

Faisabilité de l'armature de composite dans les lattes de béton armé

F. LAMY¹, S. GODBOUT¹, A. MARQUIS¹ et R. JONCAS²

¹Département de génie rural, Université Laval, Québec, QC, Canada G1K 7P4; et ²Service du Génie, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, 200 Chemin Sainte-Foy, Québec, QC, Canada G1R 4X6. Reçue le 18 juin 1992; acceptée le 1 août 1994.

Lamy, F., Godbout, S., Marquis, A. et Joncas, R. 1994. **Faisabilité de l'armature de composite dans les lattes de béton armé.** Can. J. Agric. Eng. 36:151-154. En agriculture, la majorité des structures de béton armé possède de l'acier comme armature. L'acier, ayant une faible résistance aux actions corrosives du lisier, diminue la durée de vie des structures de béton armé qui y sont exposées. Pour contrer ce problème de corrosion, des recherches ont permis de développer une nouvelle tige d'armature de composite hautement résistante à la corrosion. Les performances de cette tige dans le béton armé sont prometteuses, mais demeurent inconnues pour plusieurs aspects. Le modèle de calcul présenté vise à dimensionner des lattes de plancher en béton armé de composite pour les bovins, dans le but d'établir par la suite une comparaison entre l'utilisation de l'acier et celle du composite comme armature. Le composite étant un matériau non corrosif, des hauteurs de revêtement de l'armature inférieures à celles permises par le code ont été admises, une plus grande fissuration du béton a été tolérée et une plus grande flèche a été acceptée. Ayant un comportement fragile, combiné à une résistance en tension élevée (690 MPa), le composite nécessite, lors de son dimensionnement, l'utilisation de facteurs de réductions de résistance adéquats. De façon générale, les résultats théoriques démontrent qu'une section d'acier pourra être remplacée par une section identique de composite, celle-ci engendrant des flèches deux fois plus élevées que lors de l'utilisation d'une section d'acier. Pour les dimensions de lattes courantes, la flèche contrôle le dimensionnement. Il faut porter une attention particulière au cisaillement, puisque les étriers en composite ne sont pas encore disponibles. Le coût relié à l'utilisation de la tige composite dans la réalisation de lattes est beaucoup plus élevé qu'avec de l'acier résultant du prix de la tige elle-même.

Mots clés: Fibres de verre, barres, plastiques, composites, béton armé, armature.

Agricultural concrete structures are reinforced by means of steel rods. Because steel is corrosive, its life in reinforced structures is reduced when exposed to manure gases or liquids. Research has been conducted to develop a new reinforcing rod made of glass fiber and plastic as well as of high resistance to corrosion. Although the material offers improvements, its structural behaviour is still unknown. The model developed in this study compares steel rods and the new glassfiber reinforced plastic rods as reinforcement in slats for beef floor. Since plastic rods are non-corrosive, the thickness of concrete protection has been reduced as compared to that required by the Canadian Building Code, cracking can be neglected in the concrete, and more important deflection can be tolerated by the plastic. Being brittle but possessing a high tensile resistance (690 MPa), its allowable stress must be reduced adequately. The theoretical results show that the appropriate steel section in a slat can be replaced by an identical section of fiber-glass reinforced plastic rod. The deflection, however, will be twice the expected deflection with steel rods. For typical slats, the design is controlled by the deflection. As fiber-glass stirrups are not available, the shear stress has to be carefully consid-

ered. The cost of fiber-glass reinforced slats is higher than the conventional steel reinforced slats.

INTRODUCTION ET REVUE DE LITTÉRATURE

Plusieurs bâtiments d'élevage possèdent des planchers en caillebotis, particulièrement ceux destinés à la production porcine et bovine. La plupart de ces planchers sont construits avec des lattes en béton armé. Leurs longueurs varient principalement de 2,4 m à 3,6 m et leurs hauteurs est de 250 mm ou 300 mm. Des ingénieurs du Service du génie, du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), ont observé à plusieurs endroits des problèmes de détérioration accélérée de lattes. La cause majeure de cette détérioration était la mauvaise qualité du béton qui favorisait la fissuration et engendrait une corrosion prématurée de l'armature. La fabrication, depuis quelques années, en usine de ces lattes a amélioré la qualité du béton, ralentissant la détérioration. Cependant, la fissuration du béton étant difficile à éliminer, le risque de corrosion de l'armature demeure présent.

