Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 16 (1956)

Artikel: Essais jusq'à rupture de poutres armées d'acier TOR 60 et 80
Autor: Lazard, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-15070

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: 09.07.2025

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

Essais jusqu'à rupture de poutres armées d'acier TOR 60 et 80

Bruchversuche von armierten Betonbalken bei Verwendung von Torstahl 60 und 80

Breaking tests on beams reinforced with Torsteel 60 and 80

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

Faisant suite aux essais de septembre et octobre 1954 sur poutres armées d'acier TOR 40 et d'acier ordinaire Ac 42, parus dans la Publication Préliminaire au Congrès de *Lisbonne*, pages 753 à 762, d'autres poutres, armées d'acier TOR de limite élastique 60 et 80 kg/mm², ont été essayées dans les mêmes conditions, en septembre 1955 et janvier 1956, jusqu'à rupture, en prêtant une attention particulière à leur fissuration.

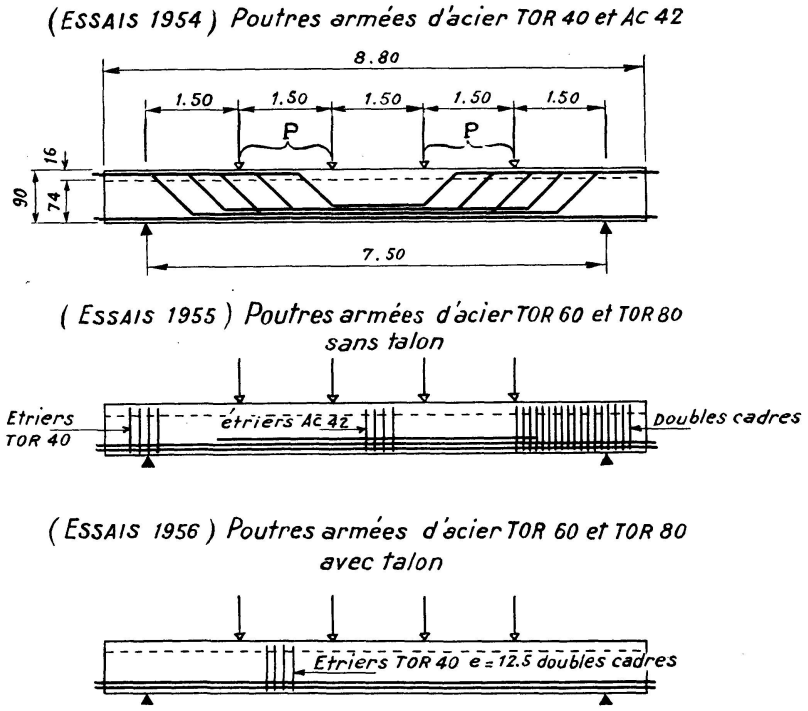

Fig. 1. Armatures des poutres.

Ces poutres comportaient, ou non, des talons. Pour simplifier, on les appellera poutres TOR 60, ou TOR 80, avec ou sans talons.

Il ne sera donné ici qu'un compte rendu sommaire, renvoyant pour tous les détails à d'autres publications des Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, à paraître en 1956 et en 1957.

I. Description sommaire des poutres TOR 60 et TOR 80

Les poutres TOR 60 et 80 (avec ou sans talons) ont: même longueur, même portée et ont été confectionnées avec un béton de même dosage (350 kg de CPA au m³) que les poutres TOR 40 et Ac 42 essayées en 1954, mais elles ont une section en ⊤ au lieu de la section en ⊤⊤.

Les poutres sans talon ont une nervure de 18 cm d'épaisseur.

Les poutres avec talon ont une âme de 12 cm, et un talon de 31 × 14 cm. Les tables de compression ont 1 mètre de largeur et 16 cm de hauteur.

Les nouvelles poutres ne comportent pas de barres relevées.

Le tableau I et les figures 1 et 2 donnent les caractéristiques des poutres essayées en 1954—1955 et 1956.

