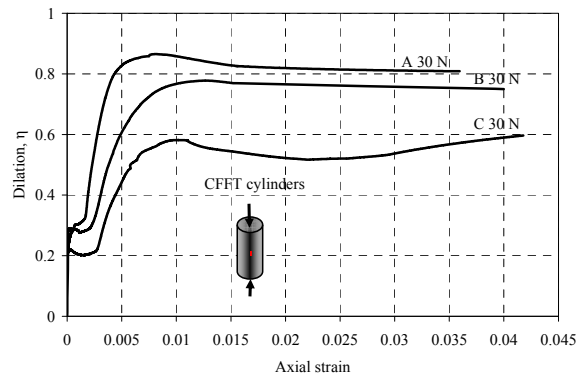


Figure 7 — Déformation circonférentielle en fonction de la déformation axiale

Capacité axiale et résistance à la compression

Les rapports moyens des résistances des cylindres confinés sur celles des cylindres non-confinés (f'_{cc}/f'_c), étaient : 2,42, 2,70, et 4,11 pour les cylindres en béton de type (N) et confinés avec les tubes A, B et C, respectivement. Comme nous pouvons s'y attendre, une augmentation significative de la capacité axiale et de la ductilité pour les colonnes confinées a été atteinte et ces propriétés mécaniques augmentent avec l'augmentation de l'épaisseur des tubes en MC. Une valeur maximale de la résistance à la compression de 128 MPa a été enregistrée pour l'échantillon C30N-2. La moyenne de la résistance du béton confiné (f'_{cc}) pour les échantillons A30M est supérieure à celle de l'échantillon A30N, de 15%. Toutefois, cette augmentation n'est pas significative par rapport à l'augmentation de la résistance à la compression du béton, (45 MPa versus 30 MPa). Aussi, le ratio (f'_{cc}/f'_c) des échantillons A30M et A30N est égal à 1,90 et 2,42; respectivement, ce qui démontre que le gain en capacité axiale est plus important pour un béton normal qu'un béton à haute résistance; et est principalement dépendant de la rigidité des tubes en MC.

Les déformations circonférentielles versus les déformations axiales

La Figure 7 présente le rapport des déformations circonférentielles ε_{ch} sur celles axiales ε_{cc} en fonction des déformations axiales. Ce rapport (η) est défini par:

$$\eta = \frac{\varepsilon_{ch}}{\varepsilon_{cc}}$$

Au premier stade du chargement, le confinement des tubes en MC n'a pas été pleinement activé. Par conséquent, le taux de dilatation initial est demeuré relativement constant, avec une valeur égale à environ au coefficient de Poisson du béton non confiné. Ce comportement a été observé jusqu'à un niveau de déformation axiale d'environ $0,6\varepsilon_c$, où ε_c est la déformation ultime axiale du béton non-confiné (0.0035-0.004). L'augmentation de la charge appliquée sur les cylindres engendre une augmentation significative des déformations axiales et circonférentielles, due à la microfissuration du béton. À Environ $0,8f_c$, le rapport η augmente rapidement en fonction du niveau du confinement des tubes de PRF. Au-delà de ce niveau, le rapport η atteint une valeur maximale à une déformation axiale égale approximativement à $(0,0052\varepsilon_c)$, ce qui correspond à un niveau de contrainte axiale d'environ $1,2$ à $1,3f_c$. À ce stade, le confinement du tube en MC a été pleinement activé. Enfin, après ce pic, la déformation axiale diminue à environ $0,8f_{cc}$, et le rapport η demeure constant jusqu'à la rupture. La Figure 7 montre l'effet de l'épaisseur du tube sur le rapport η . Les valeurs maximales étaient de 0,86, 0,77 et 0,58 pour les tubes de type A, B et C, respectivement. Remarquons que l'augmentation de l'épaisseur des tubes, a pour effet de diminuer le rapport η quelque soit le niveau de la charge appliquée. Toutefois, la valeur initiale dépend uniquement du noyau en béton.



