

UNIVERSITÉ DE LIÉGE

---

COURS DE CONSTRUCTIONS DU GÉNIE CIVIL

---

N° 46

Recherches subventionnées par le Fonds du Centenaire de l'A. I. Lg.

---

**APPAREIL POUR DÉTERMINER LES EFFORTS QUI,  
DANS UNE ÉPROUVETTE SOUMISE A LA TRACTION, AMÈNENT  
LE DÉBUT DES DÉFORMATIONS PERMANENTES PERCEPTIBLES**

par F. CAMPUS,  
Professeur à l'Université de Liège.

R. DANTINNE,  
Chef de Travaux à l'Université de Liège.

et

R. JACQUEMIN,  
Assistant à l'Université de Liège.

---

**RAPPORT PRÉLIMINAIRE  
CONCERNANT LES ESSAIS EFFECTUÉS SUR MODÈLES  
A TROIS DIMENSIONS DE NŒUDS RIGIDES SOUDÉS**

par F. CAMPUS,  
Professeur à l'Université de Liège.

---

---

Extrait de la *Revue Universelle des Mines*, 1943  
(8<sup>e</sup> Série, t. XIX, n° 5)

---

---



LIÉGE

H. VAILLANT-CARMANNE, S. A., IMP. DE L'ACADÉMIE, PLACE SAINT-MICHEL, 4

1943

14733

et avril 1940), rendait compte des résultats des nouvelles expériences sur modèles plans, à petite échelle. Elle exposait aussi le programme détaillé d'une importante série d'essais sur modèles à trois dimensions de nœuds soudés, à échelle assez grande. Ces essais ont été entrepris depuis septembre 1941, grâce à une subvention du Fonds du Centenaire, qui a permis l'engagement d'un opérateur, M. Fontaine, conducteur civil, pour effectuer les nombreuses manipulations, avec le concours du personnel ordinaire de nos laboratoires. Le rapport ci-après rend compte succinctement des travaux de la première année; il est arrêté au mois de septembre 1942. On est loin encore de pouvoir conclure; de nombreux essais restent nécessaires. Le programme est à peine entamé et le travail est ardu, voire fastidieux. Le caractère scientifique de ces essais résulte précisément de la patience et de la tenacité de leur continuation, sans se laisser rebuter par rien, dans la conviction que l'expérience est la source unique de la connaissance (selon Claude Bernard) ou de la vérité (selon Henri Poincaré). Il réside aussi dans le but de ces efforts, qui est d'élucider le plus complètement possible le comportement d'ensemble et de détail des nœuds, afin d'en permettre le calcul en connaissance de cause et l'exécution d'une manière conforme à la sécurité et à l'économie, sans négliger les questions d'aspect.

Les essais actuels ont été non seulement subsidiés par le Fonds du Centenaire (traitement d'un opérateur), ainsi qu'il est indiqué plus haut, mais aussi par le F. N. R. S., pour la confection des modèles et du dispositif de sollicitation. L'exécution de cet appareil et des modèles a été confiée à la S. A. d'Ougrée-Marihaye.

Les moyens propres des laboratoires d'Essais des Constructions du Génie Civil ont été largement mis à contribution et ont été déterminants pour la possibilité d'exécuter des expériences à cette échelle et selon un programme aussi vaste.

L'appareil d'essai que nous avons imaginé et qui a été étudié par M. Ch. Massonnet (prisonnier en Allemagne depuis 1940) s'est avéré tout à fait satisfaisant. Il permet d'une manière très simple la reproduction de la sollicitation réelle des nœuds de charpentes Vierendeel, ce qui n'avait pas encore été réalisé auparavant, et ce tant pour les sollicitations dynamiques que statiques. Pour sa description nous renvoyons à l'Ossature Métallique (mars et avril 1940).

