

---

# Analyse du comportement en fatigue de tronçons en té boulonnés

Aliou Badara Camara<sup>\*a</sup>, Fabienne Pennec<sup>a</sup>, Sébastien Durif<sup>a</sup>, Jean-Louis Robert<sup>a</sup>, Abdelhamid Bouchair<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Université Clermont Auvergne, CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France

[aliou\\_badara.camara@etudiant.univ-bpclermont.fr](mailto:aliou_badara.camara@etudiant.univ-bpclermont.fr), [fabienne.pennec@uca.fr](mailto:fabienne.pennec@uca.fr), [sebastien.durif@uca.fr](mailto:sebastien.durif@uca.fr),  
[abdelhamid.bouchair@uca.fr](mailto:abdelhamid.bouchair@uca.fr), [j-louis.robert@uca.fr](mailto:j-louis.robert@uca.fr)

---

*RÉSUMÉ.* Ce travail présente une étude du comportement en fatigue de boulons au sein de tronçons en té. Le tronçon en té est un composant élémentaire utilisé dans la norme actuelle NF-EN1993-1-8 pour décrire le comportement mécanique d'un assemblage boulonné en construction métallique. Deux modèles éléments finis 2D et 3D ont été développés pour évaluer les contraintes au sein de la tige du boulon du tronçon en té soumis à un effort axial. L'objectif de l'étude est double. D'une part nous souhaitons déterminer l'influence de plusieurs paramètres géométriques sur le comportement en fatigue du tronçon en té en utilisant deux norme de calcul, NF-EN 1993-1-9 et VDI 2230, et d'autre part comparer les résultats obtenus avec le modèle 3D et ceux obtenus avec le modèle 2D. Nous avons considérés quatre configurations du tronçon en té avec des boulons non précontraints.

*ABSTRACT.* This work presents the study of the fatigue life of bolts in tee stubs. Tee stubs are elementary components used in the actual norm EN-1993-1-8 to describe the mechanical behaviour of steel bolted connections. Two finite element models were developed to assess the stresses within the shank of the bolt: a 2D model and a 3D model. The objective of the study is twofold. On the one hand we want to determine the influence of several geometric parameters on the fatigue behavior of the tee stub using two standards, NF-EN 1993-1-9 and VDI 2230, and on the other hand to compare the results obtained with the 3D model and those obtained with the 2D model. We have considered four configurations of the tee stub with no prestressed bolts.

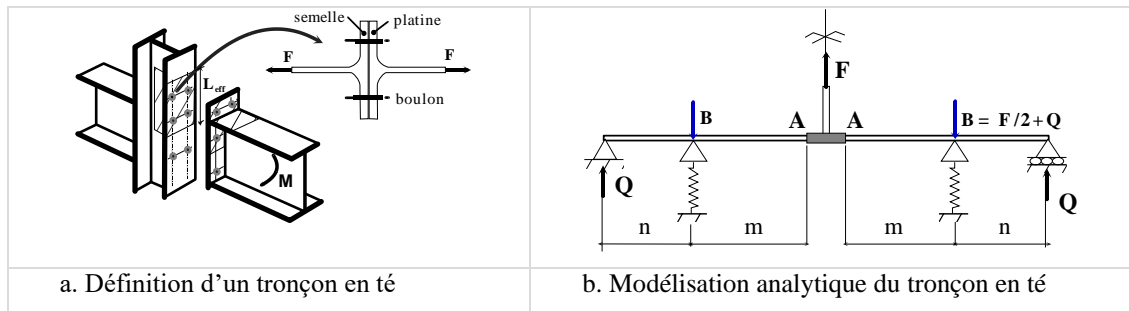
*MOTS-CLÉS :* fatigue, tronçons en té, modèle éléments finis, NF-EN 1993-1-8, NF-EN 1993-1-9, VDI 2230.

