Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 17 (1974)

Artikel: Bilan des recherches sur le dimensionnement et la sécurité des pièces comprimées en béton armé, en France

Autor: Fouré, B. / Morisset, A. / Virlogeux, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-16502

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.01.2026

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

IV

Bilan des recherches sur le dimensionnement et la sécurité des pièces comprimées en béton armé, en France

Balance of the Researches on Design and Safety of Reinforced Concrete Compression Members, in France

Bilanz der Forschungen über die Bemessung und Sicherheit von Stahlbeton-Druckgliedern, in Frankreich

B. FOURÉ
Ingénieur au S.E.S.
St-Remy-les-Chevreuse

A. MORISSET
Ingénieur à la
S.E.T.E.C.

M. VIRLOGEUX
Ingénieur au S.E.T.R.A.
D.O.A.-A

1. Etudes sur la stabilité des poteaux en béton armé

L'aspect moderne de ces études débute en France avec la présentation d'une communication de M. FAESSEL devant le Comité Technique de l'A.F.P.C., en 1965. La méthode proposée, basée sur des principes connus, utilisait pour la première fois l'ordinateur pour le calcul de la charge de flambement d'un poteau en béton armé. Ce poteau, articulé à ses deux extrémités, était soumis à une charge excentrée. La méthode utilisait des lois de comportement réelles des matériaux, acier et béton, et supposait la déformée sinusoïdale.

Cette méthode a été explicitée et confrontée avec de nombreux résultats d'essais par MM. ROBINSON et MODJABI (1). Elle a été présentée en 1967 par M. ROBINSON à la Commission "Flambement" du Comité Européen du Béton (Bulletin d'information N° 62), et ultérieurement adoptée par celui-ci sous le nom de "Model Column Theory". Elle présente l'avantage sur d'autres méthodes de traiter les deux cas de rupture par épuisement de la capacité résistance de la section, et de ruine par divergence d'équilibre, de façon unique, comme la recherche d'un maximum de capacité portante d'un poteau.

L'exploitation systématique de cette méthode a permis l'établissement de tables de résultats numériques (5) (9) directement utilisables par le projeteur. Par ailleurs, les études, tant théoriques qu'expérimentales, se sont développées dans plusieurs voies :

- extension de la méthode de M. FAESSEL en cas des poteaux précontraints (2) ;
- généralisation au cas de poteaux articulés, chargés avec des excentricités différentes aux deux extrémités, et à celui de poteaux carrés chargés en dehors d'un plan de symétrie (3) (6) (8) (9) ;
- étude expérimentale du déversement de poteaux en I, chargés dans le plan de plus grande inertie (3) (7).

2. Prise en compte du fluage

Le comportement des éléments comprimés en béton armé est fortement influencé par les effets du fluage du béton. Des études ont donc été lancées dans le cadre d'un programme de recherche financé conjointement par l'Administration (S.E.T.R.A.) et la Profession (U.T.I.).

Deux aspects du problème doivent être considérés :l'état limite ultime de stabilité peut être atteint soit sous l'action de la seule charge permanente ("flambement par fluage"), soit sous l'effet d'une charge de courte durée agissant sur un poteau déjà déformé par l'action de la charge permanente ("capacité résiduelle" en courte durée) (10).

Dans une première étape, on a étudié le cas simple d'un poteau à inertie constante, articulé à ses extrémités, soumis à une charge permanente et à une surcharge de courte durée agissant selon le même excentrement (12). C'est en effet le seul cas qui ait été antérieurement étudié de façon détaillée et, en particulier, le seul ayant fait l'objet d'études expérimentales.

On peut calculer la charge de flambement par fluage à l'aide de la méthode de M. FAESSEL, en admettant que tout se passe comme si l'on pouvait appliquer une loi de comportement du béton se déduisant de la loi de courte durée par une affinité, parallèle à l'axe des déformations, de rapport $(1 + \emptyset)$, $\emptyset$ étant le coefficient de fluage. La confrontation aux résultats d'essais connus est satisfaisante.

Le calcul de la capacité résiduelle s'effectue comme un calcul à l'état limite ultime en courte durée, mais à partir des déformations de longue durée sous l'action de la charge permanente. On doit, pour cela, prendre en compte le transfert irréversible de contrainte du béton aux armatures dû au fluage par l'artifice des "contraintes résiduelles", proposé par MM. GOYAL et JACKSON (4). La corrélation avec les résultats expérimentaux est excellente.

3. Stabilité des piles de grande hauteur à inertie variable

Les méthodes simples de calcul ne sont pas applicables aux piles de grande hauteur et d'inertie variable. En effet, les méthodes simples supposent :

- que les charges sont appliquées aux extrémités de la pile, ce qui n'est pas le cas lorsque les charges de poids propre, dues au vent ou aux séismes, sont réparties sur toute la hauteur de la pile ;
- que l'inertie de la pile est constante, ce qui permet notamment, en se basant sur des constatations expérimentales et des résultats théoriques, de fixer à priori la forme de la déformée (sinusoïde, cercle etc...).

