1. Introduction

La répartition transversale des charges dans les constructions planes dépend de l'efficacité de la liaison transversale des éléments portants principaux. La répartition transversale (interaction transversale) est d'autant plus grande que la liaison transversale est plus parfaite ou, en d'autres termes, qu'un plus faible pourcentage du chargement total est repris par l'élément directement chargé.

Une construction soumise à l'action de lourdes charges concentrées est d'autant plus économique que l'aide des éléments non sollicités directement apportée à ceux chargés est plus sensible ou que la répartition transversale est plus grande. Les dimensions des charges concentrées n'ont cessé de s'accroître au cours des dernières années et diffèrent considérablement de celles des véhicules routiers usuels. En Grande-Bretagne, par exemple, on conçoit des grandes chaussées pour des véhicules de tonnage total s'élevant jusqu'à 180 t. Les ponts sont dimensionnés, en général, pour une circulation à deux ou plusieurs voies et les véhicules les plus lourds ne peuvent les parcourir que séparément. C'est pourquoi les staticiens se sont efforcés, depuis longtemps, de répartir ces grandes charges concentrées sur toutes les poutres principales et d'obtenir une répartition transversale efficace, c'est-à-dire une solution économique.

Ainsi sont nées des constructions sciemment activées dans le sens transversal – les grillages de poutres – c'est-à-dire des systèmes de deux ou plusieurs familles de poutres le plus souvent parallèles, assemblées aux nœuds et pouvant faire entre elles des angles divers.

Les grillages de poutres ont fait, dès l'origine, l'objet de l'intérêt particulier de nombreux auteurs et la littérature en est extrêmement riche.

On a développé une grande quantité de solutions théoriques de ce problème important en partant de différentes hypothèses. De cette multitude de méthodes de calcul, quelques-unes seulement sont susceptibles d'être employées en pratique. Plusieurs d'entre elles sont tellement compliquées à utiliser que la plupart des staticiens ne peuvent en faire usage faute de temps. Les autres staticiens, qui dominaient un peu plus profondément le mécanisme de comportement statique des grillages, introduisaient des procédés de calcul approximatifs et plus ou moins précis [11].

C'est pour cette raison qu'on avait favorisé, à une certaine époque, des méthodes simples de calcul au moyen de tableaux calculés sur la base d'hypothèses très simplifiées. Etant donné la grande variété des types de constructions, ces tableaux ne pouvaient couvrir les systèmes de grillages que fragmentairement et ne s'appliquaient, ordinairement, qu'aux plus simples d'entre eux.

Avant la deuxième guerre mondiale, un grand progrès a été réalisé grâce aux coefficients de répartition transversale définis de diverses manières. Citons surtout les travaux fondamentaux de Faltus [32, 33, 34] ainsi que ceux de Leonhardt [73, 74] basés sur des essais sur modèles.

Après la guerre, les avantages et la clarté de cette méthode de calcul ont été démontrés par V. Dašek dans son ouvrage synthétique [25].

La plupart des méthodes proposées jusqu'ici pour l'étude des sollicitations des ponts à poutres multiples supposent simplement que les éléments individuels ne résistent pas à la torsion [15, 16, 17, 25, 31, 32, 33, 34, 35, 49, 50, 54, 62, 69, 73, 74, 75, 76, 95, 112, 126, 147, 151, 158]. Cette hypothèse s'impose parce qu'on cherche à simplifier, dans la mesure du possible, ce problème fort complexe; si l'on néglige la rigidité torsionnelle, le degré d'hyperstaticité se réduit, en effet, à un tiers. En observant le comportement réel du pont, on voit que l'hypothèse en question n'est que très peu justifiée. De plus, la plupart des ponts à poutres multiples possèdent, à présent, des dalles de chaussée en béton armé dans lesquelles les efforts de torsion jouent un rôle important. On peut accepter de négliger l'effet de la torsion dans le cas de ponts à poutres métalliques de section ouverte et sans dalle. Mais on ne peut jamais le négliger dans les ponts monolithiques à poutres ou dans les ponts précontraints montés qui deviennent de plus en plus fréquents.

Pour le calcul des grillages en tenant compte de la torsion des poutres (mais pas d'une dalle assemblée aux poutres) on a développé plusieurs méthodes [11, 38, 51, 62, 63, 113, 140]. Ces dernières étant extrêmement compliquées et pénibles, il est probable que peu d'ingénieurs auraient la patience de les appliquer pratiquement au calcul réel d'une construction pour la série des différentes charges qu'il faut toujours prendre en considération.

