

**Zeitschrift:** IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

**Band:** 15 (1955)

**Artikel:** La plasticité de l'acier doux, facteur de sécurité

**Autor:** Fauconnier, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-14490>

### 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:** 08.01.2026

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

## **La plasticité de l'acier doux, facteur de sécurité**

*Die Plastizität des Flußstahls als Sicherheitsfaktor*

*The plasticity of mild steel as a safety factor*

M. FAUCONNIER, Directeur des Services Techniques et des Approvisionnements  
de la R.A.T.P., Paris

On a l'habitude d'apprécier la sécurité d'une construction métallique en vérifiant, au moyen du calcul, que les tensions produites par les charges à prendre en compte n'approchent en aucun point de l'ouvrage la limite élastique du métal, et qu'elles se tiennent sensiblement au-dessous des tensions capables de provoquer des déformations permanentes.

Par définition on ne considère que des déformations purement élastiques proportionnelles aux efforts qui les produisent.

Tel est le principe simple qui constitue une des bases de la résistance des matériaux. Ensuite celle-ci doit, au cours du développement de ses calculs, faire appel à d'autres hypothèses simplificatrices ayant trait, cette fois, non plus aux propriétés de la matière, mais aux formes des éléments constitutifs de l'ossature et à la nature des liaisons qui les assemblent soit entre eux, soit aux appuis.

Le résultat final du calcul ainsi conduit est souvent fort précis, mais il n'est que le reflet mathématique d'une approximation parfois assez grossière, surtout quand il s'agit d'un ouvrage compliqué.

La réalité est en effet plus complexe, elle renferme de nombreuses variables qui échappent totalement aux calculs traditionnels: une des plus importantes tient aux déformations *plastiques* que peut prendre et que prend effectivement l'acier doux. On sait fort bien par l'expérience acquise sur les ouvrages métalliques en service, que l'on peut avoir, dans certains éléments d'une construction en acier doux, des contraintes qui dépassent de beaucoup les limites admissibles et atteignent parfois la limite d'élasticité, sans, pour cela, que l'ouvrage soit nécessairement mis en danger.

Dans les parties surchargées, l'acier doux se prête à un écoulement plastique qui a pour effet de modifier la répartition des tensions et des moments dans un sens généralement plus favorable à la stabilité que si l'état élastique

se prolongeait jusqu'à rupture. Ceci n'est valable, bien entendu, que si le système de forces qui a provoqué la plastification de l'élément surchargé peut être équilibré par des éléments voisins jusqu'alors moins chargés et présentant par suite une marge de résistance encore suffisante; c'est habituellement ce qui se produit dans les ouvrages hyperstatiques.

Connu sous le nom d'adaptation, ce phénomène, dû à la ductilité de l'acier doux, est un facteur de sécurité.

Inversement, si le métal d'une construction n'offre aucune réserve plastique, aucune adaptation n'est possible et des désordres sont alors à redouter aux points où existent des concentrations excessives d'efforts. A ce sujet, on peut rappeler qu'un ouvrage important, qui s'est rompu brusquement en 1938 présentait des cassures sans allongement qui ont fait imputer à la mauvaise qualité du métal la cause principale de l'accident.

Le comportement réel d'un ouvrage métallique est donc largement influencé par la nature de l'acier et spécialement par la réserve plastique que celui-ci peut offrir pour parer aux surtensions locales ou pour absorber sans dommage les déformations que des circonstances survenues accidentellement peuvent lui imposer.

L'intervention favorable de cette réserve plastique est assez générale. Comme on le verra plus loin, elle a été constatée pour un ouvrage métallique en acier doux dont la silhouette caractéristique est bien connue des parisiens: le pont de Passy, actuellement dénommé pont de Bir Hakeim qui a en effet subi, au cours de son existence, déjà longue puisqu'il a maintenant 50 ans de services, des déformations notoires sans que la résistance de son ossature en ait été altérée.

Par ailleurs l'influence de la plasticité et son mode d'action ont été analysés avec précision dans un cas concret au cours de recherches expérimentales de laboratoire dont le compte rendu fait le principal objet du présent mémoire.

