

Etude numérique des comportements mécaniques des jonctions tubulaires soudées de forme T de sections circulaire et elliptique

S. JALAL^a, L. BOUSSHINE^b, Z. EL MASKAOUI^c, A. MJIDILA^d

a.b.c.d. Laboratoire de Technologie de Construction et des Systèmes Industriels (LTCSI), Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique, BP 8118, Oasis, Casablanca

Résumé :

L'objectif de ce travail, c'est d'analyser numériquement le comportement élastique et élasto-plastique de trois jonctions tubulaires soudées de forme T à sections d'entretoises différentes. Une à entretoise circulaire et les deux autres sont à entretoises elliptiques disposées différemment, une longitudinale et l'autre transversale. L'étude élastique consiste à comparer, dans trois cas de charges, l'évolution de la contrainte géométrique autour de du pied de cordon de soudure pour les trois jonctions. Pour l'étude élasto-plastique, les charges limites de ces mêmes jonctions ont été comparées pour chaque cas de charge. Afin de faciliter les interprétations, les résultats sont présentés sous forme graphique. Les simulations numériques sont réalisés à l'aide des logiciels Patran et Nastran.

Abstract :

The strength of T-tubular joints with elliptical and circular cross-section tube braces with circular cross-section chords has been investigated. The aim of this work is to analyze numerically the elastic and elasto-plastic behaviors for three types of tubular T-joints. The first has a circular cross-section. The other braces have elliptical cross-sections with longitudinal and transverse dispositions. In the elastic study, the geometric stress around the weld toe for all joint has been compared in three load cases. In elasto-plastic study, the limit loads for the same tubular joints has been compared for each load case. The results are presented in graphical form for to facilitate interpretations. The numerical simulations are carried using Patran and Nastran software.

Mots clefs : Jonction Tubulaire, Section Circulaire, Section Elliptique, Elasticité, Elasto-plasticité, Point Chaud, Zone Chaude, Charge Limite

1 Introduction

Les assemblages tubulaires soudés trouvent leurs applications dans plusieurs domaines de construction mécanique. On cite notamment les canalisations d'eau, les tripodes, les pylônes de télécommunication, les passerelles et les supports des plateformes offshore de type Jacket. Ces supports sont constitués principalement d'un ensemble d'éléments structuraux soudés entre eux, en formant des jonctions tubulaires soudées de différentes configurations géométriques (T, Y, K, KT, DT, DY, DK, DKT, ...). Dans la majorité des cas, les éléments structuraux sont des tubes à sections circulaires. D'où l'idée de comparer les réponses élastiques et élasto-plastiques de ces types de jonctions avec celles à entretoise de section elliptique.

Plusieurs études ont été abordées pour analyser le comportement des jonctions tubulaires soudées. Dans [1], Ghanameh et al. ont réalisé des simulations numériques pour évaluer l'évolution de la contrainte locale au voisinage des cordons de soudure liant les manchons et les entretoises. Ceci est réalisé pour plusieurs types de jonctions planaires à sections circulaires sous chargement combiné. Lee [2] a étudié, d'une part, les jonctions de formes T et Y sous chargement TRA, FDP et FHP, et d'autre part, les jonctions de formes K et DT sous chargements équilibrés. Soh et al. [3] ont étudié également les jonctions de formes DT, K et KT sous trois types de chargements équilibrés. Dans [4], une étude comparative des comportements élastique et élasto-plastique pour les jonctions de formes T, Y, DT et DY a été réalisée. Cette étude a démontré que les jonctions à entretoises inclinées sont plus robustes que celles à entretoises perpendiculaires. Ceci est valable

pour l'étude élastique et l'analyse limite plastique. Dans [5], une analyse de l'influence des paramètres géométriques sur le coefficient de concentration de contrainte a été réalisée. Cette étude a été effectuée pour des jonctions tubulaires de forme KT à sections circulaires mais avec raidisseurs internes. Dans ce travail, on a remarqué que les auteurs ont introduit un nouveau paramètre adimensionnel qui est directement proportionnel avec la profondeur des raidisseurs. Cette étude de simulation numérique, dont le maillage a été validé expérimentalement, a démontré que le CCC diminue avec l'augmentation de ce nouveau paramètre.