Figure 8 — Échantillons de colonnes après rupture

Comportement des colonnes confinées à l'aide de Tubes en MC

Mode de rupture : Différents modes de rupture ont été observés pour les trois rapports d'élançement $H/D = 4, 6$ et 8 . L'échantillon A60N, avec un rapport d'élançement égal à 4 , a été testé sans l'utilisation d'anneaux de renforcement en acier aux extrémités des colonnes, ce qui a engendré une rupture prématurée (à 1302 kN) à l'extrémité supérieure de la colonne, caractérisée par une rupture du tube en MC, suivie par l'écrasement du béton. L'échantillon A60M avec des

anneaux de renforcement en acier à ses extrémités a rompu en compression à une charge de 1741 kN. Les colonnes confinées à l'aide de tubes en MC ayant un rapport d'élanement $H/D = 6$, ont rompu généralement entre l'une des extrémités et la mi-hauteur, dû à un léger flambage, suivi par la rupture des tubes en MC. Les échantillons A90N, A90M, A120N et A120M ont rompu en flambage à des niveaux de charges inférieurs ceux des cylindres, comme nous pouvons s'y attendre. La Figure 8 présente les échantillons des colonnes testées après rupture.

Comportement contrainte-déformation:

Les comportements contrainte-axiale versus les déformations axiale et circonférentielle des groupes no.3 et 5, sont représentés sur les Figures 9 et 10, respectivement. Les comportements de contraintes-déformations des colonnes confinées de tubes en MC ont montré une réponse typique bilinéaire composée principalement de trois régions semblables aux comportements des cylindres confinés. La pente initiale des courbes représente la rigidité du noyau en béton, identique quelques soient les rapports d'élanement. Tel que montré sur la figure 9, le point de changement de pente est identique pour les trois échantillons du groupe no.3. Ce point indique le début de fissuration du béton. Notons que plus le rapport d'élanement augmente, plus les déformations circonférentielles se rapprochent de celles axiales, dû au phénomène de flambage.

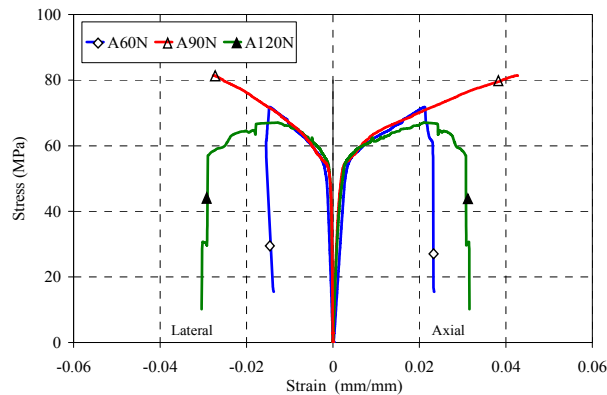


Figure 9 — Le comportement contrainte-déformation du groupe No. 3.

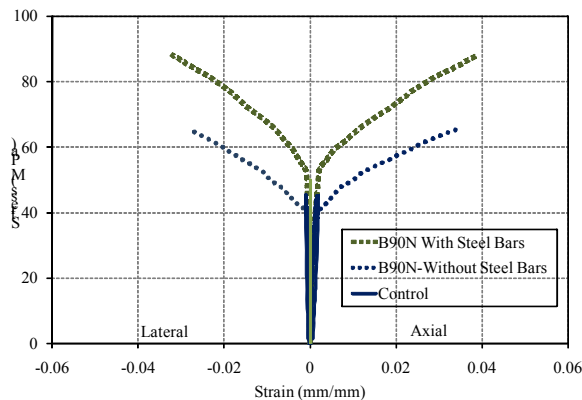


Figure 10 — Le comportement contrainte-déformation du Groupe No. 5 et de l'échantillon de référence

La Figure 10 compare les comportements contrainte-déformation du Groupe no. 5 et montre l'effet de l'armature d'acier interne. Il est clair que la présence d'armature d'acier augmente la capacité axiale et la ductilité des colonnes confinées à l'aide de tube en MC. Toutefois, notons aussi, la très bonne performance (capacité axiale et ductilité) de la colonne confinée de tube en MC (B90N-W), mais sans armature, par rapport au comportement de la colonne de référence, en béton armé. Les déformations axiales ultimes des colonnes de référence, B90N-W (sans armature) et B90N, sont: 0,2%; 3,5% et 4%, respectivement.

