Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

Band: 16 (1956)

Artikel: Recherches sur la fissuration de manchons de béton entourant un rond sollicité en traction pure

Autor: Lazard, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-15071

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: 04.07.2025

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

Recherches sur la fissuration de manchons de béton entourant un rond sollicité en traction pure

Untersuchungen über die Rißbildung auf Prismen aus Stahlbeton mit einer auf reinen Zug beanspruchten Rundeiseneinlage

Research on the cracking of concrete prisms reinforced with a round bar working under pure tension

A. Lazard, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Chef de la Division des Ouvrages d'Art de la S.N.C.F., Paris

Objet

Afin de vérifier l'exactitude et la validité de théories récentes concernant l'espacement des fissures dans le béton armé tendu, les Chemins de Fer Français ont été amenés à entreprendre divers essais de fissuration de manchons de béton de différentes longueurs, entourant un rond sollicité en traction pure. Il s'agissait de déterminer le nombre de fissures et leur écartement et de comparer ces valeurs aux formules proposées. En outre, pour les premières séries, des mesures d'allongement faites avec des extensomètres à résistance électrique ont permis de recueillir quelques données concernant la transmission des efforts du rond seul au complexe rond + béton. Les charges d'apparition des fissures ont également été notées. Le présent rapport rend compte sommairement de ces recherches.

Généralités sur les essais

Dans tous les essais, le rond transmettant les efforts de traction était disposé dans l'axe des manchons. Il s'agit donc d'essais de fissuration en traction pure.

Le 1er essai a porté sur des manchons circulaires de 200 mm de diamètre, entourant un même rond de 20 mm, et de longueurs 100, 200, 250, 300 et 400 mm. Aucun n'a fissuré.

Le 2e essai a porté sur deux éprouvettes comportant des manchons prismatiques à base carrée de 140 mm de côté entourant un même rond de 20 mm, et de longueurs 200, 400, 800 et 1600 mm.

A l'exception du plus court tous les manchons ont fissuré.

Afin d'essayer de mettre en évidence l'influence des rapports des dimensions linéaires et des aires des sections béton acier sollicitées, le troisième essai a porté sur deux éprouvettes comportant des manchons de formes et de longueurs variées entourant un même rond de 20 mm. Le premier manchon de 600 mm de long était un prisme à base carrée de 100 mm de côté. Les second et troisième de 800 et 1600 mm de long respectivement étaient des troncs de pyramide à base carrée dont la grande base avait 140 mm de côté et la petite base 100 mm de côté: Tous ces manchons ont largement fissuré.

Le 4e essai a porté sur deux éprouvettes comportant différentes séries de manchons prismatiques à base carrée de diverses longueurs entourant des ronds de 10, 14 et 20 mm de diamètre. Ils ont très diversement fissuré.

*

Les ronds utilisés étaient de nuance douce.

Les bétons pilonnés avaient au minimum 28 jours d'âge au moment de l'essai.

Sauf pour le premier essai où un tube métallique a été utilisé, les coffrages étaient en bois, recouverts d'un feuillard graissé.

Les manchons étaient tirés dans une machine horizontale de 150 t et toutes précautions avaient été prises pour éviter toute flexion parasite des éprouvettes.

Pendant les trois premiers essais, on a utilisé beaucoup d'extensomètres à résistance électrique et la mise en traction a été progressive, car on craignait de ne pouvoir noter toutes les fissures dès leur apparition. L'expérience ayant montré qu'aucune fissure ne pouvait échapper et que l'apparition de la première fissure ne paraissait pas correspondre à une valeur bien définie des contraintes dans le béton, le dernier essai a été conduit beaucoup plus rapidement et sans extensomètre: on s'est contenté de mesurer les écartements des fissures.

*

Il y a lieu de noter que, *contrairement* à ce que supposent implicitement toutes les théories de la fissuration, les fissures ont toujours débuté sur une des faces des manchons puis se sont plus ou moins développées sur les autres faces au cours de l'essai. Un nombre restreint d'entre elles ont véritablement sectionné tout le béton. A titre d'exemple, la fig. 1 montre en a) la succession du développement des fissures, et en b) l'éprouvette à la fin du 2e essai.

