

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 93 (1967)  
**Heft:** 2: Revision des normes SIA, nos 161, 161, 162

**Artikel:** Le domaine de validité des normes  
**Autor:** Panchaud, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-69054>

#### **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:** 26.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)  
de la Section genevoise de la SIA  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole poly-  
technique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. à Genève

Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne

Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.

Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Groscurin, arch.; J.-C. Ott, ing.

Neuchâtel: J. Béguin, arch.; M. Chevalier, ing.

Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.

Vaud: A. Chevally, ing.; A. Gardel, ing.

M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: D. Bonnard, ing.

Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; J. Favre,  
arch.; A. Robert, ing.; J.-P. Stucky, ing.

Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

## RÉDACTION

D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua,  
architecte  
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . . Suisse Fr. 40.— Etranger Fr. 44.—

Sociétaires . . . . . » 33.—

Prix du numéro . . . . . » 2.— » 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie  
La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:

1/1 page . . . . . Fr. 423.—

1/2 » . . . . . » 220.—

1/4 » . . . . . » 112.—

1/8 » . . . . . » 57.—



Adresse: Annonces Suisses S.A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursales

## SOMMAIRE

Le domaine de validité des normes, par M. F. Panchaud, professeur à l'EPUL.

Remarques générales sur les normes n° 160, par E. Rey, ingénieur au Service fédéral des routes et des digues, Berne.

Essais de freinage de véhicules routiers, par Maurice-H. Derron, professeur à l'EPUL.

La révision partielle de la norme 161 relative aux constructions métalliques, par Ch. Dubas, ingénieur civil, dipl. EPF, D'ès sc. techn.

La nouvelle définition des aciers de construction et leur application, par M. Cosandey, professeur à l'EPUL.

Bibliographie. — Les congrès. — Société suisse des ingénieurs et des architectes.

Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Informations diverses.

## DISPOSITIONS NOUVELLES DANS LES PROJETS DE REVISION DES NORMES SIA<sup>1</sup>

### LE DOMAIN DE VALIDITÉ DES NORMES

par M. F. PANCHAUD, professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne (EPUL)

A l'occasion de la future promulgation des nouvelles normes n° 162<sup>2</sup>, il apparaît utile de rappeler quelques-unes des notions fondamentales concernant la validité de telles prescriptions.

L'exposé que j'ai l'honneur de vous présenter aujourd'hui n'a pas la prétention d'épuiser le sujet; on doit plutôt le considérer comme une excursion dans le vaste domaine des normes, excursion qui permettra de relever au passage les points de doctrine sujets à réflexion. Beaucoup de ces observations sont banales, elles n'en sont pas moins précieuses pour étayer un jugement d'ensemble.

Pour apprécier les normes, on peut se placer à deux points de vue différents :

1. Le point de vue juridique, pour répondre à la question suivante : les normes sont-elles obligatoires ?
2. Le point de vue technique, pour savoir si les normes sont conformes à la science du béton armé.

Que demande l'ingénieur praticien ? Il désire :

- a) disposer d'une doctrine claire qui lui permette de construire avec sécurité ;

b) connaître les coefficients à introduire dans ses calculs, sans être obligé de procéder à de nouvelles recherches ; c) définir les qualités requises des matériaux et les conditions d'exécution.

Les nouvelles normes s'efforcent de répondre à ces désirs.

Essayons d'abord de les situer dans le temps en jetant un regard vers le passé.

Historiquement, les futures normes sur le béton armé constituent la septième publication en la matière parue en Suisse. La première, parue en 1903, a été préparée par une Commission du béton armé, dans le cadre de la SIA, à la suite de quelques accidents retentissants ; cette commission a mis sur pied un règlement sommaire, fort discuté à l'époque, non seulement dans son fonds, mais surtout quant à son utilité. C'est ce règlement qui a servi de base aux prescriptions fédérales provisoires

<sup>1</sup> Les exposés publiés au présent numéro ont été faits le 14 octobre 1966, à Zurich, lors des journées d'études organisées par la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA), Beethovenstrasse 1, 8022 Zurich.

<sup>2</sup> Normes SIA n° 162 pour le calcul, la construction et l'exécution des ouvrages en béton, béton armé et béton précontraint.

de 1906. En 1909, le nouveau règlement de la SIA, étayé sur les résultats de nombreux essais systématiques effectués à l'étranger et en Suisse, donne aux ingénieurs spécialistes un outil de travail déjà perfectionné pour l'époque : on y relève, en particulier, cette notion originale permettant, dans les profils fléchis, d'augmenter les contraintes d'arête du béton, à la condition de réduire simultanément les contraintes dans les armatures.

On doit évoquer ici le souvenir des pionniers du béton armé qui, les premiers, ont jeté les fondements des calculs : le professeur Ritter, le professeur Schüle, les professeurs Moersch, Koene, Considère et Mesnager, artisans convaincus de la nouvelle technique.

En 1915 a paru l'Ordonnance fédérale, qui reprend les principes du règlement de 1909. Il semble que cette ordonnance a donné satisfaction dans son ensemble, puisqu'elle est restée en vigueur jusqu'en 1935.

