

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

Band: 5 (1956)

Artikel: Aciers TOR-60

Autor: Saillard, Y.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-6014>

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: 19.02.2026

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

Va 8

Aciers TOR-60

TOR-60 reinforcing bars

Torstahl 60

Aço TOR-60

Y. SAILLARD

*Ingénieur Civil de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Directeur des Services Techniques de la Chambre Syndicale des Constructeurs
en Ciment Armé de France & de l'Union Française*

Paris

I

ÉTUDE THÉORIQUE

Le choix de l'acier Tor-60.

Depuis quelques années les constructeurs français utilisent des aciers d'armatures dont la limite élastique atteint couramment 40 kg/mm^2 :

- soit sous forme d'aciers lisses, de nuances mi-dures;
- soit sous forme d'aciers crénelés;
- soit sous forme d'aciers écrouis par torsion, dits «Tor-40»

Il a semblé intéressant d'envisager une nouvelle augmentation de la limite d'élasticité et, en conséquence, de la contrainte admissible en traction. C'est ainsi que l'on s'est attaché à l'étude d'un acier d'armature dont la limite d'élasticité serait au moins égale à 60 kg/mm^2 et dont les contraintes admissibles en traction pourraient, suivant la nature des ouvrages et les tolérances de fissuration, atteindre des taux de 35 à 40 kg/mm^2 .

Nécessité fondamentale de l'amélioration d'adhérence — Le problème essentiel à résoudre est le problème de l'adhérence, lié très étroitement au problème de la fissuration.

En effet, l'objectif des constructeurs est de pouvoir réduire l'ouverture des fissures jusqu'à une valeur compatible avec les conditions d'exploitation et de sécurité des ouvrages. Cette réduction peut être obtenue par une meilleure répartition de ces fissures, car l'augmentation de leur nombre entraîne corrélativement une diminution de leur ouverture.

La théorie de M. BRICE montre que la répartition des fissures est liée directement aux qualités d'adhérence de l'acier ou, plus généralement, aux qualités de la liaison béton-acier. Faute de pouvoir obtenir de la multiplication des barres et de la réduction de leurs diamètres une amélioration suffisante, de la fissuration l'on peut y parvenir par une augmentation d'adhérence.

Ceci amène à délaisser les aciers lisses de nuance dure, dont l'adhérence est insuffisante, et à envisager :

- soit des aciers crénelés ;
- soit des aciers écrouis par torsion, du type «Tor-60».

Le «Crénelé-60» et le «Tor-60» peuvent conduire à des adhérences et des fissurations équivalentes. Mais le «Tor-60» paraît présenter trois avantages indéniables :

- un moindre effet d'éclatement ;
- une meilleure résistance à la fatigue ;
- un façonnage plus aisé. (¹)

Caractéristiques mécaniques des aciers Tor-60.

Composition des aciers «Tor-60».

Composition	EN AUTRICHE (Acières Schmidt, Vienne)	EN SUISSE (Acières Von Moos, Lucerne)
Carbone	0,21 à 0,25 p. 100	0,20 p. 100
Silicium	0,30 à 0,40 —	0,46 —
Manganèse	1,40 à 1,60 —	1,40 —
Ces proportions varient suivant les diamètres.		

Caractéristiques mécaniques — Le diagramme des caractéristiques moyennes des aciers «Tor-60» est représenté sur la figure 1. La limite

(¹) Dans le cadre de cette étude, la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France entreprend actuellement des recherches complémentaires, devant intéresser l'acier Tor-80. D'ores et déjà, l'étude expérimentale de la fissuration, exposée dans cette communication, a été étendue à cet acier prototypc, dont la limite élastique de 80 kg/mm² et les qualités de liaison devraient pouvoir permettre des contraintes admissibles de l'ordre de 40 à 50 kg/mm² et même, éventuellement, une précontrainte partielle du béton. L'emploi de l'acier Tor-80 pourrait ainsi conduire à une solution intermédiaire entre le béton traditionnel et le béton précontraint.

élastique n_e' est la limite élastique conventionnelle correspondant à un allongement résiduel de 0,2 p. 100.

Degré d'écrouissage maximum théorique — Des calculs théoriques basés sur des données de M. EICHINGER conduisent, en prenant pour l'allongement un coefficient de sécurité de 1,70 et en admettant un

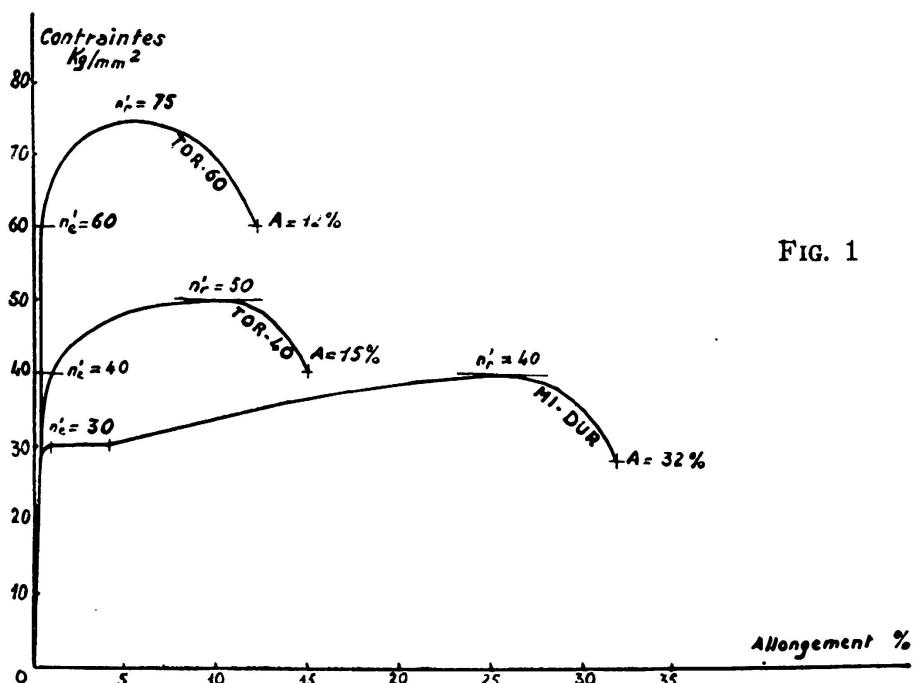


FIG. 1

allongement de rupture égal à 20 % pour une striction de la barre de 60 %, à une valeur du pas de torsion égale à 4,5 fois le diamètre de la barre.

En fait, il peut être délicat de pousser l'écrouissage jusqu'à un pas aussi faible et les sidérurgistes estiment imprudent d'abaisser le pas de torsion en deçà de 7 fois le diamètre de la barre. On s'est proposé néanmoins d'expérimenter des aciers ayant un écrouissage plus poussé et un pas de torsion pouvant atteindre 5 fois le diamètre.

Détermination de l'ancrage des aciers Tor-60

Nature de l'ancrage — L'ancrage est constitué:

- d'une part, par une résistance au frottement acier-béton;
- d'autre part, par une résistance des nervures au cisaillement.

Toutefois, ce système de forces donne naissance à un moment de torsion que nous désignerons par M_t et qui, en agissant sur les nervures, tend à produire le dévissage de la barre.

Le calcul du moment élémentaire de dévissage dM_t conduit à la valeur:

$$dM_t = \frac{\phi}{2} \cotg (\varphi + \Psi) dF.$$

Verrouillage total par segments longitudinaux — Pour réaliser ces saillies longitudinales, réparties uniformément entre les nervures hélicoïdales, il s'agit de prévoir au laminage, entre les génératrices qui constituent les nervures rectilignes de la barre initiale, des segments

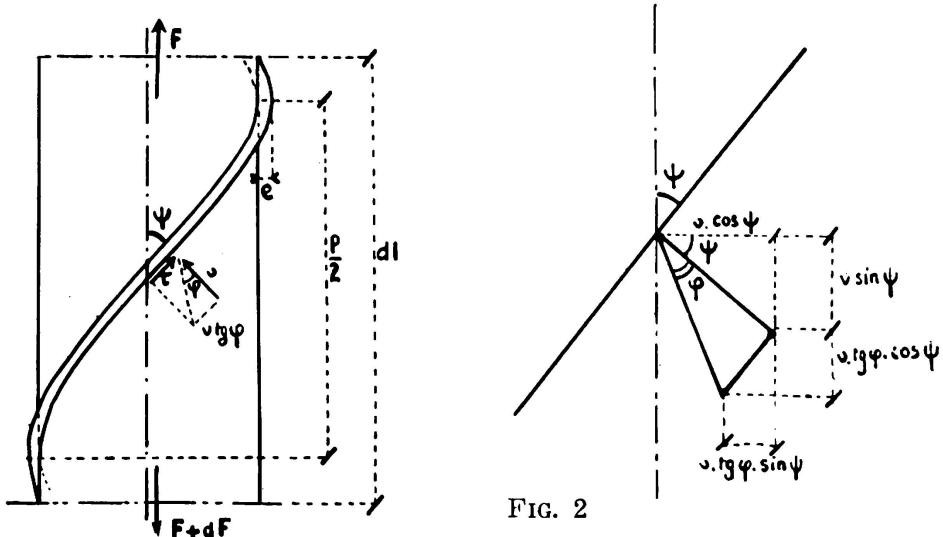


FIG. 2

biais qui, après torsion, deviennent sensiblement longitudinaux. La longueur de ces segments est déterminée de manière à réaliser un verrouillage total.

