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

Band: 6 (1960)

Artikel: Rapport général

Autor: Dubas, Pierre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-7029

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: 16.01.2026

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

Construction métallique - Stahlbau - Metal Structures

II
Nouveau développement des moyens d'assemblage dans la construction métallique
Neuere Entwicklungen der Verbindungsmittel im Stahlbau
New Developments of Connections in Metal Structures

II a
Soudure
Schweißung
Welding

II b
Boulons précontraints à haute résistance
Hochfeste Schrauben
Prestressed High-Strength Bolts

Rapport général

PIERRE DUBAS
Professeur, E. P. F., Zurich

a) Soudure

Influence des contraintes longitudinales dans les cordons d'angle

Cette question a fait l'objet de deux intéressantes communications. Dans la première, M. Louis décrit les essais de flexion réalisés sur des poutres composées assemblées par des cordons d'angle situés d'une part à mi-hauteur de l'âme, d'autre part à la jonction de l'âme aux semelles. Les cordons de semelles, sollicités par des contraintes longitudinales et par cisaillement, se sont toujours rompus en premier lieu, avant les cordons d'âme qui ne travaillent pratiquement qu'au cisaillement.

Quant à la nouvelle contribution de M. Faltus, elle complète heureusement celle parue dans la Publication Préliminaire. L'auteur y décrit des essais complémentaires, effectués avec beaucoup de soin sur des éprouvettes comportant des extrémités taillées en biseau et soudées par recouvrement.

Tous les essais dont nous venons de parler montrent clairement que les contraintes longitudinales diminuent sensiblement la résistance au cisaillement des cordons d'angle. La question paraît donc résolue du point de vue qualitatif; il n'en est cependant pas de même du critère à appliquer pour tenir compte de cette influence des contraintes longitudinales ou, si l'on veut, de la formule exprimant la contrainte de comparaison dans le cordon. Les nouveaux résultats de M. FALTUS montrent certes une bonne concordance entre les valeurs mesurées et celles déduites du critère de HUBER-VON MISES-HENCKY. Toutefois, comme le remarque M. LOUIS, la distribution des contraintes longitudinales sur la largeur de l'éprouvette n'est pas uniforme, comme le suppose le calcul. Pour se prononcer valablement sur le critère à appliquer, il conviendrait de déterminer expérimentalement l'état de contraintes de la soudure.

Remarquons en passant que la manière d'évaluer la contrainte de comparaison n'exerce en général que peu d'influence sur la dimension des cordons et par conséquent sur l'économie d'un ouvrage.

Les ruptures fragiles

Bien que ce problème n'ait pas été traité au Congrès même, nous nous permettons d'y revenir brièvement à cause de son importance.

Quelles sont à l'heure actuelle nos connaissances dans le domaine de la fragilité des aciers? On dispose de très nombreux résultats expérimentaux sur éprouvettes entaillées, c'est-à-dire d'essais de résilience ou d'autres essais plus ou moins similaires. On manque par contre de renseignements suffisants sur le comportement des éléments d'ouvrages soudés, ou plus précisément sur le comportement des aciers dans les conditions des éléments d'ouvrages. De plus, on ignore les causes profondes des phénomènes relatifs à la fragilité et les lois qui les gouvernent, bien que de nombreuses théories aient déjà été proposées.

Pour l'ingénieur de la pratique, le problème de la fragilité se pose évidemment sous un angle plus restreint: il s'agit avant tout de choisir la qualité d'acier à mettre en œuvre dans un cas donné.

Dans le domaine métallurgique, des progrès très satisfaisants ont été réalisés ces dernières années et l'utilisateur dispose, pour chaque nuance d'acier, de qualités différentes, caractérisées par une sécurité plus ou moins grande vis-à-vis des ruptures fragiles. Le classement s'opère généralement à l'aide d'essais de résilience de sévérité croissante, comme le prévoient par exemple diverses normes dernièrement entrées en vigueur. Bien que la situation actuelle soit de loin préférable à celle qui existait antérieurement, on doit néanmoins se demander s'il est bien satisfaisant de ne tenir compte dans la classification des aciers que d'essais de résilience, effectués sur du métal non influencé par la soudure. On n'ignore pas en effet que d'autres propriétés du métal peuvent, plus ou moins directement, jouer un rôle. Des essais complé-

mentaires, en particulier sur la soudure et la zone de transition, seront donc souvent nécessaires.

En supposant même que les aciers puissent être classés sûrement à l'aide d'essais simples de résilience et que, de plus, il existe une relation bien définie entre le comportement de l'acier caractérisé par des éprouvettes et sa tendance à la fragilité dans les conditions de l'ouvrage, il resterait, pour fixer le choix de l'acier en toute connaissance de cause, à établir cette relation de façon précise. Comme nous manquons de bases théoriques, il faut avoir recours à la méthode expérimentale pour déterminer *quantitativement* l'influence des divers facteurs qui entrent en ligne de compte. Espérons donc que la recherche s'intensifiera dans ce domaine. Notons cependant que le problème du choix de la qualité de l'acier ne saurait être résolu de façon quasi-mathématique et qu'il restera toujours, à notre avis, une certaine marge laissée à l'appréciation et à l'expérience de l'ingénieur.