*KEY WORDS:* fatigue life, tee stub, finite element model, EN 1993-1-8, EN 1993-1-9, VDI 2230.

---

## 1. Introduction

Les assemblages poutre-poteau par platine d'about boulonnée (Figure 1) sont courants en construction métallique. Ils sont essentiellement soumis à un moment fléchissant et à un effort tranchant et présentent une certaine complexité au niveau de leur fonctionnement mécanique, car les efforts doivent transiter par contact entre les diverses pièces assemblées (boulons, plaques et profilés en I ou en H). Plusieurs approches permettent de définir le comportement mécanique d'un assemblage, sur la base d'essais, de calculs numériques ou de calculs analytiques. La norme de dimensionnement européenne NF-EN 1993-1-8 (par la suite EC3) traite des assemblages de construction métallique [EN 04]. Cette démarche permet de déterminer la résistance sous sollicitations statiques dominantes. Dans certaines situations (offshore, éolienne, ferroviaire, etc.), les assemblages peuvent être soumis à des sollicitations dynamiques et cycliques, susceptibles d'introduire des problèmes de fatigue, ces sollicitations venant diminuer leurs durées de vie même si elles restent à des niveaux faibles par rapport à l'État Limite Ultime (ELU) [FAR 06] [MAS 94].



**Figure 1.** Illustration d'un tronçon en té soumis à un effort axial.

La présente étude est une première approche qui analyse le comportement d'un tronçon en té en situation de sollicitation de fatigue. Elle s'appuie sur une démarche de modélisation MEF 2D et MEF 3D développée sous Cast3M. Le tronçon en té est supposé être soumis à une sollicitation cyclique uni-axiale d'amplitude constante, variant entre 5kN et 10kN. Les contraintes dans les boulons sont évaluées en vue d'appliquer les démarches analytiques qui permettent d'estimer leur comportement en fatigue. Pour évaluer le comportement en fatigue du tronçon en té avec les modèles, une étude paramétrique est menée en considérant l'épaisseur de la semelle ( $t_f$ ) et la position du boulon ( $m$ ). Les durées de vie en fatigue sont calculées avec la méthode préconisée par l'Eurocode 3 (EN-1993-1-9 [EN 05]) et comparées aux méthodes traditionnelles de vérification à la fatigue de pièces mécaniques telles que la norme VDI 2230 [VDI 83].

## 2. Calcul à la fatigue d'un boulon

### 2.1 Dimensionnement en fatigue préconisé par la norme VDI 2230

La recommandation VDI 2230 préconise de calculer la contrainte axiale alternée dans le boulon et de la comparer à une valeur de référence pour un rapport  $\sigma_m/\sigma_{p0.2}$  compris entre 0,3 et 1 [VDI 83].  $\sigma_m$  est la contrainte moyenne  $\sigma_{p0.2}$  est la limite conventionnelle d'élasticité.

Pour les boulons roulés avant traitement thermique de classes 8.8, 10.9 et 12.9, la contrainte alternée admissible  $\sigma_{D1}$  à  $2 \times 10^6$  cycles est donnée par l'équation [1] :

$$\sigma_{D1} = 0.85 \cdot \left( \frac{150}{d} + 45 \right) \quad [1]$$

où  $d$  est le diamètre nominal de la tige du boulon

Pour les boulons roulés après traitement thermique de classes 8.8, 10.9 et 12.9, la contrainte alternée admissible  $\sigma_{D2}$  à  $2 \times 10^6$  cycles est donnée par l'équation [2] :

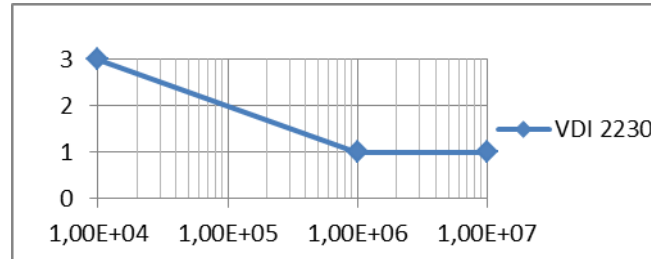
$$\sigma_{D2} = \sigma_{D1} \cdot \left( 2 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{p0.2}} \right) \quad [2]$$