Ceci manifeste l'existence de flexions parasites qui compliquent l'étude du problème. Elles proviennent d'imperfections du montage expérimental et de l'hétérogénéité inhérente au béton lui-même. Ces flexions étaient telles que fréquemment les fissures successives se produisaient en quinconce sur un

même manchon (voir fig. 1 b, manchon de 800). Les mesures extensométriques ont montré deux types de „bec d'oiseau"[1]).

Dans ce qui suit, les espacements entre fissures ont été comptés entre leurs plans moyens, qu'elles fussent totales ou partielles.

Description du 1er essai (voir fig. 2)

A 7,5 t (limite élastique de la barre 7,7 t environ: $L = 24{,}6$ kg/mm²) le glissement de l'acier dans le manchon F fut observé.

A la fin de l'essai, tous les manchons tournaient librement autour de l'acier sauf le manchon A pour lequel un glissement de 26 mm fut constaté. Il n'y avait pas de fissure.

Les extensomètres n'avaient indiqué aucune contrainte appréciable dans le béton.

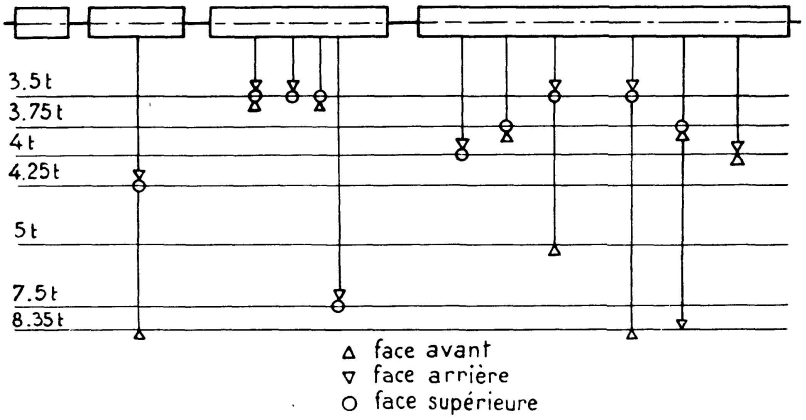


Fig. 1 a. Apparition des fissures (2e essai: Eprouvette n° 2).

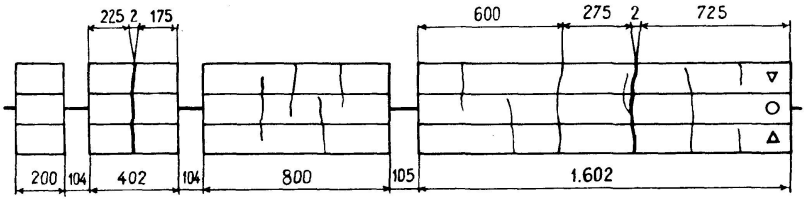


Fig. 1 b. Eprouvette après fissuration finale (8,35 t) (2e essai: Eprouvette n° 2 développée).

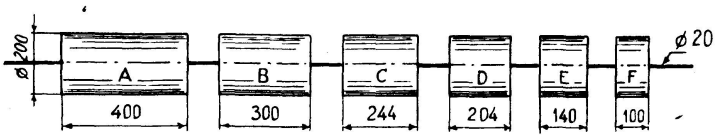


Fig. 2. 1er essai: manchons cylindriques ⌀ 200.

---

[1]) L'un correspond à l'apparition d'une fissure à proximité de l'appareil, l'autre au raccourcissement provoqué par l'apparition d'une fissure sur la face de béton opposée à celle sur laquelle était collé l'appareil. Le 1er type correspond au bec d'oiseau tel que nous l'avons antérieurement décrit [1]. Le second a déjà été signalé par M. Moenaert dans des essais identiques [2].

Conclusion partielle. Les manchons n'ont pas fissuré parce qu'ils étaient trop gros, et trop courts. La section de béton a été réduite dans les essais suivants (sauf pour les éprouvettes n° 5 du 4e essai, qui n'ont pas fissuré).