Capacité axiale

La Figure 11 présente l'effet du rapport d'élançement sur les capacités axiales des colonnes confinées de tubes en MC. L'augmentation de la capacité axiale de l'échantillon A60M par rapport à celle de l'échantillon A30M est due à l'utilisation de l'armature d'acier. Une réduction d'environ 12% de la capacité axiale a été observée pour l'échantillon A120M par rapport à la moyenne de celles des échantillons A30M.

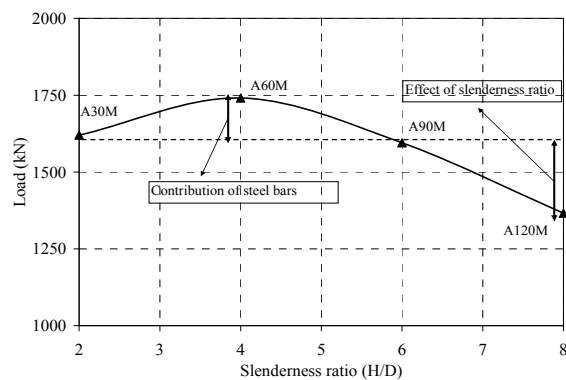


Figure 11 — Effet du rapport d'élançement sur la capacité axiale des colonnes confinées de tubes en MC

Les capacités axiales des échantillons du Groupe n ° 4 sont plus élevées que les échantillons du Groupe no. 3, en raison de la différence dans la résistance à la compression de béton utilisée pour chaque groupe.

Déplacements axiaux et latéraux des colonnes confinées de tubes en MC

Les données de déplacement axial pour chaque échantillon obtenu par les deux capteurs verticaux lors de l'essai sont tracées en fonction de la charge axiale, sur les Figures 12 et 13 pour les Groupes d'échantillons no. 4 et 5, respectivement. La Figure 12 montre une légère augmentation de la rigidité axiale, due au confinement des tubes en MC. Les deux Figures montrent l'excellente performance des colonnes confinées de tubes en MC par rapport au comportement de la colonne de référence, armée de barres et d'étrier spiral en acier, en termes d'augmentation des capacités axiales et de la ductilité, des propriétés très recherchées, particulièrement dans les régions de forte activités sismiques. La Figure 13 présente l'effet de la présence d'armature d'acier sur le

déplacement axial. La Figure 14 présente l'effet de la résistance à la compression du béton, sur les déplacements latéraux (horizontaux) des colonnes A120N et A120M.

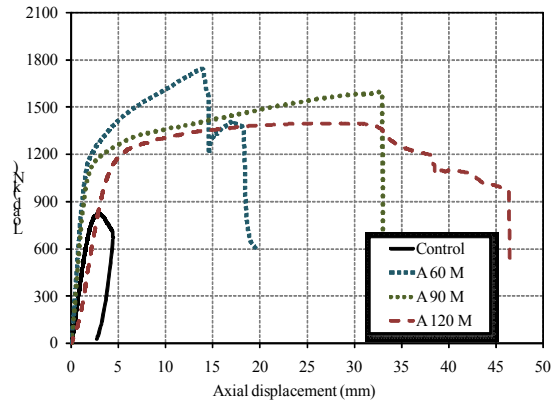


Figure 12 — Déplacement axial en fonction de la charge appliquée (Groupe No. 4 et échantillon de référence).

