

Essai dynamique et de fatigue d'un ancien tablier de pont-rail en fer puddlé

Autor(en): **Marguerat, Léon**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **5 (1956)**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-6084>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

I b 4

Essai dynamique et de fatigue d'un ancien tablier de pont-rail en fer puddlé

Dynamic and fatigue tests with an old iron railway bridge

Schwingungs- und Ermüdungsversuche an einer alten schweisseisernen Eisenbahnbrücke

Ensaio dinâmico e de fadiga de uma antiga ponte de caminho de ferro de ferro pudelado

LÉON MARGUERAT

*Chef de la section des ponts à la Direction générale
des chemins de fer fédéraux suisses*

Berne

I. Essais sur les poutres maitresses

Des essais de charge statiques, poussés jusqu'à la rupture, ont déjà été exécutés sur des tabliers de ponts retirés du service. Mais l'essai statique ne donne qu'une image trompeuse, et trop favorable, de la résistance des ouvrages, surtout pour ceux qui sont soumis à un trafic intense, lourd et rapide, où la fréquence d'application des charges qui donnent les contraintes maxima est élevée.

Profitant des reconstructions en cours, les CFF suisses ont procédé en 1955/56 à un essai dynamique et de fatigue sur le tablier en fer puddlé du pont du Selderbach (ligne du Gothard). C'était un pont de construction classique, datant de 1882 (poutres à treillis en croix de 16 m de portée et voie inférieure unique). Le tablier a été transporté d'une pièce à la station d'Amsteg, où eurent lieu les essais.

Le *principe de l'essai* consistait à superposer à une charge statique donnée une pulsation également connue et contrôlée par des mesures directes. En jouant sur la charge statique et sur la pulsation, on a pu faire varier les contraintes en un point donné entre un maximum et un minimum; la pulsation était voisine de la fréquence propre de l'ouvrage.

Dans la 1^{ère} phase (essai dynamique) la pulsation donnait ± 10 ou ± 20 % de la charge statique.

Dans la 2^{ème} phase (essai de fatigue), la charge statique a été diminuée et la pulsation augmentée, de manière à obtenir des sollicitations limites comparables à celles du calcul.

Le but de l'essai dynamique était de déterminer si des variations de contraintes de l'ordre de grandeur de celles provoquées auparavant dans l'ouvrage en service par les actions dynamiques avaient une influence fâcheuse.

L'essai a été exécuté en 4 étapes, avec un million de pulsations chacune. Dans les trois premières étapes, la pulsation était de ± 10 % de la charge statique. Celle-ci a été augmentée progressivement et donnait au centre de gravité de la membrure inférieure A les valeurs indiquées dans la figure 1.

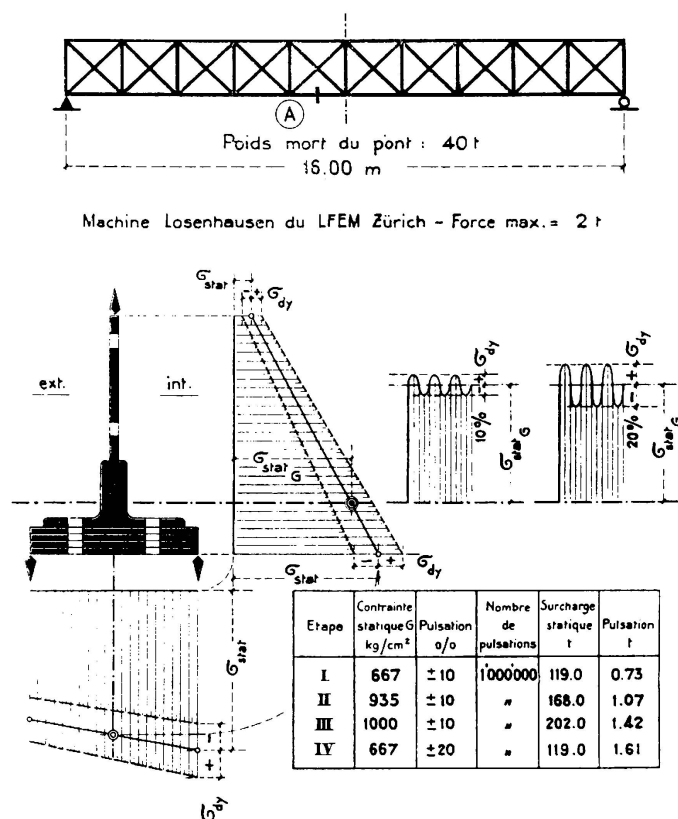


FIG. 1. Essai dynamique — contraintes nettes dans la membrure inférieure centrale

Dans la 4^e étape, la charge statique a été abaissée, car on était à la limite de la capacité de la machine, pour pouvoir porter la pulsation à ± 20 %.

