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

Band: 2 (1936)

Artikel: Fissurations dans le béton armé

Autor: Thomas, F.G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2923

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: 02.10.2025

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

IIb4

Fissurations dans le béton armé.

Risserscheinungen im Eisenbeton.

Cracking in Reinforced Concrete.

F. G. Thomas,
B. Sc., Assoc. M. Inst. C. E., Garston, Herts.

L'emploi dans les ouvrages en béton armé de l'acier à haute résistance, avec charges croissantes, doit inévitablement conduire à une augmentation de l'importance de la fissuration. Les fissures que l'on constatait normalement auparavant ne paraissaient en effet exercer aucune influence notable sur la stabilité des ouvrages; elles étaient généralement d'importance insuffisante pour être le point de départ de phénomènes de corrosion touchant d'une manière appréciable les éléments d'armature. Par contre, les fissurations qu'implique l'emploi des aciers à haute résistance sont relativement plus importantes que l'augmentation réalisée dans les contraintes elles-mêmes et il n'est pas impossible que ces fissurations prennent une importance encore plus grande étant donné les contraintes encore plus élevées qui pourraient être admises, pour l'acier à haute résistance, sur la base de la limite d'écoulement.

La rapidité croissante de durcissement des ciments modernes constitue un autre facteur qui peut jouer un rôle d'une certaine importance dans la fissuration. De nombreuses plaintes ont été en effet enregistrées récemment à la Building Research Station, au sujet de fissurations qui se seraient produites au retrait dans des cas où aucune perturbation ne s'était auparavant manifestée avec les ciments à durcissement moins rapide que l'on employait il y a 10 à 15 ans.

Devant cette tendance à une aggravation des phénomènes de fissuration, des études ont été entreprises à la Building Research Station, sous la direction du Dr. *Glanville* et en collaboration avec la Reinforced Concrete Association, en vue de déterminer les facteurs qui conditionnent la fissuration dans les éléments d'ouvrages en béton armé. Le présent rapport a pour but d'exposer brièvement une partie des recherches ainsi effectuées.

Capacité de déformation du béton.

On a pensé pendant longtemps que le criterium de la rupture du béton sous l'influence des efforts de traction devait être considéré comme constitué par la charge limite de traction qu'il pouvait supporter sans fissuration, ou capacité de déformation, plutôt que par la charge de rupture à la traction proprement dite. La capacité de déformation du béton, c'est-à-dire la déformation ou allongement qui peut se manifester avant qu'apparaisse la fissuration, a été déter-

minée par de nombreux investigateurs qui ont d'ailleurs obtenu des résultats largement différents. Ce manque de concordance peut probablement être attribué à deux causes principales:

1° — des écarts dans le régime initial des contraintes dans les éléments avant le commencement des essais,

2° — des écarts dans la précision avec laquelle ont été observées les fissurations au moment de leur apparition.

Il semble que les armatures en acier aient normalement pour effet de n'augmenter que dans une faible proportion la capacité de déformation du béton; lorsque des éléments d'ouvrage en béton armé sont stockés à l'air libre, il se

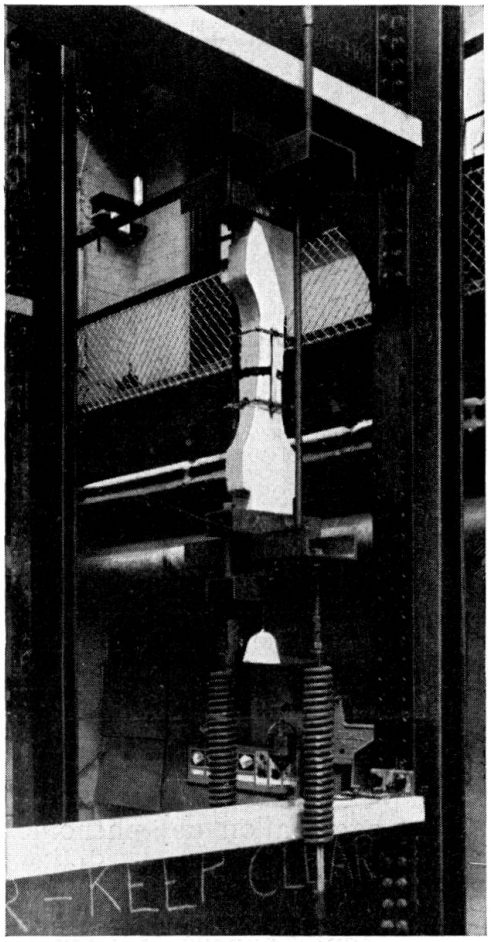

Fig. 1.
Mesures des contraintes de retrait sur des éprouvettes de béton encastrées.

manifeste des contraintes de traction, dans le béton, sous l'influence du retrait et ces contraintes jouent un rôle défavorable sur la capacité de déformation ultérieure en charge des éléments considérés. D'autre part, la présence des armatures de renforcement peut avoir pour résultat d'augmenter considérablement la capacité effective de déformation sous l'influence de l'humidification superficielle.

Il est probable que l'élévation apparente de la capacité de déformation due à la présence des armatures de renforcement et observée par certains investigateurs est due partiellement à une insuffisance de précision dans l'observation du moment où s'amorce la fissuration. Au cours des essais qui ont été effectués

à la Building Research Station, sur surface lisse blanchie, on a constaté qu'il était possible de déceler à l'oeil des fissures de 0,0001 pouce de largeur (0,0025 m), quoique la largeur des fissures soit normalement légèrement supérieure au moment de leur apparition. Les largeurs des fissures ont été mesurées, dans tous les essais sur éléments en béton armé, à l'aide de microscopes portatifs avec micromètres oculaires.

Fissuration au retrait.