Plusieurs recherches ont été effectuées, surtout dans le domaine du génie civil, dans le but de contrer ce problème, qui est présent un peu partout et certaines techniques ont été suggérées. Parmi celles-ci, on retrouve plusieurs sortes de recouvrement qui s'appliquent soit au béton, comme le latex (Anon 1988) ou les polymères (Alexanderson 1990), soit à l'armature d'acier comme la résine époxy. Il existe aussi d'autres types d'armature comme les micro-fibres d'acier ou de polypropylène que l'on distribue uniformément à travers le béton pour augmenter sa résistance (Kessler et Powers 1988; Bruggeling 1988).

Ces recherches ont mené au développement de nouvelles tiges d'armature de composite hautement résistante à la corrosion. Les performances de ces types de tige dans le béton armé sont prometteuses mais demeurent inconnues pour plusieurs aspects, faisant ainsi qu'une bonne partie des spécifications de calcul contenues dans les normes A23.3 (CPCA 1985) pour le béton armé d'acier ne peuvent s'appliquer directement aux tiges de composite.

Plusieurs chercheurs (Chaallal et Benmokrane 1991; Roll 1991) se sont penchés sur l'élaboration d'une méthode de calcul pour la conception de pièces armées de tiges composites.

Quand à eux, Faza et Gangarao (1991) ont fait des essais sur des poutres ayant de l'armature de composite en tension

et en compression. Ces tiges composites sont un peu différentes de celles utilisées au Québec. Ces auteurs concluent qu'il est essentiel d'utiliser des bétons à haute résistance dans la fabrication de ce type de poutre. En fait, ils indiquent que la résistance d'une poutre augmente de 100% si du béton de 50 MPa est utilisé au lieu du béton de 35 MPa. L'utilisation de ce type de béton augmenterait le moment de fissuration et diminuerait la largeur de fissure. Finalement, ces mêmes auteurs soulignent que la théorie existante pour le béton ne peut être employée directement sans modification. Porter et Barnes (1991) indiquaient qu'il faudrait faire des recherches supplémentaires pour établir des normes spécifiques.

Dans cette note, le modèle de calcul présenté vise à dimensionner des lattes de béton armé de tiges de composite à l'aide du calcul aux états limites pour établir une comparaison entre l'utilisation de l'acier et du composite comme armature.

NOTIONS FONDAMENTALES

Méthode de calcul

La méthode de calcul qui est aujourd'hui très employée, est celle aux états limites (CNRC 1990a), qui consiste à dimensionner une structure et ses éléments de façon à éviter d'atteindre tout état limite. L'objectif de celle-ci est de parvenir à des probabilités de rupture suffisamment faibles pour être acceptables. Pour atteindre cet objectif, des coefficients de pondération (α) et de combinaison (ψ) sont appliqués aux charges et des coefficients de réduction (ϕ) sont appliqués à la résistance des matériaux (Éq.1).

$$\phi_r \geq \alpha_D D + \gamma \psi (\alpha_L L + \alpha_Q Q + \alpha_T T) \quad (1)$$

où:

- D = la charge permanente de la structure (kN/m),
- L = les surcharges d'utilisation (kN/m),
- Q = les charges dues au vent ou aux séismes (kN/m), et
- T = les efforts causés par les variations de température, le fluage, le retrait et les tassements différentiels (kN/m).

Pour les constructions agricoles, le coefficient de risque γ est égal à 0,8 et les charges Q ne sont pas considérées.

De plus les exigences de bonne tenue en service doivent être satisfaites, ce qui impose de respecter les valeurs limites des flèches.

Propriétés de la tige

La tige composite utilisée ici est constituée de fibre de verre imprégnée de résine polyester et vinyle ester dans un mélange de l'ordre de 3 pour 1 (Pultrall Inc 1992). Le coeur est constitué d'une tige de polyester-verre fabriquée par pultrusion

Tableau I: Propriétés des matériaux d'armature

Propriétés	Composite	Acier
Densité (kg/m ³)	1500 à 1700	7800
f _y (MPa)	690	200 - 400
E (MPa)	44820	200 000
ε _y	0,0154	0,001 - 0,002

alors que la couche extérieure est constituée d'un enroulement de fibre de verre et d'un revêtement en résine de vinyle ester anti-corrosive. Le diamètre des tiges varie de 6 mm à 25 mm et son prix en 1992 variait de 2,35\$ à 15,10\$ du mètre linéaire. Le tableau I résume les différentes propriétés du composite et de l'acier.