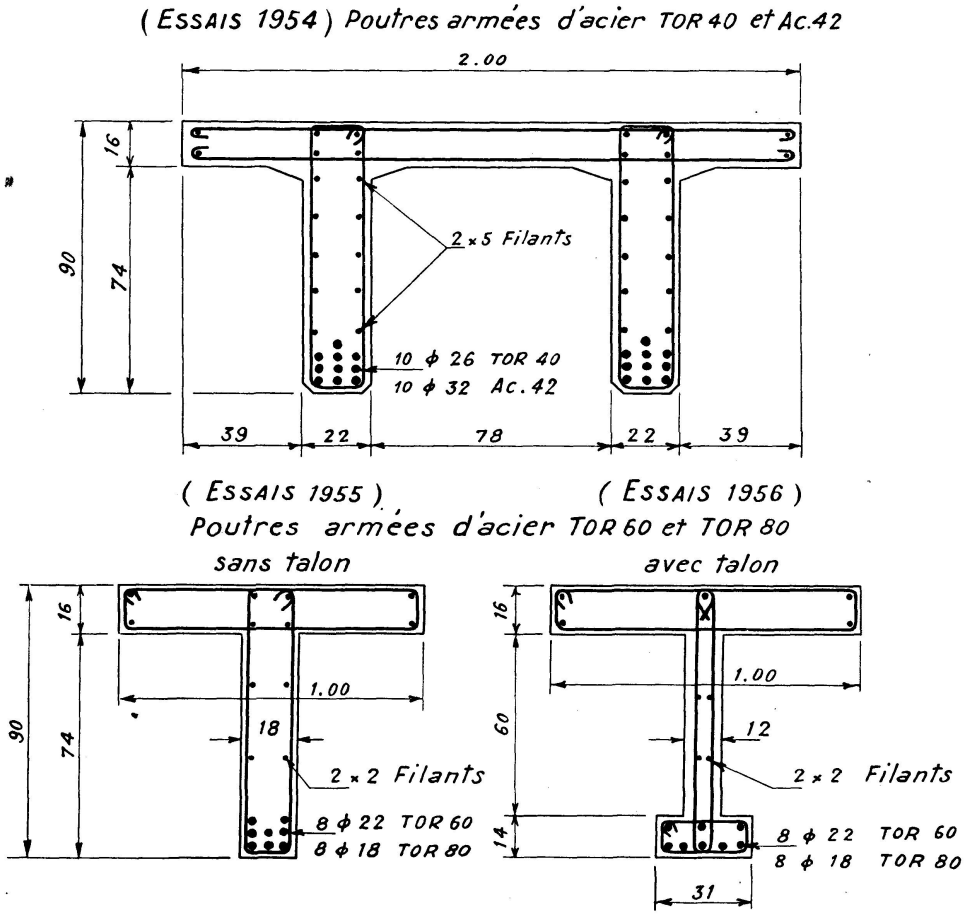

Fig. 2. Coupes transversales et médianes des poutres.

Tableau I. Caractéristiques sommaires des poutres essayées en 1954—1955 et 1956

	Essais 1954		Essais 1955—1956			
	TOR 40	Ac 42	TOR 60	TOR 80	TOR 60	TOR 80
	sans talon		sans talon		avec talon	
Formes des poutres	⊤⊤	⊤⊤	⊤	⊤	⊤	⊤
Epaisseur (en cm) des nervures	22	22	18	18	12	12
du talon	—	—	—	—	31/14	31/14
Par nervure = Armatures principales	10 ⌀ 26	10 ⌀ 32	8 ⌀ 22	8 ⌀ 18	8 ⌀ 22	8 ⌀ 18
Section tendue (en cm²)	53,10	80,40	30,41	20,36	30,41	20,36
Pourcentage	3,10	4,68	2,06	1,36	1,17*)	0,79*)
Etriers	Ac 42	Ac 42	TOR 40 + Ac 42	TOR 40 + Ac 42	TOR 40	TOR 40
Espacements (en cm)	variables de 12,5 à 15				12,5	
Barres relevées (par nervure)	7	7	0	0	0	0
Barres filantes dans l'âme (par nervure) en ⌀ 10	10	10	4	4	4	4
Charge normale de service C.N. (en t) (par vérin)	33	33	31,2	28	31,2	28
Charge présumée de fissuration (en t)	13	13	7,2	6	7,2	6

*) Le pourcentage est obtenu en prenant $\mu = \frac{\omega'}{b H_1}$ b étant la largeur de la nervure pour les poutres sans talon et du talon pour les autres.