Ces verrous longitudinaux ont l'avantage de n'amoindrir ni la résistance de l'acier à la fatigue, ni ses possibilités de pliage. Toutefois, ils n'améliorent l'adhérence qu'assez faiblement par rapport au profil similaire ne comportant que les seuls nervures hélicoïdales ; en conséquence, la répartition des fissures risque de ne pas être suffisante.

Le calcul prouve que ce verrouillage est très surabondant.

Verrouillage partiel par ergots transversaux — Ces ergots seront constituées par de petites butées transversales, à faces très raides, disposées de part et d'autre des nervures hélicoïdales. Leur longueur pourra être prise égale à $\frac{\phi}{2}$ de part et d'autre de la nervure, soit au total ϕ . Leur écartement sera pris égal à $1,5 \phi$ environ.

Ces ergots transversaux sont d'un laminage aisé, car, se trouvant placés immédiatement contre les nervures longitudinales et s'amenuisant progressivement, ils occupent une position favorable dans la fente du laminoir et peuvent être réalisés sans bavures, avec des faces très raides

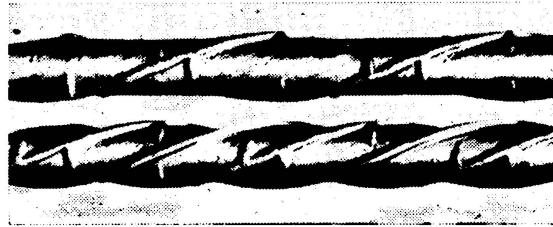


FIG. 3

Nature de la liaison béton-acier et recherche de l'adhérence optimum des aciers Tor-60.

Nature de la liaison béton-acier (Cas d'un acier crénelé ou torsadé) — L'adhérence proprement dite — au sens étroit de sa définition — semble essentiellement constituée par une résistance au décollement, suivant une direction perpendiculaire à celle des surfaces de contact. C'est un phénomène physique, qu'on peut attribuer à l'adsorption du liant par la surface de l'armature. Cette résistance au décollement peut dépendre de la rugosité des surfaces de contact. En pratique, elle reste extrêmement faible et doit être considérée comme négligeable.

En fait, la liaison béton-acier — on préférera ce vocable à celui d'«adhérence» — est constituée, dans sa quasi-totalité, par une résistance au glissement, suivant une direction parallèle à celle des surfaces de contact ou, plus exactement, au noyau cylindrique de l'armature.

Cette résistance au glissement se trouve réalisée généralement par la juxtaposition d'un effet de frottement et d'un effet de butées, mais se trouve limitée par la résistance au cisaillement de la gaine de béton.

1°) — *Effet de frottement:* Sous l'action du retrait, le béton exerce une étreinte radiale sur la surface de l'armature. Mais, sous des efforts de traction, la barre subit un allongement et, par là même, un amincissement, qui diminue sensiblement l'étreinte causée par le retrait. On peut admettre que l'étreinte effective correspond à 20 % de l'étreinte théorique.

2°) — *Effet de butées:* Lorsque les armatures présentent une série de rugosités, ces dernières sont susceptibles de s'appuyer sur le béton, au fur et à mesure de la mise en tension des aciers. C'est le cas d'un rond ordinaire fortement corrodé, d'une rond crénelé ou d'un rond torsadé.

3°) — *Danger de cisaillement de la gaine de béton:* A priori, il peut sembler que la liaison béton-acier soit améliorée indéfiniment par la multiplication des butées.

En réalité, cette amélioration se trouve limitée, très rapidement, par le cisaillement possible du béton d'enrobage. Cette rupture par cisaillement se produit sans le moindre avertissement préalable, suivant la surface cylindrique, enveloppe des crénures et des nervures. Cette rupture entraîne simultanément l'arrachement brutal de l'armature; d'ailleurs, expérimentalement, le béton cisaillé reste adhérent sur toute la surface du noyau de la barre.

Contrainte résultante de liaison béton-acier: τ — Une série de calculs conduisent aux relations suivantes :

$$\tau_b = \left(0,10 + \frac{2 e}{H} \right) n_b \leq 0,32 n_b$$

où

τ_b est la contrainte de liaison béton-acier,
 e la hauteur des nervures,
 H l'écartement des nervures,
 n_b la résistance à la compression du béton.

Cette formule, dont le caractère approximatif et empirique ne saurait faire illusion, paraît traduire convenablement le sens du phénomène de liaison béton-acier, dans le cas des aciers à adhérence améliorée.

Elle présente l'inconvénient de ne pas tenir compte des dimensions de la gaine d'enrobage. Mais on a pu vérifier que la liaison béton-acier se trouvait rapidement limitée par la résistance du béton à la traction. Ainsi, la formule semble présenter, de ce point de vue, une approximation suffisante.

Cette formule présente l'avantage d'expliciter simplement la croissance de la contrainte de liaison, au fur et à mesure du resserrement des crénelures ou des nervures, jusqu'à la valeur optimum, pour laquelle $\tau_b = 0,82 n_b$.

Cette valeur optima H_o de l'écartement H est telle que :

$$\frac{e}{H_o} = 0,11.$$

Or, la dimension transversale e reste généralement voisine de $0,10 \phi$

Donc :

- c) pour un acier crénelé, l'écartement H_o optimum serait de $1,1 \phi$ environ.
- b) pour un acier Tor à 2 nervures seules, l'écartement H correspond à la moitié du pas de torsion, dont l'optimum serait ainsi de $2,2 \phi$ environ mais se situerait au-delà des possibilités d'écrouissage. Ainsi, cet acier Tor, à 2 nervures seules, ne peut pas donner l'adhérence optimum compatible avec le danger de cisaillement du béton.
- c) pour un acier Tor à 4 nervures seules, l'écartement H correspond au quart du pas de torsion, dont l'optimum serait ainsi de $4,4 \phi$ environ. Cette valeur se situe à la limite de l'écrouissage possible, mais s'avère d'une réalisation sidérurgique délicate. Cet acier Tor, à 4 nervures seules, permettra donc très difficilement d'atteindre le maximum d'adhérence.

Effet d'éclatement du béton.

L'étreinte radiale, due au retrait du béton, donne naissance à une réaction de la barre sur le béton également radiale, qui tend à produire l'éclatement de ce béton. Cet effort d'éclatement, faible dans le cas des aciers lisses cylindriques, augmente très sensiblement et peut entraîner la rupture du béton si la surface de la barre présente des tronçons inclinés sur l'axe de révolution — ce qui est précisément le cas des aciers à crénelures transversales ou à nervures hélicoïdales.

Par ailleurs, l'effort de butée des crénelures sur le béton entraîne des déformations importantes de ce béton et, partant, une autre tendance de ce béton à l'éclatement. Toutefois, les efforts correspondants restent

assez faibles, en comparaison des efforts dus à la réaction de la barre; on admettra qu'ils peuvent être négligés.

Définition de l'effet d'éclatement — On définira l'effet d'éclatement λ , comme étant le rapport $\frac{L}{T}$ de l'effort d'éclatement L tendant à vaincre l'étreinte du béton à l'effort de traction T supporté par la barre.

D'où les valeurs de λ :

$\lambda = \cotg \varphi$ pour une barre cylindrique,

$\lambda = \cotg (\varphi + \alpha)$ pour une barre conique,

α étant le demi angle au sommet du cône,

φ l'angle de frottement béton-acier.

