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

Band: 4 (1952)

Artikel: Sur la plastification de flexion des poutres à âme pleine en acier doux

Autor: Lazard, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-5023

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: 06.07.2025

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

AI 3

Sur la plastification de flexion des poutres à âme pleine en acier doux

(Récents essais français—Examen critique des essais antérieurs—Questions restant à résoudre)

Plastification of bending plate-web girders in mild steel

(Recent French tests—Critical study of previous tests—Problems still to be solved)

Plastifizierung der Vollwand-Biegeträger aus Flusstahl

(Neue französische Versuche—Kritische Betrachtung der früheren Versuche—Noch zu lösende Aufgaben)

A. LAZARD

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées

Chef des Divisions Centrales des Ouvrages d'Art et des Études d'Aménagements de la S.N.C.F.

Introduction

Les recherches sur la plastification de flexion des poutres à âme pleine en acier doux de construction doivent conduire à une économie de métal et à une économie d'argent. Cela s'obtiendra par relèvement des contraintes maxima autorisées par les règlements officiels, basés presque tous sur l'ancienne conception de l'élasticité, en sollicitant soit certaines dérogations, soit des modifications permanentes à ces règlements. Il n'y a espoir d'aboutir que si le dossier présenté aux Organismes responsables des Grandes Administrations est basé sur des faits indiscutables, résultats d'expériences nombreuses et probantes, et si les limites d'utilisation des dérogations sollicitées ou des nouvelles prescriptions proposées sont bien précisées.

Or à la suite d'importantes expériences de flexion effectuées sur poutrelles Grey de 1 mètre de hauteur (c'est-à-dire sur les plus grands laminés du monde) qui nous a permis d'entrevoir quantité de phénomènes de plastification peu ou mal connus, il nous est apparu, en procédant à un examen critique général des théories et des expériences existantes, que les généralisations étaient souvent hâtives, qu'il existait un nombre considérable de questions non posées ou restées sans réponse, que, malgré des tentatives isolées dans ce sens, les limites d'utilisation des nouvelles méthodes n'étaient pas suffisamment précisées, et, qu'en définitive, il fallait procéder à un nouvel examen du problème en opérant avec beaucoup d'ordre.

Pour notre part nous avons mis en train, avec la collaboration de la Chambre Syndicale des Constructeurs Métalliques Français, des séries d'expériences dans le domaine fort vaste, quoique très restrictif, des

laminés I ou H
bruts*
de longueur dépassant 6 fois la hauteur
sollicités à la flexion
statiquement
et isostatiquement
jusqu'à ruine.

Le chapitre I de la présente communication est consacré à une description rapide des expériences déjà réalisées et au développement des conclusions auxquelles on est conduit, en insistant sur les points qui appellent des expériences de contrôle par d'autres chercheurs.

Compte tenu de ces conclusions, les autres essais connus de nous† sont examinés et discutés au chapitre II, en suivant la classification qui a paru la plus adéquate. Chaque fois nous nous sommes basés sur la description détaillée des circonstances expérimentales: malheureusement les détails font souvent défaut.

Les conclusions d'ensemble sont développées au chapitre III. On insiste sur les lacunes des recherches actuelles. On propose d'établir un programme général des expériences à reprendre ou restant à faire, dont on souhaite un partage entre les membres de l'Association.

Chapitre I—Les récents essais français sur la plastification en flexion statique et isostatique de laminés I ou H bruts

On décrira quatre séries d'essais qui tous ont été poussés jusqu'à la ruine.

1*ère Série: Poutrelles H de* 1 *mètre de hauteur*

Ces essais, exécutés pour le compte de la S.N.C.F. en 1948–49, ont été décrits en détail par nous, dans le Xème Volume des Mémoires de l'A.I.P.C., et ont fait l'objet d'un léger complément théorique dans *Travaux*, numéro de mai 1950. Ils sont schématisés figs. 1 et 2.

Ils ont clairement mis en évidence les faits suivants:

(*a*) Les premiers signes de plastification sont apparus bien avant que les contraintes à la Navier (quotient du Moment M par le module de résistance de la section I/v ou W), aient atteint la limite élastique conventionnelle du métal (à 2 ‰) déterminée sur une éprouvette prélevée dans une semelle d'un about. L'apparition de la plastification dépend essentiellement des appareils de mesure utilisés pour la déceler et du critère choisi pour la définir. Elle semble débuter dans la semelle tendue.

Il apparaît que la notion de "Moment Elastique" (ou produit de la limite élastique par le module de résistance), souvent utilisée par les théoriciens, ne correspond à

* C'est-à-dire sans trous. Nous mettons en route, à l'époque à laquelle nous rédigeons la présente communication—juin 1951—une nouvelle série, avec trous cette fois. Nous espérons pouvoir en rendre compte à l'époque du Congrès.

† Il ne nous a pas toujours été possible de nous procurer tous les articles originaux. Compte tenu du nombre limité de pages dont nous pouvions disposer dans la présente communication, nous ne donnons qu'un aperçu des expériences. Un texte détaillé paraîtra dans *Travaux*, numéros de novembre et décembre 1951.

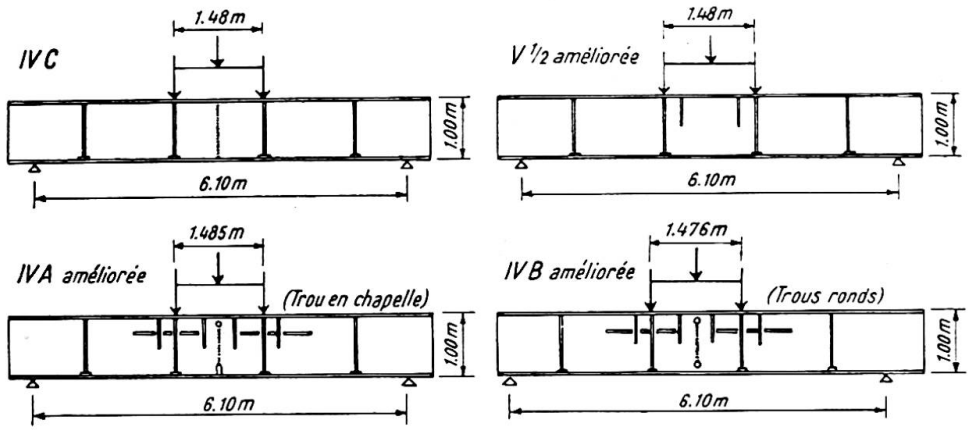


Fig. 1

Fig. 2

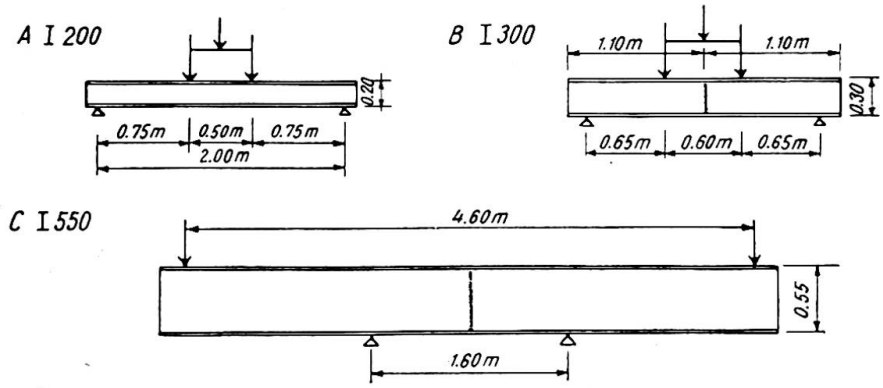


Fig. 3

aucun phénomène physique réel.* Pour cette valeur la poutrelle est déjà partiellement plastifiée. Cela paraît être sous la dépendance des contraintes préalables, enfermées dans la poutre par les traitements: chimique, physique, mécanique, subis antérieurement (et que le prélèvement de l'éprouvette libère partiellement).

(*b*) La plastification est un phénomène essentiellement discontinu. Elle se produit en des points très variables et diversement localisés. Ces points se mettent brusquement à fluer, la limite d'écoulement ayant été localement atteinte; les points voisins

* En réalité c'est la limite du domaine de proportionnalité de la poutrelle qu'on a déterminé. Il faudrait donc la comparer à la limite de proportionnalité du métal. A supposer que cette limite ait un sens pour le métal *in situ* (état contraint) et soit une constante en tous les points.

modifient leur progression de déformation, dans des proportions fort variables, allant d'un simple ralentissement à une régression.*

Les charges augmentant, la plastification se propage graduellement, par à coups, en intéressant des zones de plus en plus considérables. Il ne se passe rien de spécial dans les zones tendues; au contraire dans les zones comprimées on finit par parvenir à des flambements locaux *âme ou semelle* qui entraînent la ruine de la poutrelle.

(*c*) L'hypothèse de Bernoulli sur la conservation des sections planes (ou sur la proportionnalité des déformations aux distances de la fibre neutre) devient de plus en plus inexacte, au fur et à mesure que la plastification progresse.

(*d*) Dans les zones tendues apparaissent des lignes de glissement, dans les zones comprimées des rides de glissement, selon la terminologie du professeur Baes (voir fig. 2).† Lignes et rides n'apparaissent que dans des zones fortement plastifiées. Leur progression permet d'évaluer grossièrement, et probablement avec un certain retard, la progression de la plastification.

