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

Band: 1 (1932)

Artikel: Elasticité, plasticité et retrait

Autor: Faber, Oscar

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-471

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: 08.07.2025

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

The author's experience has included large girders of great spans carrying partitions in which this very deflection was first noticed to produce objectionable cracking in the partitions and their finishings a year or more after the structure was completed, though the loads and stresses were in all cases low and well below those considered safe in accepted practice.

There are cases of beams carrying long lengths of line shafting where a gradual increasing deflection of this kind would be extremely damaging, and on the other hand enormous areas of warehouse flooring where such deflections would be unimportant, and an accurate knowledge of the phenomena enables an engineer to distinguish between the cases where it would be objectionable and the cases where it would be unimportant and to assume with accuracy the deflection in any given case at any particular period of time.

The author's thanks are particularly due to Mr. R. H. H. Stanger, A. M. Inst. C. E., in whose laboratory the tests described were made under his personal supervision, and who very kindly provided the facilities for the research which has been described, and who, with the author, actually made the specimens and the observations from which the subsequent results have been calculated.

TRADUCTION

par L. Descroix, Ing., Paris.

Les projets de construction en béton armé sont basés, dans la plupart des règlements comme des manuels, sur les hypothèses suivantes :

1° Le béton est une matière élastique ;

2° Le rapport de son module d'élasticité à celui de l'acier est défini et d'ailleurs constant pendant toute l'existence de la construction.

Si ces hypothèses étaient correctes dans une limite raisonnable, approximativement une poutre en béton armé, supportant une charge donnée, accuserait une flexion élastique déterminée qui resterait sensiblement constante quelle que soit la durée d'application de la charge, et reprendrait sa valeur initiale quand cette charge cesserait d'agir.

C'est bien là ce qui se produit conformément à la théorie de l'élasticité dans le cas de poutres en acier travaillant au-dessous de la limite d'élasticité.

Si l'expérience prouve qu'il n'en est pas ainsi, même approximativement pour le béton, il s'ensuit que l'application de la théorie ordinaire de l'élasticité au béton armé peut conduire à des erreurs importantes dans l'évaluation des efforts. Il ne s'ensuit pas nécessairement que les constructions en béton armé, calculées d'après les méthodes courantes, ne puissent être considérées comme présentant une sécurité suffisante, et il n'entre nullement dans les intentions de l'auteur de regarder le béton armé, ainsi calculé, comme peu sûr.

Il faut pourtant bien admettre, qu'une méthode de calcul qui indique qu'une construction est soumise à certains efforts doit être considérée comme peu satisfaisante, si l'expérience prouve que ces efforts pourraient en réalité être

plusieurs fois plus élevés et cela même si l'on peut démontrer ensuite que la persistance d'une charge plus élevée ne rend pas dangereuse une construction.

Une connaissance plus précise de ces questions serait, selon l'auteur, extrêmement désirable, car elle seule pourrait conduire à des projets plus économiques. Nous serions donc désireux de connaître aussi exactement que possible quels sont les efforts réels et quels sont ceux qui, dans les diverses circonstances, peuvent être considérés comme sûrs.

Ce qui suit peut être considéré comme un essai de progression dans cette voie, avec l'espoir que d'autres ingénieurs pourront faire progresser la question plus loin encore.

Dans un Mémoire soumis à l'Institute of Civil Engineers, le 15 novembre 1927, l'auteur a décrit quelques travaux de recherches qui jettent une certaine lumière sur ces questions.

Quatre poutres de béton armé de 15 pieds (m 4,60) de portée, ayant 28 jours d'existence, ont été suspendues entre 2 supports distants de 15 pieds et chargées de manière à donner aux efforts supportés par le béton et l'acier les valeurs suivantes :

Tableau I.