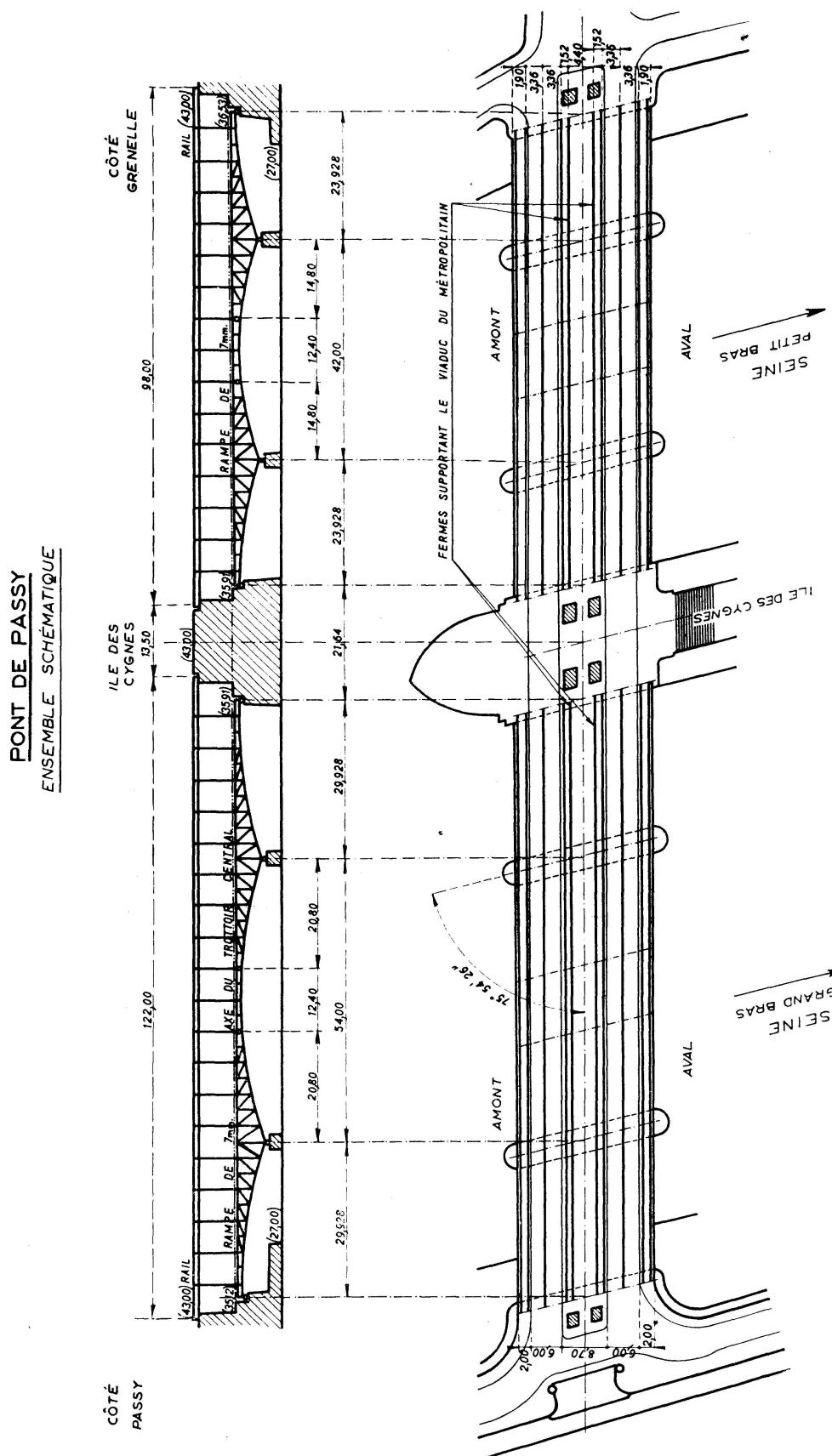
Le pont de Passy, franchit la Seine suivant une ligne oblique qui relie le quai de Grenelle au quai de Passy. A cet endroit la Seine forme deux bras séparés par l'île des Cygnes. L'ouvrage comprend donc en réalité deux ponts distincts mais semblables, jetés sur les 2 bras du fleuve et réunis sur l'île des Cygnes par un portique monumental en maçonnerie. L'ensemble a une longueur totale de 233 m.

Chaque ouvrage est à 2 niveaux comprenant:

- à l'étage inférieur, un pont-route à deux chaussées latérales de 6 mètres séparées par un promenoir central de 8,70 m.

- à l'étage supérieur, le tablier du chemin de fer métropolitain supporté par des colonnes prenant appui sur les fermes centrales du pont inférieur.

Chaque pont-route comporte 3 travées. L'ossature est constituée par des fermes disposées en cantilever: les porte-à-faux forment, avec la *travée indépendante* de 12,40 m qui les réunit, l'arc de la passe centrale, tandis que les culasses recouvrent les passes latérales.



Le viaduc du chemin de fer est constitué par un tablier métallique continu supporté par des colonnes métalliques d'environ 7 m de hauteur prenant appui sur les 2 fermes centrales du pont-route. Les assemblages haut et bas de ces colonnes sont *rigides*.

En résumé le pont de Passy est formé de 2 ensembles solidaires l'un de l'autre, mais de structure bien différente: l'un est articulé tandis que l'autre est rigide, par suite tout mouvement accidentel des cantilevers du pont inférieur devait inévitablement avoir pour effet de déformer le viaduc supérieur.

C'est ce qui se produisit en 1910 quand survint la grande crue de la Seine. Les alluvions qui constituent le lit du fleuve ont été ravinées par les eaux et les fondations des culées de l'île des Cygnes déchaussées. L'ouvrage monumental qui sert d'appui commun aux deux ponts s'est alors affaissé progressivement de 8 à 10 centimètres. Ce mouvement a entraîné pour chaque pont une légère rotation du cantilever intéressé autour de son appui sur pile tandis que la travée indépendante s'inclinait en sens inverse.

La dénivellation ainsi produite n'a eu pour le pont inférieur d'autre effet que de faire jouer ses articulations. Par contre, le tablier supérieur n'a pu suivre ce mouvement qu'en se déformant suivant une ligne à 2 brisures placées à l'aplomb des articulations de la travée indépendante.

Cette déformation imposée a donné naissance à des contraintes internes qui étaient de l'ordre de 7 à 8 kg/mm<sup>2</sup> dans le longeron le plus sollicité.

Comment ces contraintes se composent-elles avec celles dues aux charges supportées par l'ouvrage?

Lorsque les signes sont contraires elles se comportent à la façon d'une simple précontrainte à déduire de l'effet des charges. Si les signes sont concordants il y a addition des contraintes et la limite élastique de l'acier doux peut être atteinte.

C'est alors qu'intervient la plasticité du métal caractérisée par le palier d'écoulement plastique du diagramme d'extension.

Ce palier apparaît dès que la limite élastique est atteinte et sur toute sa longueur la charge demeure sensiblement constante, tandis que l'allongement augmente constamment de 0,1% environ à l'origine du palier à 1,2% à la fin du palier, ceci pour un acier doux dont la limite élastique est voisine de 21 kg/mm<sup>2</sup>.