La charge était réalisée par six tenders remplis d'eau et par des poids spéciaux. La machine pulsante était celle du Laboratoire fédéral de Zurich.

L'essai à la fatigue a pu être réglé de telle manière que la sollicitation nette minimum au centre de gravité de la membrure inférieure centrale (voir fig. 2) correspond environ à l'effet du poids mort, le maximum au même point atteignant ~ 1000 kg/cm² (rapport $\frac{A}{B} = + 0,12$). On

était ainsi à la limite de puissance de la machine

pulsante, la charge, le pont et le terrain absorbant beaucoup d'énergie. La surcharge consistait en deux tenders remplis de sable, des poids en plomb et la machine pulsante, au total 114 tonnes.

La machine Losenhausen de 2 tonnes de force du Laboratoire fédéral de Zurich étant trop faible, nous avons fait appel, pour l'essai de fatigue,

au chemin de fer fédéral allemand, qui a aimablement mis sa machine de 12 tonnes à notre disposition.

Après 735 000 pulsations, exécutées en été 1955, il fallut interrompre l'essai par suite d'une avarie de la machine. Il fut repris en février 1956 et se poursuivit par basse température (entre -5° et -25°) Après 1 640 000 nouvelles pulsations (au total 2 375 000), la diagonale tendue du 4^e panneau se rompit à l'attache supérieure (point B, voir fig. 3). On remarquera que cette diagonale était la plus défavorablement sollicitée des diagonales tendues, au point de vue des efforts secondaires, car elle était constituée par des fers L disposés d'un seul côté du plan de la poutre, alors que les diagonales tendues des trois panneaux extrêmes étaient formées de doubles fers plats disposés symétriquement.

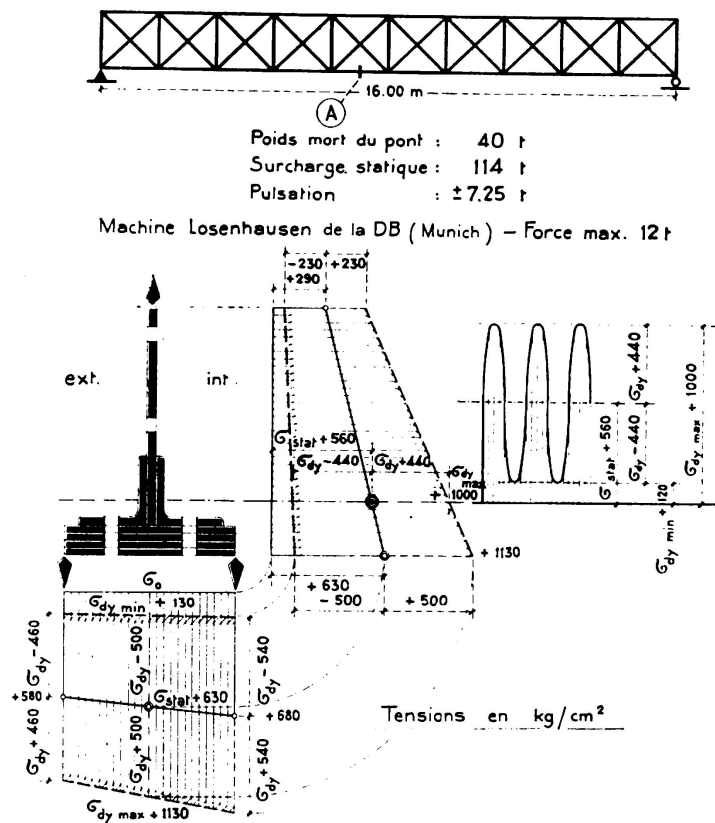


FIG. 2. Essai à la fatigue — contraintes nettes dans la membrure inférieure centrale