	Béton travaillant à la compression.	Acier travaillant à la traction.
Poutre N° 1	676	13750
» N° 2	946	19250
» N° 3	1216	24750
» N° 4	1487	30250

Ces efforts sont basés sur la théorie ordinaire de la ligne droite, en négligeant les efforts de tension dans le béton et prenant comme module de Young pour le béton 4.000.000 lbs par pouce carré (280.000 kg par cm^2), ce qui est à peu près la valeur expérimentale obtenue avec le béton en question, en prenant le rapport modulaire égal à 7 1/2.

Sur la base de cette théorie, les flèches prises par les poutres qui avaient 5 pouces de hauteur sur 2 pouces de largeur, armées avec de l'acier de 0,06 pouce carré de section (voir fig. 1), ont été les suivants :

Tableau II.

	Flèche en pouces.
Poutre N° 1	6,474
» N° 2	0,622
» N° 3	0,770
» N° 4	0,918

Il fut pourtant impossible de constater une trace quelconque de rupture si faible fût-elle sur la face du béton soumise à la traction ; on pensa dès lors qu'il serait intéressant de calculer ce que les efforts auraient été en considérant le béton comme n'ayant pas cédé du côté en tension.

Les efforts sur cette nouvelle base furent les suivants :

Tableau III.

Poutres.	Efforts de compression sur le béton en livres par pouce².	Efforts de traction sur le béton en livres par pouce².	Efforts de traction sur l'acier en livres par pouce².
N° 1	389	367	2180
N° 2	545	514	3060
N° 3	700	661	3920
N° 4	856	808	4800

Les flèches obtenues par le calcul dans ces conditions, et en considérant qu'il n'y a pas rupture par traction du béton, sont les suivantes :

Tableau IV.

	Flèche en pouces.
Poutre N° 1	0,128
» N° 2	0,167
» N° 3	0,207
» N° 4	0,247

Les flèches observées sur les 4 poutres lorsqu'on les charge sont respectivement 0,3 0,35 0,4 0,5 pouce.

La comparaison entre les flèches calculées et celles observées est donnée dans le tableau suivant :

Tableau V.

Poutres.	Flèches calculées en négligeant la tension du béton.	Flèches calculées en considérant le béton comme travaillant à la traction conformément au tableau III.	Flèches observées.
N° 1	0,474	0,128	0,30
N° 2	0,622	0,167	0,35
N° 3	0,770	0,207	0,40
N° 4	0,918	0,247	0,50

On voit que les valeurs observées pour les flèches sont comprises entre les valeurs fournies par les deux méthodes précédentes, et que la flexion constatée est compatible avec l'hypothèse que le béton travaille à la traction, mais dans des limites bien inférieures à celles indiquées par le tableau III. Elle concorderait absolument si les diagrammes efforts-déformations du béton prenaient une courbure très accentuée en approchant de la limite de rupture par traction.

On peut admettre raisonnablement pour le béton considéré, une charge de rupture à la traction de 230 livres par pouce carré, et si l'on admet que cet effet agit au-dessous de la fibre neutre et que le reste de la tension est supporté par l'acier, on arrive à une flèche peu différente de celle observée en réalité.

Il est intéressant de constater que les valeurs observées sont à peu près les moyennes entre celles calculées par les deux méthodes.

Or, il est évident que si le béton était comme l'acier une matière élastique, les déformations constatées resteraient constantes, et la courbe déformation-temps serait une droite parallèle à l'axe des temps.

Afin de constater s'il en est ainsi, on a noté les flèches chaque semaine. Les résultats de ces mesures sont indiqués par la figure 1 qui montre comment la flèche augmente avec le temps, on peut constater que cette augmentation est loin d'être négligeable.

Grosso modo, en dix semaines, la valeur de la flèche est devenue le double de celle prise par la poutre âgée de quatre semaines lors de l'application de la charge, et près du triple à la fin de la première année.

Les lectures furent continuées pendant une durée de cinq ans et leurs résultats sont donnés par la fig. 1 ; l'échelle horizontale du diagramme a été rompue parce que, dans la dernière période, les variations sont moins sensibles. Le diagramme indique de plus l'effet produit en enlevant et replaçant ensuite la charge autre que le poids mort ; on peut constater qu'après enlèvement de la charge, la déformation élastique est à peu près la même qu'à l'origine, mais il existe une forte déformation permanente qui subsiste.