Du fait des diamètres des barres TOR 60 et TOR 80 disponibles, les charges normales de service (en abrégé C.N.) ne sont pas exactement les mêmes: 31,2 t pour les TOR 60; 28 t pour les TOR 80; contre 33 t pour les TOR 40 et Ac 42 (calculées d'après la moitié de la limite élastique présumée des aciers, c'est-à-dire 60 et 80 kg/mm²).

Les charges de fissuration ont été estimées en partant d'une section complète homogénéisée ($m = 10$) et en prenant pour contrainte du béton à la traction $n_b' = 40$ kg/cm².

Le tableau II indique la qualité des aciers, avant et après essais.

Tableau II. Poutres TOR 60 et TOR 80. Qualité des aciers

	TOR 60		TOR 80		TOR 60		TOR 80	
	sans talon				avec talon			
	avant essai	après essai	avant essai	après essai	avant essai	après essai	avant essai	après essai
Limite d'élasticité en kg/mm²	de 66 à 71	de 74 à 83	de 78 à 95	de 82 à 92	de 66 à 72	de 78 à 83	de 81 à 92	de 90 à 103
Rupture à la traction en kg/mm²	de 85 à 92	de 84 à 91	de 90 à 99	de 91 à 99	de 84 à 88	de 83 à 89	de 96 à 104	de 100 à 108

Le tableau III indique la qualité des bétons prélevés en divers points, en compression et en traction-flexion.

Tableau III. Poutres TOR 60 et TOR 80. Qualité des bétons

Rupture en compression (R_c) sur cubes de 14 cm ou de 20 cm. Rupture en flexion (à moment constant): $R_f = \frac{6M}{b^3}$ en kg/cm²

Béton prélevé dans	TOR 60		TOR 80		TOR 60		TOR 80	
	sans talon				avec talon			
	R_c	R_f	R_c	R_f	R_c	R_f	R_c	R_f
Table de compression	316	41	350	40	319	36	378	44
Nervure	337	40	362	40	374	39	358	42
Talon	—	—	—	—	399	35	335	44

II. Description des essais

Le principe de chargement de 4 charges, espacées de 1,50 m par nervure, a été conservé. Ces charges ont été appliquées à l'aide de 2 vérins et mesurées à l'aide de dynamomètres à jauges résistantes.

Le programme de chargement a été établi suivant le même principe que pour les essais précédents, c'est-à-dire: charge de fissuration prévue, charge

normale de service (28 t ou 31,2 t) $^5/_3$ de cette charge, puis rupture (variable de 64,5 t à 84 t). Tous ces chargements ont été suivis de déchargements et des lectures ont été faites aux chargements intermédiaires des $^1/_3$, $^2/_3$ et $^4/_3$ de la charge normale.

Pour chaque cas de charge, ont été mesurés: les flèches au milieu et au $^1/_4$ de la portée, les accourcissements du béton comprimé et enfin et surtout les fissures (nombre, longueur et ouverture).

III. Resultats. Poutres TOR 60 et 80 avec et sans talons

1° Flèches

Le tableau IV et la figure 3 donnent les flèches moyennes mesurées au milieu et au $^1/_4$ de la portée pour les 4 poutres.

