

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 1 (1932)

Artikel: Discussion

Autor: Probst, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-629>

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: 08.02.2025

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

nach dem Eintritt in den Beharrungszustand 1 : 4,8. Das Verhältnis blieb also nahezu konstant, und es ist der Ausdruck dafür, dass die Vorspannung im Eisen sich nach dem plastischen Verhalten der Biegungsdruckzone richtet.

Obwohl das Eisen unterhalb der Elastizitätsgrenze beansprucht wurde, machte sich die plastische Verformung des Betons in der Druckzone als eine bleibende Vorspannung in den Eisen geltend. Messungen zwischen 2 Rissen in der Höhe der Eisen ergaben so gut wie keine Formänderungen im Zugbeton.

Für die Berechnung und Konstruktion von Eisenbetonbauten möchte ich nach den bisherigen Ergebnissen der Untersuchungen in meinem Institut nur eine Folgerung ziehen, die in der Richtung meiner bisherigen Auffassung liegt :

Die Wandlungsfähigkeit des sich verformenden Betons infolge der Einflüsse von Volumenänderungen beim Erhärten, der Temperaturen und der Belastung verlangen weniger nach einer Verfeinerung als nach einer Vereinfachung der statischen Methoden. Diese müssten allerdings summarisch die verschiedenen genannten Einflüsse im Zusammenhang mit der Frage einer sich in Grenzen der Wirtschaftlichkeit bewegenden Sicherheit berücksichtigen.

Traduction.

L'importance des déformations plastiques en ce qui concerne la répartition des tensions dans les sections des ouvrages en béton armé a fait, il fut un temps, dans les milieux spécialisés, l'objet de vives discussions. Il ne faut pas s'attendre à pouvoir apporter à ce problème une solution autre que celle qu'offre la recherche expérimentale. Il est essentiel de pouvoir effectuer ici des mesures de précision portant sur les déformations et les fissurations des poutres en béton et en béton armé, en les poussant aussi près que possible de la charge de rupture, sous l'influence de charges constantes et de charges alternées, et sans charge.

Il me semble tout indiqué de partir des cas les plus simples, tels que représente celui du prisme de béton soumis à une charge axiale. On pourra ainsi observer que le béton est précisément un matériau qui, après la fin du processus de prise, ne se comporte ni purement élastiquement, ni purement plastiquement. Le béton en cours de durcissement accuse des propriétés aussi bien élastiques que plastiques, dans des proportions qui varient d'ailleurs avec sa composition, avec les influences extérieures et avec les progrès du durcissement. Dès l'application de contraintes encore relativement faibles, et outre les déformations élastiques, il se manifeste déjà des déformations plastiques, à condition naturellement que la cohésion intime du matériau ne soit pas détruite.

Il serait très opportun de pouvoir faire ici une distinction nette et déterminée. Il faudrait pour cela soumettre à l'observation, au laboratoire, des éprouvettes chargées, et, simultanément, des éprouvettes non chargées. Ce n'est

qu'alors qu'il serait possible de séparer les déformations qui se produisent sous l'influence des charges de celles qui résultent d'autres influences et d'améliorer nettement les possibilités de comparaison.

Au sens strict, les déformations élastiques doivent être définies comme des déformations qui se manifestent sous l'influence de charges extérieures et qui sont réversibles et les déformations plastiques comme des déformations qui se produisent également sous l'influence de charges extérieures, mais qui, après suppression de ces charges, ne sont pas susceptibles d'une réversibilité. Par déformations permanentes, nous entendons l'ensemble des déformations non réversibles, qui comportent les déformations plastiques au sens strict du mot, de même que celles qui se produisent sous l'influence du retrait, pour autant qu'elles puissent être considérées comme définitivement acquises. Les déformations totales, générales, d'ensemble, comportent en définitive les déformations permanentes, les déformations élastiques ainsi que les variations de volume produites par l'humidité ou les changements de température, et qui ressortent tant des propriétés élastiques que des propriétés plastiques du béton.

