

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 72 (1946)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Sur les coefficients admissibles et coefficients de sécurité en construction métallique  
**Autor:** Dumas, Antoine  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-54613>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 22.01.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

**ABONNEMENTS :**

Suisse : 1 an, 17 francs

Etranger : 20 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 14 francs

Etranger : 17 francs

Prix du numéro :

75 centimes

—  
 Pour les abonnements  
 s'adresser à la librairie  
 F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

—  
 RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

**Publicité :****TARIF DES ANNONCES**

Le millimètre

(larg. 47 mm.) 20 cts.

Tarif spécial pour fractions de pages.

En plus 20 % de majoration de guerre

Rabais pour annonces répétées.



ANNONCES-SUISSES S.A.

5, rue Centrale

LAUSANNE

&amp; Succursales.

**CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE**

A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE : *Sur les coefficients admissibles et coefficients de sécurité en construction métallique*, par ANTOINE DUMAS, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne. — *Société suisse des ingénieurs et des architectes : Communiqué du Bureau pour la reconstruction ; Jugement du Conseil suisse d'honneur de la S. I. A.* — **DIVERS : Action pour l'assainissement technique d'hôtels et de stations touristiques.** — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT. — INFORMATIONS DIVERSES.

## Sur les coefficients admissibles et coefficients de sécurité en construction métallique

par ANTOINE DUMAS, professeur à l'Ecole d'ingénieurs  
de Lausanne,  
directeur du Laboratoire d'essai des matériaux.

**I. Introduction.**

La présente étude est établie dans le but de servir de commentaire critique à l'exposé de M. le professeur Dr M. Roš, président du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux à Zurich, ayant fait l'objet de sa conférence du 30 juin 1945 à l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne et intitulée : « Coefficients admissibles en construction métallique ; résultats de vingt années d'expérience, présentation d'images d'ouvrages soudés remarquables ».

Le texte de la conférence de M. Roš, trop volumineux pour paraître dans le *Bulletin technique*, sera publié incessamment, en langue française, sous forme de brochure qui sera mise à la disposition des intéressés. Le texte de M. Roš sera suivi d'une note détaillée du soussigné discutant d'une manière critique les différentes thèses développées par M. Roš. Le présent article n'est en conséquence qu'un bref exposé de ce qui est développé d'une manière très complète dans la note précitée faisant suite à celle de M. Roš. C'est d'entente avec M. Roš et après avoir discuté ensemble les détails du présent article que ces dispositions ont été adoptées.

Pour l'établissement de cette note, de nombreux documents et publications ont été utilisés, dont les principaux sont les suivants :

Texte original (encore inédit en français) de la conférence de M. Roš.

Normes concernant le calcul, l'exécution et l'entretien des constructions métalliques et des constructions en béton armé (Norme S. I. A. n° 112, de 1935). Seront désignées dans la suite par « Normes » ou par « Ordonnance fédérale ».

Rapports du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux. Seront désignés dans la suite par rapports L. F. E. M. avec leurs numéros et leurs dates, éventuellement.

Aux fins de rendre la discussion aussi fertile que possible, la présente note a été établie d'une manière aussi critique que possible. En ce faisant, nous ne méconnaissons nullement la grande œuvre réalisée par M. Roš durant ces vingt dernières années et nous le remercions au contraire vivement de nous avoir fourni une base de discussion de l'importance de celle qu'il soumet aujourd'hui librement à notre critique. Nous allons en conséquence en profiter, non dans un mauvais esprit, mais bien plutôt par plaisir de croiser le fer avec lui pendant quelques instants.

**II. Remarques sur les coefficients de sécurité.**

La notion de coefficient de sécurité est très ancienne en mécanique et pendant longtemps on désignait ainsi le rapport entre la résistance spécifique à la rupture du métal dont un organe était confectionné et la contrainte extrême du même genre qui lui était imposée en service. Cette notion, malgré sa simplicité apparente, manquait pourtant totalement de précision. En effet, lors même que l'on parlait d'un coefficient de sécurité de 4 par exemple pour une conduite forcée ou pour un pont métallique, chacun savait que l'ouvrage aurait commencé à se disloquer bien avant l'application d'une charge quadruple de la charge de service. Ainsi, par la force des choses, les constructeurs ont dû s'efforcer de définir aussi exactement que possible le régime de charge limite ou extrême qui pouvait être imposé à un ouvrage sans que

celui-ci se disloque jamais pendant toute la durée de vie escomptée de l'ouvrage. De ce fait, l'élément temps s'est introduit dans la notion de sécurité, ce qui élargit d'une manière importante le champ de recherches.

Or, durant ces vingt dernières années les caractéristiques des matériaux de construction, des aciers de construction de tous genres ont été étudiées systématiquement. Les caractéristiques relatives à des sollicitations statiques et surtout celles relatives à des sollicitations dynamiques, répétées, alternées ou pulsatoires, ont été définies complètement. Il est en conséquence possible aujourd'hui de fixer avec une précision suffisante la sollicitation limite qui peut être imposée à un échantillon, appliquée de l'une ou de l'autre des manières décrites, et cela un nombre donné mais quelconque de fois, grand ou petit. La seule restriction c'est que les pulsations ou variations des sollicitations se fassent suivant un rythme sinusoïdal. Pour des cas de variations de charges plus complexes, il n'existe pas de loi simple liant la résistance d'un objet à sa sollicitation et c'est affaire de l'homme du métier de faire les interpolations qu'il peut juger convenables dans ce but.

Ces caractéristiques complexes, dites de fatigue, étant connues aujourd'hui, il est naturel de les prendre comme point de comparaison pour définir le coefficient de sécurité effectif d'une construction sollicitée d'une manière complexe. Cela conduit notamment à un coefficient de sécurité rapporté à la résistance dite à la fatigue de la construction.

