

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 109 (1983)

Heft: 3

Artikel: Conception et calcul des structures en béton armé ou précontraint:
applications du Code modèles CEB/ FIP

Autor: Miehlabradt, Manfred

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74922>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

5. Confrontation du modèle de calcul avec des résultats d'essais

Les recherches expérimentales effectuées à ce jour concernent essentiellement les pièces de résistance constante, sollicitées par une charge ou deux charges concentrées. Une comparaison effectuée avec les essais [11] montre que le modèle de calcul donne une image cohérente du comportement plastique effectif, aussi bien en ce qui concerne la prévision du mode de ruine déterminant (position, nombre et type des rotules plastiques) que celle de la valeur de la charge ultime (légère réserve de sécurité).

6. Conclusion

Le comportement plastique des poutres courbes se distingue de celui des poutres droites par la présence d'un champ de torsion couplé à celui de flexion. Un léger déplacement de la ligne de fermeture des moments de flexion se traduit par une variation importante de l'intensité des moments de torsion (fig. 5). Suivant le taux d'armature transversale donné, les champs de moments conditionnent simultanément ou séparément le développement du mécanisme de ruine. La cohérence entre l'armature longitudinale et transversale, ainsi que la consommation d'armature totale peuvent alors s'avérer très variables.

Lorsque les appuis intermédiaires assurent l'encastrement à la torsion, un dimensionnement économique peut être réalisé par le choix d'un rapport des capacités flexionnelles en travée et sur appui intermédiaire aussi réduit que possible. Un dimensionnement à la rupture des sections, basé sur l'enveloppe des champs d'efforts intérieurs élastiques, ne peut que conduire à une surévaluation de la capacité flexionnelle nécessaire en travée, particulièrement lorsque les moments d'ordre hyperstatique dus à la précontrainte sont considérés. Un dimensionnement cohérent de l'armature transversale nécessaire devient alors prohibitif pour l'économie de l'ouvrage. En outre, le diagramme de torsion correspondant à l'exploitation simultanée des capacités flexionnelles disponibles sur appui et en travée n'est pas automatiquement couvert par l'enveloppe des moments de torsion élastiques. Une part non négligeable de l'armature longitudinale disposée en travée peut donc s'avérer non seulement coûteuse, mais encore parfaitement inutile dans certains cas.

Les critères de dimensionnement des poutres courbes continues sur appuis intermédiaires ponctuels sont différents. Une attention particulière doit être accordée à l'influence des cas de charge et une capacité flexionnelle importante en travée est généralement adéquate. Le

Bibliographie

- [1] JOHANSEN, K. W. and HANSEN, P. L.: *Studies on the Load Carrying Capacity of Steel Structures*. Technical University of Denmark, Copenhagen, Denmark, 1954.
- [2] JORDAAN, I. J.: *Ultimate Loads and Modes of Failure for Circular - Arc Bow Girders*. A thesis submitted to the University of Witwatersrand, Johannesburg, in partial fulfillment of the requirements for the degree of M. Sc. in Engineering, Johannesburg, 1964.
- [3] JORDAAN, I. J., KHALIFA, M. and McMULLEN, A. E.: *Collapse of Curved Reinforced Concrete Beams*. Journal of Structural Division A.S.C.E., Vol. 100, November 1974, pp. 2255-2269.
- [4] BADAWY, H. E. I., JORDAAN, I. J. and McMULLEN, A. E.: *Effect of Shear on Collapse of Curved Beams*. University of Calgary, Department of Civil Engineering, Research Report No. CE76-25, October 1976.
- [5] HOURIET, B.: *Calcul plastique des poutres courbes en béton armé et précontraint*. Thèse n° 421, Département de génie civil, EPFL, 1982.
- [6] LAMPERT, P.: *Bruchwiderstand von Stahlbetonbalken unter Torsion und Biegung*, Dissertation Nr. 4445, ETH Zürich, 1970.
- [7] LÜCHINGER, P.: *Bruchwiderstand von Kastenträgern aus Stahlbeton unter Torsion, Biegung und Querkraft*. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht Nr. 69, Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart, 1977, p. 107.
- [8] THÜRLIMANN, B., GROB, J. und LÜCHINGER, P.: *Torsion, Biegung und Schub in Stahlbetonträgern*. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Vorlesungen anlässlich des Fortbildungskurses für Bauingenieure vom 9.-12. April 1975.
- [9] WALTHER, R.: *Structures courbes*. Cours de 3^e cycle, IBAP/EPFL, 1976.
- [10] MÜLLER, P.: *Plastische Berechnung von Stahlbetonscheiben und -balken*. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht Nr. 83, Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart, 1978, p. 160.
- [11] BADAWY, H. E. I.: *Plastic Analysis of Reinforced Concrete Curved Beams*. Thesis, University of Calgary, Department of Civil Engineering, December 1975.