2 Choix des jonctions et conditions aux limites

Trois éprouvettes de forme T nommées T_1 , T_2 et T_3 vont être étudiées dans ce travail. Elles possèdent des manchons identiques à section circulaire. T_1 a une entretoise de section circulaire, T_2 et T_3 ont des entretoises à sections elliptiques de mêmes dimensions mais elles sont disposées différemment (figure 8).

Pour chaque éprouvette, trois cas de charge vont être traités, la traction (TRA), la flexion dans le plan (FDP) et la flexion hors plan (FHP). Les chargements vont être appliqués aux extrémités libres des entretoises. Les extrémités des manchons sont, tout le temps, encastées.

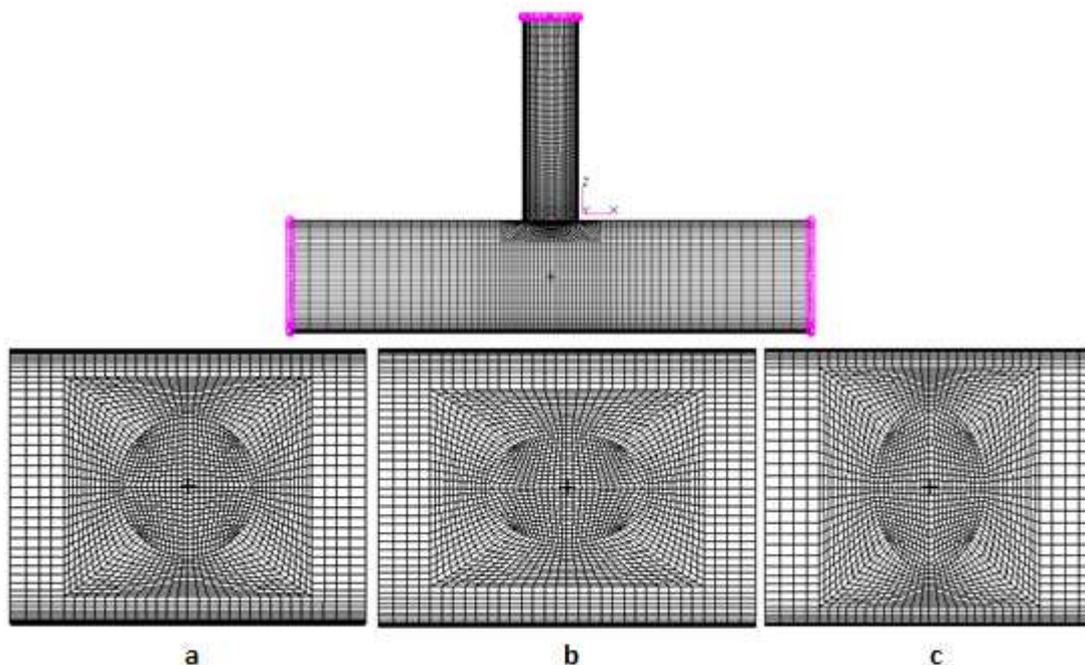


FIG. 1 – Maillages des éprouvettes avec des éléments coques minces de type quadrilatère à quatre nœuds :
(a) Jonction T_1 , (b) Jonction T_2 , (c) Jonction T_3

Le maillage est réalisé à l'aide du logiciel Patran, tandis que le post-traitement est traité à l'aide du logiciel Nastran106. Pour les trois types de jonctions, le voisinage du cordon de soudure est subdivisé en 96 éléments finis pour pouvoir prélever le maximum des valeurs de contrainte le long du cordon (figure 1).