Ce coefficient de sécurité rapporté à la fatigue présente une assez curieuse particularité : il n'est déterminé que pour autant que la durée du service de l'objet est elle aussi déterminée. On peut, en effet, fort bien s'imaginer le vilebrequin d'un moteur d'automobile construit de manière telle qu'il arrive précisément à fin de vie après 1000 heures de marche normale. Dans ce cas, le coefficient de sécurité prend les valeurs caractéristiques suivantes :

- $\sigma_{\text{fatigue}} = 1$  pour  $h = 1000$  heures de marche.
- $\sigma_{\text{fatigue}} < 1$  pour  $h > 1000$ . Rupture certaine.
- $\sigma_{\text{fatigue}} > 1$  pour  $h < 1000$ . Pas de rupture.

Il est donc de rigueur, lorsqu'on parle d'un coefficient de sécurité relatif à la fatigue d'une construction, de stipuler corrélativement la durée de vie escomptée de l'objet ou encore le nombre de cycles de charges et décharges qu'il devra supporter avant la destruction éventuelle. En mécanique, sauf stipulations contraires, le nombre de cycles limite au point de vue de la fatigue est pris égal à  $10^6$ , souvent même  $10^7$ , ce qui est considéré comme comparable à un nombre de cycles pratiquement illimité. C'est ce chiffre  $10^6$  que l'on trouve dans les publications du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux. Pour des nombres de cycles inférieurs à  $10^6$ , la loi du relèvement de la résistance de la matière par rapport à la résistance à la fatigue est parfaitement connue, ce qui permet de traiter le cas de charges appliquées un nombre quelconque de fois.

Les caractéristiques de métaux sous l'effet de contraintes complexes en intensité et en temps étant en somme parfaitement connues, le coefficient de sécurité effectif se calcule directement au moyen des contraintes limites imposées dans les régions dangereuses de l'objet. Mais cela sous-entend la connaissance exacte des régimes de contraintes. Il n'est plus question de contraintes calculées ou déterminées approximativement par des estimations, des règles de trois ou des formules simples : il s'agit de déterminer les contraintes exactement et d'en mettre en évidence notamment les concentrations car les sollicitations par fatigue réagissent inté-

gralement à ces concentrations et ne les égalisent pas, ainsi que le font les sollicitations statiques. La détermination des contraintes effectives devient en conséquence un important travail dans certains cas.

Ayant ainsi serré le problème de très près, il est naturel que les anciens coefficients de sécurité, dépassant 10 dans certains cas, soient bien souvent descendus à moins de 2. Les épaisseurs de pièces n'en sont toutefois pas devenues d'autant plus faibles.

**III. Sur les régimes de contraintes de la matière.**

En construction, dans la plupart des cas, les régimes de contraintes présentent un caractère triaxial. Il n'y a donc, en apparence, aucun moyen de comparaison avec les chiffres de résistance d'un métal déterminés par des sollicitations monoaxiales et ceux provoqués par une sollicitation triaxiale. Toutefois, des séries d'essais complexes très poussés ont permis d'établir et de justifier des formules d'équivalence entre un régime de contraintes triaxial et un tel monoaxial.

La formule la plus utilisée aujourd'hui et qui figure même dans l'ordonnance suisse est :

$$\sigma_g \text{ ou } \sigma_c = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_3 \cdot \sigma_1}$$

où  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  sont les contraintes principales, suivant figure 1, respectivement

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y - \sigma_y \cdot \sigma_z - \sigma_z \cdot \sigma_x + 3\tau_{xy} + 3\tau_{yz} + 3\tau_{zy}}$$

pour un régime triaxial quelconque, suivant figure 2.

Cette grandeur  $\sigma_c$ , homogène à une contrainte, est appelée contrainte de comparaison. Elle est directement proportionnelle à la contrainte tangentielle qui s'établit sur la face de l'octaèdre principal des contraintes (fig. 1).

Cette même formule se retrouve lorsque l'on établit l'expression du travail de déformation d'un cube élémentaire de matière à volume constant, c'est-à-dire au moment de son entrée dans le plastique. A cet instant, le coefficient de Poisson prend la valeur  $1/\mu = 2$  ; la déformation prend le caractère d'une distorsion, sans changement de volume, telle la déformation d'une matière visqueuse, et l'on retombe sur la même expression de  $\sigma_c$ . Ainsi la grandeur  $\sigma_c$  peut être considérée comme critère caractérisant la contrainte résultante extrême sollicitant la matière et de ce fait être adoptée comme critère du danger de rupture. A la découverte de cette règle importante sont attachés aujourd'hui les noms de Roš — Eichinger.

Nous ne discuterons pas pour l'instant le plus ou moins grand degré de rigueur de l'expression définissant  $\sigma_c$  et nous l'accepterons en première approximation comme contrainte équivalente à une sollicitation triaxiale.

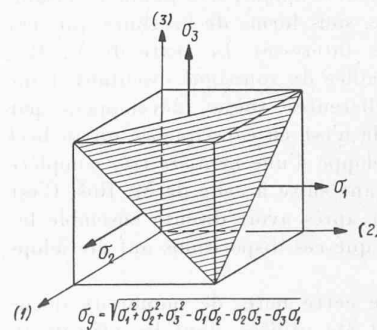


Fig. 1.

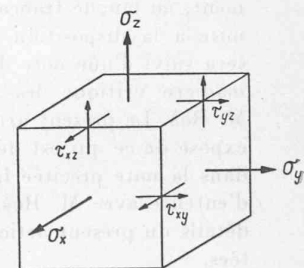


Fig. 2.