En 1935, la SIA a pris une initiative intéressante en préparant des normes susceptibles d'être promulguées sans autre au rang d'ordonnance fédérale. Ce mode de faire a été appliqué également pour les normes de 1956 et elle le sera pour celles de 1966 dont le projet est en discussion. Le fait que les normes sont réputées ordonnance fédérale leur confère la qualité de loi, ce qui définit leur caractère obligatoire.

Les nouvelles normes de 1966 répondent au besoin qui se manifeste aujourd'hui un peu partout : la mode est à la révision, selon le slogan : « Il faut repenser tout le problème. » Ce slogan est à l'ordre du jour dans de nombreux domaines ; le béton armé ne pouvait pas y échapper.

Cette manière de voir est heureuse en soi, à la condition, cependant, de ne pas vouloir à tout prix sacrifier à la nouveauté, de ne pas décider à priori que tout ce qui existe est sans valeur et doit être abandonné. Il ne faut pas oublier que les règles en usage dans nos techniques ne sont pas simplement l'expression d'opinions ayant un caractère temporaire ; ces règles pratiques comportent toujours une part d'acquis, de caractère fondamental, qui résiste aux fluctuations des modes. Comme le dit justement André Maurois : « Certaines lois subsistent contre lesquelles toute volonté de renouvellement se révèle impuissante ; il y a des règles que l'on ne transgresse pas en vain. »

A mon point de vue, repenser un problème, c'est surtout vérifier si les méthodes et les règles en usage restent en accord avec les découvertes récentes en la matière et c'est les y adapter, s'il y a lieu.

On est tenté de croire, dans notre ère de progrès continus, que les découvertes scientifiques de détail peuvent être mises en valeur sans autre dans les applications. C'est loin d'être le cas : ces découvertes, pour être valables, sont souvent assorties d'exigences sévères, difficiles à mettre en pratique. Il en est ainsi dans le domaine du béton : on sait, par exemple, que l'on peut atteindre des résistances très élevées, 800 kg/cm<sup>2</sup>, même 1000 kg/cm<sup>2</sup> et 1500 kg/cm<sup>2</sup>, si l'on s'applique à soigner méticuleusement la fabrication et la mise en place du béton ; hélas, de telles exigences apparaissent difficilement réalisables avec certitude sur les chantiers, de sorte qu'on est réduit finalement à renoncer aux bénéfices de telles améliorations.

Vous comprendrez, dès lors, pourquoi dans le nou-

velles normes, pour les bétons courants (béton normal et béton à haute résistance), les contraintes admissibles ne sont guère plus élevées que dans les normes précédentes, alors que d'incontestables progrès ont été réalisés dans les laboratoires.

Pour avoir une vue d'ensemble des différentes normes déjà parues et apprécier les caractéristiques nouvelles proposées, on a dressé le tableau de la figure 1. On constate effectivement que les qualités courantes des bétons plafonnent aujourd'hui. Il ne faut cependant pas renoncer définitivement aux progrès toujours possibles ; c'est pour cela que, dans les normes, on a introduit le béton dit « spécial », qui est à la disposition de tous ceux qui sauront exploiter ses possibilités exceptionnelles.

L'examen de ce tableau, qui donne les caractéristiques des matériaux, appelle quelques commentaires :

#### a) Qualité du béton

Jusqu'en 1935, on ne prévoyait qu'une qualité de béton assimilable au béton normal BN. Les résistances moyennes exigées ont peu varié de 1903 à 1966, de 160 à 240 kg/cm<sup>2</sup>. En ce qui concerne le béton BH, depuis qu'il a été introduit, sa résistance a peu varié également. Dans les normes 1966, on exige une résistance moyenne de 360 kg/cm<sup>2</sup>.

#### b) Classification des ouvrages

Au cours des soixante ans, la mode a varié ; tantôt on éprouve la nécessité d'imposer des exigences différentes pour les différents types d'ouvrages, plus tard on estime que cette distinction est superflue.

Dans les normes 1966, on distingue entre les ouvrages courants et les ponts-rails où les conditions de charge sont plus dures, soit par la répétition d'une charge voisine du maximum, soit par l'apparition d'effets dynamiques importants.

#### c) Contraintes

Dans le béton, on a toujours distingué la contrainte d'arête de la contrainte moyenne, qui est plus faible ; implicitement, on a ainsi introduit une sécurité plus grande chaque fois que la résistance du béton est déterminante.

On voit apparaître, en 1906, l'idée de limiter les tractions dans le béton. Cette exigence a disparu par la suite. Le tableau donne, en outre, les rapports entre les contraintes admissibles et les résistances minimales exigées, rapports qui varient de 5,2 à 2,4 pour le béton et de 2,4 à 1,7 pour l'acier et donnent une idée de l'évolution du degré de sécurité, au fur et à mesure que la technique s'est perfectionnée.

#### d) Aciers

Les normes de 1935 font apparaître pour la première fois l'acier spécial avec un coefficient de sécurité de 2,1 ; celles de 1966 abaissent ce coefficient à 1,84.