Le matériau choisi pour cette étude est l'acier de construction de module d'Young 2.1×10^5 MPa, de limite élastique 240 MPa et de coefficient de poisson 0.33. Pour l'étude élasto-plastique dans laquelle on déterminera les charges limites, le matériau aura un comportement élastique parfaitement plastique.

3 Réponses élastiques des jonctions

Les Trois éprouvettes T_1 , T_2 et T_3 sont soumises indépendamment à trois types de chargements extérieurs, TRA, FDP et FHP. Pour chaque type de chargement, on présentera, dans le même graphe, l'évolution de la contrainte locale σ_L en fonction de l'angle ψ . Ceci pour les trois jonctions.

3.1 Chargement de la traction

Dans le cas du chargement TRA, une force de 10^4 N est appliquée à l'extrémité libre de l'entretoise. Pour les trois types de jonctions étudiées, on remarque que le point chaud est localisé au niveau du point d'Arçon avec une contrainte équivalente de von Mises de 194 MPa, 185 MPa et 208 MPa pour T_1 , T_2 et T_3

respectivement. On remarque qu'au voisinage du point de Quartier, c'est la jonction T_3 qui présente la contrainte locale la plus importante (figure 2). Mais, à part le point de Quartier, c'est la contrainte locale relative à la jonction T_2 qui prédomine. On remarque aussi que le point le moins sollicité est le point d'Arçon, ceci pour les trois types de jonctions.

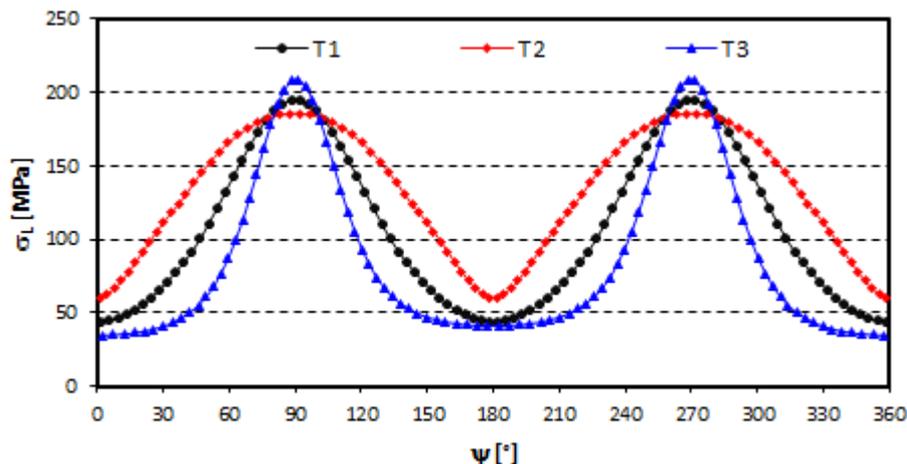


FIG. 2 – Evolution de la contrainte locale autour du pied de cordon de soudure suite à un effort de traction de 10kN appliqué à l'extrémité de l'entretoise

3.2 Chargement de la flexion dans le plan

Dans ce cas de charge, un effort de flexion dans le plan est appliqué à l'extrémité libre de l'entretoise. Comme dans le cas de la traction, la courbe relative à la jonction T_1 est toujours située entre celles des jonctions T_2 et T_3 . Mais au voisinage du point d'Arçon, les courbes relatives aux jonctions T_1 et T_3 sont presque confondues i.e. On remarque aussi que le point d'Arçon et son voisinage présentent une zone chaude pour les trois éprouvettes avec une prédominance de T_2 qui admet une contrainte maximale de 216MPa. Celle des jonctions T_1 et T_3 ne dépassent pas 189MPa (figure 3). Inversement de ce qui a été remarqué dans le cas de la traction, c'est la contrainte de T_2 qui prédomine dans la zone chaude. Loin de cette zone, la contrainte géométrique de la jonction T_3 est la plus grande.

