

Modèle "Dalle+Poutres" pour le calcul des ponts

Autor(en): **Bouberguig, Amar / Rossier, Stéphane**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **122 (1996)**

Heft 9

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78838>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Modèle « Dalle+Poutres » pour le calcul des ponts

Par Amar Bouberguig, ing. civil EPFL, Dr ès sciences, et Stéphane Rossier, ing. civil EPFL, MAPS Diffusion SA, 1052 Le Mont-sur-Lausanne, Suisse

1. Introduction

Une grande partie des ponts courants sont basés sur un système statique constitué d'une dalle posée sur des poutres maîtresses. Cela concerne essentiellement les ponts-dalles sur poutres préfabriquées ou métalliques (ponts mixtes, fig. 1), mais également les ponts coulés sur place.

Les modèles de calcul généralement utilisés ne donnent pas entière satisfaction et les résultats sont souvent difficiles à interpréter. La « grille de poutres », modèle le plus connu, nécessite un travail préliminaire de calibrage. Cela concerne essentiellement l'inertie des barres transversales et la conversion des charges réparties en charges linéaires. Au niveau des résultats, la flexion transversale, les moments de torsion et les efforts tranchants sont très difficiles à interpréter. Ces problèmes se font particulièrement aigus dans le cas de ponts biais ou courbes. (voir [1]¹ chap. 9)

A l'opposé, un calcul en poutre continue est d'un usage plus simple, mais ne permet aucune analyse transversale de l'ouvrage. Le modèle *Dalle+Poutres* proposé ici permet, de façon simple et directe, de tenir compte en même temps des effets longitudinaux et transversaux. Il est composé d'éléments « dalle » et de « nervures ». Les résultats – déplacements et efforts – sont donc directement utilisables par l'ingénieur. Par ailleurs, la formulation des données est particulièrement simple puisqu'on évite la « conversion » de la dalle en poutre équivalente. Les charges sont introduites directement sur la dalle, sans qu'il soit nécessaire de les convertir en charges linéaires équivalentes.

Les éléments finis utilisés par le logiciel MAPS, que ce soit dans le modèle *Coque nervurée* ou le modèle *Dalle+Poutres*, sont des éléments *superparamétriques* basés

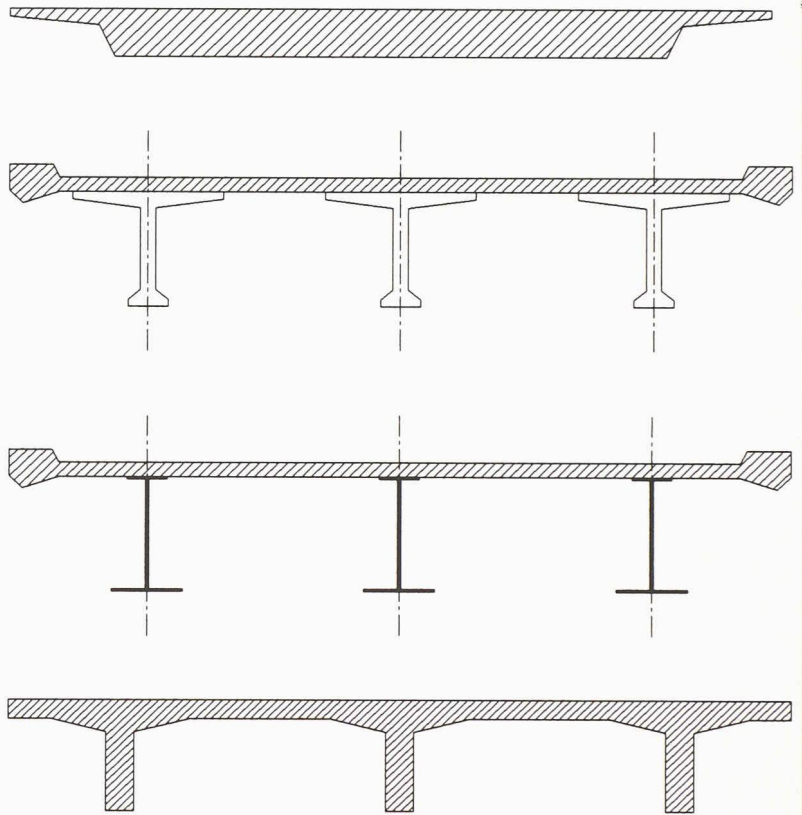


Fig. 1. Exemples de ponts pouvant être calculés en Dalle+Poutres.

sur la théorie de *Mindlin* (prise en compte des déformations dues à l'effort tranchant). La *compatibilité des déformations* est assurée en tout point de la surface de contact coque-nervure (respectivement dalle-poutre) et non pas seulement aux nœuds, ce qui explique la qualité des résultats obtenus (efforts) dans les nervures [2].

Les deux grands avantages du modèle *Dalle+Poutres* sont donc

- une grande simplicité de modélisation de structures relativement complexes
- des résultats de calcul complets et fiables, directement utilisables pour le dimensionnement structural (sécurité structurale) et la vérification de l'aptitude au service.

Afin de démontrer la validité et le bon comportement de ce modèle, une comparaison détaillée par rapport à un calcul en coque avec *nervures excentrées* est effectuée ci-après.

2. Description du modèle de calcul

Les figures 2 et 3 montrent les deux modèles de calcul utilisés dans cette étude.