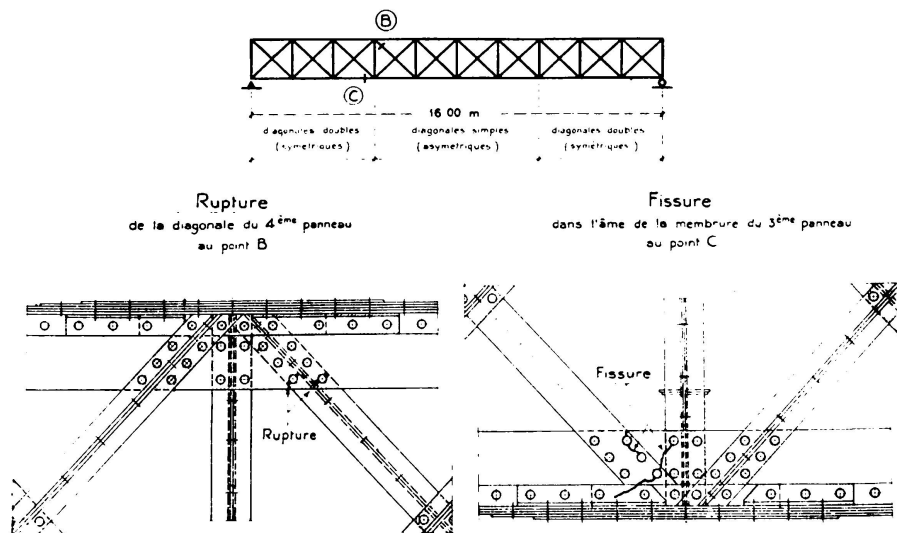


FIG. 3. Essai à la fatigue — emplacement des fissures

Un examen du pont, effectué après cette rupture, révéla alors des fissures dans l'âme de la membrure inférieure de la même poutre (point C).

Il n'est pas possible de dire si les fissures de la membrure sont antérieures ou postérieures à la rupture de la diagonale.

Une série de mesures nous a permis de reconstituer les contraintes de rupture.

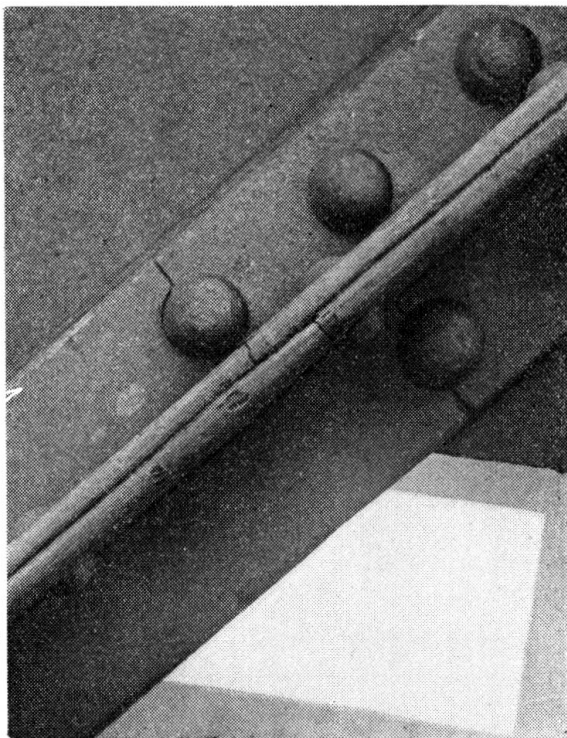


FIG. 4. Rupture de la diagonale

Dans la *diagonale* (voir fig. 6) les contraintes extrêmes nettes au centre de gravité, en pleine barre, étaient de $+ 80$ et $+ 800$ kg/cm². Mais les efforts secondaires dus aux excentricités et à la rigidité des

