

**Observations sur les causes  
et formes de rupture des constructions soudées**

**Betrachtungen über die Ursachen  
und Formen der Brüche von geschweissten Konstruktionen**

**Notes on the causes  
and kinds of failure of welded structures**

F. CAMPUS

Professeur à l'Université de Liège

Après les accidents survenus à certains ponts Vierendeel soudés en Belgique, des spéculations nombreuses ont été publiées sur les causes de ces accidents. Dix ans après le premier qui eut du retentissement, il semble que ces spéculations ont encore la vie dure et que l'on hésite encore à dégager les causes majeures. Ces réflexions me sont suggérées par l'introduction au rapport de M. l'inspecteur général G. De Cuyper sur les échecs dans la construction soudée. Il énumère sept remarques générales de *a* à *g*, parmi lesquelles la sixième est libellée comme suit : « *f*) La description montre que les accidents sont dus à un concours de plusieurs facteurs. Il est difficile de déceler le facteur primaire. La classification qui a été suivie dans la description ci-après peut donc paraître assez arbitraire. C'est la raison pour laquelle nous ne donnerons que les facteurs probables. »

Or, tous les exemples dont la description suit, au nombre de quinze, indiquent parmi les facteurs probables les tensions résiduelles de soudure ou d'autres effets du retrait. Il y a une exception, c'est le cas d'un plat cintré à froid avant soudure. Comme il n'y avait pas d'effet de soudure possible, cette exception confirme les quinze autres exemples. Il y a plus de huit ans que j'ai énoncé que le facteur primaire est constitué par le retrait et ses effets, et cela ne nécessite pas une démonstration statistique telle que je la trouve dans le rapport précité. Disposant de peu de temps et soucieux, dans l'esprit des Congrès, de me borner ici à la discussion, je renvoie pour cette question de l'origine des ruptures dans l'effet du retrait à mes publications citées dans le rapport général de M. le professeur F. Stüssi.

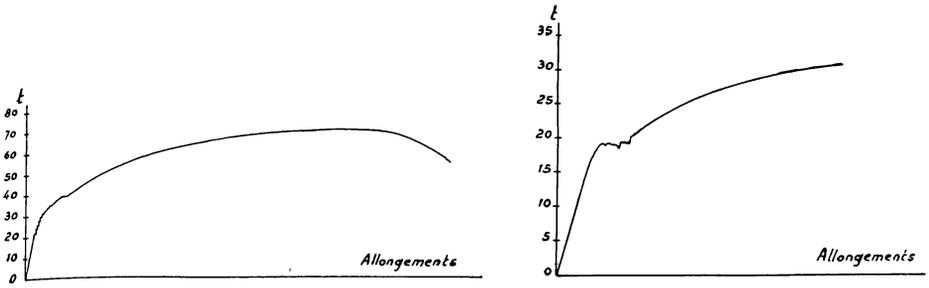
Si les sept remarques introductives de M. De Cuyper ne font aucune allusion au retrait, elles contiennent par contre ce qui suit : « *c*) La

description montre que l'épaisseur du métal, la structure cristalline à gros grains, la susceptibilité au vieillissement, la fragilité aux basses températures et le manque de résistance aux ruptures sans déformation ont joué un rôle important. »

J'avoue ne pas avoir trouvé cette démonstration dans la description et je considère que les caractéristiques énumérées ci-dessus ne paraissent avoir joué dans la cause des échecs qu'un rôle hypothétique. Même pour le plat cintré à froid qui s'est rompu spontanément, la cause de l'accident est naturellement de la même nature que celle qui produit des ruptures spontanées de bout en bout de longues poutrelles, à savoir des tensions intrinsèques. Quelle que soit la qualité des aciers, quelles que soient les spéculations que l'on fasse sur les caractéristiques énoncées sous le littéra c précité, un fait est établi expérimentalement, c'est que les aciers ne se rompent, *même sans striction*, que sous des efforts considérables et après déformation. Lorsque les sollicitations extérieures et connues ne suffisent pas à engendrer les efforts et les déformations nécessaires pour ces ruptures, seules les tensions intrinsèques et les déformations de soudure peuvent les expliquer. Après rupture, il est d'ailleurs impossible de superposer les deux faces de la cassure, ce qui témoigne des déformations souvent considérables qui se sont produites. Je trouve dans la description du rapport de M. G. De Cuyper la confirmation d'une conclusion que j'ai exprimée depuis longtemps sur la base de résultats expérimentaux, c'est que l'acier Siemens-Martin n'est pas plus à l'abri des accidents de soudure que l'acier Thomas. En conséquence, si je n'ai aucune objection à ce que l'on donne la préférence aux aciers calmés à grains fins, je ne pourrais recommander à personne de les souder les yeux fermés et je ne crains pas de répéter ici que le secret d'une bonne construction soudée n'est pas essentiellement dans le choix de l'acier de base.