\* \* \*

Quel est le domaine de validité d'une prescription technique quelconque ? On peut dire qu'il est d'autant plus étendu que les règles proposées expriment ou traduisent plus fidèlement les phénomènes naturels. L'ingénieur qui crée, édifie ou imagine, en béton armé comme dans tous les domaines de la technique, doit

| Béton armé. Comparaison des contraintes admissibles des divers règlements entre 1906 et 1966 (projet) |                                |                 |                      |                                |       |       |                              |  |                              |                 |  |                                       |                 |
|---|--------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|-------|-------|------------------------------|--|------------------------------|-----------------|--|---------------------------------------|-----------------|
| Années  | 1906<br>Ordonnance<br>fédérale |                 | 1909<br>SIA          | 1915<br>Ordonnance<br>fédérale |       |       | 1935<br>Ordonnance<br>et SIA |  | 1956<br>Ordonnance<br>et SIA |                 |  | 1966 (Projet)<br>Ordonnance<br>et SIA |                 |
| Types de béton  | BN                             |                 | BN                   | BN                             |       |       | BN                           | BH                                       | BN                           | BH              |  | BN                                    | BH              |
| Résistance exigée en kg/cm <sup>2</sup> $\beta_{w28}$   | 160                            |                 | 150 à 200            | 200                            |       |       | 220                          | 300                                      | 220                          | 300             |  | 240                                   | 360             |
| Ouvrages  | Bâtim.<br>et ponts-<br>routes  | Ponts-<br>rails | Tous les<br>ouvrages | Bâtim.                         | Ponts |       | Tous les<br>ouvrages         | Tous les<br>ouvrages<br>sauf ponts-rails |                              | Ponts-<br>rails | Tous les<br>ouvrages<br>sauf ponts-rails |                                       | Ponts-<br>rails |
| Contraintes admissibles en kg/cm <sup>2</sup>   |                                |                 |                      |                                |       |       |                              |  |                              |                 |  |                                       |                 |
| <i>A. Béton</i>   |                                |                 |                      |                                |       |       |                              |  |                              |                 |  |                                       |                 |
| Arête norm. $\sigma_r$ . . .  | 30                             | 20              | 40                   | 40                             | 35    | 30    | 70                           | 100                                      | 75                           | 110             | 100                                      | 75                                    | 110             |
| Max. $\sigma_r + \Delta\sigma_r$ . . .  | 30                             | 20              | 70                   | 60                             | 50    | 40    | 90                           | 120                                      | 100                          | 143             | 130                                      | 100                                   | 143             |
| Moyenne $\sigma_s$ . . . .  | 30                             | 20              | 35                   | 35                             | 30    | 25    | 50                           | 70                                       | 50                           | 75              | 67                                       | 50                                    | 75              |
| Extraction $\sigma_z$ . . . .   | 30                             | 20              | 10                   | 10                             | 9     | 8     | —                            | —  | —                            | —               | —  | —                                     | —               |
| Traction : $\sigma$ oblique ou $\mathfrak{F}$ . . . .   | 4,0                            | 3,0             | 4,0                  | 4,0                            | 3,5   | 3,0   | 12                           | 15                                       | 15                           | 20              | 20                                       | 15                                    | 20              |
| <i>B Armatures</i>  | Ac. I                          | Ac. I           | Ac. I                | Ac. I                          | Ac. I | Ac. I | Ac. I                        | Ac. II                                   | Ac. I                        | Ac. II          | Ac. II                                   | Ac. I                                 | Ac. III         |
| Qualité $\sigma_{0,2}$ . . . .  | 2400                           | 2400            | 2400                 | 2400                           | 2400  | 2400  | 2400                         | 3500                                     | 2400                         | 3500            | 3500                                     | 2400                                  | 4400            |
| Admiss. $\sigma_a$ . . . .  | 1000                           | 800             | 1200                 | 1200                           | 1000  | 800   | à 1400                       | 1600 à 1700                              | 1400 à 1600                  | 1800 à 2000     | 1400 à 1600                              | 1200 à 1400                           | 1800 à 2400     |
| $\beta_{w28} : \sigma_r$ max . . . .  | 5,2                            | 8,0             | 2,2                  | 3,3                            | 4,0   | 5,0   | 2,2                          | 2,5                                      | 2,2                          | 2,1             | 2,3                                      | 2,4                                   | 2,5             |
| $\beta_{w28} : \sigma_s$ . . . .  | 5,2                            | 8,0             | 4,3                  | 5,7                            | 6,7   | 8,0   | 4,0                          | 4,3                                      | 4,4                          | 4,0             | 4,5                                      | 4,8                                   | 4,8             |
| $\sigma_{0,2} : \sigma_a$ min . . . .   | 2,4                            | 3,0             | 2,0                  | 2,0                            | 2,4   | 3,0   | 1,7                          | 2,1                                      | 1,5                          | 1,75            | 2,2                                      | 1,7                                   | 1,84            |
|   |                                |                 |                      |                                |       |       |                              |  |                              |                 |  |                                       | 2,0             |

Fig. 1.

respecter par ses dispositions la physique profonde des choses, sinon il s'expose à des mécomptes ou à des échecs.

Je ne peux m'abstenir de rappeler ici la définition du béton armé donnée par Moersch : le béton armé, c'est ce matériau composé de béton et de fer, disposés de façon qu'intimement liés les deux constituants exercent une action commune contre les forces extérieures. Cette définition souligne le caractère essentiel des phénomènes physiques qui sont à la base du béton armé : la solidarité des deux constituants et leur commune action pour assurer l'équilibre interne.