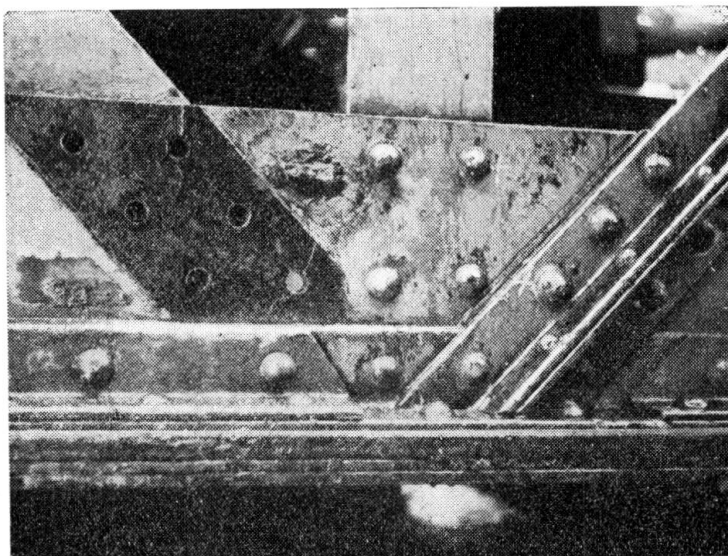


FIG. 5. Fissures dans l'âme de la membrure inférieure

noeuds, notamment le fait que la diagonale était à simple section, ont provoqué à l'attache une contrainte d'arête de 1590 kg/cm^2 , bien entendu sans les pointes de tensions au bord des trous de rivets.

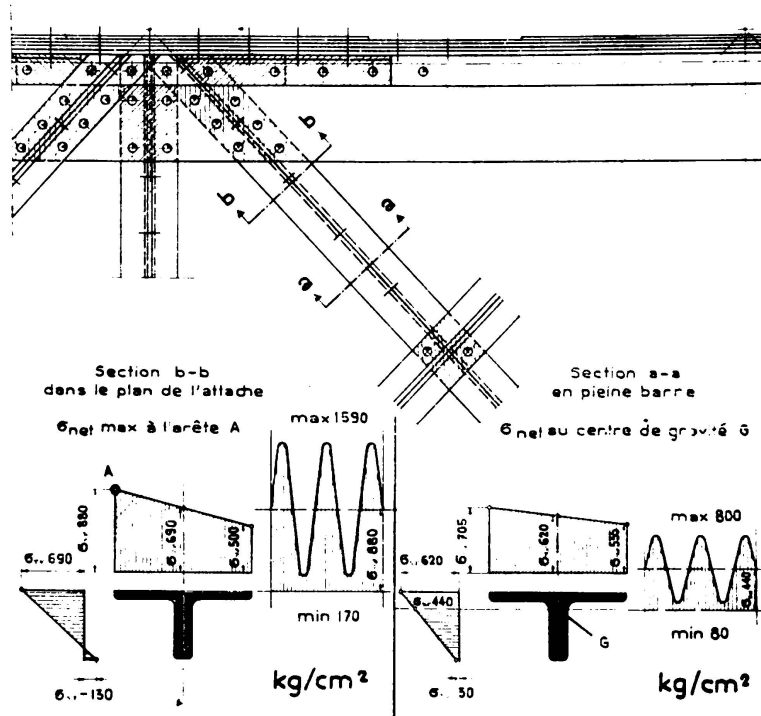


FIG. 6. Essai à la fatigue — contraintes de rupture dans la diagonale

Pour la *membrure inférieure* fissurée, les conditions étaient les suivantes (voir fig. 7) :

- Contraintes extrêmes nettes au centre de gravité, en pleine barre (section a - a) : 170 resp. 930 kg/cm^2 .
- Contraintes extrêmes nettes à la fibre supérieure de l'âme au noeud (section b - b) : 220 resp. 1630 kg/cm^2 .

Les *essais de matériaux* exécutés au LFEM à Zurich (voir fig. 8) ont montré que ce fer puddlé était de qualité courante. La résistance à l'endurance de la barre perforée (1500 kg/cm^2) coïncide remarquablement avec les contraintes de rupture mesurées sur l'ouvrage.

II. Essais sur les longerons

Les longerons étaient en acier 37 car ils avaient été posés en 1918 à titre de renforcement de l'ouvrage. Ils consistaient en profilés à larges ailes, profil I B 24, encaissés dans les entretoises et fixés à celles-ci par une rivure d'âme. Les ailes, interrompues, étaient entaillées aux extrémités. Nous avons profité de ces essais pour étudier le comportement de ce type de longerons (sans continuité), qui constitue toujours un point délicat des ponts métalliques.

