Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 35 (1909)

Heft: 24

Artikel: Notice explicative du règlement sur les constructions en béton armé établi par la Commission suisse du béton armé (suite)

Autor: Schüle, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-27607

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: 10.01.2026

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

placés qu'après clavage, afin de ne pas augmenter inutilement les efforts dans les tirants.

Clavage. — On a réglé les positions respectives des deux demi-travées en faisant varier la longueur des tirants. Dans ce but, on avait muni ces derniers de tendeurs dits *lyres de réglage* (fig. 6).

La lyre de réglage est composée de deux séries de balanciers ABC, à bras égaux, qui sont reliés les uns aux autres par des tiges rigides.

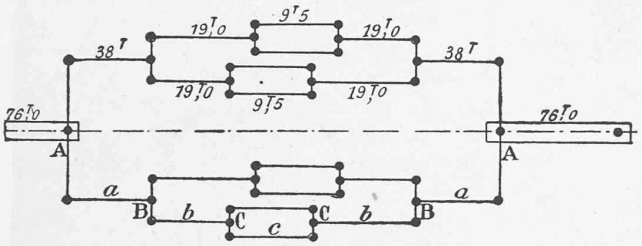

Fig. 6. — Schéma d'un tendeur. — Lyre de réglage.

Les tiges *ab* sont formées respectivement de plats de largeur décroissante, ayant 11, 9 et 8 millimètres d'épaisseur ; les tiges *c* sont rondes et ont 50 millimètres de diamètre. Ces tiges sont filetées sur une courte longueur, à l'une de leurs extrémités (simplement pour permettre leur mise en place à l'aide d'un écrou), tandis qu'à l'autre extrémité, leur filetage s'étend sur une longueur de 700 millimètres, afin que les écrous placés à cet endroit aient une course suffisante pour que l'on puisse faire varier la longueur des tirants suivant les nécessités du montage.

On conçoit qu'à l'aide d'un tel appareil on puisse faire varier très exactement cette longueur, d'une quantité aussi faible qu'on le désire, et sans un grand effort, vu la multiplicité des tiges *c*.

Les positions des quatre fermes ayant été d'abord réglées pour les amener un peu au-dessus de leur position définitive, on a déterminé les épaisseurs des fourrures à placer entre les coussinets et la tôlerie.

Par raison d'esthétique on a voulu donner une légère surflèche à l'arc, l'épaisseur des fourrures a donc dû être calculée en tenant compte : de la déformation des fermes dans leur position en porte à faux comparée à leur forme définitive, de la déformation sous la charge des travées droites qui s'y appuient, et enfin de la déformation produite par les variations de température.

Cette détermination a été obtenue par la méthode des déformées, de M. Paul Bodin, appliquée pour la première fois lors de la construction du viaduc du Viaur.

Enfin on a placé les appareils d'articulation de la clef, et, en agissant sur les écrous des lyres de réglage, on a abaissé, par basculement, les deux demi-travées l'une vers l'autre. Le réglage de la clef effectué, on a procédé au démontage des tirants horizontaux, au remplacement, par des pièces définitives, des pièces provisoires qui servaient d'attaches à ces tirants, enfin à la mise en place des tôles de platelage.

Montage de la cinquième travée droite. — Comme nous l'avons dit, cette travée fait, avec l'arc, un angle de 5°39'. Elle a été montée, un peu plus haut que sa position définitive, sur l'échafaudage dont nous avons parlé précédemment où elle reposait sur des calages en bois disposés de manière à pouvoir la riper et la descendre sur ses appuis.

En même temps, on a abaissé les quatre autres travées droites pour les faire reposer sur leurs appareils d'appui, on a fixé les garde-corps qui sont à des écartements différents, sur l'arc et sur les travées droites, enfin on a posé la voie.

Calculs. — Les fermes étant à trois articulations, on a pu déterminer très exactement par des épures les efforts qui se produisent dans toutes leurs barres pour les divers cas de surcharge et du vent, sans avoir à tenir compte de l'élasticité du métal ni des variations de température.