Tableau IV. Poutres TOR 60 et TOR 80. Flèches au milieu et aux $^1/_4$ de la portée (moyennes) en mm

Charges	Flèches (en mm)							
	TOR 60		TOR 80		TOR 60		TOR 80	
	sans talon				avec talon			
	½	¼	½	¼	½	¼	½	¼
Charge de fissuration prévue	1,82	1,42	3,2	2,2	1,38	1	1,13	0,8
$^1/_3$ de C.N.	4,0	3,0	4,6	3,2	3,1	2,2	3,6	2,6
$^2/_3$ de C.N.	10,2	7,6	12,0	8,6	7,6	6,4	9,4	6,8
C.N.	17,2	13,1	20,8	14,0	14,2	10,8	16,5	11,9
$^4/_3$ de C.N.	25,2	18,5	28,7	21,0	21,2	16,6	22,5	16,8
$^5/_3$ de C.N.	35,4	25,5	39,5	27,0	29,0	22,0	30,2	21,2

a) Les poutres TOR 80, moins armées, sont plus flexibles que les poutres TOR 60.

b) Les poutres avec talons, du fait de leur plus grand bras de levier, sont plus rigides que les poutres sans talon. (On retrouvera la même conclusion concernant les accourcissements du béton comprimé.)

Sous la charge normale de service, les flèches à mi-portée voisinent ou dépassent les $^2/_{1000}$ de la portée, ce qui est considérable.

2° *Accourcissements du béton*

Le tableau V et la figure 4 donnent les accourcissements maxima et minima de la dalle comprimée dans la zone de moment constant, après corrections pour tenir compte des dérives survenues après chaque série de chargement.

Les mesures ont été faites en utilisant 5 jauges à résistance.

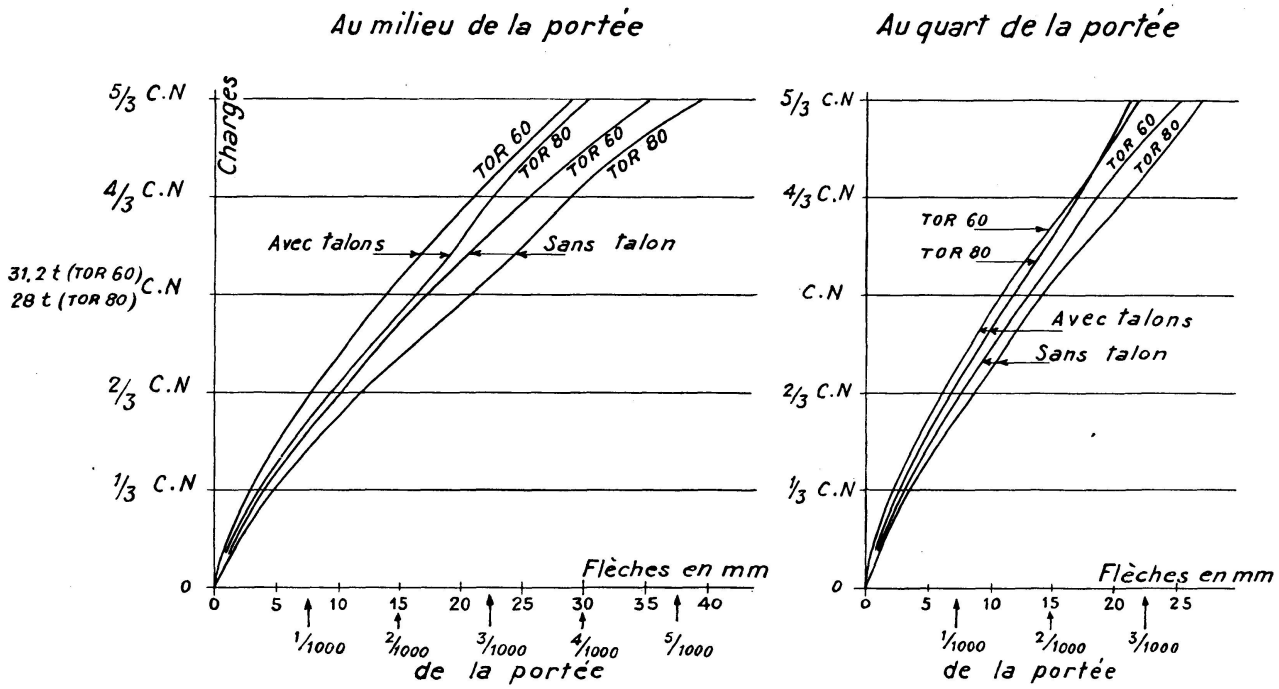

Fig. 3. Flèches.