Les essais sur les longerons ont été exécutés de deux manières :

- 1° – Charge statique avec superposition d'un choc dans le voisinage de l'attache ; fréquence des chocs : ~ 4 par seconde.
- 2° – Charge statique avec superposition d'une pulsation (4,4 Herz) au milieu de la portée.

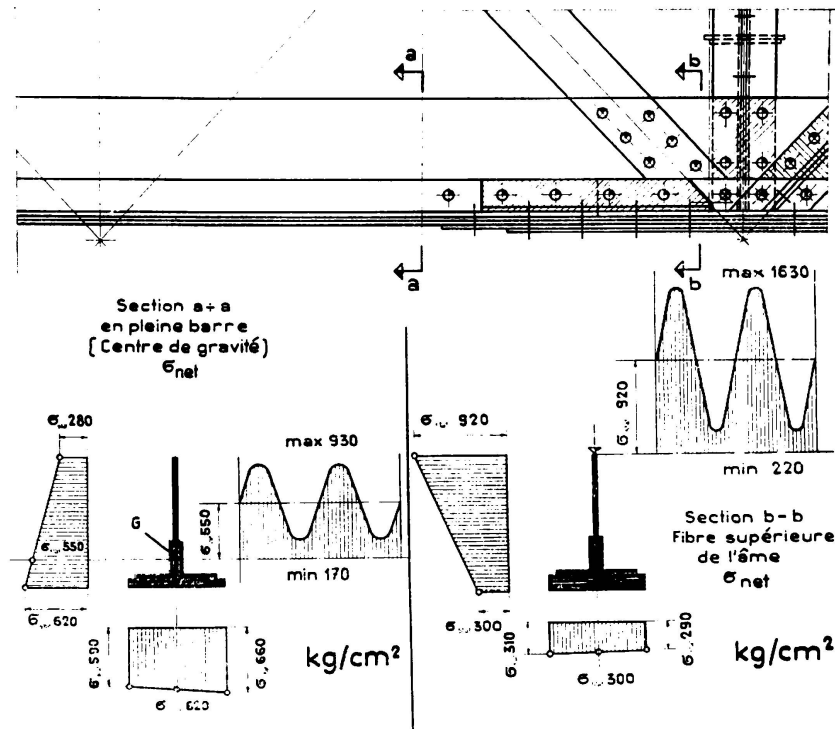


FIG. 7. Essai à la fatigue — contraintes de rupture dans la membrure inférieure

Les résultats sont indiqués dans la fig. 9.

L'essai au choc devait reproduire l'effet des méplats des roues. Il a été un peu brutal, par le fait qu'il a fallu frapper directement le longeron et non le rail. La fissure s'est produite très rapidement (225 000 chocs). Les chocs étaient réalisés à l'aide d'un marteau pneumatique. La contrainte maximum de 690 kg/cm² mesurée au milieu du longeron provient pour 240 kg de la charge statique et pour 450 kg du choc.

Dans l'essai par pulsation, la fissure est apparue après 1 700 000 pulsations. La sollicitation maximum au milieu de la portée n'était que de 520 kg/cm² (soit 400 kg/cm² dus à la charge statique et ± 120 kg/cm² dus à la pulsation).

Près de l'extrémité, nous avons mesuré les contraintes σ_x et τ , d'où l'on a déduit la contrainte de comparaison σ_R d'après la théorie de la constance du travail de déformation (Hencky - van Mises).

Dans les deux cas, les fissures ont eu la même allure que celles maintes fois constatées sur des ouvrages en service. L'essai a donc confirmé la faiblesse de ce genre d'attache.

CONCLUSIONS

 1° – *Essai dynamique des poutres maîtresses*

A la suite des 4 millions de pulsations correspondant aux indications de la fig. 1, aucune dégradation notable de l'ouvrage n'a été constatée.