Le retrait du béton doit probablement constituer la cause la plus fréquente de fissuration; c'est également celle contre laquelle il est le plus difficile de réagir, soit en la prévenant, soit en la corrigeant. Dans les éléments en béton armé, dans lesquels le retrait n'est pas empêché, ce retrait donne lieu à l'apparition de contraintes de tension d'importance telle que la fissuration peut se

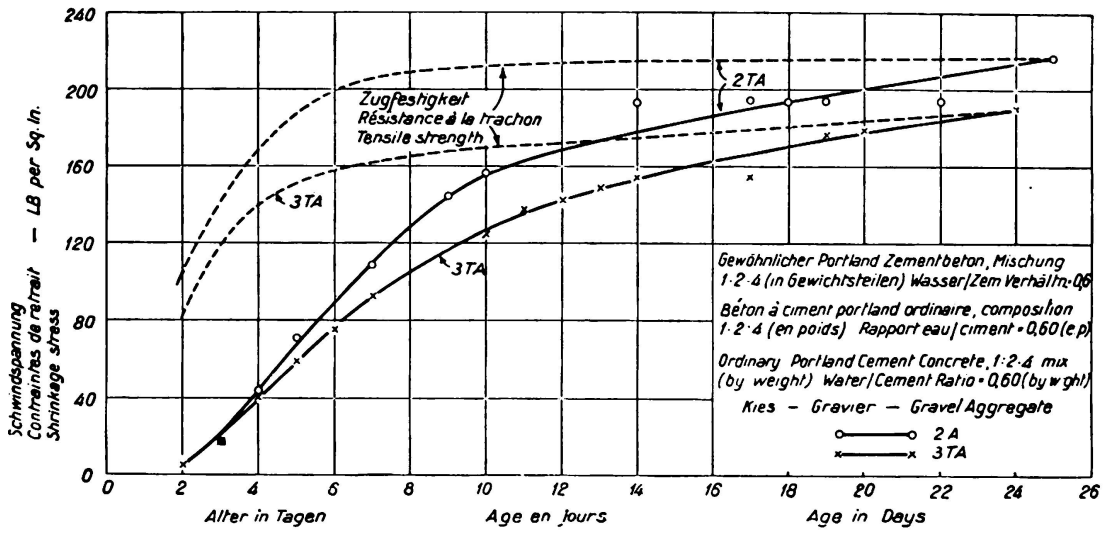

Fig. 2.

Résistance aux fissures de retrait des éprouvettes encastrées complèment, en béton avec ciment portland ordinaire.

produire même lorsque les éléments ne sont soumis à aucune charge extérieure, principalement lorsque le pourcentage d'acier est grand. Dans la pratique, toutefois, le retrait subit toujours une limitation à un certain degré, particulièrement dans les assemblages monolithiques. L'écoulement du béton a pour effet de réduire les contraintes dont il est le siège, de telle sorte qu'à ce point de vue cet écoulement joue un rôle favorable, puisqu'il diminue les risques effectifs de fissuration. La résistance d'un béton à la fissuration pour toutes conditions finales définies peut être déterminée d'une manière approchée par une étude du retrait, de l'écoulement, de l'élasticité et des caractéristiques de résistance mécanique de ce béton; les différents facteurs qui se combinent ainsi pouvant être évalués mathématiquement. Bien que cette méthode donne une idée assez bonne de la résistance du béton considéré à la fissuration, un doute peut parfois s'élever au sujet des caractéristiques exactes d'écoulement de ce béton, sous l'influence de contraintes situées immédiatement au-dessous de la charge de

rupture à la traction; c'est pourquoi une méthode expérimentale plus directe a été mise au point.

Un appareil special a été conçu, dans lequel des échantillons de béton, sur la partie centrale desquels sont montés des extensomètres, sont soumis à l'action de charges de traction à l'aide de ressorts; ces charges sont réglées périodiquement de telle sorte que les mouvements de retrait soient entièrement équilibrés par les déformations élastiques et l'écoulement résultant des charges appliquées. De cette manière, les contraintes effectives de retrait mises en jeu dans un élément, dont le retrait est complètement empêché, ont pu être mesurées. On trouvera sur la fig. 1 une photographie de l'appareil prise après la rupture d'un échantillon.

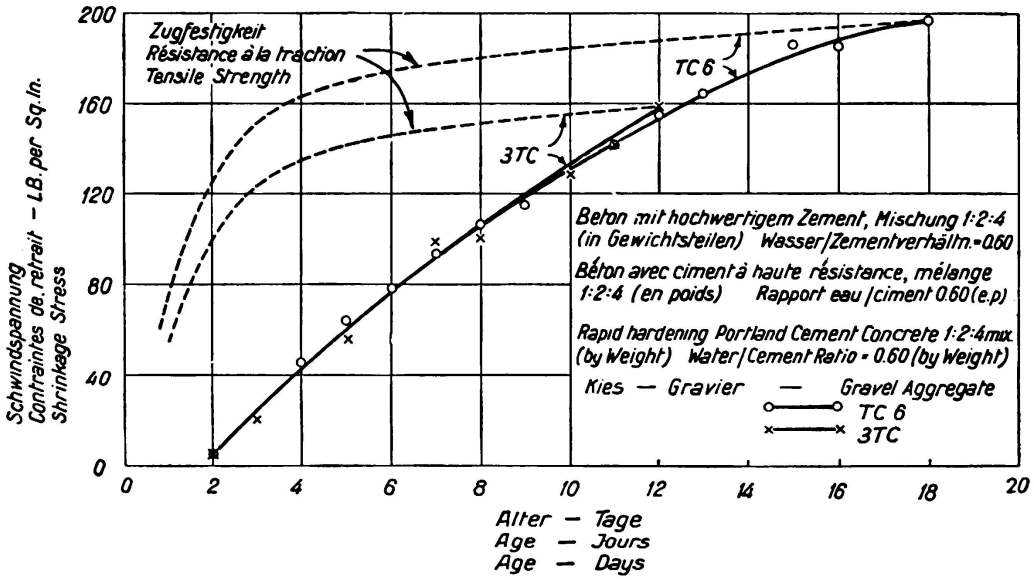

Fig. 3.

Résistance aux fissures de retrait des éprouvettes encastrées complètement, en béton avec ciment portland à haute résistance.

Des essais ont été effectués à deux reprises sur béton de Portland ordinaire, sur béton de Portland à durcissement rapide et sur béton de ciment à haute teneur en alumine (fig. 2 à 4). Pour tous ces essais, on a utilisé un mélange 1:2:4 (en poids) avec un rapport eau-ciment de 0,60. On remarquera sur ces figures que les contraintes de retrait concernant le béton de ciment Portland sont quelque peu différentes pour les deux essais correspondants; toutefois, à mesure que l'on approche de la rupture, avec le ciment Portland ordinaire, les contraintes mises en jeu diminuent considérablement, sous l'influence d'importantes déformations qui accompagnent l'écoulement. Ce phénomène n'est pas aussi marqué avec le béton de ciment Portland à durcissement rapide, les contraintes augmentant dans ce cas d'une manière assez régulière, jusqu'à ce que la charge de rupture soit atteinte et que la fissuration se produise. Dans le cas du béton de ciment à forte teneur en alumine, on constate une augmentation rapide des contraintes, le coefficient de sécurité par rapport à la fissuration devenant négligeable très peu de temps après le commencement de l'essai.