Le modèle *coque* (à gauche) traduit d'une façon rigoureuse le comportement de la structure. Le tablier du pont subit des efforts de dalle (flexion). Les poutres maîtresses sont excentrées et modélisées telles quelles, induisant dans le tablier des efforts membranaires (efforts normaux, cisaillement). Certaines simplifications sont faites dans le modèle *Dalle+Poutres*. D'une part, le tablier et les poutres travaillent uniquement en flexion (aucun effet membranaire). D'autre part, les poutres sont modélisées en tenant compte de la largeur de participation de la dalle supérieure. Ainsi, les efforts membranaires dans le tablier signalés dans le modèle *coque* sont repris par la zone participante de dalle introduite ici dans la poutre. Il est im-

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

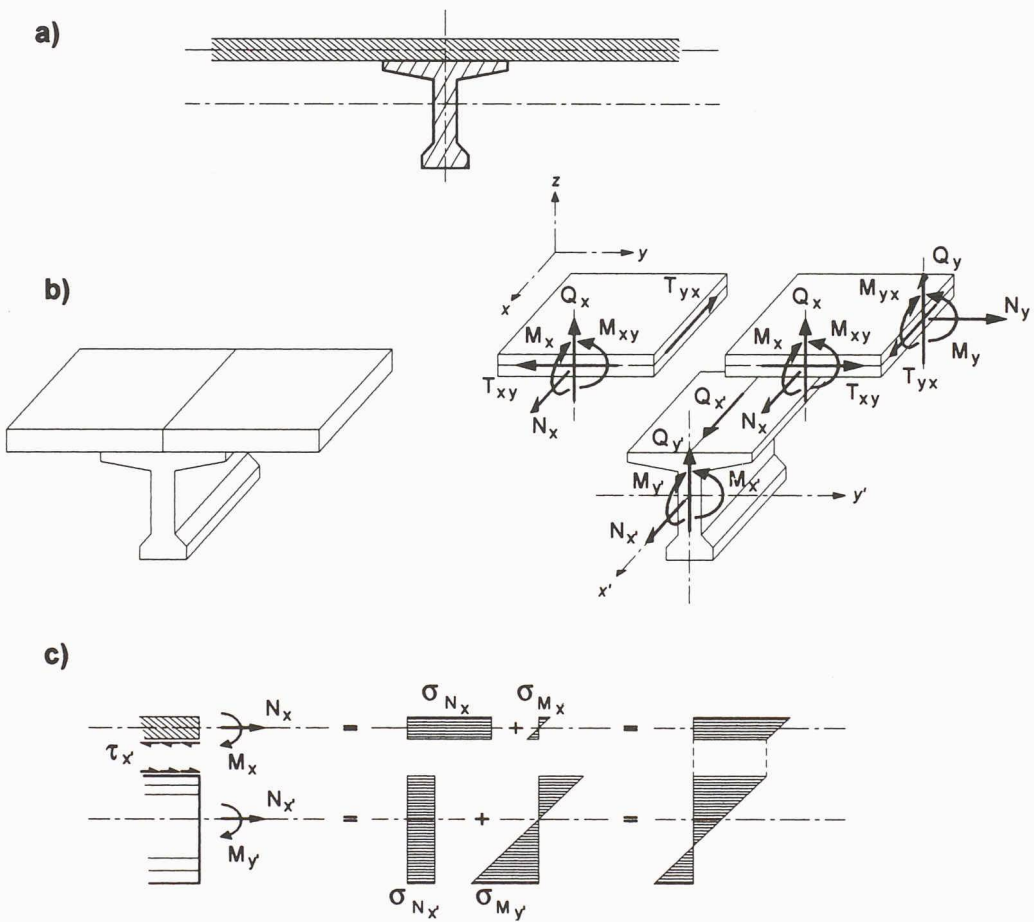


Fig. 2. Principes du modèle coque nervurée: modèle (a), efforts dans la coque et dans la nervure (b) et contraintes dans une coupe transversale (c)

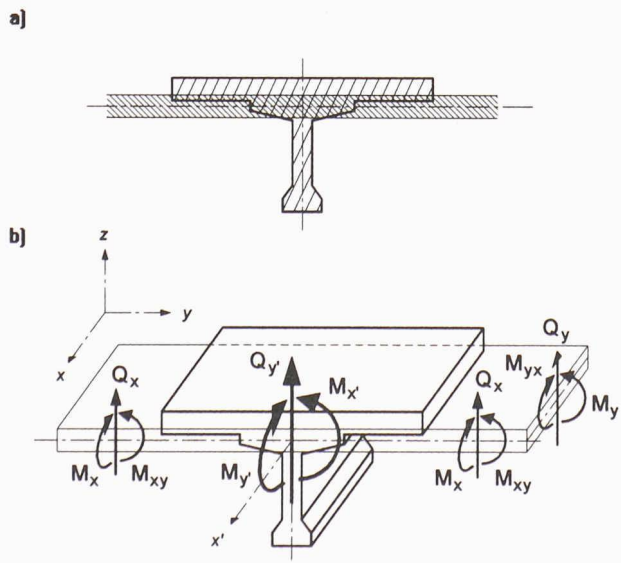


Fig. 3. Principes du modèle Dalle+Poutres: modèle statique (a) ainsi que les efforts dans la poutre et la dalle (b)

Comme on peut le voir dans la figure 3a la largeur de participation de la dalle apparaît deux fois : une fois dans la dalle elle-même et une fois dans la poutre.

Le programme effectue automatiquement les corrections nécessaires pour que le poids propre de la largeur de participation ne soit pris en compte qu'une fois.

En ce qui concerne la rigidité flexionnelle du système, un rapide calcul permet de se rendre compte que le surplus de rigidité introduit par le dédoublement de la dalle est négligeable. En effet, si l'on prend la section correspondante au premier exemple traité au chapitre suivant (fig. 4) avec une largeur de participation de 4 m, on constate que l'inertie propre de la dalle – comptée en trop – ne représente que 2 % de l'inertie de la poutre maîtresse.

4. Exemples numériques

Deux exemples sont traités ci-après. Le premier est un pont-dalle biais avec trois poutres maîtresses sur trois travées pour lequel on compare les résultats d'un calcul en coque et ceux d'un calcul par le modèle *Dalle+Poutres*. Le deuxième exemple est un pont existant pour lequel on compare les résultats des deux mêmes modèles de calcul avec des mesures effectuées lors d'essais de charge.