On voit qu'en fin de palier l'écoulement purement plastique atteint 1,1%, chiffre considérable si on remarque qu'un allongement élastique de même valeur exigerait, pour un module de 21 000 kg/mm<sup>2</sup>, une charge de 230 kg/mm<sup>2</sup> qui dépasse la charge de rupture des aciers les plus durs.

L'intérêt de cette réserve plastique de l'acier doux est qu'elle permet des déformations permanentes restant acquises après suppression de la cause qui les a fait naître; elles se substituent alors à une déformation élastique de même valeur en libérant les contraintes correspondantes de sorte qu'après cette adaptation l'élasticité du métal redevient entièrement disponible pour équilibrer les contraintes dues aux charges que l'ouvrage doit supporter.

C'est ce qui s'est produit au pont de Passy où les déformations accidentelles subies par le tablier supérieur n'ont pas amoindri son aptitude à supporter les charges, contrairement à ce qui se serait passé avec un acier sans palier dans lequel les contraintes dues aux charges et celles dues aux déformations imposées à l'ouvrage se seraient cumulées sans limitation.

Après la crue les fondations de l'île des Cygnes ont été reprises aux prix d'un travail long et difficile, mais l'ouvrage métallique est demeuré dans l'état où il était, on a seulement rectifié le profil en long de la voie du métropolitain au moyen de traverses spéciales de hauteur appropriée.

Ce n'est qu'en 1943, à l'occasion d'un renforcement du viaduc supérieur en vue du passage de trains plus lourds, que les ponts inférieurs ont été redressés par la mise en place de cales sous les appuis de culée de l'île des Cygnes. Cette opération, faite avant le renforcement du viaduc supérieur, a provoqué dans celui-ci des déformations inverses de celles qui s'étaient produites en 1910. Pour les mêmes raisons qu'à cette époque aucun incident n'est survenu.

Il est vraisemblable que les faits relatés ci-dessus ou des faits de même nature ont dû se produire sur d'autres ouvrages en service, mais que, n'ayant pas donné lieu à plus d'incident qu'à Passy, ils ont pu ne pas retenir particulièrement l'attention.

Les essais de laboratoire ayant trait à la plasticité de l'acier doux peuvent être faits en traction ou en flexion. Les premiers sont élémentaires et je ne citerai que pour mémoire l'expérience maintenant classique de l'éprouvette à 3 branches rapportée au cours d'un précédent congrès.

Cette éprouvette, dans laquelle on avait créé des contraintes internes par le retrait d'une soudure bout à bout effectuée au milieu de la branche centrale, a été soumise à une traction extérieure suffisante pour provoquer un écoulement plastique dans la branche centrale déjà tendue par l'effort interne. Après suppression de la traction les contraintes internes avaient disparu grâce à la plasticité qui avait permis à la branche centrale de prendre l'allongement permanent nécessaire pour compenser le raccourcissement dû au retrait de soudure.

Ce n'est pas seulement par une détente interne que se manifeste l'effet favorable d'une déformation plastique locale. Celle-ci peut également améliorer la répartition des contraintes produites par les forces extérieures dans un ouvrage hyperstatique: un tel ouvrage est en effet caractérisé par des liaisons surabondantes, il peut donc être considéré comme constitué schématiquement par plusieurs éléments associés en parallèle pour concourir à la résistance de l'ensemble. Or, par suite de multiples imperfections, ces différents éléments sont toujours inégalement chargés, les uns l'étant trop, les autres pas assez.

Dans ces conditions, des sollicitations extérieures croissantes pourront provoquer des déformations plastiques locales dans les éléments les plus chargés sans que la résistance de l'ensemble soit nécessairement compromise, puisque l'augmentation de charge que les éléments plastifiés ne pourront plus

supporter se reportera automatiquement sur les éléments voisins jusqu'alors moins chargés.

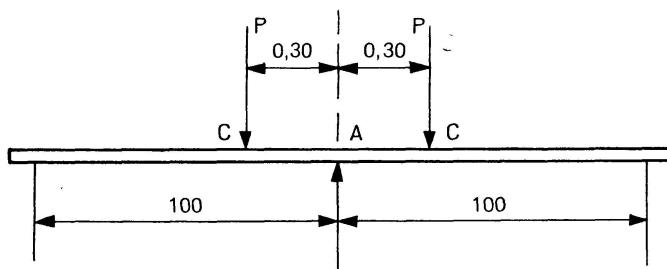
Le mécanisme d'une telle adaptation a fait l'objet d'une démonstration expérimentale précise pour une barre d'acier doux reposant sur 3 appuis simples et mise en flexion par deux charges concentrées croissantes.

Les caractéristiques du métal employé étaient les suivantes:

limite élastique	$L = 21 \text{ kg/mm}^2$
module d'élasticité	$E = 20900 \text{ kg/mm}^2$
charge de rupture	$R = 38 \text{ kg/mm}^2$
allongement de rupture	$A = 36 \%$

La section de la barre était un rectangle de 50 mm de hauteur et de 36 mm de largeur, ce qui correspondait à un moment d'inertie  $I$  de  $37,5 \text{ cm}^4$  et à un module d'inertie  $\frac{I}{v}$  de  $15 \text{ cm}^3$ .

Les 2 travées continues avaient chacune 1 m de longueur, quant aux deux charges  $P$ , elles étaient égales entre elles et placées symétriquement par rapport à l'appui central  $A$ . Tout le dispositif était donc symétrique par rapport à cet appui, ce qui procura, au cours de l'essai, un recouplement facile des mesures matérielles. Enfin, la distance des charges  $P$  à l'appui central a été fixée à 0,30 m de manière que le moment de flexion  $M_A$  dans la section  $A$  sur appui soit sensiblement plus grande que le moment  $M_C$  dans les sections  $C$  situées à l'aplomb des charges.