D'autres essais ont montré qu'une augmentation de la teneur en eau n'est

pas nécessairement accompagnée d'une tendance plus marquée à la fissuration et que la résistance à la fissuration est notablement influencée par la nature des aggrégats employés. On conçoit évidemment que dans la pratique le retrait ne saurait être couramment complètement empêché; les valeurs relatives de la résistance à la fissuration de différents bétons peuvent être quelque peu modifiées par le degré de fixité. Des essais complémentaires sont donc en cours dans lesquels le degré de fixité final n'est pas entier.

Fissuration en charge.

Dans ce chapitre, nous considérerons uniquement les conditions suivant lesquelles les efforts de traction produisant la fissuration résultent des charges directement appliquées, ainsi que c'est le cas dans les essais à la flexion ou

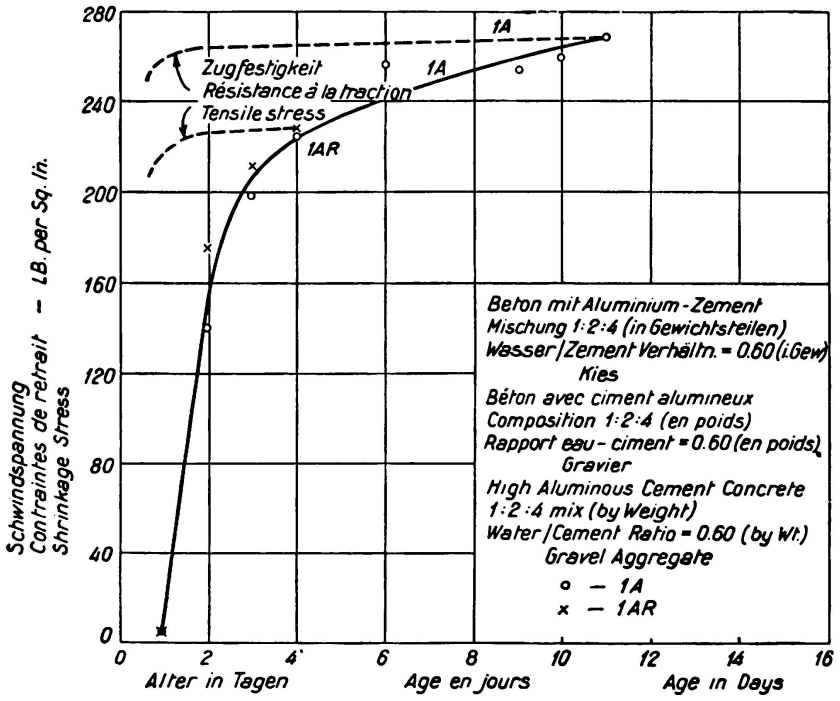

Fig. 4.

Résistance aux fissures de retrait des éprouvettes complètement encastrées en béton avec ciment alumineux à haute résistance.

à la traction. Dans tous les essais sur éléments de béton qui sont maintenant effectués à la Building Research Station, on mesure les largeurs des fissures; on espère que l'étude systématique ultérieure des mesures ainsi effectuées fournira des indications très importantes sur la fissuration en charge. Certains résultats d'ordre général ont déjà été obtenus; on trouvera ci-dessous la description de quelques-uns des essais au cours desquels on a pu effectuer des mesures sur les fissures obtenues.

Dans l'un des essais, la poutre de section rectangulaire avait les dimensions suivantes: largeur 4" (101,6 mm), hauteur $8^1/_4$" (209,5 mm), longueur 8 pieds (2,44 m). Les armatures de traction étaient constituées par deux barres d'acier doux d'un diamètre de $^3/_8$" (95,2 mm), noyées dans le béton à une profondeur

effective de 7″ (178 mm). Des étriers de renforcement convenablement disposés étaient prévus pour supporter le cisaillement. La poutre était chargée aux tiers, sur une portée de 6 pieds (1,829 m). On a observé avec soin l'aspect et la progression des fissures sur le côté de la poutre, et les largeurs successives de chaque fissure au voisinage de la partie inférieure de la poutre et à la hauteur des armatures ont été mesurées à chaque augmentation de la charge.

La charge appliquée a tout d'abord été augmentée progressivement jusqu'à la charge de service calculée; cette charge a été maintenue pendant 21 heures. Après cette période, la charge a été graduellement supprimée. Les résultats des mesures sur les fissures sont dans la fig. 5. D'après cette figure, on remarquera que la largeur totale de fissuration (c'est-à-dire la somme des largeurs de toutes

