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

Band: 7 (1964)

Artikel: Calcul probabiliste des constructions métalliques: orientations nouvelles sur le plan européen

Autor: Sfintesco, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-7941

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

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

Ic1

Calcul probabiliste des constructions métalliques

Orientations nouvelles sur le plan européen

Wahrscheinlichkeitstheoretische Berechnung im Stahlbau
Neuere Tendenzen in Europa

Probabilist Calculation of Steel Structures
New trends in Europe

D. SFINTESCO
Paris, France

Lentement, mais sûrement, la conception probabiliste de la sécurité des constructions a fait son chemin depuis le troisième Congrès de l'A.I.P.C., où elle était, pour la première fois, mise en avant avec autant de vigueur et d'éclat que de rigueur scientifique. Elle a conquis les esprits tant soit peu éclairés et ouverts au progrès, au point qu'aucun ingénieur ne saurait plus, à l'heure actuelle, en contester la validité. Le nombre de rapports présentés à ce Congrès et traitant de cette même question ou de certains de ses aspects particuliers, témoigne de la prise de conscience générale qui s'est produite depuis.

Et cependant, cette nouvelle manière de considérer la sécurité des constructions en est encore à une phase purement platonique, car ce même ingénieur, tout persuadé qu'il soit du bien fondé de cette conception et du progrès essentiel qui en découle pour le calcul des ouvrages, se trouve dans l'impossibilité pratique de l'appliquer, tant qu'il est tenu de se référer à des règlements qui l'ignorent encore.

Un examen rapide des règles techniques nationales relatives au calcul et à la conception des structures métalliques révèle, en effet, qu'à quelques exceptions près, toutes récentes, cette vérité première qu'est le caractère probabiliste de la sécurité, n'a pas encore rallié les instances administratives qui ont le pouvoir d'imposer les règlements techniques officiels. Il faut toutefois reconnaître qu'une certaine inertie vis-à-vis d'une innovation aussi radicale dans les méthodes de calcul s'explique parfaitement par la conscience des responsabilités qui incombent à ces instances.

Nous nous trouvons sans aucun doute à un tournant dans ce domaine et nous assisterons certainement, dans les différents pays, à une succession rapide de règlements nouveaux, inspirés de cette conception moderne.

* * *

A l'instar du Comité européen du Béton, la Convention européenne de la construction métallique, organisme groupant les associations de constructeurs métalliques de onze pays européens, se devait de diriger son activité vers l'établissement de règles techniques qui, évidemment, ne pourront revêtir que la forme de recommandations, mais n'en auront pas moins tout le poids que confère la somme d'expérience professionnelle et la connaissance profonde du métier de ceux dont elles émanent.

C'est ainsi qu'une commission, présidée par le professeur LORIN et dont j'ai l'honneur d'être le rapporteur, a été chargée de rédiger ces règles européennes de la construction métallique. Les principes fondamentaux concernant la sécurité, retenus pour ce projet, reflètent bien les idées exposées dans le rapport Ic 2 de la Publication préliminaire[1]), avec toutefois cette différence que les coefficients de pondération seront appliqués au niveau des sollicitations et non à celui des contraintes, ce qui permet de couvrir tous les cas, qu'il y ait ou non proportionnalité entre les unes et les autres.

Quoiqu'officieuses, ces règles européennes, ainsi conçues, ne sauraient manquer d'avoir des répercussions sur l'évolution prochaine des divers règlements nationaux de construction métallique. C'est pourquoi, il me semble opportun de les signaler ici, dès à présent.

* * *

Le problème particulier des instabilités, dont l'étude a été confiée à une commission spéciale de la Convention européenne, présidée par le professeur BEER, constitue un domaine de choix pour l'application des conceptions probabilistes de la sécurité.

En effet, devant l'impossibilité d'aboutir, par les théories classiques, à un mode de calcul donnant, pour tous les cas d'instabilité et pour tous les modes de sollicitations, une sécurité cohérente et homogène, et notamment devant l'impossibilité de séparer les imperfections inévitables des barres réelles suivant leur nature et de déterminer de façon non arbitraire les paramètres respectifs, cette commission s'est rapidement orientée — sous l'impulsion d'ailleurs de l'auteur même du rapport Ic 2 — vers une vaste étude expérimentale statistique du flambement, inspirée des principes préconisés par celui-ci. L'idée directrice de cette recherche ne saurait d'ailleurs être mieux illustrée que par la fig. 1 de ce même rapport (p. 197 de la Publication préliminaire).