Afin de pouvoir dimensionner de façon optimale un assemblage boulonné et réduire le poids des éléments constituant l'assemblage, nous utilisons les courbes S-N et on vise une durée de vie limitée et non une endurance

illimitée. La méthode, définie par la recommandation VDI 2230, majore la limite d'endurance  $\sigma_D$  en l'affectant d'un coefficient de correction de tenue dynamique  $K_N$  traduisant l'allure des courbes de Wöhler disponibles.

$$K_N = \frac{\sigma_a}{\sigma_D} \quad [3]$$

Où  $\sigma_a$  est la limite de fatigue à  $N$  cycles. La norme VDI 2230 propose une valeur  $K_N$  de 3 pour  $N=10^4$  cycles et la construction d'une courbe bilinéaire (figure 3).



**Figure 3.** Construction de la courbe de résistance à la fatigue par la méthode du coefficient de correction de tenue dynamique

## 2.2 Dimensionnement en fatigue préconisé par l'Eurocode 3 [EN 05]

Contrairement à la recommandation VDI, l'influence de la contrainte moyenne sur la résistance à la fatigue n'est pas considérée par l'Eurocode 3. L'influence du diamètre du boulon n'est pas davantage considérée par l'Eurocode 3 pour des diamètres de tige inférieurs à 30 mm

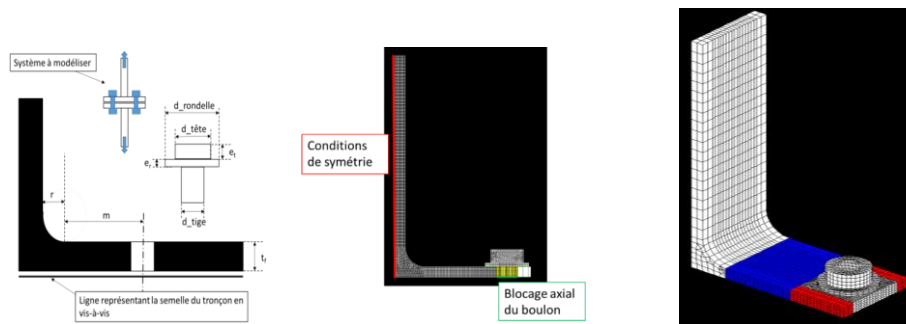
La résistance à la fatigue est déterminée à l'aide de l'équation [4] :

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m * 2.10^6 \quad [4]$$

avec  $m = 3$  pour  $N \leq 10^6$  et  $\sigma_c = 25\text{MPa}$ .

## 3. Modèles éléments finis

La modélisation par éléments finis est utilisée ici afin d'obtenir la distribution de la contrainte axiale au sein d'une tige de boulon d'un tronçon en té sollicité en traction. Le modèle a été développé en 2D contraintes planes et en 3D sous Cast3M [CEA 16]. La figure 5 présente une description des deux modèles 2D et 3D.



**Figure 5.** Description des modèles éléments finis, 2D et 3D.

Les différents paramètres étudiés sont la position du boulon ( $m$ ), l'épaisseur de la semelle ( $tf$ ). Le demi-tronçon étudié a une épaisseur d'âme de 7,6 mm, une largeur de 50 mm et une longueur de 100 mm. La limite élastique de l'acier constitutif du tronçon est de 355 MPa. Le boulon utilisé est un boulon M14 de classe 8.8.