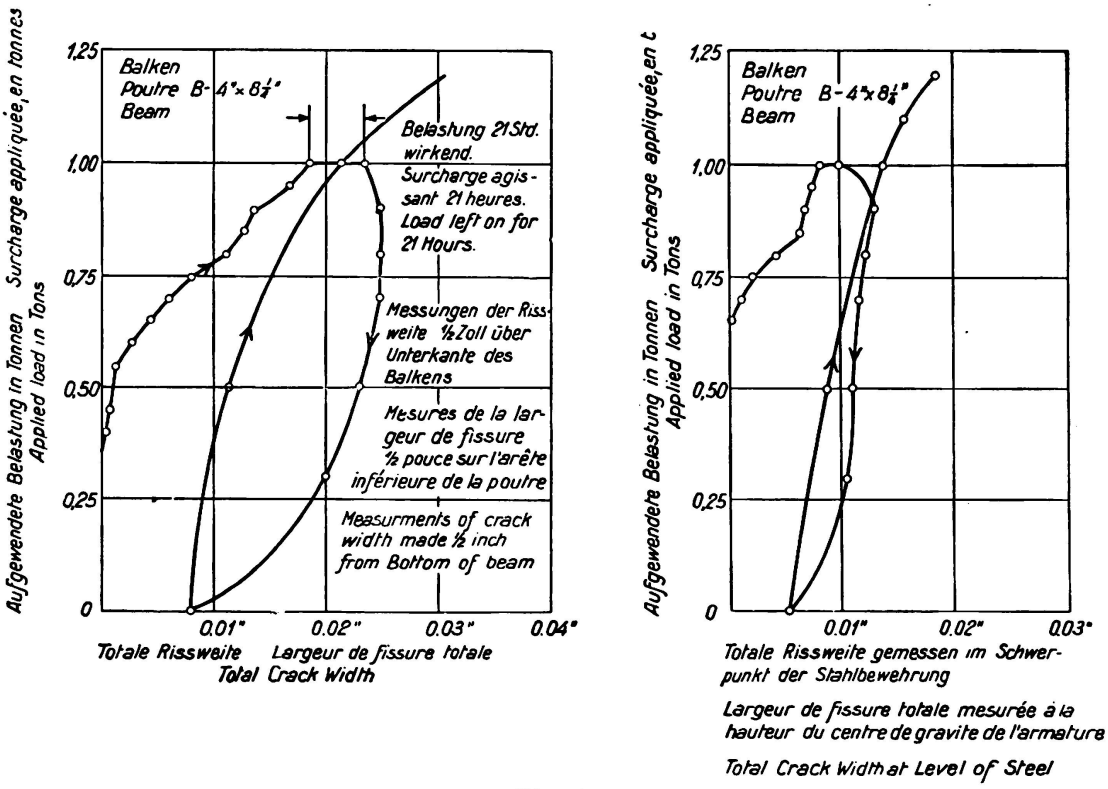

Fig. 5.

Retrait de la fissure.

les fissures) augmente dans une certaine proportion pendant la période d'application continue de la charge normale et qu'à la suppression de la charge, il se produit une réduction partielle de la largeur de fissuration. Il est intéressant de noter qu'au moment où l'on réduit légèrement la charge appliquée, en partant de la valeur normale, il se produit encore une légère augmentation de la largeur totale de fissuration et que la longueur d'une ou deux fissures augmente légèrement.

L'importance de la réduction de la largeur de fissuration qui se produit au moment où l'on commence à diminuer la valeur de la charge est ce que *Probst* désigne sous le nom de «largeur élastique» de fissuration. Dans l'essai ici considéré, la largeur élastique de fissuration est en moyenne très légèrement supé-

rieure à la moitié de la largeur effective de fissuration. Toutefois, le terme «élastique» doit être employé avec précaution, car on remarquera d'après la fig. 5 que la réduction de fissuration ne se produit pas d'une manière régulière au fur et à mesure de la réduction de la charge; la largeur de fissuration reste pratiquement constante dès les premiers instants de la réduction de la charge. Il est évident qu'avant cette réduction de fissuration, il faut que le sens de glissement sur l'acier ait pu être inversé et cette inversion demande nécessairement une variation assez notable de la charge elle-même.

La poutre a été ensuite laissée libre de toute charge appliquée, seulement le temps de permettre la mesure des largeurs des fissures, puis elle a été soumise à une charge progressivement croissante jusqu'à une fois et demie la charge normale de service. Cette charge a été maintenue pendant 44 heures; au cours de cette période, on ne constata qu'une très faible augmentation des fissurations. La charge a été ensuite augmentée jusqu'à la rupture de la poutre résultant de l'écoulement de l'acier des armatures.

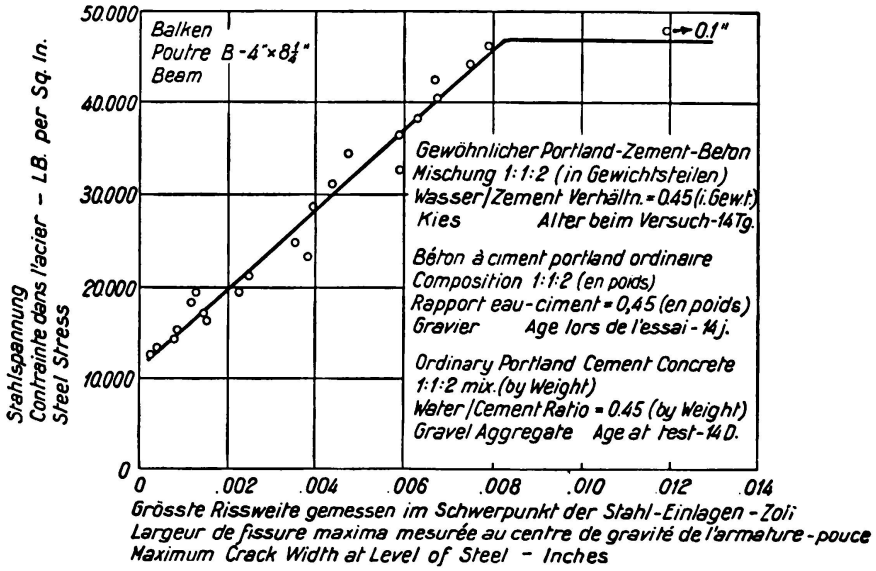

Fig. 6.

Largeur de fissure maxima en fonction de la contrainte dans l'acier.

Sur la fig. 6, on a comparé la largeur maximum de fissuration au niveau de l'acier avec la contrainte dans l'acier lui-même, estimée d'après la théorie courante de la tension nulle. Les résultats, obtenus à la suppression de la charge, n'ont toutefois pas été portés sur cette figure. On constate qu'il existe une relation approximativement linéaire entre la largeur de la fissuration et la contrainte dans l'acier et que la largeur de fissuration reste inappréciable au début de la mise en charge jusqu'à une charge de l'ordre de 8,4 kg/mm² (12 000 livres par pouce carré). Cette relation correspond à ce que peut faire prévoir une analyse sommaire du phénomène de la fissuration.[1]

Le commencement de l'écoulement de l'acier est traduit sur la fig. 6 par un coude très brusque de la courbe, pour une charge de 33 kg/mm². Le flé-

[1] *F. G. Thomas:* „Cracking in Reinforced Concrete", Struct. Eng., 14 (7), 1936, pages 298 à 320.

chissement de la poutre a commencé également à s'accentuer considérablement à partir de cette charge; cependant, dans les cas où l'on a prévu plus d'une seule couche d'armatures de traction, on a constaté que la largeur des fissures donnait des indications bien plus intéressantes que le fléchissement lui-même sur la valeur de la limite d'écoulement de l'acier. Ce point a été nettement mis en évidence au cours de quelques essais récents à la Building Research Station, sur des poutres continues sur deux travées. Les résultats de l'un de ces essais font l'objet de la fig. 7. L'examen du diagramme de largeur de la fissuration montre que les charges qui correspondent à la limite d'écoulement de l'acier, tant sur l'appui central que dans la portée elle-même, sont très nettement définies, alors que la courbe des fléchissements ne peut donner aucune indication précise sur la valeur effective de ces charges. On voit donc que dans de tels essais, la mesure des largeurs de fissuration constitue une aide très efficace pour l'étude critique de l'essai.