D'une manière générale, en dépit de nombreuses recherches effectuées à la suite d'accidents survenus à des constructions soudées, les publications sur les causes et la nature des ruptures sont encore en grande partie spéculatives. Cela provient d'un reste d'influence de toutes les hypothèses qui ont été publiées avant toute recherche et, d'une manière générale, d'un défaut d'esprit scientifique absolu dans les études et dans les exposés. On note encore une tendance à exagérer les causes (p) passives, par exemple la qualité déficiente du métal ou son altération par la soudure, et à minimiser les causes actives, à savoir les conséquences mécaniques de la soudure et les malfaçons. C'est ainsi que l'on a pu lire dans une revue spécialisée que la métallurgie devait s'arranger pour permettre aux constructeurs de dormir sur les deux oreilles et qu'il fallait en finir avec l'épouvantail du retrait et des tensions résiduelles. Celles-ci sont donc bien condamnées et si elles résistent à de telles objurgations, elles donneront une preuve de mauvaise volonté manifeste. Je renvoie aussi à ce sujet à un article publié dans les *Annales suisses des Sciences appliquées et de la Technique (Schweizer Archiv)*, n° 5 de mai 1948. S'il n'y avait pas de déformations de retrait et de tensions de soudure résultant des empêchements du retrait, il n'y aurait pas de possibilité mécanique de rupture d'une construction normalement projetée, comme une construction rivée.

Ces ruptures, appelées par certains de « décohésion », ont un aspect qui ne résulte en fait que d'un empêchement de striction; elles sont précédées d'une déformation permanente uniforme normale. Les figures 1 et 2 représentent les allures des courbes tensions-déformations de deux barreaux



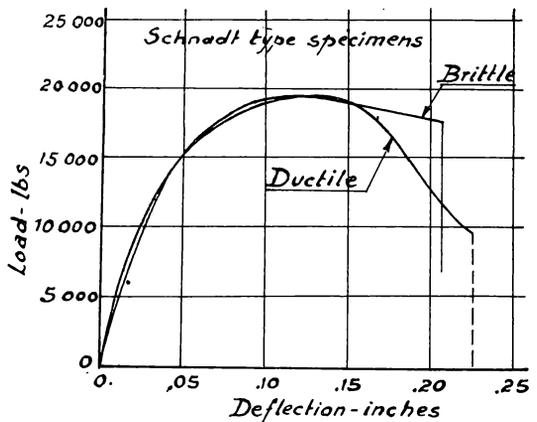
**Fig. 1 et 2.** Courbes tension - déformations de deux barreaux droits de mêmes dimensions, du même acier, le premier s'est rompu avec striction, le second sans.

droits de mêmes dimensions et du même acier, dont le premier s'est rompu avec striction, le deuxième sans (essais de 1938-1939).

Les expérimentateurs américains ont trouvé le même résultat par des essais de flexion lente sur les barreaux entaillés du type Schnadt, comme le montre la figure 3, empruntée à E. P. Klier, F. C. Wagner et M. Gensamer <sup>(1)</sup>. L'invocation de l'état de tension triaxial est le plus souvent en défaut, car il s'agit généralement d'éprouvettes (dans les essais) ou de pièces (dans les ouvrages avariés) dont une dimension est très faible par rapport aux deux autres.

Le temps dont je dispose ne me permet pas de développer ici la question des ruptures sans striction. Je me réfère aussi à ce propos aux publications citées dans le rapport général et à une note qui paraîtra prochainement dans la revue *L'Ossature Métallique*. Je me bornerai à attirer l'attention de mes auditeurs sur le fait que ce mode de rupture est sans influence sur la sécurité des ouvrages telle qu'on est en droit de l'escompter d'après la prise en considération de la ductilité des aciers doux.

En effet, cette prise en considération se limite au palier d'étirage.



**Fig. 3.** Essais américains de flexion lente sur barreaux entaillés du type Schnadt.

<sup>(1)</sup> *The Correlation of Laboratory Tests with Full Scale Ship Plate Fracture Tests (The Welding Journal, Supplement February 1948).*

