

# Fatigue des constructions métalliques soudées

Autor(en): **Hirt, Manfred A. / Jacquemoud, Joseph**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **103 (1977)**

Heft 17: **L'institut de la construction métallique de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73257>

## **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.

charge lorsqu'il s'agit d'un essai de charge d'un ouvrage en service. Les valeurs sont imprimées sur papier et perforées sur un ruban, ce qui permet le dépouillement par ordinateur.

## 7. Conclusion

Le laboratoire de l'ICOM dispose actuellement de l'infrastructure expérimentale nécessaire à l'étude du comportement réel des structures, que ce soit celui des ouvrages (ponts et bâtiments) en construction ou en service ou celui des éléments

de structures étudiés en laboratoire. Les moyens à disposition, essentiellement le simulateur, permettent de réaliser des essais à grande échelle et sont uniques en leur genre en Suisse à l'heure actuelle. Ils donnent la possibilité de mener à bien une recherche telle que celle sur la résistance à la fatigue des poutres en âme pleine composées soudées. Ils permettront dorénavant de réaliser la partie expérimentale de deux autres domaines de recherches importants à l'ICOM : la stabilité des structures métalliques tridimensionnelles et le comportement des constructions mixtes acier-béton.

# Fatigue des constructions métalliques soudées

par MANFRED A. HIRT et JOSEPH JACQUEMOUD

## 1. Introduction

Une détérioration par fatigue des éléments métalliques d'une structure peut intervenir quand ils sont soumis à des charges fréquemment répétées, même si les contraintes maximales restent largement en dessous de la limite élastique du matériau. L'endommagement se manifeste par l'apparition de fissures caractéristiques en certains points particuliers de ces éléments. Le processus de fatigue peut être divisé en trois phases, selon la dimension de la fissure. La figure 15 donne schématiquement cette évolution de la fissure en fonction du nombre des cycles de chargements et déchargements successifs.

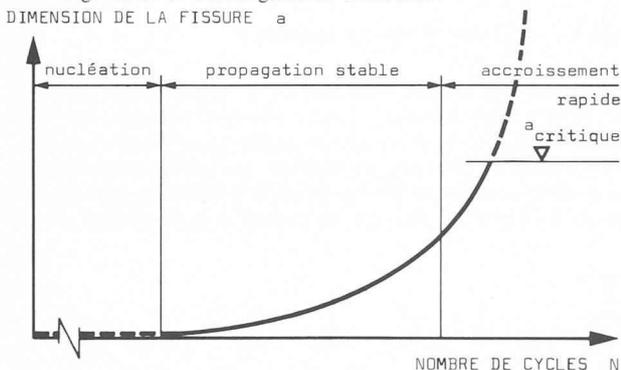


Fig. 15. — Trois phases de propagation d'une fissure de fatigue.

La première phase représente la nucléation de la fissure. Elle peut être très longue et consiste en des modifications microscopiques aboutissant à la formation d'une macro-fissure ; la dimension de la fissure n'est pas facilement définie durant cette période.

La deuxième phase est une propagation continue et stable de la fissure dont le taux d'accroissement est une fonction exponentielle de la dimension  $a$  de la fissure. Cette phase peut être décrite analytiquement par les méthodes de la mécanique de la rupture appliquées au problème de la fatigue.

Dans la dernière phase, on observe un accroissement rapide de la fissure conduisant soit à la rupture ductile de la section nette restante, soit à une rupture fragile au moment où la fissure atteint une dimension critique  $a_{cr}$ . Il est évident que la conception d'une structure doit être telle que ce risque de rupture fragile prématurée soit écarté. Cette troisième phase de la propagation, de même que le problème de la rupture fragile, peuvent être traités par les méthodes de la mécanique de la rupture, à condition que l'on tienne compte des fortes plastifications locales dans le matériau à la pointe des fissures.

L'objectif de notre recherche à l'Institut de la construction métallique est d'apporter une contribution à la détermination analytique de la résistance à la fatigue ; ceci doit se faire en tenant compte des conditions particulières que présentent les constructions métalliques du génie civil (mode de fabrication, sollicitations par les charges aléatoires du trafic).

## 2. Conditions particulières aux constructions métalliques du génie civil

Les constructions métalliques du génie civil qui peuvent présenter des risques de fatigue sont essentiellement les ouvrages

d'art tels que les ponts-rails, les ponts-routes, les portiques et tous autres ouvrages susceptibles d'être soumis à des charges mobiles importantes et fréquemment répétées. Il s'agit donc de constructions soudées pour la plupart, ayant de grandes dimensions et comportant des discontinuités géométriques marquées. Leur mise en œuvre se fait souvent dans des conditions de chantier difficiles. Ainsi la qualité atteinte de la construction, si elle est suffisante du point de vue de la résistance statique, n'est pas optimale en ce qui concerne la résistance à la fatigue.