choix d'une telle solution dépend toutefois également de considérations d'esthétique, de montage et d'économie globale de l'ouvrage.

L'intervention de considérations plastiques dans le dimensionnement des poutres courbes en béton armé et précontraint est justifiée dès le départ. Complétude et encadré par les exigences de l'état permanent, le dimensionnement plastique s'impose comme seul moyen d'assurer la capacité portante de telles

structures de manière cohérente et économique.

Adresse des auteurs:

Bernard Houriet
D^r ès sc. techn., ing. dipl. EPFZ
IBAP/EPFL
1015 Lausanne

René Walther
D^r ing., professeur
IBAP/EPFL
1015 Lausanne

Conception et calcul des structures en béton armé ou précontraint

Applications du Code modèle CEB/FIP

par Manfred Miehlsbradt, Lausanne

Résumé

Avant sa parution en 1978, le Code modèle CEB/FIP pour les structures en béton avait déjà été soumis à un test d'application assez étendu sur la base d'une série d'exemples pratiques, qui servent encore aujourd'hui comme guide pour l'établissement des calculs statiques. D'autre part, le Code modèle CEB/FIP est à l'origine de multiples documents de réglementation technique, actuellement en cours d'élaboration au sein des instances nationales ou internationales.

Summary

The CEB/FIP Model Code for Concrete Structures, before being published in 1978, had already been applied to extensive trial calculations based on practical examples, which still serve nowadays as guide for structural design notes. On the other hand, the CEB/FIP Model Code is a valuable basis for a number of standards and other unified documents being drafted at present on national or international levels.

1. Aperçu historique

Parmi les multiples associations internationales dans le domaine du génie civil, le Comité euro-international du béton

(CEB) a joué, dès sa création en 1953, un rôle important sur deux plans:

- recherche et
- réglementation.

Les activités relatives à la recherche telles que les discussions et la coordina-

Zusammenfassung

Die CEB/FIP-Mustervorschrift für Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton wurde bereits vor ihrem Erscheinen im Jahre 1978 einem ausführlichen Anwendungstest mittels einer Reihe von praktischen Beispielen, die heute noch als Leitfaden für das Aufstellen statischer Berechnungen dienen, unterzogen. Andererseits bauen auf der CEB/FIP-Mustervorschrift eine Vielzahl von technischen Regelwerken auf, die derzeit von nationalen oder internationalen Gremien erarbeitet werden.

tion des différents programmes scientifiques, ainsi que l'information mutuelle sur les résultats les plus récents ont souvent un caractère restreint aux membres actifs des commissions techniques et se limitent à une publication dans les bulletins d'information du Comité. La grande communauté du génie civil n'en prend connaissance qu'indirectement à travers des activités et rapports au niveau national influencés par les membres CEB des différents pays.