Influence de l'écartement des crénélures ou des nervures sur l'effet d'éclatement — Ces formules indiquent la loi de variation de l'effet d'éclatement en fonction de l'inclinaison α des faces latérales des crénélures ou des nervures.

Cet effet d'éclatement sera très important, pour de petites valeurs de α c'est-à-dire pour des faces peu inclinées. Ce phénomène se justifie physiquement par l'effet de coin, qui se manifeste dans ce cas.

Si l'angle α augmente, c'est-à-dire si les faces latérales deviennent de plus en plus inclinées, l'effet d'éclatement diminue. Il devient nul à partir de: $\varphi + \alpha = \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire pour un angle α voisin de 60° .

Il est donc nécessaire de donner à l'inclinaison α des faces latérales des crénélures ou des nervures une valeur supérieure à 60° .

Profil Optimum des aciers Tor-60.

Les recherches théoriques et expérimentales ont porté sur 6 profils d'acières, écrouis à des pas de torsion, variant de 10 à 5 diamètres. Elles ont permis de retenir les 3 profils suivants:

Profil a: 4 nervures longitudinales et des ergots transversaux (écrouissage: pas de 10ϕ);

Profil b: 4 nervures longitudinales seules (écrouissage: pas de 8ϕ);

Profil c: 2 nervures longitudinales seules (écrouissage: pas de 5ϕ);

Ces profils ont été laminés, à titre expérimental, pour le compte de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France, par les Forges et Aciéries de Völklingen. Un lot de 25 tonnes sert, d'une part à la réalisation du programme de vérification expérimentale (cf. II^e partie — Première Série d'Essais), d'autre part à la construction de divers ouvrages et bâtiments en vraie grandeur, dont la fissuration

sera étudiée, non seulement sous les conditions de service, mais aussi sous des conditions de charge exceptionnelles, voisines de la rupture. Ainsi pourra être déterminé le profil définitif de l'acier Tor-60 Français.

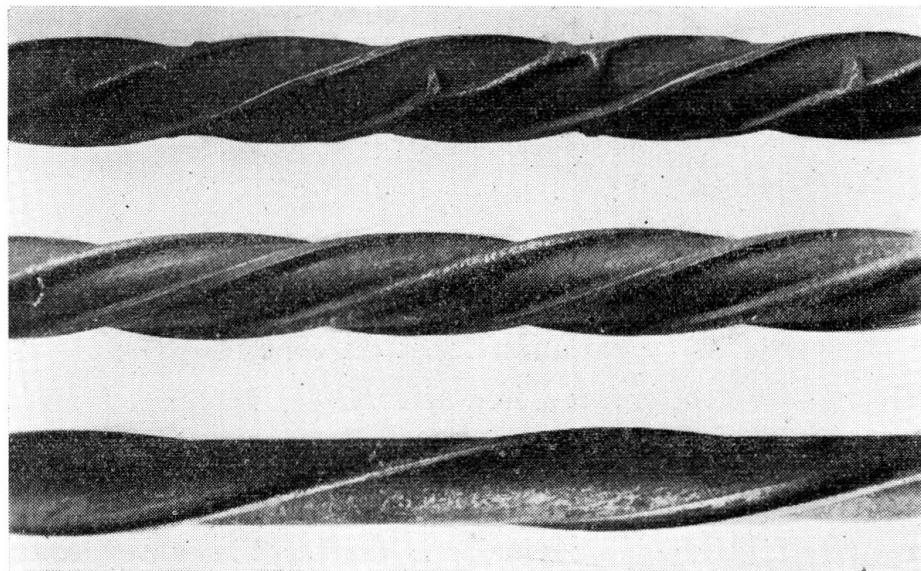


FIG. 4. TOR-60 — Profils-prototypes de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France

II

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

PREMIERE SÉRIE D'ESSAIS

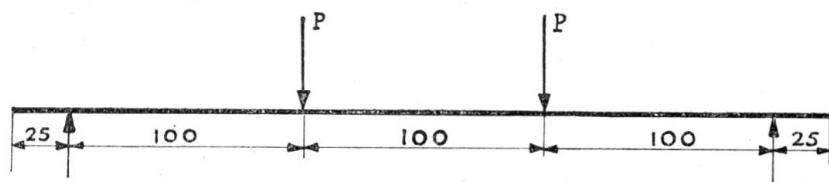
Choix du profil d'acier Tor-60

(Essais comparatifs de 3 séries de poutrelles, armées d'acières Tor-60 suivant les 3 Profils-prtotypes définis dans l'étude théorique)

Ces essais se poursuivent actuellement à Vienne, au Laboratoire des Aciéries Schmidt, en collaboration avec le Dr. SORETZ. Ils sont effectués sur 3 séries de poutrelles d'une portée de 3 mètres. Ces poutrelles se distinguent, d'une part par le profil d'acier Tor-60 utilisé, d'autre part par la valeur du pourcentage d'armatures, variable de 0,1 à 0,9 % ; la répartition des aciers est la même dans tous les cas.

Dispositif des essais.

a) Mode de chargement:



b) Schéma des divers Types de Poutrelles:

	1ère Série	2ème Série	3ème Série
Coupe			
Armatures longitudinales Tor-60	2 ø 8	2 ø 12	2 ø 16
Cadres Ac 37 ...	ø 6	ø 6	ø 8
Espacement ...	15 cm	10 cm	10 cm

Ces essais, dont les résultats seront exposés au Congrès et publiés dans le Rapport final, doivent permettre de choisir, entre les trois profils proposés, celui qui présente la fissuration la plus favorable. Si les résultats sont sensiblement équivalents, le choix se portera sur le profil, dont le laminage sera le plus facile et, par là-même, le moins coûteux.

DEUXIEME SÉRIE D'ESSAIS

Etude comparée de la fissuration due à l'acier Tor-60 et aux autres aciers d'armatures français (Aciers doux, crénelé-40, Tor-40, Caron-40, Tentor-52, Tor-60, Tor-80)

(Essais comparatifs d'éléments d'ouvrages d'art, en vraie grandeur)

Des essais en vraie grandeur, sur éléments d'ouvrages d'art, ont été entrepris par la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé et l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, en collaboration avec la Société Nationale des Chemins de Fer Français et les Fabricants d'acières d'armatures (Tor-Isteg-Steel-Corporation et Aciéries de Völklingen, pour les aciers Tor; Sidélor, pour les aciers crénélés, etc.).

L'objet de ces essais est de vérifier les caractéristiques de chaque acier, en ce qui concerne plus particulièrement ses qualités d'adhérence avec le béton et leur influence sur la fissuration du béton tendu. En effet, les théories de fissuration, telles que celle de Mr. BRICE en France, ont été mises au point quantitativement grâce à de nombreux essais sur poutrelles. Mais certains Constructeurs et certains Maîtres d'oeuvre désirent les vérifier en vraie grandeur et définir ainsi, avec le maximum de précision, le calcul de la distance entre fissures voisines et celui de

l'ouverture maximum de ces fissures. Ces calculs sont indispensables à la détermination exacte des contraintes admissibles pour chaque acier, en fonction des conditions d'utilisation et des dangers de corrosion, — notamment pour l'acier Tor-60, qui fait l'objet des recherches actuelles et dont le comportement est encore peu connu en France.