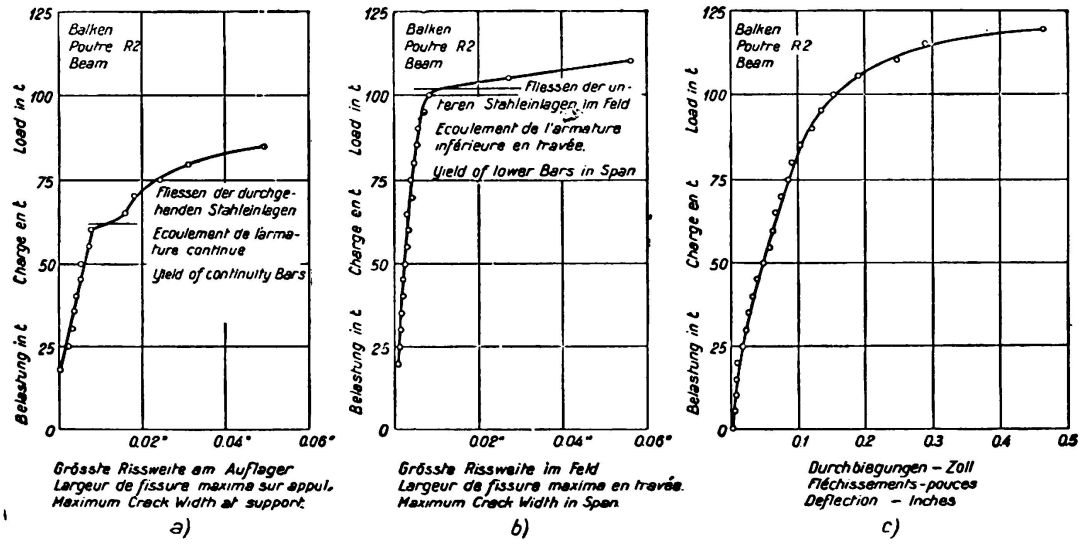

Fig. 7.

Largeur de fissure maxima en travée.

Au cours de quelques essais avec acier à haute résistance, on a étudié l'influence du pourcentage d'acier sur la largeur de fissuration pour une dimension constante des barres. Dix poutres ont été essayées, ayant toutes une longueur de 9 pieds 6″ (2,896 m) et une hauteur totale de 10 $^5/_8$″ (270 mm). Cinq différentes largeurs ont été adoptées, variant entre 6$^1/_4$“ (158,8 mm) et 14$^1/_2$„ (368,3 mm), à raison de deux poutres pour chaque largeur. Les armatures de traction étaient constituées, dans tous les cas, par deux barres composées, constituées elles-mêmes par deux barres rondes de $^1/_2$″ (12,7 mm) de diamètre, enroulées entre elles en hélice. Le pourcentage des armatures variait ainsi d'environ 0,6 à 1,4.

Les poutres ont été essayées par mise en charge à deux point symétriques, distants l'un de l'autre de 2 pieds 6″ (0,762 m), sur une portée de 9 pieds (2,743 m). Les résultats des mesures des largeurs de fissuration dans les parties des poutres soumises à un moment de flexion constant (pas de cisaillement) sont les suivants:

1° — La relation entre la contrainte dans l'acier et la largeur de fissuration n'est pas tout à fait linéaire. La raison probable de ce fait est que la pente du diagramme des déformations pour l'acier n'est pas constante pour l'acier à haute résistance ici employé, mais qu'elle décroît pour les charges élevées.

2° — D'une manière générale, si la courbe des largeurs de fissuration en fonction des contraintes de l'acier est prolongée jusqu'à couper l'axe des contraintes dans l'acier, les contraintes obtenues par extrapolation pour la valeur zéro de la largeur de fissuration augmentent lorsque le pourcentage d'armature diminue. Les valeurs obtenues pour ces contraintes sont les suivantes:

Proportion d'armature en % . . .	1,38	1,19	0,98	0,78	0,59
Contrainte dans l'acier pour largeur de fissuration nulle, lv/pouce² . .	5900	4600	8900	10000	13500

Ceci a pour effet de maintenir les fissures faibles aux charges normales de service, lorsque le pourcentage des armatures est faible.

3° — L'allure d'accroissement de la largeur de fissuration en fonction des contraintes dans l'acier est plus accentuée pour de faibles pourcentages d'armatures. Les accroissements de largeur de fissuration entre des taux de 12,6 et 28 kg/mm² ont été les suivants:

Pourcentage d'armature	1,38	1,19	0,98	0,78	0,59
Accroissement de la largeur de fissuration en pouce $\times 10^{-3}$	3,9	5,2	6,4	7,3	8,1

Il en résulte que pour de faibles pourcentages d'armatures les fissures tendent à être relativement plus importantes, particulièrement lorsque les efforts augmentent au-delà des valeurs actuellement adoptées dans l'étude des projets. Si par suite pour l'acier à haute résistance, on admet dans l'acier des contraintes plus élevées, conduisant à une diminution du pourcentage des armatures, il pourra en résulter une augmentation de l'importance des fissurations, sous les influences réunies de l'augmentation de la contrainte et de la diminution du pourcentage des armatures, dans le cas où l'on n'augmente pas les sections des barres d'armature. Il ne faut pas perdre de vue d'ailleurs que l'augmentation de la fissuration en % est notablement plus prononcée que l'augmentation en % également du taux de travail de l'acier.

Influence des mises en charge prolongées sur la fissuration.

L'augmentation, avec le temps, de la largeur des fissures peut être due à deux causes différentes: tout d'abord à l'augmentation des contraintes dans l'acier due à la carence du béton vis-à-vis des efforts de traction, et à l'écoulement du béton; ensuite, un relâchement dans l'adhérence, ayant pour conséquence une augmentation du glissement du béton sur l'armature en acier à partir de la fissure.