Dans l'espace  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , l'expression  $\sigma_c = \text{constante}$  est représentée par un cylindre de révolution ayant comme axe la trisectrice du trièdre trirectangle principal  $O1, O2, O3$  (fig. 1). Ce cylindre sépare l'espace  $\sigma_1, \sigma_2$  et  $\sigma_3$  en deux : les points situés à l'intérieur sont ceux pour lesquels le régime des contraintes triaxial donne une contrainte résultante inférieure à celle jugée admissible ; pour les points situés à l'extérieur du cylindre c'est l'inverse.

Ainsi tous les groupes de valeurs de  $\sigma_1, \sigma_2$  et  $\sigma_3$  qui conduiront à une valeur inférieure à  $\sigma_c = \sigma_{adm}$ , donc contenue à l'intérieur du cylindre, ne créent pas de danger de rupture, mais bien ceux qui conduiront à l'extérieur du cylindre.

Si le régime des contraintes est biaxial, donc si par exemple  $\sigma_3 = 0$ , la contrainte limite est définie par la simple relation :

$$\sigma_{adm}^2 \geq \sigma_c^2 \geq \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2$$

ce qui est représenté par l'ellipse bien connue (fig. 3).

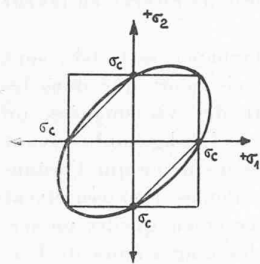


Fig. 3.

Il convient toutefois de bien s'imprégner du sens physique de cette ellipse ; elle représente le lieu des régimes de contraintes principales  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  pour lesquels la contrainte tangentielle sur les faces de l'octaèdre principal est constante.

A l'intérieur de l'ellipse est tracé l'hexagone définissant les contraintes limites admissibles définies par les lois de Mohr. Aujourd'hui, l'introduction de l'expression  $\sigma_c$  dans l'ordonnance revient à adopter l'ellipse comme définissant les paires de valeurs des contraintes principales  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  conduisant toutes à la même contrainte résultante  $\sigma_c$  considérée à son tour comme contrainte de comparaison.

Ainsi cette ellipse représenterait le lieu des paires de contraintes  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  donnant une même contrainte limite  $\sigma_c$  et créant par conséquent un égal danger de rupture.

Quant au carré passant par les quatre points d'intersection de l'ellipse avec les axes de référence, il représente le danger de rupture défini par simple comparaison des contraintes principales avec les contraintes admissibles mono-axiales. Cette comparaison conduit à une avantageuse sous-estimation pour les régions où les deux contraintes  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  sont de même sens ; elle est défavorable et dangereuse par contre lorsque  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  sont de sens opposés.

Souvent aussi l'ellipse est remplacée par l'hexagone inscrit, ce qui conduit partout à une augmentation de la sécurité, et cette dernière caractéristique et représentation est celle qui nous paraît la plus heureuse ainsi qu'on le verra plus loin.

#### IV. Remarques relatives au choix d'un coefficient de sécurité.

Le danger de rupture d'une pièce sollicitée par des contraintes données étant assez bien défini par la grandeur  $\sigma_c$ , il est possible de rechercher le coefficient de sécurité qu'il convient d'adopter pour une construction. Pour cela, il faut passer en revue les différents facteurs entrant en considération et juger pour chacun d'eux le degré de sécurité qu'il convient de lui accorder ; c'est ce qui va suivre.

##### A. Caractéristiques relatives à la qualité du métal.

Les caractéristiques à prendre comme point de comparaison

pour estimer un danger de rupture sont les minima de résistance encore tolérés par l'ordonnance. Outre cela, une réduction doit encore être appliquée à ces minima pour le cas où quelque pièce non contrôlée, de résistance inférieure, aurait quand même été utilisée.

Pour tenir compte de ce risque, il convient de prévoir une sécurité de 10 % au minimum.

##### B. Régime de charge.

Il est bien rare que le régime des charges sollicitant une construction donnée soit parfaitement connu. Il conviendra, en conséquence, d'établir aussi exactement que possible les régimes de charge extrêmes qui peuvent se présenter ainsi que le nombre probable de leurs répétitions, se disant qu'une faible charge appliquée pulsatoirement un grand nombre de fois peut être dans certains cas plus dangereuse qu'une charge plus forte appliquée une seule fois.

Lorsque ces forces limites sont estimées, il convient de se protéger contre des surcharges éventuelles, ce que l'on peut faire soit en surestimant d'emblée ces surcharges, soit en les estimant aussi justes que possible puis en les affectant d'un coefficient de sécurité. Disons en conséquence qu'aux régimes de charge jugés extrêmes, nous estimons utile d'appliquer encore, par raison de sécurité, une majoration de 10 %.

##### C. Contraintes calculées.

Les contraintes s'établissant dans les régions dangereuses d'un objet, en fonction d'un régime de charge donné, ne sont jamais rigoureusement connues. Même en pratiquant les procédés de calcul les plus évolués, il est possible que la réalité s'éloigne de la théorie. Des imperfections dans les calculs des contraintes, des omissions, des erreurs sont toujours possibles. Pour tenir compte de tout cela, sous-entendant, cela va sans dire, que les calculs aient été faits avec le plus grand soin possible, il est de rigueur de prévoir à ce sujet une sécurité de 10 % au moins.

##### D. Formule de comparaison.

Il est clair que la formule définissant la contrainte de comparaison  $\sigma_c$  ne présente qu'une rigueur limitée. Elle présente même aussi une certaine incertitude, à l'abri de laquelle on doit se protéger en prévoyant une sécurité supplémentaire de 10 %.

##### E. Sécurité de la construction.

Si tous les facteurs précités jouaient simultanément dans le même sens défavorable, il en résulterait que malgré tous les surcroûts de sécurité prévus, le coefficient de sécurité de l'ensemble ne serait que 1, ce qui est insuffisant. On doit prévoir en conséquence encore une sécurité technologique que l'on estimera disons à 20 %.