On a supposé, au début, que l'augmentation de la flèche était due à une rupture progressive du béton du côté en tension et qu'elle devait cesser dès que les déformations atteindraient les valeurs calculées dans l'hypothèse où le béton se serait rompu par traction ; cela n'est pas le cas, comme le démontre la figure, et la courbe ne présente pas de discontinuité ni en ce point, ni en aucun autre.

Une autre constatation très intéressante est que la poutre n° 1 qui, au cours de la première année, avait été soumise aux efforts les moins accentués, fut alors chargée de manière à supporter les mêmes efforts que la poutre n° 4, finalement cette poutre n° 1 présenta une déformation très voisine de celle accusée par la poutre n° 4 qui avait cependant supporté pendant toute la durée de l'essai, les charges les plus lourdes.

Un autre point de grande importance est que, bien qu'à la fin des cinq années, trois des poutres présentassent une flèche de 1,5 pouce, ce qui pour une portée de 15 pieds est une déformation très considérable, les recherches les plus minutieuses, même avec une puissante loupe, n'arrivèrent pas à déceler la moindre trace de fissures ; l'allure absolument continue de la courbe de déformations est du reste une preuve de plus qu'en fait il ne s'est produit aucune solution de continuité dans le béton.

La figure 2 montre un effet similaire avec deux poutres semblables, à l'exception du fait qu'elles étaient armées du côté en compression avec la même quantité d'acier que du côté en tension. La déformation finale est sensiblement réduite, mais l'augmentation générale de cette déformation en fonction du temps est analogue.

Toutes les poutres portaient des extensomètres fixés au moyen de crampons à leurs faces supérieure et inférieure et permettant de mesurer l'allongement et le raccourcissement, par un procédé optique donnant ces indications avec une approximation d'un millionième de pouce ; ces appareils imaginés par le

professeur LAMB avaient été gracieusement prêtés par M. MACKLOW-SMITH.

On trouva que la déformation était proportionnelle à la différence des lectures faites sur l'appareil. Le raccourcissement total de la face supérieure se décompose en trois parties :

1) Déformation due à la tension élastique.
2) Contraction due au retrait.
3) Fléchissement plastique dû aux tensions sur l'action du temps.

Le raccourcissement dû au retrait fut mesuré sur des poutres semblables non soumises à des efforts, mais similaires à tous autres égards. Celui dû à la compression élastique put être calculé au moyen de la valeur connue du module de Young qui fut mesuré sur des spécimens constitués par le même béton. La différence entre la somme de ces deux raccourcissements et le raccourcissement total observé mesure le fléchissement plastique résiduel.

Ces quantités sont calculées par ce procédé et sont visibles sur la figure 4, sur laquelle le raccourcissement de la face supérieure est rapporté à côté de la valeur de l'effort dans le béton ; on constate que non seulement la déformation élastique, mais aussi le fléchissement plastique qui en résulte sont proportionnels aux efforts. Superposé à ces deux résultats se trouve le retrait, qui, lui, est indépendant des efforts.

On peut de plus constater que le raccourcissement total est plusieurs fois supérieur à celui dû à la seule déformation élastique, qui est le seul facteur dont on tienne généralement compte dans les prescriptions habituelles.

Les résultats des figures 1 et 2 indiquent aussi clairement que possible, de l'avis de l'auteur, que l'hypothèse du béton agissant comme un corps élastique, est de nature à conduire à des calculs de tensions absolument erronés, car le diagramme des déformations n'est même pas approximativement une droite parallèle à l'axe horizontal comme il devrait l'être si la théorie était vraie même approximativement.

Toutes ces poutres ont été conservées dans un laboratoire pendant toute la durée des essais ; la température a varié de 14 à 16° cent., afin d'éviter toute possibilité d'erreur due à un changement de température.