Dans un souci d'objectivité, divers aciers ont été utilisés comparativement :

- l'acier doux, lisse de limite élastique 42 Kg/mm^2 (dit «acier 42») ;
- l'acier crénelé, de limite élastique 40 Kg/mm^2 ;
- l'acier torsadé à 2 nervures, de limite élastique 40 Kg/mm^2 (acier Tor-40) ;
- l'acier torsadé à profil carré, de limite élastique 40 Kg/mm^2 (acier Caron-40) ;

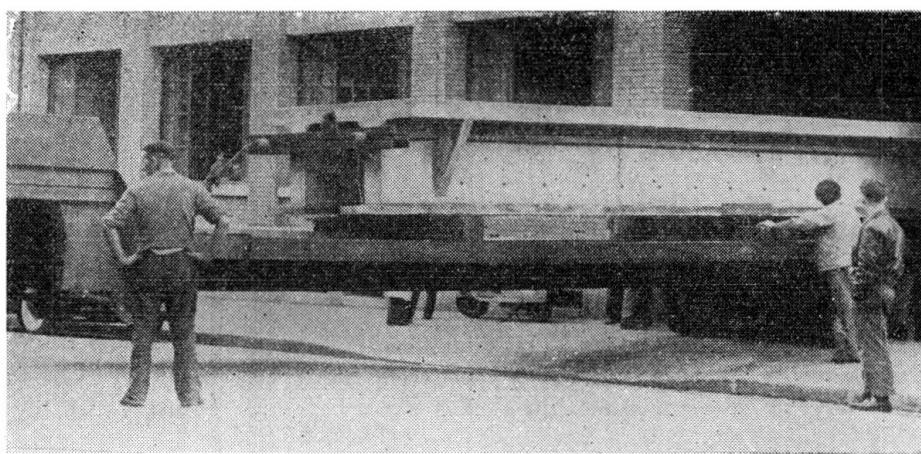


FIG. 5. Transport des éléments au Laboratoire

- l'acier étiré et torsadé, à crénelures transversales, de limite élastique 52 Kg/mm^2 (acier Tentor-52) ;
- l'acier torsadé à 2 nervures, de limite élastique 60 Kg/mm^2 (acier Tor-60, profil Autrichien) ;
- l'acier torsadé à 2 nervures, de limite élastique 80 Kg/mm^2 (acier Tor-80, profil Autrichien).

Les essais portent sur des éléments, d'une longueur totale de 8,80 m, d'une portée de 7,50 m, d'une hauteur utile de 0,75 m, constituant :

- soit des hourdis à 2 nervures longitudinales (acier doux, acier Tor-40) ;

- soit des hourdis à une seule nervure longitudinale, avec ou sans talon (acier doux, acier crénelé-40, acier Caron-40, acier Tentor-52, acier Tor-60, acier Tor-80).

Les premiers essais, correspondant à l'acier doux et à l'acier Tor-40, ont été effectués à Paris, en Septembre et Octobre 1954. Une description de ces essais fait l'objet d'une communication au présent Congrès, par M. LAZARD, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Chef de la Division des Ouvrages d'Art de la S. N. C. F. L'objet de notre communication se limite à la discussion des critères de fissuration et à la détermination des contraintes admissibles correspondantes, en fonction de 4 paramètres : le diamètre des barres, leur adhérence, la résistance du béton à la traction et l'épaisseur d'enrobage.

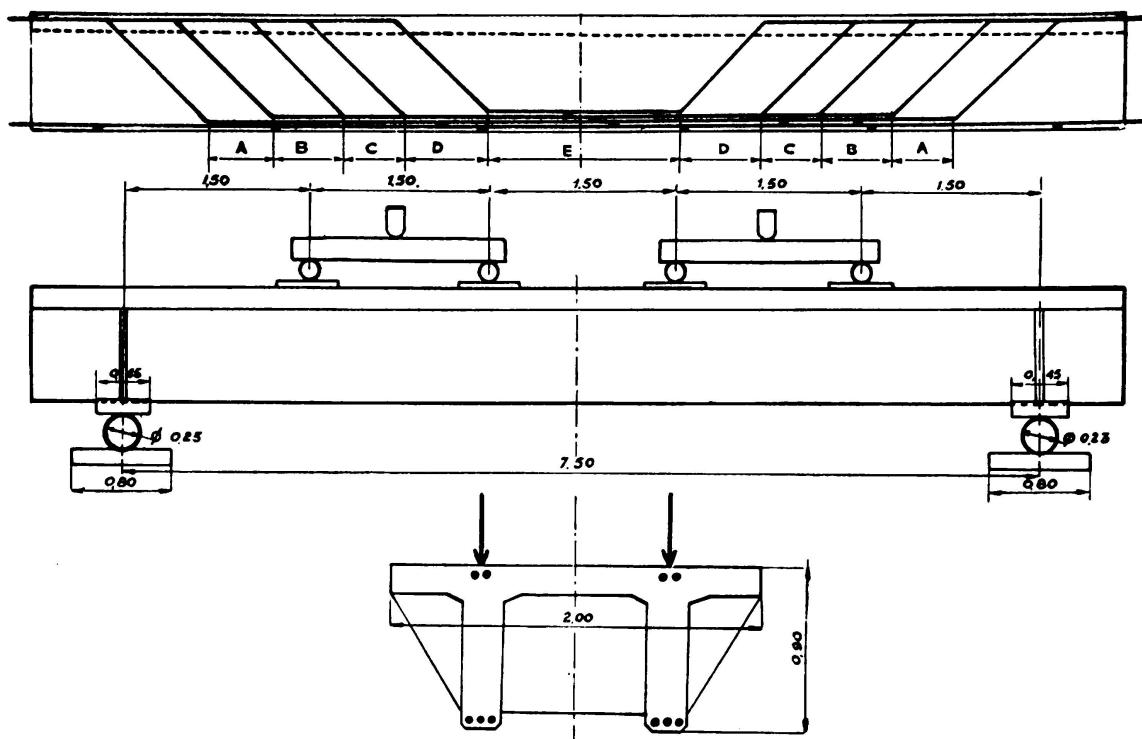


FIG. 6. Schéma de l'armature longitudinale et du dispositif de chargement

Ces conclusions, valables pour l'acier doux et l'acier Tor-40, seront généralisées aux autres aciers et notamment à l'acier Tor-60, dès que cette série d'essais en vraie grandeur aura pu être terminée. Cette généralisation fera l'objet d'un exposé au Congrès et d'une publication complémentaire dans le Rapport final (2).

(2) A la date du 1er de Janvier 1956, seuls restent à exécuter les essais sur poutres à talon, armées d'acières Tor-60 et Tor-80.

Mesures Expérimentales.

La mise en charge a été faite au moyen de 4 vérins de 100 tonnes, suivant le dispositif de la figure 6. Un certain nombre de cycles successifs de chargement et de déchargement ont été appliqués pour des charges au-plus-égales à la charge de service de 4×33 tonnes. Le chargement a été poursuivi ensuite selon un processus continu, jusqu'à rupture, par écrasement du béton de la table de compression, obtenue pour 4×78 tonnes dans le cas de l'acier doux et pour 4×96 tonnes dans le cas de l'acier Tor-40.

Outre les *flèches* au quart et à la moitié de la portée, mesurées simultanément au moyen de comparateurs au $1/100$ mm et de fleximètres enregistreurs, — outre les *déformations* du béton, mesurées au moyen de 27 jauge disposées tout le long des faces horizontales tendues ou comprimées, — on a mesuré plus particulièrement les divers critères de fissuration, à savoir la distance entre fissures voisines, la hauteur et l'ouverture de chaque fissure, sous des charges successives de 13 tonnes, 22 tonnes, 33 tonnes, 44 tonnes, et 55 tonnes. Enfin, après rupture et déchargement, un relevé photographie complet a permis de noter le schéma complet de la formation et de la progression de fissures (figure 8 pour l'acier doux et figure 10 pour l'acier Tor-40).

Calcul théorique de la distance entre fissures.

Suivant la théorie de M. BRICE, la distance moyenne l entre fissures est donnée par la formule suivante, valable en flexion :

$$l = \frac{\phi}{5,5 k} \frac{I_b}{v'_b} \frac{1 + 3 \frac{e_a}{e_b}}{\omega' z} \quad (1)$$

suivant les notations :

ϕ , diamètre de la barre

ω' , section de la barre

$\frac{I_b}{v'_b}$, module résistant de la section de béton

z , bras de levier des forces intérieures

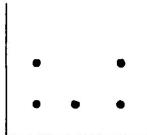
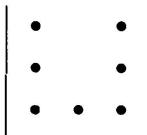
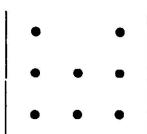
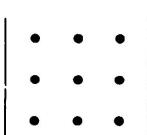
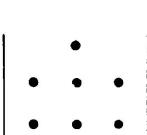
$\frac{e_a}{e_b}$, valeur maximum du rapport de la somme e_a des diamètres d'acières rencontrés le long d'une fissure possible à la somme e_b des épaisseurs de béton traversées le long de cette même fissure (cf. théorie de M. BRICE).

k , coefficient caractéristique de la liaison béton-acier (*coefficient d'adhérence*).

Détermination expérimentale du Coefficient d'adhérence.