Il a été précisé au Congrès de Berlin, notamment par M. R. Lévi, qu'il faut se garder de permettre que la déformation dépasse le maximum du palier d'étirage, ce qui peut advenir dans certains cas de constructions continues. On ne peut donc, même selon les vues les plus progressives, admettre le calcul de la sécurité par rapport à un point de la zone d'écrouissage. *A fortiori* est-il exclu que l'on porte en compte la striction comme facteur de sécurité. En fait, la striction déclarée se produit après que la charge a atteint sa valeur maximum; la rupture est virtuelle. Or, la rupture sans striction ne diffère de la rupture ductile que par l'absence de striction et n'influe pas sur le palier d'étirage; elle est précédée de la déformation permanente uniforme normale. Donc, ce mode de rupture ne diminue en rien la réserve de sécurité par ductilité sur laquelle on est en droit de compter. Sa génération s'explique par l'empêchement de déformation s'étendant à un grand volume. Les déformations unitaires sont limitées à des dimensions très petites sans être nulles, encore considérables à l'échelle moléculaire, de l'ordre de grandeur des cristallites, mais peu perceptibles de ce fait à nos sens. Cet empêchement se produit dans les angles quasi nuls des fines fissures congénitales de l'acier ou accidentelles provenant de la soudure, parce que les tensions sont nulles sur les lèvres de la fissure. D'où des surtensions et des déformations spécifiques considérables à l'extrémité de la fissure qui engendrent sa propagation. Le danger réside donc dans la fissure, d'autant plus insidieuse qu'elle est plus fine et plus cachée.

J'ai écouté avec un intérêt particulier le résumé que M. Goelzer vient d'exposer du remarquable rapport qu'il a rédigé en collaboration avec M. R. Vallette sur l'emploi de la soudure dans la reconstruction du pont d'Oissel. Abstraction faite des circonstances aggravantes qu'il s'agissait d'une reconstruction et d'un pont-rail, les auteurs signalent que cette application serait condamnée « *dans l'état actuel de la technique* » par les prescriptions concernant la soudure. L'acier puddlé de l'ouvrage ancien est en effet, plus que tout acier moderne, suspect selon l'alinéa *c* rappelé plus haut du rapport de M. De Cuyper. Cependant elle a été réussie sans coup férir, grâce à l'assurance que donne l'expérience éclairée et réfléchie, notamment grâce à une prise en considération intelligente et même avantageuse du retrait (serrage des lamelles par retrait perpendiculaire à l'épaisseur). Ce succès est un exemple de la manière dont on peut mener à bien une application de soudure dans les conditions métallurgiques les plus difficiles et sans possibilité de recours. Il fait le plus grand honneur au talent des constructeurs qui l'ont accompli.

### Résumé

En dépit des nombreuses recherches effectuées à la suite d'accidents survenus à des constructions soudées, les publications sur les causes et la nature des ruptures sont encore en grande partie spéculatives et hasardées. On note encore une tendance à exagérer les causes (?) passives, par exemple la qualité déficiente du métal et son altération par la soudure, et à minimiser les causes actives, à savoir les conséquences mécaniques de la soudure et les malfaçons.

S'il n'y avait pas de retrait et de tensions de soudures résultant des empêchements de retrait, il n'y aurait pas de possibilité mécanique de rupture d'une construction normalement projetée, comme une construction

rivée. Ces ruptures appelées « de décohesion » par certains et qui, en fait, ne résultent que d'un empêchement de développement de la striction, sont sans influence sur la sécurité des ouvrages tel qu'on est en droit de l'escompter d'après la prise en considération de la ductilité des aciers doux.

### Zusammenfassung

Die Veröffentlichungen über die Ursachen und die Art der Brüche, die in der Folge der zahlreichen Untersuchungen nach den Unfällen an geschweissten Konstruktionen erschienen sind, sind zum grossen Teil noch spekulativ und zufällig. Man bemerkt noch die Neigung, die passiven Ursachen (?), wie z.B. die mangelhafte Qualität des Stahls und seine Verschlechterung durch die Schweissung zu übertreiben und die aktiven Ursachen wie z. B. die mechanischen Folgen der Schweissung und die Ausführungsmängel zu verkleinern.

Wenn keine Schrumpfung und keine Schweissspannungen infolge der Behinderung der Schrumpfung entstehen würden, bestände keine mechanische Möglichkeit für den Bruch eines normal, d.h. ähnlich einer genieteten Konstruktion, entworfenen Bauwerks. Diese Trennungsbrüche, wie sie genannt werden und die in Wirklichkeit nur aus der Behinderung der Einschnürung entstehen, sind ohne Einfluss auf die Sicherheit der Bauwerke, wie man berechtigt ist sie aufzufassen, wenn man die Dehnbarkeit der weichen Stähle in Betracht zieht.

### Summary

Despite many enquiries held as the result of accidents that occurred to welded structures, publications concerning the causes and nature of failures are still to a large extent speculative and hazardous. There is still a tendency to exaggerate the passive causes (?), such as poor quality of the metal and its alteration due to welding, and to minimise the active causes, viz. the mechanical consequences of welding and faulty workmanship.

If there were no shrinkage and welding stresses arising from hindrance of shrinkage, there would be no mechanical possibility of failure of a normally designed structure, like a riveted structure. These ruptures called "de-cohesion" by some people and which in reality only arise from the prevention of the development of necking have no influence upon the safety of works such as one would be justified in presuming, by taking into consideration the ductility of mild steel.