On a observé, pour les calculs de la partie métallique, les prescriptions de la circulaire ministérielle française du 29 août 1891, et adopté pour les maçonneries les pressions limites suivantes :

Pression maximun sur le terrain par centimètre carré	8 kg.
» » dans la maçonnerie de mœllons par centimètre carré	10 »
Pression maximun sur la pierre de taille des dés d'appui par centimètre carré	25 »

G. Bodin.

Notice explicative du Règlement sur les constructions en béton armé établi par la Commission suisse du béton armé.

(Suite. [1]*)*

4. *Pièces sollicitées à la flexion.* — Le calcul des forces et tensions intérieures dans les poutres fléchies indiqué à l'art. 7 diffère entièrement de celui prévu dans les prescriptions provisoires de 1903 ; il n'est plus tenu compte du béton dans la zône de traction.

Aussi bien la considération du retrait et des efforts intérieurs qui en résultent, que les résultats des nombreux essais faits à Zurich et à l'étranger dans ces dernières années, ont conduit à cette modification qui répond du reste au mode de calcul généralement admis aujourd'hui. Pour le multiple n de la section de fer à introduire dans les calculs on a admis le chiffre 20. On sait (voir « Mitteilungen der eidg. Materialprüfungsanstalt » cahiers N° 10, 12 et 13) que la position de l'axe neutre dans une poutre sollicitée à la flexion s'élève jusqu'à l'apparition des premières fissures, pour rester ensuite presque constante sous des charges croissantes ; cette position dépend de la qualité du béton et peut être calculée avec une précision suffisante d'après les propriétés élastiques de ce dernier, caractérisées par la valeur n ; les chiffres trouvés à Zurich pour n varient de 4,3 à 29,2 pour des bétons de résistance décroissante. En adoptant le chiffre 20 on obtiendra des efforts à la compression trop faibles pour des poutres en béton de bonne qualité, mais il importe de déterminer des efforts se rapportant à une qualité plutôt médiocre de béton, puisqu'ils devront être comparés aux chiffres de résistance à l'écrasement parfois faible des cubes d'essai après 4 semaines de durcissement. C'est en vue de cette éventualité et des défauts possibles d'exécution qu'il convient d'établir les calculs.

La position de l'axe neutre dans les poutres à section rectangulaire est indiquée en fraction de la hauteur utile et pour un pourcentage croissant de l'armature dans la fig. 1 ; les courbes ont été tracées pour diverses valeurs de n afin de mettre

[1] Voir N° du 10 décembre 1909, page 269.

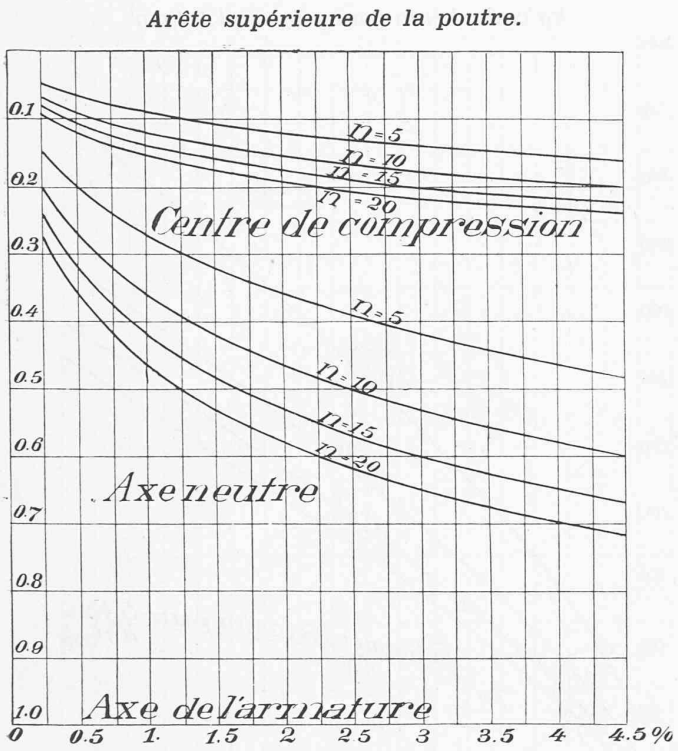

Fig. 1. — Poutres de section rectangulaire. Positions de la fibre neutre et du centre de compression pour un pourcentage croissant d'armature.