Ainsi disposée la barre à expérimenter figurait l'ouvrage hyperstatique inégalement chargé évoqué plus haut et les moments résistants  $M_A$  et  $M_C$  peuvent être considérés comme deux éléments associés en parallèle pour supporter les charges  $P$ . Ces trois grandeurs sont en effet liées par la relation:

$$0,7 M_A + M_C = 0,21 P$$

qui n'exprime rien d'autre que l'équilibre statique des moments et est, par conséquent, valable pour tout l'essai aussi bien dans l'état plastique que dans l'état élastique.

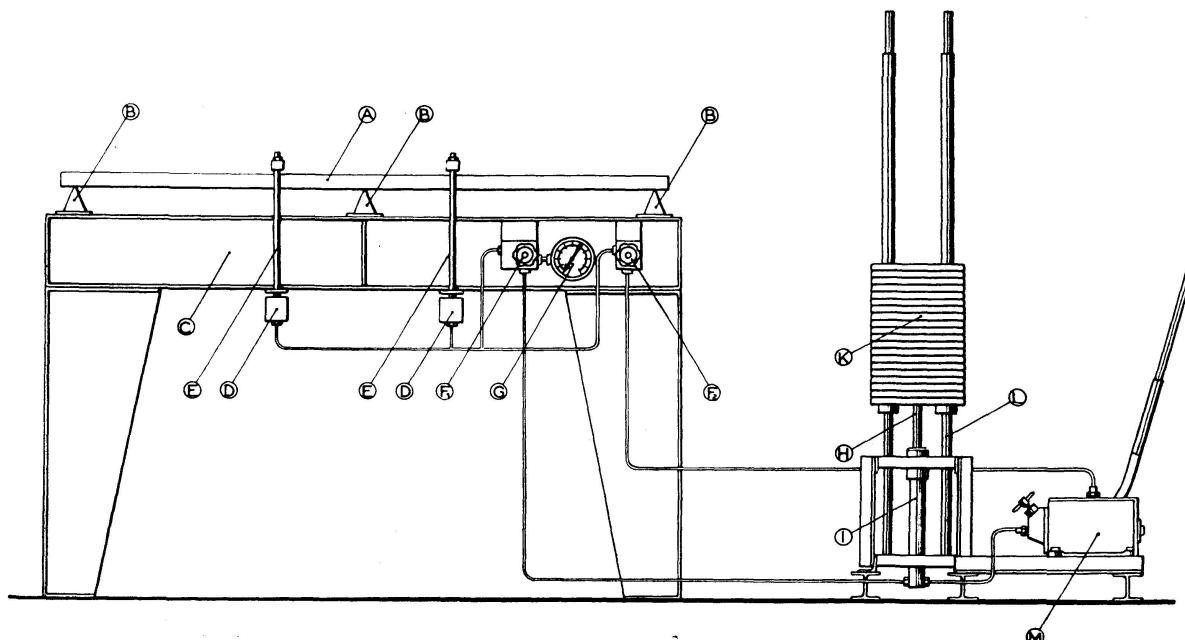
Cette relation montre que les moments  $M_A$  et  $M_C$  restent en quelque sorte complémentaires l'un de l'autre lorsque  $P$  augmente, mais deux phases successives sont à distinguer:

— tant que la limite élastique n'est atteinte nulle part, tout se passe conformément aux lois de la résistance des matériaux,  $M_A$  et  $M_C$  augmentent

linéairement avec  $P$ , leur rapport reste constant, la répartition des moments dans la barre ne change pas, en particulier le point de moment nul reste fixe.

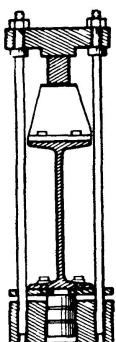
— dès que la section la plus chargée  $A$  subit un commencement de plastification, les moments n'augmentent plus linéairement avec  $P$ ,  $M_A$  accuse un fléchissement progressif qui est compensé par une augmentation corrélata-

Flexion élasto-plastique d'une barre hyperstatique en acier doux  
Dispositif de mise en charge



Legende

<i>A</i>	Barre à essayer	<i>G</i>	Manomètre
<i>B</i>	Appuis	<i>H</i>	Piston de l'accumulateur
<i>C</i>	Banc support	<i>I</i>	Cylindre
<i>D</i>	Vérins de charge	<i>K</i>	Charges tarées
<i>E</i>	Etriers	<i>L</i>	Glissières
<i>F<sub>1</sub></i>	Robinet de mise en charge	<i>M</i>	Pompe à main
<i>T<sub>2</sub></i>	Robinet de décharge		



Verin de charge

tive de  $M_C$ , le rapport  $\frac{M_A}{M_C}$  diminue, le point de moment nul se déplace vers le milieu de l'intervalle  $AC$ , en définitive tandis que  $P$  augmente, la répartition des moments se modifie dans un sens tel que la section la plus chargée  $A$  se décharge sur la section la moins chargée  $C$ , donc dans un sens favorable.

En fin de plastification les moments en  $A$  et en  $C$  sont égalisés et le point de moment nul se fixe au milieu de  $AC$ .

Tels sont les principaux faits qu'il s'agissait de mettre en lumière par l'expérience dont le principe vient d'être exposé.

Passons maintenant à la réalisation.