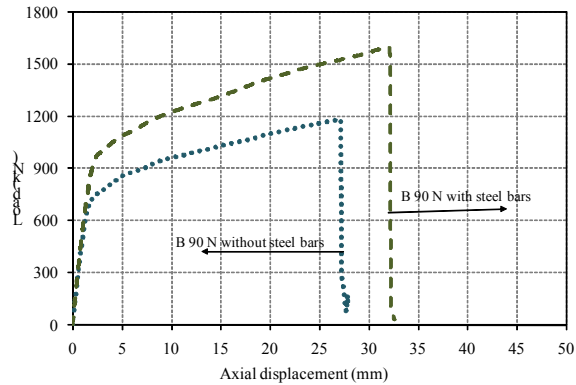


Figure 13 — Déplacement axial en fonction de la charge appliquée (Groupe No. 5)

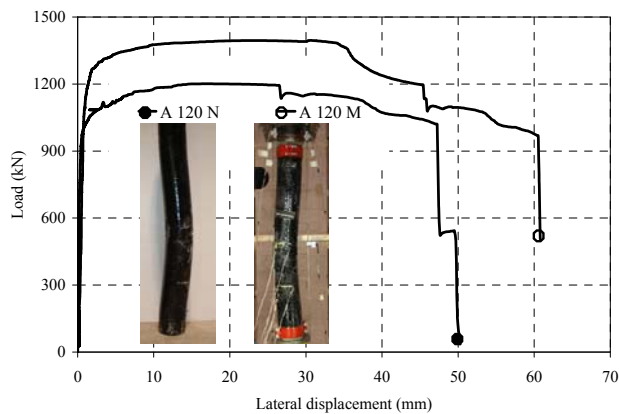


Figure 14 — Déplacement latéral en fonction de la charge appliquée (effet de la résistance à la compression du béton)

CONCLUSIONS

Les comportements sous charges axiales de cylindres et colonnes confinées à l'aide de tubes en MC ont été étudiés, en tenant compte des paramètres suivants: rapport d'élanement, épaisseur des tubes en MC, résistance à la compression du béton, et la présence ou non d'armature longitudinale. À la lumière des résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- Des augmentations considérables des résistances axiales des cylindres en béton confinés de tubes en MC ont été observées, jusqu'à 411% pour le tube de type C.
- L'augmentation de l'épaisseur des tubes en MC a pour effet d'augmenter les capacités axiales des cylindres et colonnes en béton confinés de tubes en MC. Toutefois, cette augmentation est plus notable pour un béton normal, qu'un béton à plus haute résistance.
- Des augmentations considérables des capacités axiales et des déformations ont été observées suite à l'utilisation des tubes en MC comme confinement pour les cylindres et colonnes en béton armé. Jusqu'à 20 fois d'augmentation des déplacements axiaux ont été enregistrés par rapport au comportement de la colonne de référence.
- L'utilisation d'armature longitudinale en acier, améliore certes, le comportement général, mais le pourcentage d'armature doit être révisé à la baisse, afin de tirer avantage de la présence des tubes en MC.
- Afin d'éviter le mode de rupture par flambage, le rapport d'élanement H/D doit être limité à 6 pour les colonnes en béton armé et confinées de tube en matériaux composites.
- Cette étude a permis le développement de nouvelles équations de conception de colonnes en béton armé confinées à l'aide de tubes en matériaux composites, en tenant compte des différents paramètres étudiés dans ce projet.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'appui financier du conseil national de recherche en science naturelle et en génie (CRSNG) et la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) pour l'infrastructure utilisée pour effectuer les essais. Un merci spécial au partenaire industriel (FRE Composites inc., St-André d'Argenteuil, Qc, Canada) pour avoir fourni les tubes en MC. L'avis et les analyses présentées dans ce document sont celles des auteurs. Le technicien Nicolas Simard et la stagiaire de 1^{er} cycle Alice Courleux, ont participé à la préparation des échantillons et à la réalisation des essais.