4.1. Pont-dalle biais

Les figures 4 et 5 décrivent la géométrie, le réseau et les charges appliquées. Le matériau choisi pour tous les éléments (dalle et poutres) est un béton avec $E_c = 34 \text{ kN/mm}^2$ et $\nu = 0,167$.

Les bordures longitudinales du tablier sont négligées.

La section des poutres longitudinales est donnée dans la figure 4. Les deux entretoises sont rectangulaires, de même hauteur que les poutres maîtresses et de 0,6 m d'épaisseur. L'emplacement des différentes nervures est indiqué en gras à la figure 4.

Les deux cas de charges traités sont :

portant de se rappeler que le concept de largeur de participation est basé sur l'hypothèse que l'effort normal est constant sur la largeur de la table de compression.

3. Hypothèses du modèle *Dalle+Poutres*

La poutre n'est pas excentrée. Son centre de gravité coïncide avec le feuillet moyen de la dalle. La présence de nervures excentrées dans un modèle de calcul en dalle n'est pas envisageable puisque qu'elle engendrerait des efforts membranaires dans la dalle, laquelle par définition ne travaille qu'en flexion. En fait, l'excentricité des poutres maîtresses est prise en compte par l'introduction de la largeur de participation, comme illustré à la figure 3.

Certaines zones de la dalle sont prises en compte deux fois.

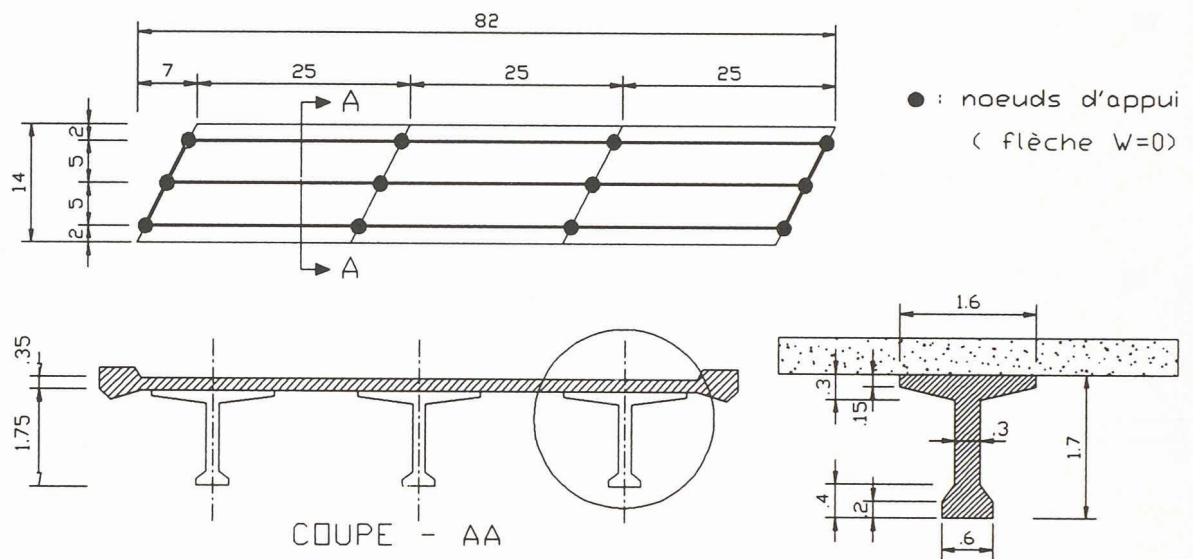


Fig. 4. Géométrie du pont-dalle biais

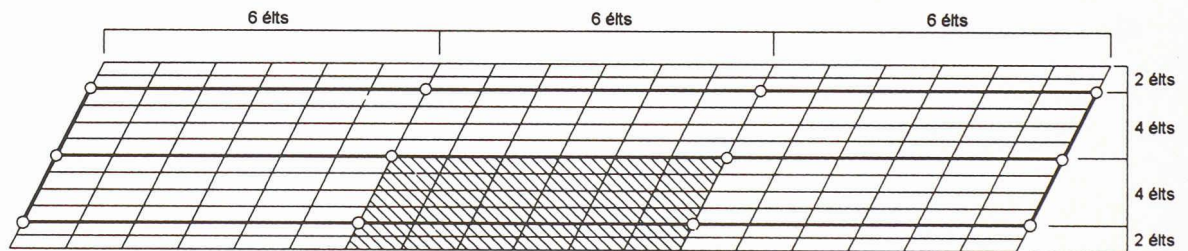


Fig. 5. Réseau d'éléments finis utilisé pour les deux modèles de calcul. Les deux cas de charge considérés sont 1) poids propre $g = 25 \text{ kN/m}^3$ et 2) surcharge sur zone hachurée $q = 10 \text{ kN/m}^2$.

- 1) poids propre avec $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ pour tous les éléments de la structure
- 2) surcharge $q = 10 \text{ kN/m}^2$ sur la zone hachurée de la figure 5.

4.1.1. Comparaison des flèches
Les figures 6 et 7 montrent l'allure des déformées des deux modèles de calcul sous forme de courbes

de niveau. Les modèles *coque* et *Dalle+Poutres* donnent des flèches maximales de 8,005 mm (respectivement 7,920 mm) pour le cas de charge 1 (poids propre). L'écart est donc de environ 1%. Toutes les valeurs sont récapitulées dans le tableau 1.

La figure 8 montre les efforts dans les poutres maîtresses sous l'effet de la surcharge excentrée.

4.1.2. Influence de la largeur de participation
Les calculs avec le modèle *Dalle+Poutres* ont été effectués pour différentes largeurs de participation. Il est clair que le modèle *coque* ne nécessite pas la définition de cette largeur de participation puisque les effets membranaires dans la dalle dus à l'excentricité des nervures sont calculés tels quels.