Description du 2e essai (voir fig. 1)

La fig. 1 indique le développement des fissures sur l'une des deux éprouvettes. Il y a peu de différence avec l'autre. L'essai fut interrompu à 8,5 t et 8,35 t. La limite élastique des barres était d'environ 8,5 t ($L = 27{,}3$ kg/mm²).

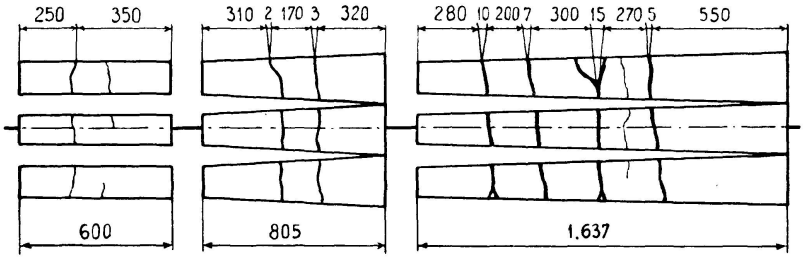
Pour les 2 éprouvettes le manchon de 200 mm de long n'a pas fissuré, celui de 400 a présenté 1 fissure traversant l'éprouvette, celui 800 a présenté 3 fissures dont 1 seule traversant la 1re éprouvette et 4 fissures ne traversant pas la 2e éprouvette (fig. 1b), le manchon de 1600 a présenté 6 ou 7 fissures dont 2 traversant l'éprouvette.

Description du 3e essai (voir fig. 3)

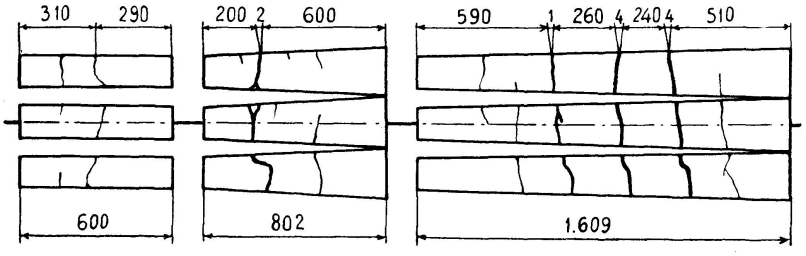
La fig. 3 indique l'état de la fissuration à la fin de l'essai soit 10 t et 10,5 t pour les limites élastiques de 9,4 t et 9,7 t respectivement ($L = 29{,}9$ et 31 kg/mm²).

Les prismes de 600 mm présentent 2 fissures dont 1 traversant l'éprouvette. Les troncs de pyramide de 800 présentent 2 fissures dont 1 ou 2 traversant l'éprouvette. Les troncs de pyramide de 1600 présentent 6 ou 5 fissures dont 3 ou 4 traversant l'éprouvette.

Conclusion partielle. L'espacement des fissures le long des troncs de pyramide n'étant pas régulier et paraissant influencé par la présence des bases; l'exécution de ces manchons étant, d'autre part, très délicat, ce type d'essai fut abandonné.



3e essai: Eprouvette n° 1 développée.



3e essai: Eprouvette n° 2 développée.

Fig. 3. Eprouvettes après fissuration finale.

Description du 4e essai (voir fig. 4 et 5)

Chaque série d'éprouvettes comportait:

Eprouvette n° 1: Blocs à section carrée de 100 mm de côté et de 200, 300, 400, 500, 600, 700 et 800 mm de longueur enrobant un acier de ∅ 10 mm.

Eprouvette n° 2: Mêmes blocs enrobant un acier de ∅ 14 mm.

Eprouvette n° 3: Mêmes blocs enrobant un acier de ∅ 20 mm.

Eprouvette n° 4: Blocs de bétons de mêmes longueurs que les précédents, mais de section carrée de 140 mm de côté enrobant un acier de ∅ 20 mm.

Eprouvette n° 5: Blocs de mêmes longueurs mais de section carrée de 200 mm de côté enrobant un acier de ∅ 20 mm.