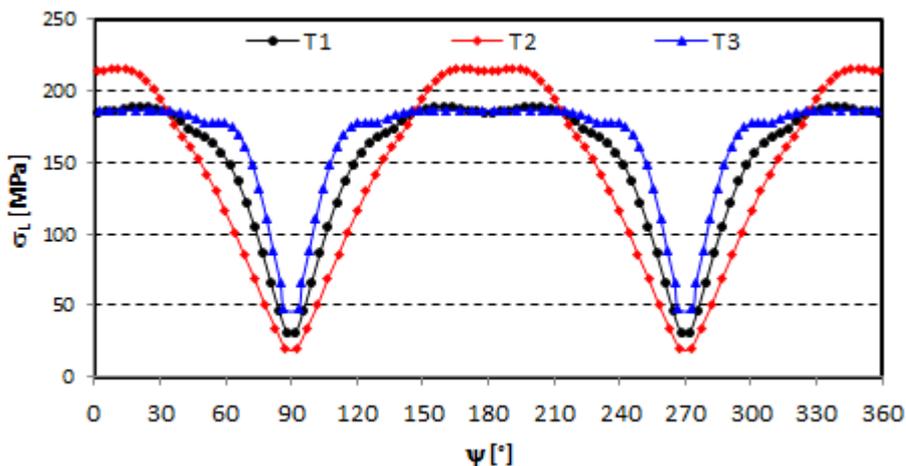


FIG. 3 – Evolution de la contrainte locale autour du pied de cordon de soudure suite à un effort de FDP de 2.5kN appliqué à l'extrémité de l'entretoise

3.3 Chargement de la flexion hors plan

Les jonctions sont sollicitées avec un effort extérieur de 1kN appliqué à l'extrémité libre de l'entretoise perpendiculairement au plan de l'éprouvette. On remarque que les points chauds sont localisés au niveau du point de Quartier, pour les trois éprouvettes, comme dans le cas de la traction. On remarque aussi que la contrainte locale de la jonction T_1 est comprise entre celle des jonctions T_2 et T_3 avec une prédominance de T_2 sur tout le cordon de soudure. Les jonctions T_1 et T_3 ont presque la même valeur de la contrainte locale au niveau du point chaud (Quartier dans ce cas) qui est égale à 212MPa. Au niveau du point d'Arçon, les trois

éprouvettes ont presque la même valeur de la contrainte géométrique (locale) qui est de l'ordre de 13MPa (figure 4).

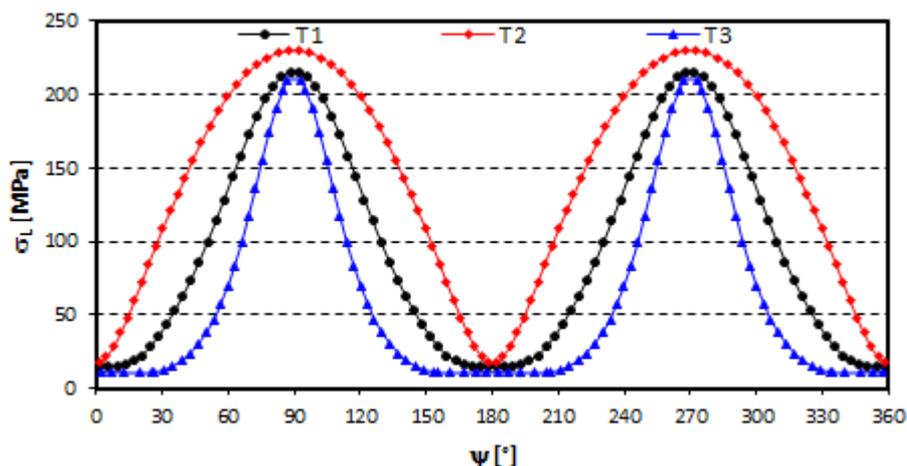


FIG. 4 – Evolution de la contrainte locale autour du pied de cordon de soudure dans le cas d'un effort de FHP de 1kN appliqué à l'extrémité de l'entretoise

4 Réponses élasto-plastique des jonctions

L'objectif du travail suivant, c'est prélever la force appliquée à l'extrémité de l'entretoise en fonction du déplacement. Ceci va être effectué dans trois cas de charge, TRA, FDP et FHP pour chaque éprouvette. Pour faciliter la comparaison, les résultats vont être exposés graphiquement. La première remarque qu'on peut faire c'est que toutes les courbes tendent vers une charge limite quel que soit le chargement et quelle que soit la nature de la jonction.

