

CALCUL DES PANNEAUX DE DALLE EN BETON ARME ETUDE COMPARATIVE ET PROPOSITIONS

Par

N. CHIKH et H. HOUARI

Docteurs, Institut de Génie Civil, Université de Constantine

Résumé

L'étude comparative du calcul structurel des panneaux de dalle en béton armé contenu dans certaines normes réglementaires représentatives, révèle des divergences très intéressantes.

Cet article analyse les plus importantes de ces différences (en considérant les règlements BAEL, ACI et BS) et conclut, à la lumière de cette comparaison, par des propositions comme contribution à l'élaboration d'une réglementation Algérienne pour le calcul des panneaux de dalle en béton armé.

Mots clés : dalle • règlement • rapport de portées • moments • rigidité relative • bandes.

1 INTRODUCTION

Les planchers constitués de panneaux de dalle en béton armé sont des éléments très répandus dans les constructions courantes où ils accomplissent un rôle structurel de première importance. Leur analyse est effectivement assez difficile puisqu'il s'agit d'éléments plans chargés transversalement, subissant en plus les effets d'interaction avec leurs supports [1] [2]. Néanmoins, ils ont fait l'objet depuis le début de ce siècle d'un nombre considérable de travaux de recherche recouvrant les différents aspects du problème [3] [4].

L'essentiel des résultats de ces recherches a d'ailleurs constitué les fondements qui ont conduit à l'élaboration de procédures réglementaires permettant d'effectuer leur calcul avec une sécurité suffisante. Chacune de ces procédures contient les différents aspects du calcul de dalles à savoir les règles : de dimensionnement, de calcul de sollicitations, de disposition de ferraillages, etc. Cependant, en procédant à une comparaison de l'approche du calcul structurel

établie dans les normes réglementaires BAEL 91 [5], BS8110 [6] et ACI-318-83 [7], on constate des différences très intéressantes qui méritent d'être examinées.

L'objectif de cet article est d'exposer et d'analyser les principales différences constatées telles que : la limite de l'action bi-directionnelle, l'influence de la rigidité relative des supports, la division du panneau de dalle en bandes, etc. Et de conclure par des propositions comme contribution à l'élaboration d'une réglementation Algérienne dans ce domaine.

2 STRUCTURE ETUDIEE

L'élément de structure examiné dans cette étude est un panneau de dalle pleine de forme rectangulaire ; reposant le long de ses cotés sur des poutres rigides et soumis à une charge uniformément répartie (Figure 1). Sous l'effet de cette dernière ; le panneau présente un comportement de dalle travaillant dans les 2 directions orthogonales (action bi-directionnelle).

3 NORMES REGLEMENTAIRES

L'étude comparative est effectuée en considérant les normes suivantes :

Les règles BAEL (France) : la méthode de calcul des panneaux de dalle est développée à partir d'une analyse élastique supposant les appuis comme infiniment rigides. Elle a en outre un caractère d'application générale puisqu'aucune condition particulière n'est préalablement requise.

Les règles ACI (Etats-Unis) : l'approche, désignée par la méthode de calcul direct (Direct Design Method), est également dérivée d'une analyse élastique mais où la rigidité relative des appuis est prise en considération [8]. Son application exige en premier

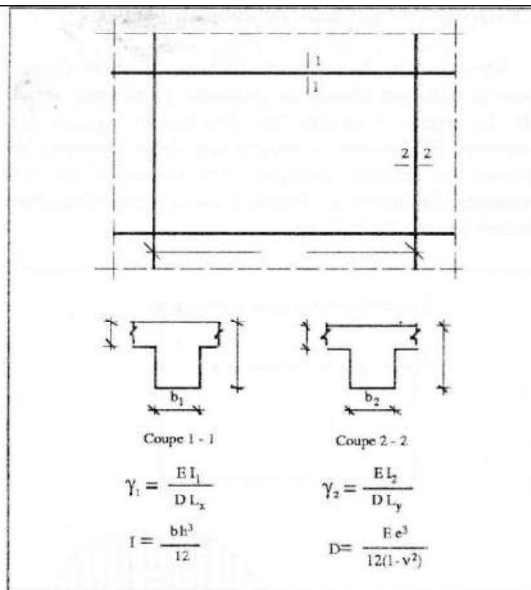


Figure 1 : Dimensions géométriques d'un panneau de dalle continu.

lieu la vérification d'un nombre de conditions relatives aux rapports des portées de panneaux adjacents, au nombre de panneaux dans chaque direction, au rapport des charges d'exploitation et des charges permanentes, etc.