Le dispositif de mise en charge de la barre se composait des éléments suivants :

Un fer IPN de 260 mm formant banc sur lequel étaient fixés les 3 appuis, 2 vérins à huile identiques permettant d'appliquer sur la barre, par l'intermédiaire d'étriers, 2 charges égales et connues avec précision. Pour cela la pression d'huile était fournie par un accumulateur mis en charge au moyen d'une pompe à main. Cet accumulateur comportait un plateau coulissant sur des glissières verticales et sur lequel on pouvait placer des poids tarés de 20 kg. Le plateau reposait lui-même sur le piston d'un petit vérin à huile dont le cylindre communiquait par un tube avec les cylindres des 2 vérins de charge, le rapport des sections était de 5, de sorte qu'à un poids de 20 kg placé sur le plateau de l'accumulateur correspondait une charge de 100 kg sur chacun des vérins de charge. La charge  $P$  pouvait ainsi augmenter jusqu'à 4 tonnes par paliers successifs de 100 kg en restant rigoureusement constante pour chaque palier.

Enfin pour éliminer toute résistance parasite capable de fausser la valeur des charges appliquées sur la barre, les pistons des vérins avaient été soigneusement rodés dans leurs cylindres. De cette façon l'étanchéité entre piston et cylindre n'était assurée que par une pellicule d'huile sans l'interposition d'aucune garniture en cuir; les frottements, d'ailleurs variables avec la pression, auxquels donnent toujours lieu ces garnitures, étaient ainsi supprimés.

Le comportement de la barre au cours de sa flexion élasto-plastique a été suivi très exactement par de nombreuses mesures d'allongement effectuées à l'aide de jauge extensométriques à fil résistant collées sur les faces supérieure et inférieure de la barre. Les résultats de ces mesures ont en outre été illustrés par un examen photo-élastique de la zone centrale au cours de sa plastification. Cet examen a pu être réalisé très simplement, comme on le verra plus loin, au moyen d'un polaroïd et d'une plaquette biréfringente collée sur une des deux faces latérales de la barre.

Les „strain gauges“ avaient été disposés pour ausculter les sections suivantes:

- la section  $A$  placée à l'aplomb de l'appui central,
- les sections  $C$  placées à l'aplomb des charges,
- les sections  $B$  placées à 0,60 m de part et d'autre de l'appui central,
- les sections  $D$  placées à mi-distance entre l'appui central et les charges.

L'opération a consisté à faire augmenter  $P$  par paliers successifs de valeurs connues et à mesurer chaque fois l'allongement relatif  $\frac{dL}{L}$  de la fibre extrême dans les sections considérées. On en a déduit comme suit la variation des moments de flexion correspondants en fonction de  $P$ :

Tant que  $P$  demeura inférieur à 1765 kg environ, valeur pour laquelle la limite élastique est sur le point d'être atteinte à la fibre extrême de la section  $A$ , les moments de flexion dans les sections considérées découlaient directement de l'allongement relatif mesuré par la formule de la flexion simple:

$$M = E \frac{dL}{L} \cdot \frac{I}{v}$$

On obtint ainsi, pour les moments dans les sections *A*, *B*, *C*, *D*, 4 droites issues de l'origine et coïncidant très sensiblement avec celles que donne la résistance des matériaux.

Lorsque *P* dépasse la limite indiquée ci-dessus, la section *A* commence à se plastifier progressivement et l'allongement mesuré sur la fibre extérieure ne peut plus faire connaître le moment de flexion  $M_A$ , mais il est à remarquer qu'à cet instant les autres sections de la barre sont toujours dans le domaine élastique, en particulier il en est ainsi pour les sections *C*, d'où la possibilité de déterminer  $M_C$  en fonction de l'allongement  $\frac{dL}{L}$  mesuré,  $M_C$  étant connu par cette mesure on en déduit  $M_A$  par la relation

$$0,7 M_A + M_C = 0,21 P$$

Lorsque, *P* continuant à augmenter, la section *C* commence à son tour à se plastifier, la section *B*, qui reste élastique jusqu'à la fin de l'essai, est capable de donner  $M_B$  par la mesure de l'allongement  $\frac{dL}{L}$ , on en tire  $M_C$  par la relation  $M_C = \frac{7}{4} M_B$  puis  $M_A$  en fonction de  $M_C$  par la formule déjà citée plus haut.