Par conséquent, il est indispensable de vérifier la sécurité de telles structures vis-à-vis du danger de fissuration par fatigue en tenant compte des charges réelles du trafic. Pour cela, la résistance à la fatigue doit être établie expérimentalement sur des éléments comportant des détails constructifs réels. Il est évident que les essais sur des éprouvettes de petites dimensions usinées finement ne sont pas représentatifs à cause de la présence, dans les éléments réels,

- de défauts d'homogénéité,
- de discontinuités géométriques dues aux détails constructifs,
- de contraintes résiduelles importantes.

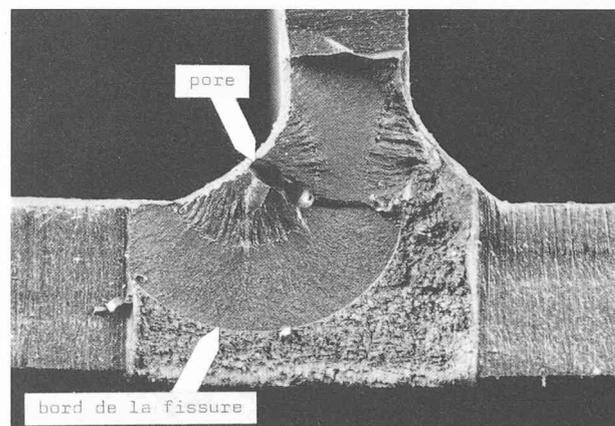


Fig. 16. — Fissure de fatigue provenant d'un pore dans un cordon d'angle [1].

Les défauts d'homogénéité dans les constructions soudées, qui peuvent être à l'origine d'une fissure, sont par exemple des pores dans les cordons de soudure (fig. 16), des inclusions de laitier, des micro-fissures de retrait à la racine et aux extrémités des cordons de soudure [1]. Ces défauts diminuent considérablement la durée de vie de l'élément de structure en supprimant en grande partie ou totalement la première phase de la propagation, la période de nucléation.

La présence de détails constructifs provoque de brusques changements de sections. Ceux-ci introduisent localement des concentrations de contraintes considérables, comme le montre la figure 17. Le rapport de la contrainte mesurée à la contrainte nominale est, dans cet exemple, d'environ 2,3 au voisinage de la racine de la soudure transversale à l'extrémité de la semelle de renfort [2]. Cette amplification des contraintes à l'endroit même où se trouve déjà un défaut d'homogénéité réduit considérablement la durée de vie.

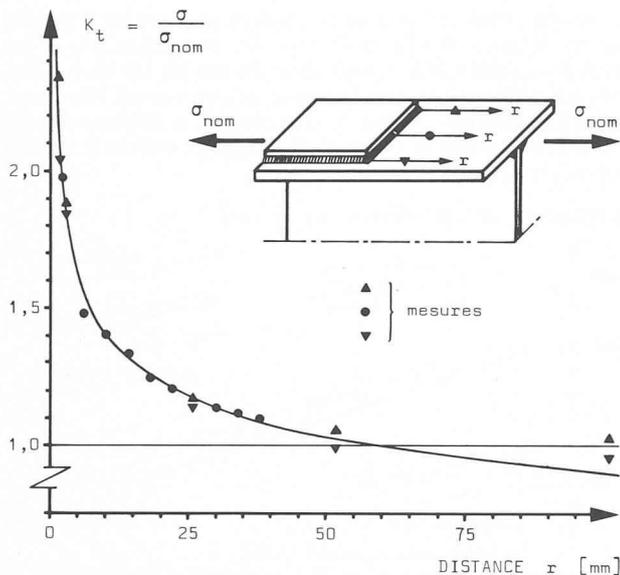


Fig. 17. — Allure des contraintes au voisinage d'une extrémité de semelle de renfort [2].

L'existence de contraintes résiduelles, conséquence du soudage, de l'oxycoupage ou du laminage des éléments de construction, est sans influence sur la résistance statique pour autant que le matériau soit ductile et que les problèmes de stabilité soient exclus. En revanche, l'influence sur le comportement à la fatigue peut être très grande. La figure 18 montre l'exemple d'une poutre composée soudée à partir de tôles oxycoupées. On remarque des contraintes résiduelles de traction voisines de la limite élastique  $\sigma_f$  à la jonction âme - aile et aux bords des ailes oxycoupées. De ce fait, les défauts d'homogénéité, pores dans les soudures et autres, se trouvent toujours dans un champ de contraintes de traction très élevées, même si les efforts extérieurs sont faibles [3].