Les caractéristiques les plus significatives des propriétés plastiques du béton sont : l'aspect du matériau et l'influence du temps. L'aspect du matériau dépend de la qualité et de la proportion du ciment employé (ainsi d'ailleurs que de propriétés chimiques dont l'influence est rarement prise en considération), de la nature et de la composition granulométrique des éléments additionnels, de la proportion d'eau de malaxage, du degré d'humidité ultérieur du béton et enfin de la température.

La variation des propriétés du matériau sous l'influence du temps constitue l'un des facteurs les plus importants qui conditionnent la sécurité de nos ouvrages en béton et en béton armé. L'influence des charges permanentes sur l'augmentation des déformations plastiques est de plus en plus faible lorsque l'âge de l'ouvrage augmente.

L'hystérésis élastique est nettement une notion d'ordre théorique, qui se traduit, en ce qui concerne le béton, par une autre signification que dans les autres matériaux. Elle ne conduit pas à une déformation permanente du béton, dont la déformation permanente est indépendante du temps.

La déformation élastique retardée se produit principalement dans les pièces de béton qui sont soumises à une charge peu de temps après leur constitution. La plasticité du matériau joue ici un rôle plus important que son élasticité ; les déformations plastiques, même sous l'influence de charges rapidement alternées, sont, avec les variations de la charge, plus importantes que les déformations élastiques.

Je me propose, en me basant sur les recherches qui ont été effectuées à mon Institut, et sur l'exemple de prismes de béton de différents âges, d'expliquer ci-après l'influence de l'âge.

Les trois groupes de prismes de compression avaient les âges suivants : 10 semaines, 7 mois 1/2 et 2 ans et 7 mois. A ces trois groupes, s'ajoute également un quatrième, dont les prismes ont été, à partir de l'âge de 8 semaines, les uns soumis à des essais de charge rapidement répétés, les autres observés à l'état non chargé. Sur les prismes à l'état non chargé, on a mesuré au bout de 11 jours, des modifications de longueur équivalentes à la dixième partie des

variations permanentes de longueur des prismes chargés au bout du même temps et après un nombre d'applications de charges égal, à peu de chose près, à 900.000. Les déformations permanentes accusèrent une croissance régulière, sans atteindre un état d'équilibre — ce qui est un indice caractéristique chez un béton jeune — les déformations élastiques restant constantes.

Le rapport entre les valeurs des déformations permanentes et des déformations élastiques en charge varient d'une part avec l'âge de la pièce soumise à l'essai, d'autre part avec le nombre des applications de charge, en admettant des intervalles réguliers (figure 1).

Au début de l'application des charges fréquemment répétées les rapports entre les modifications de longueur élastiques et les modifications permanentes ont atteint les valeurs suivantes :

- pour les prismes de 8 semaines, 1/0,25 (4/1) ;
- pour les prismes de 10 semaines, 1/0,09 (11/1) ;
- pour les prismes de 2 ans et 7 mois, 1/0,03 (31/1).

L'écart entre les déformations élastiques et permanentes est donc de plus en plus important avec le temps. Toutefois, la variation de ce rapport porte beaucoup plus sur les déformations permanentes que sur les déformations élastiques ; c'est qu'en effet l'accroissement des déformations élastiques avec le temps est faible, tandis que la diminution des déformations permanentes est par contre très accusée ; en d'autres termes : la plasticité du béton diminue avec le temps, d'une manière beaucoup plus accusée que son élasticité n'augmente.

De même, l'influence d'une charge fréquemment répétée s'exerce en premier lieu sur les déformations permanentes et cela d'une manière d'autant plus accusée que la pièce est plus jeune. Le rapport η/δ est de :

- 1/1,68 pour un béton de 8 semaines ;
- 1/18,7 pour un béton de 2 ans 7 mois.