(*e*) On est amené à en déduire l'existence de contraintes de compression agissant sur les facettes longitudinales.

Dans l'âme c'est une conséquence de l'effet de courbure de la poutre. Dans les semelles on voit mal à quoi cela correspond.

(*f*) Les dispositions ayant été prises pour empêcher l'apparition de tous les phénomènes d'instabilité élastiques (déversement, flambements élastiques locaux) et dans une certaine mesure les flambements plastiques locaux la ruine des poutrelles est intervenue par plastification quasi totale. La "contrainte à la Navier" lors de la ruine plastique a certainement dépassé 30 kg./mm.^{2}

2ème Série: IPN de 200 *et* 300 *et HPN de* 550

Ces essais, exécutés pour le compte de la Chambre Syndicale des Constructeurs Métalliques en septembre–octobre 1949, ont été décrits, en détails par M. Dawance‡ lors d'une conférence faite à Paris le 13 décembre 1949, suivie d'une intéressante discussion (voir fig. 3).

Les prélèvements d'éprouvettes ont montré que les limites élastiques dans les âmes sont plus élevées que celles des semelles. C'est là d'ailleurs un phénomène tout à fait général.

Les essais ont sensiblement confirmé les conclusions de nos propres essais.

3ème Série: Mâts encastrés en poutrelles HN de 180 *et* 260

Ces essais ont été exécutés en 1950, sur des chantiers de la S.N.C.F., à l'occasion de recherches sur les poteaux supports de caténaires des futures électrifications.

Les essais de Marolles (5 septembre 1950) où des poutrelles HN de 180 étaient profondément encastrées dans un important massif de béton sont représentés à la fig. 4.

3 poutrelles ont été essayées avec efforts dans le plan de l'âme seule (fig. 4(*b*)). Toutes trois ont été ruinées pour une contrainte à la Navier de 35,2 kg./mm.^{2} calculée à la base de l'encastrement.

* Cette régression (à laquelle nous avons donné le nom de "bec d'oiseau" quand elle apparaît similairement dans le béton tendu au moment de la fissuration) a été également observé par M. Soete, professeur à Gand, dans des essais de traction sur éprouvettes soudées. Elle semble correspondre aux phénomènes observés, en rayons X, par les Allemands. Toutefois Schleicher (par exemple Bauingenieur, juillet 1950) prétend qu'on mesure par ce procédé les contraintes vraies.

† Ces phénomènes ont déjà été notés, mais avec beaucoup de prudence, par le prof. Kayser. Congrès de Berlin, Rapport final, 1938, p. 557, et *Stahlbau*, 26.2.1937.

‡ *Annales de l'Institut du Bâtiment et Travaux Publics*, mai 1950. Construction Métallique No. 6: "Nouvelles recherches expérimentales sur la plasticité des éléments de construction métallique."

Nous avons pu suivre avec précision le phénomène de ruine plastique sur l'une d'elles. Malgré les précautions prises l'effort n'était pas rigoureusement exercé dans le plan de l'âme et la poutrelle avait un aspect légèrement vrillé. Brusquement, au moment où l'effort de traction dans le câble atteignait 1 300 kg. (mesuré au dynamomètre), correspondant à un moment à l'encastrement de 14 940 kgm. et une contrainte à la Navier de 35,15 kg./mm.², nous avons vu sur une des ailes de la semelle tendue se propager vers le bas, et à partir d'une hauteur d'environ 60 cm. au-dessus du sol, comme une sorte de vibration de plastification; le vrillage a disparu et la poutrelle est alors venue, sans résistance, à la demande du câble. Compte tenu de la rapide décroissance du moment en fonction de la hauteur, la contrainte à la Navier, dans la zone d'où est parti l'ébranlement plastique de ruine, atteignait environ 32 kg./mm.²

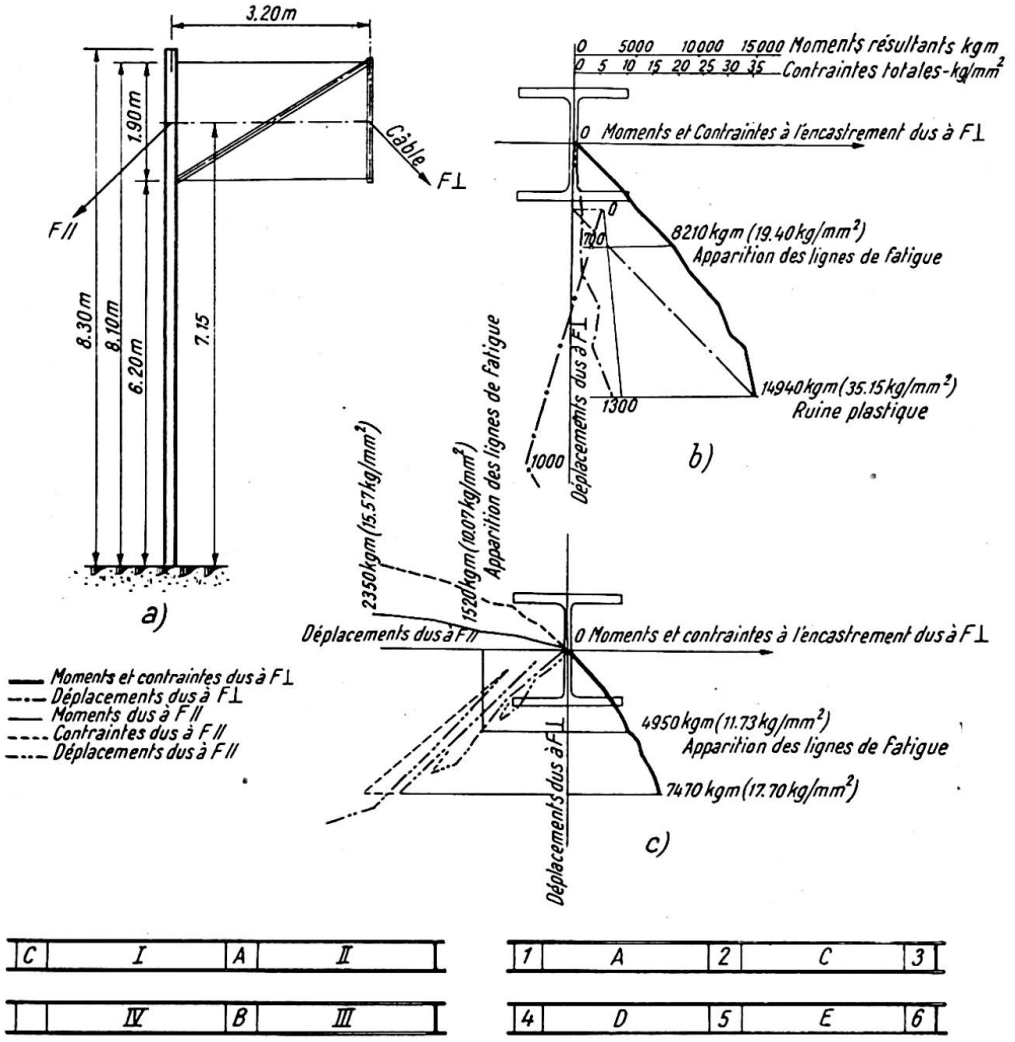


Fig. 4

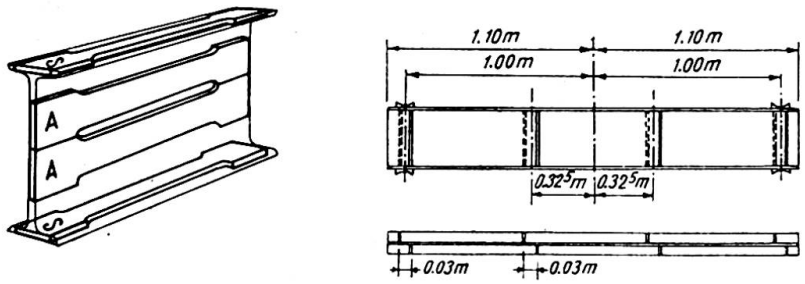


Fig. 5

Dès qu'on arrêtait l'enroulement du câble sur le treuil, les poutrelles cessaient de se déformer. Nous avons alors déchargé complètement (les poutrelles gardant une déformation importante) puis rechargé. A partir de cette déformation résiduelle, les poutrelles se sont comportées sensiblement comme des poutrelles neuves et élastiques tant que la charge n'a pas atteint une valeur très peu inférieure à celle ayant provoqué la ruine plastique; la poutrelle s'est remise alors à se déformer exagérément au simple appel du câble.

Ces essais complémentaires ont donc montré clairement (contrairement à une opinion répandue) qu'une poutrelle peut avoir été amenée à la plastification totale et être réutilisée dans certaines limites à partir de la déformation permanente acquise. Il n'y a ruine définitive que si la sollicitation est maintenue en permanence: si la sollicitation cesse la poutrelle peut être récupérée dans une certaine mesure.*

Une autre poutrelle a été essayée à la flexion déviée (fig. 4(*c*)). La ruine plastique est intervenue pour une valeur des efforts correspondant à une contrainte à la Navier à l'encastrement de l'aile de la membrure la plus comprimée égale à 33,3 kg./mm.^{2}

D'autres essais ont eu lieu à Vigneux avec des HN de 260 enfoncées de 3 m. dans un massif de béton de 55 cm. de diamètre et de 3 m. de profondeur.