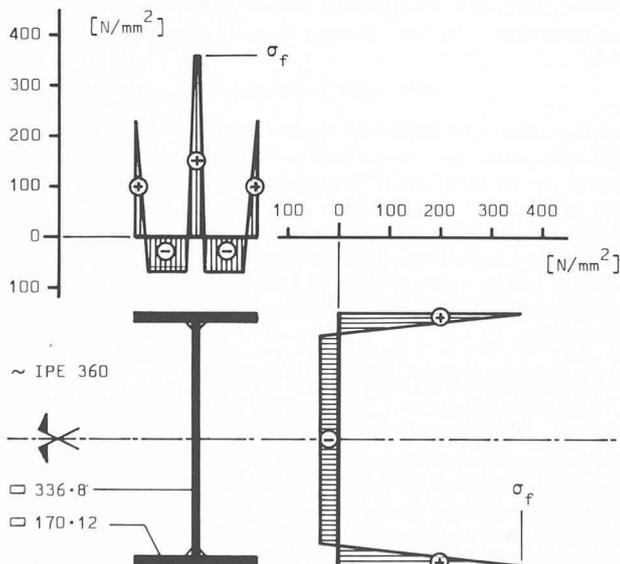


Fig. 18. — Schéma de la distribution des contraintes résiduelles dans un profil composé soudé en acier Fe 510 [3].

Etant donné les trois conditions particulières énoncées ci-dessus, on peut conclure qu'il n'existe pas de corrélation directe entre la résistance à la fatigue d'une éprouvette usinée, de petites dimensions, et celle des structures soudées du génie civil. Un très grand nombre d'essais [4], [5], [6] est aujourd'hui à disposition pour définir la résistance d'éléments de construction comportant des détails constructifs. Précisons cependant que ces résultats ont été obtenus au moyen de sollicitations de forme sinusoïdale.

Ce type de sollicitations (fig. 19 a) a l'avantage d'être défini par deux paramètres indépendants seulement, par exemple la contrainte minimale  $\sigma_{min}$  et la différence de contraintes  $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ , et de plus, il peut être reproduit fidèlement et simplement par des machines d'essais conventionnelles (fig. 3). En revanche, il ne correspond qu'à un certain nombre de sollicitations réelles (fig. 19 b et c) des ouvrages d'art, qui sont quelconques.

Afin de représenter valablement la réalité, il faut donc déterminer les charges de service des ouvrages, soit, pour les ponts, les charges réelles du trafic routier et du trafic ferroviaire. L'établissement de modèles de charges est nécessaire d'une part pour obtenir des résultats expérimentaux sous des spectres de charges, d'autre part pour vérifier à la fatigue les éléments de construction ; sans ce dernier point, toute vérification serait illusoire, étant donné que les charges définies dans les normes SIA sont prévues pour un dimensionnement à la résistance ultime.

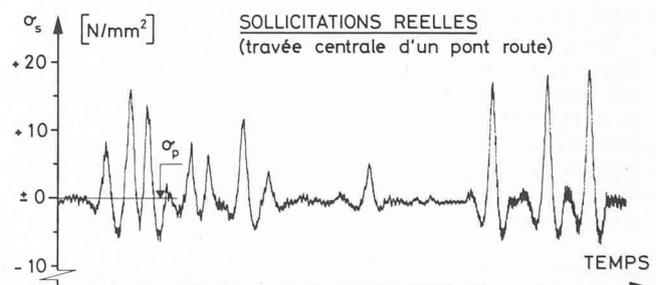
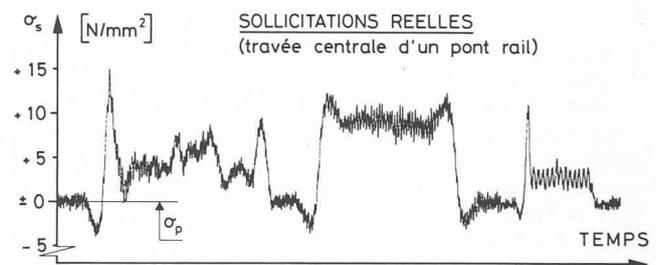
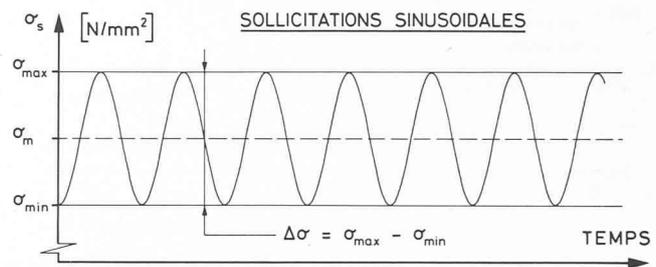


Fig. 19. — Comparaison de sollicitations contrôlées sinusoïdales et de sollicitations variables dues au trafic réel.