Le rapport entre les déformations permanentes constatées d'une part après la première application de charge, d'autre part après plus de 1 million d'applications atteint 1/11 pour le béton de 10 semaines, et 1/1,8 pour le béton de 2 ans 7 mois.

Le rapport ε/η entre les déformations élastiques et les déformations permanentes à la fin de l'essai a atteint les valeurs suivantes :

- pour les prismes de 8 semaines, 1/1,47 ;
- pour les prismes de 10 semaines, 1/1 ;
- pour les prismes de 7 mois 1/2, 1/0,2 ;
- pour les prismes de 2 ans 7 mois, 1/0,06.

On remarque l'influence notable de l'âge sur la diminution de la plasticité. Si l'on compare les rapports ci-dessus avec ceux qui ont été obtenus au début de l'essai, on peut remarquer également l'augmentation des modifications de longueur permanentes avec le nombre d'applications de la charge, l'élasticité étant presque constante.

Une question se pose ici, c'est celle de la vitesse d'application de la charge.

Sur une poutre en T ayant une portée de 3 mètres, et qui a été soumise tout d'abord à une charge répétée à une vitesse de 90 applications à la minute,

puis soumise ensuite à une charge permanente, on a pu constater que la charge permanente de 7,2 tonnes appliquée pendant 12 jours soumettait la zone comprimée du béton, du point de vue plastique, à une contrainte plus intense que les 1.120.000 applications répétées qui avaient été effectuées auparavant et qui correspondaient à des variations de charge comprises entre 0,6 et 7,2 tonnes (figure 2).

Une autre poutre de mêmes dimensions a été soumise tout d'abord, pendant une durée de 23 jours, à une charge permanente de 7,2 tonnes, puis soumise ensuite à 242.000 applications de charge, correspondant à des variations comprises entre 0,6 et 7,2 tonnes, à la même cadence que précédemment. On a constaté que ces applications successives n'étaient plus susceptibles de provoquer une déformation dans la zone comprimée du béton, la charge permanente ayant déjà exercé son influence. C'est alors que l'on réduisit la cadence d'application de la charge de 90 à 22 par minute (ce qui correspond à une réduction de 75 %); les déformations permanentes augmentèrent alors à nouveau, tandis que les déformations élastiques restaient les mêmes. Après 272.000 applications de charge, les déformations permanentes atteignirent un maximum, qu'il n'a d'ailleurs pas été possible de dépasser après 30.000 applications nouvelles. On a constaté que les modifications totales de longueur dans la zone comprimée à la flexion et dans la première poutre étaient à peu de chose près aussi importantes que dans la seconde poutre, quoique l'ordre de succession dans les deux poutres ait été inversé (figure 2).

Les résultats intéressants communiqués par Faber au sujet de l'influence des déformations plastiques du béton sur la répartition des efforts, dans les poutres en béton armé ont été obtenus à l'observation d'une poutre de 5.12,7 cm. de section ayant une portée de 4,60 mètres; les armatures, de $2\varnothing 5$ mm., avec une section de $0,3$ cm², représentant un coefficient de 0,66 %. Ces données ne sont pas normales. On a constaté que pour des contraintes de traction à la flexion atteignant jusqu'à 56,6 kg/cm² dans le béton, aucune fissure ne se produisait dans les poutres 3 et 4.

A mon avis, il est difficile, si l'on ne mesure pas les déformations dans le béton lui-même et dans les fers, de se faire une idée exacte des relations réciproques qui existent entre l'élasticité, la plasticité et l'influence du retrait dans les poutres en béton armé.

Si l'on mesure la largeur des fissures, on constate qu'il existe, en particulier dans le cas des fissures de largeurs constantes, des différences qui ne sont pas visibles à l'œil nu.