##### F. Sécurité générale.

Toutes les sécurités précédemment énumérées, convenablement combinées, conduisent à la sécurité générale suivante :

$$S = \underset{\substack{\text{Qualité du} \\ \text{métal}}}{1,1} \cdot \underset{\text{Charge}}{1,1} \cdot \underset{\substack{\text{Calcul des} \\ \text{contraintes}}}{1,1} \cdot \underset{\substack{\text{Formule de} \\ \text{comparaison}}}{1,1} \cdot \underset{\substack{\text{Sécurité de} \\ \text{construction}}}{1,2} = 1,76$$

soit une réserve de 76 %.

Aucun de ces coefficients partiels n'est exagéré ; loin de là, ce qui fait qu'un coefficient de sécurité général, par rapport

à la destruction certaine par fatigue d'une construction, devrait être

$$S_{\text{fatigue}} = 1,76 \text{ (minimum)}$$

et s'élever de préférence jusqu'à 2.

**V. Analyse du coefficient de sécurité générale.**

Au sujet de coefficients de sécurité générale, la brochure n° 143 de mai 1943 du L. F. E. M. préconise les chiffres suivants (fig. 71 et 72 de cette publication) :

Coefficients de sécurité par rapport à la fatigue :

Acier moulé	≥ 1,7
Acier de construction mécanique	≥ 1,5
Acier de construction métallique	≥ 1,5
Réservoirs sous pression, stationnaires	≥ 2,1 (soudure bout-à-bout) ≥ 2,0 (soudure spirale)
Citerne de wagon	≥ 1,7 (soudure bout-à-bout) ≥ 1,5 (soudure spirale)
Conduites forcées	≥ 1,7 (soudure bout-à-bout) ≥ 1,6 (soudure spirale)
Collecteurs pour conduites forcées	≥ 1,8 (soudure bout-à-bout) ≥ 1,7 (soudure spirale)

Ces coefficients gravitent assez bien autour du chiffre précédent de 1,76. Nous pouvons en conséquence le conserver comme base de discussion et en tirer quelques conclusions.

Remarquons d'abord que ce coefficient de 1,76 ne tolère aucune ignorance ni aucune tolérance sur aucun des facteurs déterminant la construction. Les divers 10 % de marge ajoutés à chacun de ces facteurs sont en effet à considérer uniquement comme un facteur de réserve et non pas comme un coefficient d'ignorance.

Analysons maintenant, sur la base des caractéristiques des matériaux connus et des contraintes tolérées à leur sujet, les coefficients de sécurité qui s'établissent en réalité.

Les figures 4 et 5 représentent les chiffres de résistance des aciers Ac 54 et Ac 37, ainsi que les contraintes admissibles, le tout pour des sollicitations à la fatigue. Donnons les chiffres relatifs à Ac 54 à titre documentaire, étant donné que, pour l'instant, un tel acier n'est guère à disposition et que la question sera à reprendre lorsqu'il reviendra. Analysons par contre les chiffres relatifs à l'acier Ac 37.

La résistance à la fatigue de Ac 37 pour  $A/B = 1$ , est égale à la limite d'élasticité apparente, soit de 26 kg/mm<sup>2</sup> (ici  $A$ , respectivement  $\sigma_{\text{inf}}$ , représente la charge, respectivement la contrainte minimum appliquée à l'objet en service, tandis que  $B$ , respectivement  $\sigma_{\text{sup}}$ , représente son maximum pendant un cycle). L'ordonnance tolère encore toutefois une valeur inférieure de cette limite de 24 kg/mm<sup>2</sup>. Or, l'ordonnance tolère une contrainte admissible de ce métal s'élevant jusqu'à 15,6 kg/mm<sup>2</sup> et même encore jusqu'à 18,20 kg/mm<sup>2</sup> suivant le cas de charge. Ces chiffres extrêmes conduisent à une sécurité globale limite de  $24 : 18,2 = 1,32$ .

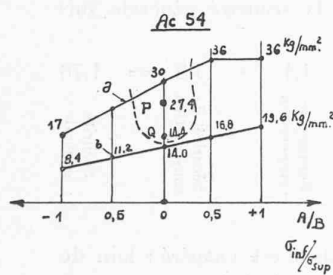


Fig. 4.

Sécurités :

$A/B = 1$	$S = 36$	$: 19,6 = 1,83$
0,5		$: 16,8 = 2,14$
0,0		$: 14,0 = 2,14$
		$: 27,4 = 1,96$
		$: 14,4 = 1,03$
-1,0		$: 8,4 = 2,02$

Remarques :  
 $P = 27,4 \text{ kg/mm}^2$ : valeur minimum donnée par le L. F. E. M.  
 $Q = 0,4 \cdot 36 = 14,4 \text{ kg/mm}^2$ : valeur indiquée dans le rapport n° 117 du L. F. E. M. par M. Wyss pour éprouvette avec élément de soudure.

Il s'agit là de résistance à la fatigue sous-entendant un nombre de pulsations égal à 10<sup>6</sup>. Aucune réserve n'est faite à ce sujet ni dans l'ordonnance ni dans les nombreuses publications du Laboratoire fédéral. Du reste, pour des rapports de charge  $A/B$  voisins de l'unité, le nombre de pulsations est à peu près sans influence sur la résistance à la fatigue, ce qui fait que le coefficient de sécurité ci-dessus de 1,32 est effectivement l'expression de la réalité.