4.1 Chargement de la traction

Dans ce cas de charge, on remarque que la courbe relative à la jonction T₁ est située entre les deux autres courbes avec une prédominance de celle qui correspond à la jonction T₃. On remarque aussi que la charge limite de la jonction de la forme T₁ est égale à 87kN tandis que celles des jonctions T₂ et T₃ sont égales à 74kN et 93kN respectivement (figure 5).

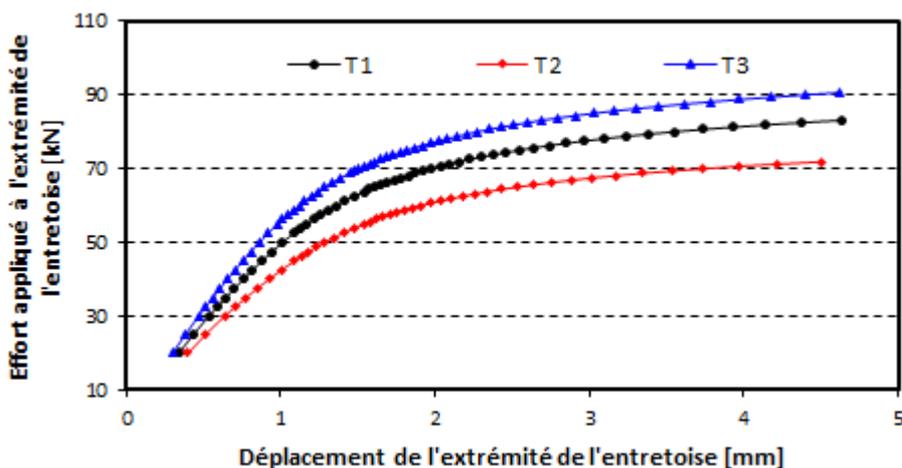


FIG. 5 – Variation de l'effort de traction en fonction du déplacement de l'extrémité de l'entretoise

4.2 Chargement de la flexion dans le plan

Dans le cas de la flexion dans le plan, on remarque que les jonctions T₁ et T₂ ont la même réponse élasto-plastique, i.e. elles ont la même charge limite qui est égale à 11kN. Cette valeur est supérieure à celle enregistrée pour la jonction T₃ qui est égale à 9.8kN (figure 6).

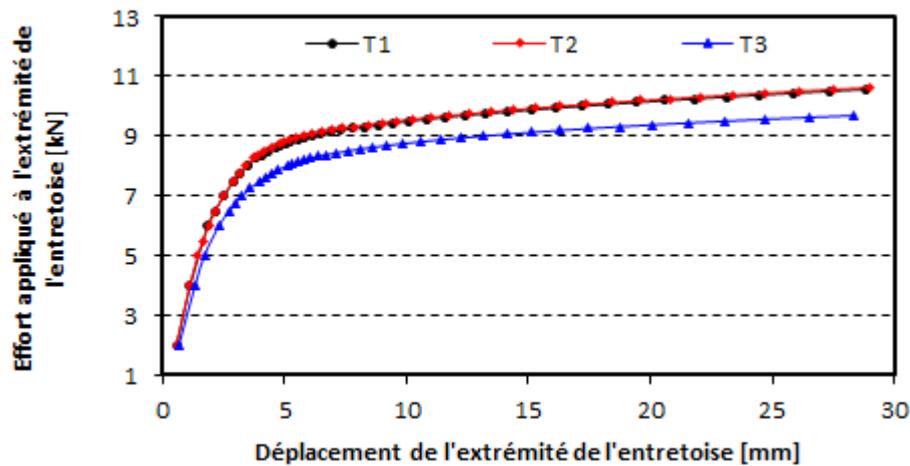


FIG. 6 – Variation de l'effort FDP en fonction du déplacement de l'extrémité de l'entretoise