Tableau V. Poutres TOR 60 et TOR 80. Accourcissement du béton comprimé dans la zone de moment constant, en 10^{-6}

	TOR 60		TOR 80		TOR 60		TOR 80	
	sans talon				avec talon			
	min.	max.	min.	max.*)	min.	max.	min.	max.
Charge de fissuration prévue	50	100	117	298	84	112	98	124
$^1/_3$ C.N.	100	120	115	423	115	158	116	140
$^2/_3$ C.N.	180	231	227	539	218	248	218	233
C.N.	342	422	345	620	286	352	338	359
$^4/_3$ C.N.	470	540	517	714	385	508	386	460
$^5/_3$ C.N.	638	760	730	900	560	672	529	596

*) La jauge 1 (TOR 80 sans talon) a donné constamment des résultats différents de ceux des autres jauges.

Jusqu'aux $^5/_3$ de la charge normale, les accourcissements sont très grossièrement proportionnels aux charges. Sous la charge normale la moyenne des accourcissements, pour les 4 poutres, est de 350×10^{-6}.

3° *Fissuration*

a) Charges d'apparition des premières fissures:

Poutres sans talon = 4 t, *inférieures* aux charges de fissuration prévues de 7,2 t et 6 t.

Poutres avec talons = 7,2 t et 6 t *égales* aux charges de fissuration prévues.

b) Emplacement du début de fissuration:

Poutres sans talon = La fissuration a commencé à se produire dans l'âme au-dessus de la zone des armatures.

Poutres avec talons = La fissuration a commencé à se produire dans le talon (il n'y en a pas dans l'âme).

c) Progression de la fissuration:

Poutres sans talon = Les fissures se sont prolongées vers le bas et le haut de la nervure, pour atteindre rapidement la dalle (aux $^2/_3$ de la C.N.). Enfin, elles se sont poursuivies dans celle-ci jusqu'au milieu de son épaisseur.

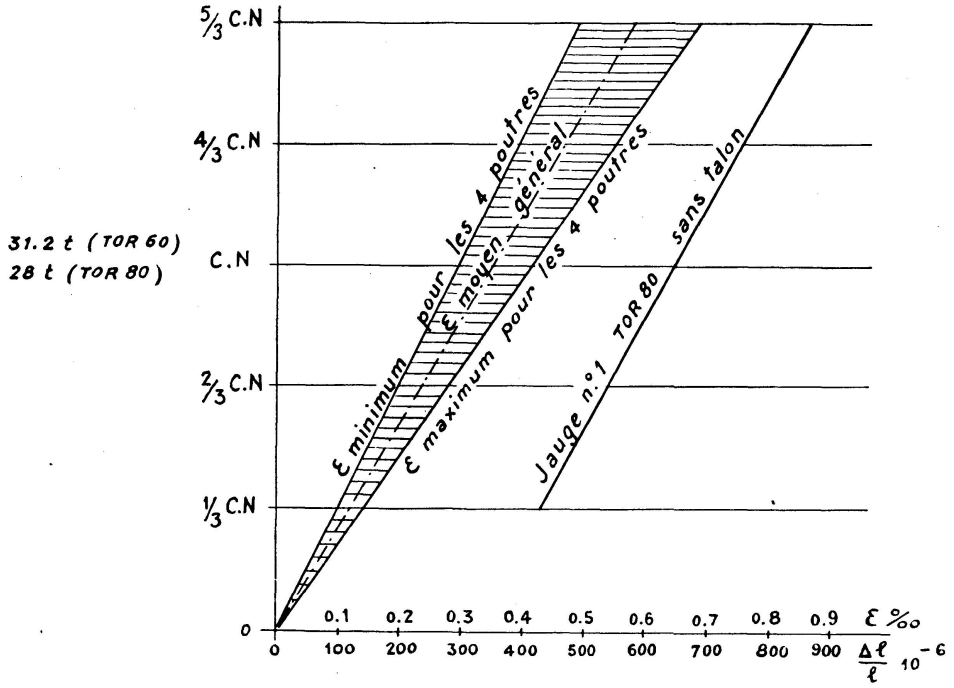

Fig. 4. Accourcissements du béton comprimé.