Cette recherche dont m'a été confiée la responsabilité, est effectuée conjointement par les laboratoires de sept pays — Allemagne, Belgique, France Yougoslavie d'abord, Grande-Bretagne, Italie et Hollande ensuite — selon un plan unique préétabli et suivant des directives communes très précises,

---

[1]) J. DUTHEIL: «L'évolution de la notion de sécurité en constructions métalliques».

de manière à assurer l'unité de la recherche et à obtenir des résultats directement comparables entre eux.

C'est, je crois, la première fois qu'une recherche d'une telle envergure est entreprise en commun, sur un plan international et dans un cadre aussi large. Elle constitue un bel exemple de collaboration technique internationale qui me paraît digne d'être mentionné ici.

Les essais furent menés en tenant compte des conditions dans lesquelles, pour l'entrepreneur, les barres se présentent habituellement dans la pratique industrielle. Ces barres subissent, en effet, de multiples manipulations avant et pendant leur mise en œuvre et comportent, de ce fait, des imperfections géométriques qui doivent être prises en considération pour la sécurité de l'ouvrage. A ces imperfections s'ajoutent les variations résultant des tolérances dimensionnelles des sections, la dispersion des valeurs de la limite d'élasticité du métal, les contraintes résiduelles de laminage, de dressage et éventuellement de soudage, etc... Toutes ces imperfections, dont quelques-unes sont liées entre elles, qu'il est donc pratiquement impossible de dissocier et dont les effets varient, de surcroît, avec l'élancement, constituent un ensemble inextricable de circonstances.

Il semble donc logique, pour aboutir à une sécurité homogène à tous les élancements, de tenir compte globalement de toutes les imperfections inévitables et de leurs influences, plutôt que de tenter de séparer ces paramètres par des moyens théoriques, entreprise qui serait en fin de comptes aussi vaine qu'illusoire.

Or, les méthodes statistiques, en faisant l'enveloppe des circonstances aléatoires inévitables, permettent de serrer la réalité de plus près que ne le font les méthodes réputées «exactes». Elles sont donc forcément les seules susceptibles d'amener une solution rationnelle et cohérente du problème, car par la connaissance de la valeur centrale et de l'écart quadratique moyen, elles permettent de tracer une courbe des contraintes limites d'affaissement, telle que la probabilité de cet événement soit, en tout point de la courbe, la même que celle qui a servi à la détermination de la valeur admise pour la limite d'élasticité du métal. Une fois cette courbe définie, on peut lui appliquer un coefficient de sécurité constant, égal à celui pris pour la traction.

Les essais ont donc été effectués sur éprouvettes d'exécution «industrielle», c'est-à-dire sur barres provenant des parcs de diverses entreprises de constructions métalliques, sans aucun dressage spécial. Le centrage en a été exécuté de manière à reproduire le plus fidèlement possible les attaches des barres dans les constructions, par exemple, pour les poutrelles, sur l'axe de l'âme plutôt que sur le centre de gravité de la section. Toute correction du centrage en cours d'essai — opération pratiquée par certains expérimentateurs, mais risquant de fausser le phénomène — a été interdite.

Etant donné que l'on recherchait une probabilité intégrale assez faible, il ne pouvait s'agir de faire un nombre excessif d'essais parallèles pour permettre

une étude basée sur la courbe des fréquences cumulées. Aussi, c'est en faisant appel aux méthodes de la statistique mathématique que nous avons pu traiter le problème à partir d'un nombre d'essais relativement restreint. Néanmoins, les deux tranches du programme exécutées à ce jour, sur barres en acier doux, ne comprennent pas moins de 550 essais de flambement, accompagnés d'un grand nombre de relevés et d'essais complémentaires.

Ce programme couvre toute la gamme des élancements usuels (50 à 170) et différentes formes de sections de barres.

En vue de la détermination d'une courbe des contraintes limites d'affaissement en fonction de l'élancement, la première question qui se posait, était de savoir si les résultats expérimentaux obtenus pouvaient être ajustés sur une loi de Laplace-Gauß. Le test adopté dans ce but fut celui du tracé de la droite de HENRY, méthode basée sur le fait qu'un changement de variable dans cette loi permet de représenter celle-ci non plus par la courbe classique en cloche, mais par une droite.