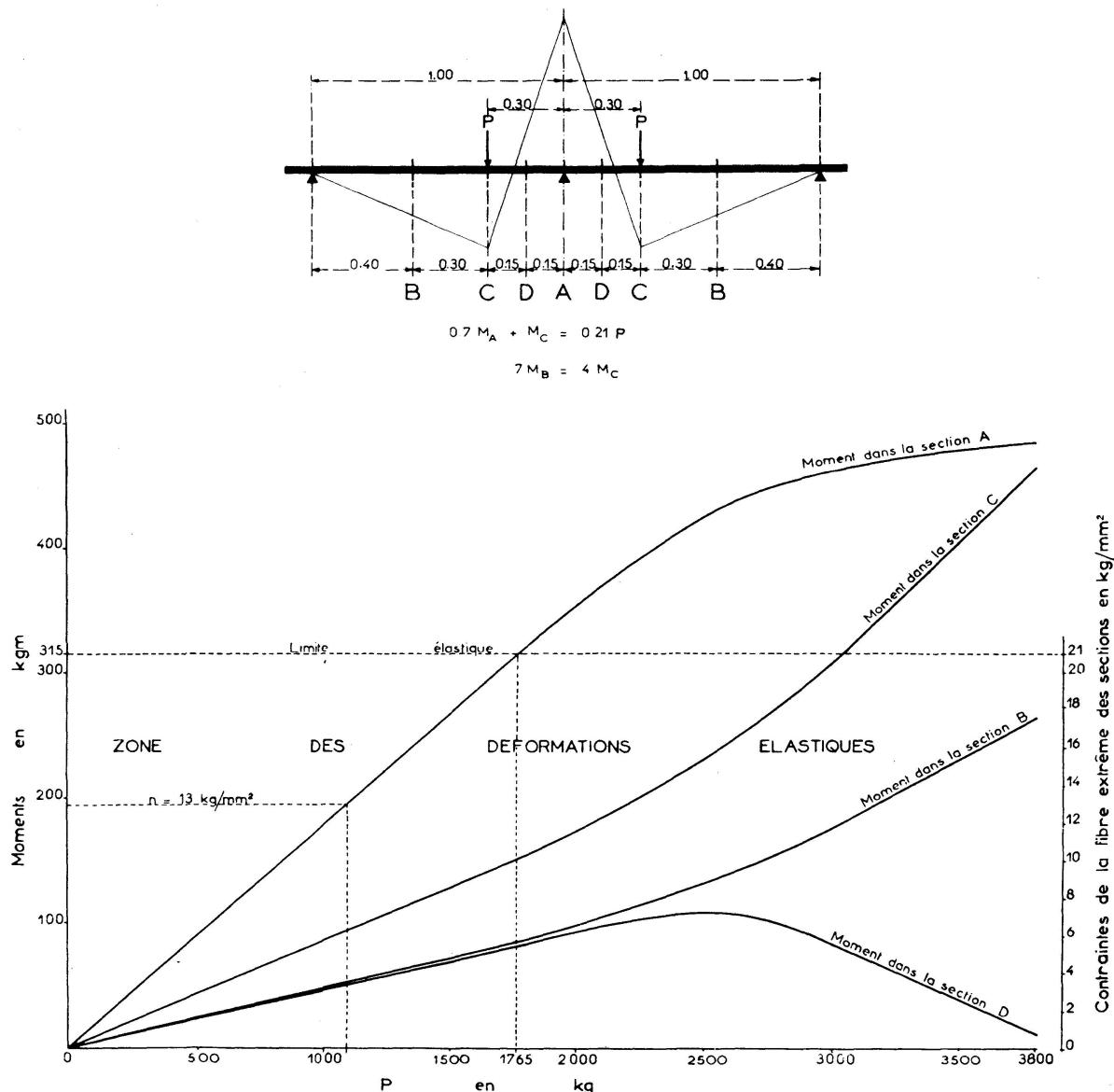
Cette méthode ainsi employée a permis de suivre, en fonction de la charge *P*, les variations des moments de flexion dans les sections *A*, *B*, *C*, *D*.

Les résultats obtenus sont consignés sur le graphique ci-contre où les faits signalés au cours de l'exposé apparaissent clairement:

On constate que, lorsque la limite élastique est atteinte dans la section la plus chargée, la résistance de l'ensemble de la barre est loin d'être épuisée pour autant. En effet si la charge tend à augmenter la répartition des efforts se modifie de telle manière que la résistance encore disponible dans les autres sections soit mise à profit pour soulager les parties surchargées; c'est ainsi que le supplément de charge que la section *A* ne peut plus supporter est automatiquement reporté sur la section *C*. Vers la fin de la plastification les moments dans ces deux sections tendent à s'égaliser tandis que le moment mesuré en *D*, milieu de *AC*, tend vers 0, le point *D* devenant alors le point de moment nul.

Quant aux contraintes, elles sont toujours limitées, même aux points les plus chargés, à la valeur de la limite élastique, soit environ  $21 \text{ kg/mm}^2$  pour l'acier employé, alors qu'un acier totalement dépourvu de plasticité aurait travaillé à des taux beaucoup plus élevés (plus de  $40 \text{ kg/mm}^2$  en *A* pour  $P = 3500 \text{ kg}$ ).