## 4. Dimensionnement en fatigue du tronçon en té avec la recommandation VDI 2230 et la norme Eurocode 3

Les courbes de résistance à la fatigue préconisées par la norme VDI 2230 et par l'Eurocode 3 sont utilisées pour déterminer les durées de vie respectives de chaque géométrie de tronçon en té (voir tableau 1(a)) en supposant la tige du boulon soumise à un cycle de contraintes de traction à amplitude constante. L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans le tableau 2.

Cas	m(mm)	tf(mm)	F[kN]	N[kN]	M[kN.m]
1	20	7.5	10	12.4	0.09
2	60	7.5	10	14.34	0.22
3	20	15	10	10.74	0.038
4	60	15	10	8.79	0.1

(a)

(b)

**Tableau 1.** Configurations géométriques et résultats de sollicitations internes pour  $F=10$  kN

2 D				
cas	$\sigma_a$ (MPa)	$\sigma_m$ (MPa)	N(VDI2230)	N(EC3)
1	102,7	303	6,E+05	2,88E+04
2	176,3	492	1,E+04	5,71E+03
3	30,1	150,6	>1E6	1,14E+06
4	110.32	324.38	2,E+05	2.33E+04

3 D				
cas	$\sigma_a$ (MPa)	$\sigma_m$ (MPa)	N(VDI2230)	N(EC3)
1	132,4	403	1,E+05	1,35E+04
2	222,35	687,7	<10E4	2,84E+03
3	58,15	174,2	>10E6	1,59E+05
4	123.7	362.88	5,E+05	1.65E+04

**Tableau 2.** Evaluation de la durée de vie en fatigue avec la norme VDI2230 et l'Eurocode 3

## 5. Analyse et conclusion

Le tableau 1(b) présente l'effort normal N dans le boulon ainsi que le moment de flexion M qui lui est appliqué et met en évidence un moment de flexion plus important dans les cas 2 et 4 dû à l'effet de levier.

Le tableau 2 montre que l'excentration du boulon a pour effet de diminuer la durée de vie en fatigue de ce dernier en augmentant l'amplitude du cycle de contrainte au sein du boulon ainsi que la contrainte moyenne dans les deux modèles 2D et 3D. L'augmentation de l'épaisseur de la semelle entraîne une augmentation de la durée de vie du boulon en diminuant la contrainte alternée et la contrainte moyenne.

Les durées de vie obtenues avec la norme VDI 2230 sont plus élevées que celles obtenues avec l'Eurocode 3. La recommandation VDI 2230 donne ainsi des résultats moins conservatifs que l'Eurocode 3.

Les contraintes axiales calculées sur la section de la tige du boulon sont supérieures avec le modèle 3D. Par exemple dans le cas 1 nous constatons une augmentation des contraintes de 23% dans le 3D par rapport aux résultats du modèle 2D. Une explication possible de l'écart entre les résultats obtenus avec les deux modèles est la différence de géométrie du boulon dans les deux modèles. En effet, la modélisation 2D a été faite en assimilant la section du boulon à une section rectangulaire alors qu'en 3D une section circulaire a été utilisée pour modéliser le boulon. L'utilisation du modèle 3D pour la suite de l'étude est préconisée

## 6. Bibliographie

[CEA 16] CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) "CAST3M Website", <http://www-cast3m.cea.fr>. Last visit in april 2016.

[EN 04] EN 1993-1-8, Eurocode 3, 2004, Design of Steel Structures - Part 1-8: Design of joints.

[EN 05] EN1993-1-9, CEN, Eurocode 3, 2005, Calcul des structures en acier, partie 1-9 : Fatigue, CEN.

[FAR 06] Fares Y., 2006, Dimensionnement en fatigue des assemblages boulonnés à l'aide de critères de fatigue multiaxiale, Thèse. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse (LGMT) INSA-UPS, 197 p.

[MAS 94] Massol J., 1994, Etude des assemblages boulonnés à chargement faiblement excentré soumis à des sollicitations de fatigue, Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.

[VDI 83] Norme VDI 2230, *Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen zylindrische Einsschraubenverbindungen*, avril 1983.