Les règles BS 8110 (Grande Bretagne) : la méthode de calcul des panneaux de dalle est développée à partir d'une analyse limite à savoir la méthode des lignes de rupture [9]. Son application est limitée aux planchers dont les panneaux adjacents présentent peu de variation dans les portées et dans les chargements.

Il faut souligner que les coefficients des moments fléchissants donnés dans chaque règlement ont été établis en réconciliant les valeurs théoriques avec les résultats expérimentaux.

Le choix de ces règlements est justifié par le fait qu'ils soient, d'une part, de renommée et de stature bien établies et, d'autre part, représentatifs des différents règlements existants.

4 ETUDE COMPARATIVE

En procédant à une comparaison qualitative des procédures de calcul structurel des panneaux de dalle en béton armé décrites dans les normes réglementaires citées précédemment, on constate entre autres les points particuliers suivants :

4.1 Limites de l'action bi-directionnelle

Les règles ACI et BS considèrent qu'un panneau de dalle travaille dans les 2 directions orthogonales

lorsque le rapport de ses portées est compris entre 0.5 et 2.0. Dans les règles BAEL ce rapport est fixé entre 0.4 et 2.5. En examinant les coefficients de moments ultimes établis par les règles BAEL pour des rapports de portées compris 0.4 et 0.5 (ou autrement entre 2.0 et 2.5) on remarque que :

- a) les moments le long de la petite portée sont peu variables.
- b) les moments le long de la grande portée ne sont pas indiqués à cause de leur faible intensité. Ils sont d'ailleurs inférieurs aux moments résistants développés par le ferrailage minimal.

Ainsi, les limites de l'action bi-directionnelle établies par les règles BAEL paraissent assez excessives.

4.2 Rigidité relative des appuis

Les moments de calcul indiqués dans les règles BAEL et BS sont établis à partir d'analyses de panneaux de dalle considérant leurs appuis comme étant infiniment rigides. L'influence de la variation de la rigidité relative des supports γ n'est donc pas prise en compte. Or les études effectuées sur l'action composée dans les panneaux poutres-dalle [2] [10] [11] montrent que cette influence est très importante. A ce titre, la Figure 2 illustre l'effet de variation de γ sur le comportement d'un panneau carré singulier.

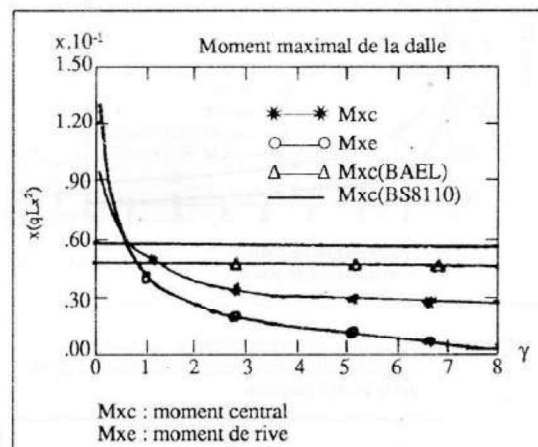


Figure 2 : Influence de la variation de la rigidité des supports sur les moments de la dalle

On constate que :

- ▼ Pour des petites valeurs de γ ($\gamma < 0.5$), poutres flexibles, les moments obtenus sont largement supérieurs aux valeurs données par les règles BAEL ou BS. En fait, la dalle a tendance dans cette situation à avoir un comportement structurel similaire à celui d'un panneau de plancher dalle (sans poutres).
- ▼ Pour de grandes valeurs de γ ($\gamma > 2$), poutres rigides, les moments obtenus sont inférieurs aux valeurs données par les règles BAEL ou BS.