Au sujet de la réglementation, le travail du CEB en liaison avec la Fédération internationale de la précontrainte (FIP) se fait moins discrètement, d'une part avec la mise en enquête publique des différents projets de documents communément élaborés, d'autre part avec la publication spectaculaire de leurs versions définitives:

- recommandations pratiques unifiées pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton armé (RP 64);
- recommandations internationales pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton (RI 70);
- code modèle CEB/FIP pour les structures en béton (MC 78).

Les RP 64 documentent un travail de coopération entre les différentes «écoles» européennes qu'on ne pouvait pas imaginer au début des activités et constituent encore aujourd'hui la base de toute réglementation. Les RI 70 ont le grand mérite d'avoir étendu cette base au béton précontraint, qui est désormais traité comme l'une des applications du béton armé. Le MC 78, rédigé sous un aspect plus pratique, actualise les recommandations du document précédent.

2. Statut du Code modèle

Il est utile de rappeler que le MC 78 fait partie d'un système international de réglementation technique unifiée des structures:

- Volume I
Règles unifiées communes aux différents types d'ouvrages et de matériaux (JCSS 76) établies par le Comité mixte interassociations sur la sécurité structurale, qui est animé par le CEB et dont les autres membres sont l'AIPC (Association internationale des ponts et charpentes),

la CECM (Convention européenne de la construction métallique), le CIB (Conseil international du bâtiment), la FIP, l'IASS (Association internationale des voiles minces et des structures spatiales) et la RILEM (Réunion internationale des laboratoires d'essais des matériaux). Ce premier volume est rédigé à l'intention des commissions de normes, il ne contient que les bases communes (y compris pour les charges et autres actions) et, en particulier, ne donne pas toutes les valeurs numériques des coefficients de sécurité. Celles qui sont spécifiques à certains types de structures se trouvent exclusivement dans les volumes suivants.

- Volume II
Code modèle pour les structures en béton (CEB/FIP).
- Volume III
Code modèle pour les structures métalliques (CECM).
- Volume IV
Code modèle pour les structures mixtes acier-béton (CECM/CEB/FIP).
- Volume V
Code modèle pour les structures en maçonnerie (CIB).
- Volume VI
Code modèle pour les structures en bois (CIB).
- Volume VII
Code modèle pour les fondations.
L'état d'élaboration de ces volumes pratiques et opérationnels est plus ou moins avancé: le Volume II a été soumis sous forme de trois projets successifs à l'enquête publique (en 1975, 1976 et 1977), sa version définitive, le MC 78, a été publiée en 1978.

Bien que tous ces volumes soient reconnus mondialement comme importantes bases de travail, ils n'ont aucun statut officiel dans la réglementation nationale ou internationale. Leur influence se manifeste cependant quand même, étant donné qu'un grand nombre d'experts ayant contribué à leur élaboration sont en même temps membres des commissions de normes de leurs pays ou des instances telles que l'ISO (Organisation internationale de normalisation), le CEN (Comité européen de normalisation), la CCE (Commission des communautés européennes), le NBK (Comité nordique du béton), etc. Heureusement, toutes les instances précitées ne travaillent pas de manière indépendante. Des accords existent entre l'ISO, le CEN et la CCE, de façon qu'actuellement l'ISO s'occupe des règlements de charge et des caractères exigeants des matériaux, le CEN est actif dans le domaine de la technologie du béton (en particulier de celui prêt à l'emploi), et la CCE prépare une série

d'Eurocodes basés sur le système des Codes modèles, mais en mettant l'accent plutôt sur les exigences à satisfaire et les critères à remplir, en laissant le libre choix en ce qui concerne les méthodes de vérification.