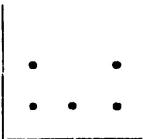
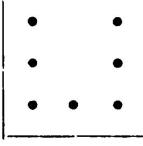
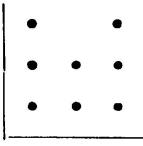
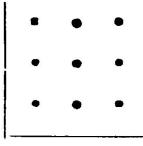
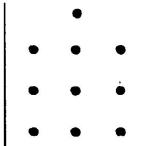
La mesure expérimentale de la distance moyenne entre fissures permet la détermination du coefficient k , pour chaque catégorie d'acières.

Dans le cas de l'acier doux, la coïncidence entre résultats théoriques et expérimentaux est obtenue pour $k = 1,6$:

Disposition des Armatures ⁽³⁾		l moyen mesuré (cm)	l moyen calculé (cm)	
Région A		5 ϕ 32	16,5	19,0
Région B		7 ϕ 32	12,5	14,4
Région C		8 ϕ 32	11,7	12,5
Région D		9 ϕ 32	10,2	10,6
Région E		10 ϕ 32	9,6	8,9

⁽³⁾ La position des régions A, B, C, D, E, est indiquée en figure 6.

Dans le cas de l'acier Tor-40, la coïncidence entre résultats théoriques et expérimentaux est obtenue pour $k = 2,5$:

Disposition des Armatures (*)		I moyen mesuré (cm)	I moyen calculé (cm)
Région A	 5 ø 26	12,6	12,1
Région B	 7 ø 26	10,0	9,0
Région C	 8 ø 26	8,0	7,8
Région D	 9 ø 26	6,6	6,6
Région E	 10 ø 32	5,4	5,5

Calcul théorique de l'ouverture des fissures.

Suivant la théorie de M. BRICE, l'ouverture maximum $\Delta 1$ de fissures est donnée par la formule:

$$\Delta 1 = \phi \frac{\alpha}{2k} \left(1 + 3 \frac{e_a}{e_b}\right) \frac{(n'_a)^2}{E_a n'_b}$$

(*) La position des régions A, B, C, D, E, est indiquée en figure 6.

suivant les notations précédentes, auxquelles s'ajoutent :

n'_a , contrainte de traction de l'acier

n'_b , résistance de traction du béton, mesurée par flexion ($\frac{3,6 \text{ M}}{b^3}$)

E_a , coefficient d'élasticité de l'acier

α coefficient compris entre 0 et $\frac{1}{4}$, à déterminer expérimentalement⁽⁵⁾.

Détermination expérimentale du coefficient α .

L'examen des mesures des ouvertures de fissures, dans chaque région des pièces expérimentées, pour diverses conditions de charges, permet de déterminer une valeur moyenne de α .

Dans les deux cas étudiés jusqu'ici (acier doux et acier Tor-40), on obtient sensiblement la même valeur de α , soit : $\alpha = 0,110$.

Ce qui donne :

$$\Delta l_{\text{maximum}} = \phi \frac{1 + 3 \frac{e_a}{e_b}}{18 k} \frac{(n'_a)^2}{E_a n'_b} \quad (2)$$

Comparaison des valeurs théoriques et des valeurs expérimentales des ouvertures de fissures.

1°) Acier doux :

Pour l'essai sur acier doux, on adopte les valeurs numériques suivantes :

$$k = 1,6$$

$$n'_b = 0,6 \times 49 \times 10^{-2} \text{ Kg/mm}^2$$

$$E_a = 2,1 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\phi = 32 \text{ mm}$$

Ce qui donne :

$$\Delta l_{\text{maximum}} (\text{mm}) = \frac{(n'_a)^2 \text{ Kg/mm}^2 (1 + 3 \frac{e_a}{e_b})}{5.557} ,$$

⁽⁵⁾ Dans sa théorie, M. BRICE propose la valeur la plus défavorable de α , soit $\frac{1}{4}$; mais il semble que les limites admissibles ainsi obtenues pour la contrainte de traction n' , soient un peu trop sévères, du moins dans les cas les plus courants.

où $(1 + 3 \frac{e_a}{e_b})$ est égal à : $\begin{cases} 3,6 & \text{pour la région A} \\ 3,8 & \text{pour les régions B et C} \\ 3,9 & \text{pour les régions D et E} \end{cases}$

Ainsi se trouvent déterminées les valeurs de l'ouverture maximum Δl en fonction de la contrainte de traction n_a . Les points correspondant aux mesures expérimentales maxima doivent donc se trouver dans le mince faisceau, déterminé par les deux courbes théoriques extrêmes (Fig. 7). La concordance semble satisfaisante.

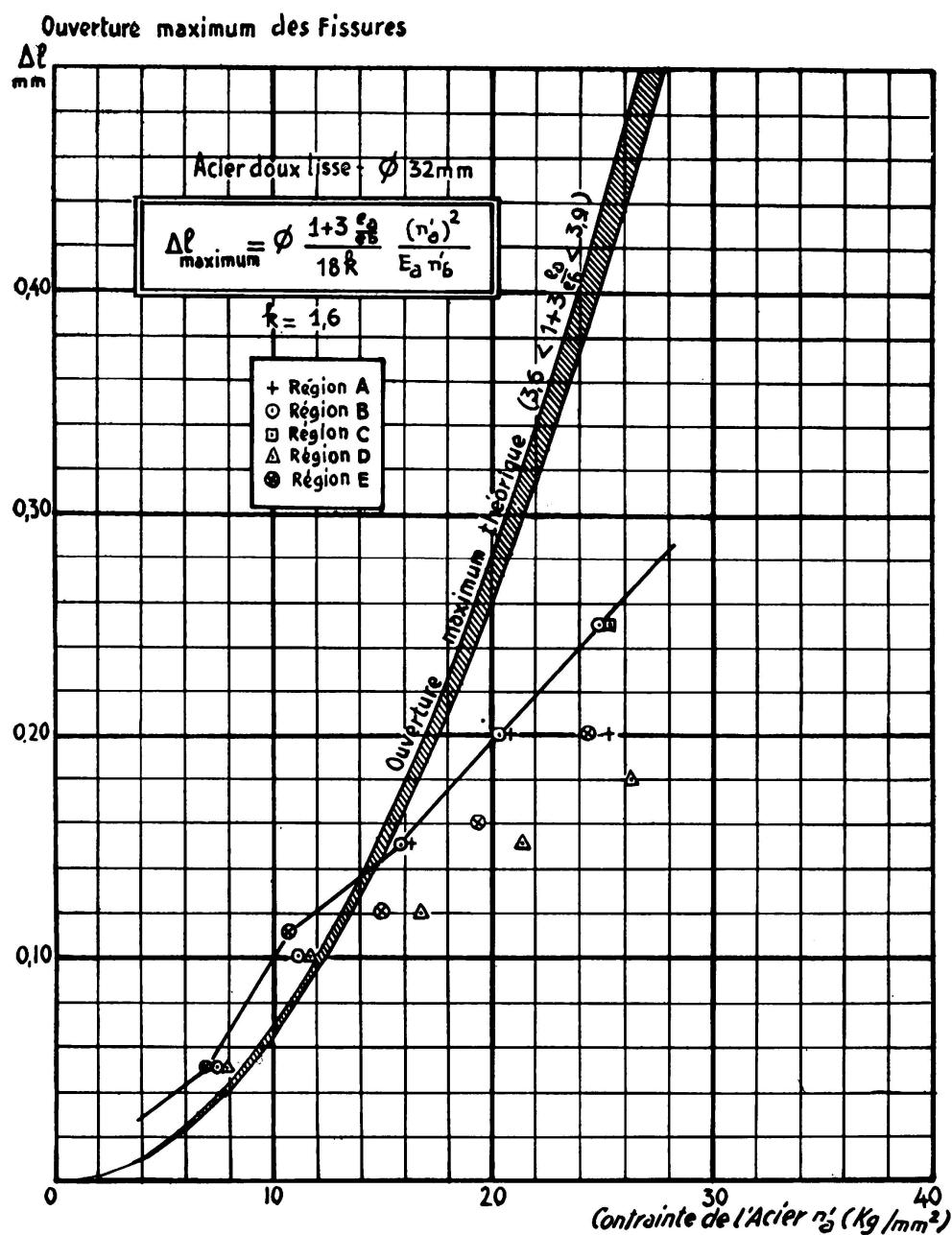


FIG. 7. Diagramme des Ouvertures maxima des Fissures
(Acier doux)