.../...

Une méthode de calcul a donc été mise au point par un bureau d'études (S.E.T.E.C.) (13), consistant à rechercher la déformée de la pile en tenant compte des effets dits du second ordre, dans le calcul des sollicitations.

Pour cela, la pile est décomposée en une série de tronçons d'inerties constantes. La déformée de l'ensemble est assimilée à une succession d'arcs de cercles, tangents entre eux, correspondant à chacun de ces tronçons. Les rayons des arcs de cercles sont obtenus en calculant les déformations des sections droites en fonction des efforts (effort normal et moment) qui leur sont appliqués. Les calculs sont faits avec des lois de comportement réelles des matériaux. Le calcul de la déformée se fait par itération, chaque itération donnant les flèches le long de la pile. Si les flèches convergent au cours du calcul itératif, la pile est stable ; si elles divergent, la pile est instable.

Cette méthode a été utilisée pour faire l'analyse de la stabilité de trois ouvrages :

- les piles du viaduc du Magnan (ouvrage en béton précontraint, réalisé par encorbellements successifs, de 120 mètres de portée maximum), de 93 mètres de haut, encastrées à la base et libres en tête, soumises à leur poids propre et aux effets du vent, en cours de construction ;
- les piles des viaducs de Roquebrune-Menton (série d'ouvrages en caisson construits par cintre autolanceur, dont les plus grandes portées sont de l'ordre de 45 mètres), de 70 mètres de haut, encastrées à la base et bloquées horizontalement en tête par le tablier, soumises à leur poids propre, au poids du tablier et aux effets de séisme. Il a fallu, dans ce cas, introduire une réaction horizontale hyperstatique, pour tenir compte de la réaction du tablier ;
- les pylônes du pont des Meules (pont à haubans, en béton précontraint, dont la travée principale atteint 320 mètres), de 75 mètres de haut, encastrés dans le tablier qu'ils supportent par l'intermédiaire des haubans. Ces pylônes sont soumis à leur poids propre, aux efforts développés par les haubans, y compris ceux du second ordre, et à l'effet du vent sur les haubans et le pylône.

4. Sécurité vis-à-vis des phénomènes d'instabilité

4.1 Le règlement de béton armé

Les tableaux comparatifs qui figurent au début du rapport préliminaire du Symposium de Québec ont été faits sur la base du règlement de béton armé qui est basé sur le principe des contraintes admissibles, et, essentiellement, sur la théorie de l'élasticité.

Dans le domaine élastique, on peut définir un effort normal critique au sens d'Euler. Les efforts transversaux (le vent par exemple) ou les imperfections de la colonne (excentrement des efforts, déformée initiale etc...) ne modifient pas cet effort critique, et n'influent que sur les contraintes et la flèche.

Le règlement, rédigé dans cet esprit, impose la vérification aux contraintes admissibles de la section la plus sollicitée, en flexion composée, en introduisant des flèches fictives, données par des formules forfaitaires, chargées de traduire la flexion au voisinage de la charge critique.

4.2 Recours au calcul à la rupture

Ce règlement admet cependant de se référer à un calcul à la rupture, en imposant un rapport minimum entre la charge de rupture et la charge pondérée maximum, dépendant des conditions de chargement. Cela permet, dans les cas courants de poteaux, l'utilisation des tables déjà citées.

4.3 Etat limite ultime de stabilité de forme

Le nouveau règlement de béton précontraint a été rédigé dans l'esprit du calcul aux états limites. Il prévoit uniquement le calcul à l'état limite ultime de la structure, fait en adoptant des lois de comportement réalistes des matériaux (courbe du type parabole rectangle pour le béton, et élastoplastique parfaite pour l'acier), et en tenant compte des effets du second ordre, et des imperfections géométriques.

Dans ces conditions, il n'est plus possible de définir un effort normal critique. Pour une valeur donnée de l'effort normal, il existe une valeur critique des efforts latéraux, ou même des imperfections de la colonne. On ne peut définir qu'une courbe critique, dans le cas de deux actions, ou, dans le cas général, une relation critique entre les différentes actions.

La sécurité ne peut donc être assurée qu'en vérifiant la stabilité de la structure pour des combinaisons d'actions limites, majorées par des coefficients correctement choisis, et en minorant les caractéristiques mécaniques des matériaux, par d'autres coefficients.

La vérification doit être faite avec les mêmes combinaisons d'actions que pour les états limites ultimes de résistance, affectées des mêmes coefficients.