Ils ont manifesté des phénomènes d'instabilité élastique qui sont susceptibles de se produire chaque fois qu'on ne prend pas les précautions nécessaires pour les rendre impossibles.

4ème Série: IPN de 200*: Sollicitations cycliques*

Ces essais ont été exécutés, conjointement par la S.N.C.F. et la Chambre Syndicale des Constructeurs Métalliques en 1950 et 1951, par M. Dawance et son équipe de collaborateurs habituels.

Les tronçons de 2,20 m. des poutrelles IPN 200 ont été extraits dans des barres de 7 m. provenant des parcs de la S.N.C.F. Les éprouvettes ont été prélevées dans des sections d'essai repérées en bout de chaque tronçon: deux dans les âmes, une dans chaque semelle (voir fig. 5). Le tableau suivant donne les limites élastiques conventionnelles (en kg./mm.^{2}) des sections d'essai.

Poutrelles des:		1ère sous-série			2ème sous-série			3ème sous-série		
Sections d'essais:		A	C	B	1	2	3	4	5	6
Semelles	hautes .	24,7	29	28,3	26,9	26,1	26,7	26,6	26,9	27,7
	basses .	27	28,3	28,3	26,6	25,4	24,9	26	25,9	24,2
Âmes	hautes . .	29,2	33,8	29,6	26,8	27,9	27,8	28	28,2	29
	basses . .	30	34,8	32,0	27,8	28,4	29,9	30,2	29,4	28,8

On notera *une très notable dispersion des résultats le long d'une même fibre du métal* ainsi que des valeurs plus élevées dans les âmes que dans les semelles.

Ces essais ont eu pour but de rechercher l'influence de la répétition de cycles de sollicitations sur les phénomènes de plastification et notamment de déterminer la valeur des cycles à partir desquels les déformations permanentes ne se stabiliseraient plus.

On craignait, en particulier, que la ruine plastique intervint, dans ces conditions,

* Dix ans plus tôt nous avions reçu l'ordre de mettre à la ferraille la charpente d'un pont détruit par faits de guerre, dont nous avions proposé la réutilisation partielle. C'est la raison qui nous a poussé à procéder à cette contre épreuve.

bien avant celle qui aurait été observée en suivant le processus des trois premières séries d'essais.

Première sous-série: Sollicitations ondulées—Cycles* 4 *à* $+n$ *kg./mm.*^{2} (*fig.* 6) (*Poutres I et II, III*)—*essais des* 17 *et* 23 *mai, du* 21 *juin et du* 7 *juillet* 1950

Les contraintes à la Navier variaient, dans chaque cycle, entre 4 et $+n$ kg./mm.^{2} La valeur supérieure n du cycle n'était augmentée que lorsque la stabilisation des flèches était obtenue. Deux poutrelles (I et II de la fig. 5) ont été essayées dans ces conditions.

On a pu tirer les conclusions suivantes:

1° *La répétition de cycles de sollicitations ondulées ne modifie pas la valeur du moment entraînant la ruine plastique.* La ruine plastique correspond pour une poutrelle sollicitée statiquement, dans des conditions de flexion déterminées, à un phénomène bien caractérisé qui est indépendant du processus d'application des charges.

2° On peut "accommoder élastiquement" une poutrelle, une fois la déformation permanente acquise. On peut, ce faisant, dépasser, en contrainte à la Navier, la limite élastique conventionnelle.

Nous en avons conçu la possibilité d'utiliser en flexion des poutrelles brutes bien au delà des limites actuellement tolérées par les règlements, *en procédant à une prédéformation volontaire des poutrelles*, sous une contrainte légèrement supérieure aux contraintes maxima d'utilisation.

Mais avant de mettre en application un tel procédé qui peut, naturellement, être conjugué avec un enrobement par du béton de la semelle tendue et déformée, en vue de précontraindre ce béton lorsqu'on retire les charges (les déformations sont, en particulier, très réduites et ne limitent plus l'utilisation des hautes contraintes), *il faut s'assurer que l'accommodation élastique, ainsi acquise, se conserve dans le temps.*

Des essais sont nécessaires pour le vérifier.

Deuxième sous-série: Sollicitations alternées—Cycles 10 *kg./mm.*^{2} *à* $+n$ *kg./mm.*^{2} (*fig.* 7(*a*)), 20 *kg./mm.*^{2} *à* $+n$ *kg./mm.*^{2} (*fig.* 7(*b*))

Les résultats confirment sensiblement les conclusions de la première sous-série; la ruine n'a pas été avancée par les sollicitations alternées et elle est intervenue pratiquement pour les mêmes valeurs de la contrainte à la Navier que dans les essais sans répétitions cycliques.

Troisième sous-série: Sollicitations oscillantes—Cycles entre plus et moins n kg./mm.^{2} (*fig.* 8)

L'essai a montré:

(*a*) que la stabilisation était assez rapidement acquise;†

* Nous adoptons ici la Terminologie que met au point actuellement une sous-commission de l'A.F.N.O.R., présidée par M. Prot:

Une sollicitation périodique est ondulée lorsque les forces varient entre deux limites de même signe.

Une sollicitation périodique est alternée lorsque les forces varient entre deux limites ayant des signes opposés.

Une sollicitation périodique est oscillante lorsque les forces varient entre deux limites ayant des signes opposés et une même valeur absolue.

Une sollicitation périodique est répétée lorsque les forces varient entre zéro et une limite.

† Toutefois le nombre de répétitions (20) n'a peut-être pas toujours été suffisant. La flèche pouvait paraître stabilisée puis brusquement, par exemple à la quinzième répétition, s'accroître à nouveau.

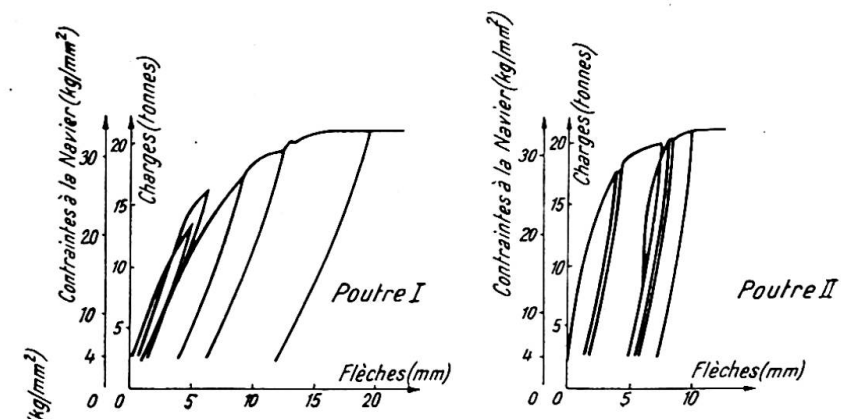


Fig. 6

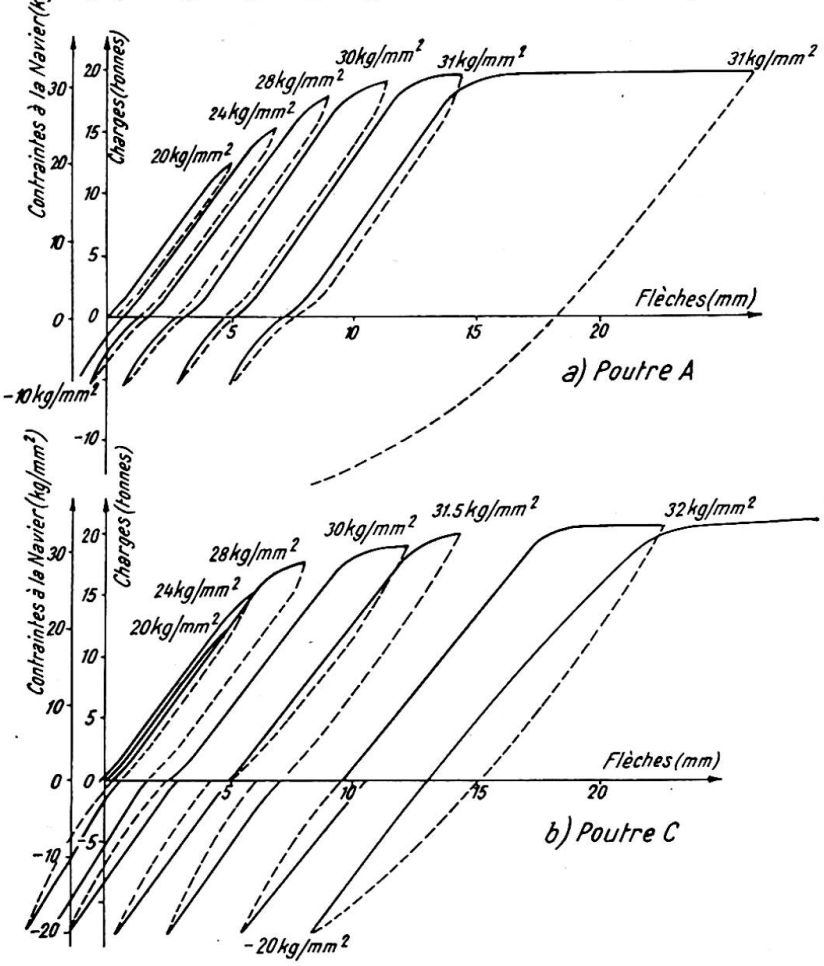


Fig. 7

(*b*) que les cycles d'hystérésis devenaient de plus en plus marqués, la diagonale s'inclinant de plus en plus sur l'horizontale;

(*c*) que l'effet Bauschinger jouait à plein, c'est-à-dire que les déchargements étaient à peu près linéaires, mais que les rechargements (dans un sens ou dans l'autre) montraient au contraire une courbure prononcée;

(*d*) qu'enfin la ruine est intervenue sensiblement pour la même contrainte à la Navier que dans les essais précédents.