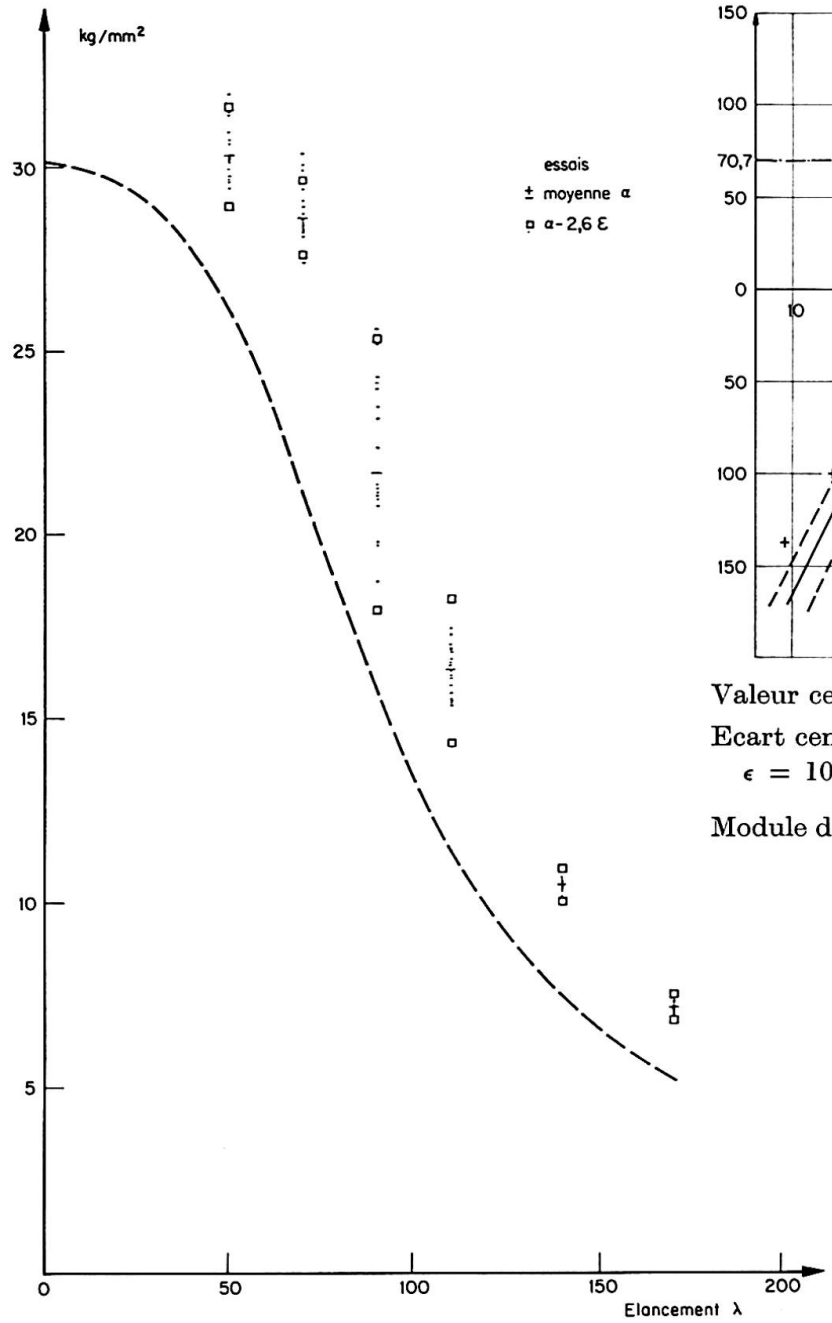
Cette méthode consiste à inscrire, sur un graphique, les points d'essais de chaque série — présumés donc comme appartenant à une même famille — et de tracer une droite qui compense les résultats. Dans le cas où elle existe, cette droite, placée dans un système d'axes orthogonaux, permet non seulement d'être assuré qu'il s'agit bien d'une loi normale de distribution, mais aussi d'en connaître les caractéristiques d'une façon immédiate, car son intersection avec l'axe des abscisses correspond à la valeur centrale, tandis que sa pente donne l'écart quadratique moyen.