APPROCHE THÉORIQUE

Choix des paramètres

Contrairement à l'acier qui subit une déformation plastique avant sa rupture le composite a un comportement semblable à celui du béton. Par conséquent, la tige de composite flanche sans prévenir. Connaissant très peu les caractéristiques du composite, le coefficient de réduction de la résistance du composite (Φ_c) a été posé à 0,6 (identique à celui du béton (Φ_b)), en comparaison avec 0,85 pour l'acier.

Dans le cas du composite, vu sa résistance à la corrosion, il y a lieu de tolérer une flèche supérieure (soit de $L/180$ au lieu de $L/360$) et un recouvrement très léger, environ 20 mm au lieu de 50 mm. De même, pour tirer le maximum des avantages de cette tige, la largeur de fissures ne sera pas considérée.

Étapes de calcul

Les principales étapes de calculs pour le dimensionnement des lattes armées de tiges composites, selon le modèle proposé, sont les suivantes.

- 1) Choisir les dimensions arbitraires de la latte (h, b, L, \dots)
- 2) Trouver l'aire de la section d'armature de composite requise ($A_c \text{ req}$) pour résister aux charges et surcharges appliquées (Éq. 2).

$$A_c \text{ req} = \frac{M_f x 10^6}{\Phi_c f_{yc} x (d - a/2)} (m^2) \quad (2)$$

où:

M_f est le moment pondéré et les autres paramètres sont illustrés par la figure 1. L'équation 3 donne la position de l'axe neutre, l'axe le long duquel les déformations sont nulles (contraintes nulles) à l'état d'équilibre, et ce, pour les déformations unitaires limites des matériaux.

$$\frac{c}{d} = \frac{\epsilon_b}{(\epsilon_b + \epsilon_{yc})} \quad (\text{CPCA 1985}) \quad (3)$$

où $\epsilon_{yc} = \epsilon_c$

- 3) Évaluer la quantité et les dimensions des barres d'armature disponibles ($A_c \text{ disponible}$), qui peuvent rencontrer les exigences de l'armature requise. Différents agencements peuvent être possibles, il s'agit de faire un choix en fonction du prix proposé par le détaillant pour chacune des tiges.

- 4) Trouver la valeur de ρ , et faire en sorte que sa valeur soit égale ou légèrement supérieure à celle de $\rho_{\text{balancé}}$.

$$\rho = A_c \text{ disponible} / b d \geq 0,512\% \quad (4)$$

- 5) Vérifier la déflexion.

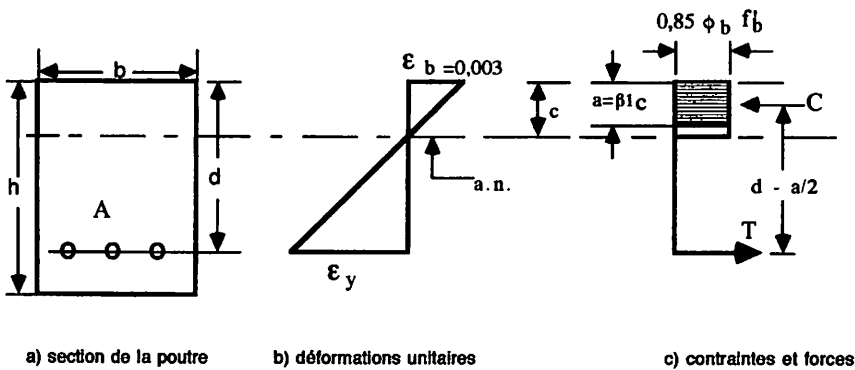


Fig. 1. Diagramme des contraintes, des déformations unitaires, et des forces agissant sur la section d'une poutre armé d'acier.

La déflexion est le facteur limitatif majeur dans le cas du composite. L'expression de la flèche utilisée est la même que pour le béton armé d'acier et elle est calculée conformément au CPCA (1985).

6) Vérification du moment résistant de la section.