en évidence l'influence de la qualité du béton. La même figure indique la position du centre de compression pour un pourcentage croissant de l'armature; les courbes permettent de lire la distance entre les centres de traction et de compression quand la force de l'armature est connue.

Comparés aux résultats des calculs faits suivant les normes de 1903, les efforts spécifiques que l'on obtiendra seront sensiblement plus élevés pour le béton et par contre plus faibles pour le fer. Comparés aux tensions effectives dans un ouvrage en béton de bonne qualité, les efforts calculés avec $n = 20$ seront plus faibles pour le béton et plus élevés pour le fer. Ils exigeront une section d'armature un peu plus grande qu'avec une valeur de n inférieure à 20; la sécurité de la poutre n'en sera qu'augmentée.

L'influence du chiffre n sur les efforts maximums du béton à la compression dans des poutres à section rectangulaire est représentée par le diagramme fig. 2 en admettant une tension constante du fer égale à 1000 kg/cm². A titre d'exemple une armature de 1 % de la section utile du béton (section calculée au dessus du centre de l'armature) correspond pour

n = 5 à un effort de compression max. de 74 kg/cm²
n = 20 » » » » 43 »

Pour le même moment fléchissant, les sections de métal nécessaires sont dans le rapport de 93 pour n = 5 à 100 pour n = 20. Dans les deux cas la rupture se produirait quand la limite apparente d'élasticité du fer serait atteinte, c'est-à-dire qu'elle serait sensiblement simultanée.

Quant aux barres de métal employées parfois pour renforcer la membrure de compression, leur section dans l'hypothèse d'une matière homogène ne devra être multipliée que par 10. On sait par expérience que la sécurité d'une poutre armée dans les proportions usuelles n'est pas sensiblement augmentée par les barres de fer placées dans la zone comprimée; jusqu'ici les prescriptions ne laissaient souvent pas d'autre ressource pour atténuer l'effort du béton à la compression que l'emploi de ces barres comprimées; d'après les nouvelles règles le constructeur ne se verra plus que rarement dans le cas de renforcer les poutres par des armatures dans la zone comprimée et il pourra établir son projet plus rationnellement.

Le calcul au cisaillement (Art. 7 *b*) est plus sévère que suivant les normes de 1903; dans le cas où l'effort de cisaillement sur la section de béton supposé non armé dépasse 4 kg/cm², les armatures doivent suffire non seulement à transmettre la partie de l'effort tranchant dépassant celle qui pourrait être attribuée au béton, mais à transmettre l'effort tranchant total. Les ruptures de poutres pour insuffisance de résistance aux efforts tranchants sont subites et on ne saurait prendre trop de précautions pour les éviter.

Les expériences faites jusqu'ici ne sont pas suffisantes pour prescrire une méthode de calcul déterminée des efforts de cisaillement et des tensions dans le fer dus aux efforts tranchants. C'est un point qui demandera ultérieurement à être complété dans le règlement.