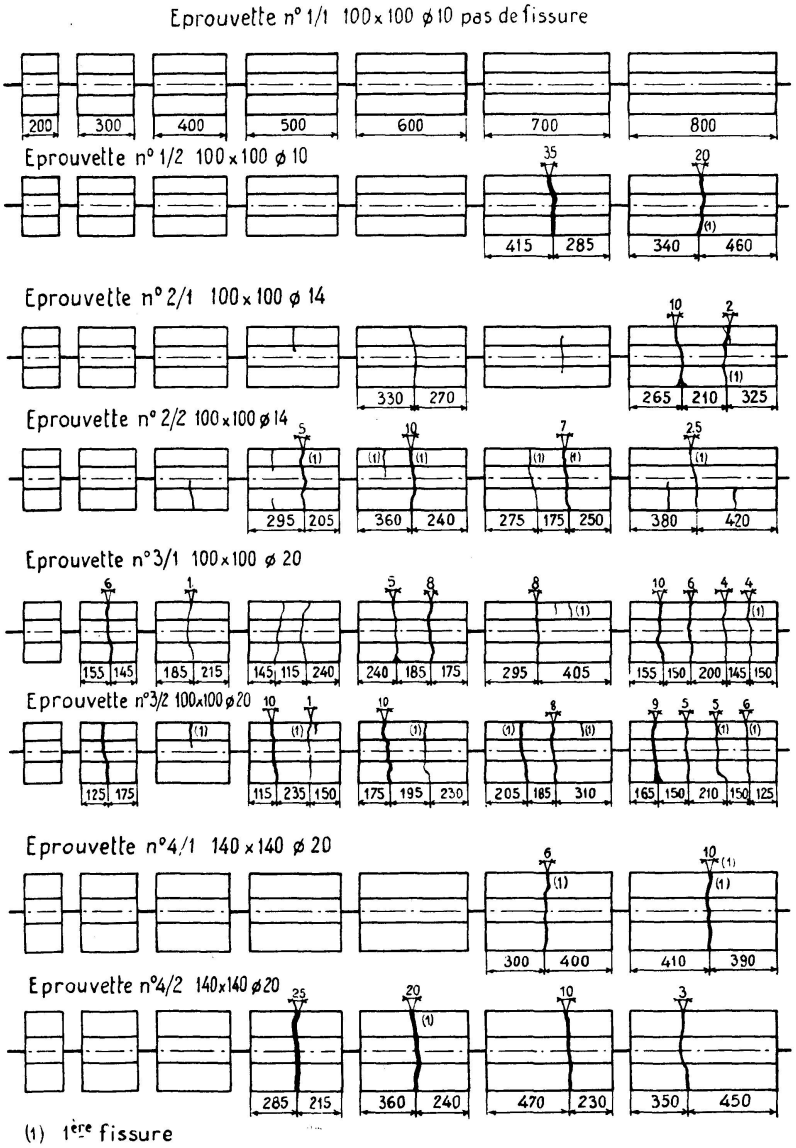


Fig. 4. Eprouvettes après fissuration finale (4e essai).

Les résultats sont donnés par les fig. 4 et 5 à l'exception des éprouvettes n° 5 qui n'ont pas fissuré (voir conclusion partielle du 1er essai).

Examen des résultats

1° Espacement entre fissures: Comparaison avec les formules de M. P. Brice
(Voir tab. I et fig. 6, tab. II)

Les longueurs des tronçons fissurés au cours des essais ont été comparés aux espacements minimum, moyen, maximum, calculés suivant les formules proposées par M. P. Brice [3].

$$\frac{1}{2}\left(1+3\frac{e_a}{e_b}\right)\frac{\varnothing}{4\,\infty} < l < \frac{1}{2}\left(1+3\frac{e_a}{e_b}\right)\frac{\varnothing}{2\,\infty}$$

$$\text{et } l \text{ moyen} = \frac{1}{2}\left(1+3\frac{e_a}{e_b}\right)\frac{\varnothing}{2{,}75\,\infty}$$

où: $\frac{e_a}{e_b}$ est le rapport du diamètre de l'acier à la largeur du béton.
$\varnothing$ le diamètre du rond
∞ le pourcentage d'acier dans la section

En fait, le résultat est indépendant des qualités du béton.