4.3 Chargement de la flexion hors plan

La réponse élasto-plastique dans ce cas de charge est semblable à celle du cas de la traction, i.e. la courbe relative à la jonction T_1 est comprise entre celle des jonctions T_1 et T_3 avec une prédominance de cette dernière. Les charges limites des jonctions T_1 , T_2 et T_3 sont égales à 5kN, 6.8kN et 8.8kN respectivement (figure 7).

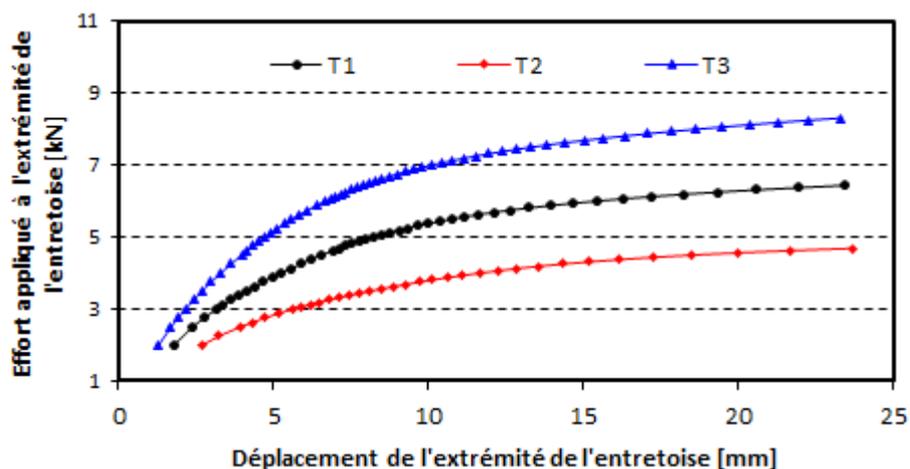


FIG. 7 – Variation de l'effort FHP en fonction du déplacement de l'extrémité de l'entretoise

5 Conclusions

L'étude du comportement élastique des trois jonctions T_1 , T_2 et T_3 a conduit aux conclusions suivantes :

- Dans les cas de charge TRA et FHP, quelle que soit la forme de la section droite de l'entretoise, le point chaud est situé au niveau du point de Quartier.
- Dans le cas de charge FDP, les zones chaudes coïncident avec le point d'Arçon et son voisinage quel que soit le type de la section droite de l'entretoise.
- Les jonctions à entretoise circulaire et celle à entretoise elliptique longitudinale ont le même coefficient de concentration de contrainte vis-à-vis du chargement FDP.
- Le long du pied de cordon de soudure, la contrainte géométrique de la jonction à entretoise circulaire est comprise entre celles à entretoises elliptiques longitudinale et transversale pour tous types de chargement.

L'étude du comportement élasto-plastique des jonctions T_1 , T_2 et T_3 a conduit aux conclusions suivantes.

- Pour les chargements TRA et FHP, La charge limite de la jonction à entretoise circulaire est comprise entre celles des jonctions à entretoises elliptiques longitudinale et transversale.

- Les jonctions à entretoise circulaire et elliptique longitudinale ont la même charge limite vis-à-vis du chargement FDP.
- Pour toutes les jonctions et pour tous les cas de charge, la charge limite dans le cas de FDP est plus importante que celle du cas de FHP.