### 3. Résistance sous charges sinusoïdales

Les premiers essais d'éprouvettes représentatives des conditions spécifiques au génie civil ont été effectués dès 1967 à l'Université Lehigh (USA), sur des poutres dont les dimensions correspondent à des IPE 360 de 3 m de portée ; plusieurs centaines de poutres laminées, composées soudées, munies ou non de détails constructifs ont été testées jusqu'à la ruine par fissuration [4], [5]. L'étude détaillée et l'analyse statistique des résultats ont permis d'énoncer les cinq règles fondamentales suivantes régissant la résistance à la fatigue :

1. La différence des contraintes nominales  $\Delta\sigma$  calculée au droit de la fissure est seule déterminante pour la durée de vie, quelle que soit la contrainte minimale  $\sigma_{min}$ . Par conséquent, la vérification à la fatigue se fera avec les seules charges de trafic.
2. Le type de détail constructif joue un rôle prépondérant sur la résistance à la fatigue.

- La nuance de l'acier de construction a une influence négligeable sur la durée de vie.
- Les résultats d'essais peuvent être représentés par une loi de régression :

$$N = C \Delta\sigma^{-m}, \quad (1)$$

qui est une droite de pente voisine de 3 dans le diagramme logarithmique de la figure 20 ; cette loi est vérifiable analytiquement à l'aide des méthodes de la mécanique de la rupture [3].

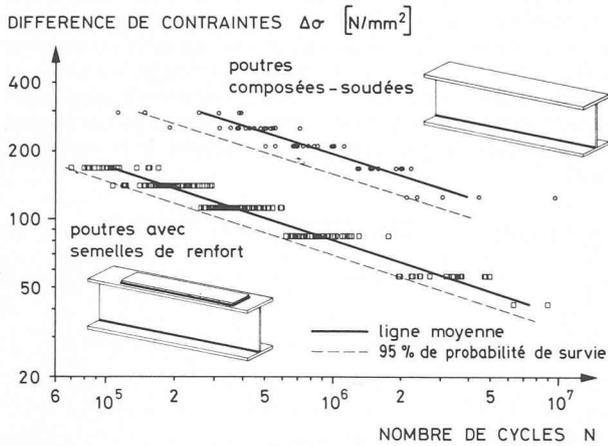


Fig. 20. — Représentation graphique des résultats d'essais pour deux détails constructifs [4].

- La limite de fatigue  $\Delta\sigma_D$  est différente pour chaque type de détail constructif ; elle correspond à un nombre de cycles souvent supérieur à  $2 \cdot 10^6$ .

En ce qui concerne les résultats des éléments soudés, le détail constructif le plus résistant (poutre composée soudée) et le moins résistant (poutre avec semelle de renfort) sont donnés dans la figure 20. L'analyse de la dispersion des résultats a permis de définir la ligne moyenne (trait plein) et une probabilité de survie de 95 % (droite en traitillés). On peut donc introduire ici la notion de sécurité indispensable à l'application dans le cadre d'une norme.

Sur la base de ces résultats [4], [5], nous avons proposé de classer les détails constructifs en cinq catégories. Les courbes A à E, données à la figure 21, ont été retenues pour la proposition de la nouvelle norme SIA 161 [7] ; elles se distinguent entre elles par la valeur  $C$  de l'équation (1), et par le nombre de cycles  $N$  pour lequel la limite de fatigue  $\Delta\sigma_D$  est atteinte. Des schémas de détails constructifs facilitant le classement des divers cas pratiques sont également donnés à la référence [7].

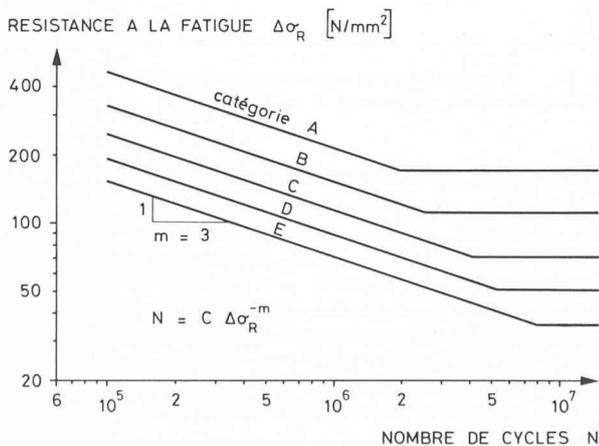


Fig. 21. — Résistance à la fatigue pour cinq catégories de détails constructifs.