5. *Pièces sollicitées à la compression.* — Pour les colonnes et pièces sollicitées à la compression axiale ou excentrique, l'art. 8 prévoit que les calculs seront faits en introduisant 10 fois la section du fer formant armature longitudinale. Les normes de 1903 indiquaient 20 fois la section du fer. Cette réduction de la valeur de n de 20 à 10 répond à l'expérience qui montre que le concours apporté à une pièce comprimée par des armatures longitudinales n'est pas aussi efficace qu'on le supposait en

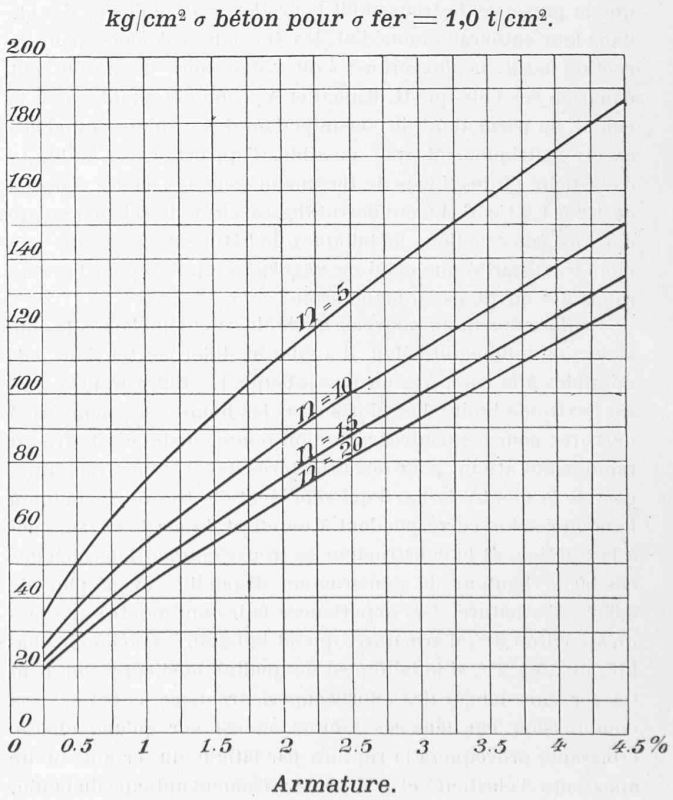

Fig. 2. — Poutres de section rectangulaire. Effort de compression pour $\sigma_{fer} = 1{,}0$ t/cm² et un pourcentage croissant de l'armature.

1903. Cela aura pour effet d'augmenter de préférence la section du béton, au profit de la sécurité.

Pour les colonnes frettées le chiffre de 24 par lequel il y a lieu de multiplier la section d'un fer droit de même volume que celui de la frette est celui qui a été établi par M. Considère ; seules les frettes dont l'écartement ne dépasse pas le cinquième du diamètre sont efficaces.

L'art. 8 *c* limite les sections totales à introduire dans les calculs ; le constructeur n'a aucun avantage à employer trop de métal, néanmoins il est bon qu'une règle le mette en garde de le faire.

Le flambage des barres d'armature longitudinales est à craindre dans les pièces comprimées ; c'est pour obtenir une sécurité suffisante que l'art. 8 *d* fixe la distance minimale des armatures transversales.

6. *Tensions admissibles.* — Il est toujours difficile de préciser les *tensions admissibles* car les idées sur le degré de sécurité à exiger varient suivant le point de vue des organes de surveillance et de celui qui exécute le travail. Les chiffres indiqués dans les normes de 1903 ont été justifiés par la pratique et il n'y avait pas lieu d'apporter des changements notables au degré de sécurité qui leur correspond. Dans les pièces sollicitées à la flexion, avec les armatures de force usuelle, c'est la tension du fer qui caractérise le degré de sécurité. Au lieu d'une formule faisant, comme précédemment, dépendre la tension admissible du fer du travail du béton à la traction, l'art. 9 *a* prévoit une tension maximale unique de 1200 kg/cm².