Les résultats des premiers essais de la nouvelle série sont très satisfaisants. Il est souhaitable d'accélérer leur achèvement, mais nous sommes, en dépit des concours indiqués, limités par les moyens. Cela est d'ailleurs dans la nature des choses. (Des essais analogues entrepris aux E. U. A., avant 1935 sous les auspices de l'American Institute of Steel Construction semblent n'avoir avancé aussi que très lentement). Du moins n'est ce pas faute au zèle et à l'activité de M. Fontaine que l'avancement n'est pas plus grand. Nous espérons que nous pourrons mener notre tâche à bien avant un trop grand nombre d'années. Des ingénieurs A. I. Lg. autorisés nous ont suggéré de ne pas écarter de nos essais les modèles

des nœuds rivés. Nous sommes entièrement d'accord à ce sujet, en dépit d'une perspective d'augmentation de travail.

Ceci constitue un rapport préliminaire, qui offre un caractère très sommaire et constitue un exposé de la façon dont les essais ont été effectués plutôt qu'un exposé de caractère scientifique. Avant de pouvoir tirer des conclusions, il est nécessaire que les essais sur d'autres types de nœuds soient effectués.

Le programme d'essai comporte quatre parties :

- 1) radiographie des soudures principales des modèles;
- 2) auscultation élasticimétrique du nœud : en flexion et traction et en traction simple;
- 3) essai de traction et flexion à outrance;
- 4) essai de traction et flexion dynamique.

1° **Radiographie.** — On a procédé sur la série des 8 nœuds actuellement au laboratoire, (4 types différents en double), à la radiographie des soudures principales, à savoir les soudures de raccord du montant au gousset et les soudures d'attache des ailes au gousset à la membrure lorsque le cas se présentait (exception : le nœud type préconisé par le professeur Vierendeel qui ne comporte pas de telles attaches). Pour un même type, on réservait le nœud présentant le moins de défauts pour l'essai dynamique. Il est à remarquer d'ailleurs que les défauts étaient extrêmement rares et présentaient un caractère peu grave (quelques soufflures). Donc les radiographies ont montré que l'on pouvait avoir tous apaisements quant à la qualité des soudures.

2° **Etude élasticimétrique des nœuds rigides soudés.** — Actuellement, deux types de nœuds ont été soumis aux essais, à savoir :

- a) type n° 1 ou type pont de Lanaye;
- b) type n° 4 ou type pont de Hasselt avec pattes d'attache soudées préalablement.

La charge totale appliquée aux nœuds a été de 30 tonnes, ce qui correspond à une charge de 1100 kg appliquée au montant par l'intermédiaire de l'anneau dynamométrique à bielle réglable. Le dispositif de maintien de charge automatique dont est muni le pulsateur a été utilisé pendant la durée d'une série de lectures.

Les déformations aux différents points de la pièce auscultée ont été mesurées à l'aide d'extensomètres Huggenberger avec base de 20 mm.

La façon de procéder a été la suivante :

Les repères étaient tracés sur la pièce et les extensomètres étaient fixés aux endroits repérés à l'aide de dispositifs adéquats. Ensuite la pièce était mise en charge deux fois au moins jusqu'à stabilisation des appareils de mesure. Après quoi, on procédait aux lectures qui ont été, pour chaque groupe, répétées 3 fois, le modèle étant chargé et 3 fois, le modèle étant déchargé. Toutes les lectures douteuses (fixations défectueuses, points

singuliers) ont été recommencées avec un extensomètre différent et une fixation plus stable (certains points ont été vérifiés trois fois).

Les déformations étaient alors transformées en tensions en admettant pour l'acier un module d'élasticité de 21.000 kg/mm<sup>2</sup>.

Les mesures suivantes ont été effectuées :

1) Nœud type n<sup>o</sup> 1 ou type pont de Lanaye.

A. — Efforts appliqués : *traction avec flexion*.

- a) relevé du diagramme des tensions au milieu de l'aile inférieure de la membrure ;
- b) relevé du diagramme des tensions sur un des bords de l'aile inférieure de la membrure ;
- c) relevé du diagramme des tensions dans quelques sections transversales de l'aile inférieure de la membrure ;
- d) relevé du diagramme des tensions sur le bord interne de l'aile supérieure de la membrure ;
- e) relevé du diagramme des tensions au milieu de l'aile tendue du montant et du gousset ;
- g) relevé du diagramme des tensions dans quelques sections transversales des deux ailes du montant et du gousset ;
- h) tracé des directions principales et calcul des tensions principales dans l'âme de la membrure, le long de l'aile supérieure de la membrure ;
- i) tracé des directions principales et calcul des tensions principales dans le gousset, le long de l'aile supérieure de la membrure.
- j) tracé des directions principales et calcul des tensions principales de divers points de la section médiane du gousset.