Région A 5 Ø 32		Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n° Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
				calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	42,1	7,5	0,02 ₅	0,05	0,03 ₅	0,06
	P = 22 t	63,7	11,3	0,05 ₅	0,06 ₅	0,08	0,10
	P = 33 t	90,1	16,0	0,11	0,12 ₅	0,16 ₅	0,15
	P = 44 t	116,5	20,7	0,18 ₅	0,16	0,28	0,20
	P = 55 t	142,9	25,3	0,27 ₅	0,17	0,41 ₅	0,20

Région B 7 Ø 32		Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n° Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
				calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	57,9	7,3	0,02 ₅	0,05	0,03 ₅	0,05
	P = 22 t	87,6	11,1	0,05 ₅	0,07 ₅	0,08 ₅	0,10
	P = 33 t	123,9	15,7	0,11	0,11	0,17	0,15
	P = 44 t	160,2	20,3	0,19	0,15	0,28	0,20
	P = 55 t	196,5	24,9	0,28	0,19	0,42	0,25

Région C 8 Ø 32		Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n° Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
				calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	66,7	7,4	0,02 ₅	0,04 ₅	0,03 ₅	0,05
	P = 22 t	100,9	11,2	0,05 ₅	0,07 ₅	0,08 ₅	0,10
	P = 33 t	142,7	15,8	0,11 ₅	0,11	0,17	0,15
	P = 44 t	184,5	20,4	0,19	0,15	0,28 ₅	0,20
	P = 55 t	226,3	25,1	0,28 ₅	0,18	0,43	0,25

Région D 9 Ø 32	Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n° Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
			calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	78,4	7,7	0,03	0,04 ₅	0,04
	P = 22 t	118,9	11,7	0,06 ₅	0,07	0,09 ₅
	P = 33 t	168,4	16,7	0,13	0,10	0,19 ₅
	P = 44 t	217,9	21,4	0,21 ₅	0,12	0,32
	P = 55 t	267,4	26,3	0,32	0,14	0,48 ₅

Région E 10 Ø 32	Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n° Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
			calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	78,9	7,0	0,02 ₅	0,05	0,03 ₅
	P = 22 t	119,4	10,6	0,05 ₅	0,07 ₅	0,08
	P = 33 t	168,9	15,0	0,10 ₅	0,09 ₅	0,15 ₅
	P = 44 t	218,4	19,4	0,17	0,11	0,25 ₅
	P = 55 t	267,9	24,4	0,28	0,13	0,41 ₅

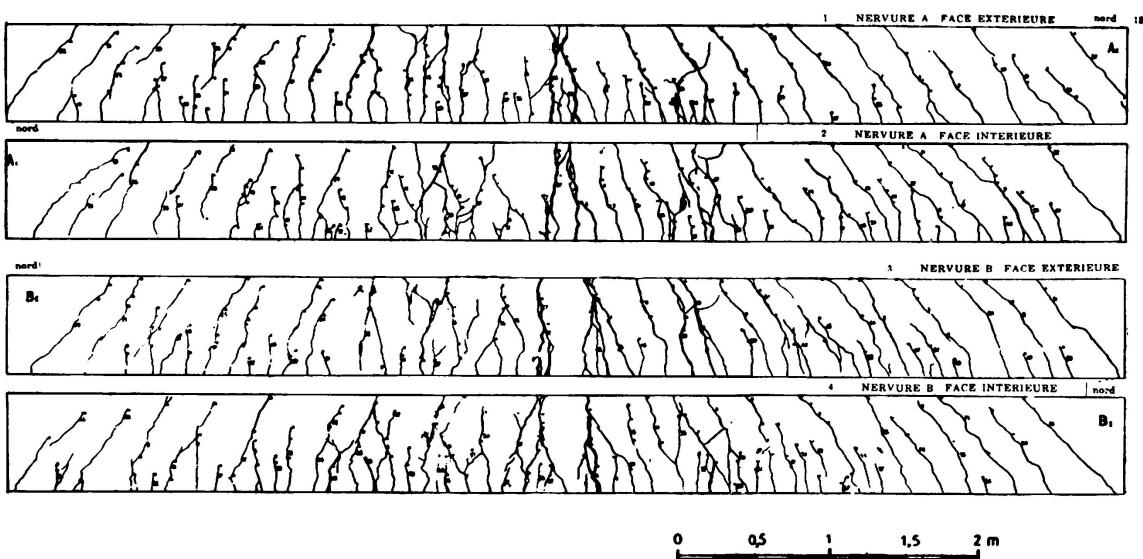


FIG. 8. Schéma Général de Fissuration
(Pièce armée d'acier doux)

2°) *Acier Tor-40:*

Pour l'essai sur acier Tor-40, on adopte les valeurs numériques suivantes :

$$k = 1,5$$

$$n'_b = 0,6 \times 54,3 \times 10^{-2} \text{ Kg/mm}^2$$

$$E_a = 2,1 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\phi = 26 \text{ mm}$$

Ce qui donne :

$$\Delta l_{\text{maximum}} (\text{mm}) = \frac{(n'_a)^2}{Kg/\text{mm}^2} \frac{(1 + 3 \frac{E_a}{E_b})}{11.842},$$

où $(1 + 3 \frac{E_a}{E_b})$ est égal à : $\begin{cases} 2,9 & \text{pour la région A} \\ 3,0 & \text{pour les régions B et C} \\ 3,1 & \text{pour les régions D et E} \end{cases}$

Si on représente les diagrammes correspondants, avec n'_a en abscisse et $\Delta l_{\text{maximum}}$ en ordonnée, on constate la concordance des valeurs expérimentales maxima avec les valeurs théoriques correspondantes (fig. 9).

	Région A 5 φ 26	Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n'_a Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
				calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	42,1	11,0	0,02	-	0,03	-
	P = 22 t	63,7	16,6	0,04 ₅	-	0,07	-
	P = 33 t	90,1	23,5	0,09	0,09	0,13 ₅	0,12
	P = 44 t	116,5	30,4	0,15	0,12	0,22 ₅	0,15
	P = 55 t	142,9	37,2	0,22 ₅	0,15	0,34	0,25

Région B 7 ø 26	Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n' Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
			calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	57,9	10,8	0,02	-	0,03
	P = 22 t	87,6	16,3	0,04 ₅	0,05	0,07
	P = 33 t	123,9	23,1	0,09	0,10	0,13 ₅
	P = 44 t	160,2	29,9	0,15	0,15	0,22 ₅
	P = 55 t	196,5	36,7	0,22 ₅	0,17 ₅	0,34