Les essais de retrait ont été effectués sur différents types de ciment et sont reproduits fig. 3 ; l'humidité de l'air et sa température ont été relevées en même temps et l'on pourra constater que les variations dans le retrait sont expliquées par les variations dans les conditions atmosphériques, les accroissements dans l'un des diagrammes correspondant aux diminutions dans l'autre, en particulier dans le cas d'une variation considérable survenue 22 jours après la coulée de béton.

D'après un nombre considérable d'observations, l'auteur a trouvé que le retrait moyen d'un béton ordinaire doit être considéré à peu près comme suit :

Retrait pouce par pouce	Age en semaines
0	0
0.0002	2
0.0003	5
0.0004	12
0.0005	50

Compression de l'acier dans le béton armé.

Il est maintenant intéressant et important de rechercher l'effet des phénomènes précédemment observés et étudiés dans leur rapport avec les tensions qui se manifestent dans les constructions et en particulier quant aux efforts que supporte l'acier dans la zone de compression d'une poutre ou d'une colonne de béton armé.

Il est clair, étant donné que le raccourcissement observé est plusieurs fois supérieur à celui calculé d'après la théorie courante de l'élasticité (voir fig. 4), que les efforts dans l'armature en compression doivent également être plusieurs fois supérieurs à ceux donnés par cette théorie; des études détaillées, ainsi que des observations ultérieures, ont prouvé que tel était bien le cas.

Sans entrer dans des détails approfondis sur ce sujet qui a déjà été développé amplement, dans le mémoire dont il a été fait mention plus haut, il faut noter que la contraction de l'armature en compression pourrait être déduite des observations effectuées et dont le résultat est que, dans la poutre n° 6 (armée en compression), l'effort initial de compression était de 3.553 livres par pouce carré et que, durant le cours d'une année, elle s'augmente du fait du retrait et de la déformation plastique de 11.700, donnant ainsi un effort total de 15.253 livres par pouce carré. Il est naturellement évident que le béton continuant à se contracter, l'acier est obligé de se contracter avec lui et est, en conséquence, soumis à des efforts de plus en plus considérables jusqu'à ce que la limite élastique soit atteinte.

Cette augmentation de la charge sur l'armature la force à supporter une plus grande partie de la compression totale, soulageant ainsi le béton, ce qui explique la réduction de flèche dans la poutre armée à la compression par rapport à celle qui ne l'est pas. Cette raison seule suffit à justifier ce mode de renforcement.

Il est également intéressant de noter que l'effort élevé de compression, de 15.253 livres par pouce carré, est supporté sans le moindre signe de défaillance, quoique la poutre ne fût munie d'aucune ferrure d'attache, ni étrier d'un genre quelconque.

La limite élastique mesurée pour l'acier était de 28.627 livres par pouce carré de sorte que celui-ci travaillait très au-dessous de cette limite.

Une attention toute spéciale a été apportée à la question de savoir si les efforts élevés dans l'acier se sont trouvés diminués par glissement entre l'acier et le béton. Il est apparu en réalité qu'il n'en est pas ainsi en raison de la très faible adhérence entre ces deux corps (de l'ordre de 17 livres par pouce carré en moyenne et peut être le double comme valeur maxima).

On a vu sur la figure 4 que la déformation plastique est proportionnelle aux efforts. Il s'ensuit que le rapport entre une déformation éventuelle et la déformation originale est une constante k, indépendante de l'effort et augmentant avec le temps, l'auteur a donné à cette constante le nom de « facteur de plasticité ». Partant de là, la déformation initiale (déformation élastique = effort/Ec) due à un effort augmente graduellement jusqu'à la déformation plastique ($k \times$ effort/Ec), la valeur de k dépendant de la durée d'application de la charge et de l'âge du béton. La fig. 4 montre qu'entre 5 et 36 semaines k

s'élève environ à 2,9 (autrement dit, la déformation finale est 2,9 fois la déformation élastique).