Tableau 1. Comparaison des flèches maximales obtenues par les deux modèles de calcul et pour différentes largeurs de participation

	Cas de charge 1 (poids propre)		Cas de charge 2 (surcharge q)	
Référence: flèche [mm]	flèche [mm]		flèche [mm]	
modèle COQUE	- 8,005	- 6,014		
modèle DALLE+POUTRES	flèche [mm]		flèche [mm]	
Largeur de participation		écart [%]		écart [%]
3,5 mm	- 8,158	+ 1,91 %	- 6,026	+ 0,18 %
4,0 mm	- 7,920	- 1,06 %	- 5,868	- 2,43 %
4,5 mm	- 7,725	- 3,50 %	- 5,738	- 4,59 %
ajustée	- 7,928	- 0,96 %	- 5,967	- 0,78 %

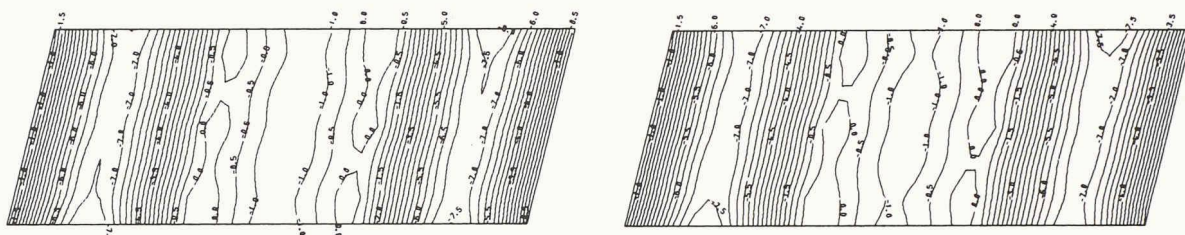


Fig. 6. Flèches des modèles coque (à gauche) et Dalle+Poutres avec une largeur de participation uniforme de 4 m (à droite) sous poids propre

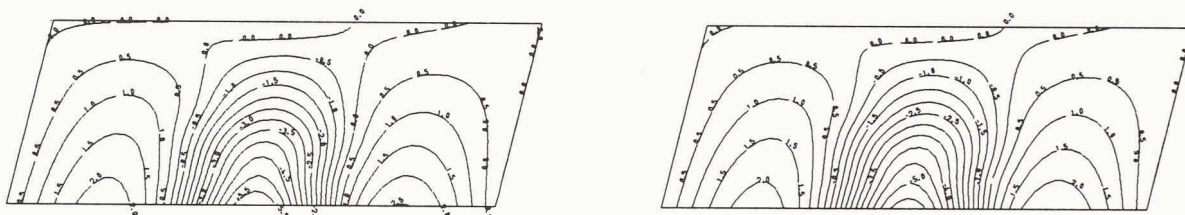


Fig. 7. Flèches des modèles coque (à gauche) et Dalle+Poutres avec une largeur de participation uniforme de 4 m (à droite) sous surcharge répartie excentrée

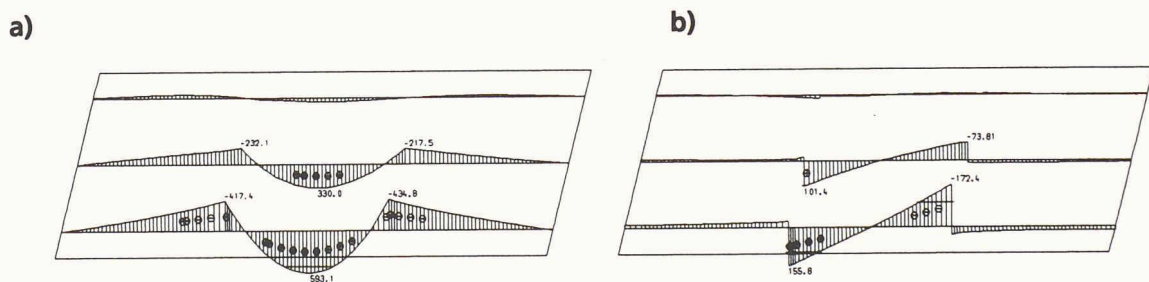


Fig. 8. Effet de la surcharge excentrée: a) moments de flexion dans les poutres maîtresses b) efforts tranchants dans les poutres maîtresses

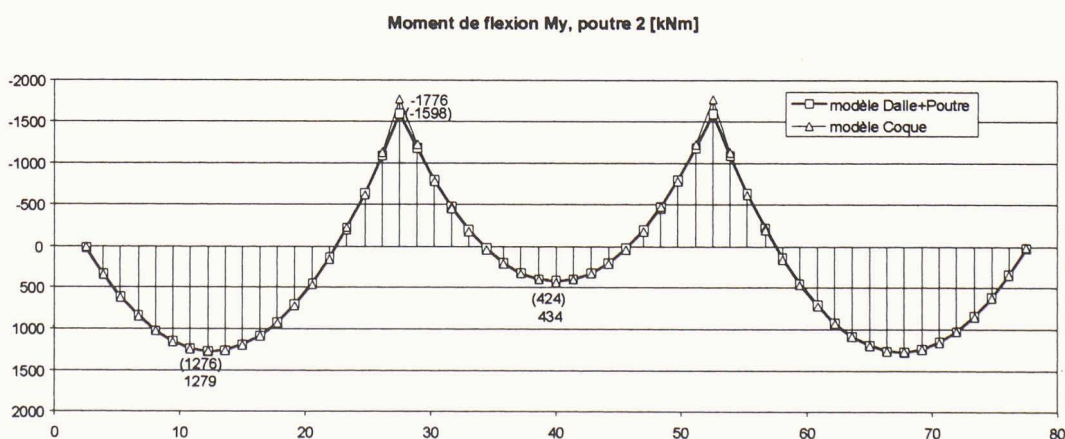


Fig. 9. Moment de flexion dans la poutre maîtresse centrale. Résultats du modèle coque et résultats du modèle Dalle+Poutres avec coefficient pour comparaison