Ouverture maximum des Fissures

 Δl

mm

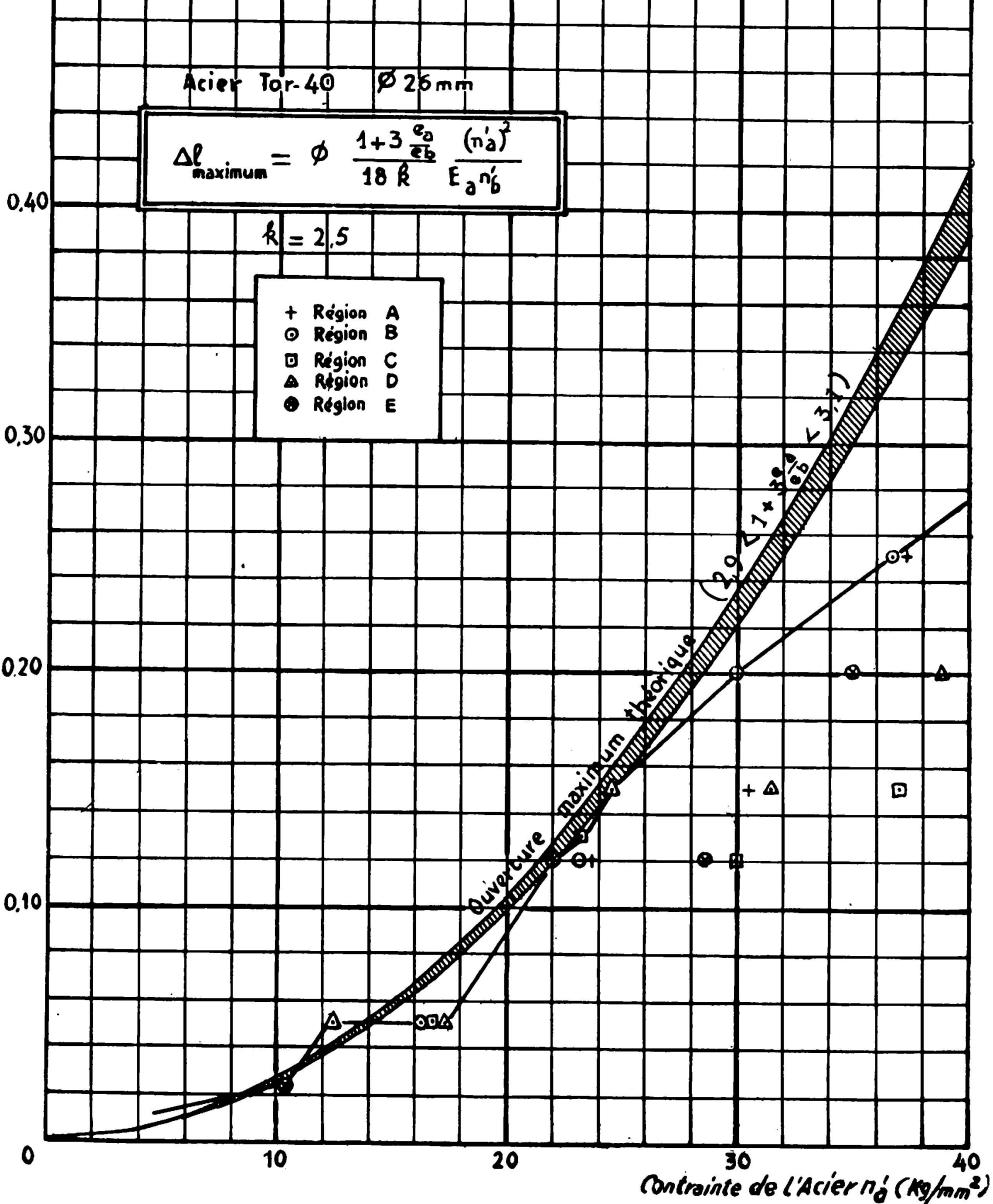


FIG. 9. Diagramme des Ouvertures maxima de Fissures (Acier TOR-40)

Région C 8 ø 26	Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n° Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
			calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	66,7	10,9	0,02	-	0,03
	P = 22 t	100,9	16,4	0,04 ₅	0,04	0,07
	P = 33 t	142,7	23,2	0,09	0,11	0,13 ₅
	P = 44 t	184,5	30,0	0,15	0,11	0,23
	P = 55 t	226,3	36,9	0,23	0,14	0,34 ₅

Région D 9 ø 26	Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n° Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
			calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	78,4	11,3	0,02 ₅	0,05	0,03 ₅
	P = 22 t	118,9	17,2	0,05	0,05	0,07 ₅
	P = 33 t	168,4	24,4	0,10 ₅	0,11	0,15 ₅
	P = 44 t	217,9	31,5	0,17 ₅	0,13	0,26
	P = 55 t	267,4	38,7	0,26	0,17	0,39

Région E 10 Ø 26	Moment Fléchissant M t. m.	Contrainte de l'Acier n' _a Kg/mm ²	Ouverture moyenne		Ouverture maximum	
			calculée mm	mesurée mm	calculée mm	mesurée mm
Stades de Chargement	P = 13 t	78,9	10,3	0,02	0,02 ₅	0,03
	P = 22 t	119,4	15,6	0,04 ₅	-	0,06 ₅
	P = 33 t	168,9	22,0	0,08 ₅	0,09 ₅	0,12 ₅
	P = 44 t	218,4	28,5	0,14	0,10 ₅	0,21
	P = 55 t	267,9	34,9	0,21	0,14 ₅	0,32

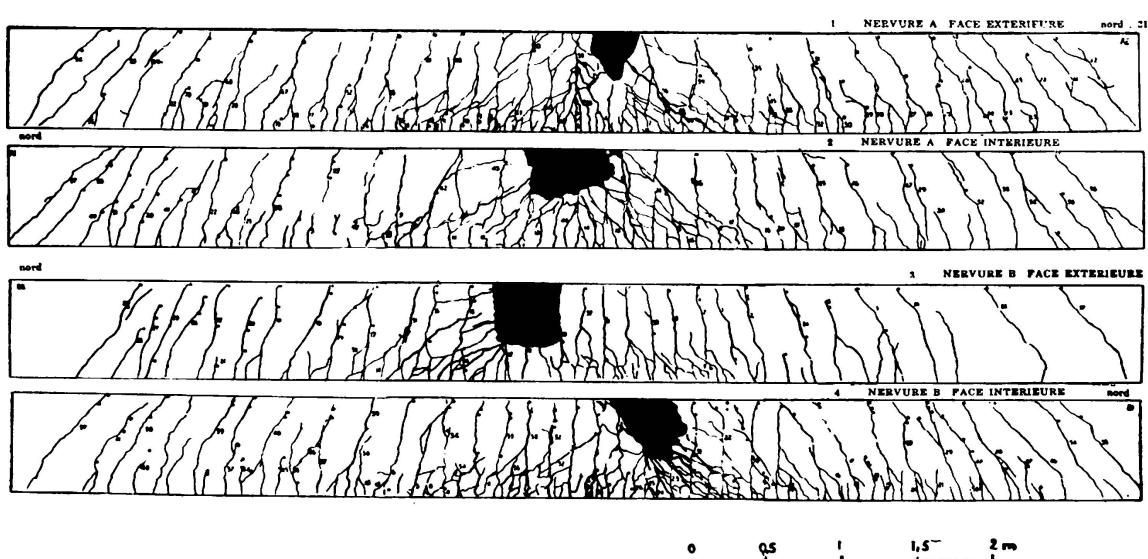


FIG. 10. Schéma Général de Fissuration (Pièces armée d'acier TOR-40)

Détermination des Contraintes Admissibles maxima.

La relation (2) permet de déterminer la contrainte admissible maximum n'_a correspondant à une tolérance de fissuration donnée Δ 1:

$$(n'_a)^2 = \frac{18 k E_a n'_b}{\phi (1 + 3 \frac{e_a}{e_b})} \Delta 1 \quad (3)$$

1^o) Cas de l'Acier doux (Acier 42):

Pour $k = 1,6$, $E_a = 2,1 \times 10^4$ Kg/mm², n'_b égal à une valeur moyenne de 30 Kg/cm², on obtient :

$$(n'_a)^2 = \frac{180.000}{\phi (1 + 3 \frac{e_a}{e_b})} \Delta l, \text{ où } n'_a \text{ est exprimé en Kg/mm}^2$$

Pour un enrobage courant, on a, en moyenne : $e_a = e_b$.

Doù : $1 + 3 \frac{e_a}{e_b} = 4$. Ce qui donne les valeurs suivantes de la contrainte admissible maximum :

Acier 42		Tolérances de Fissuration		
Contraintes Admissibles		Fissuration peu nuisible ($\Delta l = 0,3$ mm)	Fissuration préjudiciable ($\Delta l = 0,2$ mm)	Fissuration très préjudiciable ($\Delta l = 0,1$ mm)
Diamètres	ø 6	25,3 Kg/mm ² limite élastique	25,3 Kg/mm ² limite élastique	25,3
	ø 8			23,7
	ø 10			21,2
	ø 12			19,4
	ø 15		23,8	16,8
	ø 20		21,2	15,0
	ø 25	23,2	18,8	13,4
	ø 32	20,6	16,8	11,9

2^o) Cas de l'Acier Tor-40:

Pour $k = 2,5$, $E_a = 2,1 \times 10^4$ Kg/mm², n'_b égal à une valeur moyenne de 30 Kg/cm², on obtient :

$$(n'_a)^2 = \frac{280.000}{\phi (1 + 3 \frac{e_a}{e_b})} \Delta l, \text{ où } n'_a \text{ est exprimé en Kg/mm}^2$$

Pour un enrobage courant, on a, en moyenne: $e_a = \frac{2}{3} e_b$.

Doù: $1 + 3 \frac{e_a}{e_b} = 3$. Ce qui donne les valeurs suivantes de la contrainte admissible maximum:

	Acier Tor-40	Tolérances de Fissuration		
		Fissuration peu nuisible ($\Delta l = 0,3 \text{ mm}$)	Fissuration préjudiciable ($\Delta l = 0,2 \text{ mm}$)	Fissuration très préjudiciable ($\Delta l = 0,1 \text{ mm}$)
Diamètres	$\phi 6$	$45,0 \text{ Kg/mm}^2$ limite élastique	45,0	39,4
	$\phi 8$		34,2	
	$\phi 10$		30,5	
	$\phi 12$		28,0	
	$\phi 16$		24,2	
	$\phi 20$		21,6	
	$\phi 25$		19,3	
	$\phi 32$		17,1	

Ces tableaux mettent en évidence l'importance de la répartition des aciers, obtenue par la multiplication de barres de plus faible diamètre et par l'amélioration corrélative des conditions d'enrobage. Ainsi se trouvent diminués simultanément le diamètre ϕ et le rapport d'enrobage $\frac{e_a}{e_b}$.