Ce chiffre peut paraître un peu élevé si on le compare aux tensions admissibles dans les charpentes métalliques ; mais il convient de remarquer que cette tension s'applique à des barres rondes sollicitées suivant leur axe, tandis que dans une charpente métallique les barres sont fixées excentriquement et que la présence de trous suffit pour élever au moins au double dans leur entourage immédiat, les tensions calculées pour la section nette. Les expériences du Laboratoire de Zurich ont confirmé ces faits que G. Kirsch et A. Léon ont établis par le calcul, en permettant de constater dans des cornières attachées aussi centriquement que possible, l'apparition de la limite d'élasticité et des lignes de Hartmann sous des efforts moyens de 1,2 à 1,4 t/cm². Le cœfficient de travail de 1000 kg/cm² usité dans les constructions métalliques de bâtiments présente une moindre sécurité que celui de 1200 kg/cm² prévu pour les fers ronds des ouvrages en béton armé.

Conformément au nouveau mode de calcul qui laisse de côté la section tendue du béton, il a fallu modifier les tensions admissibles à la compression dans le béton. Le chiffre de 40 kg/cm² est l'extrême limite des efforts dans les hourdis de poutres à nervure ; pour les poutres à section rectangulaire ce chiffre est rapidement atteint pour des armatures de section croissante, comme le montre la fig. 3 qui représente le travail du béton à la compression correspondant à un effort du fer de 1200 kg/cm² à la traction, et le constructeur se trouve entravé dans bien des cas où la hauteur de construction disponible exige plus de 0,65 % d'armature. Les expériences faites ont montré que jusqu'à environ 3 % d'armature, quand le béton est de bonne qualité, et 1,5 à 2 % si le béton est de qualité médiocre, on peut tolérer sans danger des efforts supérieurs dans le béton à la compression, car dans ces limites on est sûr qu'une charge croissante provoquera la rupture par fatigue du fer à la limite apparente d'élasticité et non par écrasement anticipé du béton, en supposant que la résistance aux efforts tranchants soit suffisante.

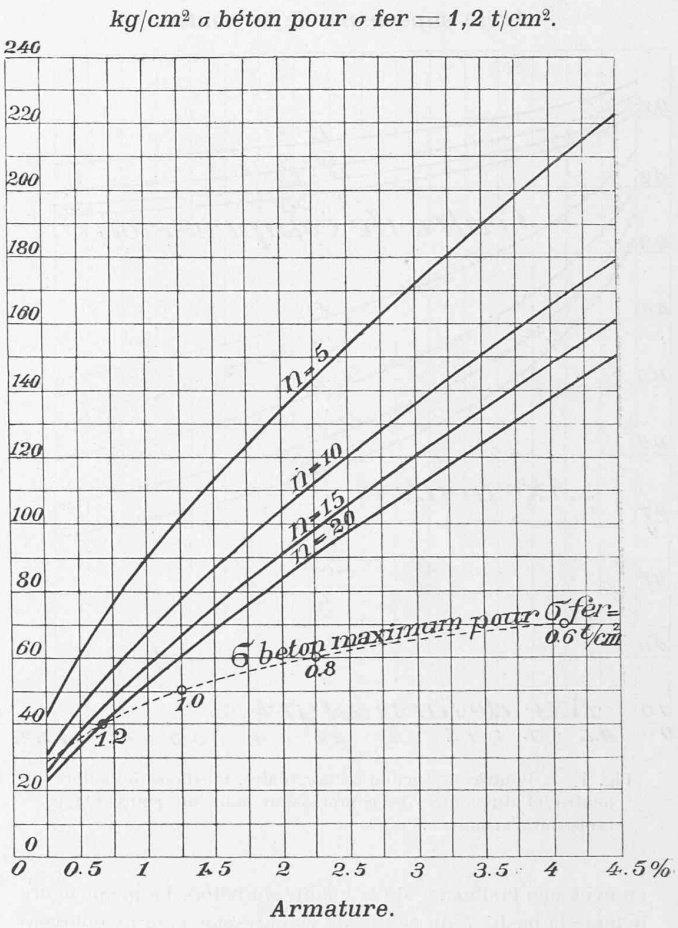

Fig. 3. Poutres de section rectangulaire. Effort de compression du béton pour σ fer = 1,2 t/cm² et un pourcentage croissant d'armature. Travail maximum admissible dans le béton pour σ fer = 1,2 à 0,6 t/cm².