Dans un premier temps, la largeur de participation a été admise constante pour toutes les poutres longitudinales (trois valeurs: 3,5 m, 4,0 m et 4,5 m). Ensuite elle a été ajustée séparément pour chaque poutre. La comparaison

des différents résultats est détaillée dans le tableau 1. Les résultats de ce tableau montrent bien que la largeur de participation n'a que peu d'influence sur les résultats. Pour les valeurs testées, les résultats ne sortent pas

d'une fourchette de $\pm 5\%$ par rapport au calcul de référence en coque. Il n'est donc pas nécessaire d'ajuster les largeurs de participation de façon très précise. Pour la suite des calculs présentés ici, une largeur de participa-

Effort tranchant Q_y , poutre 2 [kN]

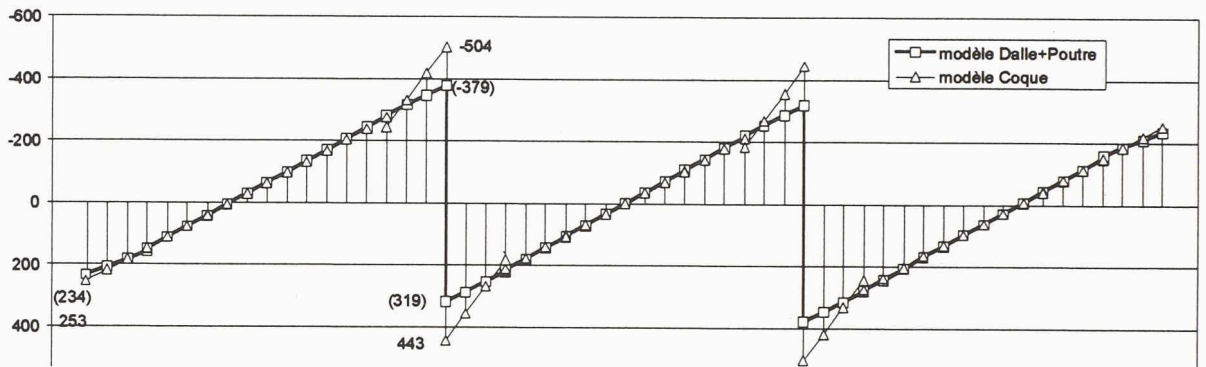


Fig. 10. Effort tranchant dans la poutre maîtresse centrale. Résultats du modèle coque et résultats du modèle Dalle+Poutres avec coefficient pour comparaison

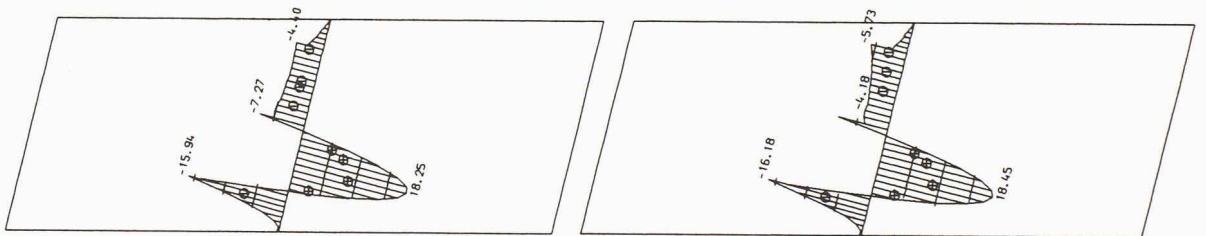


Fig. 11. Moment de flexion transversale dans le tablier. Modèle coque (à gauche) et modèle Dalle+Poutres (à droite) avec une largeur de participation uniforme de 4 m - b) Déformation des trois poutres

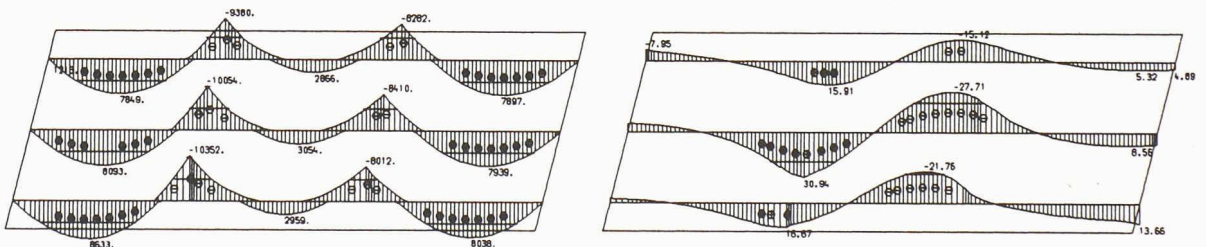


Fig. 12. Exemples d'autres résultats fournis par le modèle Dalle+Poutres : enveloppe des moments de flexion et moments de torsion dans les poutres sous l'effet du poids propre. Dans ce modèle, on peut également placer les convois roulants en n'importe quelle position (fig. 13) et obtenir les surfaces d'influence ou les efforts et les déformations dans les poutres maîtresses (fig. 14).

tion uniforme de 4,0 m a été admise.

4.1.3. Comparaison des efforts

En premier lieu, on compare les moments de flexion et les efforts tranchants obtenus par les deux modèles dans les poutres maîtresses. Les résultats sont représentés par les figures 9 et 10.

La concordance entre les deux modèles est nette. Les seules différences significatives sont très localisées et se situent au droit des appuis. Ces écarts sont dus aux appuis ponctuels. Le modèle poutre ne peut traduire les concentrations

d'efforts qui en découlent, conformément au principe de Saint-Venant. Le modèle coque n'est pas soumis à ces limitations.