Qualité et contrôles des constructions soudées

Dans sa contribution, M. Faltus apporte quelques compléments aux communications parues dans la Publication Préliminaire et confirme leurs conclusions. L'importance et même l'impérieuse nécessité d'une conception appropriée, d'une préparation soignée et d'un contrôle poussé des constructions soudées paraît donc s'imposer. Il reste toutefois à savoir jusqu'à quel point ces principes sont mis en œuvre en pratique. Nous ne pouvons à ce sujet dissimuler un certain scepticisme et pensons qu'il reste beaucoup à faire en ce domaine.

Nous avons soulevé dans la Publication Préliminaire le problème, en partie économique, de la relation entre les exigences du contrôle (ou plus généralement les soins apportés à la fabrication) et les contraintes admissibles. On sait que, par exemple en chaudronnerie, il est courant de faire dépendre les coefficients de soudure de l'étendue des examens radiographiques, de l'exécution d'un recuit de détente, etc. Il serait intéressant de connaître à ce sujet l'avis des spécialistes appartenant aux divers pays groupés dans notre Association.

b) Boulons précontraints à haute résistance

Nous avons tenté dans la Publication Préliminaire d'établir un aperçu succinct des problèmes posés par les assemblages réalisés à l'aide de boulons HR ; nous nous bornerons donc ici à souligner certains points particulièrement importants et qui ont fait l'objet de communications au Congrès même.

Nous considérerons tout d'abord les assemblages sollicités par des efforts agissant *perpendiculairement à l'axe des boulons*, c'est-à-dire les assemblages cisaillés.

Il existe deux façons de concevoir le mode d'action de ces assemblages, ou plus précisément de les calculer et d'évaluer leur sécurité. On peut d'abord envisager qu'ils ne travaillent que par *friction:* les efforts sont alors transmis uniquement par des frottements agissant entre les surfaces en contact, appliquées vigoureusement l'une contre l'autre grâce à un préserrage énergique. Les efforts de serrage et de friction sont dans ce cas les données de base du problème et la sécurité de l'assemblage se détermine par rapport à la charge provoquant le glissement d'ensemble. La charge admissible d'un boulon s'élève donc au produit de l'effort de serrage par le coefficient de frottement, ce produit étant à diviser par un facteur de sécurité adéquat.

Cette façon de calculer la résistance est la seule applicable pour les assemblages sollicités à la fatigue ou pour lesquels des glissements importants seraient indésirables pour d'autres raisons.

Lorsque les sollicitations sont statiques, par contre, un glissement ne correspond pas à la limite de résistance de l'assemblage; après glissement, les boulons viennent en contact avec leur logement puis travaillent au cisaillement et à la pression latérale, comme les rivets ou boulons ordinaires. A la limite, la charge de rupture, sensiblement plus élevée que celle de glissement, sera pratiquement indépendante de la valeur du préserrage et du coefficient de frottement. Le calcul de l'effort admissible s'opérera donc dans ce cas comme pour les rivets et boulons ordinaires; les contraintes admissibles au cisaillement des tiges seront cependant plus élevées puisque l'on a affaire à un acier à haute résistance.

Cette distinction entre assemblages du type friction "*friction type*" et assemblages du type pression "*bearing-type*" est celle adoptée par le nouveau règlement américain en matière de boulons HR, fondé en partie sur les essais effectués à l'Université de Lehigh et que M. Thürlimann décrit dans sa communication.

En Europe continentale, on semble plus réticent et l'on se contente de considérer l'accroissement de résistance entre le glissement et la rupture comme une marge de sécurité bienvenue, justifiant éventuellement, pour des sollicitations statiques, un coefficient de sécurité relativement faible par rapport au glissement.

Pour faciliter la compréhension de ces deux points de vue, il est utile de remarquer l'analogie qui existe entre le diagramme caractéristique de l'essai de traction sur éprouvette en acier doux et celui qui représente le déplacement relatif d'un assemblage par boulons HR, soumis progressivement à une sollicitation statique. Au domaine élastique de l'allongement de l'éprouvette correspondra le domaine de friction pure de l'assemblage; au palier d'écoulement correspondra le palier de glissement et à la zone d'écrouissage, le domaine de résistance de l'assemblage après glissement (voir les fig. 5 et 6 dans l'article de M. Thürlimann). La manière américaine de calculer les boulons HR correspondrait donc, dans l'analogie précédente, à fixer les contraintes admissibles

des aciers en partant de leur résistance à la rupture et non de leur limite élastique, souvent considérée comme critère en construction métallique à cause des grands allongements caractéristiques du palier d'écoulement.