Poutres avec talons = Après s'être prolongées dans l'âme, les fissures atteignent la dalle aux $^2/_3$ de la C.N., mais ne se prolongent dans celle-ci qu'aux $^4/_3$ de la C.N. pour finalement atteindre le milieu de la dalle vers la charge de rupture.

Particularités de la fissuration

Après plusieurs chargements et déchargements, on constate que les premières fissures se doublent de tronçons de fissures parallèles très voisins (quelques mm de distance seulement). Puis tous ces tronçons se ramifient ou se rejoignent et il se forme des séries de fissures parallèles laissant entre elles de petits blocs de béton formant des îlots. Ce type de fissuration „à îlots" schématisé fig. 5 est plus important pour les poutres sans talon que pour les poutres avec talons.

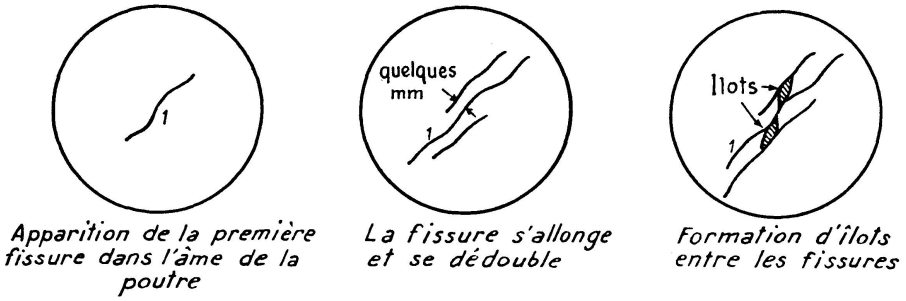

Fig. 5. Formation schématique des fissures dans les poutres armées d'acier TOR 60 et 80.

Tableau VI. Poutres TOR 60 et TOR 80. Fissuration

Nombre total (N), ouverture maxima (0, en $^1/_{10}$ mm), hauteur maxima des fissures (H en cm)

	TOR 60			TOR 80			TOR 60			TOR 80		
	sans talon						avec talon					
	N	0	H	N	0	H	N	0	H	N	0	H
Charge de fissuration prévue	37	1	54	45	0,8	58	12	F*)	9,5	12	F*)	12,5
$^1/_3$ C.N.	102	1	59	71	1	58	67	0,9	57	76	1	69
$^2/_3$ C.N.	155	2	73	187	2	73	144	2	74	146	2	74
C.N.	209	3	73	240	4	73	206	2	74	227	3	74
$^4/_3$ C.N.	236	5	73	333	5	73	233	3,5	74	248	3,8	74
$^5/_3$ C.N.	259	8	73	403	7	73	272	4	74	339	5	74

*) F = Filiforme.

Dans la zone des aciers principaux, les fissures sont beaucoup plus nombreuses, mais moins ouvertes que dans l'âme des nervures.

Le tableau VI donne aux différents chargements le nombre total (pour les 2 faces), l'ouverture maxima et la hauteur maxima des fissures pour les 4 poutres essayées.

L'ouverture souvent considérée comme dangereuse pour la tenue des ouvrages (0,2 mm) a été atteinte pour les 4 poutres sous les $^2/_3$ de la charge normale, mais c'est dans l'âme qu'elle s'est rencontrée, où elle paraît moins inquiétante pour la sécurité.

Dans le talon ou au niveau des aciers, la fissuration de 0,2 mm ne s'est produite qu'aux $^4/_3$ de la charge normale.

4° *Rupture*

Le tableau VII donne les charges de rupture théoriques et réelles pour les 6 poutres essayées ainsi que les rapports:

$$\frac{\text{charge de rupture réelle}}{\text{charge de rupture théorique}}.$$

Tableau VII. Charges de rupture théoriques et réelles pour les 6 poutres essayées

Charge de rupture	Essais 1954		Essais 1955—1956			
	TOR 40	Ac 42	TOR 60	TOR 80	TOR 60	TOR 80
	sans talon		sans talon		avec talon	
Théorique, en t *)	86	78	75,5	67	79	70
Réelle, en t (par vérin)	96	78	75,9	64,5	84	69,2**)
Rapport $\frac{\text{réelle}}{\text{théorique}}$	1,12	1	1,01	0,96	1,06	0,99

*) $n_r' = 1{,}20$ fois la limite élastique théorique des aciers (40, 24, 65 et 85 kg/mm²).
**) Poutre TOR 80 avec talon = rupture d'une barre.