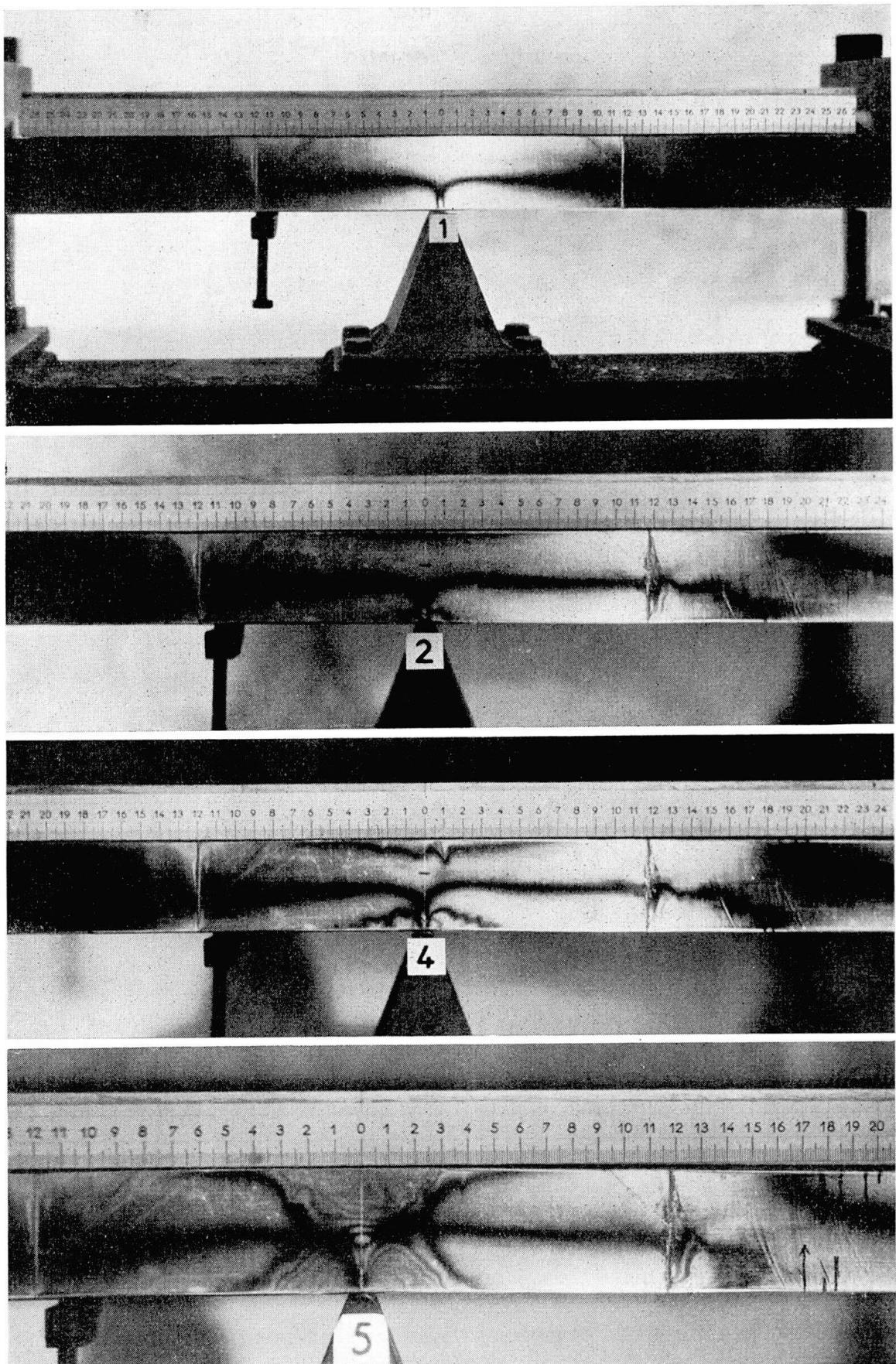
En réalité, avec les aciers doux à palier, ce n'est pas tant en fonction des contraintes produites aux points les plus chargés que devrait se déterminer la charge maxima acceptable, mais plutôt en fonction des déformations. Les mesures de flèche faites sur la barre étudiée ont montré que pour une charge *P* de 1800 kg, la flèche maxima n'atteint pas  $\frac{1}{800}$  de la portée, chiffre générale-



Flexion élasto-plastique d'une barre hyperstatique en acier doux  
Variation des moments de flexion en fonction de la valeur  $P$  de la charge

ment considéré comme admissible. Pour cette charge de 1800 kg la contrainte au point  $A$  atteignait  $21 \text{ kg/mm}^2$ , chiffre élevé sans doute, mais qui n'intéresse qu'une région très faible et pour laquelle le palier plastique de l'acier doux reste encore entièrement disponible; dans les autres sections le taux de travail était au maximum de  $10 \text{ kg/mm}^2$  en  $C$ . En se reportant à la règle habituelle qui prescrit de limiter à  $13 \text{ kg/mm}^2$  maximum la contrainte au point le plus sollicité, la barre essayée n'aurait pu supporter qu'une charge de 1100 kg, ce qui correspond manifestement à une médiocre utilisation du métal.

L'exemple choisi dans cette expérience a surtout un but démonstratif, il correspond, comme on l'a dit plus haut, à un cas particulier dans lequel on a accentué intentionnellement l'inégalité de charge, il démontre néanmoins que, dans la généralité des ouvrages hyperstatiques, la plasticité constitue un fac-



teur de sécurité qui devrait permettre d'augmenter dans une certaine proportion le taux de travail maximum à admettre aux points les plus sollicités.

Les photographies reproduites ci-contre donnent l'aspect photoélastique de la zone centrale de la barre à différents stades de son chargement. Elles ont été obtenues directement sur la pièce elle-même sans le secours d'aucune maquette en matière plastique. Pour cela on a collé sur une des faces latérales de la barre à étudier une plaquette photoélastique d'épaisseur bien calibrée qui suivait exactement les déformations de l'acier<sup>1)</sup>. Eclairée en lumière polarisée, cette plaquette traduisait par sa biréfringence les déformations de la pièce sous-jacente. La substance qui la constitue peut supporter des allongements de 1,5% sans que la biréfringence cesse d'être fonction linéaire des déformations, d'où son intérêt pour l'étude des états plastiques de l'acier doux.

D'une façon générale cette méthode photoélastique a sur les „strain-gauges“ l'avantage de rendre visible sur la pièce elle-même la totalité du champ de force; celui-ci apparaît sillonné de franges colorées caractéristiques qui désignent avec une grande netteté les parties les plus sollicitées de la pièce. De plus les lignes isoclines et isochromatiques permettant de déterminer la direction et la valeur des déformations principales, on a l'équivalent d'un extensomètre ponctuel et continu.

Sur les photographies prises au cours de l'essai on peut remarquer:

- dans la zone élastique les points d'inflexion qui sont situés à l'aboutissement des isoclines sur la surface extérieure de la barre.
- dans la zone plastique les lignes isochromatiques qui permettent de suivre exactement les progrès de la plastification; celle-ci, apparue sur les bords de la pièce, s'étend progressivement vers la fibre neutre lorsque la charge augmente et finit par occuper toute la section. Les discontinuités visibles en certains points sont dues à des glissements locaux dans le métal.

Certains auteurs n'ont pas hésité à déclarer que la très grande majorité des constructions métalliques ne sont stables que grâce à la plasticité de l'acier.

La démonstration expérimentale qui vient d'être décrite ne permet qu'une affirmation plus limitée, mais elle prouve que cette qualité de l'acier doux confère aux ouvrages métalliques la propriété extrêmement précieuse de pouvoir s'adapter et que, par le jeu de ce phénomène, le coefficient de sécurité des systèmes hyperstatiques, tel qu'il résulte de la pratique courante, est sensiblement augmenté.