Des mesures ont été effectuées, à la Building Research Station, sur l'augmentation de la fissuration dans les poutres en béton armé; dans une série d'essais, quatre poutres ont été maintenues en charge d'une manière prolongée. Deux de ces poutres étaient armées avec acier à haute résistance et les deux autres en acier doux ordinaire. A un âge de 12 à 13 jours, les poutres ont été mises

en charge de telle sorte que la contrainte théorique maximum dans l'acier soit de 14 kg/mm² pour les barres en acier ordinaire et de 19 kg/mm² pour les barres en acier à haute résistance. Les charges ont été maintenues pendant 6 semaines, puis modifiées de telle sorte que les contraintes théoriques dans les armatures soient majorées de 50 % par rapport aux valeurs précédentes. Ces charges ont été ainsi maintenues pendant une nouvelle période de 6 semaines avant l'essai des poutres à la destruction. On a constaté que les largeurs des fissures avaient augmenté d'environ 50 %; au commencement de l'essai et au moment où les fissures s'accusaient sur les côtés de la poutre, l'écoulement du béton étant encore faible; ultérieurement, et même pour les contraintes élevées dans les armatures, les variations dans la largeur des fissures en fonction du temps ont été faibles.

Mise en charge préalable des armatures en vue de prévenir la fissuration.

La possibilité de prévenir la fissuration aux charges normales de service en réalisant une compression artificielle initiale du béton a été fréquemment mise en évidence, en particulier par *Freyssinet*. Cette méthode est parfois appliquée pour la constitution des dalles de plancher, en béton armé, coulées à l'avance. Les armatures de traction sont chargées sous une fraction élevée de leur limite de déformation plastique, à l'aide de ressorts ou de leviers, avant la coulée du béton. Le dispositif de mise en charge préalable est maintenu en place jusqu'à ce que le durcissement du béton soit suffisant pour lui permettre de supporter les contraintes qui se trouvent ainsi mises en jeu dans sa masse, lorsque les contraintes, dont les barres d'armature sont le siège, sont susceptibles d'être compensées par l'adhérence entre le béton et l'acier.

Il se présente toutefois certaines difficultés. Immédiatement au moment où la charge à laquelle se trouve soumis l'acier est transférée de l'appareil de mise en charge préalable à la section du béton lui-même, il se produit une déformation par compression dans le béton, qui a pour conséquence un relâchement de la charge de traction dans l'acier. En même temps, il se produit un glissement aux extrémités des barres d'acier, sur la longueur nécessaire à la mise en jeu de la contrainte maximum dans l'acier; il serait donc opportun de différer le retrait du dispositif de mise en charge préalable jusqu'à ce que la liaison entre le béton et l'acier soit suffisamment forte pour réduire cette longueur à une fraction de la longueur totale de la barre.

De plus, entre le moment du retrait du dispositif de mise en charge préalable et le moment de l'application de la charge normale de service, le béton continue à se déformer sous l'action de l'écoulement qui résulte de l'influence de la charge «interne», ainsi que sous l'influence du retrait normal propre. Le retrait ayant tendance à réduire la capacité de déformation de tous les bétons exposés à l'air, ce facteur n'entre pas en considération d'une manière comparative entre des éléments ayant et n'ayant pas subi une mise en charge préalable; toutefois, dans le calcul de la tension préalable nécessaire, pour éviter la fissuration sous un moment fléchissant donné, l'influence du retrait doit être prise en considération.

On trouvera ci-après les résultats obtenus au cours des essais effectués à la Building Research Station en vue de déterminer l'influence de la mise en charge préalable des armatures des poutres en béton de laitier écumé. Les poutres

avaient une longueur de 6 pieds (1,829 m); leur section rectangulaire comportait une hauteur de $6^1/_2$" (165 mm) et une largeur de $4^1/_4$" (106,9 mm) avec armature constituée par 2 barres en acier à haute résistance de $^1/_4$" (6,35 mm) de diamètre comme armature de traction et par 2 barres en acier doux de $^1/_4$" (6,35 mm) de diamètre comme armature de compression. Les bétons employés ont été les suivants:

Poutres PT1 et PT2. — Béton de ciment Portland à durcissement rapide, mélange à $1 : 1^1/_4 : 1^3/_4$ en volume, ou à 1 : 0,55 : 0,54 en poids; rapport eau-ciment de 0,53 en poids, avec aggrégat de laitier écumé admettant des dimensions maxima de $^3/_{16}$" (4,76 mm).

Poutres PT3 et PT4. — Comme ci-dessus, mais en mélange à $1 : 2^1/_2 : 3^1/_2$ en volume et à 1 : 1,10 : 1,09 en poids, avec rapport eau-ciment de 0,80 en poids.

Les barres de traction des poutres PT 1 et PT 4 seules ont été soumises à une contrainte préalable de traction de 28 kg/mm² avant la coulée du béton et le dispositif de mise en charge préalable a été maintenu en position jusqu'à un âge de 14 jours. Toutes les poutres ont été placées en sacs humides pendant 4 jours, puis exposées à l'air à 18° C sous une humidité relative de 64 %. A l'âge de 14 jours, le dispositif de mise en charge préalable a été retiré, sur les deux poutres, afin de permettre le transfert de la charge de l'acier au béton lui-même. Toutes les poutres ont été essayées à l'âge de 28 jours, par mise en charge aux tiers sur portée de 5 pieds (1,524 m). L'acier employé était de très haute résistance, avec charge de rupture de 84 kg/mm² (sur section initiale); on n'a pas constaté de limite d'écoulement nettement définie, mais la charge produisant une déformation permanente de 0,2 % était de 70 kg/mm².

On trouvera dans le tableau (1) les résultats principaux de ces essais. Pour une contrainte dans l'acier de 17,6 kg/mm², calculée d'après la méthode courante de la tension nulle, les poutres ayant été soumises à une mise en charge préalable n'accusaient aucune fissuration, tandis que les fissures sur les autres poutres avaient atteint des largeurs de 0,003" (0,076 mm) et de 0,005" (0,127 mm). Le fléchissement sous cette contrainte était réduit, pour les poutres mises en charge au préalable, au tiers et au quart de ce qu'il était pour les autres poutres non chargées au préalable, grâce à cette mise en charge préalable. Pour obtenir le même fléchissement et les mêmes largeurs de fissuration que sur les poutres non mises en charge au préalable, pour cette même contrainte de 17,6 kg/mm², il a fallu charger les poutres, mises en charge au préalable, à environ deux fois cette contrainte dans l'acier.