La figure 11 montre le moment de flexion transversale dans la dalle le long d'une coupe pour le cas de charge 2 (surcharge répartie excentrée). Les moments extrêmes obtenus sont de $-15,94$ kNm/m et $18,25$ kNm/m pour le modèle coque et de $-16,18$ kNm/m et $18,48$ kNm/m pour le modèle Dalle+Poutres. A nouveau on observe un écart de moins de 2 % entre le calcul en coque et le calcul simplifié en dalle et poutres.

4.1.4. Utilisation pratique du modèle dalle + poutre

Ce modèle de calcul fournit directement les résultats utiles à l'ingénieur tels que les moments de torsion dans les poutres, enveloppes des efforts, etc. (fig. 12). Tous les résultats nécessaires au dimensionnement complet de l'ouvrage sont donc mis à disposition par le modèle, comme mentionné dans notre introduction.

Dans ce modèle on peut également placer les convois roulants en n'importe quelle position (fig. 13) et obtenir les surfaces d'influence ou les efforts et les défor-

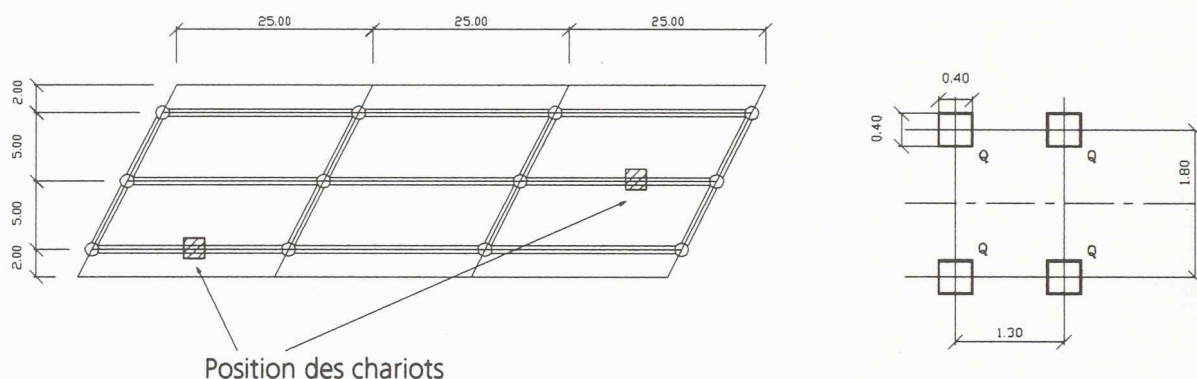


Fig. 13. Cas de charges correspondant aux chariots

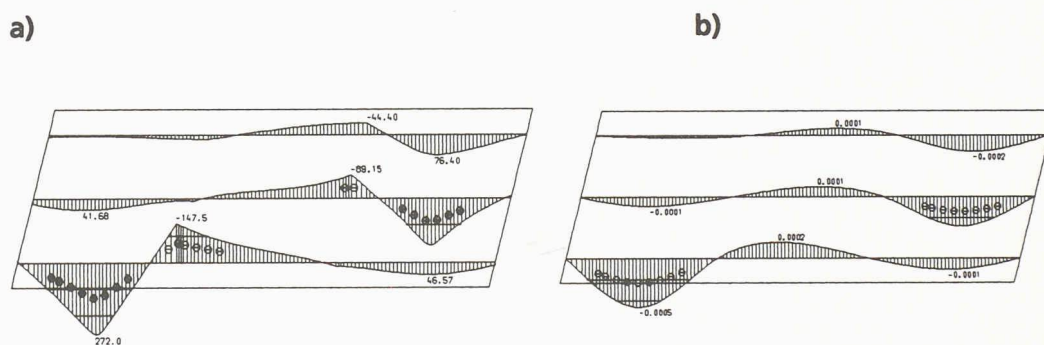


Fig. 14. Effet des convois placés selon la figure 13 a) Moment de flexion dans les trois poutres b) Déformation des trois poutres

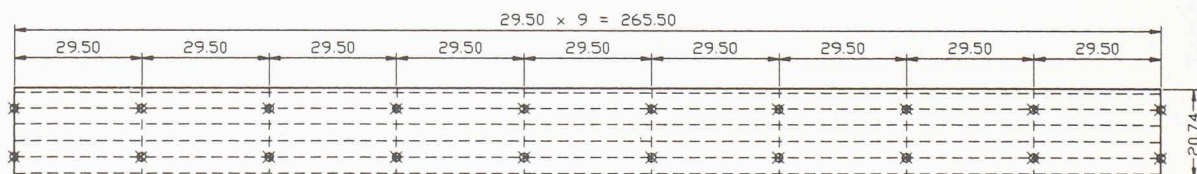


Fig. 15. Vue en plan générale de l'ouvrage

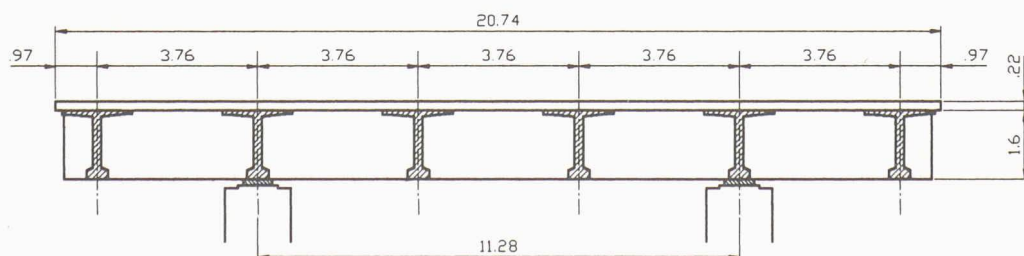


Fig. 16. Sections type. Coupe transversale type du pont sur appui et géométrie des poutres longitudinales et des entretoises. Ces dernières sont disposées régulièrement sur chaque appui.

mations dans les poutres maîtresses (fig. 14).