Quatrième sous-série: Poutrelles A et D—Essais des 9 *et* 11 *mai* 1951 (*fig.* 9)

Nous nous sommes posé la question suivante: reste-t-il quelques traces, décelables, d'une plastification plus ou moins totale d'une poutrelle? Il est bien certain, en effet,

que lorsqu'une poutrelle est livrée par les forges elle a subi, au cours de son élaboration tant chimique que thermique que mécanique, d'innombrables plastifications. Or le contrôle consiste à mesurer les caractéristiques mécaniques d'une éprouvette prélevée dans le métal; si elles sont satisfaisantes on utilise la poutrelle dans les limites réglementaires. Comment distinguera-t-on une poutrelle "vierge" d'une poutrelle plus ou moins "outrageusement plastifiée" qui, après redressement, aura été remise sur parc.

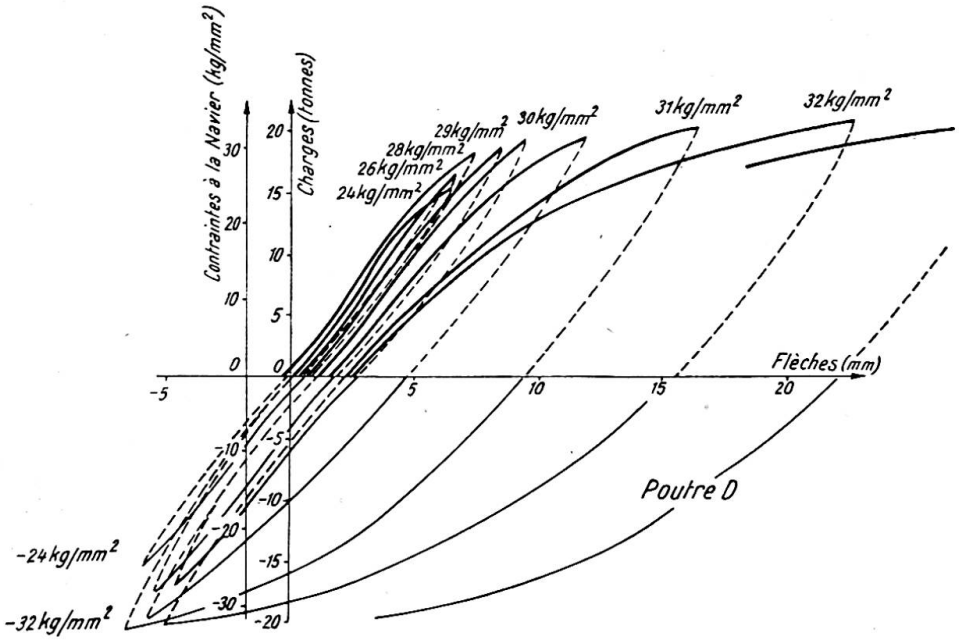


Fig. 8

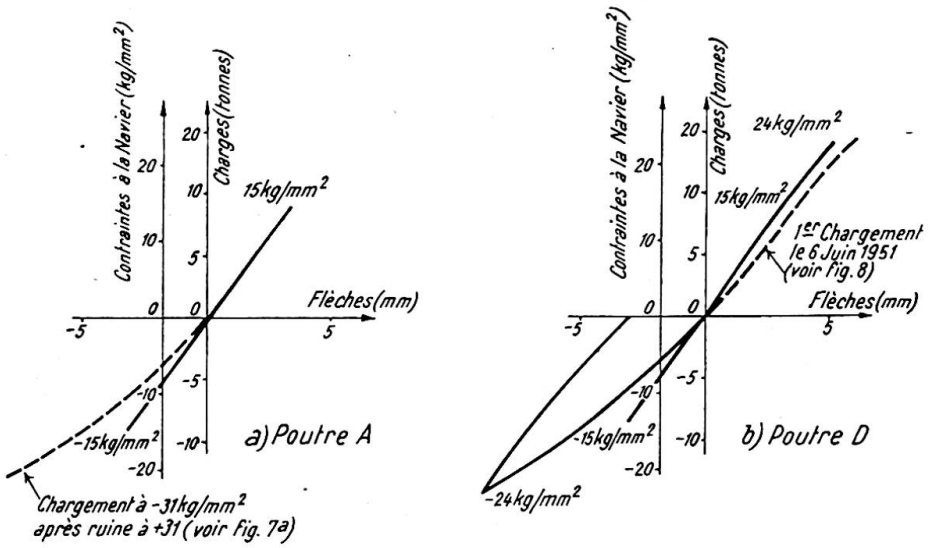


Fig. 9

A cet effet nous avons demandé qu'on soumette à nouveau à des essais de flexion, jusqu'à des contraintes de 15 kg./mm.², la poutrelle A de la 2ème sous-série et la poutrelle D de la 3ème sous-série qui toutes deux avaient été plastifiées jusqu'à la ruine dans des cycles Bauschinger (contraintes positives et négatives).

Selon le sens dans lequel l'effort serait appliqué on pouvait penser que ces poutrelles se comporteraient élastiquement ou manifesteraient la courbure caractérisque de l'effet Bauschinger, sous réserve que le temps n'ait pas modifié les propriétées acquises.

Les essais ont eu lieu le 9 mai 1951. Les poutrelles étaient au repos depuis 2 mois ½ pour A et 1 mois 2 jours pour D. Ils sont schématisés par les fig. 9(*a*) pour des essais sous + ou −15 kg./mm.^{2} et fig. 9(*b*) pour des essais sous + ou −24 kg./mm.^{2}

Il semble qu'on puisse conclure de ces deux essais (qui méritent d'être renouvelés):

1° qu'*après un repos de plusieurs semaines* des poutrelles* même sévèrement plastifiées (et tordues) *ont récupéré leurs qualités élastiques* (fig. 9(*a*)): les phénomènes de plastification ne se manifestent à nouveau que sous des sollicitations importantes voisines de la limite élastique (fig. 9(*b*)).

2° il n'existe pas de moyen de déterminer les plastifications antérieures†: au vrai cela devient sans intérêt à cause du 1° ci-dessus.

Tous ces essais nous conduisent à conclure comme suit:

Conclusions du chapitre I

(1) A la précision des essais et compte tenu de l'extrême dispersion des caractéristiques mécaniques du métal on peut dire que le moment produisant la ruine plastique d'une poutrelle brute sollicitée statiquement et isostatiquement est une donnée physique indépendante du processus de chargement (chargement continu, chargement par paliers avec déchargements, sollicitations cycliques: ondulées, répétées, alternées ou oscillantes).

(2) Si l'on supprime l'application des charges dès que se produit la ruine, la poutrelle est encore réutilisable élastiquement dans un domaine fort étendu qui paraît dépasser largement le domaine des contraintes réglementaires généralement admises. Le temps semble jouer, à ce sujet, un rôle très important, et encore mal défini.

(3) Le moment de ruine plastique est plus élevé, de plusieurs pour cent, que celui qui est déterminé par l'hypothèse du matériau idéalement plastique, la limite élastique étant déterminée sur une éprouvette de traction prélevée dans une semelle.

(4) Les contraintes préalables ne jouent aucun rôle dans la valeur du moment de ruine, car leur moment est nul (système en équilibre). Par contre elles interviennent certainement dans le déclanchement local des premières déformations plastiques. A ce sujet la considération du "moment élastique" est pratiquement dénuée de sens.

(5) Il semble qu'on puisse utiliser les poutrelles brutes à des contraintes très élevées, si l'on prend bien soin d'éviter les phénomènes de déversement et de flambement locaux des zones comprimées (âme et semelle). Les dispositions à prendre doivent varier d'ailleurs avec le profil des laminés; ces phénomènes perturbateurs sont d'autant plus à craindre que le laminé est plus haut ou plus grêle.

(6) La prédéformation volontaire en vue d'obtenir l'accommodation élastique, permet le relèvement des contraintes.

La question n'est, toutefois, pas encore complètement résolue.

Chapitre II—Autres essais sur la plastification en flexion des poutres à âme pleine

Nous distinguerons les essais statiques et de fatigue; dans chaque sous-chapitre les essais isostatiques et hyperstatiques: d'où quatre paragraphes.

On traitera d'abord des laminés bruts, puis percés, ensuite des poutres composées et enfin des poutres dissymétriques. On décrira d'abord les essais où le moment fléchissant joue le rôle principal, ensuite ceux où intervient l'effort tranchant, enfin

* Il pourrait être intéressant de préciser ce délai.

† Il serait intéressant de vérifier si l'approvisionnement des laminés sur parcs améliore leurs qualités élastiques.

on s'attachera aux phénomènes d'instabilité. On insistera sur le processus de chargement.