3. Applications du Code modèle

En suivant les deux interprétations possibles du mot «modèle», c'est-à-dire code exemplaire ou code de base, le MC 78 a été préparé et rédigé sous deux aspects:

D'une part, il devrait être directement applicable dans les calculs pratiques des bureaux d'études en donnant tous les détails nécessaires et en évitant trop de commentaires et trop de renvois à d'autres documents. La campagne des TCC (Tests et calculs de comparaison) gérée au cours des années 1976 à 1978 par le soussigné a clairement montré que cet aspect a été entièrement couvert. D'autre part, le Code modèle devrait servir de base pour d'autres règlements nationaux ou internationaux contenant de multiples explications et renvois au volume I avec les principes de sécurité structurale. Ceci a été atteint dans la tradition des recommandations précédentes RP 64 et RI 70, et son influence se manifeste de plus en plus dans la mise à jour des règlements nationaux, par exemple en Allemagne (DIN 1045 et 4227), en France (BAEL et BPEL), en Grande-Bretagne (CP 110), en Suisse (SIA 162), etc.

Au moyen de deux exemples, dont un pour chacun des deux aspects précédents, on montre ci-après comment on peut appliquer le Code modèle MC 78.

4. Exemples d'application pratiques (TCC)

En 1976, les données pour une série d'exemples ont été élaborées et diffusées sous même pli que le dernier projet du futur Code, en demandant aux différentes délégations nationales du CEB d'établir des calculs statiques sur la base du projet de Code et de leur propre règlement national, de comparer les résultats et d'en tenir compte lors de la rédaction de leurs commentaires relatifs au projet de Code mis à l'enquête.

Le but de cette opération était double: tester le contenu du futur Code, s'il est complet et clair, et comparer les résultats numériques par rapport à des codes existants en vue de s'assurer qu'on ne s'éloigne pas trop de l'expérience acquise.

Une quinzaine de pays ont participé à la réalisation et ont fourni, par conséquent, d'abord pour chaque exemple un nombre correspondant de calculs basés sur le même projet de code, qui diffèrent à certains endroits pour des raisons diverses (mauvaise interprétation

d'une clause ou introduction des hypothèses simplificatrices basées sur certaines habitudes nationales). Ceci a permis d'améliorer la formulation de certains articles du futur code en vue d'obtenir des applications univoques, qui étaient à la base des solutions unifiées des différents exemples.

Avant l'établissement des calculs basés sur les codes nationaux, chaque pays a dû trouver la correspondance entre les caractéristiques des matériaux introduites dans les données selon définitions CEB et celles définies dans leur règlement. Les valeurs pour le béton, surtout, posaient des problèmes, car forme et stockage des éprouvettes ou les critères pour le jugement des valeurs caractéristiques peuvent être très différents.

En comparant les résultats numériques, on constate que, en ce qui concerne le niveau de sécurité, le Code modèle se trouve en général près de la valeur moyenne des autres codes, dont les résultats peuvent être assez dispersés. Les calculs standard et les comparaisons sont publiés d'une manière très détaillée dans le Bulletin n° 129 du CEB publié après la parution du MC 78, en tenant compte de sa version définitive. Il convient de souligner que, d'après le jugement des ingénieurs impliqués dans les activités TCC, les calculs selon MC 78 ne demandent pas plus de temps que les calculs basés sur les codes nationaux, sous réserve qu'on puisse disposer des tables de dimensionnement ou manuels d'application correspondants. Le CEB est actuellement en train de combler ces lacunes avec une série de manuels traitant, par exemple, la flexion composée, le flambement, la fissuration, la déformation, les effets différés, les détails constructifs... Un manuel spécial comprendra des exemples d'application complets en reprenant la plupart des calculs standard du Bulletin n° 129 et en ajoutant quelques exemples complémentaires; on y trouvera des éléments simples, mais également des structures compliquées:

- A. Poutre sur appuis simples en béton armé
- B. Poutre continue en béton armé
- C. Poutrelle précontrainte au moyen de fils adhérents
- D. Poutre-caisson sur appuis simples d'un pont-route en béton précontraint
- E. Poutre continue avec section en π d'un pont-route en béton précontraint
- F. Poutre en béton partiellement précontraint
- G. Colonne élancée en béton armé
- H. Mur de soutènement en béton armé
- I. Dalle continue sur deux travées en béton armé
- J. Dalle en béton partiellement précontraint
- K. Ossature asymétrique à nœuds fixes
- L. Ossature symétrique constituée d'éléments préfabriqués
- M. Ossature symétrique à nœuds déplaçables
- N. Cadre de deux étages à nœuds déplaçables
- O. Cadre d'appui d'un pont-piéton.