- ▼ Pour des valeurs de γ intermédiaires, poutres relativement rigides, il existe une certaine concordance entre les moments obtenus et les valeurs données par les règles BAEL et BS.

Il apparaît donc nécessaire de formuler une condition de rigidité relative des supports (γ) et d'exiger son respect comme préalable à l'utilisation des coefficients de moments comme ceux donnés par les règles BAEL. Dans ce contexte, certaines expressions sont déjà proposées :

$$\gamma_1 \gamma_2 \geq 0.5 \quad [11]$$

$$h \geq 3e \quad [12]$$

$$\alpha_1 L_2 / L_1 \geq 1 \quad [7]$$

Dans la dernière expression L_1 est la dimension du panneau dans la direction considérée et le terme α est similaire au terme γ mais concerne la section de la poutre composée (Té ou L).

Il faut souligner que cette proposition est également justifiée du fait de l'influence de la variation γ sur la déformation du panneau et la transmission des charges, comme l'illustrent les Figures 3 et 4.

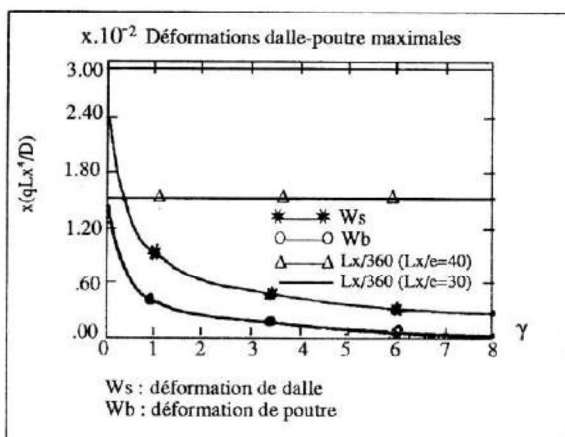


Figure 3 : Influence de la variation de la rigidité des supports sur la déformation maximale de la dalle et des poutres.

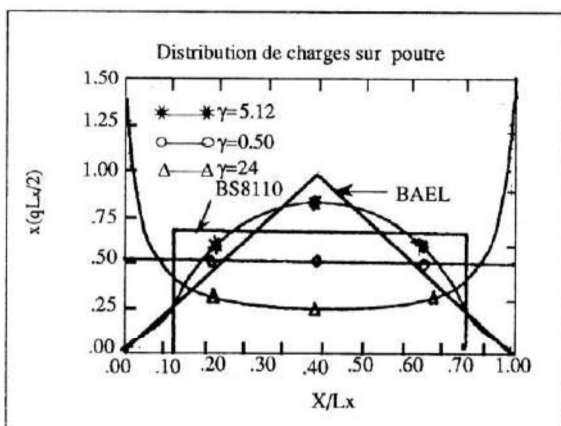


Figure 4 : Influence de la variation de la rigidité des supports sur la transmission des charges.

4.3 Division du panneau de dalle en bandes

Sous l'action d'une charge répartie, il se développe dans la dalle un champ de moments d'intensité variable. La Figure 5 montre une distribution typique des moments fléchissants à travers une dalle continue au niveau des sections critiques. On remarque que les moments diminuent en intensité en se rapprochant des parties de rive de la dalle.

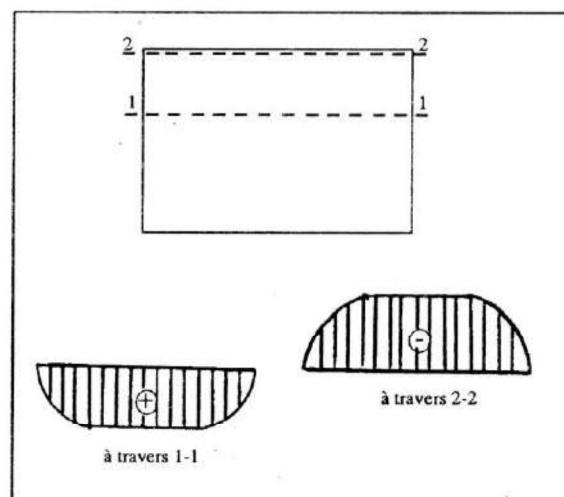


Figure 5 : Distribution des moments à travers une dalle continue au niveau des sections critiques.

