

ANALYSE PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS LE COMPORTEMENT AU FLAMBAGE D'UN PIPE STRATIFIE EN COMPOSITE HYBRIDE

L.Belgacem¹, D.Ouinas²

*1: Laboratoire de modélisation numérique et expérimentale des phénomènes
mécaniques*

*Département de Génie Mécanique-Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem-Algérie.
l_belgacem71@yahoo.com*

*2: Laboratoire de modélisation numérique et expérimentale des phénomènes mécaniques
Département de Génie Mécanique-Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem-Algérie.
douinas@netcourrier.com*

Résumé :

Dans ce papier, la méthode des éléments finis est utilisée pour étudier l'effet géométrique sur le comportement en rupture des structures en composites hybrides stratifiées unidirectionnelles de séquences $[\theta A(\theta / -\theta)C50A]$. Les effets du diamètre du pipe, de l'épaisseur de la couche et les orientations de fibre, avec et sans la présence d'entailles circulaires sur le comportement au flambement sont mis en évidence. Dans ce cas la sollicitation du flambage est induite sous l'effet du déplacement imposé. Les résultats montrent qu'à partir du diamètre $D=400\text{mm}$ du pipe, la valeur propre λ diminue avec l'augmentation de celui-ci, c.à.d. la structure devient plus sensible au flambage. Par ailleurs, quel que soit le rayon d'entaille, λ est quasiment stable pour chaque orientation correspondant aux épaisseurs variant dans la fourchette $0.1\text{mm}-0.4\text{mm}$ et atteint sa valeur minimale à l'angle 90° qui est nettement inférieure aux autres orientations.

Mots clés : Flambage, Pipe, entaille, composites stratifiés, Analyse par éléments finis.

Introduction

Les matériaux composites sont maintenant largement répandus en construction mécanique, grâce à leur excellent rapport masse/rigidité/résistance en comparaison avec les matériaux métalliques [1]. Néanmoins, ils sont souvent sujets à des instabilités structurelles plus ou moins catastrophiques. Ainsi, le dimensionnement des structures stratifiées requiert d'avoir au préalable une bonne compréhension de ces instabilités ; plusieurs études se sont penchées sur le problème de l'instabilité des coques minces, permettant de mieux cerner ce phénomène en développant des approches théoriques, expérimentales ou numériques.

Les structures minces en composites qui sont abondamment utilisées, deviennent instables lorsqu'elles sont sollicitées à des chargements de nature mécanique ou thermique conduisant au flambement. Beaucoup de travaux ont été menés sur le flambage des composites cylindriques minces et modérément épaisses soumises à des compressions axiales pures [2-3], ou pression externe constante [4]. La principale cause de ce phénomène complexe, est le caractère aléatoire des imperfections initiales (en termes de géométrie, de matériau, ou de conditions aux limites) de la structure. La compréhension du



comportement de ce dernier est vitale pour assurer l'intégrité de ces structures durant leur service. L'analyse linéaire est une méthode d'évaluation, pour prévoir la charge de flambement et le mode de déformation d'une structure.

Dans ce travail, sont mis en évidence, l'effet du diamètre du pipe, de l'épaisseur de la couche, ainsi que l'orientation des fibres avec et sans la présence d'entaille circulaire, sur le comportement en rupture d'un pipe en composite hybride en utilisant la méthode des éléments finis. Dans ce cas la sollicitation du flambage est induite sous l'effet du déplacement imposé.

Modèles et maillage des pipes stratifiées

Le matériau utilisé étant un matériau composite hybride, c.à.d. constitués de deux renforts de natures différentes. Le pipe est constitué d'une résine époxy, de renfort carbone et de l'alliage d'aluminium en nombre de deux couches. Le composite est composé de dix plis en fibre de carbone et la stratification est asymétrique de la manière ordonnée suivante $[\theta A / (\theta / -\theta) 10 / \theta A]$.

Les pipes considérés ont une longueur $H=6000\text{mm}$, soumises à un déplacement imposé $U = -0.2\text{mm}$, dans la direction verticale. Le maillage est un élément Shell quadrilatéral à huit nœuds, dont le nombre d'éléments pour le pipe sans entaille est de 2960. Tandis qu'en présence d'entaille est de 9260 éléments, comme le montre les figures 1 et 2.