Il est démontré ultérieurement que dans le calcul des efforts on doit substituer $m\,k$ à m dans les formules couramment employées pour les constructions en béton armé, Des recherches complémentaires seront nécessaires avant que la valeur de k puisse être définitivement établie pour tous les âges et toutes les conditions possibles. En attendant, l'auteur donne dans la fig. 5 une première approximation basée sur les essais qui viennent d'être décrits. Cette courbe doit être employée par différence; par exemple la valeur de $(k - 1)$ entre 4 et 36 semaines, est donnée par $4{,}9 - 3 = 1{,}9$ d'où l'on tire k (pendant la même période) $= 1{,}9 + 1 = 2{,}9$, ce qui est d'accord avec les essais (fig. 4).

La seule donnée valable pour tracer cette courbe est que la différence entre les points A et B (4 semaines et 36 semaines respectivement) est 1,9; la courbe doit affecter l'allure génerale des courbes des fig. 1 et 2, et les ordonnées de A et B doivent être augmentées de valeurs telles que la courbe passe par l'origine.

Influence du retrait et de la plasticité sur les efforts dans les constructions réelles.

Dans le rapport original, on montre comment les efforts dans les constructions réelles peuvent être calculés sur une autre base, en tenant compte du retrait et de la plasticité. Sans fatiguer les lecteurs par la redite de ces calculs, il est peut-être intéressant d'en donner les résultats. Dans ce but une colonne carrée de béton armé, de 10 pouces de côté avec 1 % d'armature longitudinale en acier, est chargée à l'âge de 4 semaines d'un poids de 60.000 livres.

En admettant comme module de Young le chiffre 4.000.000 et le rapport modulaire $m = 7{,}5$, on peut facilement démontrer que les efforts résultant des calculs ordinaires équivaudront à 564 livres par pouce carré dans le béton et 4.230 livres par pouce carré dans l'acier. En tenant compte au contraire du retrait de la déformation plastique, les efforts seront les suivants :

1) A 4 semaines, immédiatement avant d'appliquer la charge, 67,5 lbs par pouce carré à la tension dans le béton, 6.750 lbs par pouce carré à la compression dans l'acier;

2) A 4 semaines, immédiatement après l'application de la charge, ils deviennent 496 lbs par pouce carré à la compression dans le béton et 10.980 à la compression dans l'acier;

3) 52 semaines après la coulée, ces chiffres deviennent 389 livres par pouce carré à la compression dans le béton et 21.500 à la compression dans l'acier.

La différence entre 4 semaines et 52 semaines, avec la charge appliquée dans les deux cas, montre comment le retrait du béton a déterminé un effort de compression supplémentaire dans l'acier et a libéré d'autant l'effort supporté par le béton; en comparant les efforts à 52 semaines avec ceux ordinairement calculés, il est visible que l'effort dans le béton n'est que les 2/3 environ de celui que l'on déduit du calcul normal, tandis que celui supporté par l'acier est environ 5 fois plus élevé.

Depuis que ces expériences ont été faites, une série très complète d'essais a

été poursuivie à la Building Research Station de Watford, sur des pièces soumises à la compression, chargées au moyen de ressorts ; spécialement étudiés, ces essais ont, dans la plupart des cas, apporté une très utile confirmation aux résultats indiqués dans le présent mémoire.

L'auteur a été amené à entreprendre ces recherches après avoir fait, dans la pratique courante, l'observation que des poutres en béton armé, soumises pendant de longues périodes à des charges déterminées, présentaient des flèches croissant progressivement, jusqu'à provoquer dans certains cas des fissures inadmissibles dans des cloisons reposant sur ces poutres.

Il est naturellement de la plus haute importance de déterminer si les faits observés et discutés dans ce mémoire indiquent que le béton armé, spécialement celui armé à la compression, assure une sécurité moindre que celle qu'on lui attribuait avant d'avoir remarqué l'effet du retrait et de la plasticité sur la distribution des efforts.