Ce chiffre est manifestement trop bas et doit conduire à des accidents certains si quelques facteurs secondaires, même de très faible importance, viennent surcharger l'ouvrage: charge maximum légèrement sous-estimée, qualité du métal légèrement inférieure au minimum, calcul des contraintes légèrement insuffisant, négligence d'une minime concentration de tension, surtension locale due à quelque effet technologique, défauts dans le montage!

Ceci apporte la preuve que les chiffres donnés dans l'ordonnance sont à considérer comme des extrêmes déjà bien dangereux et ne tolérant aucune espèce de réserve en faveur du constructeur.

Les mêmes chiffres, d'après l'ordonnance (art. 63), sont encore valables pour les boulons et vis, alors que dans les aides-mémoire de mécaniciens, pour des vis soignées, on indique 6 kg/mm<sup>2</sup> pour descendre à 4,8 kg/mm<sup>2</sup> suivant l'exécution. C'est donc 3 à 3,8 fois moins de ce que l'ordonnance tolère. Des boulons et vis calculés rigoureusement suivant les conditions de l'ordonnance et auxquelles un service aussi dur que celui prévu par les diagrammes de l'ordonnance et par les publications du L. F. E. M. se détruiraient inévitablement. Des réserves sont donc indispensables à ce sujet.

Dernièrement nous avons l'occasion de voir un engin de levage destiné à une centrale hydro-électrique et dont le profil du filetage de la tige du crochet avait été établi par essais photoélastométriques. C'est évidemment une excellente précaution que nous ne saurions qu'approuver. Mais, étant donné ce souci-là, relatif à un cas de charge bien élémentaire, nous serions heureux d'entendre l'avis des spécialistes de la résistance des matériaux et de la photoélasticité du L. F. E. M. au sujet des si élevées contraintes admissibles tolérées par l'ordonnance pour les vis.

**VI. Sur l'influence d'hétérogénéités de la matière.**

Les résistances admissibles du plein métal viennent d'être définies. Il semble en résulter que l'on peut maintenant, sans ambiguïté, déterminer les dimensions des éléments d'une construction lorsque les forces qui les sollicitent en sont connues. Mais, pour serrer le problème de plus près, il convient de s'exprimer encore au sujet de la résistance à la fatigue des liaisons des éléments tels que les précités, soit des rivures ou des soudures.

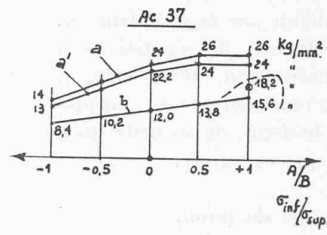


Fig. 5.

Légende :  
 $a$  : résistance à la fatigue du métal de qualité moyenne, pour différents degrés de pulsation, en kg/mm<sup>2</sup>.  
 $a'$  : idem pour qualité minimum tolérée du métal.  
 $b$  : contrainte admissible.

Sécurités :

$A/B = 1$	$S = 24$	$: 15,6 = 1,54$
0,5		$: 13,8 = 1,74$
0,0		$: 22,2 = 1,85$
-0,5		$: 10,2 = 1,67$
-1,0		$: 13 = 8,4 = 1,55$
1		$: 24 = 18,2 = 1,32$

Dans ses exposés divers, M. le professeur Roš prend comme point de comparaison la résistance d'une liaison par rivure. Or, il est superflu de prendre ce chemin détourné, aussi l'abandonnerons-nous et discuterons directement la résistance des assemblages soudés.

D'après M. Roš, les résistances admissibles des soudures bout-à-bout, pour une qualité d'exécution excellente, peuvent s'élever jusqu'à 15,6 respectivement 18,2 kg/mm<sup>2</sup>, soit autant que pour le métal initial Ac 37. Cela revient à dire que la résistance des soudures bout-à-bout est considérée comme équivalente à celle du métal de base. Pour les autres formes de soudure, notamment les soudures d'angle, une réduction de résistance spécifique doit être introduite pour tenir compte de leur forme défavorable quant à la transmission des lignes de force. Les images 46 et 47 du rapport n° 143 de mai 1943 du L. F. E. M. renseignent complètement à ce sujet et nous n'y ajouterons rien.

Mais discutons le cas des conduites forcées, des réservoirs et des collecteurs. Ce sujet a fait l'objet d'une étude tout spécialement fouillée de M. Roš.

Dans le rapport précité n° 143 de mai 1943, nous trouvons la fig. 63 reproduite ci-après, (fig. 6).

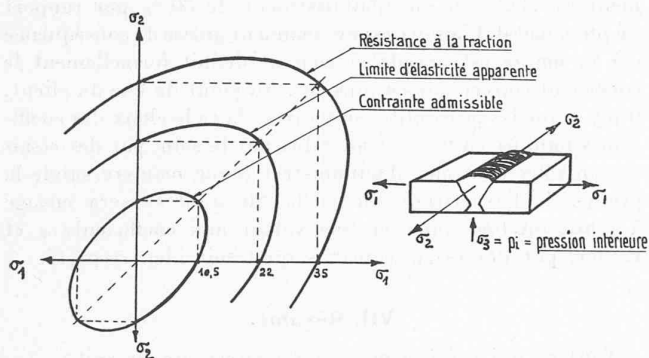


Fig. 6.

D'après cette image, dans laquelle tout se présente en bon ordre, le coefficient de sécurité par rapport à la limite d'élasticité apparente prend la valeur :  $S = 22 : 10,5 = 2,1$  ce qui est très satisfaisant. On ne peut toutefois s'empêcher de se demander pourquoi une conduite forcée demande un coefficient de sécurité de 2,1 alors que pour des constructions métalliques on descend même jusqu'à 1,32 ainsi que cela vient d'être établi. La rupture d'un pont ou d'une charpente serait-elle donc moins à craindre que celle d'une conduite ?

En fait, les sécurités doivent être à peu près du même ordre de grandeur, mais ce sont leurs définitions qui ne sont pas exactement les mêmes.