Un tournant notable s'est produit, dans les méthodes de calcul, après la deuxième guerre mondiale où l'on a passé des méthodes des forces ou des déformations à celles qui utilisent l'assimilation à une dalle orthotrope. Sur la base des relations générales que Huber [55 à 59] avait déduites dans les années vingt, il a été établi une série de méthodes de calcul des plaques orthotropes. Le plus difficile a été de trouver une solution appropriée et applicable dans la pratique de l'équation (biharmonique) aux dérivées partielles qui gouverne le problème. Une telle solution a été publiée, par exemple, par Cornelius en 1952 [23].

Comme on l'a déjà dit, les procédés de calcul où l'on introduit des coefficients de répartition sont particulièrement avantageux et commodes à appliquer.

Guyon [43] a montré, en 1946, la possibilité de calculer des dalles othotropes à rigidité torsionnelle négligeable pour une charge quelconque, à l'aide de la méthode des coefficients de répartition. C'est par ce même procédé qu'il a ensuite calculé les plaques isotropes en 1949 [42]. Massonnet généralisa les relations trouvées par Guyon en introduisant l'effet de la torsion dans les calculs [91, 92]. Ainsi se sont trouvés réunis les avantages de la méthode des coefficients de répartition et l'exactitude de celle des plaques orthotropes.

Plusieurs auteurs ont amélioré, élargi et, ce qui est important, vérifié expérimentalement, sur modèles et sur constructions réalisées, cette méthode rigoureuse, rapide et avantageuse.

L'ensemble des matières de cette méthode de calcul des grillages de poutres (parfois appelée méthode Guyon-Massonnet d'après ses auteurs) était dispersé, jusqu'ici, dans un grand nombre de mémoires. L'un des auteurs du présent ouvrage (R. Bareš) s'est fixé comme but de les résumer et de les examiner systématiquement dans son livre publié en langue tchèque. Il a précisé et élargi les tableaux originaux de Massonnet contenant les coefficients pour le calcul des déplacements verticaux et des moments, calculés en supposant le coefficient de Poisson égal à zéro. Il a établi, de même, des tableaux de coefficients pour le calcul de ces grandeurs en supposant le coefficient de Poisson $\eta = 0{,}15$ ainsi que des tableaux de coefficients pour le calcul des efforts tranchants et réactions. Par une série d'autres compléments pratiques, l'applicabilité de la méthode en question a été considérablement étendue, surtout à des constructions continues, à portiques, de plancher, précontraintes etc.

Le présent livre constitue l'adaptation française du livre de Bareš; il contient, en plus de l'édition tchèque originale, le résumé de nos connaissances actuelles concernant le calcul organique des éléments (poutres ou dalle) en stade élastique ou à la rupture, le calcul de la charge de ruine plastique du pont, le calcul des ouvrages biais, l'effet répartiteur du tablier orthotrope des ponts à deux maîtresses-poutres, les ponts formés d'éléments préfabriqués en béton précontraint et de béton coulé postérieurement in situ. On insiste particulièrement sur la disposition pratique des calculs numériques et on donne un exemple complet d'application, afin de faciliter, autant que possible, l'emploi du manuel par les constructeurs.

2. Notations

α	paramètre de torsion $\alpha = \dfrac{\gamma_P + \gamma_E}{2\sqrt{\varrho_P \varrho_E}}$
$\gamma_x, \gamma_y, \gamma_P, \gamma_E$	résistance à la torsion par unité de longueur
$\delta_{xy}, \delta_{yz}, \delta_{zx}$	déplacement proportionnel représentant la variation d'angle droit à l'axe Z, X, Y respectivement, c'est-à-dire le changement d'angle droit entre les sections faites dans les sens X et Y, Y et Z, Z et X
$\varepsilon_a, \varepsilon_0, \varepsilon_1$	coefficient de calcul des efforts tranchants dans le plan perpendiculaire au sens X
$\bar{\varepsilon}_1$	coefficient de calcul des réactions dans le plan perpendiculaire au sens X
$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$	déformation proportionelle dans les sens X, Y, Z
ζ	ordonnée d'une charge concentrée
η	coefficient de Poisson < 1, valeur réciproque de la constante de Poisson $\left(\eta = \dfrac{1}{m}\right)$
$\eta_{xy}, \eta_{zx}, \eta_{yx}$	coefficients de Poisson; le premier indice désigne le sens dans lequel se produit l'allongement, le second représente le sens dans lequel a lieu le raccourcissement
ϑ	paramètre d'entretoisement $\vartheta = \dfrac{b}{l}\sqrt[4]{\dfrac{\varrho_P}{\varrho_E}}$
$\varkappa_a, \varkappa_1$	coefficient de calcul des efforts tranchants dans le plan perpendiculaire au sens Y