La charge de rupture théorique a été calculée par la formule $P = \frac{z \cdot \omega' \cdot n_r'}{2 \cdot 25}$ en prenant pour $n_r' = 1{,}20$ fois la limite élastique théorique soit 24, 40, 65 et 85 kg/mm² respectivement pour l'acier 42, TOR 40, TOR 60 et TOR 80.

Les poutres avec talons ont rompu comme prévu sous une charge supérieure à celle des poutres sans talon (en fait environ 10% contre 5% prévisible) et celle du TOR 60 sous une charge supérieure à celle du TOR 80, comme on pouvait le penser d'après la proportion des armatures.

La rupture s'est produite pour toutes les poutres, par éclatement du béton comprimé vers le milieu de la poutre avec ou sans flambage des filants extérieurs suivant qu'il y a eu léger déversement ou non. Toutefois, dans la TOR 80 avec talon, il y a eu rupture d'un acier d'armature avant la rupture du béton et ouverture d'1 cm environ dans l'âme alors que pour les autres poutres l'ouverture maxima des fissures était de 3 mm.

Le béton de l'âme a présenté quelques éclats provenant de morceaux de béton (îlots) qui se sont séparés de la poutre surtout pour les poutres sans talon.

La figure 6 montre l'aspect d'une poutre rompue.

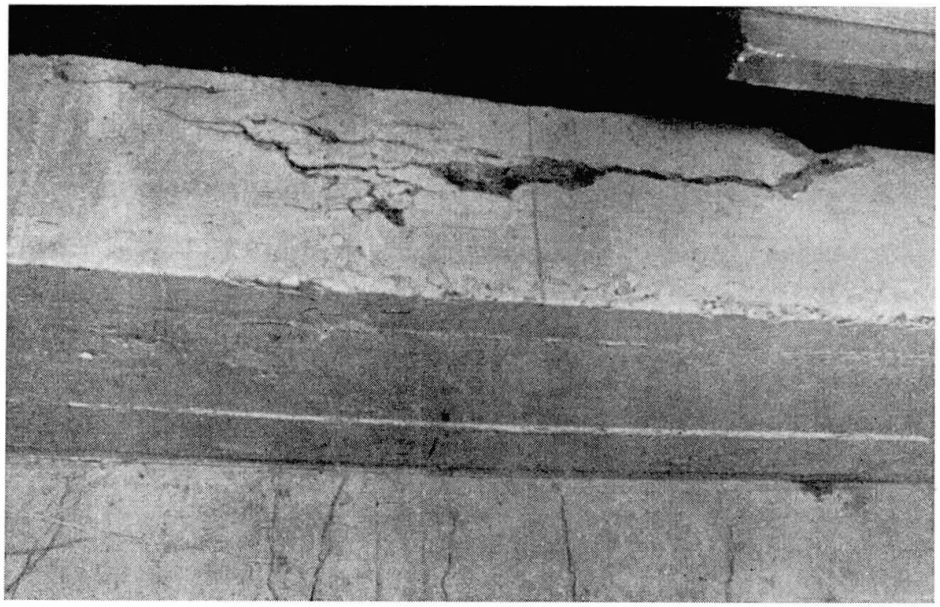

Fig. 6. Poutre rompue. Vue de la compression.

Conclusions

La comparaison entre la poutre TOR 40 et la poutre Ac 42 avait été favorable à la poutre TOR 40 qui, avec un poids d'acier d'armatures principales réduit de 34%, avait supporté une charge de rupture supérieure avec une fissuration plus nombreuse mais plus fine, et présenté approximativement la même fissuration sous la charge de service prévue, correspondant à la moitié de la limite élastique.