La déformation unitaire du béton est fixée à 0,003 mm/mm. La déformation unitaire réelle du composite est déterminée lorsqu'il y a équilibre entre la tension dans l'armature et la compression dans le béton. Donc:

$$C = T \quad (5)$$

où;

$$C = 0,85 \phi_b f_b b_r a \quad (6)$$

$$T = A_c f_c \quad (7)$$

Le moment résistant est donné par l'Éq. 8

$$M_r = T (d - a/2) \quad (8)$$

7) Analyse des contraintes provoquées par l'effort tranchant.

L'effort tranchant (V_{pond}) peut entraîner la rupture prématurée d'une poutre avant que celle-ci ne puisse atteindre sa résistance maximale en flexion.

Cette situation se produit si la poutre n'est pas adéquatement dimensionnée pour résister à l'effort tranchant. Il est important de déterminer la résistance pondérée à l'effort tranchant de la section de la latte (V_r) à l'aide de l'Éq. 9. Dans le présent cas, le béton doit reprendre la totalité de l'effort tranchant puisque l'armature de cisaillement en composite n'est pas disponible.

$$V_r = V_b = 0,2 \lambda \phi_b (f_b')^{0,5} b_r d \quad (\text{CPCA 1985}) \quad (9)$$

EXEMPLES

Les calculs sont effectués pour des longueurs de lattes variant de 2400 à 3600 mm. Ces lattes sont similaires à de petites poutres simplement appuyées aux extrémités. La hauteur des lattes fut limitée à 250 mm pour ne pas avoir à insérer des étriers (CPCA 1985) et la résistance en compression du béton fut fixée à 30 MPa. La figure 2, illustre un arrangement possible des tiges composites dans une latte.

Les charges de calcul utilisées sont celles recommandées

par le CCCBA (CNRC 1990b). Le poids de la latte est évalué à partir d'une masse volumique du béton de 2400 kg/m^3 , la surcharge due à la machinerie est concentrée sur la latte et est de 6,13 kN. La surcharge due au bétail est uniformément répartie sur la latte et possède une valeur de 4,5 kN/m. Aucun effet dû aux charges T n'est considéré. Les charges réelles pour le calcul de la flèche sont obtenues par simple addition tandis que les charges pondérées sont évaluées à partir de l'équation (1) en posant T et Q égal à zéro. Les coûts ont été évalués à partir des prix suggérés par le CREAQ (1990).

Le Tableau II regroupe les principales valeurs obtenues à partir des étapes et des paramètres présentés précédemment.

DISCUSSIONS

Il est important de remarquer les différences entre les lattes armées d'acier et celles armées de composite. Ces différences sont notables surtout au niveau de l'armature nécessaire pour conserver une déflexion adéquate. Une différence de prix importante est notée entre les lattes de béton armées de composite et celles armées d'acier. Cette différence est principalement reliée au prix de la tige elle-même.

La déflexion est le facteur limitatif d'un design de lattes de béton armées de composite. Car, pour une section d'armature de composite égale à celle de l'acier sur un même spécimen de béton armé, la déflexion de la latte armée de composite est un peu moins du double de celle armée d'acier.

Pour la résistance en cisaillement, pour les lattes armées de composite de 3000 et 3600 mm, l'augmentation de la section de béton est impossible étant donné que des étriers seraient requis mais n'existent pas. Donc, l'effort tranchant peut devenir un facteur limitatif lorsque des lattes soumises à des charges importantes nécessiteraient de l'armature de cisaillement.

L'utilisation de béton à haute résistance n'est pas appropriée dans notre cas. Car si un béton à haute résistance est employé (ex.: 70 MPa) la tige composite pourra utiliser au maximum sa propre résistance en tension sans que le béton flanche en compression contrevenant ainsi aux hypothèses de base des calculs. Par contre, si lors des calculs une résistance pondérée inférieure à l'effort tranchant est obtenue, l'utilisation d'un béton de résistance légèrement plus élevée peut être appropriée et ce, seulement si la déflexion obtenue le permet.

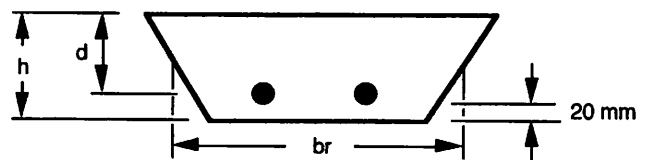


Fig. 2. Vue en coupe d'une latte de béton, armé de composite.