Des relations analogues seront établies pour les autres aciers Tor (Tor-60 et Tor-80), ainsi que pour les aciers crénélés, les Caron, les aciers Tentor. Ainsi se trouveront terminées les recherches théoriques et expérimentales entreprises en France sur les aciers Tor-60, ainsi qu'une comparaison systématique des conditions de fissuration en vraie grandeur et des contraintes maxima admissibles pour les divers aciers d'armatures utilisés en France.

De cette comparaison, on déduira le «rendement à la fissuration» de chacun de ces aciers, c'est-à-dire le rapport de la contrainte maximum admissible imposée par les tolérances de fissuration à la limite élastique de l'acier, vraie ou conventionnelle.

CONCLUSIONS

L. P. BRICE

Ingénieur E. C. P.

Vice-Président de la Commission d'Etudes Techniques de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France et de l'Union Française

Nous savons qu'une des propriétés spécifiques du béton armé est sa fissuration, puisque la contrainte des armatures conduit à des déformations qui sont très supérieures à celles que peut supporter le béton; ainsi, ne pouvant éviter la formation des fissures, du moins devons-nous essayer de limiter leur largeur et, pour cela, multiplier leur nombre en améliorant l'adhérence de l'acier sur le béton et en augmentant les surfaces de contact.

Comme il est difficile d'agir sur le béton, nos recherches s'orientent vers l'étude du profil des armatures en fonction des qualités des aciers qui les composent; ce sont ces recherches qu'a entrepris M. SAILLARD en voulant déterminer un profil optimum pour acier Tor-60.

Nous espérons que ces recherches apporteront une amélioration supplémentaire aux qualités d'adhérence acier sur béton. D'ores et déjà, les mesures faites au cours des expériences relatées plus haut ont permis de constater qu'en employant des aciers Tor-40 au lieu d'aciers doux lisses, l'espacement moyen des fissures se trouve réduit dans le rapport

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{1,6} \text{ à } \frac{1}{k} = \frac{1}{2,5} \text{ soit } 36\%.$$

Quant aux aciers Tor-60 qui travailleront à un taux encore plus élevé que les Tor-40, il sera nécessaire, si l'on ne peut augmenter suffisamment leur adhérence au moyen de leur porfil, d'améliorer la répartition des barres, en multipliant leur nombre et en diminuant leur diamètre.

RÉSUMÉ

La Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France poursuit une série d'études pour la détermination d'une profil français d'acier Tor-60. Une étude théorique complète de ces aciers a été établie. Elle tient compte des possibilités maxima de l'écrouissage par torsion, des phénomènes de l'ancrage des barres, du mécanisme de la liaison béton-acier, des effets d'éclatement du béton d'enrobage.

Cette théorie conduit à envisager 3 types de profils d'acier Tor-60. Une première série d'essais, actuellement en cours, permettra de choisir définitivement le profil susceptible de satisfaire au mieux les desiderata des Constructeurs Français.

Une deuxième série d'essais permettra de vérifier, en vraie grandeur, la fissuration d'éléments d'ouvrages d'art, armés, non seulement d'acières

Tor-60, mais également, dans un souci d'objectivité, de divers aciers d'armatures actuellement disponibles en France: acier doux, acier Tor-40, acier Caron-40, acier crénelé-40, acier Tentor-52, acier Tor-60, acier Tor-80. Ces essais permettront de comparer systématiquement les caractéristiques mécaniques et les qualités d'adhérence de chaque acier, ainsi que leur incidence sur la fissuration du béton. Les essais sur acier doux et sur acier Tor-40 sont terminés et font l'objet d'une interprétation dans la présente Communication. Les autres essais seront exposés au Congrès et dans le Rapport Final.

S U M M A R Y

The Union of French Reinforced Concrete Builders is carrying out a research in order to determine a french type of TOR-60 reinforcement bars. A complete theoretical study of these bars has been completed; it considers the maximum possibilities of twist-working, the phenomena connected with reinforcement bar anchorages, the mechanics of steel-concrete bond, and the bursting of envelopping concrete.

This theoretical study has led to 3 different types of TOR 60 bars. A first series of tests, that are now being carried out, will enable to choose among them, which is better adapted to the requirements of French Builders.

A second series of full scale concrete cracking tests will be carried out on bridge elements reinforced not only with Tor-60 bars but also with various other types of reinforcement bars available in France: mild steel, Tor-40, Caron-40, «Castellated»-40, Tentor-52, Tor-60, Tor-80 bars. In the course of these tests a systematic comparison will be carried out on the mechanical characteristics and bond properties of each type of bar as well as on their respective influence on concrete cracking. Mild steel and Tor-40 tests have been completed and are commented upon by the authors. The tests on other bars are being carried out and will be reported at the Congress and in the Final Report.

ZUSAMMENFASSUNG

La chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France führt Versuche durch zur Ermittlung eines französischen Stahlprofiles in Torstahl 60. Eine vollständige theoretische Studie dieser Stahlsorte ist bereits ausgearbeitet worden. Sie trägt den maximalen Möglichkeiten der Stahlverfestigung durch Torsion Rechnung und berücksichtigt die Probleme der Verankerung, der Verbundwirkung zwischen Beton und Stahleinlagen, sowie das Abspringen des umhüllenden Betons.

Diese Theorie führte dazu, 3 verschiedene Profiltypen Torstahl 60 ins Auge zu fassen. Eine erste Versuchsreihe, die gegenwärtig im Gang ist, wird eine endgültige Profilwahl erlauben, die den Wünschen der französischen Konstrukteure am ehesten nachkommt.

Eine zweite Versuchsreihe wird dazu dienen, die Rissebildung zu untersuchen und zwar nicht nur für Armierungen mit Torstahl 60, sondern

auch mit verschiedenen andern Armierungsstählen, die gegenwärtig in Frankreich zur Verfügung stehen; gewöhnliche Betonrundeisen, Torstahl 40, Caronstahl 40, Formstähle 40, Tentorstahl 52, Torstahl 60 und Torstahl 80. Diese Versuche erlauben einen systematischen Vergleich der Festigkeitseigenschaften, der Haftung, sowie des Einflusses der einzelnen Stahlsorten auf die Rissebildung im Beton. Die Versuche mit gewöhnlichen Betonrundeisen und Torstahl 40 sind bereits abgeschlossen und in der vorliegenden Veröffentlichung dargestellt. Die weiteren Versuchsergebnisse werden am Kongress vorgelegt und im Schlussbericht festgehalten.

R E S U M O

A Câmara Sindical dos Construtores de Betão Armado de França prossegue numa série de estudos que têm por fim a determinação de um tipo francês de aço Tor-60. Já se elaborou um estudo teórico completo destes aços em que se consideram as possibilidades máximas da sua obtenção por torsão, os fenómenos de ancoragem das armaduras, o mecanismo da ligação betão-aço e os efeitos da rotura do betão envolvente.

Esta teoria leva a encarar três tipos de perfis Tor-60. Uma primeira série de ensaios, actualmente em curso, permitirá a escolha definitiva do perfil mais susceptível de satisfazer as exigências dos Construtores Franceses.

Numa segunda série de ensaios comparativos em escala natural, estudar-se-á a fissuração de estruturas armadas não só com aço Tor-60 mas também com vários tipos de armaduras disponíveis actualmente em França: aço macio, aço Tor-40, aço Caron-40, aço «ameiado»-40, aço Tentor-52, aço Tor-60 e Tor-80. Estes ensaios permitirão comparar sistemáticamente as características mecânicas e propriedades de aderência de cada um dos tipos de armadura, bem como a influência desses elementos sobre a fissuração do betão. Os ensaios respeitantes ao aço macio e ao aço Tor-40 já estão concluídos e são interpretados pelos autores que farão uma descrição dos restantes ensaios no decorrer do Congresso e na Publicação Final.

Leere Seite
Blank page
Page vide