Si l'on veut vraiment renforcer la poutre pour une force d'armature dépassant 0,65 %, on employera plus utilement le fer en renforçant l'armature sollicitée à la traction qu'en disposant des barres dans la membrure comprimée. Ces considérations ont conduit à la formule proposée à l'art. 9 *a* suivant laquelle le travail du béton peut être admis jusqu'à 70 kg/cm², à condition d'abaisser le travail du fer de 1200 à 600 kg/cm². L'importance de cette innovation ressort de la fig. 3 qui indique le champ des pourcentages d'armature mis à la disposition du constructeur.

Quant aux colonnes et pièces sollicitées à la compression, le travail de 35 kg/cm² fixé par les normes de 1903 pour le béton a été maintenu pour la compression axiale et pour l'effort suivant l'axe de gravité si la compression agit excentriquement ; dans ce dernier cas la fibre extérieure de la section peut être sollicitée jusqu'à 45 kg/cm² à la compression et 10 kg/cm² à la traction. Par suite de la réduction du rapport *n* de 20 à 10 ces tensions exigeront surtout, pour les colonnes supposées chargées suivant leur axe, une section plus forte que celle répondant aux prescriptions provisoires. La commission n'a pas cru devoir admettre la proposition d'un de ses membres visant à porter de 35 à 40 kg/cm² le travail admissible entre autres raisons parce qu'une contreproposition demandait la réduction de l'effort admissible à 30 kg/cm². Il convient en effet de tenir

compte du fait que la charge est rarement uniformément répartie comme le suppose le calcul et qu'il y a tout intérêt pour la sécurité publique à construire des piliers et colonnes robustes.

Le danger d'employer des colonnes trop grêles existe surtout dans les étages supérieurs d'un bâtiment. Un constructeur prudent ne se tiendra pas dans des cas pareils à la limite indiquée des efforts et, eu égard à la possibilité d'une sollicitation excentrique, il choisira des dimensions plus fortes. Pour les colonnes des étages inférieurs, les surcharges cumulées admises dans les calculs sont si peu probables, sauf dans les magasins et entrepôts, que le travail effectif reste sûrement au-dessous de la limite prescrite.

Le flambage de colonnes est rarement à craindre, car la hauteur ne dépasse pas habituellement 20 fois le plus petit côté. Pour les cas exceptionnels de pièces comprimées très élancées sollicitées suivant leur axe, le règlement indique la formule de Rankine avec le cœfficient de réduction proposé par W. Ritter, qui cadre assez bien avec les résultats des quelques essais de colonnes minces chargées suivant leur axe et qui se sont rompues par un véritable flambage.

7. *Les matériaux.* — Les prescriptions n'admettent que le fer fondu (Flusseisen) pour les armatures; les aciers plus durs ne supportent pas le courbage avec une sécurité suffisante. Il peut arriver que les chiffres de résistance à la traction dépassent pour le fer fondu la limite supérieure de 4,5 t/cm². fixée par l'ordonnance fédérale pour les ponts et charpentes de 1892; cela se présente pour des fers ronds de faible diamètre dont le laminage est terminé à une température un peu basse. Il n'y a pas d'inconvénient à tolérer pour ces fers une résistance à la traction atteignant 4,8 à 4,9 t/cm², si l'allongement est satisfaisant.

Les nombreux essais de résistance du béton à la compression ont confirmé l'importance du mélange bien proportionné du sable et du gravier, de façon à obtenir la capacité la plus élevée, c'est-à-dire le moindre volume des vides. On pourra alors pour la même quantité de ciment, atteindre le maximum de résistance. Il s'agit, dans la détermination de la proportion de sable, et gravier d'essais fort simples pouvant se faire sur chaque chantier.