La figure 6, combinée avec l'équation  $\sigma_c = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2}$ , donne une image claire du régime des contraintes dans la tôle et dans les soudures d'une conduite forcée en fonction des deux contraintes principales  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$ . Lorsque ces deux contraintes sont données, cela suffit pour le calcul des contraintes de chaque soudure ou du plein métal en tous points et en toutes directions. Il n'y a donc rien à ajouter à ce sujet. Mais où nous cessons de comprendre, c'est lorsque M. Roš, ainsi qu'il l'a présenté lors de sa conférence à Lausanne, établit le danger relatif de rupture des soudures d'une conduite, et cela en faisant une distinction suivant qu'il s'agit d'une soudure longitudinale, circulaire ou en spirale. Cette distinction doit paraître naturelle à l'ingénieur qui, sans être spécialisé dans les questions de résistance des

matériaux, sait pourtant que dans un réservoir avec fonds on a les contraintes suivantes :

sur la soudure longitudinale :

$$\sigma_1 = p \cdot d : 2 \cdot e$$

sur la soudure circulaire :

$$\sigma_2 = p \cdot d : 4 \cdot e$$

sur la soudure en spirale, à 45° :

$$\sigma_s = p \cdot d : \frac{8}{3} \cdot e$$

$$\tau = p \cdot d : 8 \cdot e$$

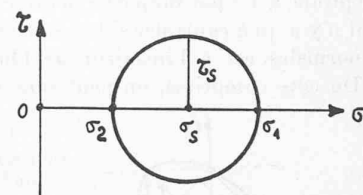


Fig. 7.

ainsi que le montre immédiatement le cercle de Mohr suivant fig. 7.

Cela confirme bien le fait indiscuté que la sollicitation n'est pas la même sur les différentes soudures et que, par conséquent, le danger de rupture ne doit pas être le même pour chacune d'elles. Et pourtant, si l'on en revient à la formule définissant  $\sigma_c$ , on se rend compte que le raisonnement précédent, malgré sa clarté apparente, est un non-sens.

En effet, la contrainte  $\sigma_c$  n'est pas autre chose (à un facteur numérique près) que celle qui s'établit tangentiellement sur l'une des huit faces de l'octaèdre principal et dont l'orientation des quatre faces supérieures est donnée par la figure 8.

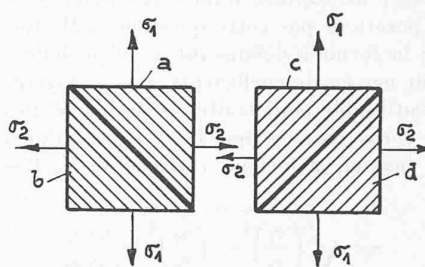


Fig. 8.

Et cette figure montre que le danger de rupture est vraiment le même qu'il s'agisse d'une soudure longitudinale suivant le sens de  $\sigma_2$ , ou d'une soudure circulaire suivant le sens de  $\sigma_1$ . Et même s'il s'agissait d'une soudure en spirale, le danger de rupture en serait à peu près le même que sur les précédentes. Cela est dû au fait que la contrainte  $\sigma_c$  s'établit avec la même intensité sur les quatre plans formant les faces de l'octaèdre principal lesquelles sont des directions d'égal danger de rupture.

Ce résultat est essentiellement paradoxal et ne satisfait complètement aucun homme du métier, pas même M. Roš qui s'est fait pourtant un avocat fervent de la loi définissant  $\sigma_c$ . Ne trouve-t-on pas, en effet, l'image de l'octaèdre des contraintes dans la plupart de ses publications. La vérité c'est que la contrainte

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_3 \cdot \sigma_1}$$

n'est pas suffisante pour caractériser un danger de rupture et que pour le faire il est de rigueur de tenir compte d'une seconde condition, celle qui est familière à tout ingénieur, c'est que la *contrainte normale* ne dépasse pas une valeur limite fixée par l'expérience. La double sollicitation retarde, c'est évident, l'entrée dans le plastique, mais elle ne relève certainement pas la résistance à la fatigue d'une soudure. Pour cette raison, il est de rigueur de conserver comme critère du danger de rupture, du côté tendu, l'hexagone, suivant

figure 9, et de faire abstraction des petits surcroîts de contraintes admissibles que l'ellipse tolère par rapport à l'hexagone. Dans des cas douteux comme celui de la soudure en spirale, à 45° par rapport à la direction de l'axe de la tubulure, il n'y a qu'à contrôler si le point représentatif des contraintes normales est à l'intérieur de l'hexagone pour être apaisé. Du côté comprimé, on peut sans scrupules adopter l'ellipse.

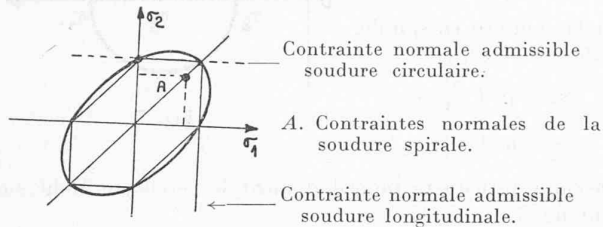


Fig. 9.

La question se complique d'autre part considérablement avec les constructions soudées du fait qu'une soudure crée toujours une certaine hétérogénéité des corps tandis que, jusqu'à maintenant, sans le dire explicitement, il était toujours sous-entendu que l'on avait affaire à un objet homogène. C'est alors que vient se poser la question :

Dans quelle mesure la grandeur  $\sigma_c$ , admise comme contrainte de comparaison, peut-elle être considérée comme critère du danger de rupture d'un corps hétérogène ?