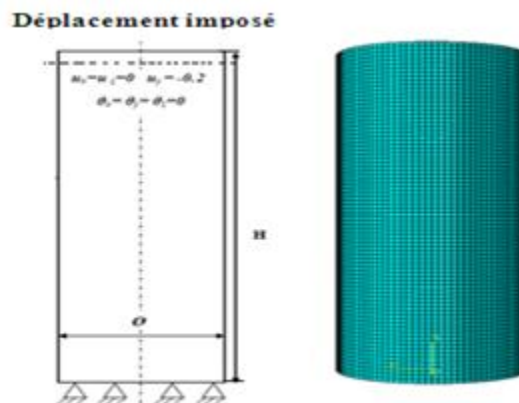


Figure 1. Maillage du pipe sans entaille.

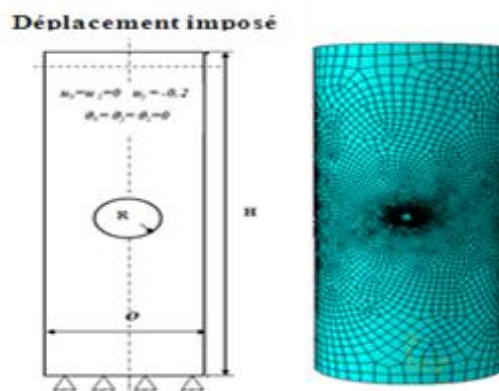


Figure 2. Maillage du pipe muni d'une entaille circulaire.

Charge critique de flambement pour les pipelines sans entaille.

Nous avons travaillé au cours de cette étude sur des pipes stratifiées hybride, le but est de voir l'influence de la charge critique de flambement en fonction de l'orientation des fibres par rapport à un déplacement imposé. Le pipe est constitué de 12 plis de séquences $[\theta A / (\theta / -\theta) 5 / \theta A]$.

3.1 Influence du diamètre du pipe.

La figure 3 montre la variation de λ en fonction de l'orientation des fibres pour différents diamètres du pipe. Tout d'abord, on note que quelque soit le diamètre le paramètre de flambage λ a un comportement identique hormis les diamètres 100 et 200mm. La valeur de λ augmente au fur et à mesure avec la diminution de l'orientation des fibres du matériau composite. Le pipe de diamètre 400mm qui possède les valeurs maximales, au-delà, λ diminue avec l'augmentation de ce dernier, et nous remarquons que λ atteint des valeurs maximales importantes, lorsque les fibres sont orientées dans un intervalle variant de 0° à 40° . Les valeurs minimales sont obtenues au-delà de 60° . Une nette stabilité est marquée pour les diamètres 100 et 200mm, l'orientation des fibres n'a pas d'influence sur le comportement en flambage du pipe.

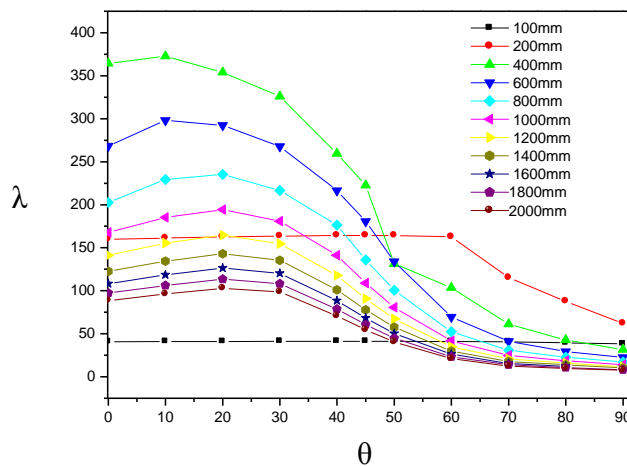


Figure 3. Variation de λ en fonction de θ .

3.2 Influence de l'épaisseur de la couche du stratifié.

Sur la figure 4 on montre la variation λ en fonction de l'orientation des fibres pour un diamètre de pipe $D=400$ mm. On signale, tant que l'épaisseur des couches est grandes, λ est importante, ce qui montre que la résistance du pipe augmente avec l'augmentation de l'épaisseur du pli et au-delà de 60° , λ devient faible et quasi stable. Les valeurs maximales sont obtenues dans l'intervalle variant de 10° à 50° .