4.2. Exemple d'un ouvrage réel, pont-dalle nervuré

Ce pont, situé sur l'autoroute N12 Vevey-Berne à Châtel, comporte neuf travées d'une longueur de

29,50 m chacune, soit 265,50 m au total (fig. 15). Il est composé d'une dalle liée à des poutres excentrées longitudinales et à des entretoises transversales situées au droit des appuis (fig. 16). L'ensemble de la construction est en béton armé, mais la dalle présente

des caractéristiques élastiques ($E_c = 45 \text{ kN/mm}^2$, $\nu = 0,15$) différentes de celles des poutres et entretoises ($E_c = 50 \text{ kN/mm}^2$, $\nu = 0,15$). Ces valeurs prennent en compte le vieillissement du béton. L'étude porte sur deux cas de charge correspondant à des essais de mesures faits sur l'ouvrage réel. Les cinquième et sixième travées sont chargées selon les schémas de la figure 17.

A nouveau, la structure a été calculée à l'aide des deux modèles *coque nervurée* et *Dalle+Poutres*. Nous nous contentons ici de comparer les flèches des deux calculs et des essais de charge.

Comme pour le premier exemple, le même réseau d'éléments finis a été utilisé pour les deux calculs

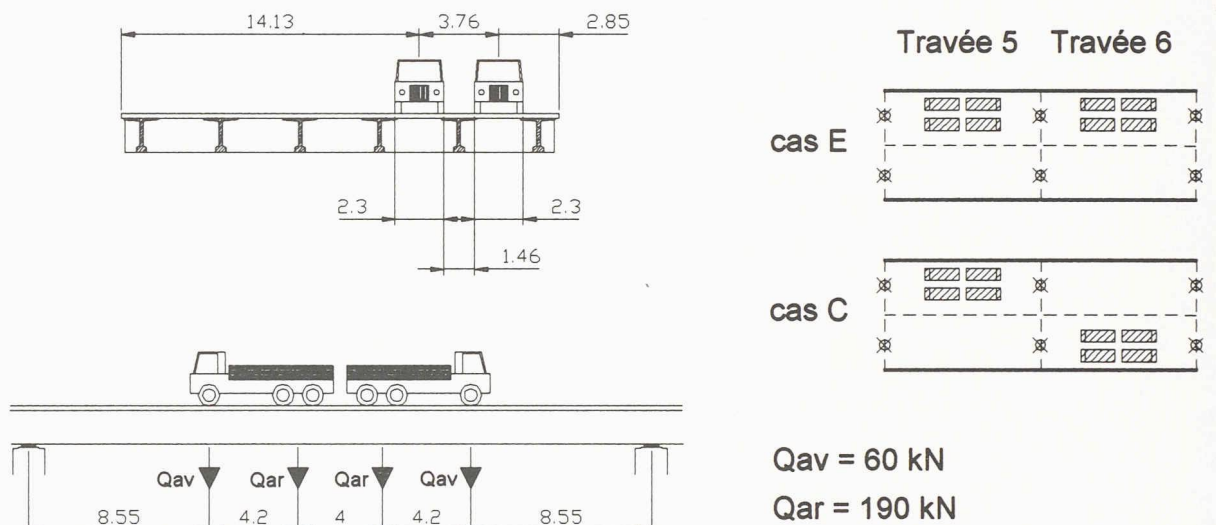


Fig. 17. Position des convois de charge sur une travée et définition des deux cas de charge

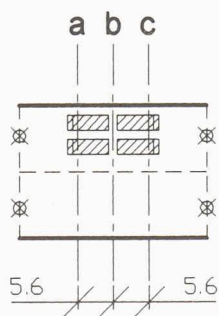


Fig. 18. Position des coupes transversales sur la travée 5

(coque nervurée et Dalle+Poutres). Le tablier complet est formé d'un maillage de $7 \times 54 = 378$ éléments. Pour le calcul en dalle, les largeurs de participation du tablier admises pour chaque poutre sont les suivantes:

- poutres longitudinales de bord: 2,00 m (deux fois la distance du bord de dalle à l'axe de la poutre)
- autres poutres longitudinales: 3,76 m (entraxe des poutres longitudinales)
- entretoises: 1,15 m (largeur des entretoises; à cause de leur section massive, les efforts dans le tablier dus à la leur présence sont très localisés).

Les charges d'essai (fig. 17) ont été modélisées par des charges réparties sur les éléments les plus proches.