Ne pas tenir compte de ce fait dans l'établissement des ouvrages revient à infliger une véritable pénalisation à la construction métallique.

Depuis quelques années certains auteurs se sont efforcés de considérer l'influence des déformations plastiques dans la détermination de la sécurité des ouvrages métalliques, mais pratiquement la plupart des constructeurs restent fidèles aux lois traditionnelles de l'élasticité pure. On peut toutefois

---

<sup>1)</sup> La plaquette a été fournie et collée par la Sté Jarre-Jacquin, 18, rue Pierre Curie à Paris.

signaler que les règles de l'utilisation de l'acier applicables aux travaux dépendant du M.R.L. autorisent une majoration de 10% du module de résistance  $\frac{I}{v}$  d'une pièce fléchie pour tenir compte des phénomènes d'adaptation plastique.

Il y a là une indication favorable et on peut concevoir une généralisation de cette tendance dans un sens qui donnerait moins de rigueur à l'ancienne notion de sécurité par rapport à la rupture, notion qui avait conduit à limiter à 13 kg/mm<sup>2</sup> le taux de travail de l'acier de construction courant.

Si au contraire, on tient compte de la plasticité qui constitue un véritable barrage aux pointes de tension, il paraît possible, en attendant une codification plus nuancée, d'admettre dans les parties les plus chargées d'un ouvrage susceptible de s'adapter, une limite de 17 kg/mm<sup>2</sup> pour le taux de travail calculé par les méthodes classiques de la résistance des matériaux.

Ainsi libéré d'une pénalité que les faits connus maintenant ne peuvent plus justifier, l'acier prendra dans la construction la place prépondérante qui lui revient.

### Résumé

La plasticité de l'acier doux est un facteur de sécurité pour les ossatures métalliques. Le mémoire présenté a pour objet principal de rendre cette idée plus familière aux constructeurs qu'elle ne semble l'avoir été jusqu'à présent.

L'auteur cite d'abord l'exemple d'un pont parisien qui a subi, au cours de son existence, des déformations accidentelles importantes sans que son aptitude à supporter les surcharges ait été altérée.

Il relate ensuite une démonstration expérimentale qui met en évidence le phénomène d'adaptation. Il a employé pour cela une barre d'acier doux reposant sur 3 appuis simples et supportant deux charges concentrées croissantes. La variation des moments de flexion en fonction de ces charges a été suivie avec précision et on a constaté que les moments sur appui et en travée tendent progressivement vers l'égalisation lorsque la charge augmente.

De plus, des photographies jointes au mémoire montrent l'aspect photo-élastique de la section sur appui au cours de l'essai, en particulier la progression des déformations plastiques lorsque la charge augmente apparaît très nettement.

En terminant l'auteur exprime l'avis que les possibilités de l'acier resteront mal utilisées tant que l'on persistera à ne pas tenir compte de ses aptitudes plastiques, il souhaite que les règlements futurs soient adaptés dans ce sens.

### Zusammenfassung

Die Plastizität des Flußstahls bildet einen Sicherheitsfaktor für die Bauwerke aus Stahl. Der vorliegende Beitrag hat seinen Hauptzweck darin, den Konstrukteuren diese Überlegung vertrauter zu machen, als sie es bisher zu sein schien.

Der Verfasser erwähnt das Beispiel einer Pariser Brücke, die während des Gebrauchs beträchtlichen zufälligen Deformationen unterworfen wurde, ohne dabei an Tragvermögen für die Auflasten zu verlieren.

Dann berichtet er ausdrücklich über einen Demonstrationsversuch, der diese Anpassungerscheinung deutlich aufdeckt. Er verwendete dafür einen Stahlstab mit Auflagerung auf 3 einfachen Abstützungen und unter zwei konzentrierten, wachsenden Lasten. Die Änderung der Biegungsmomente in Funktion dieser Lasten wurde genau verfolgt, wobei mit wachsender Last ein zunehmender Ausgleich der Stützen- und Feldmomente nachgewiesen werden konnte.

Im übrigen zeigen die der Arbeit beigefügten Photos das photoelastische Bild des Stützenquerschnitts im Lauf des Versuchs, worin der Fortschritt der plastischen Formänderung mit zunehmender Belastung sehr deutlich erscheint.

Zum Schluß vertritt der Verfasser die Auffassung, daß die Möglichkeiten des Stahls schlecht ausgenutzt bleiben, solange über die plastischen Fähigkeiten hinweggegangen wird, und er hofft, daß zukünftige Bestimmungen diesen Tatsachen angepaßt werden.

### **Summary**

The plasticity of mild steel forms a safety factor for steel structures. The above contribution has for its principal objective the making of constructional engineers more familiar with this consideration than they appear to have been hitherto.

The author mentions the example of a Paris bridge, which while in use was subjected to considerable accidental deformation, without thereby losing its capacity to carry the applied loading.

He then explicitly reports a test demonstration which clearly reveals the phenomenon of adaptation. For this he used a steel bar set up on three simple supports, under two concentrated, increasing, loads. The alteration of the bending moments as a function of these loads was rigorously followed through, and from this there could be demonstrated an increasing agreement between the support- and panel-moments with increasing load.

Moreover, the appended photos of the work show the photoelastic picture of the cross section at the supports, during the course of the experiment, wherein the progress of the plastic deformation with increasing loading is clearly apparent.

In conclusion the author advocates the proposition that there will continue to be a possibility of steel being inefficiently used so long as its plastic capacity is disregarded, and he hopes that future standards will be conditioned by these facts.