
Modélisation analytique du comportement des dalles de béton renforcées par des patchs composites sous une charge excentrée de poinçonnement.

Fatma Kheloui-Taouche¹, Kamal Ait tahar², F.Zohra Djellad¹, Ourdia Belaidi¹

¹ Laboratoire de Modélisation expérimentale et numérique des Matériaux et Structures en Génie Civil (LaMoMS). Département de Génie Civil; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Algérie (fatma_kheloui@yahoo.fr)

² University Akli Mohand Oulhadj of Bouira – Laboratory LM2D, Algeria.

RÉSUMÉ. Dans le cas général, la prise en compte du comportement d'un matériau jusqu'à la ruine permet une conception plus optimisée en utilisant des modèles beaucoup plus prédictifs. Dans le cadre de notre étude, nous présentons quelques résultats de la démarche modélisation analytique menée pour analyser le comportement de dalles en béton non armées, renforcées sur la face extérieure par des patchs composites en liège, de dimensions variées sous l'effet d'un chargement vertical progressif excentré, avec un pas de $(1/3)L'$ et $(2/3)L'$ par rapport au centre de gravité de la dalle. A cet effet plusieurs dimensions des patchs composites sont considérées, à savoir : $(6 \times 4) \text{ cm}^2$, $(12 \times 8) \text{ cm}^2$ et $(18 \times 12) \text{ cm}^2$. Les résultats montrent que les dimensions du patch composite ont une influence directe sur la déformée avant la rupture.

ABSTRACT. In the general case, the taking into account the behavior of a material up to ruin allows a more optimized design using much more predictive models. As part of our study, we present some results of the analytical modeling approach carried out to analyze the behavior of reinforced concrete slabs on the outer face by cork composite patches, of various dimensions under the effect of an eccentric progressive vertical load, with a pitch of $(1/3)L'$ and $(2/3)L'$ in relation to the slab center of gravity. For this purpose several dimensions of the composite patches are considered, namely : $(6 \times 4) \text{ cm}^2$, $(12 \times 8) \text{ cm}^2$ and $(18 \times 12) \text{ cm}^2$. The results show that the dimensions of the composite patch have a direct influence on the distortion before breaking.

MOTS-CLÉS : dalle, renforcée, composite liège, poinçonnement, modélisation analytique.

KEY WORDS : slab, reinforced, composite cork, punching, analytical modeling.

1. Introduction

L'analyse du comportement des dalles en béton armé sollicitées par un chargement vertical progressif de poinçonnement est un thème très actuel. Les accidents récents montrent clairement l'importance du phénomène. Le poinçonnement est un mode de rupture caractérisé par une rupture fragile qui se produit sans déformation plastique conduisant à un effondrement de la dalle en béton armé. La maîtrise et la connaissance des différents paramètres influençant ce phénomène permet d'assurer la sécurité structurale dans la conception moderne des bâtiments « planchers dalles ».

Les dalles en béton armé lorsqu'elles sont soumises à ces charges ponctuelles, elles développent des résistances plus au moins faibles. La rupture par poinçonnement est due à l'effort tranchant développé dans la zone fortement comprimée [TAL 13] [EL H 04]. Dans la plupart des cas, les détériorations du matériau béton entraînent des pertes de résistance et autres faiblesses qui nécessitent un renforcement de la structure pour améliorer les caractéristiques mécaniques des éléments qui la composent [MEN 96]. Le recours aux matériaux composites pour le renforcement de ces dalles soumises au poinçonnement semble être une solution fort prometteuse [J.M.B 05]. Le matériau composite peut être utilisé généralement sous formes de bandes réparties sur la face tendue dans la direction du chargement, des plaques collées au centre de la dalle pour couvrir la zone la plus sollicitée ou en stratifiées réparties sur la totalité de la surface de dalle [RAB 02] [SHA 96] [ERI 95]. Le renforcement par des patchs composites peut être considéré comme une solution vis à vis de la flexion et du poinçonnement.