Bien qu'indispensables, les calculs et les formules mathématiques à eux seuls ne sont pas suffisants parce qu'ils schématisent par trop les phénomènes et négligent souvent les aspects secondaires. Dans le domaine du béton armé et du béton précontraint, de telles simplifications sont loin d'être toujours admissibles, car les phénomènes ainsi négligés dans le calcul, se manifestent en réalité et peuvent avoir des conséquences dommageables pour le comportement de la construction.

Aujourd'hui, où l'on tend à augmenter les contraintes de service, parfois remarque à toute son importance. En augmentant les contraintes, on fait apparaître, en effet, des déformations plus accusées, qui sont souvent la cause d'un désordre et influencent défavorablement la distribution des efforts. Puisque les calculs ne peuvent

pas toujours exprimer les phénomènes physiques, on a été conduit à compléter les règles de calcul par des prescriptions constructives.

Le souci dominant des normes est de faire bénéficier tous les constructeurs, dans toute la mesure du possible, des nombreuses observations et des expériences pratiques connues. On a tenté d'exprimer les conclusions de ces expériences par des règles pratiques.

Nous avons dit, au début, que l'on peut apprécier les normes au double point de vue juridique et technique.

L'esprit des règlements a évolué au cours des années. A l'origine, on distinguait les ordonnances au caractère obligatoire des directives essentiellement professionnelles. Dès 1935, le caractère obligatoire s'est fondu dans l'ensemble des normes et n'apparaît expressément que dans les dispositions essentielles et dans les principes.

On a quelquefois tendance à vitupérer contre les entraves résultant de certains principes ; par exemple, on estime que les coefficients de sécurité prescrits sont trop élevés et cela surtout dans les cas particuliers, où ils sont gênants. C'est précisément dans ces cas qu'il est utile de disposer d'un critère objectif choisi à l'avance en étant de sang-froid. C'est d'ailleurs une mesure de sagesse d'imposer à chacun une marge de sécurité définie. Dès qu'une technique quitte le domaine des spécialistes pour être mise à la disposition de chacun, il

## Données de l'ouvrage

### Sécurités globales:

Béton déterminant : 2,5  
Acier déterminant : 1,8

### Conditions de résistance

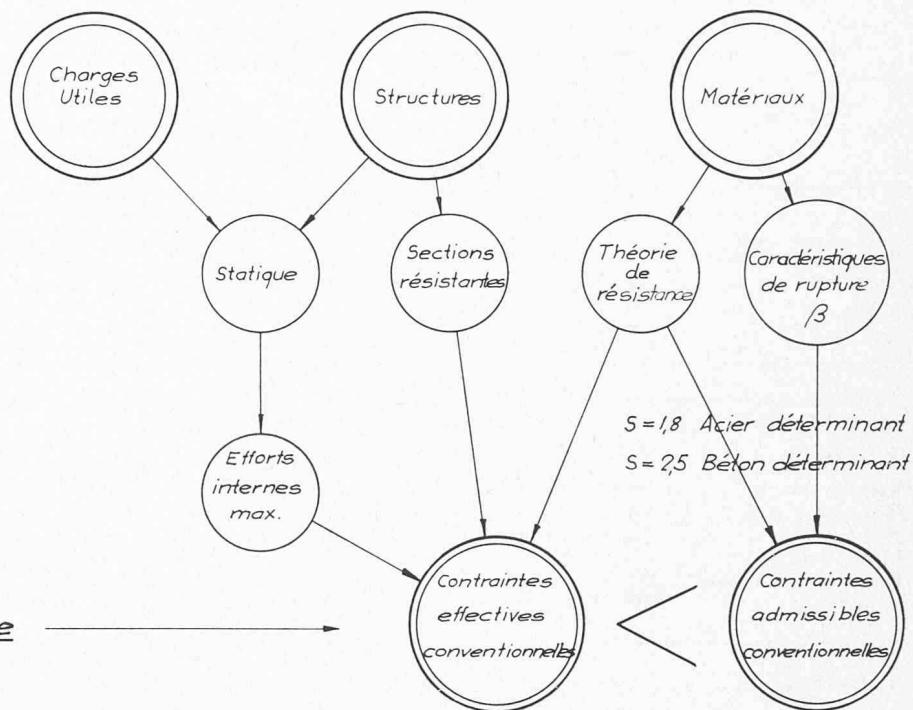


Fig. 2. — Organigramme de l'étude des résistances par la méthode des contraintes admissibles.

est indispensable d'en fixer les exigences minimales de sécurité. En cela, on reste d'ailleurs dans le cadre de la Constitution fédérale, qui confère aux autorités le droit et leur impose le devoir d'assurer la sécurité des citoyens.

Dans les nouvelles normes, le caractère obligatoire porte essentiellement sur les trois points suivants :

- fixer les coefficients de sécurité minimum vis-à-vis de l'état de ruine ;
- définir les contraintes admissibles à l'état de service ;
- définir les qualités minimums exigibles des matériaux.

Au point de vue juridique, l'application des normes, sans réserve et sans réflexion, ne saurait dégager la responsabilité de l'ingénieur, qui reste entière. Bien que très générales, les normes ne peuvent en aucun cas être universelles et inclure tous les cas possibles, surtout s'ils constituent des extrapolations. Si une construction étudiée en se basant sur les normes présente des désordres, on ne peut qu'en déduire que les normes ne lui étaient pas applicables.