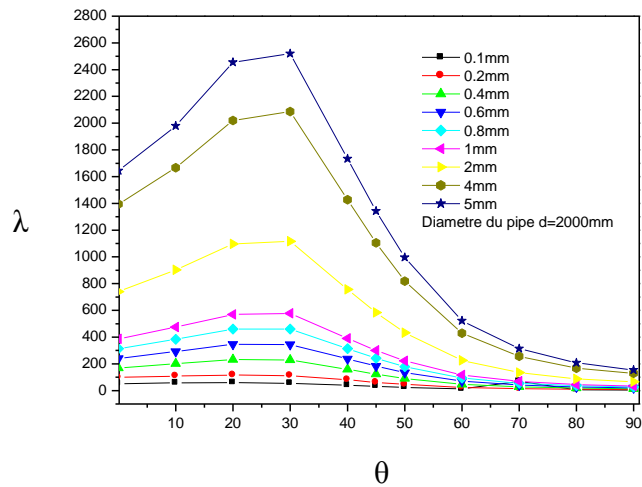


Figure 4. Variation λ de θ

3. 3 Influence de l'épaisseur de la couche d'aluminium.

La figure 5 montre la variation de λ en fonction de l'orientation des fibres, pour différentes épaisseurs des couches de l'alliage d'aluminium d'un pipe de diamètre $d=400\text{mm}$. Dans ce cas, le paramètre de flambage augmente exponentiellement avec le décroissement de l'orientation des plis du matériau composite jusqu'à 30° à partir duquel il demeure stable. on remarque que λ atteint des valeurs maximales importantes lorsque, les fibres sont orientées dans un intervalle, variant de 0° à 40° . Les valeurs minimales sont obtenues au-delà de 60° . On note aussi qu'à partir de l'orientation d'angle des plis 30° , la variation d'épaisseur devient insensible au comportement de flambage.

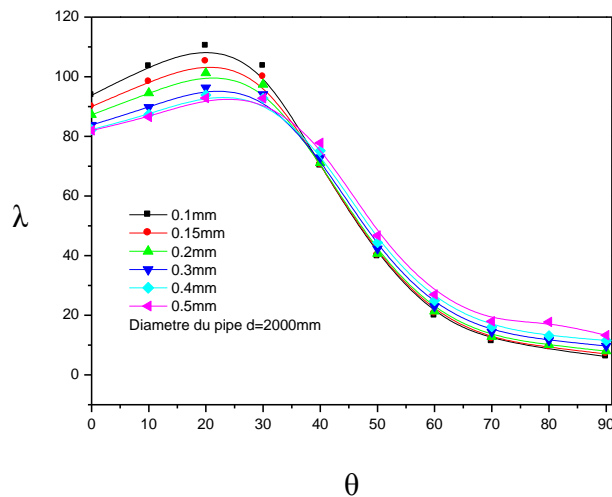


Figure 5. Variation λ de θ

Charge critique de flambement pour les pipelines muni d'une entaille circulaire.

Dans cette partie, nous avons étudié l'effet de la présence d'un défaut géométrique sur le comportement au flambage du pipe en composite hybride, de trois différentes orientations de plis.

4.1 Influence de l'épaisseur de la couche du stratifié.

La figure 6 illustrent l'évolution de λ en fonction de l'épaisseur de la couche du stratifié, pour un pipe muni d'une entaille circulaire de diamètre $d=1\text{mm}$. Nous constatons que le paramètre de flambement λ est croissant avec l'augmentation de l'épaisseur, puis il devient quasiment stable pour toutes les orientations étudiées, correspondant aux épaisseurs variant dans la fourchette 2 - 5mm et atteint sa valeur minimale à l'angle 90° , qui est nettement inférieure aux autres orientations.