Selon l'auteur, la réponse à cette question est donnée d'une façon suffisante par l'observation que donne, sur une large échelle, la pratique courante démontrant que, malgré les efforts considérables que l'armature en compression doit supporter après une longue période de temps, la combinaison de ces deux matières, acier et béton, reste absolument saine et sûre ; l'auteur estime donc que la preuve est entièrement établie aussi bien par l'expérience que par des essais pratiques, que les efforts dont il s'agit peuvent se produire sans affaiblir une pièce en béton armé ni abaisser sa limite de sécurité. Ce qui semble se produire est en réalité ce qui suit :

Nous partons de deux matières, béton et acier, qui se partagent la charge totale (en considérant pour le moment une colonne chargée de façon parfaitement concentrique). En raison de la contraction progressive du béton, l'acier supporte une proportion de la charge bien supérieure à celle supposée tout d'abord, jusqu'au moment où l'effort dans l'acier peut atteindre et même atteint, en certains cas, la limite élastique. Il est clair que la marge de sécurité de l'acier se trouve ainsi notablement réduite, mais par l'augmentation de la charge, celle sur le béton s'est trouvée diminuée et par suite, la marge de sécurité de ce dernier s'est augmentée en conséquence. Il ne s'ensuit donc nullement qu'il y ait une modification dans le facteur de sécurité de l'ensemble. Il faut se rappeler que si, en définitive, l'effort supporté par l'acier atteint la limite élastique et si l'on continue à charger la colonne, l'effort supporté par l'acier reste constant et toute augmentation de charge est supportée uniquement par le béton ; aucune rupture ne se produira jusqu'à ce que, la charge sur l'acier ayant atteint la limite élastique, le béton ait atteint la sienne.

Selon l'auteur, il ne faut donc pas admettre à la légère que les tensions élevées, démontrées par les expériences relatées dans le présent mémoire constituent en aucune manière un indice d'insécurité quelconque de ce complexe que nous connaissons sous le nom de béton armé ; aussi bien les essais de laboratoire que la pratique courante prouvent l'inverse.

Une hypothèse plus moderne sur le module de Young pour le béton donne la valeur 4.000.000 de livres par pouce carré au lieu de 2.000.000, — valeur couramment acceptée il y a 20 ans — en donnant au rapport modulaire m la valeur de 7,5 au lieu de 15 acceptée il y a quelques années. Il est intéressant

de noter que l'effet de la déformation plastique est d'augmenter la déformation en fonction du temps de manière à produire à peu près le même résultat que si le module de Young avait été abaissé et le rapport modulaire augmenté ; les efforts réels ne diffèrent pas à la fin d'une année de ceux qui auraient été calculés en prenant m plus voisin de 22 1/2 que de 7 1/2 si l'on adopte pour le facteur de plasticité la valeur 3 : l'effet du retrait est naturellement calculé à part, puisqu'il n'est pas fonction des efforts supportés.

Il ne faut pourtant pas croire que parce que les efforts accusés par les présentes recherches ne diminuent pas le degré de sécurité que présente le béton armé, il ne soit pas important de connaître très exactement le retrait et la plasticité.

Cette connaissance exacte nous permet au contraire de prévoir avec beaucoup plus d'exactitude ce qui se produira dans bien des cas pratiques où l'ancienne théorie incomplète nous aurait certainement donné des résultats erronés. Elle nous prouve par exemple d'une façon indubitable que la flèche prise pour des poutres de béton armé maintenues sous pleine charge, d'une manière continue, sera au bout d'une année deux ou trois fois plus importante que celle prise par cette même poutre au début de la charge.

Il y a bien des cas où la flèche est si faible qu'elle n'a aucune conséquence. Il y a d'autres cas où les conséquences de ce fléchissement ont été très sérieuses.

Les expériences de l'auteur ont englobé des poutres maîtresses à grande portée soutenant des cloisons dans lesquelles ces flexions ont d'abord été décelées par des fissures fâcheuses, puis ont amené au bout d'un an leur ruine totale quoique les charges et les efforts supportés aient été dans tous les cas assez bas et en tout cas bien au-dessous de ceux acceptés en pratique comme sûrs.