On a porté, sur la figure 3, à gauche, les rapports entre les modifications de longueur mesurées dans le fer ε_e et les contraintes σ_e en fonction de la charge extérieure. On voit qu'après la formation des premières fissures, l'augmentation de la contrainte σ_e a été régulière jusqu'à ce que soit atteint un état d'équilibre, auquel on est arrivé après 513.000 applications de la charge. Outre une contrainte ${}_{\nu}\sigma_e$ préliminaire ${}_{\nu}\sigma_e = 474$ kg/cm², les fers admettent alors une contrainte $\sigma_e = 984$ kg/cm². Il en résulte donc une contrainte totale dans les fers de ${}_{\nu}\sigma_e + \sigma_e = 1458$ kg/cm². En d'autres termes, entre la première et la 513.000^e application de la charge, la contrainte totale dans les fers est passée de 1150 à 1458 kg/cm².

Si l'on examine, par comparaison, l'allure des courbes σ - δ pour la zone comprimée du béton, basées sur des mesures effectuées au bord supérieur de la poutre (figure 4), on remarque la relation qui existe entre les modifications de longueur permanentes et la contrainte initiale des fers. Le rapport entre la variation permanente de longueur dans le béton η et la contrainte initiale dans les fers longitudinaux était, au début de l'application des charges répétées, de $1/4,9$, pour passer, à la fin de l'essai, c'est-à-dire au moment où a été atteint un état stationnaire, à $1/4,8$. On peut donc dire que ce rapport est resté sensiblement constant et on peut en déduire que la contrainte initiale dans les fers se règle en quelque sorte sur le comportement plastique de la zone comprimée à la flexion.

Quoique le fer soit soumis à une contrainte inférieure à sa limite d'élasticité, la déformation plastique dans le béton, zone comprimée, s'est traduite, dans le fer, par une contrainte initiale permanente. Des mesures effectuées entre deux fissures dans le sens de la hauteur des armatures n'ont pour ainsi dire mis en évidence aucune déformation dans la zone du béton travaillant à la traction.

En ce qui concerne le calcul et la construction des ouvrages en béton armé, et d'après les résultats auxquels ont abouti les recherches effectuées jusqu'à maintenant à mon Institut, je puis tirer la conclusion suivante, qui reste dans le sens général de l'opinion que j'ai exprimée jusqu'à maintenant :

Les transformations que subit le béton par suite des variations de volume que provoquent le durcissement, la température et l'influence des charges imposent la nécessité d'une simplification des méthodes statiques plutôt que leur évolution dans le sens d'une plus grande complication. Cette simplification doit toutefois être réalisée, en tenant compte des influences ci-dessus mentionnées, sans perdre de vue la question de la sécurité et dans le cadre des exigences économiques.

Dr. Ing. h. c. M. ROŠ,

Professor an der Eidg. Techn. Hochschule,
Direktor der Eidg. Materialprüfungsanstalt,

Das von Prof. F. Campus so systematisch und klar behandelte und für die Diskussion vorbildlich zergliederte Thema ist höchster Beachtung wert. Ganz besonders in der jetzigen Zeit des Bestrebens nach weitestgehender Ausnützung der materialtechnischen Eigenschaften der beiden für den Eisenbeton in Frage kommenden Baustoffe des Betons und des Armierungsstahles bei Eisenbetonbauwerken grosser Stützweiten (Balken- und Bogenbrücken), sowie bei Platten- und Schalen bedeutender Ausmasse und relativ geringer Wandstärken, gewinnen die zur Diskussion gestellten Probleme der Festigkeit, Stabilität, Verformung, des elastischen und plastischen Verhaltens, der Einflüsse der Wärmeschwankungen und des Schwindens, sowie der Rissbildungen an Bedeutung. Zudem wird auch noch die grundlegende Frage nach der zutreffenden Statik des Eisenbetons aufgeworfen.

Gestützt auf die Versuchsergebnisse der Eidg. Materialprüfungsanstalt sowie die Versuchspraxis mit ausgeführten Bauwerken in der Schweiz, be-