La classification proposée devait encore être vérifiée par des essais de poutres munies de détails constructifs couramment utilisés en Suisse. C'est dans ce but que nous avons entrepris,

en étroite collaboration avec la direction générale des Chemins de fer fédéraux (CFE) et l'Union des entreprises suisses de transports publics (UST), deux séries d'essais [6], [8]. Les poutres ont été fabriquées par une entreprise de construction métallique dans les conditions usuelles de la pratique. Les résultats d'essais obtenus confirment la classification proposée, comme le montre l'exemple de la figure 22.

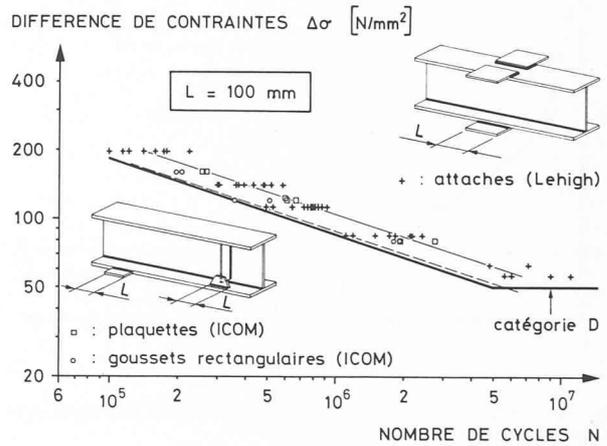


Fig. 22. — Comparaison des résultats de poutres munies de plaquettes et goussets [6] à ceux de poutres munies d'attaches soudées [5].

Une recherche fondamentale visant à établir la description analytique de ce qu'on vient de voir est actuellement en cours à l'ICOM, grâce à l'aide du Fonds national suisse de la recherche scientifique. La phase de propagation stable d'une fissure (fig. 15) représente plus de 80 % de la durée de vie des assemblages soudés. L'augmentation  $da$  de la dimension  $a$  de la fissure par cycle  $dN$  peut être décrite par la loi selon référence [9] :

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^m, \quad (2)$$

dans laquelle  $\Delta K$  représente la variation du facteur d'intensité de contrainte entre deux valeurs  $K_{\max}$  et  $K_{\min}$  ; il est exprimé par :

$$\Delta K = \Delta\sigma \sqrt{\pi a} f(a) K_t, \quad (3)$$

en fonction de la dimension de la fissure  $a$  et de la différence des contraintes  $\Delta\sigma$  ;  $f(a)$  est une correction qui tient compte des conditions de bord et  $K_t$  le facteur de concentration des contraintes au droit des discontinuités géométriques des sections. Les deux aspects, propagation de la fissure et concentration de contraintes, sont les deux parties importantes de notre recherche actuelle ; celle-ci ne se limite pas au comportement sous sollicitations sinusoïdales, mais s'étend au domaine des sollicitations variables.

#### 4. Résistance sous charges variables

Les sollicitations des structures du génie civil ont rarement une allure cyclique régulière comme on les a souvent reproduites lors des essais de fatigue. Elles ont en réalité le caractère aléatoire (fig. 19 b et c) du trafic. Une vérification à la fatigue d'une structure ne devrait pas se faire avec la valeur de la contrainte maximale observée (cas limite beaucoup trop défavorable) mais plutôt avec une certaine valeur moyenne, équivalente quant à ses effets de fatigue, au spectre de toutes les sollicitations engendrées par le trafic parcourant la structure.

Il s'agit donc d'établir et de vérifier expérimentalement les lois définissant une corrélation entre les différentes amplitudes de contraintes  $\Delta\sigma_i$  réellement appliquées sur l'ouvrage, et cette valeur moyenne équivalente  $\bar{\Delta\sigma}$ . Ceci nécessite deux pas :

- Il faut d'abord définir et compter le nombre  $n_i$  des amplitudes individuelles  $\Delta\sigma_i$  [10] étant donné qu'elles ne ressortent pas directement des traces enregistrées.
- Il faut en deuxième lieu choisir une hypothèse pour chiffrer le dommage provoqué par chacun des  $\Delta\sigma_i$  et cumuler ces dommages [11].

Pour ce deuxième pas, on peut adopter l'hypothèse de Palmgren-Miner postulant la linéarité des dommages. En se basant sur l'équation générale (1) de la résistance à la fatigue, on peut facilement expliciter la valeur équivalente  $\overline{\Delta\sigma}$  par :

$$\overline{\Delta\sigma} = \left[ \frac{\sum \Delta\sigma_i^m n_i}{\sum n_i} \right]^{1/m} \quad (4)$$

Des essais réalisés aux USA [12] ont déjà vérifié cette corrélation qui est légèrement conservatrice pour une suite aléatoire d'amplitudes  $\Delta\sigma_i$  individuellement définies, c'est-à-dire dans un cas où il n'est pas nécessaire d'introduire une hypothèse de comptage des cycles de charges.