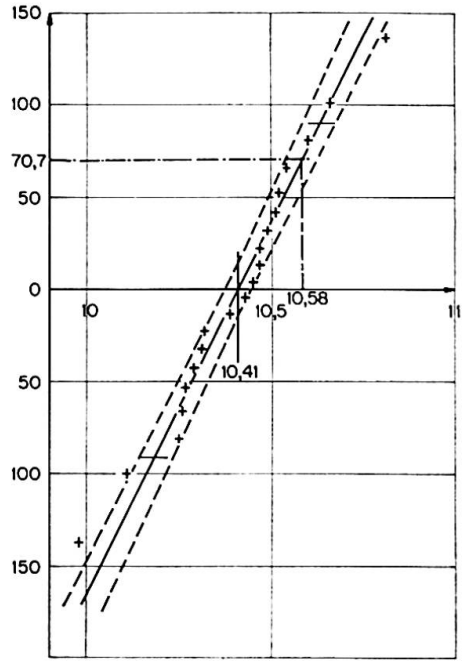
Les points représentatifs des mesures rapportés sur le diagramme de HENRY n'étant jamais exactement situés sur une ligne droite, il est nécessaire de se fixer une certaine tolérance, représentée par une bande à l'intérieur de laquelle doivent se trouver au moins 80% des points pour que l'ajustement soit considéré comme raisonnable. La fig. 1 montre un tel tracé pour lequel, sur 20 points d'essais, 3 seulement sont en dehors des limites de confiance, ce qui permet d'admettre que l'ajustement est valable.

C'est en partant de ces données qu'a été menée l'exploitation des essais qui a conduit, d'ores et déjà, à des résultats remarquables, susceptibles de constituer une base solide pour le choix d'une courbe européenne de flambement.

La fig. 2 représente, pour les principaux groupes d'essais effectués, les valeurs centrales des contraintes d'affaissement moins 2,6 fois l'écart quadratique moyen. Ces points représentent les limites à ne pas dépasser par la courbe conventionnelle pour que celle-ci puisse se prévaloir de la confirmation expérimentale.

Bien évidemment, les résultats de cette recherche, menée sur des bases nouvelles par rapport à toutes les précédentes études expérimentales du flambement, viendront se joindre aux études théoriques de la commission, dont la responsabilité est confiée au professeur MASSONNET.





Valeur centrale $\alpha = 10{,}41$

Ecart centré quadratique moyen

$\epsilon = 10{,}58 - 10{,}41 = 0{,}170$

Module de précision $h = \frac{1}{\epsilon\sqrt{2}} = 4{,}160$

Fig. 1.

Fig. 2. Convention européenne de la construction métallique. Sous-commission pour l'étude expérimentale du flambement. Essais français sur IAP 150.

Théorie et expérience vont ainsi de pair, la seconde donnant à la première une garantie authentique de concordance avec la réalité physique.

* * *

Les règles de calcul en préparation à la Convention européenne de la construction métallique constituent donc non seulement un pas en avant vers l'unification internationale des règles techniques, mais représentent aussi, et surtout, un document reflétant une bonne harmonie des données théoriques

et des enseignements de l'expérience et pouvant sans doute servir de guide dans l'évolution imminente et inéluctable des règlements nationaux vers l'application des notions probabilistes de la sécurité.

Résumé

L'auteur expose l'évolution que vont être amenés à prendre les règlements nationaux de la construction métallique sous l'impulsion de la Convention européenne de la construction métallique, par l'introduction des méthodes statistiques dans le calcul des ouvrages, et vers une application des notions probabilistes de la sécurité, en particulier dans le problème des instabilités, domaine de choix pour ces nouvelles conceptions, et nous fait constater la bonne harmonie règnant entre les résultats expérimentaux et les données théoriques reprises par ailleurs dans le rapport 1 c 2 de la Publication préliminaire, par monsieur Jean Dutheil.

Zusammenfassung

Der Verfasser deutet die Entwicklung der nationalen Stahlbau-Vorschriften an, wie sie voraussichtlich von der Europäischen Konvention der Stahlbauverbände angeregt werden wird: Einführung statistischer Methoden in die Berechnung der Stahlbauten und Anwendung des wahrscheinlichkeitstheoretischen Sicherheitsbegriffs, insbesondere bei Stabilitätsproblemen, welche sich besonders dazu eignen. Er zeigt die gute Übereinstimmung der Versuchsergebnisse mit den theoretischen Angaben des Aufsatzes von J. Dutheil (1 c 2 des Vorberichtes).

Summary

The author discusses the development which national regulations regarding steel construction are going to be induced to assume at the instigation of the European Convention on Steel Construction, by the introduction of statistical methods for the calculation of structures, and towards an application of probabilist conceptions of safety, more particularly in connection with the problem of instabilities, a specially suitable field for these new conceptions, and draws attention to the good agreement between the experimental results and the theoretical data which were summarised in report 1c 2 of the Preliminary Publication, by Mr. Jean Dutheil.