 2° – *Essai des poutres maîtresses à la fatigue*

Cet essai a été fait dans des conditions évidemment sévères. La température était basse et, surtout, la fréquence de la pulsation (env. 3 par seconde) était de beaucoup supérieure à celle du passage, sur l'ouvrage

	Diagonale comprimée N° 9 en fer puddlé avant les essais	Diagonale tendue N° 6 en fer puddlé après rupture
Résistance à la traction β_z	37.7 kg/mm ²	37.3 kg/mm ²
Limite app. d'élasticité	25.9 kg/mm ²	25.2 kg/mm ²
Allongement λ_s	19.8 %	19.5 %
Coeff. de qualité = $\frac{\beta_z \cdot \lambda}{100}$	7.6	7.3
Résilience à t = + 20° C	2.94 kgm/cm ²	3.6 kgm/cm ²
à t = 0°	1.90 "	2.9 "
à t = - 20°	1.41 "	2.1 "
Résistance à la fatigue - 0 / max - sur barre non perforée - sur barre perforée	22.7 kg/mm ² —	23.4 kg/mm ² 15.0 "

FIG. 8. Résultats des essais de matériaux

en service, des charges engendrant les contraintes maxima (env. 150 par jour). N'oublions pas d'autre part, que ce tablier avait été en service pendant 70 ans et qu'on lui avait fait subir l'essai des longerons et l'essai dynamique des poutres.

Nous pouvons toutefois tirer de l'essai de fatigue les conclusions suivantes :

- 1° – Dans les conditions indiquées ci-dessus, le métal s'est rompu sous une traction répétée variant entre un minimum de 200 kg/cm² environ et un maximum de l'ordre de 1500 à 1600 kg/cm².
- 2° – Cette sollicitation effective de rupture, qui englobait les efforts secondaires, correspondait, dans le cas particulier, à une sollicitation nette beaucoup plus modeste au centre de gravité des

barres. En fait, la diagonale a cédé sous une sollicitation répétée qui n'a pas dépassé 800 kg/cm² au centre de gravité, en pleine barre. Ceci montre le rôle que peuvent jouer les efforts dits «secondaires» dans la résistance à l'endurance d'un ouvrage; on

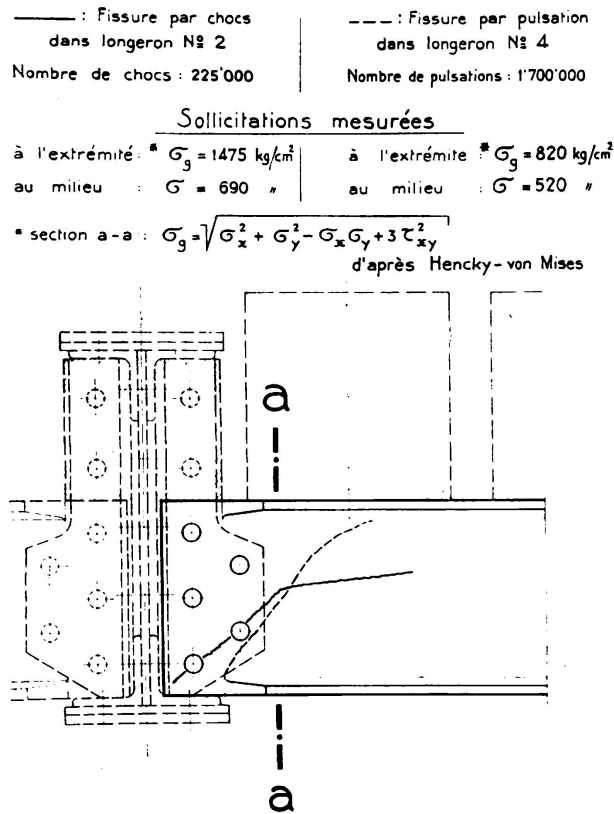


FIG. 9. Essai des longerons

ne doit donc pas se contenter, comme on le fait trop souvent, de calculer les contraintes au centre de gravité. Il faut tenir compte des efforts secondaires dans toute la mesure du possible, sinon les contraintes d'arête risquent de dépasser la limite d'endurance, surtout si les contraintes admissibles sont élevées.

3° - Essais sur les longerons en Ac. 37

Les longerons attachés aux entretoises par une rivure d'âme, sans semelle de continuité, sont très sensibles aux chocs et aux efforts répétés, à cause des entailles; ils se fissurent facilement dans la région de l'attache.

RÉSUMÉ

Les Chemins de fer fédéraux suisses ont procédé à des essais dynamiques et de fatigue sur un tablier de pont-rail en fer puddlé, à treillis, retiré du service.