Pour tenir compte de cette caractéristique, les règles BS8110 et ACI décomposent, selon les 2 directions, chaque panneau de dalle en une bande centrale et 2 bandes de rive, comme le montre la Figure 6. La largeur de ces dernières est égale chacune à $Lx/8$ pour les règles BS et à $Lx/4$ pour les règles ACI. Avec la disposition d'un ferrailage uniforme par bande, il en résulte une distribution de moments résistants à travers la dalle en forme d'escalier (puisque le ferrailage au niveau des bandes de rive est inférieur à celui de la bande centrale).

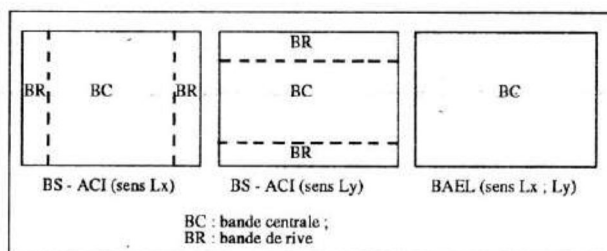


Figure 6 : Division réglementaire d'un panneau de dalle en bandes.

Les règles BAEL prévoient uniquement une bande dans chaque direction du panneau. La disposition d'un ferrailage régulier par bande conduit, dans ce cas, à un diagramme uniforme des moments résistants à travers la dalle.

Il apparaît clairement que l'approche de division de la dalle en bandes conduit à un calcul rationnel et économique se rapprochant de la réalité.

4.4 Etapes de calcul

Dans les règles BAEL, la procédure de calcul comporte 2 étapes. On détermine en premier lieu les moments isostatiques de la dalle en fonction du rapport L_x/L_y et de l'état limite considéré (service ou ultime). Ensuite on ventile ces moments en travée-appuis suivant des fractions préfixées dans chaque direction du panneau selon les conditions d'appuis.

Dans les règles BS, la procédure de calcul est réduite à une seule étape. En effet, les moments de panneaux présentant les 9 situations possibles de conditions d'appuis sont regroupés dans un seul tableau en fonction du rapport L_x/L_y . Les moments des bandes de rive ne sont pas indiqués, les règles leur prévoient uniquement un ferrailage minimal.

Dans les règles ACI, la procédure de calcul dans chaque direction du panneau de dalle est relativement laborieuse. En effet, on commence par évaluer le moment global du panneau puis on le ventile en travée-appuis suivant des fractions préfixées selon les conditions d'appuis. Ensuite, on effectue une distribution latérale des moments ventilés entre les différentes bandes du panneau en fonction du rapport des portées et du paramètre α .

On remarque que pour les règles ACI et BS les mêmes coefficients de moments sont à utiliser aussi bien pour l'état limite ultime que celui de service.

L'étude comparative des intensités de moments montre que les règles BAEL conduisent à un moment résistant global supérieur d'au moins 25% au moment sollicitant global. D'autre part, les moments en travée prennent une fraction plus importante que dans le cas des règles BS et ACI.

Ils est évident que la procédure des règles BAEL peut être simplifiée en la réduisant à une seule étape à la manière de celle des règles BS.

4.5 Conditions de non-vérification de flèche

Dans les règles BAEL et BS les mêmes conditions de non-vérification de flèche sont à utiliser pour une dalle travaillant soit dans une seule ou 2 directions. Ainsi, l'influence du rapport des portées sur la déformation de la dalle n'est pas prise en compte. Or les résultats analytiques [1] montrent clairement que la flèche d'un panneau travaillant dans les 2 sens est inférieure à celle d'un panneau travaillant dans un seul sens (pourvu que la charge et la petite portée restent inchangées). Cet aspect est d'ailleurs pris en considération dans les règles ACI, qui prévoient des valeurs d'épaisseur minimale pour non vérification de flèche

spécifique à chaque type de structure de panneau de dalle.