B. — Efforts appliqués : *traction simple*.

Les essais n'ont pu être encore effectués.

2) Nœud type n<sup>o</sup> 4 ou type pont de Hasselt avec patte d'attache soudée préalablement.

A. — Efforts appliqués : *traction et flexion*.

Relevé du diagramme des tensions.

- a) au milieu de l'aile inférieure de la membrure ;
- b) sur le bord interne de l'aile supérieure de la membrure ;
- c) au milieu de l'aile tendue du montant et du gousset ;
- d) au milieu de l'aile comprimée du montant et du gousset.

Tracé des directions principales et calcul des tensions principales.

- e) dans l'âme de la membrure le long de l'aile supérieure de la membrure ;
- f) dans le gousset le long de l'aile supérieure de la membrure ;
- g) en divers points de la section médiane du gousset.

B. — Efforts appliqués : *traction simple*.

Relevé du diagramme des tensions.

- a) au milieu de l'aile inférieure de la membrure ;
- b) sur le bord interne de l'aile supérieure de la membrure ;
- c) au milieu de l'aile tendue du gousset ;
- d) au milieu de l'aile comprimée du gousset.

Les résultats de tous ces essais ont été reportés en diagrammes sur des planches qui sont à l'heure actuelle entre les mains d'un dessinateur et seront publiés ultérieurement.

Il est à noter que l'on a également procédé, aux fins de comparaison avec les résultats expérimentaux, à une étude théorique des tensions à l'aide des formules proposées par divers auteurs, notamment Résal, Vierendeel et M. Joseph Schnadt.

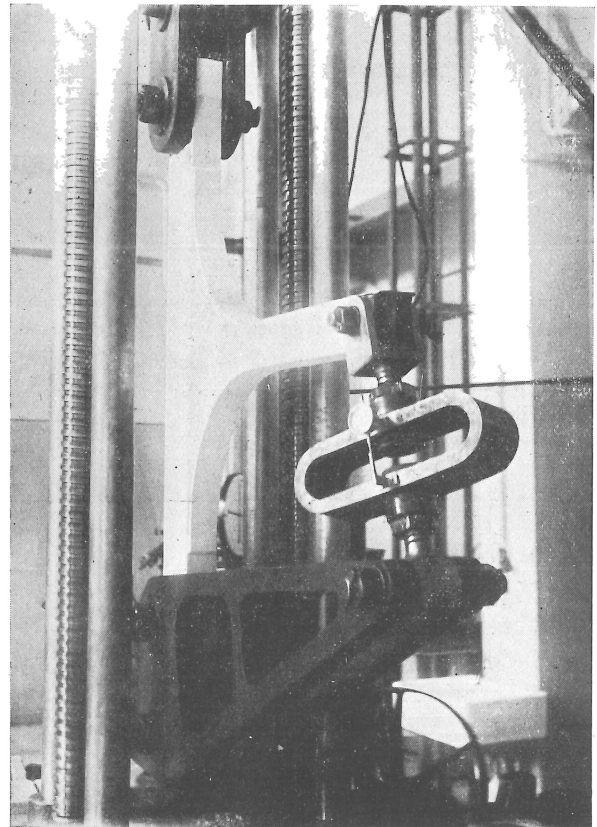


Fig. 1. — Vue d'un nœud monté avec son dispositif d'essai dans la machine de 100 tonnes.

3<sup>o</sup> Essais statiques à outrance (traction et flexion).