*

Les résultats figurent au tableau I et sont reportés graphiquement sur la fig. 6 de la façon suivante: En abscisses sont portés les espacements mesurés et en ordonnées les espacements moyens calculés par la formule de M. P. Brice. 13 points marqués → indiquent la longueur du plus grand manchon non fissuré. 36 autres manchons n'ont pas fissuré (au total 49 manchons non fissurés).

Le graphique est complété par les lignes des espacements minimum et maximum calculés et par la limite inférieure expérimentale et par la pseudo-limite supérieure expérimentale.

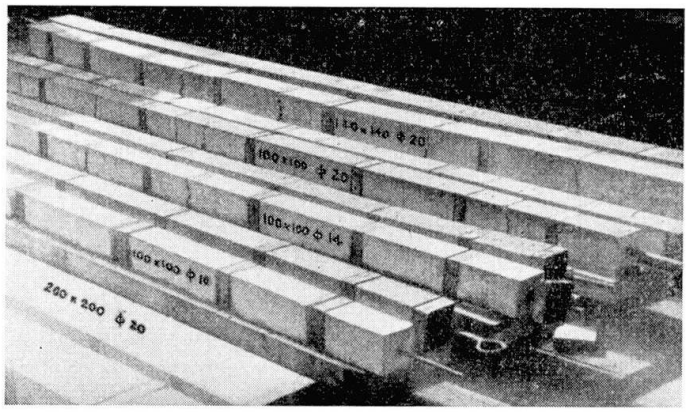


Fig. 5. Fissuration.

Tableau I. Espacement des fissures

No de l'essai	Date de l'essai	Dimensions des éprouvettes		l calculé (mm) formules BRICE			l mesuré (mm)	
		Béton mm	Acier mm	min.	moy.	max.	1re éprouvette	2e éprouvette
1	3. 6. 52	⌀ 200	⌀ 20	325	473	650	(> 400) pas de fiss.	
2	28. 1. 53 et 13. 2. 53	140/140	⌀ 20	240	349	480	300, 150, 250, 200, 150, 150, 140, 250 200, 150, 250, 200 170, 230 (> 200) pas de fiss.	320, 200, 205, 300, 200, 200, 200 250, 100, 125, 125, 200 175, 235 (> 200) pas de fiss.
3	4. 6. 53 et 23. 6. 53	100/100 à 140/140	⌀ 20	138 à 240	201 à 349	276 à 480	350, 160, 240, 260, 200, 120, 270 350, 250, 200	550, 120, 180, 300, 200, 280 320, 170, 310
		100/100	⌀ 20	138	201	276	310, 110, 180	250, 120, 230
4	22 et 23. 3. 54	100/100	⌀ 10	214	311	428	(> 800) pas de fiss.	460, 340 285, 415 (> 600) pas de fiss.
		100/100	⌀ 14	178	259	356	325, 210, 265 240, 460 270, 330 225, 275 (> 400) pas de fiss.	220, 220, 160, 220 250, 175, 275 240, 160, 200 200, 140, 160 200, 200 (> 300) pas de fiss.
		100/100	⌀ 20	138	201	276	150, 145, 200, 150, 155 245, 75, 85, 295, 175, 180, 240 240, 115, 145 215, 185 145, 155 (> 200) pas de fiss.	125, 150, 210, 150, 165 110, 200, 205, 185 230, 200, 170 150, 235, 115 210, 190 175, 125 (> 200) pas de fiss.
		140/140	⌀ 20	240	349	480	390, 410 400, 300 (> 600) pas de fiss.	450, 350 230, 470 240, 360 215, 285 (> 400) pas de fiss.
		200/200	⌀ 20	426	620	852	(> 800) pas de fiss.	

Le tableau II donne le résultat des comptages selon qu'on tient compte ou pas des manchons courts non fissurés et non figurés.

On remarquera la notable dispersion des essais. D'autre part, il est probable que l'espacement des fissures n'est réellement exact que lorsque le manchon est assez long et présente plusieurs lignes de fissuration. Pour les blocs courts, la distance mesurée entre l'extrémité du bloc et la fissure ne représente sans doute pas l'espacement réel entre deux fissures consécutives.