Le contrôle du béton a lieu d'une part par l'essai du ciment, d'autre par l'écrasement de cubes ou de prismes. Le ciment étant un produit artificiel, dont la qualité varie suivant la fabrication, son contrôle régulier constitue la meilleure garantie d'une bonne exécution.

8. *Exécution.* — Les résistances à atteindre à 28 jours sont de 150 kg/cm² si le béton a été gâché en consistance plastique et de 200 kg/cm² s'il a été gâché en consistance plutôt sèche (de terre humide) et bien pilonné. Malgré les précautions prises pendant l'exécution des cubes d'essai, il peut arriver que quelques résultats soient insuffisants. Or, comme les essais préliminaires exceptés, les cubes d'essai sont bétonnés au fur et à mesure de l'avancement des travaux, la connaissance de résultats ne répondant pas aux prescriptions est toujours tardive. Dans des cas semblables, on peut recommander de soumettre les parties de l'ouvrage correspondant aux faibles résultats des essais à une inspection spéciale et de retarder l'enlèvement des étais. La décision définitive dépendra du travail réel à supporter par ces parties et de l'examen du béton au son et à l'attaque d'un outil. Les cubes ou prismes à essayer doivent être conservés à l'humidité pendant les premiers jours et surtout à l'abri du soleil.

Les indications concernant la préparation des crochets et des coudes des armatures ont pour but d'éviter les ruptures soudaines qui se produisent si le rayon de courbure est trop faible et quand le métal est travaillé à froid.

On ne doit procéder au décoffrage et à l'enlèvement des pointelles et supports qu'avec précaution ; de ces deux opérations la première peut se faire au bout de peu de jours, tandis que la seconde n'aura lieu qu'en tenant compte de la portée, c'est-à-dire des efforts dus à la charge propre de la construction.

9. *Contrôle et réception des travaux.* — Le contrôle de l'exécution du béton armé est plus important que celui de tout autre genre de construction car, une fois les travaux terminés, on ne peut vérifier que les dimensions extérieures du béton. On ne saurait donc assez insister sur l'utilité de la vérification des fers d'armature quant à leur diamètre et quant à leur nombre et à leur position dans le coffrage.

Les nombreuses malfaçons possibles dans la préparation du béton exigent que le travail soit confié à des hommes connaissant bien le métier et que le dosage puisse en tout temps être aisément contrôlé.

L'art. 20 définit la tâche du conducteur des travaux ; un dossier complet de toutes les données et renseignements ayant trait à l'exécution doit être dressé pour chaque ouvrage.

Les essais de charge ne peuvent être prescrits d'une façon générale ; ils ne pourront du reste s'étendre qu'à quelques parties de la construction. Faits avec soin, en notant les inflexions prises par de mombreux points simultanément et en appliquant la charge par phases successives, ces essais constituent non seulement un élément de vérification d'une bonne exécution, mais ils contribuent à augmenter nos connaissances quant à la répartition des charges dans les pièces voisines et quant à l'effet de l'encastrement dans les murs et sur les colonnes ; à ce titre et la surcharge n'étant pas poussée trop loin, on ne peut que les recommander.

Les essais de charge jusqu'à rupture sont importants pour constater sur des poutres ou pièces isolées, l'efficacité d'une nouvelle disposition d'armature ou comme contrôle de la bonne fabrication de poutres préparées hors du chantier et livrées prêtes pour la pose.

10. *Exceptions.* — Le béton armé se prête à tant d'applications et sous des formes si diverses et les progrès dans ce domaine se développent de telle façon qu'il est nécessaire de prévoir des cas où quelques-unes des prescriptions du règlement ne sont pas applicables ; des essais spéciaux et l'avis de personnes compétentes sont requis dans de pareils cas, pour justifier les changements proposés.

Le président et rapporteur de la Commission,

F. Schüle, prof.

Zurich, juin 1909.