Les normes définissent la doctrine de base de calcul de résistance dans la mesure la plus large possible.

### *Bases du calcul de la résistance*

D'une manière générale, trois méthodes sont à disposition de l'ingénieur pour définir la résistance d'une construction :

- la méthode empirique pure ;
- la méthode classique dite « des contraintes admissibles » ;
- la méthode type du contrôle à la rupture.

Nous voulons analyser rapidement le principe de chacune des méthodes avant d'en faire la critique.

La première méthode, pour dimensionner les constructions, recourt à l'empirisme pur, c'est celle de l'artisanat de tous les temps.

Par des essais de charge systématique, poussés à outrance, on détermine les conditions de rupture de la construction, on modifie dimensions et dispositions de détail en fonction des résultats des essais pour définir la solution finale. Cette méthode empirique est agréée par les normes ; elle convient aux éléments préfabriqués, de dimensions réduites et exécutés en série. Ce n'est pas une méthode nouvelle de la technique, elle est déjà largement appliquée par les constructeurs de machines qui étudient des prototypes avant de lancer une fabrication en grand. Il est donc légitime de l'admettre dans le domaine du béton armé ou du béton précontraint, à la condition que les essais soient scientifiquement conduits. D'ailleurs, les essais sur modèle réduit s'inspirent de cette conception, puisqu'ils permettent d'analyser l'influence des formes sur la distribution des contraintes, même pour les ouvrages de grande dimension.

La figure 2 représente l'organigramme de l'étude de la résistance par la méthode des « contraintes admissibles ».

Le principe de cette méthode est le suivant :

D'une part, on définit les contraintes admissibles conventionnelles en fonction des qualités requises des matériaux, en introduisant un facteur global de sécurité.

D'autre part, on calcule les contraintes effectives qui se produisent dans l'ouvrage en service en partant des charges de la forme de la structure et des théories de résistance. On prescrit que ces contraintes effectives doivent toujours rester inférieures aux contraintes admissibles conventionnelles.

La sécurité est comprise dans les contraintes admissibles qui sont une fraction des contraintes de rupture des matériaux et qui sont choisies de façon que, pour la théorie de résistance admise, les coefficients de sécurité prescrits sont atteints.

La figure 3 représente l'organigramme de l'étude de

### Données de l'ouvrage

#### Sécurités globales:

Béton déterminant :  $1,4 \times 1,8 \approx 2,5$

Acier déterminant :  $1,4 \times 1,3 \approx 1,8$

#### Condition de résistance

$$1,4 \times \text{efforts effectifs max.}$$

*Efforts intérieurs maximum probables*

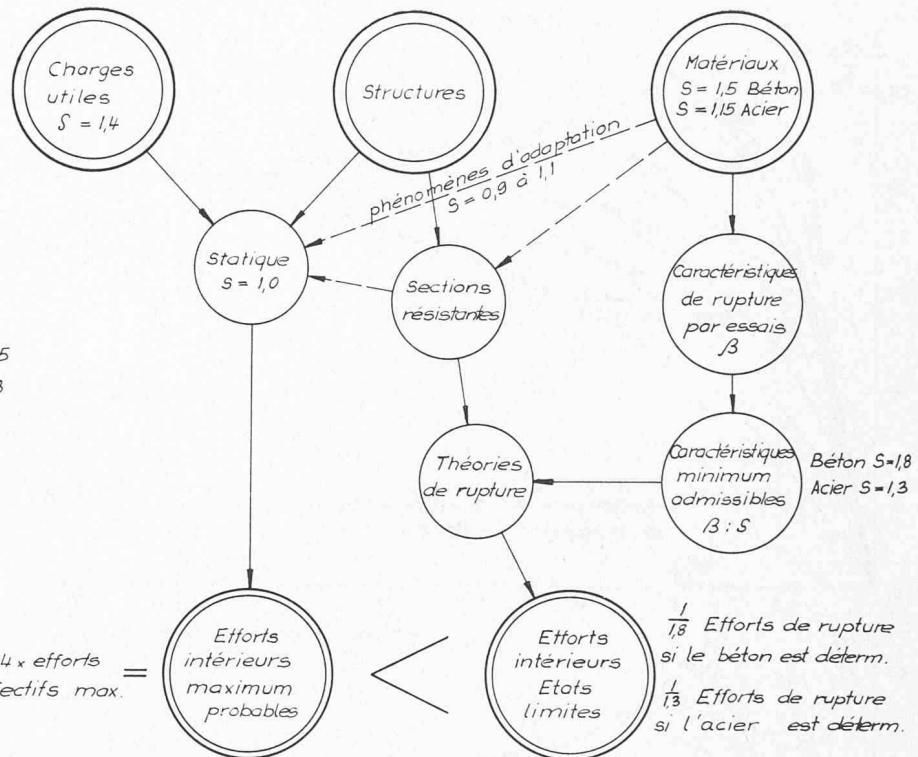


Fig. 3. — Organigramme de l'étude des résistances par les théories de la rupture.

la résistance par les théories de rupture. Le principe de cette méthode est le suivant : on évalue, d'une part, les efforts intérieurs maximums probables qui peuvent affecter la construction, en tenant compte du caractère aléatoire des charges de service, augmentées à cet effet par un coefficient de majoration de 1,4.