Tableau II: Résultats de calcul du dimensionnement des lattes*

Matériau d'armature	Latte (mm)		Moment (kN•m)		Barres (mm)		Déflexion (mm)		ρ (%)	Prix latte (\$/m.lin.)
	longueur	hauteur	pondéré	non-pondéré	nb	diam.	Δ	Δ max.		
composite	2400	225	8,900	7,936	2	9,5	8,44	13,33	0,566	18,34
acier	2400	200	8,833	7,344	1	#20	5,41	6,67	1,15	10,34
composite	3000	250	12,630	10,490	2	12,5	13,79	16,67	0,878	33,32
acier	3000	250	12,630	10,490	1	#20	6,09	8,33	1,15	15,11
composite	3600	250	16,860	14,002	2	19,0	19,23	20,00	2,057	76,67
acier	3600	250	16,860	14,002	1	#25	9,30	10,00	1,15	21,66

* Tous les calculs ont été réalisés avec une résistance en compression du béton de 30 MPa.

CONCLUSION

En regard des calculs, une section d'acier pourra être remplacée par une section de composite similaire, et être en deçà des normes limitatives établies préalablement, c'est-à-dire au niveau de la déflexion et de l'effort tranchant. De façon théorique, les sections étudiées demeurent sécuritaires en ce qui concerne le rapport de l'aire de l'armature de composite tendue à l'aire "bd" du béton. Cependant, il n'est pas recommandé pour le moment de construire des lattes de ce type. Il faudra attendre des normes ou des résultats d'études spécifiques.

Puisque le comportement en flexion peut être valide pour des essais (Porter et Barnes 1991), des essais simples en flexion pourraient vérifier notre approche. De simples mesures de flèche exécutées sur plusieurs lattes permettraient de rendre possible l'utilisation de ce type de lattes à brève échéance tout en espérant la venue de normes spécifiques.

Remerciements

Nous tenons à remercier M. Michel Pigeon, professeur du Département de génie civil de l'Université Laval et M. Henri Maheux du Service du Génie au MAPAQ, pour leur disponibilité et leurs judicieux conseils.

BIBLIOGRAPHIE

Alexanderson, J. 1990. Self-smoothing floors based on polymer cement concrete. *Concrete Institute* 12(1):49-51.

Anon. 1988. Latex-modified concrete. *Indian Concrete Journal* 62(6):278-279.

Bruggeling, A. 1988. New materials for the precast concrete industry, part 2. *Betonwerk und Fertigteil-Technik* 54(10):51-55.

Chaallal, O. et B. Benmokrane. 1991. Physical and Mechanical Performance of an Innovative Glass-Fiber Reinforcing Plastic Rod. Département de Génie Civil, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC.

CNRC. 1990. Code National du Bâtiment du Canada (C.N.B.). Conseil National de Recherches Canada, Ottawa, ON.

CNRC. 1990. Code Canadien de Construction des Bâtiments Agricoles (CCCBA). Conseil National de Recherches Canada, Ottawa, ON.

CPCA. 1985. *Concrete Design Handbook*. Canadian Portland Cement Association, Toronto, ON.

CREAQ. 1990. Le Comité de Références Economiques en Agriculture du Québec. Publié par le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec, QC.

Faza, S. et H.V.S. Gangarao. 1991. Bending response of beams reinforced with FRP rebars for varying concrete strengths. In *ASCE Conference Proceedings (Material Engineering Division)*, 262-270. Las Vegas, NV.

Kessler, R.J. et R.G. Powers. 1988. Corrosion of Epoxy Coated Rebar Keys Segmental Bridges. Florida Department of Transportation, Materials Office, Corrosion Research Laboratory, Gainville, FL.

Porter, M.L. et B. A. Barnes. 1991. Tensile testing of glass fiber composite rod. In *ASCE Conference Proceedings (Material Engineering Division)*, 123-131. Las Vegas, NV.

Pultrall Inc. 1992 Isorod technical data. Thetford Mines, Québec, QC.

Roll, R.D. 1991. Use of GFRP Rebar in concrete structures. Advanced composites material in Civil engineering structures. In *ASCE Conference Proceedings (Material Engineering Division)*, 93-98. Las Vegas, NV.