4.4 Difficultés à surmonter

4.4.1 Il faut, tout d'abord, noter qu'il est difficile de parler de sollicitations ultimes d'une section, parce que les phénomènes d'instabilité concernent l'ensemble de la structure, et que la divergence ne définit pas nécessairement une courbe

.../...

d'interaction, effort normal-moment, à la différence de ce que l'on a dans le cas de la ruine par épuisement de la capacité résistance d'une section.

4.4.2 Dans le cas des états limites ultimes de stabilité, il n'est pas indifférent de faire porter directement le coefficient γ_{s3} sur les actions, ou de multiplier les sollicitations par γ_{s3}, une fois fait le calcul de la déformation et des effets du second ordre. La multiplication directe des actions par γ_{s3} est une solution pratique, puisqu'elle permet de s'assurer du non-dépassement de l'état limite ultime par un calcul de la déformée sous les actions majorées par les coefficients $\gamma_{s3}\ \gamma_Q$, sans avoir à déterminer de sollicitations ultimes. L'état limite est dépassé lorsque le calcul itératif de la déformée est divergent.

La multiplication des actions par γ_{s3} peut d'ailleurs être justifiée sur le plan théorique.

4.4.3 Il faut définir une loi de comportement du béton.

La loi parabole rectangle minore les modules pour les faibles valeurs des contraintes. Mais cela ne fait que compenser le fait que les valeurs généralement prises en compte pour les modules sont des valeurs les plus probables et non pas des valeurs caractéristiques.

Le facteur $\frac{0,85}{k_b}$, introduit pour minorer la contrainte maximum dans le cas de charges soutenues, diminue encore les modules à l'origine. Une correction, délicate, devra être faite.

Les méthodes définies plus haut permettent, en outre, de définir les lois de comportement de longue durée (affinité de rapport $(1 + \emptyset)$), et de prendre en compte la superposition des actions de courtes durées et des actions de longues durées, ce qui est le cas général.

4.4.4 Enfin, les coefficients à prendre sur les matériaux ont une signification différente de celle qu'ils ont pour les états limites ultimes de résistance. Ils doivent prendre en compte les augmentations de la déformabilité de la structure, alors que les coefficients classiques doivent prendre en compte les défauts localisés. Cette différence ne doit cependant pas être surestimée et on peut, en attendant mieux, adopter les mêmes coefficients pour aller dans le sens de la sécurité et de la simplification.

13. A. MORISSET : Vérification de la stabilité des structures élancées à inertie variable.
Communication au Comité Technique de l'A.F.P.C., Juin 1974. Exposé au Cercle des Ingénieurs de Rio de Janeiro, Juillet 1974. A paraître.

14. J.R. ROBINSON, B. FOURE et A. SAHEBDJEM : Flambement des poteaux carrés chargés hors d'un plan de symétrie.
Annales de l'I.T.B.T.P. A paraître.

Références

1. J.R. ROBINSON et S.S. MODJABI : La prévision des charges de flambement des poteaux en béton armé par la méthode de M. P. FAESSEL
Annales de l'I.T.B.T.P., Septembre 1968.

2. A. MORISSET et J. BESSON : Flambement des poteaux en béton précontraint.
Colloque International RILEM - Buenos Aires, 1971.

3. B. FOURE : Etude de divers problèmes de flambement de poteaux en béton armé. Colloque international RILEM - Buenos Aires, 1971.

4. B.B. GOYAL et N. JACKSON : Slender concrete columns under sustained load.
Journal of the structural division ASCE, Novembre 1971.

5. P. FAESSEL, J.R. ROBINSON et A. MORISSET : Tables d'états limites ultimes des poteaux en béton armé.
S.D.T.B.T.P. Eyrolles (éditeur), 1971.

6. A.Y. BOURGHLI : Recherches sur le flambement de poteaux en béton armé sous charges d'excentricités différentes aux deux extrémités.
Thèse de Docteur-Ingénieur - Faculté des Sciences - Université de Paris, 1971.

7. M. BELAZOUGHI : Recherche sur le flambement et le déversement de poteaux en béton armé, à section en H.
Thèse de Docteur-Ingénieur - Faculté des Sciences - Université de Paris, 1972.

8. A. SAHEBDJEM : Recherche sur le flambement des poteaux en béton armé de section carrée chargés dans un plan radial quelconque.
Thèse de Docteur-Ingénieur - Faculté des Sciences - Université de Paris, 1972.

9. P. FAESSEL, A. MORISSET et B. FOURE : Le flambement des poteaux en béton armé.
Annales de l'I.T.B.T.P., Mai 1973.

10. Manuel de calcul : Flambement - Instabilité.
Bulletin d'Information du C.E.B. N° 93, Juillet 1973.

11. M. VIRLOGEUX : Contribution à l'étude du flambement dans le domaine plastique.
Annales de l'I.T.B.T.P., Décembre 1973.

12. B. FOURE et A. GRELAT : Stabilité des poteaux en béton armé sous charge de longue durée.
Communication aux Journées de l'A.F.P.C., Avril 1974.