Ces considérations ont amené à prévoir systématiquement dix sections dans chacun des quatre paragraphes envisagés, avec pour les systèmes hyperstatiques une subdivision supplémentaire des sections en quatre sous-sections, afin de bien mettre en évidence les conditions d'appui. De nombreuses réponses "Néant" font mieux ressortir les lacunes des recherches actuelles, ainsi qu'il ressort du tableau schématique ci-joint.

	Essais statiques					Essais de fatigue	
	A	B	C	D	E	isostatiques	hyperstatiques
1° Laminés bruts							
2° Laminés percés de trous							
3° Poutres composées de plats soudés							
4° Poutres composées de plats rivés							
5° Pieces rapportées sur les semelles de laminés							
6° Influence de l'effort tranchant							
7° Phénomènes de flambement							
8° Sections dissymétriques							
9° Sollicitations répétées ou ondulées							
10° Sollicitations oscillantes ou alternées							

A Isostatiques · B Poutres continues sur 4 appuis · C Poutres continues sur 3 appuis
D Poutres encastrées · E Portiques

Tableau Schématique

Suivant Dutheil* nous distinguerons *l'adaptation dans la section* en comparant le moment de plastification vrai au moment calculé d'après la théorie élémentaire du matériau idéalement plastique que nous désignerons comme moment plastique théorique, de *l'adaptation entre sections* dans les systèmes hyperstatiques, en comparant les résultats à la théorie de l'égalisation des moments.

La quasi totalité des essais ont porté sur des laminés ou des poutres de petites dimensions. La prudence s'imposera quand on voudra généraliser aux poutres de grandes dimensions.

* *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*—Théories et Méthodes de Calcul No. 2, janvier 1948: "L'exploitation du phénomène d'adaptation dans les ossatures en acier doux"; et *Ossature Métallique*, **3**, 1949, p. 143.

SOUS-CHAPITRE I—ESSAIS STATIQUES

PARAGRAPHE 1: ESSAIS ISOSTATIQUES

1ère Section: Laminés bruts

On a étudié divers essais de Maier-Leibnitz; d'autres de Stüssi et Kollbrunner, Kazinczy, Hendry, Wilson, et Graf (aciers mi-durs) qui n'ont pas été tous poussés jusqu'à la ruine, chargements croissants ou par paliers et déchargements. A l'exception de l'essai de Wilson où la contrainte à la Navier a à peine dépassé la limite élastique, les autres montrent, comme nous l'avons trouvé au chapitre 1er, que le moment de ruine *dépasse nettement le moment plastique théorique*: un essai de Kollbrunner donne un dépassement de 32%.

2ème Section: Laminés percés de trous

On cite deux essais de la Chambre Syndicale des Constructeurs Métalliques Français où la section médiane était affaiblie par deux trous dans chaque semelle. Dans l'un les trous étaient *forés*; il y eut ruine plastique et peu de différence avec un laminé sans trou. Dans l'autre les trous étaient *poinçonnés sans alésage*. Il y eut cette fois *rupture, brutale*, dans la semelle tendue à partir d'un trou, avec cassure brillante; l'essai est donc plus défavorable.

Les contraintes à la Navier, calculées en section brute et en section nette sont données dans le tableau ci-après en kg./mm.^{2} où elles sont comparées aux limites de rupture R de l'acier des semelles tendues.

Trous	Section	1er I (très doux)	2ème I (assez dur)	Ruine
forés	brute nette	28,8 ou 0,90R 41,2 ou 1,29R	35,8 ou 0,90R 51,2 ou 1,28R	Plastique
poinçonnés sans alésage	brute nette	28,0 ou 0,84R 40,0 ou 1,20R	31,5 ou 0,79R 45 ou 1,12R	Rupture brutale

3ème Section: Poutres composées de plats soudés

On a étudié: un essai de Kayser où la poutre a péri par voilement de l'âme et pour une contrainte à la Navier supérieure à la limite de rupture de l'acier des semelles (mais l'acier de l'âme était beaucoup plus dur); des essais de Hendry et des essais remarquables de Patton et Gorbunow sous chargements répétés cycliquement, avec ou non introduction de contraintes préalables.

Ces essais montrent que ces poutres se comportent aussi bien, sinon mieux, que des laminés bruts de même section et de même acier. Les contraintes préalables sont sans influence sur la valeur de ruine.

4ème Section: Poutres composées de plats rivés

On a noté un essai peu concluant de Kazinczy et un essai de la Chambre Syndicale des Constructeurs Métalliques Français sur deux poutres où les trous étaient *poinçonnés sans alésage* et où il y a eu *rupture, brutale*, de la semelle tendue à partir d'un trou de rivet.

Les contraintes à la Navier, en kg./mm.^{2}, calculées en section brute et en section nette, sont données dans le tableau ci-après et comparées aux limites de rupture R de l'acier des semelles tendues.

Section	1ère poutre	2ème poutre	Ruine
brute nette	28,8 ou 0,61R 39,2 ou 0,83R	30,8 ou 0,67R 42,0 ou 0,91R	Rupture brutale

Ces résultats paraissent inférieurs à ceux de poutres soudées ou d'I bruts.

5ème Section: Pièces rapportées sur des semelles de laminés

On cite quelques essais comparatifs de Bryla et Chmieloviec et un ensemble très remarquable d'essais de Wilson qui semblent marquer *l'influence défavorable de semelles additionnelles partielles* soudées et au contraire la supériorité des semelles additionnelles soudées de toute la longueur du profilé, les semelles rivées s'inscrivant entre les deux.

6ème Section: Influence de l'effort tranchant ou d'une petite portée ($L<6h$)

On cite deux essais de Kayser où la ruine est intervenue par *voilement de l'âme* sans que puisse intervenir une semelle additionnelle soudée, deux essais d'Albers sur poutre de 1,86 m. de haut où la ruine est également intervenue par *voilement de l'âme* malgré un délardage très important des semelles tendues, qui ont ainsi supporté des contraintes à la Navier considérables, un essai de Wilson et une série d'essais très intéressants d'Hendry à la suite desquels cet auteur a essayé de fixer des règles pratiques pour savoir quand faire intervenir l'effort tranchant; malheureusement il s'agissait de très petits laminés. Son étude pourrait servir utilement de base à des essais systématiques.

7ème Section: Phénomènes de flambement

On cite des essais systématiques, un peu spéciaux, d'Hendry, sur des cadres en forme de L à deux branches égales. L'auteur donne, dans la limite de ses essais, des règles pratiques intéressantes.

8ème Section: Sections dissymétriques

Patton et Gorbunow ont montré que la théorie habituelle de l'adaptation dans la section s'appliquait parfaitement aux sections dissymétriques en essayant des profilés en Π composés de plats soudés ou des profils en caissons avec appendices longitudinaux soudés. Sollicitations ondulées.

La ruine, plastique, intervient pour des contraintes à la Navier dépassant largement la limite élastique (1,81 et 1,54 fois).

Cependant Patton et Gorbunow, en vue d'éviter l'apparition de déformations élastiques trop importantes ou de déformations permanentes, prescrivent de vérifier que la contrainte à la Navier ne dépasse pas la limite élastique.

On pourrait sans doute aller plus loin, grâce à l'accommodation en utilisant la prédéformation.

Il semble qu'il y ait le plus grand intérêt, contrairement aux idées héritées des leçons de Navier, à utiliser en flexion des pièces dissymétriques. En théorie, à quantité de matière donnée, il serait préférable d'utiliser des pièces rectangulaires car les centres de gravité des sections comprimées et tendues sont alors les plus éloignées possible (bras de levier maximum); mais, pratiquement, compte tenu des phénomènes d'instabilité en compression, il faut s'orienter vers des sections dissymétriques en forme de T ou Π.

D'autant plus qu'à l'avenir la Construction Métallique va devoir utiliser largement les tôles minces et abandonner de nombreux laminés symétriques.

En particulier on pourrait renforcer commodément des ouvrages par des *appendices soudés* s'écartant le plus rapidement possible de la fibre neutre.

Il est *regrettable que ces expériences n'aient pas connu le retentissement qu'elles méritaient* et qu'elles n'aient pas été systématiquement poursuivies.

9ème Section: Sollicitation ondulées ou répétées

On a déjà mentionné, à diverses reprises, les essais de Patton et Gorbunow.

10ème Section: Sollicitations alternées ou oscillantes. Néant.

PARAGRAPHE 2: ESSAIS HYPERSTATIQUES

C'est ici qu'il a paru nécessaire de subdiviser chaque section en quatre sous-sections pour tenir compte des conditions spéciales d'hyperstaticité et étudier si la plastification débutait sous les points d'application des charges ou sur les appuis et comment se faisait l'égalisation des moments que postule la théorie élémentaire.

11ème Section: Laminés bruts

1ère sous-section—Poutres continues sur quatre appuis

L'analyse d'un essai bien connu de Maier-Leibnitz nous a conduit aux conclusions suivantes (voir fig. 10):

Dans une 1ère phase les phénomènes sont purement élastiques (jusqu'à $10T$; contrainte à la Navier en travée, 26,2 kg./mm.^{2}).

Une 2ème phase—de transition—de $10T$ à $11{,}2T$ correspond au début de la plastification de la section médiane (contrainte croissant de 26,2 à 29 kg./mm.^{2}). Elle est caractérisée par la formation d'un jarret permanent sous la charge.