D'autre part, on détermine les efforts intérieurs limites que peuvent supporter les sections, en tenant compte du mécanisme de rupture et des valeurs aléatoires des caractéristiques résistantes. Les caractéristiques résistantes à prendre en compte sont définies en partant des valeurs statistiques découlant des essais, affectées d'un coefficient de minoration qui fait intervenir la probabilité d'une déficience. Ces facteurs de minoration sont différents d'un matériau à l'autre : pour le béton, il est de 1 : 1,8 et pour l'acier de 1 : 1,3.

Le contrôle de la résistance exige que les efforts intérieurs limites restent supérieurs aux efforts maximums probables.

#### *Discussion du coefficient de sécurité*

L'analyse de la résistance met en lumière deux groupes de faits indépendants qui interviennent en se conjuant.

D'une part les charges, d'autre part les matériaux et les conditions d'exécution. Les coefficients choisis sont tels que les probabilités d'apparition des phénomènes pouvant provoquer la rupture sont extrêmement faibles, de l'ordre de 1 sur 1 million.

On doit faire remarquer ici que seuls les phénomènes de caractère aléatoire sont inclus dans les coefficients de sécurité. Ainsi tous les phénomènes définis au moment de l'étude des ouvrages, les défauts de conception, comme toutes les influences prévisibles, tels les mouve-

ments des fondations, ne doivent pas être considérés comme phénomènes aléatoires et, par conséquent, ne sont pas couverts par les coefficients de sécurité. Il en est ainsi, par exemple, des conséquences de tassement d'appui dans une poutre continue à travées fortement inégales. Dans ce cas, l'ingénieur doit inclure dans son étude de telles influences.

#### *Critique des deux groupes de méthode de calcul des ouvrages*

D'une manière générale, ces deux modes de calcul ne s'excluent pas, mais se complètent. Celui qui apprécie la résistance par les contraintes, en les limitant, se préoccupe essentiellement du comportement de la construction en service. Celui qui examine les problèmes en considérant la sécurité à la rupture cherche à apprécier la marge de sécurité disponible pour s'assurer que cette marge est toujours suffisamment grande.

Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients.

La méthode des contraintes admissibles présente les avantages suivants :

Elle permet d'analyser systématiquement et séparément toutes les causes pouvant produire des contraintes dans la construction ; elle suppose que chacune de ces causes peut agir indépendamment des autres. On peut ainsi apprécier le comportement de la construction dans des conditions assez voisines de l'état de service réel. On limite les contraintes, soit sous l'effet des charges seules, dans ce cas les efforts intérieurs assurent l'équilibre, soit sous les effets des variations de température, où ce sont les effets des hyperstatiques qui interviennent essentiellement. Par cette limitation des contraintes, on