RÉFÉRENCES

1. Motavalli, M., (2008), *ed.*, Proceeding of the 4th international conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2008), July, 22-24, 2007, ETH-Zurich, Switzerland.
2. Mohamed H., Masmoudi, R., (2008), Compressive Behaviour of Reinforced Concrete Filled FRP Tubes, Proceeding of the ACI-Special publication, March 30- April 3rd, Los-Angeles, pp. 1-19.
3. Triantafillou, T.-C., *ed.*, (2007) Proceeding of the 8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, FRPRCS-8, July 16-24, 2007, Patras, Greece.
4. Benmokrane, B., and El-Salkawy, E., *eds.*, (2007), Proceeding of the 3rd international on Durability of Composites for Infrastructure, May 23-25, Québec, (Qc), Canada.
5. Mirmiran, A., Nanni, T., (2006), Proceeding of the 3th Int. Conf. on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2006), 13-15 December, Miami, Florida, USA.
6. Bédard, C. (1992) Composite Reinforcing Bars: Assessing their use in Construction, *Journal of Concrete International*, Vol. 14, Issue 1, 55-59 pp.
7. Barkey, D.-P., (2004) Corrosion of Steel Reinforcement in Concrete Adjacent to Surface Repairs, *ACI Materials Journal*, V. 101, No. 4, pp. 266-272.
8. Palsson, R., Mirza, M.-S. (2002) Mechanical Response of Corroded Steel Reinforcement of Abandoned Concrete Bridge, *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 2, pp. 157-162.
9. ACI Committee 440, (2007) Report on the Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, ACI 440.1R-07, American Concrete Institute, 104 p.
10. Fam, A., Cole, B., and Mandal, S., 2007 "Composite tubes as an alternative to steel spirals for concrete members in bending and shear" *Construction and Building Materials*, V. 21, pp.347-355.
11. Fam, A., and Rizkalla, S. 2003, "Large scale testing and analysis of hybrid concrete /composite tubes for circular beam-column applications" *Construction and building materials (Elsevier)*, V. 17, pp. 507-516.
12. Fam, A., Green, R., and Rizkalla, S. 2003b, "Field application of Concrete-Filled FRP Tubes for marine piles", *ACI Special Publication*, SP-215-9, pp. 161-180.
13. Mirmiran, A., Shahawy, M., and Beitleman, T., 2001, "Slenderness limit for hybrid FRP concrete columns," *Journal of Composites for Construction*, ASCE, V. 5, No.1, pp. 26-34.
14. Pando, M., Lesko, J., Fam, A. and Rizkalla, S. (2002) "Durability of Concrete-Filled Tubular FRP Piles", *The 3rd Int. Conf. on Composites in Infrastructure*, ICCI '02, San Francisco, June 10-12, paper no. 80, pp. 1-12.

15. McBagonluri, F., Garcia, K., Hayes, M., Verghese, N., Lesko, J. J. (2000) Characterisation of Fatigue and Combined Environment on Durability Performance of Glass/Vinelester Composite for Infrastructure Applications, *International Journal of Fatigue*, 22 (1), 53-64.

Définition des symboles

E_X	= Module d'Young dans la direction axiale des tubes en PRF(MPa)
E_Y	= Module d'Young dans la direction circonférentielle des tubes en PRF(MPa)
H	= hauteur des échantillons de cylinder ou de colonne (mm)
D	= Diamètre intérieur des tubes en MC (mm)
t	= Épaisseur des tubes des MC (mm)
f'_{cc}	= Résistance à la compression du béton confiné (MPa)
f'_c	= Résistance à la compression du béton non-confiné (MPa)
ϵ_{cc}	= déformation axiale ultime des échantillons confinés
ϵ_{ch}	= déformation circonférentielle ultime des échantillons confinés
ϵ_c	= déformation axiale ultime du béton non-confiné
P_{Ma}	= Charge axiale maximale (kN)
η	= Rapport des déformations circonférentielle sur celles axiales