En général, les calculs statiques sont complets (y compris les détails constructifs, les plans d'armatures et la quantité d'acier nécessaire) et comportent dans certains cas plusieurs solutions pour la détermination des sollicitations permettant là aussi la comparaison entre méthodes linéaires et non linéaires.

Ce manuel comportera en annexe des études paramétriques relatives à la flexion simple, la flexion composée et le flambement des colonnes.

5. Recommandations futures basées sur le MC 78

Sur l'initiative de la FIP, co-auteur du Code modèle, un groupe restreint (rapporteur: R. Walther, Bâle/Lausanne; membres: D. Lee, Londres, J. Muller, Paris, H. Wittfoht, Francfort, et le sous-signé) a établi un premier projet pour un code simplifié, qui a été présenté et discuté au dernier congrès de la FIP (Stockholm, juin 1982) et qui ensuite a été mis à l'enquête au sein du CEB et de la FIP, en vue de préparer la version finale au courant de l'année 1983.

Pourquoi ce nouveau document? Bien que la campagne des TCC ait montré que le MC 78 est assez opérationnel, le praticien aimerait disposer d'un document plus court (réduit à un tiers environ) et orienté plutôt vers l'application de la précontrainte (sans exclure le béton armé) et de ses techniques spécifiques telles que la précontrainte par câbles non injectés ou les procédés utilisés dans le domaine des ponts.

Un autre motif concerne la terminologie: dans les RI 70, 4 « classes de vérification » avaient été introduites, qui correspondaient en fait aux différents degrés de précontrainte (totale, limitée, partielle et zéro = béton armé), mais qui ont été interprétés par certains utilisateurs comme classes de qualités différentes, erreur grave, parce que c'est par exemple souvent la précontrainte partielle qui assure la meilleure qualité d'un ouvrage. Par conséquent, les rédacteurs du MC 78 ont bien veillé à éviter ce malentendu en définissant les différents degrés de précontrainte indirectement au moyen des fractions des surcharges, pour lesquelles la précontrainte totale est exigée. Cependant, il semble que l'ingénieur praticien ne veut pas renoncer à des notions telles que degré de précontrainte, précontrainte partielle, ... qui ne sont pas indispensables, mais très commodes dans l'application quotidienne du MC 78. Elles ont donc été réintroduites, ainsi que les termes relatifs à la théorie de la plasticité, égarés eux aussi dans le Code modèle pour des raisons didactiques.

En bref, l'objectif des futures recommandations est de présenter les bases essentielles du MC 78 sous forme pratique

et prête à l'emploi immédiat; leurs caractéristiques sont données ci-après.

1. Principes

Le concept des états-limites du MC 78 a été repris sans modification en précisant toutefois le choix des méthodes d'analyse structurale:

a) les vérifications de l'état-limite ultime seront basées sur la théorie de la plasticité en observant la condition suivante:

$$F_{act,d}(\gamma_g G; \gamma_q \Sigma Q) \leq \text{(charge de calcul)}$$

$$\leq F_{res,d} \left(\frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \frac{f_{sk}}{\gamma_s} \right) \text{(capacité portante de calcul)}$$

avec

G charge permanente (valeur moyenne); $\gamma_g = 1,35$

Q charge variable (valeur nominale); $\gamma_q = 1,50$

f_{ck} résistance caractéristique du béton; $\gamma_c = 1,50$

f_{sk} résistance caractéristique de l'acier; $\gamma_s = 1,15$

L'influence de la précontrainte intervient dans la détermination de la capacité portante, où l'acier de précontrainte est considéré comme armature ayant subi un allongement préalable.