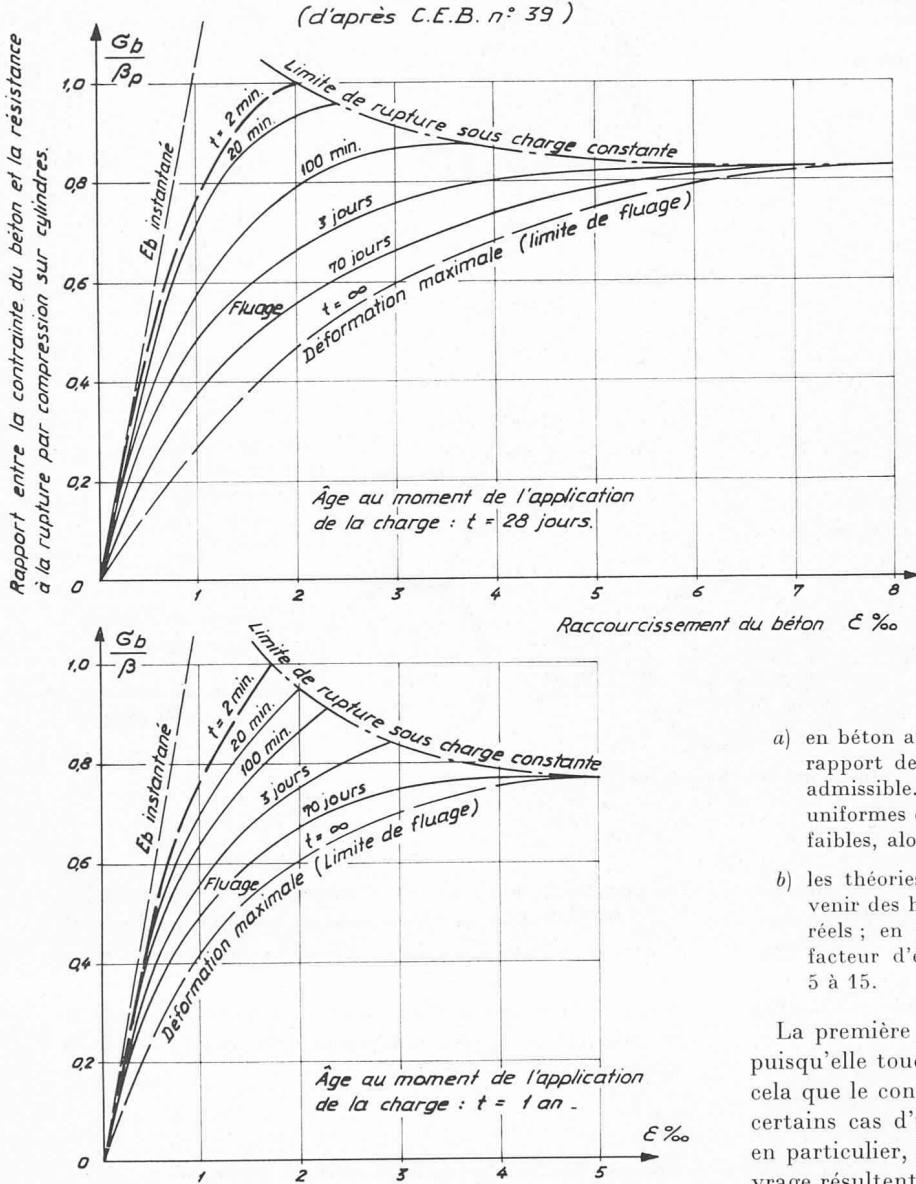


Fig. 4. — Diagrammes caractéristiques contrainte-déformation pour du béton sous charge centrée de compression.

- a) en béton armé la sécurité n'est pas proportionnelle au rapport de la contrainte de rupture de la contrainte admissible. Il en résulte que les sécurités ne sont pas uniformes et, dans certains cas, elles peuvent être trop faibles, alors une étude de l'état de rupture s'impose ;
- b) les théories de résistance conventionnelles font intervenir des hypothèses qui schématisent les phénomènes réels ; en particulier, on est appelé à introduire un facteur d'équivalence dont la valeur peut varier de 5 à 15.

La première critique nous paraît la plus importante, puisqu'elle touche à la sécurité de l'ouvrage. C'est pour cela que le contrôle de cette sécurité doit être fait dans certains cas d'une manière impérative. Il en est ainsi, en particulier, lorsque les contraintes agissant sur l'ouvrage résultent de deux effets antagonistes. L'un aggravant, peut être sous-estimé, tandis que le soulagement provenant de l'autre peut ne pas atteindre la valeur escomptée. La marge disponible s'amenuise alors rapidement.

La seconde critique n'est pas pertinente : dans les théories de calcul à la rupture, on est aussi conduit à prévoir des hypothèses simplificatrices. Il y a lieu d'ajouter que les théories à la rupture ne sont souvent valables que dans des cas très particuliers.

D'ailleurs, si l'on examine les méthodes de calcul des théories à la rupture, on voit qu'elles permettent de réaliser une sécurité uniforme dans la mesure où le mécanisme de rupture est bien connu. Dans les autres cas, elles n'apportent pas de renseignements plus sûrs que la méthode des contraintes admissibles. Par ailleurs, elles ne permettent pas d'analyser dans le détail le comportement de l'ouvrage sous les effets séparés, puisqu'elles considèrent toujours un effet global, celui qui amène la ruine.

En conclusion, les méthodes « des contraintes admissibles » sont plus générales que celles à la rupture, qui ne sont théoriquement applicables qu'à certains ouvrages types, ayant fait l'objet d'essais. C'est pourquoi, en définitive, dans les normes on a adopté en principe

évite des états de déformation exagérés pouvant faire apparaître des phénomènes secondaires indésirables.

La nécessité de limiter les contraintes est impérative dans le domaine du béton armé.

Le graphique suivant (fig. 4) est significatif à ce sujet. Il nous montre les faits essentiels suivants :

1. La résistance instantanée du béton est plus élevée que la résistance durable. On constate que si la contrainte dépasse les 80 % de la contrainte de rupture instantanée, la destruction peut intervenir, si l'on attend assez longtemps. Ainsi, indépendamment du problème de sécurité, il est indispensable de limiter les contraintes permanentes. Si les contraintes sont limitées, les déformations lentes le sont aussi et les grandes déformations dangereuses sont évitées. La méthode des contraintes admissibles a, en outre, un caractère général. Elle peut s'appliquer à n'importe quel type de construction.

D'après ce qui précède, cette méthode conserve toute sa valeur, en dépit des deux critiques suivantes qu'il faut relever :

comme base de calcul de résistance, la méthode des contraintes admissibles. On doit limiter les contraintes non pour des motifs de sécurité à la rupture, mais aussi pour assurer un comportement dans le temps (fissures limitées). Cependant, les théories de rupture sont aussi admises chaque fois qu'elles découlent d'essais systématiques ou qu'il peut être nécessaire de contrôler la sécurité, car la connaissance de la sécurité est indispensable pour apprécier la marge disponible.

#### Réserve de résistance à l'effort tranchant

Dans certains calculs relatifs à la résistance à l'effort tranchant des poutres en béton précontraint, la marge disponible de sécurité n'est pas suffisante, si l'on fait intervenir le seul calcul par les contraintes admissibles ; cela tient au fait que la capacité de résistance en fonction de la faible différence de deux groupes d'efforts, l'un pratiquement constant, l'autre dépendant directement des charges extérieures. Le graphique n° 5 montre que la contrainte de traction oblique croît beaucoup plus rapidement que l'effort tranchant agissant sur la section. Comme la théorie du calcul à la rupture pour l'effort tranchant n'est pas encore au point, on a introduit dans les normes un calcul complémentaire contrôlant si la réserve de résistance est suffisante.