Nous présentons, dans cette étude, un modèle analytique qui permet de prédire le comportement des dalles non armées, de dimensions 28x23x3cm³, renforcées par des patches composites, collés sur la sous face de la dalle, soumises à un chargement vertical progressif de poinçonnement excentré. La charge verticale ponctuelle produit un effort tranchant dans la zone fortement comprimée autour de la surface d'application de l'effort vertical. Le développement de ce modèle, est basé sur des résultats expérimentaux obtenus à partir d'essais réalisés à température ambiante sur une machine de marque IBERTEST, ces essais sont pilotés jusqu'à la rupture à vitesse de traverse constante fixée à 10 mm/min soit 0.1KN/s pour assurer une bonne reproductibilité des résultats. Plusieurs variantes (surfaces renforcées) sont considérées. Le patch composite est toujours collé sous le point d'application de la charge. Pour étudier l'influence de la surface du patch composite (S_p) sur le mode de rupture de la dalle, deux excentricités de la charge verticale, avec un pas de (1/3) L' et (2/3) L', par rapport au centre de gravité de la dalle, sont considérées avec L' : diagonale de la surface de la dalle. Les sections des patches sont calculées de façon que le rapport X_p/Y_p du patch soit proportionnel à X_D/Y_D de la dalle, avec un pas de 6cm dans le sens longitudinal et de 4cm dans le sens transversal [TAO 15] [TAO 16] [TAO 17] [TAO 16]. Le patch composite est toujours appliqué sous la charge verticale progressive de poinçonnement.

2. Présentation des spécimens

Les matériaux composites, utilisés dans le renforcement des dalles non armées de dimensions 28x23x3cm³, sont des patches en liège. Les plaques composites sont réalisées à partir du mélange résine époxy accompagnée de son durcisseur et des renforts, selon la fiche technique proposée par le constructeur.

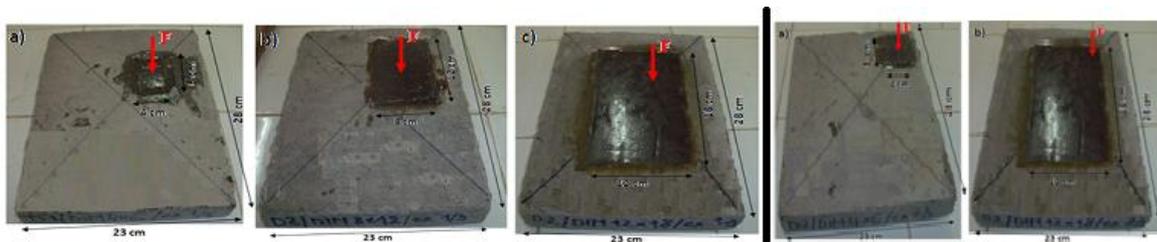


Figure 1. Dalles en béton renforcées: I) cas de charge excentrée à 1/3 L', a) Patch (6x4) cm, b) Patch (12x8) cm, c) Patch (18x12) cm. et II) cas de charge excentrée à 2/3 L', a) Patch (6x4) cm, b) Patch (18x12) cm.

Tableau 1. Caractéristiques du liège; Caractéristiques du béton en compression.

Caractéristiques	Tolérance		
Densités	0,24g/cm ³	Résistance à la compression à 28j f _{cj} (Mpa)	31,35
Granulométries	4 / 8 mm	Limite élastique (Mpa)	27,43
Coefficient de conductibilité thermique 20°C	ε = 0,040 W/m ² K	Module d'élasticité E _{c0} (Mpa)	33174
Réaction au feu	Très difficilement inflammable.	Coefficient de poisson μ	0,14
Attaque des insectes, rongeurs et autres	Peu propice.		
Temps de déphasage chaud/froids	+/- 12 heures		
Résistance à la conductibilité de la chaleur	R = 0,5 / 0,75 / 1 / 1,25m ² K/W		
Chaleur spécifique	1,67 KJ/Kg ² C		
Résistance à la flexion	1,8 Kg/cm ²		
Résistance à la compression	0,20 Kg/cm ²		

3. Modélisation analytique

3.1. Modèle proposé

Pour mieux comprendre le comportement des dalles non armées, renforcées par des patches composites, nous avons utilisé, dans ce qui suit, le mécanisme de rupture d'un élément dalle, proposé par les auteurs Kinnunen et Nylander [KIN 60]. D'après le mécanisme de rupture selon Kinnunen et Nylander [KIN 60], l'élément de dalle extérieur au cône de poinçonnement, délimité par la fissure de poinçonnement et deux fissures radiales, est retenu par l'armature supérieure et est appuyé sur un voile conique comprimé. Ce voile conique se développe entre la colonne et le fond de la fissure de poinçonnement.