En résumé les espacements entre fissures mesurés dans les quatre essais décrits sont compris pour la moitié seulement environ dans les limites calculées par M. P. Brice.

Ces formules pourraient être semble-t-il corrigées en divisant par 2 la limite inférieure et en multipliant par 1,25 la limite supérieure.

On aurait alors:

$$\left(1+3\frac{e_a}{e_b}\right)\frac{\varnothing}{16\,\infty}<l<\left(1+3\frac{e_a}{e_b}\right)\frac{1{,}25}{4}\frac{\varnothing}{\infty}.$$

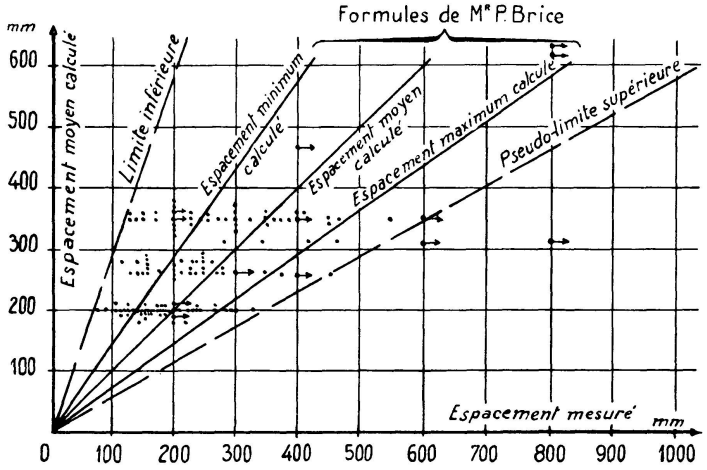


Fig. 6. Espacement des fissures. Le point indique pour l'espacement moyen calculé (en ordonnée) la longueur des tronçons après fissuration (en abscisse). — Lorsque l'éprouvette n'a pas fissuré, le point est signalé par → (36 de ces points ne sont pas figurés).

Tableau II. Résultat des comptages

	En tenant compte seulement des 13 plus grands manchons non fissurés (•→)				En tenant compte de tous les manchons non fissurés			
	Résultats inférieurs aux formules P. Brice	Résultats concordant avec les formules P. Brice	Résultats supérieurs aux formules de P. Brice		Résultats inférieurs aux formules P. Brice	Résultats concordant avec les formules P. Brice	Résultats supérieurs aux formules de P. Brice	
			fis-surés	non fis.			fis-surés	non fis.
Nombre	39	84	8	+13	39	84	8	+49
Pourcentages	27,1	58,3	5,6	+ 9	21,6	46,8	44	+27,2

Par contre, la formule de M. P. Brice donnant l'espacement moyen fournit assez bien l'ordre de grandeur de l'espacement moyen réel.

2° Rapport des espacements extrêmes: nombre de fissures, etc...

Le tableau III donne pour chaque manchon essayé les espacements maxima et minima des fissures, le nombre total de fissures et le nombre de fissures traversant complètement le béton.

Tableau III

No de l'essai	Date de l'essai	Nombre d'éprouvettes	Dimensions des éprouvettes		Longueur des manchons (mm)	Espacements mesurés		Long. max. des blocs non rompus	Nombre de fissures	
			Béton (mm)	Acier (mm)		min. (mm)	max. (mm)		total	traversant
1	3. 6. 52	1	⌀ 200	⌀ 20	100 à 410	—	—	400	0	0
2	28. 1. 53	2	140/140	⌀ 20	200 à 1600	100	320	200	22	6
	et									
	13. 2. 53									
3	4. 6. 53	2	100/100	⌀ 20	600	110	310	—	4	2
	et	2	100/100	⌀ 20	800 et 1600	120	550	—	15	7
	23. 6. 53		140/140							
4	22. 3. 54	2	100/100	⌀ 10	200 à 800	285	460	800	2	2
	et	2	100/100	⌀ 14		140	460	400	16	8
	23. 3. 54	2	100/100	⌀ 20		75	240	200	28	22
		2	140/140	⌀ 20		230	470	600	6	6
		2	200/200	⌀ 20		—	—	800	0	0

L'espacement maximum est de 2 à 4,5 fois l'espacement minimum.