\* \* \*

Avant de conclure, qu'il me soit permis de faire un pronostic sur les possibilités futures du béton armé et du béton précontraint, à la lumière des connaissances actuelles.

Les normes réservent l'avenir dans toute la mesure compatible avec la sécurité des ouvrages. A maintes reprises, elles acceptent de faire usage des résultats des recherches conduites scientifiquement. Dans le même ordre d'idées, on a introduit le matériau « béton spécial » pour permettre à l'ingénieur d'utiliser les bétons de qualité exceptionnelle. Cependant, tous les progrès que l'on peut espérer ne doivent être mis en application qu'avec beaucoup de prudence.

Si l'on dispose de nouveaux matériaux se substituant soit au béton actuel, soit à l'acier d'armature, on doit toujours se souvenir que la résistance de l'association dépend tout autant des conditions de déformations relatives que des résistances propres des matériaux pris isolément. Il est indispensable que les déformations de chacun des constituants soient compatibles, pour que le caractère monolithique de la combinaison soit conservé, même dans l'état de fissuration ; pour illustrer ce qui précède, il suffit de rappeler ici qu'on ne peut pas employer utilement dans le béton armé ordinaire les aciers à disposition pour les câbles de précontrainte, sans sacrifier une partie de leur grande résistance. Les normes conduiraient à tolérer des contraintes dans le stade de fissuration de l'ordre de  $7 \text{ t/cm}^2$ , dans les aciers à l'état de service. Des ouvrages construits selon cette conception donneraient lieu à des mécomptes certains.

Nous arrivons maintenant au terme de notre exposé et nous pouvons conclure : les normes proposées pres-

Au-delà de la valeur admissible, la contrainte oblique croît plus rapidement que l'effort tranchant  $Q$

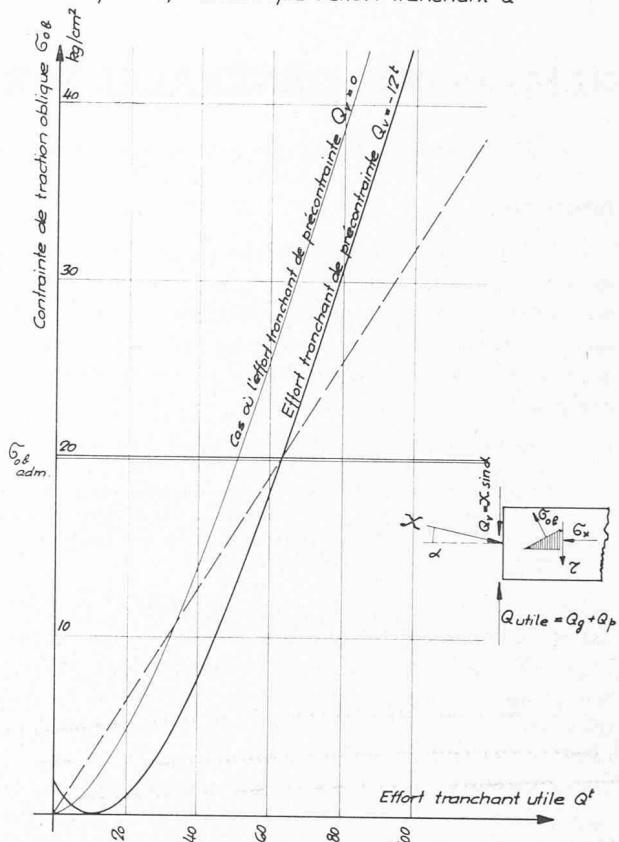


Fig. 5. — Contraintes de traction obliques en fonction de l'effort tranchant.

crivent des exigences obligatoires sous forme de coefficient de sécurité minimum, sous forme de contraintes admissibles limites et en prescrivant les caractéristiques minimum des matériaux.

Elles proposent aux ingénieurs des règles fixant les dispositions constructives qui ont donné satisfaction jusqu'à maintenant.

Elles admettent que l'ingénieur pourra faire progresser sa technique grâce à de nombreux articles tolérant des dérogations justifiées. On peut dire, dans ces conditions, que leur domaine de validité est très vaste, même si des perfectionnements sont encore désirables. Il pourra s'étendre encore si la commission, bien qu'ayant terminé sa tâche immédiate, continue à rester à la disposition de tous ceux qui pourraient avoir recours à elle pour examiner périodiquement les suggestions des ingénieurs de la pratique et apporter les modifications qui pourraient se révéler profitables.

Il est une règle qui domine toutes les autres et qui doit constamment se présenter à l'esprit du bâtisseur :

Bien construire c'est toujours tenir compte du comportement physique de la construction, en conservant les marges statistiques de sécurité. C'est aussi se souvenir que la construction ne connaît pas les hypothèses admises par le calculateur.

C'est dans cet esprit que les normes ont été établies, c'est dans cet esprit qu'elles doivent être interprétées, c'est grâce à cela qu'elles pourront donner satisfaction à ceux qui sauront s'en servir.