λ	$\frac{\pi\vartheta}{b\sqrt{2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}\sqrt[4]{\frac{\varrho_P}{\varrho_E}}$
μ_a, μ_0, μ_1	coefficient de calcul des moments fléchissants transversaux
ν	coefficient réducteur utilisé dans les calculs des constructions continues et autres systèmes: $\nu = \left(\frac{\vartheta^\star}{\vartheta}\right)^4 = \left(\frac{\alpha}{\alpha^\star}\right)^2$
ξ	coordonnée d'une charge concentrée
$\varrho_x, \varrho_y, \varrho_P, \varrho_E$	rigidité de flexion par unité de longueur
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	tensions normales appliquées aux sens X, Y, Z
σ	$\vartheta\pi$
$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$	tensions tangentielles appliquées au plan perpendiculaire à l'axe désigné par le premier indice et au sens de l'axe désigné par le second indice
τ_a, τ_1	coefficient de calcul des moments de torsion
v_a, v_0, v_1	coefficient de calcul des efforts tranchants dans le plan perpendiculaire au sens Y
φ	$\frac{\pi y}{b}$
χ	$\pi - \lvert\varphi - \psi\rvert$
ψ	$\frac{\pi l}{b}$
ω	$\frac{\pi}{l}\sqrt{\frac{\varrho_P}{\varrho_E}} = \vartheta\,\frac{\pi}{b}$
$\Gamma, \Phi, \Psi, \Omega$	coefficients de calcul des constructions à poutres de rive de rigidité variée et des constructions précontraintes
Θ	angle que forment les poutres et entretoises avec les axes X, Y
Ξ	angle de torsion de la section considérée
Π	coefficient de calcul de rigidité à la torsion
E_{ik}, E_x, E_y, E_z	module général d'élasticité, modules d'élasticité dans les sens des axes X, Y, Z
E_P, E_E	module d'élasticité des poutres (de renforcement longitudinal) et entretoises (d'entretoisement)
F	aire de section
G_{xy}, G_{yz}, G_{zx}	modules de cisaillement caractérisant les variations angulaires entre les sens $X - Y$, $Y - Z$, $Z - X$
I_x, I_y, I_P, I_E	moment d'inertie
J_x, J_y, J_P, J_E	moment d'inertie de torsion
K_a, K_0, K_1	coefficient de répartition transversale
M_x, M_y	moment fléchissant dans le sens X ou Y par unité de longueur

M_{xy}, M_{yx}	moments de torsion par unité de longueur
M^S, M^P	moment fléchissant provoqué par un effort de précontrainte ou par une charge extérieure, par unité de longueur
N_x, N_y	effort normal dans le sens X ou Y par unité de longueur
Q_x, Q_y	effort tranchant dans les plans perpendiculaires aux sens X ou Y par unité de longueur
$\overline{Q}_x, \overline{Q}_y$	réaction dans les plans perpendiculaires aux sens X ou Y par unité de longueur
Q_{xy}, Q_{yx}	effort de cisaillement appliqué au plan perpendiculaire à l'axe désigné par le premier indice et au sens de l'axe portant le second indice
S	effort de précontrainte par unité de longueur
W	module de résistance de la section
b	demi-largeur de la construction
b_0	espacement des poutres
b_n	largeur des poutres
d	épaisseur de la dalle
h	hauteur des poutres
e	excentricité de la charge dans le sens transversal
e_0	excentricité des câbles transversaux
e_P, e_E	distance du centre de gravité des poutres ou entretoises de la surface de centre de gravité de la dalle isotrope
l	portée de la construction
l_0	espacement des entretoises
$p(x, y)$	charge en tant que fonction x, y
u	déformée dans le sens X
v	déformée dans le sens Y
w	déformée dans le sens Z (déplacement vertical)
w_0	déformée provoquée par une charge uniformément répartie sur la largeur