Il est donc certain que la mise en charge préalable des armatures joue un rôle extrêmement utile dans le sens d'une réduction du fléchissement et de la fissuration. On observera toutefois que l'augmentation de contrainte, permettant d'obtenir les mêmes conditions que dans la poutre non soumise à une mise en charge préalable, est d'environ 17,6 kg/mm² et non de 28 kg/mm², valeur représentant la mise en charge préalable de l'acier. Moins des deux tiers de la charge préalable nominale jouaient donc un rôle effectif au moment de la mise en charge ultérieure. La raison de ce fait est que la déformation initiale de l'acier est réduite par suite de la déformation que subit le béton au moment où la charge est transférée, depuis l'appareil de mise en charge préalable, sur le

béton lui-même et par suite de l'écoulement qui en résulte pour le béton. La mise en charge préalable n'exerce aucune influence sur la charge effective de rupture des poutres.

Corrosion.

Il a été suggéré qu'il existe une largeur limite de fissuration au-dessous de laquelle aucune corrosion des armatures ne peut se manifester. Quoique ce point de vue semble logique, aucune preuve satisfaisante n'en a été fournie jusqu'à maintenant. Nous pensons que la meilleure manière d'y arriver consiste à effectuer des essais pratiques d'exposition sur des poutres en béton armé chargées; de tels essais ont été commencés à la Building Research Station; des mesures y sont faites sur le régime progressif de la fissuration. On trouvera fig. 8 une reproduction de quelques-unes des poutres soumises à ces essais. Les résultats effectifs des essais effectués par certains investigateurs ont d'ailleurs perdu une grande partie de leur valeur, faute de données suffisantes concernant la largeur des fissures observées.

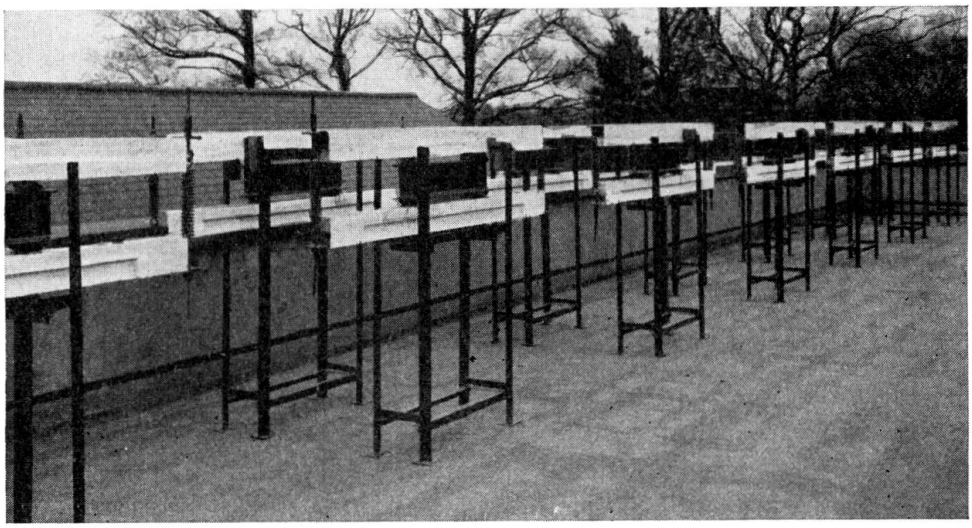

Fig. 8.
Essais effectués sur des poutres de béton armé, déposées à l'air.

Traitement d'obturation des fissures.

Il y a quelques années, le Professeur *Duff Abrams*[2] soumit à des essais de rupture un certain nombre de cylindres de béton, puis soumit ces cylindres à de nouveaux essais après une période d'attente de quelques années; non seulement ils purent alors supporter les charges qu'ils avaient initialement pu tenir, mais ils fournirent mêmes des valeurs de résistance atteignant 167 à 379 % de la résistance initiale à 28 jours. *Abrams* estima que les petites fissures qui s'étaient manifestées au moment du premier essai s'étaient ressoudées d'une manière très effective au cours de la conservation ultérieure des cylindres par déposition des éléments solubles provenant du ciment et des aggrégats. Il y avait donc là un procédé effectif de traitement, le béton ayant acquis une résistance

[2] *D. A. Abrams:* „Question Box", Am. Conc. Inst. Proc. 1926, 22, 636—9.

bien supérieure à celle qu'il aurait possédée s'il n'avait pas été soumis à cette mise en charge initiale.

Les essais auxquels se livra la Building Research Station confirmèrent les résultats déjà obtenus par *Abrams*. Ces essais ont porté sur des cylindres de 8" × 4" (203,2 × 101,6 mm) qui ont été soumis à une série d'essais allant jusqu'à la rupture, puis conservés pendant une période d'attente très peu longue, dans l'air, dans le sable humide et dans l'eau et soumis après cette période à une nouvelle série d'essais. Les essais de résistance ont été effectués sur une machine hydraulique; on a évité la désagrégation des cylindres au cours des essais. Les résultats de quelques-uns de ces essais, qui peuvent être considérés comme caractéristiques, sont groupés fig. 9. Ces essais se rapportent à des bétons de ciment Portland de différente constitution; les résistances obtenues au cours de la première série d'essais sont comparées avec les valeurs obtenues au cours de la seconde série d'essais après une période de 7 jours, puis après une période de