L'expérience confirme assez bien les conclusions théoriques de M. P. Brice, d'après lesquelles ce rapport devrait être de 2. C'est surtout cette partie de la théorie de M. P. Brice qui nous avait incité à entreprendre les présents essais.

La moitié environ des fissures traversent complètement le béton. Les fissures traversent d'autant plus que le manchon est plus long. Les manchons courts plusieurs fois fissurés sont rarement traversés.

3° Transmission des efforts de l'acier seul au complexe béton + acier

Les mesures extensométriques ont montré, aux erreurs inévitables près, que:

A. Dans l'acier, en dehors des manchons, les déformations — donc les contraintes — étaient constantes le long d'une même barre et égales aux prévisions de calcul.

B. Sur les faces des manchons en béton, les têtes mises à part, les déformations — donc les contraintes en surface — étaient, *avant fissuration*, sensiblement constantes. Elles correspondaient à un module de Young de 200 000 kg/mm² environ, donc à un m de 10 environ.

C. Au contraire, vers les têtes des manchons, les déformations étaient sensiblement moitié de celles réalisées en plein corps des manchons.

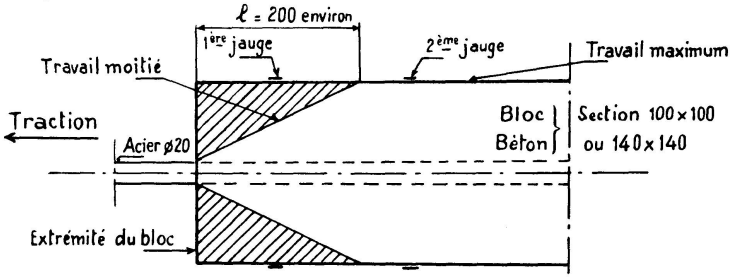


Fig. 7. Schéma de la répartition des efforts sur les têtes des manchons.

Tableau IV

Date de l'essai	Nombre d'éprouvettes	Section de l'éprouvette		Charge de la 1re fissure en t	Contrainte théorique		Observations
		Béton	Acier		Béton + acier kg/cm² m = 10	Acier seul kg/mm²	
3. 6. 52	1	⌀ 200	⌀ 20	—	—	—	pas de fissure
28. 1. 53 13. 2. 53	2	140/140	⌀ 20	4 3,5	17,3 15,1	12,75 11,15	
4. 6. 53 et 23. 6. 53	2	100/100	⌀ 20	2,75 3	20,9 22,8	8,72 9,55	
		100/100 à 140/140	⌀ 20	3,1 2,5	17,1 13,75	9,87 7,95	
22. 3. 54 et 23. 3. 54	2	100/100	⌀ 10	2,5	23,2	31,85	pas de fissure limite élastique de l'acier
		100/100 100/100 140/140	⌀ 14 ⌀ 20 ⌀ 20	2,5 3,2 5 4 6 5,6	21,7 27,7 38 30,4 25,9 24,2	16,2 20,8 15,92 12,72 19,1 17,8	
	2	200/200	⌀ 20	—	—	—	pas de fissure

Il est donc possible d'imaginer une répartition des efforts sur les têtes des manchons représentée par le schéma suivant (fig. 7).

La section totale du béton ne serait intéressée qu'à partir d'une distance d'environ 200 mm de la tête du manchon.

4° Contraintes à l'apparition de la 1re fissure

Le tableau IV indique pour chaque essai la charge d'apparition de la 1re fissure et les contraintes dans l'acier seul (extérieur) et dans le béton (la section étant homogénéisée avec le coefficient $m = 10$).

Il y a lieu de remarquer que la mise en traction a été beaucoup plus rapide lors du 4e essai; ceci peut expliquer les relèvements de contraintes observées.

Les éprouvettes prismatiques de béton témoin se sont rompues en flexion dans une machine Simrup du type Feret pour des valeurs de contraintes de traction évaluées par la formule $\frac{3{,}6\,M}{b_3} = 0{,}6 \times \frac{6\,M}{b_3}$ comprises entre 20 et 30 kg/cm².