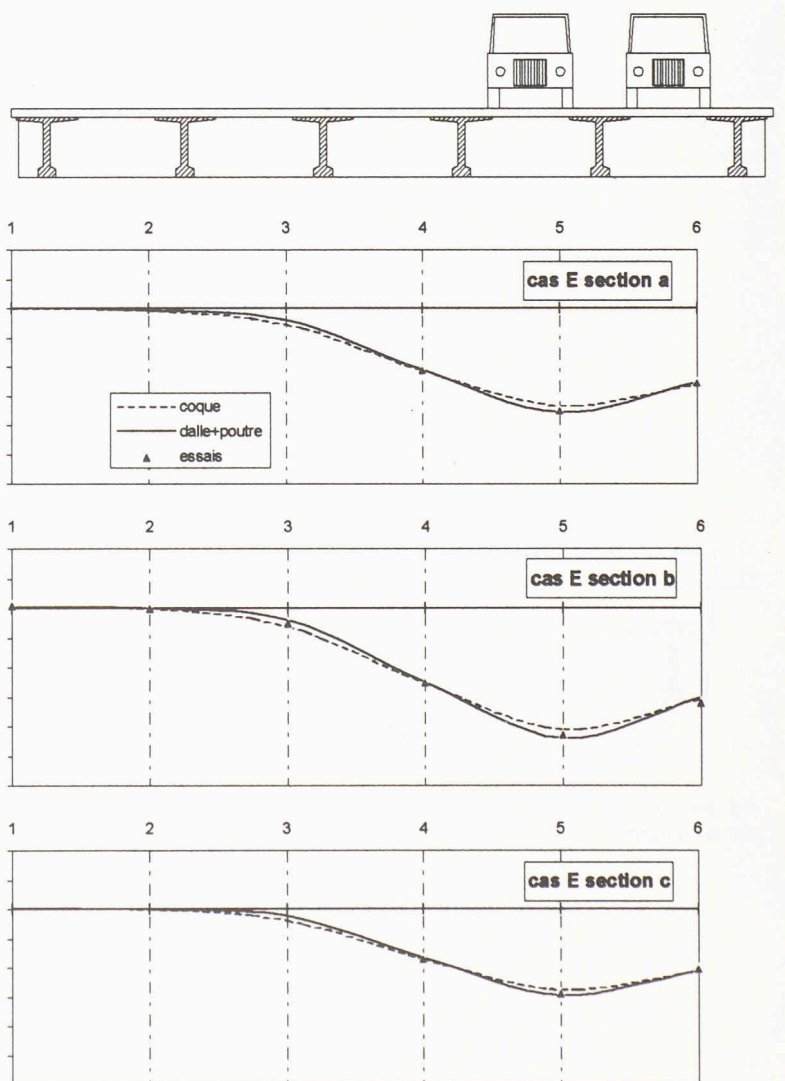


Fig. 19. Déformées transversales de la travée 5 pour le cas de charge E

4.2.1. Comparaison des flèches
Afin de comparer les deux modèles de calcul aux mesures effectuées lors des essais, on a pris trois coupes dans la cinquième travée (fig. 18). Les déformées transversales dans ces coupes sont représentées pour les deux cas de charge (fig. 19 et 20).

Pour l'ensemble des valeurs, on observe une bonne concordance des calculs et des mesures.

5. Conclusion

On constate que dans un nombre important de ponts courants, le modèle *Dalle+Poutres*, basé sur la compatibilité des déformations entre la dalle et la poutre, suffit amplement pour les calculs dans la pratique. Or, sa simplicité d'utilisation et la qualité des résultats obtenus rendent ce modèle particulièrement intéressant.

6. Bibliographie

- [1] MICHEL PRAT: « La modélisation des ouvrages, AFPC – Emploi des éléments finis en génie civil », éditions Hermès, Paris, 1995
- [2] AMAR BOUBERGUG: « Calcul statique des coques nervurées et précontraintes », thèse N° 473, EPFL, 1983
- [3] « Epreuves de charge sur le pont de la Veveyse de Châtel », IBAP, EPFL, rapport d'essai 80.05.14

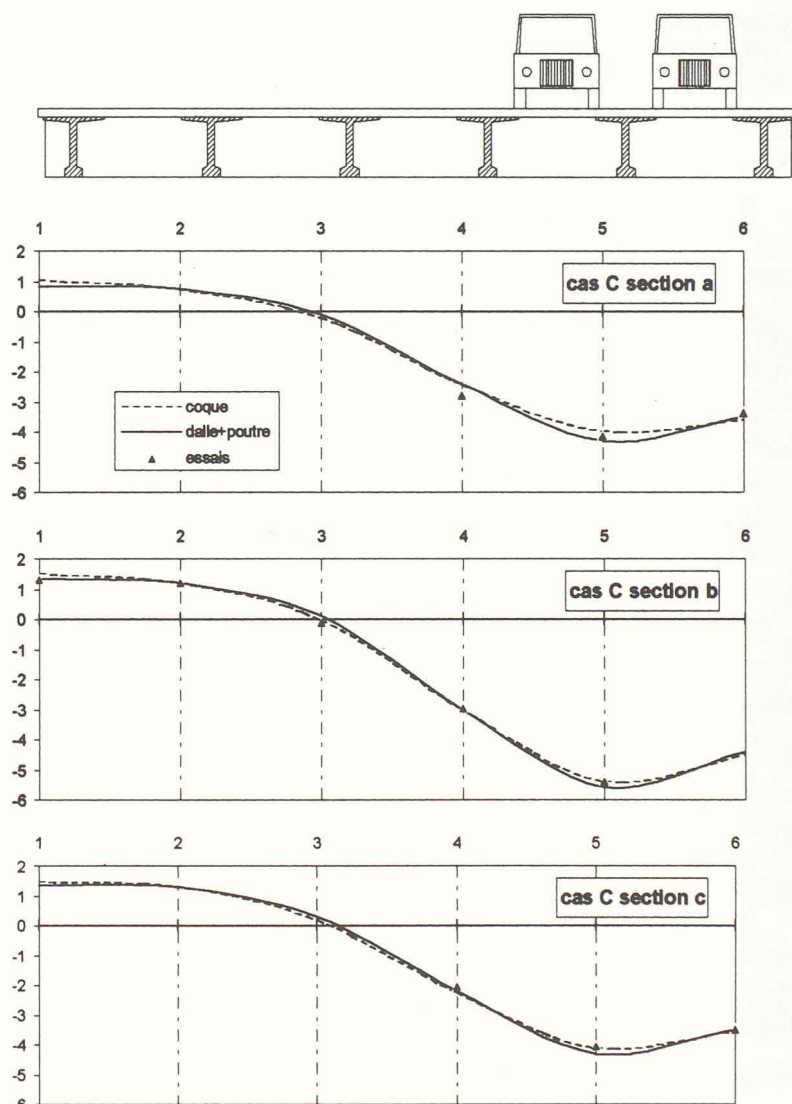


Fig. 20. Déformées transversales de la travée 5 pour le cas de charge C