Nous ne poserions pas cette question si M. Roš, l'un des parrains de la formule définissant  $\sigma_c$ , n'en donnait pas des correctifs au moyen de coefficients  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha$ , la rendant, à son avis, utilisable pour traiter le problème du danger de rupture de corps hétérogènes. Pour le cas d'un régime de contraintes biaxial, la formule corrigée de M. Roš prend la forme :

$$\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2} - \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\alpha_1 \cdot \alpha_2}$$

où  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont des coefficients voisins de l'unité représentant la résistance relative des régions soudées par rapport à celle du plein métal et sollicitées par  $\sigma_1$  respectivement  $\sigma_2$ . Mais à ce moment, de nouveau, nous cessons de comprendre !

La formule définissant  $\sigma_c$  est la traduction de conditions d'équilibre. La nature de la matière, son degré d'homogénéité, son module d'élasticité, sa résistance ne sont pour rien dans cette formule. Elle ne fait que définir l'intensité de la contrainte tangentielle le long de l'une ou l'autre des faces de l'octaèdre principal. C'est donc faire fausse route que d'introduire dans une formule des coefficients relatifs à des choses étrangères à celle-ci. Les coefficients  $\alpha$  de M. Roš sont donc à éliminer radicalement de ses formules.

Malgré cela, la quantité  $\sigma_c$  peut sans inconvénients être conservée pour définir le danger de rupture d'un corps hétérogène. En effet, la grandeur  $\sigma_c$  étant déterminée en une région d'un corps dont le régime de charge est donné, il suffit de contrôler si cette contrainte composée  $\sigma_c$  est tolérable ou non dans la région où elle agit, compte tenu du renforcement ou de l'affaiblissement local de la matière, pour se rendre compte si la région contrôlée est oui ou non admissiblement sollicitée.

Les coefficients  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha$  ne sont pas à rejeter, ils sont seulement à éloigner de la formule définissant  $\sigma_c$  où ils n'ont rien à faire.

Dans le cas d'une sollicitation biaxiale d'une tôle soudée par exemple,  $\alpha_1$  représente la solidité de la soudure sollicitée par  $\sigma_1$  par rapport à celle de la pleine tôle.  $\alpha_2$  a une signification identique par rapport à l'autre soudure supposée

à 90° de la première. Quant à  $\alpha$ , il se rapporte à la sollicitation tangentielle d'une soudure.

Ces coefficients sont plus petits que l'unité si les soudures créent un affaiblissement de la région soudée ; ils sont plus grands que l'unité si la soudure constitue une région plus solide que son voisinage.

D'après M. Roš, les coefficients auraient les valeurs suivantes :

		$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$
Qualité I	soudure usinée	1,2	1,3	1,3
Qualité I	soudure brute	1,0	1,1	1,1
Qualité II	soudure brute	0,7	0,85	1,0

$\alpha_1$  signifie relatif à une sollicitation normale  $\perp$  à la soudure.

$\alpha_2$  signifie relatif à une sollicitation normale  $\parallel$  à la soudure.

$\alpha$  signifie relatif à une sollicitation tangentielle.

Ces coefficients donnent directement la mesure dans laquelle le coefficient de contrainte admissible de la région soudée peut être relevé ou doit être réduit, mais cela sans avantage ou préjudice pour la région directement voisine du métal initial laquelle est sollicitée intégralement par la contrainte  $\sigma_c$ .

Ce tableau montre enfin que la qualité relative d'une soudure peut passer de 1,2 à 0,7 soit représenter un renforcement de 20 % ou un affaiblissement de 30 % par rapport au plein métal. L'affaire est évidemment grosse de conséquence car la marge est grande et rien ne définit formellement le coefficient convenable en tous cas. Au point de vue du client, il n'y a que les possibilités suivantes : faire le choix des coefficients minima en laissant au fabricant le soin, par des essais et contrôles continus, d'administrer d'une manière suivie la preuve de l'exactitude du coefficient qu'il se sera engagé à tenir, ou bien imposer une valeur aux coefficients  $\alpha$  et veiller, par des essais continus qu'il soit bien respecté.

## VII. Résumé.

Tout ce qui précède peut être résumé comme suit :

1. La détermination des coefficients de sécurité, respectivement des coefficients admissibles, suit une évolution à sens unique, tendant à abaisser les premiers et à relever les seconds. Aujourd'hui déjà nous sommes dans la phase des coefficients poussés à peu près vers leur limite extrême ; il n'est plus possible de revenir en arrière.

2. Les sécurités sont calculées sur la base des résistances à la fatigue, en tenant compte du nombre de répétitions des sollicitations ainsi que de leur durée d'application.

3. Tout constructeur doit être en possession de diagrammes complets définissant les caractéristiques exactes, avec leurs maxima, minima et moyennes pour sollicitations répétées de tous genres pour les matériaux utilisés. Ces diagrammes sont établis par les aciéries et par les laboratoires d'essais. Ils sont à établir également pour les éléments de liaisons par soudure.

4. Les divers régimes de charge sont à estimer aussi exactement que possible, compte tenu de leur nombre de répétitions, cela en vue de l'analyse des possibilités de fatigue de la construction.

5. Les contraintes exactes de la matière seront déterminées dans toutes les régions dangereuses puis comparées avec les caractéristiques en fatigue de la matière. Les procédés les plus exacts de l'élasticité et de la résistance des matériaux devront être appliqués dans tous les cas étant donné que les taux de contraintes admis aujourd'hui ne tolèrent aucune approximation.

6. Le rapport entre la charge de rupture par fatigue de la matière et la sollicitation effective résultant de la charge,

fixe le coefficient de sécurité à la fatigue. Ce chiffre est essentiel, il ne devrait en aucun cas être inférieur à 1,75. Ce chiffre contient en moyenne :

- 10 % de réserve pour la qualité du métal.
- 10 % de réserve pour la charge.
- 10 % de réserve pour le calcul des contraintes.
- 10 % de réserve pour la formule définissant le critère du danger de rupture.
- 20 % de réserve générale et technologique.