References

- [1] Ghanameh M. F., Thevenet D., Zeghloul A., Evaluation of stress concentration for planar tubular joints, 16, 1-10, 1982.
- [2] Lee M. M. K., Estimation of stress concentrations in single-sided welds in offshore tubular joints, International Journal of Fatigue, 21, 895-908, 1999.
- [3] Soh A. K., Soh C. K., 'Hot spot' stresses of K tubular joints subjected to combined loading, Journal of Constructional Steel Research, 26, 125-140, 1993.
- [4] Jalal S. Bousshine L., Elastoplastic behaviour of T, Y, DT and DY-tubular joints under axial loading, Journal of Mechanical and Civil Engineering, 4, 19-25, 2012.
- [5] Ahmadi H., Lotfollahi-Yaghin M. A., Yong-Bo S., Aminfar M. H., Parametric study and formulation of outer-brace geometric stress concentration factors in internally ring-stiffened tubular KT-joints of offshore structures, Applied Ocean Research, 38, 74-91, 2012.

Notations

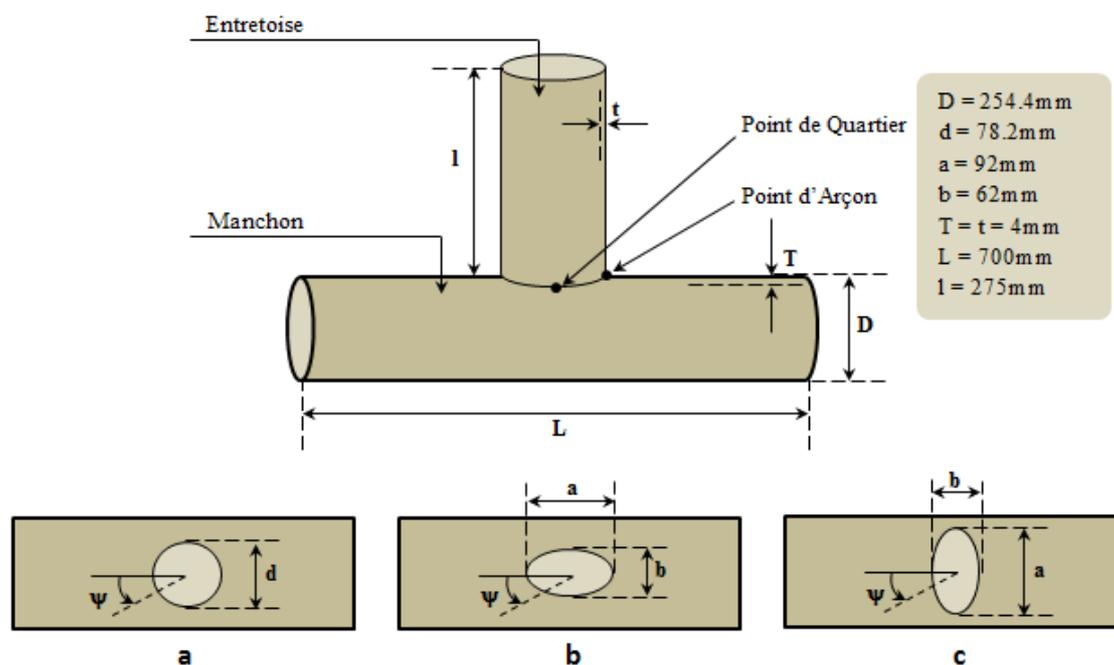


FIG. 8 – Jonctions de forme T : (a) Jonction à entretoise circulaire T1, (b) Jonction à entretoise elliptique longitudinale T2, (c) Jonction à entretoise elliptique transversale T3.

TRA : Traction. FDP : Flexion dans le plan. FHP : Flexion hors plan.

D : Diamètre extérieur du manchon.

d : Diamètre extérieur de l'entretoise.

T : Epaisseur du manchon.

t : Epaisseur de l'entretoise.

L : Longueur du manchon.

l : Longueur de l'entretoise.

ψ : L'angle qui oriente le cordon de soudure compté à partir du point d'Arçon.