Il est des cas où des poutres supportent une longue ligne d'arbres de transmission et où l'augmentation graduelle de la flèche dans la poutre cause des dommages considérables ; par contre, il y a des surfaces énormes d'entrepôts où des déformations de ce genre n'ont aucune importance. Une connaissance exacte de ce genre de phénomène permet à l'ingénieur d'établir une distinction entre les cas où il est nuisible et ceux où il est indifférent de déterminer avec exactitude la flèche pour tous les cas et pour toute durée envisagée.

L'auteur tient particulièrement à remercier M. R. H. H. Stanger A. M. Inst. C. E., dans les laboratoires duquel les essais ont été poursuivis sous son contrôle personnel, qui a aimablement donné toutes facilités pour leur exécution et a collaboré avec l'auteur à la confection des spécimens à essayer et aux observations desquelles les résultats ont été calculés.

Summary.

The shrinkage of concrete and its plastic behaviour under the influence of long-continued internal stresses change in course of time the distribution of the internal forces between the concrete and the reinforcement.

The author investigates the development and changes of the internal stresses in reinforced concrete beams by means of measurements of elongation and bending, and for beams with and without compression reinforcement.

These changes in stress reach extraordinarily high values, without however being capable of affecting the safety of structures dimensioned according to the methods of calculation hitherto employed; for when the point is reached where deformation is no longer proportional to the load, phenomena of flow, i.e. plasticity, appear in the reinforcement, thereby setting a limit to the translation of forces between concrete and reinforcement treated here.

Knowledge of the influence of shrinkage and plasticity on the internal stresses, and of the deformations thereby caused in the structure, enables the designer to foresee many undesirable secondary effects and to take suitable steps to render them harmless.

Résumé.

Le retrait du béton ainsi que sa plasticité, sous l'influence de tensions internes prolongées, altèrent à la longue la distribution des efforts entre le béton et son armature.

L'auteur a suivi le développement et le déplacement des tensions internes dans des poutres en béton armé au moyen de mesures d'allongement et de flexion, en opérant sur des poutres avec et sans armature de compression.

Ces modifications atteignent des valeurs extrêmement élevées sans toutefois pouvoir compromettre la sécurité des ouvrages établis d'après les méthodes de calcul jusqu'ici usitées. En effet, lorsque la limite d'allongement proportionnel de l'acier se trouve dépassée, il se produit dans l'armature des allongements ou phénomènes de déformation plastique qui opposent une limite aux déplacements d'efforts étudiés ici.

La connaissance de l'influence du retrait et de la plasticité sur les tensions internes et le travail qui en résulte dans les constructions permet à l'ingénieur constructeur de prévoir bien des phénomènes parasites indésirables et de les rendre inoffensifs grâce à des mesures appropriées.

Zusammenfassung.

Das Schwinden des Betons und sein plastisches Verhalten unter dem Einfluss lang andauernder innerer Spannungen verändern im Laufe der Zeit die Kraftverteilung zwischen Beton und Bewehrung.

Der Verfasser verfolgte die Entwicklung und Verschiebung der inneren Spannungen in Eisenbetonbalken mittels Dehnungs- und Durchbiegungsmessungen, und zwar sowohl für Balken mit und ohne Druckarmierung.

Diese Verschiebungen erreichen ausserordentlich hohe Werte, ohne jedoch

die Sicherheit der nach den bisher üblichen Berechnungsmethoden bemessenen Bauwerke beeinträchtigen zu können ; denn bei Ueberschreitung der Proportionalitätsgrenze des Eisens stellen sich auch in der Bewehrung Fliess-, d. h. plastische Erscheinungen ein, wodurch der hier behandelten Kraftverschiebung eine Grenze gesetzt ist.

Die Kenntnis des Einflusses von Schwinden und Plastizität auf die inneren Spannungen und des damit verbundenen « Arbeitens » der Bauwerke ermöglicht dem konstruierenden Ingenieur manche unliebsame Nebenerscheinung vorauszusehen und durch geeignete Massnahmen unschädlich zu machen.