Ainsi, il apparaît que les règles de non-vérification de flèche sont également une source de divergence entre ces règlements.

5 CONCLUSIONS

La comparaison réglementaire effectuée a révélé des différences intéressantes dans l'approche du calcul structurel des panneaux de dalle en béton armé.

L'élaboration d'une réglementation Algérienne doit nécessairement s'inspirer des différentes normes existantes. Pour des raisons évidentes d'efficacité, le modèle de base pourrait éventuellement être celui des règles BAEL qui sont actuellement en vigueur dans notre pays. Dans cette perspective, on propose pour le calcul des panneaux de dalle en béton armé de remédier à certains aspects de ces règles dans le but de les améliorer. A la lumière des résultats de cette étude comparative, on propose :

- 1) D'adopter les limites de l'action bi-directionnelle du panneau de dalle prévues dans les règles ACI et BS, à savoir un rapport de portées entre 0.5 et 2.
- 2) D'établir une condition de rigidité relative des appuis dont le respect devient un préalable pour l'utilisation des coefficients de moments. Les expressions simples telles que : $\gamma_1 \gamma_2 \geq 0.5$ ou $h \geq 3e$ peuvent être adoptées à moins d'une étude approfondie.
- 3) De procéder à la division du panneau de dalle en bandes de rive et centrale dans les 2 directions. Prendre pour chaque bande de rive une largeur minimale de $L_x/8$ et un moment de calcul égal à 5% du moment de la bande centrale.
- 4) De réduire la procédure de calcul à une seule étape comme indiqué dans les règles BS.
- 5) D'introduire dans les conditions de non-vérification de flèche un coefficient réducteur qui reflète l'influence de l'action bi-directionnelle sur la déformation du panneau ①

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S.P Timoshenko et S.W Krieger : "Theory of plates and Shells". McGraw-Hill, London, 580 pp. 1959.
- [2] R.H Wood : "Studies in Composite Action, Part 2 : the Interaction of Floor and Beams in Multistorey Buildings". N.B.S, Research repaper N°22, HMSO., London, 1955.

- [3] M.A. Sozen et C.P. Siess : "Investigation of Multi-panel Reinforced Concrete Floor Slabs : design Methods - Their Evolution and Comparaison". Proc ACI, Vol. 60, pp. 999-1028, 1963.
- [4] R.H. Wood : "How Slab Design Has Developed in The Past, And What the Indications Are For The Future Development", ACI, Paper SP, pp.9-30, 1968.
- [5] Règles BAEL 91, Editions Eyrolles, Paris.
- [6] British Standard Institution : "Structural Use of Concrete, Part 1 : Code of Practice of Design and Construction". London, 1985.
- [7] American Concrete Institute : "Building Code Requirements for Reinforced Concrete". ACI (318-83), Detroit, 1983.
- [8] R. Park et W.L. Gamble : "Reinforced Concrete Slabs". Wiley Interscience, New York, 618 pp., 1980.
- [9] R. Taylor et al : "Coefficients for the design of slabs by the yield-line theory". Concrete, Vol. 3, pp. 171-172, 1969.
- [10] W.L. Gamble : "Moments in Beam Supported Slabs". Proc. ACI, Vol. 69, pp. 149-157, 1972.
- [11] N. Chikh : "Full Composite Action in Slab-beam Systems and the Development of Design Procedures". PhD Thesis, Univ. of Leeds, 1988.
- [12] American Concrete Institute et Building Requirements for Reinforced Concrete. ACI (318-63), Détroit, 1963.

➡ DANS LE PROCHAIN NUMERO

**UNE NOUVELLE ANALYSE DE VARIATIONS
DIMENSIONNELLES SPONTANÉES DES
MORTIERS D'ENDUIT TRAITÉS
AUX LIANTS HYDRAULIQUES**

Par :

**Abdelmalek BRAHMA
Charles Henri DETRICHE**

**RIGIDITE DE GAUCHISSEMENT, CENTRE
DE TORSION DE POUTRES A SECTION EN
DOUBLE T_e MINCE, AVANT ET APRES
FISSURATION DE FLEXION**

Par :

Nacer Eddine HANNACHI