La charge de rupture dans le béton non armé doit satisfaire à la condition de non poinçonnement, donnée par l'Eurocode, voir formule ci-dessous:

$$F_r = 0.045 \times U_c \times d \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b} \quad [1]$$

Si l'on suppose que, le patch composite contribue à la reprise de l'effort vertical, de manière proportionnelle à la surface renforcée, fonction des propriétés mécaniques du composite utilisé. La force reprise par le patch composite peut être estimée par la relation (2) :

$$F_{composite} = \alpha \times F_c = \left(\frac{S_i}{S}\right)^{0.2} \times \sigma \times e \times b \quad [2]$$

Vu que le chargement est excentré, on se propose d'introduire un facteur d'excentricité de la charge sous la forme suivante :

$$\left(1 + \frac{1}{4} \times \frac{|e_x| + |e_y|}{\sqrt{b_x \times b_y}}\right) \quad [1]$$

Tels que:

e_x et e_y : sont les excentricités de la force selon les axes x et y, respectivement;

b_x et b_y : sont les longueurs de la surface du rectangle d'impact au feuillet moyen.

En considérant l'état de non-poinçonnement et en introduisant ce facteur d'excentricité dans les relations précédentes, la valeur de la résistance à la rupture peut être estimée par la relation (2): Tenant compte de l'excentricité de la charge dans l'estimation de la valeur de la résistance à la rupture des dalles en béton renforcées par des patchs composites, on considère:

$$F_r = \left(0.045 \times U_c \times d \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b} + \left(\frac{S_i}{S}\right)^{0.2} \times \sigma \times e \times b\right) \times \left(1 + \frac{1}{4} \times \frac{|e_x| + |e_y|}{\sqrt{b_x \times b_y}}\right) \quad [2]$$

Avec: σ : La contrainte de traction du composite, f_{cj} : résistance à la compression du béton, e : épaisseur du patch composite, b : largeur du patch composite, S_i : surface du patch composite, S : surface du béton dalle, γ_b : coefficient de sécurité appliqué à la résistance du béton et U_c : le périmètre du contour au niveau de la couche moyenne.

Tenant compte des valeurs de la contrainte de traction du composite liège et de la résistance du béton en compression, donnée par les essais, les différents résultats obtenus par l'application de la relation (4) sont illustrés par le tableau ci-dessous et les figures 3. Une confrontation avec l'expérimental est réalisée pour estimer l'erreur et valider le modèle proposé.

Tableau 2. Confrontation des résultats expérimentaux et théoriques.

	Excentricité (e)	Désignation	Dimensions (cm ²)	V. expéri. [Kn]	V. théor. [Kn]	Erreur %
Dalle de Référence	1/3	DRef 1/3	D : 28x23	6,12	6,17	0,81
	2/3	DRef2/3		8,58	7,87	8,27
Dalle renforcée par un patch composite « Liège »	1/3	DRCL1e1/3	P=6x4	7,25	7,67	5,47
	2/3	DRCL1e2/3	P=6x4	10,89	9,79	10,1
	1/3	DRCL2e 1/3	P=12x8	8,13	10,11	19,58
	2/3	DRCL2e2/3	P=12x8	-	-	-
	1/3	DRCL3e 1/3	P=18x12	8,55	13,1	34,58
	2/3	DRCL3e2/3	P=18x12	9,27	16,71	44,5

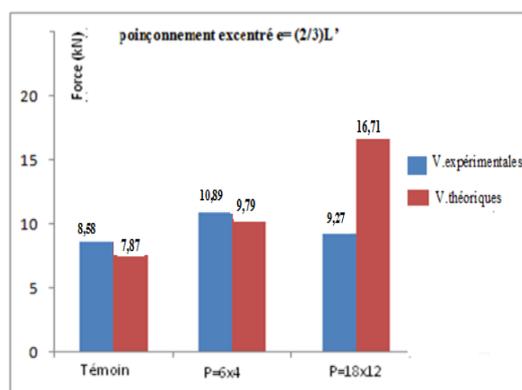
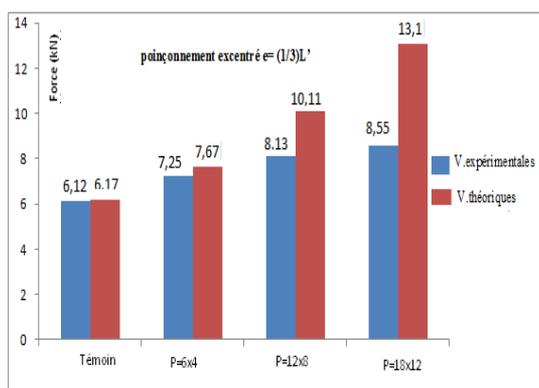


Figure 2. Histogramme des valeurs : Charge excentrée à 1/3L'; Histogramme des valeurs: Charge excentrée à 2/3L'.