L'ouvrage s'est révélé pratiquement insensible à une variation de $\pm 10\%$ de la charge dans le cas d'une contrainte de 1000 kg/cm^2 au centre de gravité de la membrure inférieure, et à une pulsation de $\pm 20\%$ pour une contrainte statique de 667 kg/cm^2 (essai dynamique).

Par contre, la rupture s'est produite en faisant varier les contraintes *d'arête* entre 200 kg/cm^2 environ (action du poids mort) et un maximum de 1500 à 1600 kg/cm^2 (essai de fatigue); cette valeur a coïncidé avec la résistance à l'endurance de la barre perforée obtenue en laboratoire. Elle correspondait, pour la diagonale rompue, à une contrainte nette au centre de gravité de 800 kg/cm^2 seulement. Ceci montre que les efforts secondaires jouent un rôle important et qu'il faut en tenir compte dans les calculs.

Les longerons à ailes entaillées, sans semelles de continuité, se fissurent facilement dans la région de l'attache.

S U M M A R Y

The swiss Federal Railways have carried out dynamic and fatigue tests with a superseded iron truss bridge.

The bridge remained practically unaffected by load variations of $\pm 10\%$ for a stress of 1000 kg/cm^2 at the centre of gravity of the lower girder and by a pulsation of $\pm 20\%$ for a static stress of 667 kg/cm^2 (dynamic test).

Collapse took place for edge stresses varying from approximately 200 kg/cm^2 (action of the deadweight) to a maximum of 1500 to 1600 kg/cm^2 (fatigue test); this value is the same as the long time resistance obtained through tests with a drilled bar. It corresponds, in the case of the broken diagonal bar, to a net stress of only 800 kg/cm^2 at the centre of gravity, thus showing the importance of secondary efforts that must be taken into account in the design.

Stringers with cut flanges, without continuity plates, crack easily in the vicinity of the assembly.

ZUSAMMENFASSUNG

Die schweizerischen Bundesbahnen haben Schwingungs- und Ermüdungsversuche an einer alten schweisseisernen Eisenbahnbrücke in Fachwerkkonstruktion angestellt.

Das Tragwerk zeigte sich praktisch unempfindlich für eine Variation der Last von $\pm 10\%$ im Falle einer zentrischen Spannung von 1000 kg/cm^2 im Untergurt, bzw. einer Schwingung von $\pm 20\%$ bei einer statischen Spannung von 667 kg/cm^2 (Schwingungsversuch).

Hingegen trat der Bruch ein, als die Randspannungen zwischen ca. 200 kg/cm^2 (aus Eigengewicht) und einem Maximum bei 1500 - 1600 kg/cm^2 (Ermüdungsversuch) variiert wurden; diese Resultate entsprachen dem im Laboratorium erzielten Wert bei Ermüdungsversuchen an einem gelochten Stab. Die Ermüdungs- und Bruchspannung entsprach bei der

gerissenen Diagonale einer zentrischen Spannung von lediglich 800 kg/cm². Dies zeigt, dass die Nebenspannungen eine bedeutende Rolle spielen und ihnen Rechnung getragen werden muss.

Die Längsträger mit eingeschnittenen Flanschen, ohne Stosslamellen, neigen leicht zur Rissbildung in der Gegend der Anschlüsse.

RESUMO

Os Caminhos de ferro federais suíços, procederam a ensaios dinâmicos e de fadiga com uma ponte de caminho de ferro triangulada, de ferro pudelado, fora de serviço.

A ponte ficou praticamente insensível a uma variação de carga de $\pm 10\%$, para uma tensão no centro de gravidade do banzo inferior de 1000 kg/cm² e a uma pulsação de $+ 20\%$ para uma tensão estática de 667 kg/cm² (ensaio dinâmico).

A rotura produziu-se para tensões nas fibras mais afastadas variando entre cerca de 200 kg/cm² (ação do peso próprio) e um máximo de 1500 a 1600 kg/cm² (ensaio de fadiga); este valor coincide com a resistência a longo prazo de uma barra perfurada obtida em laboratório. Corresponde, no caso da diagonal que partiu, a uma tensão no centro de gravidade de apenas 800 kg/cm², o que mostra a importância dos esforços secundários que convém não desprezar nos cálculos.

As longarinas com abas cortadas, sem chapa de continuidade fissuraram-se com facilidade na zona de ligação.