— Afin de pouvoir suivre aisément le comportement du nœud dans un essai à outrance, celui-ci était préalablement recouvert d'un enduit de chaux. La charge était alors appliquée progressivement, avec des paliers assez nombreux, afin de pouvoir procéder à un repérage des lignes de glissement qui apparaissaient à la surface de la couche de chaux lorsque la limite élastique était atteinte en un endroit quelconque du modèle. La charge n'a pas

été appliquée jusqu'à rupture du modèle, mais l'on a arrêté l'essai lorsqu'on l'a jugé suffisant (apparition de très nombreuses lignes de glissement).

Le nœud type 1 a été soumis à une charge totale de 67,5 tonnes. Les photos n° 2 et 3 montrent des vues des lignes de glissement après l'essai.

Le nœud type 4 a été soumis à une charge totale de 75 tonnes. La photographie du nœud a été rendue impossible par une fuite d'huile qui a compromis l'aspect des lignes de glissement, néanmoins un relevé aussi précis que possible a été fait de celles-ci en vue de publication éventuelle ultérieure.

Afin d'éviter toute discussion quant aux conditions d'essai des deux types de nœud, on se propose de soumettre également le nœud type 1 à la même charge que le type 4, soit 75 tonnes.

#### *Aperçu sommaire des résultats des essais*

**Nœud type 1.** — La charge a été appliquée par paliers de 5 tonnes. A partir de 35 tonnes, on est

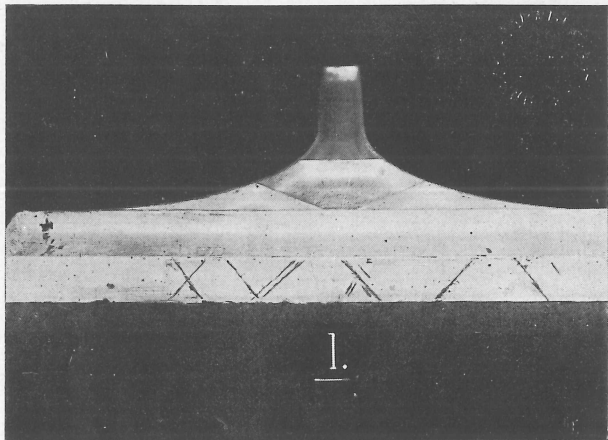


Fig. 2. — Vue d'un nœud du type 1 après essai de traction-flexion dynamique.

obligé de procéder à un réglage de l'anneau dynamométrique afin de compenser la déformation élastique subie par le montant.

Ce réglage a été poursuivi pendant tout le cours de l'essai.

A 50 tonnes, il y a apparition des premières lignes de glissement sur l'aile extérieure de la membrure et sur les ailes intérieures de la membrure. Ces lignes sont obliques à 45° dans les deux sens. A 55 tonnes les lignes vont en se développant. A 65 tonnes il y a multiplication des lignes de glissement sur les ailes de la membrure. Il y a également apparition de lignes dans l'aile intérieure de la membrure, un peu au-dessus de la soudure frontale de l'attache de l'aile tendue du gousset à la membrure.

L'essai a été arrêté à 67,5 tonnes. A ce moment les lignes de glissement au dessus de la dite soudure frontale se sont fortement multipliées.

**Nœud type 4.** — Les premières lignes sont apparues pour une charge de 45 tonnes, dans l'aile extérieure de la membrure.

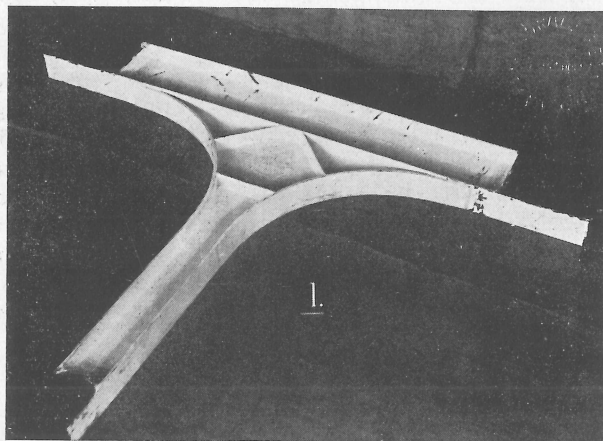


Fig. 3. — Vue des lignes de glissement d'un nœud du type 1 après essai de traction-flexion statique à outrance.