b) les vérifications de l'état-limite d'utilisation seront basées sur la théorie de l'élasticité en s'assurant que certaines valeurs calculées ne dépassent pas des limites admissibles:

contrainte	$\sigma_d \leq \sigma_{adm}$
flèche	$a_d \leq a_{adm}$
ouverture de fissure	$w_d \leq w_{adm}$

Dans ce cas, la force de précontrainte est introduite comme effort extérieur et intervient du même côté que les charges. Souvent, on peut renoncer à des vérifications par le calcul sous réserve de respecter certaines règles de bonne conception.

c) selon le cas, c'est la capacité portante ou une des exigences sous charge de service qui sera déterminante pour le choix des dimensions; se basant sur l'expérience acquise, l'ingénieur peut même renoncer à une étude détaillée de l'autre état-limite.

Pour tous les cas, l'attention est cependant attirée sur l'importance des détails constructifs et le respect des exigences technologiques qui, conjointement avec le calcul statique, assurent un bon comportement en service, une sécurité suffisante par rapport à la rupture et une durabilité satisfaisante de l'ouvrage.

2. Matériaux

La classe de béton est à choisir dans une série qui dépasse sensiblement la valeur limite de C50 définie par le MC 78:

C25 C30 C35 C40 C45 C50 C60 C70 C80
--

où les nombres représentent la résistance caractéristique à la compression (fractile 5%) en N/mm², mesurée sur cylindres conservés dans l'eau, à l'âge de 28 jours.

Comme relation $\sigma - \varepsilon$, on admet de manière générale pour le béton comprimé le diagramme parabole-rectangle traditionnel; lorsque la section n'est pas entièrement comprimée, une distribution rectangulaire simplifiée ($\sigma = \text{const.}$) peut être admise.

En ce qui concerne les aciers de béton armé ou de précontrainte, on se base généralement sur des diagrammes $\sigma - \varepsilon$ simplifiés (bilinéaires avec $\sigma = \text{const.}$ au-delà de la limite d'élasticité conventionnelle).

3. Précontrainte

Les rédacteurs n'ont pas touché au compromis historique du MC 78 au sujet des contraintes admissibles dans l'acier de précontrainte, fixées pour les deux cas suivants à la plus faible des deux valeurs-limites:

— lors de la mise en tension:

$$0,80 \cdot f_{tk} \text{ ou } 0,90 \cdot f_{0,1k}$$

— après la réalisation de l'ancrage définitif:

$$0,75 \cdot f_{tk} \text{ ou } 0,85 \cdot f_{0,1k}$$

Les contraintes à la traction du béton sont limitées sous charge de service comme suit:

— précontrainte totale:

$$\text{fibre extrême: } \sigma \leq 0$$

$$\text{dans l'âme: } \sigma_l \leq \frac{1}{1,3} \cdot \text{résistance à la traction}$$

— précontrainte limitée:

$$\text{fibre extrême: } \sigma \leq \frac{1}{1,3} \cdot \text{résistance à la traction}$$

$$\text{dans l'âme: } \sigma_l \leq \frac{1}{1,3} \cdot \text{résistance à la traction}$$

— précontrainte partielle: pas de limitation.

Des conseils pratiques inclus dans ce chapitre permettront à l'ingénieur d'estimer si les vérifications à la rupture ou les conditions sous charge de service seront déterminantes pour le dimensionnement.

4. Etat-limite ultime

Pour la combinaison de plusieurs charges variables, la charge variable de base (par exemple la charge d'exploitation) doit

Notre revue sœur Schweizer Ingenieur und Architekt consacre aussi ses numéros 6 et 7 des 3 et 10 février à un hommage au professeur Thürlimann. On trouvera en page brune B 23 de ce numéro la liste des contributions qui y sont publiées.