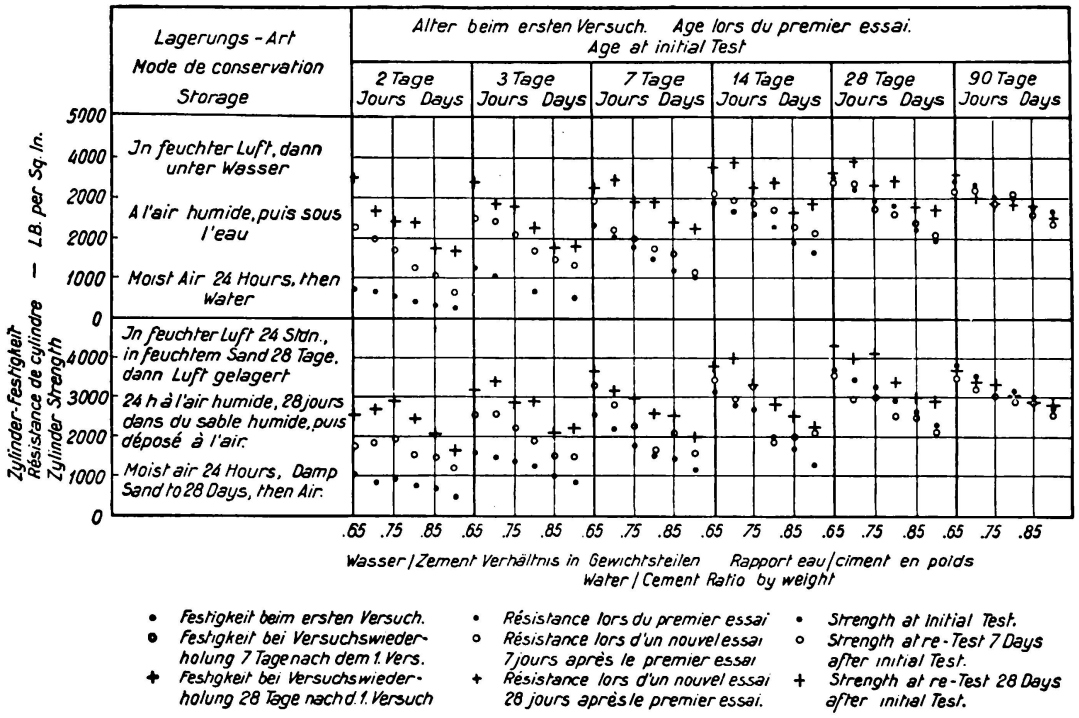

Fig. 9.

„Gérison autogène" du béton.

28 jours, après l'essais initial. L'examen de la figure montre que l'amélioration, obtenue par le traitement, est plus marquée pour le béton qui a subi le premier essai de rupture à un âge très jeune que pour le béton plus ancien au moment du premier essai. Dans la plupart des cas, il suffit d'ailleurs d'une période de 7 jours pour réaliser un traitement suffisant pour permettre au béton de supporter tout au moins la même charge que celle qui avait initialement provoqué la rupture; par ailleurs, la période de traitement de 28 jours ne s'est montrée insuffisante que dans le cas du béton qui avait été initialement essayé à 90 jours d'âge; même dans ce cas les écarts entre les valeurs limites de la résistance sont peu accusés.

Des résultats analogues ont été obtenus avec différents types de ciments, y compris des ciments alumineux. D'une manière générale, on a constaté que:

a) Plus le mélange est pauvre et perméable, plus grande est l'importance du traitement;

b) Plus le mélange est humide, plus grande est l'importance du traitement.

Tableau I.

Influence de la mise en charge préalable des armatures des poutres.

Poutre n°	PT 1[1]	PT 2	PT 4[1]	PT 3
Largeur de fissuration pour une contrainte dans l'acier de 17,5 kg/mm² d'origine extérieure en millimètres	0	0,075	0	0,125
Contrainte dans l'acier pour laquelle la fissuration s'amorce en kg/mm²	24,5	12	24,5	10
Contrainte dans l'acier sur poutre soumise à une charge préalable donnant la même largeur de fissuration qu'une contrainte de 17,5 kg/mm² sur une poutre sans mise en charge préalable	38,5	—	36,5	—
Fléchissement au milieu de la portée pour contrainte de 17,5 kg/mm² dans l'acier, en mm	0,48	1,37	0,46	2
Contrainte dans l'acier sur poutre soumise à une charge préalable donnant le même fléchissement qu'une contrainte de 17,5 kg/mm² sur poutre sans mise en charge préalable	33,6	—	33	—
Poids de béton en kg/m³	1840		1770	
Résistance du béton sur cube de 4" (101,6 mm) en kg/cm²	340		266	
Adhérence moyenne obtenue avec une barre d'acier à haute résistance de 1/4" (6,35 mm) noyée dans un cylindre de béton de 3" (76,2 mm) de diamètre et de 6" (152,4 mm) de long, en kg/cm²	14 jrs 23,1 28 jrs 22,4		14 jrs 21,7 28 jrs 24,5	

[1] Mise en charge préalable de l'acier à 28 kg/mm² (nominale).

Résumé.

Une méthode a été mise au point, en vue de mesurer les contraintes dues au retrait dans les éléments d'ouvrages en béton armé dans lesquels ce retrait est empêché, jusqu'au moment où se produit la fissuration. On a constaté que la résistance à la fissuration avait tendance à diminuer lorsque la rapidité de durcissement du ciment employé augmente.

Le point de vue de certains investigateurs suivant lequel les fissures présentent une certaine «élasticité» — c'est-à-dire qu'elles se resserrent quelque peu lorsque l'on supprime la charge — a été confirmé, mais il est évident que le terme d'«élasticité» n'est pas entièrement satisfaisant ici. Les fissures se resserrent en effet lorsque l'on supprime complètement la charge, mais l'importance effective de ce resserrement n'est pas proportionnelle à la réduction que subit la charge. En fait, une réduction de moitié de la charge peut ne donner lieu à aucune modification de la largeur des fissures, par suite d'une hystérésis due à la modification que subit la direction du mécanisme de glissement au contact entre le béton et l'acier.

On a constaté que pour une dimension particulière des barres d'armature, la largeur des fissures augmente, avec la contrainte dans l'acier, plus rapidement pour les faibles pourcentages de section d'armature. L'augmentation de largeur des fissures, qui peut résulter d'une augmentation des taux de travail des armatures de traction, peut être proportionnellement bien supérieure à l'augmentation de ces taux eux-mêmes, particulièrement lorsque les pourcentages de section d'armature normalement adoptés sont réduits.

Les fissures peuvent se développer dans des proportions très importantes lorsque les poutres sont soumises à des charges prolongées; on arrive toutefois à un état d'équilibre au bout de quelques semaines de mise en charge.

Des essais au cours desquels une contrainte de traction préalable de 28 kg/mm^2 a été appliquée aux armatures de traction de poutres d'essai ont montré que l'influence des déformations élastiques et inélastiques du béton peut être de réduire dans des proportions appréciables le degré d'efficacité de la mise en charge préalable. Dans les essais particuliers dont il est question, le dispositif de mise en charge préalable a été enlevé à 10 jours d'âge et les poutres ont été chargées à 28 jours d'âge. La mise en charge préalable effective s'est trouvée ainsi réduite par suite des déformations du béton à environ les deux-tiers seulement de sa valeur initiale.

Une série d'essais a montré enfin que les fissures fines qui se produisent sur des pièces en béton se trouvent souvent complètement bouchées avec le temps. Il y a là un processus de traitement qui se manifeste dans une certaine mesure sous l'effet de l'air, mais qui est plus marqué dans le cas d'une exposition humide.

Leere Seite
Blank page
Page vide