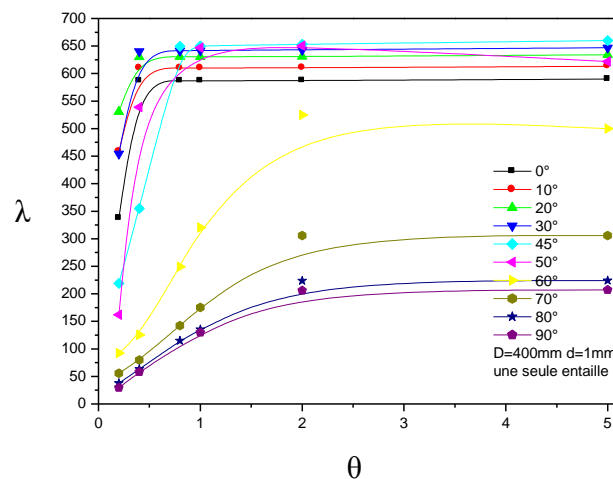


Figure 6. Variation de λ en fonction de l'épaisseur de la couche du stratifié.

4.2 Influence du diamètre de l'entaille.

Nous présentons sur la figure 7, les résultats obtenus pour le coefficient de flambement λ en fonction du diamètre de l'entaille, pour différentes orientations des plis, et nous avons fixé l'épaisseur à 0.2mm. λ est quasiment stable pour tous les diamètres de l'entaille étudiés et, pour la plupart des orientations, hormis les paramètres de flambement correspondant aux plis orientés vers les angles 0° , 10° et 20° , qui sont décroissants à partir du diamètre 10 mm. On note aussi que le coefficient de flambement est maximal pour l'orientation 20° . Remarquons que les pipes ont pratiquement le même comportement pour les différents cas étudiés en terme de nombre d'entaille.

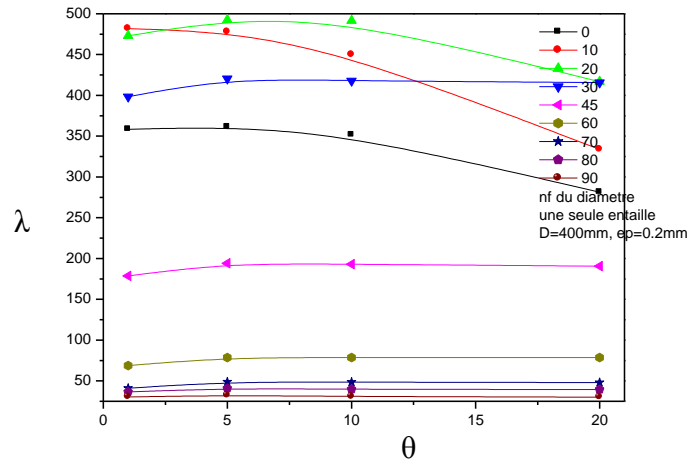


Figure 7. Variation de λ en fonction du diamètre de l'entaille.

5. conclusion

Notre étude s'intéresse à une analyse de flambement des pipes en composite hybride carbone-alliage d'aluminium/ époxy, avec et sans présence d'entaille circulaire. A partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que:

-A partir du diamètre $D=400\text{mm}$ du pipe, la valeur propre λ diminue avec l'augmentation de celui-ci, c.à.d. la structure devient plus sensible au flambage.

-A partir du diamètre $D=400\text{mm}$ du pipe, la valeur propre λ diminue avec l'augmentation de celui-ci, c.à.d. la structure devient plus sensible au flambage.

-Les valeurs minimales de la charge de flambement sont obtenues lorsque les fibres sont orientées parallèlement au chargement appliqué. Par contre elles sont maximales lorsqu'elles sont orientées dans un intervalle variant de 0° à 40° .

-la résistance du pipe augmente avec l'augmentation de l'épaisseur du pli.

-Quelque soit le rayon de l'entaille, λ est quasiment stable pour chaque orientation étudiée, et atteint sa valeur minimale à l'angle 90° .

Références

[1] Vaziri A « on the buckling of cracked composite cylindrical shells under axial compression », Compos Struct; Vol.80, pp 152–158, 2007.

[2] Jaunky N., Knight Jr NF « An assessment of shell theories for buckling of circular cylindrical laminated composite panels loaded in axial compression », Int J Solids Struct, Vol. 36, pp 3799–820, 1999.

[3] Zhi-Min Li ,Hui-Shen Shen, « Postbuckling of 3D braided composite cylindrical shells under combined external pressure and axial compression in thermal environments, international journal of mechanical », pp 719–731, 2008.

[4] X. Wang, G. Lu, D.G. Xiao « Non-linear thermal buckling for local shell international journal of mechanical sciences » Vol. 44, pp 947–965, 2002.