Une 3ème phase—de $11{,}2T$ à $17T$, qui correspond à l'accroissement linéaire du moment sur appuis, est marquée par la tendance, conforme à l'hypothèse classique, vers l'égalisation des moments en travée et sur appui. Cette égalisation se produirait pour la valeur du moment plastique *vrai.*

Mais cette égalisation ne peut se produire. Elle est entravée par l'apparition (à partir de $17T$) des phénomènes de plastification dans la section sur appui: contrainte à la Navier sur appui 23,3 kg./mm.^{2} pour une limite élastique des semelles voisine de 24–25 kg./mm.^{2} Cette plastification de la section sur appui, avec jarret, se poursuit difficilement; la section médiane est alors obligée de se plastifier à nouveau avec entrée dans le domaine de raffermissement de l'acier.* C'est la 4ème phase, qui s'achève par la ruine de la poutre à $20{,}7T$, caractérisée par l'apparition de nouveaux jarrets dans la travée médiane et même dans les travées extrêmes.

On note par rapport aux essais isostatiques les trois différences essentielles suivantes:

(*a*) il se forme *un jarret sous la charge* dès le début de la plastification de la section médiane;

(*b*) les sections sur appuis *éprouvent de la difficulté à se plastifier* complètement† il se forme également un jarret;

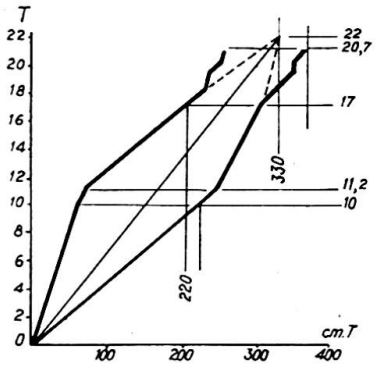
* C'est le seul cas, à notre connaissance, où le raffermissement ait été indubitablement observé.

† Il est probable que la surplastification de la section médiane, avec raffermissement, est plus facile que la plastification des sections sur appui. Il n'est pas exclu que le contraire se produise dans d'autres conditions d'essai.

(*c*) la section médiane est contrainte d'entrer *dans le domaine de raffermissement.**

L'essai, bien connu lui-aussi, de Stüssi et Kollbrunner, confirme cette analyse. Nous pensons toutefois que la charge de ruine est supérieure à celle que propose Stüssi à cause du dépassement de fait du moment plastique théorique dans la section.

Fig. 10



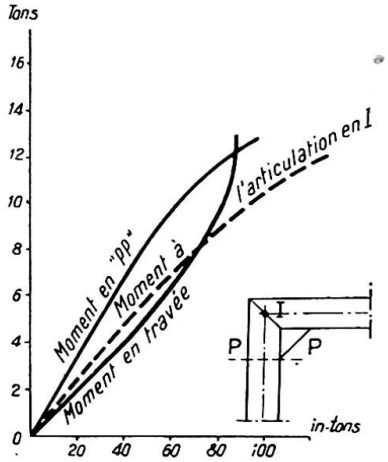


Fig. 11 (Portique A2)

Fig. 12

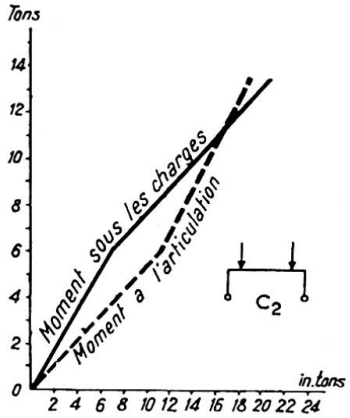
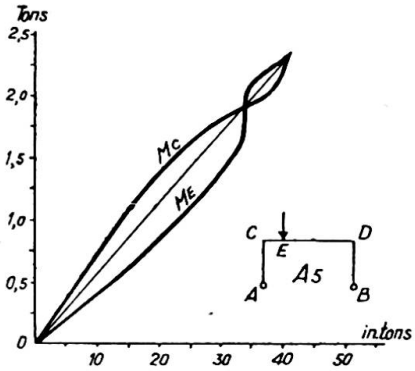


Fig. 13



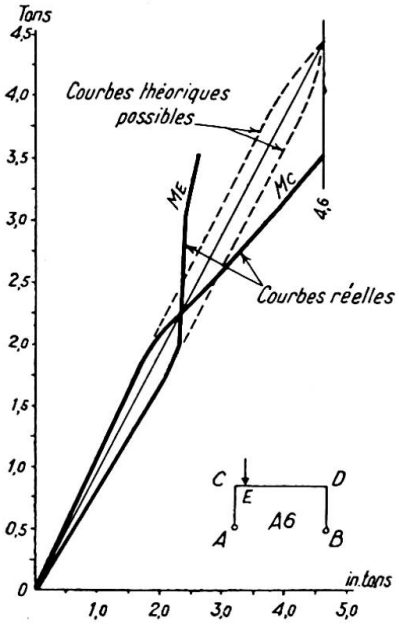


Fig. 14

* Il est probable que la surplastification de la section médiane, avec raffermissement, est plus facile que la plastification des sections sur appui. Il n'est pas exclu que le contraire se produise dans d'autres conditions d'essai.

2ème sous-section—Poutres continues sur trois appuis

On cite des essais de Maier-Leibnitz, Hartmann et Patton et Gorbunow qui systématiquement montrent un dépassement de la charge calculée (à cause, semble-t-il, d'une mauvaise estimation du moment plastique vrai dans la section) et la non influence sur la ruine d'une quelconque dénivellation d'appui. Par contre la succession des plastifications a rarement suivi la théorie élémentaire.

3ème sous-section—Poutres encastrées

On ne cite qu'un essai de Maier-Leibnitz pour lequel on peut répéter sensiblement ce qui a été dit à la 1ère sous-section quoique l'égalisation ait failli ici être parfaite.

4ème sous-section—Portiques

La question semble avoir particulièrement attiré les Britanniques. On cite plusieurs séries d'essais d'Hendry. Dans l'un—voir fig. 11—on trouve *une égalisation des moments avant la ruine* pour laquelle le moment du genou dépassait notablement le moment sous la charge.

Conclusions pour la 11ème section

Il semble qu'on peut conclure comme suit:

A condition de compter avec les moments de plastification *vrais*, la théorie de l'égalisation des moments est vérifiée dans les portiques (hyperstaticité interne); elle ne l'est pas entièrement dans les poutres continues (hyperstaticité extérieure): dans ce cas il se forme des jarrets dès le début de la plastification d'une section.

12ème Section: Laminés percés de trous. Néant.

13ème Section: Poutres composées de plats soudés

On cite une série d'essais de portiques dus à Hendry pour lesquels la ruine est intervenue au moment de l'égalisation des moments pour la valeur du moment plastique *vrai.*

14ème Section: Poutres composées de plats rivés

On ne peut citer qu'un essai de Kazinczy avec poutre continue sur trois appuis mais pour lequel on manque par trop d'éléments de détails.

15ème Section: Pièces rapportées sur les semelles des laminés. Néant.

16ème Section: Influence de l'effort tranchant

On cite plusieurs séries d'essais de portiques, dus à Hendry, dont quelques résultats sont représentés aux figs. 12, 13 et 14. Elles montrent:

fig. 12, des variations linéaires des diagrammes: charges-moments;

fig. 13, un huit fermé, c'est-à-dire ruine par égalisation des moments après une égalisation préalable;

fig. 14, un cas où la charge étant très près du genou, le moment sous la charge n'a pas pu se développer complètement et où la ruine est intervenue quand le moment du genou a atteint la valeur du moment plastique vrai dans la section.

17ème et 18ème Sections: Phénomènes de flambement et sections dissymétriques. Néant.

19ème et 20ème Sections: Sollicitations cycliques

On aborde un point *capital* concernant l'adaptation de plasticité dans les poutres hyperstatiques *quand les charges sont variables ou mobiles*: Il s'agit du problème du "cumul des déformations plastiques" analogue à celui que nous avons traité dans le chapitre 1er avec les essais de la 4ème série.

Un examen serré de la proposition théorique bien connue de Hans Bleich nous a conduit aux conclusions suivantes:

La méthode de H. Bleich tend à améliorer le procédé de l'égalisation des moments élastiques; en fait cela ne doit être possible que dans certaines conditions qu'il reste à préciser. Il faut distinguer au moins deux cas:

1° La disposition des travées et des charges est telle que l'intervention des contraintes résiduelles les plus favorables modifie peu l'égalisation des moments selon la méthode habituelle: autrement dit les moments aux points les plus chargés, calculés en élasticité, sont très voisins.

Dans ces conditions il est probable qu'on atteindra assez aisément un état voisin de l'égalisation des moments plastiques vrais, cela dépendra d'une part, comme on l'a vu dans les essais des 11ème et 13ème sections, des répartitions de travées et d'autre part de l'étendue du domaine dans lequel les moments ondulent.

2° Au contraire les moments aux points les plus chargés sont assez différents pour que les contraintes résiduelles de H. Bleich modifient assez sensiblement l'égalisation habituelle. Dans ce cas, on peut concevoir que le point le plus chargé se plastifiera entièrement avant que n'intervienne la plastification de soulagement d'un point moins chargé, sauf pour les sections à grand coefficient de forme (marge de plastification élevée). Autrement dit l'égalisation envisagée ne se produira probablement pas pour des sections telles que I ou H et il y aura sans doute ruine par divergence des déformations pour des valeurs des charges plus faibles que celles calculées. Au contraire pour des sections à grand coefficient de forme on tendra vraisemblablement vers l'égalisation des moments plastiques vrais et les valeurs calculées seront sans doute dépassées. *De nombreux paramètres sont susceptibles d'intervenir et, a priori, la question n'est pas simple à résoudre.*

Le 1° est sensiblement confirmé par un essai de Klöppel où la valeur de Bleich a été dépassée d'au moins 35%; le 2° par des essais de la Chambre Syndicale des Constructeurs Métalliques Français destinés à vérifier une théorie corrective due à Dutheil.