Les lignes de glissement au dessus de la soudure frontale de la patte d'attache sont apparues pour une charge de 60 tonnes. Pour une charge de 72,5 tonnes, des lignes de glissement sont également apparues à proximité de la soudure frontale de la patte d'attache à l'aile comprimée du gousset et en grande quantité dans l'âme de la membrure. En fin d'essai, à 75 tonnes, on a constaté que la région du nœud la plus affectée est l'aile extérieure de la membrure au droit du maximum du diagramme relevé lors des essais élastométriques. On a fait la même constatation pour le nœud précédent.

**4° Essais dynamiques de traction et flexion.** — Le dispositif de transmission des efforts était le même que pour l'essai statique. La machine d'essai utilisée a été un pulsateur « Amsler ». La charge oscillait entre un minimum fixe de 15 tonnes

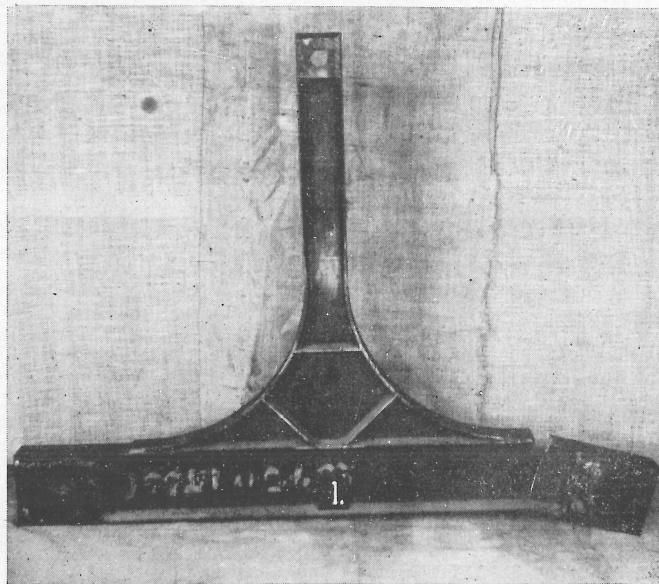


Fig. 4. — Vue des lignes de glissement d'un nœud du type 1 après essai de traction-flexion statique à outrance.

(charge correspondant au poids mort) et un maximum variable. Pour le nœud type 1, il était initialement de 35 tonnes; pour le nœud type 4, il était de 25 tonnes. Après un million de pulsations, la charge maximum était majorée de 2,5 tonnes et ainsi de suite jusqu'à rupture. La cadence de la pulsation était initialement de 500 puls./minute. Dans la suite elle a été réduite à 350 puls./minute pour des raisons d'ordre pratique. Chaque fois que la charge maximum était augmentée, on procédait à un réglage de l'anneau dynamométrique afin de maintenir dans le montant un effort proportionnel à la charge totale appliquée au nœud.

*Aperçu sommaire des résultats des essais*

*Nœud type 1.* — 1 million de pulsations entre 15 et 35 tonnes.

1 million de pulsations entre 15 et 37,5 tonnes.  
560.400 pulsations entre 15 et 40 tonnes.

A ce moment une fissure s'est produite dans l'aile intérieure de la membrure au droit de la soudure frontale, cette fissure a progressé dans l'âme et le modèle s'est rompu.

*Nœud type 4.* — 1 million de pulsations entre 15 et 25 tonnes.

1 million de pulsations entre 15 et 30 tonnes.

1 million de pulsations entre 15 et 32,5 tonnes.

1 million de pulsations entre 15 et 35 tonnes.

400.000 pulsations entre 15 et 37,5 tonnes.

A ce moment on constate une fissure longitudinale dans les deux soudures latérales de la patte d'attache (partie tendue). L'essai a été poursuivi avec les mêmes charges et pour 975.000 pulsations la soudure de raccord de la patte d'attache et de l'aile du gousset s'est rompue. Après quelques milliers de pulsations, on constate le décollement progressif de la soudure d'enracinement du gousset à la membrure. L'essai a été arrêté pour 1.460.000 pulsations entre 15 et 37,5 tonnes.