7. Au lieu de fixer des coefficients admissibles, il semble plus convenable de s'entendre sur le coefficient de sécurité que l'on veut adopter *par rapport à la rupture certaine par fatigue*. Personnellement, je conseillerais de toujours adopter un tel coefficient voisin de 2.

8. Tout ce qui se rapporte à la sécurité par rapport à l'instabilité des constructions, conduisant aux phénomènes dits de flambage, est à considérer comme un problème spécial, non traité par ce qui précède.

9. Les fabricants sont rendus spécialement attentifs au fait que l'introduction de la notion de coefficient de sécurité relatif à la fatigue est grosse de conséquence pour eux : tous les phénomènes ayant une influence sur les résistances sont à prendre en considération tels que, par exemple : arrondis, entailles, trempe locale, écrouissages locaux, répartition des forces dans les ajustages, tensions internes de montage.

En outre, qu'il soit bien stipulé que les contraintes, dans les régions dangereuses d'objets, s'il le plaît au maître de l'œuvre, peuvent être déterminées par voie photoélastométrique, ce qui représente un important surcroît d'inconnus.

#### VIII. Programme proposé à l'assemblée.

Personnellement, je recommande vivement à l'assemblée de prendre position sur les propositions exposées ci-après et de les adopter.

1. Mise à l'étude d'un système de notation concernant les grandeurs intervenant dans les calculs d'élasticité et de résistance des matériaux, les rendant familières à l'ingénieur de langue française ; le mieux serait de découvrir une notation offrant un caractère international. Toute suggestion à ce sujet sera la bienvenue.

2. Adoption de chiffres définissant les coefficients de sécurité admissibles par rapport à la rupture certaine par fatigue. Personnellement, pour le marché intérieur suisse, je propose un coefficient de sécurité général, pour toutes constructions, de 2, pouvant être toléré jusqu'à 1,75. Pour les marchés extérieurs à la Suisse, il n'est pas possible de prendre une détermination.

3. Adaptation, en langue française, suivant les règles précitées, des dernières publications de M. le professeur Roš et relatives essentiellement au métal.

4. Remerciements à M. le professeur Roš pour l'immense travail accompli par lui dans le domaine des essais de matériaux durant ces vingt dernières années.

5. Toutes ces propositions, ainsi que d'autres éventuelles émanant de la discussion, seront présentées à M. Roš, président de l'Association suisse pour l'essai des matériaux, cette dernière étant l'instance qui a pris l'initiative de cette réunion.

6. La couverture des frais occasionnés par les travaux désirés est une question à discuter avec le président de l'Association : si les vœux de l'assemblée sont formels et motivés, il n'y a aucun doute que l'Association trouvera les moyens financiers nécessaires pour l'affaire.

Lausanne, août 1945.

## SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

### Communiqué du Bureau pour la reconstruction.

Exposition internationale de l'Urbanisme et de l'Habitation.  
Paris 31 mai — 4 août 1946.

La Suisse participera officiellement à cette première exposition internationale d'après-guerre. En accord avec l'Office suisse d'expansion commerciale, la Société suisse des ingénieurs et des architectes (S. I. A.) prie toutes les organisations, bureaux, entreprises et sociétés industrielles désirant exposer leurs produits ou participer sous une forme quelconque à cette manifestation, d'envoyer leurs suggestions et toute documentation (prospectus, dessins, photos, modèles, etc.) au Bureau de reconstruction de la S. I. A., Tödistrasse 1, Zurich, tél. 27 78 77, jusqu'au 31 janvier 1946.

La documentation concernera :

*Technique de la construction* (outillage d'entreprises, installations de chantier, éléments de construction en béton, briques, fer, aluminium, bois, etc., toitures, isolations).

*Logements préfabriqués* (systèmes de construction en bois, plaques en matériaux légers, métal, maisons entièrement préfabriquées).

*Installations et accessoires* (plomberie, chauffage électrique, fenêtres, garnitures et ferrures, revêtements de murs et planchers, escalier, etc.).

*Ameublement* (meubles fabriqués en série, éclairage, objets de ménage, cuisine, etc.).

Les architectes, ingénieurs et techniciens sont également invités à envoyer à l'adresse ci-dessus des renseignements sur les procédés nouveaux de construction, les logements-types, les installations rationnelles, etc. Ces données concerneront des projets à l'étude ou des réalisations. Toutes les suggestions soumises seront examinées avec le plus grand soin par une commission qui sera désignée ultérieurement.

### Jugement du Conseil suisse d'honneur de la S. I. A.

Par son jugement du 27 octobre 1945, le *Conseil suisse d'honneur* a adressé un blâme sévère à M. Carl Erni, ingénieur, à Lucerne, pour infraction à l'article 6 des statuts de la S. I. A., du fait de son attitude incorrecte vis-à-vis de ses collègues de la Regional Planung Kion. Waldstätte.

## DIVERS

### Action pour l'assainissement technique d'hôtels et de stations touristiques.

Les septante architectes chargés de l'étude de l'assainissement technique d'hôtels et de stations touristiques ont siégé à Zurich, le 14 décembre 1945, sous la présidence de M. le conseiller national Armin Meili, en présence du délégué aux occasions de travail, M. le directeur Zipfel.

La *résolution* suivante fut votée :

« Les plans directeurs élaborés pour trente-cinq stations touristiques représentent la première étape des travaux entrepris en vue de leur futur développement.

» Il est indispensable d'englober d'autres stations importantes dans l'étude des plans d'aménagement. Parallèlement