En ce qui nous concerne, la recherche est orientée plus particulièrement vers le problème des sollicitations réelles dues aux charges de trafic. Nous avons choisi de simuler le plus fidèlement possible les conditions réelles tant pour la qualité des éprouvettes que pour l'histoire des sollicitations d'essais ; ceci a nécessité l'acquisition d'une installation spécifique et extrêmement puissante qui est à notre disposition depuis 1975 (fig. 10).

Les premiers résultats d'essais sous les sollicitations exactement reproduites de ponts-raills en service sont reportés dans la figure 23. On peut constater que ces résultats s'inscrivent à l'intérieur de la bande de dispersion délimitée par les essais de contrôle sous charges sinusoïdales. Ces résultats confirment la possibilité de mettre en corrélation le cas des sollicitations réelles et la résistance sous amplitude constante en adoptant le concept de la différence de contraintes équivalent à un spectre de sollicitations quelconques.

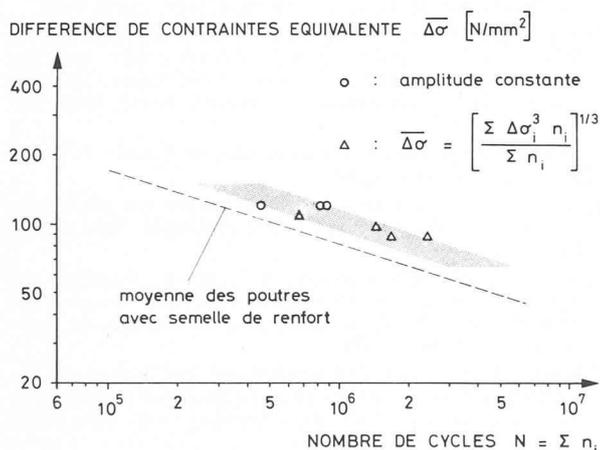


Fig. 23. — Résultats des essais sous sollicitations variables.

Un nombre plus important d'essais est encore nécessaire afin de déterminer l'influence de plusieurs paramètres liés aux deux hypothèses de comptage des cycles et de cumul des dommages. Il va de soi que la mesure de propagation des fissures permettra un contrôle analytique des lois de corrélation par les méthodes de la mécanique de la rupture.

### 5. Spectre des charges du trafic

Les courbes de résistance à la fatigue de la figure 21 présentent des valeurs  $\Delta\sigma_R$  extrêmement faibles. On ne peut donc pas se contenter de dimensionner un ouvrage en limitant simplement les sollicitations dues aux charges de la norme à une valeur inférieure à la limite de fatigue. Il faut plutôt introduire le concept, utilisé en construction aéronautique, du dimensionnement pour une certaine durée de vie limitée. Pour ce faire, il faut vérifier les ouvrages pour les charges réelles probables durant leur vie, ceci par exemple, par le biais d'une charge équivalente qui est encore à déterminer.

Il n'existe actuellement que très peu d'informations au sujet des charges réelles du trafic en Suisse. L'ICOM s'est attaché, en collaboration avec diverses instances fédérales et cantonales, à déterminer ces charges. L'approche s'est décomposée en une mesure des charges en grandeurs, géométries et fréquences, effectuée simultanément à une auscultation d'un ouvrage soumis

à ces charges de trafic. Cela permet de lier le comportement réel d'un ouvrage aux spectres de charges mesurées.

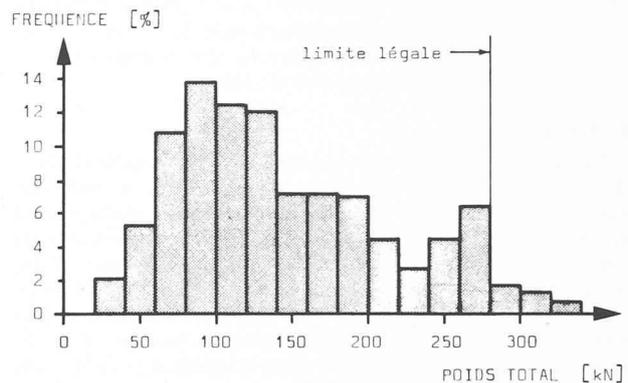


Fig. 24. — Histogramme des poids totaux de 510 camions pesés et mesurés sur l'autoroute Lausanne - Genève.