Conclusions

Les conceptions théoriques de M. P. Brice d'après lesquelles l'espacement des fissures varie de 1 à 2 et peut être donné par les formules

$$\frac{1}{2}\left(1 + 3\frac{e_a}{e_b}\right)\frac{\varnothing}{4\,\infty} < l < \frac{1}{2}\left(1 + 3\frac{e_a}{e_b}\right)\frac{\varnothing}{2\,\infty}$$

$$l \text{ moyen} = \frac{1}{2}\left(1 + 3\frac{e_a}{e_b}\right)\frac{\varnothing}{2{,}75\,\infty}$$

correspondent assez bien avec les expériences ci-avant décrites. En réalité l'espacement varie pour un même manchon de 2 à 4,5 et pourrait être donné par les formules de M. P. Brice divisées par 2 pour l'espacement minimum, multipliées par 1,25 pour l'espacement maximum.

Quoi qu'il en soit la formule de l'espacement moyen de M. P. Brice donne bien l'ordre de grandeur des espacements moyens expérimentaux.

Les fissures n'ont traversé complètement le béton que dans les manchons très longs.

Bibliographie

1. A. Lazard. Voir diverses publications: „*Travaux*" Mai 1950; 4e Congrès des Grands Barrages, Question 15, Rapport 68; 4e Congrès de l'A. I. P. C. Cambridge, Rapport final, page 406.
2. P. Moenaert. Diverses publications: 4e Congrès de l'A. I. P. C. Cambridge, Rapport final, page 404.
3. M. P. Brice. „*Travaux*" Juin 1954.

Résumé

Afin de vérifier la validité de la théorie de M. P. Brice concernant l'espacement des fissures du béton armé tendu les Chemins de Fer Français ont pro-

cédé de 1952 à 1954 à plusieurs essais sur des manchons de béton entourant un rond sollicité en traction pure.

Les résultats prouvent que l'ensemble de cette théorie est assez correct; toutefois, l'espacement minimum des fissures est environ la moitié de celui prévu, tandis que l'espacement maximum est d'environ 1,25 fois plus grand. L'ordre de grandeur de l'espacement moyen est sensiblement donné par la formule de M. P. Brice.

L'effort de traction transmis par l'acier n'est complètement réparti dans la section totale de béton qu'à une certaine distance des têtes.

Les fissures n'ont complètement traversé le béton que pour des manchons très longs.

Zusammenfassung

Um die Gültigkeit der von Brice aufgestellten Theorie bezüglich des Abstands der Risse auf den auf Zug beanspruchten Stahlbeton-Trägern nachzuprüfen, hat die Nationalgesellschaft der Französischen Eisenbahnen zwischen 1952 und 1954 mehrere Versuche mit Prismen aus Beton unternommen, die mit einer auf reinen Zug beanspruchten Rundeiseneinlage versehen waren.

Die Ergebnisse beweisen, daß diese Theorie im großen ganzen ziemlich richtig ist; es muß jedoch hierzu bemerkt werden, daß der Mindestabstand der Risse ungefähr die Hälfte des vorgesehenen Abstandes erreicht, während der höchste Abstand ungefähr 1,25mal größer ist. Die Größenordnung des mittleren Abstands stimmt ziemlich genau mit der durch die Formel von Brice angegebenen überein.

Die durch den Stahl übertragene Zugkraft ist nur in einem gewissen Abstand von den Enden vollkommen im ganzen Querschnitt des Betons verteilt.

Nur auf ganz langen Prismen haben die Risse den Beton ganz durchquert.

Summary

In order to check the validity of M. Brice's theory concerning the spacing of cracks in reinforced concrete under tension, the French National Railways undertook, from 1952 to 1954, a series of tests on concrete prisms reinforced with a round bar submitted to pure tension.

The results prove that, in the whole, this theory is fairly correct, however, the minimum spacing of the cracks is about half of that expected, whereas the maximum spacing is about 1,25 times larger. The magnitude of the mean spacing is given fairly by the formulæ of M. Brice.

The tensile stress transmitted by the steel is fully distributed in the total section of concrete, at a certain distance only from the ends.

Only on very long prisms have the cracks gone fully through the concrete.