La différence essentielle entre les prescriptions américaines et celles établies jusqu'ici en Europe ne gît d'ailleurs au fond pas dans cette manière de calculer la sécurité: une comparaison des efforts admissibles dans les boulons montre en effet que, par exemple, les valeurs américaines et allemandes ne sont guère éloignées l'une de l'autre. La divergence concerne bien plus les *exigences relatives à l'état des surfaces en contact*, état qui détermine largement le coefficient de friction. Aux Etats-Unis, pour les assemblages par pression, on attache peu d'importance au frottement et les précautions imposées sont assez sommaires; même pour les assemblages par friction, on interdit seulement une peinture ou un zingage. En Europe, par contre, un traitement par sablage ou décapage au chalumeau oxy-acétylénique est exigé dans les normes existantes, afin de garantir un coefficient de frottement élevé et régulier.

Il ne nous appartient pas ici de trancher le problème. Seul l'avenir — et les expériences faites — permettra de dire si les prescriptions européennes sont trop sévères ou si, du moment qu'on renonce délibérément aux avantages d'un assemblage sans glissement, il n'est pas plus simple et plus économique de recourir aux boulons ordinaires.

Dans la Publication Préliminaire, il a déjà été question de la grande rigidité des assemblages par boulons HR: la déformabilité d'un boulon travaillant en friction est en effet bien inférieure à celle d'un rivet cisaillé et la répartition des efforts dans une ligne de boulons est loin d'être uniforme. Une certaine égalisation ne peut résulter que de petits glissements relatifs entre les boulons. Dans la Publication Préliminaire, nous nous étions demandés quelle pouvait être l'influence de ces petits glissements sur la *résistance à la fatigue* d'un assemblage. Le problème est traité dans la communication de M. Beer. Des essais, effectués en Autriche sur des assemblages soumis à des efforts répétés, proches de la charge de glissement, n'ont montré ni cheminement graduel, ni diminution progressive de la résistance. Comme il s'agit d'essais pulsatoires, très rapides, on pourrait se représenter que des mises en charge et en décharge lentes donnent des résultats moins favorables; à la longue, les aspérités qui, selon M. Beer, semblent assurer le grippage des surfaces en contact, pourraient rompre en fatigue, ce qui diminuerait le coefficient de friction. Ceci n'est évidemment qu'une hypothèse et il serait urgent que se développent nos connaissances relatives au *mécanisme même du frottement*.

Passons maintenant aux attaches comportant des boulons sollicités par des forces extérieures agissant *parallèlement à leurs axes*, c'est-à-dire aux attaches tendues ou fléchies. Les communications de M. Beer et de M. Steinhardt apportent à ce sujet des développements nouveaux. Il s'agit avant tout de joints fléchis, réalisés à l'aide de plaques d'about assemblées par des boulons HR. Les boulons étant fortement préserrés, ces attaches sont beau-

coup moins déformables que les attaches courantes du même type, réalisées à l'aide de boulons ordinaires, et que l'on assimile pratiquement à des articulations. Les attaches réalisées à l'aide de boulons HR permettent au contraire de compter sur un certain effet d'encastrement. Comme l'indique M. STEINHARDT, la continuité n'est cependant pas complète et il est nécessaire d'introduire dans les calculs un facteur caractérisant la déformabilité propre de l'attache soumise à la flexion[1]). On peut se demander si l'application toujours plus étendue de la soudure au montage ne restreindra pas l'emploi de cette sorte d'attaches boulonnées; la soudure permet en effet de réaliser des joints parfaitement rigides.

Arrêtons-nous pour terminer à la méthode de serrage dite au tour d'écrou "*turn of the nut*". On sait qu'elle consiste à imposer à la tige du boulon un allongement correspondant à une contrainte dépassant la limite élastique conventionnelle mais largement inférieur, par suite des propriétés plastiques de l'acier, à l'allongement de rupture. Ce procédé est surtout utilisé aux Etats-Unis où l'on emploie beaucoup les clefs pneumatiques, assez mal adaptées à la mesure précise, exigée par la méthode classique, du moment de serrage. La communication de M. BEER montre que le procédé au tour d'écrou est également en train de s'introduire en Europe.

Comme nous l'avons déjà indiqué dans la Publication Préliminaire, on doit toutefois se demander si l'on peut tolérer sans autre une prétension aussi élevée dans les boulons HR. Nous pensons en particulier aux problèmes de relaxation et de fluage, aussi bien pour le boulon lui-même que pour les pièces assemblées. Comme M. STEINHARDT l'indique dans sa communication, il s'est avéré nécessaire en Allemagne, pour éviter une perte de serrage, de limiter les pressions entre la tête — ou l'écrou —, la rondelle et la matière de base. Il sera donc intéressant de voir comment se comporteront à la longue les assemblages américains, quelquefois réalisés avec une seule rondelle. A notre avis une certaine prudence s'impose dans ce domaine si l'on veut éviter des déconvenues.

Quoi qu'il en soit, les boulons précontraints à haute résistance représentent un moyen d'assemblage nouveau qui a fait ses preuves lorsqu'il est appliqué correctement et qui complète heureusement la gamme des moyens d'assemblage plus anciens.

---

[1]) Il s'agit donc d'attaches semi-rigides, comme celles, réalisées par rivetage, qui sont décrites dans l'article de M. MAUGH (Thème III).