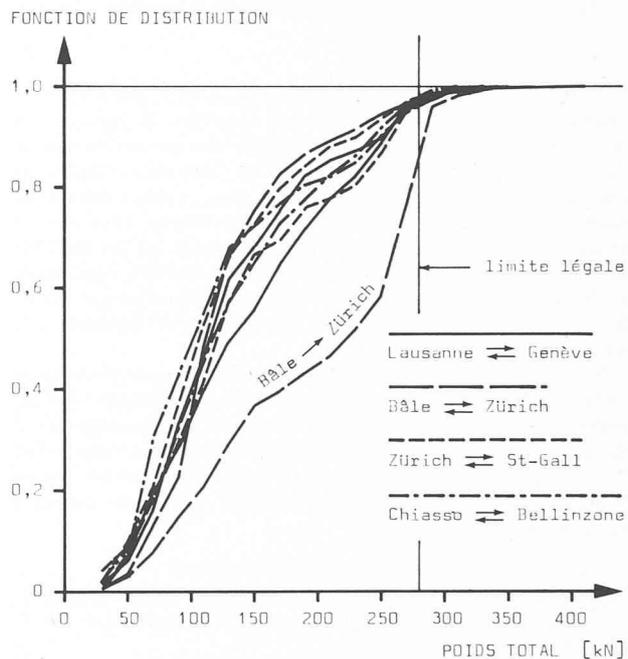


Fig. 25. — Comparaison des charges du trafic lourd mesurées sur quatre axes du réseau routier suisse.

La détermination du trafic routier a pu être réalisée grâce à une extension des mesures du Service fédéral des routes et des digues (ASF) en collaboration avec notre institut puis avec le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux (LFEM). En quatre points du réseau autoroutier suisse, les essieux de plus de 60 % des poids lourds en circulation ont été pesés et leurs distances entre axes mesurées, durant chaque fois une période de deux jours. Il a été ainsi possible de dresser des histogrammes mettant en relation les paramètres mesurés avec leur fréquence d'occurrence. La figure 24 donne un exemple de répartition fréquentielle des poids totaux. La comparaison de la répartition des poids des camions en quatre points du réseau est illustrée à la figure 25.

On peut constater sur cette figure qu'une faible proportion des véhicules atteint la charge limite légale maximum de 280 kN (28 t) [13], sauf pour l'itinéraire d'approvisionnement Bâle → Zurich. Abstraction faite de cette composition de trafic, les autres forment une bande de dispersion relativement étroite. Nous avons en outre comparé les contraintes mesurées sous trafic avec les contraintes calculées, issues d'une simulation par ordinateur du même trafic sur le pont. Ce rapprochement doit permettre d'élaborer un modèle de trafic routier qui tienne compte des combinaisons et compositions stochastiques des charges, des effets dynamiques, des positions transversales différentes des véhicules et du comportement réel de l'ouvrage d'art.

En ce qui concerne le trafic ferroviaire, une collaboration étroite existe entre notre institut et la direction des Chemins de fer fédéraux (CF) et en conséquence avec l'Office de recherche et d'essais (ORE) de l'Union internationale des chemins de fer (UIC). Les résultats de notre recherche sont fournis partiellement dans les références [14], [15] et [16].

## 6. Conclusions

La résistance à la fatigue des constructions métalliques soudées du génie civil est sans rapport direct avec la résistance mécanique du matériau de base. La présence de micro-fissures et défauts dans les zones de soudure, les concentrations de contraintes au droit des discontinuités géométriques et l'état de contraintes résiduelles dues au soudage modifient considérablement le comportement de ces éléments. De plus, ceux-ci sont soumis à des spectres de sollicitations variables. Il paraît cependant possible de décrire le comportement à la fatigue par trois paramètres principaux :

- le type de détail constructif,
- la valeur de la différence de contraintes équivalente  $\overline{\Delta\sigma}$ , qui représente le spectre des  $\Delta\sigma_i$ ,
- le nombre des cycles  $N$ .

Pour une application pratique dans le cadre d'une norme, le deuxième paramètre doit encore être simplifié. Rappelons que la charge utile pour le dimensionnement statique représente un cas extrême en grandeur mais rare en fréquence. Seules les charges réelles, très fréquentes mais plus petites, entrent en ligne de compte pour la vérification à la fatigue. Leur mesure et comptage doivent nous permettre de composer des modèles de simulation de trafic. Dans le cas des ponts-rails, cette étude a abouti à la proposition d'un facteur de réduction par lequel la charge de la norme peut être pondérée pour représenter le trafic réel.

Remarquons enfin qu'il est indispensable de poursuivre notre recherche fondamentale pour établir une approche théorique du phénomène de fatigue par les méthodes de la mécanique de la rupture. Les mesures de la propagation des fissures sous l'effet des charges sinusoïdales ou aléatoires, ainsi que les études traitant de concentration des contraintes  $\gamma$  sont les éléments principaux.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] HIRT, M. A., FISCHER, J. W. : *Fatigue Crack Growth in Welded Beams*. Engineering Fracture Mechanics, n° 5, 1973.
- [2] BADOUX, J.-C., HIRT, M. A. : *Analyse de la fatigue et la propagation des fissures sous charges aléatoires par les*

*méthodes de la mécanique de la rupture*. Fonds national suisse de la recherche scientifique, rapport intermédiaire, 1975.