Le tableau, ci-après, donne en fonction des valeurs des limites élastiques de l'acier des profilés:

colonne 2: les valeurs du moment élastique, en cm. T;

colonnes 3, 4, 5: les valeurs théoriques, en T, des charges pour lesquelles le moment sur appui égalerait: le moment élastique, le moment critique de Dutheil,* le moment plastique théorique;

colonnes 6, 7, 8: les valeurs théoriques, en T, des charges donnant l'égalisation, dans le cas de charge le plus défavorable, des moments sur appuis et sous la charge fixe avec: le moment élastique, le moment de Dutheil, le moment plastique théorique;

colonnes 9, 10: les valeurs théoriques, en T, des charges donnant l'égalisation des valeurs extrêmes des moments sur appui et sous la charge fixe avec: le moment élastique (méthode de H. Bleich), le moment critique de Dutheil (méthode Bleich corrigée par Dutheil);

* Le moment critique de Dutheil est le moment élastique majoré d'un coefficient de forme égal à 1,20; 1,425; 1,10 et 1,10 respectivement.

colonne 11: les valeurs expérimentales, en T, de la charge marquant la fin du domaine de proportionnalité.

colonnes 12, 13: les valeurs expérimentales, en T, des charges pour lesquelles la divergence semble s'être produite; d'après l'estimation du Laboratoire et d'après la nôtre.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
■ recuit .	249,1	10,7	12,9	16,1	15,5	18,6	23,3	12,2	14,6	11	18	17
◆ recuit .	173,7	7,5	10,7	15,0	10,8	15,4	21,6	8,6	12,1	12,5	17	15
H . .	238,0	10,2	11,3	11,9	14,8	16,3	17,2	11,7	21,8	9	11,5	10
H recuit .	227,7	9,8	10,8	11,4	14,2	15,6	16,5	11,2	12,3	9,5	11,0	10

On voit qu'au point de vue des premières plastifications les prévisions de la colonne 3 ne sont pas (sauf pour le losange) trop éloignées de la réalité, par excès pour les H comme souvent déjà vu.

Au point de vue de la ruine par divergence on voit nettement apparaître les deux groupes que la discussion laissait prévoir:

(*a*) Pour les H, les charges sont très voisines de celles pour lesquelles le moment sur appuis égale le moment élastique ou le moment critique de Dutheil (cols. 3 ou 4) et légèrement *inférieures* au calcul de Bleich (col. 9).

(*b*) Pour le carré et le losange, au contraire, les charges sont voisines de celles pour lesquelles le moment sur appui est égal au moment plastique théorique (col. 5) et *très supérieures* aux calculs de Bleich ou de Dutheil (cols. 9 ou 10): cela tient évidemment à l'énorme réserve de plastification.

En conclusion, pour les cas de la pratique, tels que I et H, on voit qu'ici le calcul de Bleich est probablement trop optimiste, alors que dans l'exemple de Klöppel il était excessivement pessimiste.

La question est donc bien aussi compliquée que notre raisonnement permettait de l'envisager: *il faut tenir compte de la forme des sections*, de la *répartition des travées*, de la *position des charges et des rapports entre les valeurs des différentes charges.*

Il est souhaitable que de nombreuses expériences soient systématiquement entreprises.

Sous-chapitre II—Essais de fatigue

On ne trouve que des essais de Graf et de Wilson plus un essai de la Chambre Syndicale des Constructeurs Métalliques Français sur un assemblage par soudure bout à bout.

A part les essais isostatiques sur laminés bruts où l'auteur allemand n'a obtenu qu'une ruine plastique tandis que l'auteur américain obtenait des ruptures, les autres essais sont complémentaires et laissent beaucoup de lacunes. Les expériences les plus complètes sont celles de Wilson sur des semelles additionnelles soudées sur des laminés: il nous semble que l'on peut en tirer confirmation de la supériorité de semelles additionnelles de toute la longueur du laminé soudées par cordons continus d'une part, et de l'infériorité de plaquettes ou de semelles partielles soudées ainsi que de soudures sur des zones tendues, d'autre part.

Pour le reste les limites d'endurance, par exemple à 2 millions de répétitions, présentent une telle dispersion des valeurs qu'il est difficile, en l'état actuel, de tirer de conclusions nettes. Tout ce qu'on peut affirmer c'est que, dès qu'il y a une entaille

quelconque, la ruine survient par *rupture* et pour des valeurs des contraintes à la Navier *nettement inférieures* à la limite élastique de l'acier utilisé. On ne peut plus dès lors envisager, à proprement parler, de théorie de l'adaptation en flexion basée sur la plastification.

CHAPITRE III—CONCLUSIONS

On traitera d'abord des points qui paraissent acquis, ensuite de ceux qui prêtent encore à discussion ou n'ont pas été suffisamment traités.

1ÈRE PARTIE—POINTS ACQUIS

Si l'on met à part les essais de fatigue sur poutres présentant des entailles (le mot étant pris ici au sens le plus large) pour lesquelles l'adaptation de plastification ne semble pas jouer au sens où l'on entend généralement ces termes, les essais français et etrangers analysés aux chapitres II et III permettent de tirer les conclusions suivantes, en distinguant par nature de poutres:

1° *Laminés bruts*

(*a*) La plastification commence pour des valeurs des contraintes à la Navier inférieures à la limite élastique. Ceci n'empêche pas le laminé de se comporter élastiquement une fois la déformation permanente acquise et stabilisée; dans les poutres continues cette déformation se manifeste par des jarrets sous les charges ou sur les appuis.

(*b*) Si les précautions sont prises pour éviter les flambements locaux des semelles et des âmes comprimées et s'il n'existe pas de fortes charges concentrées à proximité d'appuis, la ruine intervient par plastification totale. Le moment atteint dans la section la plus exposée, ou moment plastique vrai, dépasse de plusieurs pour cent (10 à 20 en moyenne) le moment calculé d'après la théorie élémentaire du matériau idéalement plastique.

(*c*) Dans les systèmes hyperstatiques les moments sous les points les plus chargés et sur les appuis ou les genoux ont bien tendance à s'égaliser, la valeur commune étant celle du moment plastique vrai. Cette égalisation peut être atteinte dans les portiques; elle l'est rarement d'une manière parfaite dans les poutres continues: il y a là des circonstances défavorables dues probablement aux appuis. Enfin dans les cas de sollicitations conduisant au cumul des rotations plastiques, il n'est pas exclu que, dans certaines circonstances encore mal connues, la ruine survienne, par divergence des déformations, pour des valeurs relativement faibles.

(*d*) En définitive il semble qu'au regard des questions de sécurité les contraintes maxima réglementaires pourraient être fixées à des valeurs élevées dépendant:

de la dispersion des valeurs des limites élastiques conventionnelles (et non des limites de rupture) en différents points des laminés,
de la forme des sections,
éventuellement de la taille des laminés,
de l'isostaticité ou de l'hyperstaticité du système (poutres continues ou portiques),
dans certains cas de la nature des sollicitations (par exemple possibilité du cumul des rotations plastiques dans les systèmes hyperstatiques).

Des dispositions constructives appropriées, variables avec la taille des laminés, telles que raidisseurs dans les zones comprimées, devraient alors être prises pour éviter des flambements locaux des semelles et des âmes comprimées.

2° *Poutres composées de tronçons de laminés bruts assemblés par soudure bout à bout*

Si les soudures sont convenables et le mode de soudage approprié, il semble que de telles poutres peuvent être utilisées exactement comme des laminés bruts.

Celà est bien net dans les systèmes isostatiques. Les essais manquent dans les systèmes hyperstatiques; il semble toutefois que les conclusions peuvent être étendues dans ce cas à condition de ne pas disposer les soudures sur les appuis. Telle est, du moins, la tendance française: elle ne semble pas être générale à l'etranger.

3° *Poutres, à profil constant, composées de plats assemblés par soudures longitudinales continues*

Compte tenu du nombre limité d'essais probants il semble que les conclusions du 1° (laminés bruts) peuvent être également adoptées, tout au moins dans les systèmes isostatiques.

Toutefois ici le moment plastique vrai dans la section est sensiblement égal au moment calculé d'après la théorie du matériau idéalement plastique.

4° *Laminés percés de trous, poutres chaudronnées (rivées), laminés complétés par des semelles additionnelles rivées*

Il n'existe pas d'essais hyperstatiques. En isostatique la question n'est pas encore suffisamment éclaircie pour permettre des conclusions nettes. Sauf les cas bien précisés où les trous étaient poinçonnés sans alésage et où la ruine a été provoquée par une rupture brutale, il semble que l'adaptation de plastification joue; mais les domaines d'utilisation restent à préciser.

5° *Poutres composées de plats soudés et laminés complétés par des semelles additionnelles soudées*

La question est loin d'être éclaircie.