Les nouvelles poutres TOR 60 et TOR 80 ont été calculées pour répondre au même programme de surcharge sous des contraintes de service correspondant également à la moitié de la limite élastique.

Les poutres avec talons se sont comportées comme il était prévisible au point de vue de la charge du début de fissuration, de la charge de rupture et

de la flexibilité. Les poutres sans talon ont fissuré plus tôt qu'il n'était prévu et se sont comportées, pour le reste, comme prévu.

La fissuration s'est surtout développée dans l'âme, peu armée longitudinalement, et a manifesté le caractère à „îlots" de la figure 5. On ne peut dire si cela est dû à la nature des étriers utilisés (TOR 40) qui, adhérant mieux, déchirent le béton en fractions plus menues; ou à la nature des armatures principales en TOR 60 et 80; ou à quelque autre raison. Ce point devra donc être éclairci afin de déterminer s'il est relatif aux étriers en TOR ou à l'utilisation d'armatures principales en TOR 60 et TOR 80.

Les poutres avec talons se sont, dans l'ensemble, et particulièrement du point de vue fissuration, mieux comportées que les poutres sans talon. Cette conclusion confirme ce qu'on pouvait prévoir.

Les flèches sont importantes (plus de $^2/_{1000}$ de la portée sous les charges normales). Cette conclusion, également prévisible, peut faire rejeter l'utilisation des aciers TOR 60 et 80 dans de nombreux ouvrages où cette question est primordiale.

En résumé, le comportement des poutres TOR 60 et TOR 80 n'a pas présenté de particularités notables; il a été conforme à ce qu'on pouvait attendre d'après les formules de calcul maintenant bien au point.

Au point de vue de l'utilisation pratique, il semble que l'intérêt des aciers TOR 60 et TOR 80 soit faible.

Par contre, les aciers TOR 40 présentent un intérêt indiscutable et peuvent être utilisés dans des ponts, même soumis à des atmosphères agressives, avec des contraintes normales de 21 kg/mm².

Résumé

Des poutres armées d'acier TOR 60 et 80, en ┬, avec ou sans talons, ont été essayées dans les mêmes conditions que des poutres armées d'acier TOR 40 ou Ac 42 décrites dans une communication publiée dans la Publication Préliminaire au Congrès de *Lisbonne,* pages 753 à 762.

Les résultats de ces essais sont succinctement donnés.

Dans l'ensemble, le comportement des poutres TOR 60 et TOR 80 a été conforme à ce qui était prévisible.

Il semble que l'intérêt pratique des aciers TOR 60 et TOR 80 soit faible en raison de la grande flexibilité des poutres.

Ceci confirme l'intérêt de l'acier TOR 40 utilisé à 21 kg/mm².

Zusammenfassung

Mit Torstahl 60 und 80 bewehrte ┬-Träger wurden unter denselben Bedingungen wie die mit Torstahl 40 oder Stahl 42 bewehrten und im Vor-

bericht zum Kongress in Lissabon auf Seite 753 beschriebenen Träger untersucht. Es handelte sich dabei um Armierungen mit und ohne Haken.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind summarisch angegeben.

Im großen ganzen entsprach das Verhalten der mit Torstahl 60 und 80 bewehrten Trägern den Erwartungen.

Infolge der großen Biegsamkeit der Träger scheint der praktische Vorteil der Torstähle 60 und 80 gering zu sein. Damit bestätigt sich der Vorteil des mit einer Beanspruchung von 21 kg/mm² benutzten Torstahles 40.

Summary

T-beams, with or without heels, reinforced with Torsteel 60 and 80, were tested under the same conditions as concrete beams reinforced with bars of Torsteel 40 or Steel 42, the description of which was given in a paper published in the "Preliminary Publication" of the Congress at Lisbon, page 753.

The results of these tests are given briefly.

In the whole, the behaviour of the beams reinforced with Torsteel 60 and 80 was as expected.

Because of the high flexibility of the beams, it seems that the practical interest of the Torsteels 60 and 80 is slight.

This confirms the interest of the Torsteel 40, as used at a stress of 21 kg/mm².