- [3] HIRT, M. A. : *Fatigue behaviour of rolled and welded beams*. Thèse de doctorat, Lehigh University, Bethlehem, 1971.
- [4] FISCHER, J. W., FRANK, K. H., HIRT, M. A., MCNAMEE, B. M. : *Effect of Weldments on the Fatigue Strength of Steel Beams*. NCHRP Report 102, Highway Research Board, Washington D.C., 1970.
- [5] FISCHER, J. W., ALBRECHT, P. A., YEN, B. T., KLINGERMANN, D. J., MCNAMEE, B. M. : *Fatigue Strength of Steel Beams with Transverse Stiffeners and Attachments*. NCHRP Report 147, Highway Research Board, Washington D.C., 1974.
- [6] HIRT, M. A., CRISINEL, M. : *La résistance à la fatigue des poutres en âme pleine composées-soudées — Effet des plaquettes et goussets soudés à l'aile*. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, ICOM 017, 1975.
- [7] SIA. Norme 161-E : *Constructions métalliques*. Projet de révision soumis à consultation. SIA, Zurich, 1977.
- [8] HIRT, M. A., CRISINEL, M. : *La résistance à la fatigue des poutres en âme pleine composées-soudées — Effet des détails constructifs et comparaison avec la norme*. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, ICOM (en préparation).
- [9] PARIS, P. C. : *The Fracture Mechanics Approach*. Materials Research Conference. Syracuse University Press, 1964.
- [10] BUXBAUM, O. : *Statistische Zählverfahren als Bindeglied zwischen Beanspruchungsmessung und Betriebsfestigkeitsversuch*. Laboratorium für Betriebsfestigkeit, TB-65, Darmstadt, 1966.
- [11] SWANSON, S. R. : *Random Load Fatigue : State of the Art Survey*. Materials Research and Standards, April, 1968.
- [12] SCHILLING, C. G., KLIPPSTEIN, K. H., BARSOM, J. M., BLAKE, G. T. : *Fatigue of Welded Steel Bridge Members under Variable-Amplitude Loadings*. Final Report NCHRP Project 12-12, Transportation Research Board, Washington D.C., 1975.
- [13] Fédération des experts d'automobiles de Suisse : *Véhicules lourds, prescriptions légales*.
- [14] JACCARD, A. : *Comportement à la fatigue des ponts-rails*. Travail de diplôme. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1976.
- [15] HIRT, M. A., HAUSAMMANN, H. : *Betriebsfestigkeit von Eisenbahnbrücken in Verbundbauweise am Beispiel der Morobbia-Brücke*. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, ICOM 027, 1976.
- [16] HIRT, M. A. : *Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Ermüdung und deren Berücksichtigung bei der Bemessung von Eisenbahnbrücken*. Der Bauingenieur, Vol. 52, 1977, pp. 255-262.

# Recherches théoriques, recommandations pratiques et quelques réflexions sur les problèmes de stabilité des structures

par SRIRAMULU VINNAKOTA

## 1. Introduction

D'une façon simple, la stabilité peut être définie comme la capacité d'une structure à retrouver sa forme et sa position initiales après avoir subi un déplacement dû à une perturbation quelconque. La perte de cette stabilité se produit si l'équilibre entre forces intérieures et extérieures n'est plus possible du fait de la diminution de la résistance interne de la structure au cours de son chargement ; la structure est alors dite instable. Comme exemples d'instabilité, on peut citer : glissement de terrain, renversement de murs ou de bâtiments, flambement individuel de colonnes, voilement de plaques, flambement en masse de toute la superstructure de bâtiments ou de ponts, etc. Dans les paragraphes qui suivent, nous allons nous limiter au seul phénomène d'instabilité de cadres, de treillis, ou de leurs sous-ensembles.

## 2. Théorie

### 2.1 Concepts de base

- Les modes de ruine dus à l'instabilité dépendent de la géométrie de la structure, du système de charge, des caractéristiques du matériau, ainsi que d'un groupe de paramètres appelé imperfections, qui caractérisent des déviations locales du matériau et de la géométrie. Les imperfections les plus importantes sont :
- la dispersion de la valeur de la limite élastique  $\sigma_e$  sur la section d'un profilé,
  - la dispersion de la valeur moyenne de  $\sigma_e$  d'un profil à l'autre, valeur dépendant de l'épaisseur des parois composant la section (il est en effet bien connu que  $\sigma_e$  diminue avec l'augmentation de l'épaisseur du produit),
  - les contraintes résiduelles dues au refroidissement inégal des diverses parties du profil,