A partir de ces résultats, on peut remarquer que, plus les dimensions du patch et le facteur d'excentricité augmentent, plus l'erreur est importante. Aussi, dans le cas d'un poinçonnement très excentré, il est préférable d'utiliser un patch de petite dimension, pour renforcer juste la surface assujettie à la charge verticale.

4. Conclusion

Les modèles proposés permettent de décrire convenablement le comportement global des dalles renforcées par des patches de dimensions relativement moyennes par rapport aux dimensions des dalles.

Le modèle proposé permet d'estimer correctement les valeurs limites de la résistance de rupture des dalles en béton renforcées par des patches composites.

Lorsque les dimensions du patch composite sont réduites, on observe une très bonne concordance entre les résultats donnés par le modèle et ceux donnés par les essais mécaniques.

Aussi, dans le cas d'un poinçonnement très excentré, il est préférable d'utiliser un patch de petites dimensions, pour renforcer juste la surface assujettie à la charge verticale.

Les dimensions géométriques du patch ont donc une influence directe sur la résistance.

Pour ce cas du poinçonnement excentré, le facteur d'excentricité influe directement sur l'erreur comise par le modèle proposé.

D'autres essais sont nécessaires pour mieux optimiser les paramètres des modèles proposés.

5. Bibliographie

- [EL H 04] EL HOUSSAIN R., Contribution à l'analyse de comportement mécanique de dalle en béton armé renforcées par des matériaux composites, thèse de doctorat l'université clude benard-lyon1, 2004.
- [ERI 95] ERIK M.A., HEFFERNAN P. J., *Reinforced concrete slabs externally strengthened with FRP materials*, Taerwe L. editor, London, p. 509-516, 1995.
- [J.M.B 05] J.M. BERTHELOT., *Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures*, Editions Lavoisier, ISBN: 2-7430-0771-0, 2005.
- [MEN 96] MENÉTREY Ph., « Analytical computation of the punching strength of reinforced concrete », *ACI Structural journal*; vol. 93, N° 5, p.503-511, 1996.
- [KIN 60] KINNUNEN ET NYLANDER., «Punching of concrete slabs without shear reinforcement». *Transactions of Royal Institute Technology, N0 158, Stockholm, 1960.*
- [RAB 02] RABINOVITCH O., AND FROSTIG Y., «High-order behavior of fully bonded and delaminated circular sandwich plates with laminated face sheets and a "soft" core», *International Journal of Solids and Structures, Volume 39, Issue 11, Pages 3057-3077 June 2002.*
- [SHA 96] SHAHAWY M.A. ET AL., «Experimental investigation on structural repair and strengthening of damaged prestressed concrete slabs utilizing externally bonded laminates», *Composite B, 27(3-4):217-24, 1996.*
- [TAL 13] TALBOT A.N., Reinforced Concrete Wall Footings and Column Footings, Engineering Experiment Station. University of Illinois, Bulletin 67, USA, 1913.
- [TAO 15] TAOUICHE-KHELOUI. F, AND AL «Behavior of Concrete Slabs Reinforced with Composite Patch Under Centric Punching Load», *Elsevier, Procedia Engineering Volume 114 (2015) pp 255 – 262, www.sciencedirect.com. ISSN: 1877-7058, doi: 10.1016/j.proeng.08.066, 2015.*
- [TAO 16] TAOUICHE-KHELOUI. F, AND AL «Influence of the drop height of a mass on the behavior of a concrete slab reinforced by a composite cork plate: Numerical Analysis». *Journal of Materials. Processes and Environment December edition. Vol.3. No2. ISSN: 2335-1020, 2016.*
- [TAO 17] TAOUICHE-KHELOUI. F, AND AL «Modeling and parametric analysis of the behavior of reinforced concrete slabs by composite patches under the centered punching load», *14th International Conference on Fracture (ICF 14) June 18-23, Rhodes, Greece, 2017.*
- [TAO 16] TAOUICHE-KHELOUI. F, AND AL « Numerical analysis of the strengthening reinforced concrete slab subjected to the drop of a mass », *16th International Conference on New Trends in Fatigue and Fracture (NT2F16) , Dubrovnik, Croatia, May 24-27, 2016.*