Il semble bien que le seul cas net soit celui où, en isostatique, ces semelles ont la longueur totale du laminé: la plastification est alors intégrale. Au contraire les semelles de longueur partielle semblent être nettement défavorables: celà dépend de plusieurs facteurs qui sont mal précisés.

2ème Partie—Questions restant à résoudre

En plus des points de la 1ère partie encore mal précisés on aura remarqué que de nombreux points restent à étudier, tels que:

l'influence de l'effort tranchant,
les phénomènes de flambement,*
l'influence du temps sur certaines accommodations élastiques,
le cumul des déformations plastiques dans les poutres continues.

De nombreux essais n'ont même pas été tentés. La plastification des sections dissymétriques n'a été réalisée qu'une seule fois. Il n'y a pas d'essais avec semelle partielle soudée sur un seul côté, soit tendu, soit comprimé. Il n'y a jamais eu d'essais de fatigue commencés par une plastification lente: ces essais seraient pourtant de première utilité pour essayer de résoudre le conflit qui oppose les écoles opposées affirmant ou niant l'existence des phénomènes de fatigue dans les ponts et dans les charpentes métalliques, sans que les arguments avancés de part et d'autre soient réellement convaincants.

* A cet égard les nouvelles recherches théoriques et expérimentales de Stüssi sur le flambement des plaques seront sans doute du plus grand secours.

Enfin l'essai le plus intéressant à réaliser, malgré son évidente difficulté, celui de poutres continues sous charges roulantes: ici intervient au minimum les phénomènes hyperstatiques, le cumul des déformations plastiques, l'influence de l'effort tranchant.

En conclusion il apparaît qu'il reste de nombreux essais systématiques à entreprendre. La tâche dépasse les possibilités d'un seul organisme ou d'un seul pays. C'est pourquoi nous souhaiterions qu'à l'issue de la discussion du Thème AI3 de ce Congrès, une sous-commission établisse un vaste programme de recherches (basé ou non sur la classification adoptée dans le cours du présent mémoire) et le répartisse entre les Membres de notre Association. Rendez-vous serait pris dans quatre ans, au prochain Congrès, pour tirer les conclusions.

Nous insistons sur la nécessité de détailler minutieusement les circonstances de chaque expérience.

BIBLIOGRAPHIE

ALBERS. *Stahlbau*, 9.6.1939.
BAKER, J. F. *J. Inst. Civ. Engrs.*, **31**, No. 3, 1948–49.
The Structural Engineer, **27**, No. 10, 1949.
BLEICH, F. *Ossature Métallique*, février 1934.
BLEICH, H. *Bauingenieur*, 1932, p. 161.
BRYLA et CHMIELOWIEC. Congrès de Berlin, Rapport final, 1938, pp. 561 et 766.
DAWANCE. *Annales de l'I.T.B.T.P.* (Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics), Construction Métallique No. 6, mai 1950.
DUTHEIL. *Annales de l'I.T.B.T.P.*, Théories et Méthodes de Calcul No. 2, janvier 1948.
Ossature Métallique, 1949, No. 3, p. 143.
GRAF. *Stahlbau*, 26.10.1934, 24.4.1936 et 15.1.1937.
Bauingenieur, 16.9.1938 et 5.2.1942.
HARTMANN. *Schweizerische Bauzeitung*, 18.2.1933.
HENDRY. *The Structural Engineer*, octobre et décembre 1950.
KAYSER. *Stahlbau*, 26.2.1937.
KAZINCZY. Congrès de Berlin, Rapport final, 1938, p. 56.
KLÖPPEL. Congrès de Berlin, Rapport final, 1938, p. 77.
LAZARD, A. *Mémoires de l'A.I.P.C.*, **X**, p. 101.
Travaux, mai 1950; novembre et décembre 1951.
LEVI, R. Congrès de Berlin, Publication préliminaire, 1936, p. 81.
MAIER-LEIBNITZ. *Bautechnik*, 1928, cahiers 1 et 2 (pp. 11 et 27).
Stahlbau, 25.9.1936.
Congrès de Berlin, Publication préliminaire, p. 101.
Congrès de Berlin, Rapport final, p. 70.
PATTON et GORBUNOW. *Stahlbau*, 3.1.1936.
SCHREINER. *Stahlbau*, 30.9.1938.
STÜSSI et KOLLBRUNNER. *Bautechnik*, 17.5.1935.
Congrès de Berlin, Publication préliminaire, 1936, p. 121.
Congrès de Berlin, Rapport final, 1938, p. 74.
WILSON. Bulletin 377 de la Station Expérimentale de l'Illinois, 22.1.1948.

Résumé

Se basant sur les derniers essais français sur des laminés bruts I et H de différentes tailles sollicités isostatiquement jusqu'à la ruine dans des conditions très diverses, et étudiant la dispersion des aciers, les contraintes préalables, la non-conservation des sections planes, l'importance des volumes plastifiés, l'existence de compressions transversales, le flambement des zones comprimées, l'article conclut que, pour des laminés bruts sollicités isostatiquement:

la ruine plastique survient, si les précautions nécessaires sont prises contre le flambement, pour une valeur supérieure à celle qu'on peut calculer en admettant la plastification totale d'un acier idéalement plastique;

le laminé s'accommode élastiquement après un nombre très faible de répétitions des sollicitations. Il est possible d'en déduire un procédé systématique de prédéformation en vue de travailler sous contraintes élevées. A ce sujet le temps semble jouer un rôle important mais encore mal défini.

Elevant le débat à toutes les poutres à âme pleine en acier doux et passant en revue les essais antérieurs généralement exécutés sur petits échantillons, l'article cherche à distinguer les points définitivement acquis de ceux qui prêtent à discussion ou n'ont pas encore été suffisamment traités. Parmi ces derniers on relève plus particulièrement:

l'effet de l'effort tranchant,
l'effet des surcharges roulantes sur poutres continues,
les études sur profils dissymétriques.

En conclusion l'article propose qu'une sous-commission du Congrès dresse un programme des essais restant à réaliser et les répartisse entre les divers membres de l'Association Internationale.

Summary

Based on the latest French tests with plain rolled I and H joists of various sizes, isostatically loaded up to failure under very different conditions, and by studying the dispersion of the steel, the residual stresses, the non-conservation of plane sections, the size of the plastified volumes, the existence of transverse compressions and the buckling of the compressed zones, the author of the paper comes to the conclusion that, for plain rolled joists isostatically loaded:

if the required precautions against buckling are taken, plastic failure happens for a load which is higher than that which can be calculated by supposing the total plastification of an ideally plastic steel;

the rolled joist adapts itself flexibly after very few repetitions of the loads. It is possible from this fact to deduce a method of systematic prestraining in order to work under high stresses. Time seems here to play a part which is important but has not yet been clearly defined.

By extending the discussion to all plate-web girders in mild steel and by surveying previous tests which generally were made on joists of small cross-section, this paper tries to distinguish the points which are definitively established from those which are still disputable or have not yet been sufficiently treated.

Among the latter, particular emphasis is put on:

the effect of shearing-stress,
the effect of rolling loads on continuous girders,
the studies on unsymmetrical sections.

It is finally proposed that a sub-committee of the Congress should assume the task of establishing a programme for the tests which are still to be made and allotting these to different members of the International Association.

Zusammenfassung

Der Aufsatz stützt sich auf die neuesten französischen Versuche an unbearbeiteten normalen und Breitflansch-I-Walzträgern unterschiedlicher Grösse, die bei statisch

bestimmter Anordnung unter sehr verschiedenen Bedingungen bis zum Versagen beansprucht wurden und untersucht die Streuungen in der Stahl-Qualität, die inneren Spannungen, das Nicht-Ebenbleiben der Querschnitte, das Ausmass der plastifizierten Querschnittsteile, das Auftreten von Quer-Kontraktionen und das Ausknicken der Druckzonen. Für statisch beanspruchte und statisch bestimmt gelagerte unbearbeitete Walzträger kommt der Verfasser zu den nachstehenden Schlussfolgerungen:

Wenn die notwendigen Vorkehrungen gegen Ausknicken getroffen sind, tritt das plastische Versagen für einen Wert ein, der höher ist als derjenige, den man unter der Voraussetzung totaler Plastifizierung eines ideal-plastischen Stahles errechnen kann.

Der Träger erfährt nach einer sehr geringen Zahl wiederholter Beanspruchungen eine elastische Anpassung. Daraus kann ein systematisches Vorverformungs-Verfahren zwecks Zulassung höherer Nutzspannungen abgeleitet werden. In diesem Zusammenhang scheint der Faktor Zeit eine wichtige, aber noch ungenau definierte Rolle zu spielen.

Durch Erweiterung der Diskussion auf sämtliche Vollwandträger aus Flusstahl und an Hand eines Überblicks über die früheren, hauptsächlich an kleinen Probeträgern durchgeführten Versuche wird versucht, die endgültig gelösten Fragen von denjenigen zu trennen, die noch umstritten oder ungenügend untersucht sind. Unter den letzteren werden insbesondere erwähnt:

der Einfluss der Querkraft,
der Einfluss der beweglichen Lasten auf durchlaufende Träger,
die Untersuchung unsymmetrischer Profile.

Als Schlussfolgerung schlägt der Verfasser vor, dass ein Unter-Ausschuss des Kongresses ein Programm der noch durchzuführenden Versuche aufstellen und diese unter verschiedene Mitglieder der Internationalen Vereinigung verteilen soll.

Leere Seite
Blank page
Page vide