TABLEAU I

Coefficient de combinaison	Charges d'exploitation			Vent ou neige
	Bâtiments d'habitation	Bureaux, parkings ou magasins de détail	Ponts routiers	
ψ_0	0,3	0,6	0,3	0,5

TABLEAU II

Coefficients de combinaison	ψ_1	ψ_2
Charges d'exploitation		
— bâtiments d'habitation	0,4	0,2
— bureaux ou magasins de détail	0,6	0,3
— parkings	0,7	0,6
— ponts routiers $l = 10 \text{ m}$	0,7	0
$l = 100 \text{ m}$	0,5	0
Vent ou neige	0,2 à 0,5	0

être considérée avec sa valeur totale, les autres charges variables (par exemple vent, neige) peuvent être diminuées au moyen du coefficient ψ_0 : (tableau I).

Les vérifications à l'aide de la théorie de la plasticité devraient se baser sur le théorème statique; au sujet de la ductilité, l'ingénieur pourra juger, au moyen de certaines règles forfaitaires, si un calcul détaillé s'avère indispensable.

Les recommandations relatives à la flexion, à l'effort tranchant, à la torsion et au poinçonnement résument l'essentiel des indications du MC 78; en ce qui concerne le flambage et la fatigue, des méthodes simplifiées ont été introduites.

5. Etat-limite d'utilisation

Selon le cas, les combinaisons de charges à considérer sont choisies parmi les suivantes:

charges permanentes:

$$G + P + \sum \psi_2 Q_2 \text{ (par exemple pour les flèches);}$$

charges fréquentes:

$$G + P + \psi_1 Q_1 + \sum \psi_2 Q_2 \text{ (par exemple pour les fissures);}$$

$$\text{charges rares: } G + P + Q_1 + \sum \psi_1 Q_2$$

avec

$$P = \text{précontraint}$$

$$Q_1 = \text{charge variable de base}$$

$$Q_2 = \text{autres charges variables}$$

$$\psi_1, \psi_2 \text{ selon le tableau II.}$$

Les recommandations comprennent également des tables et des moyens auxiliaires pour la vérification des contraintes et pour la limitation des flèches et des ouvertures de fissures, ainsi que des règles importantes concernant le pourcentage minimal de l'armature et leur disposition dans la section.

6. Détails constructifs

Dans ce chapitre se trouvent des indications nécessaires concernant l'enrobage, l'espacement et le rayon de courbure des barres et leur disposition dans les éléments structuraux, la zone d'ancrage des câbles, les poussées au vide, les appuis indirects et les nœuds dans les ca-

dres. Certaines prescriptions du Code modèle ont été complétées là où la technologie a été développée entre-temps, par exemple pour l'ancrage des aciers de béton armé ou les armatures d'âme complémentaires aux étriers.

7. Eléments structuraux

Ce chapitre donne des indications spécifiques relatives à la disposition des armatures dans les dalles et les colonnes, ainsi que des règles simplifiées pour le calcul et le dimensionnement des poutres-cloisons.

8. Techniques spéciales de construction

La rédaction de ce chapitre est en cours, on y trouvera les sujets suivants: la précontrainte par fils adhérents, la précontrainte par câbles non injectés, la préfabrication, la construction par voussoirs, la construction par encorbellement, le poussage cadencé, la construction par travées entières, les ponts haubanés.

Annexes

Les annexes prévues seront consacrées aux critères du contrôle de qualité des matériaux et aux valeurs représentatives des charges et autres actions.

6. Remarque finale

Un des buts du présent article était de montrer, à l'exemple du CEB et de la FIP, la vivacité actuelle des associations internationales du génie civil, qui constituent une plate-forme de communication idéale entre chercheurs, projecteurs, constructeurs et représentants de l'administration. La participation suisse aux activités de ces organismes est assurée par des délégations organisées au sein du Groupe spécialisé des ponts et charpentes (GPC) de la SIA.

Adresse de l'auteur:

M. Miehlsbradt
EPFL-Ecublens
Institut de statique et structures-béton armé et précontraint (IBAP)
1015 Lausanne