

Un modèle de poutre à section fortement déformable. Application au pliage et au déploiement de mètres rubans.

F. Guinot¹, S. Bourgeois^{1,2}, B. Cochelin^{1,2},
C. Hochard¹, L. Blanchard³

¹ LMA, Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille, France, {guinot,hochard}@lma.cnrs-mrs.fr

² Ecole Centrale Marseille, France, {stephane.bourgeois,bruno.cochelin}@centrale-marseille.fr

³ Thales Alenia Space, Cannes La Bocca, France, laurent.blanchard@thalesaleniaspace.com

Résumé — On s'intéresse à la modélisation de poutres élastiques à parois minces type mètres rubans qui développent des pliages localisés dus à un aplatissement de la section. Partant d'un modèle de coque, on établit un modèle de poutre à section fortement déformable, en grands déplacements et en dynamique, en introduisant une cinématique originale pour décrire les changements de forme de la section. Ce modèle est capable de rendre compte de l'apparition de pliages localisés qui peuvent migrer le long du ruban, se dupliquer, disparaître, permettant ainsi de simuler des scénarios complexes de pliages et de déploiements.
Mots clés — poutre, mètres rubans, pliage, dynamique.

1 Introduction

Un défi majeur des concepteurs de satellites est de réaliser des systèmes qui soient compacts lors de la phase de transport et capables de se déployer de façon autonome lors la mise en service. Parce qu'elles offrent une meilleure compacité (pliage, enroulement...), les structures souples déployables sont une alternative intéressante aux structures rigides articulées par des charnières et bloquées par des verrous. Dans ce contexte, Thales Alenia Space réfléchit à de nouveaux concepts à base de structures type mètres rubans.

Dans sa configuration relâchée, un mètre ruban peut être assimilé à une poutre droite à paroi mince dont la section ouverte a une forme circulaire. Lorsqu'on sollicite cette structure en flexion ou en compression (voir Figure 1), son comportement est d'abord analogue à celui d'une poutre classique puis on constate l'apparition brutale de pliages localisés, indiquant la présence de bifurcations [1]. Ces zones de pliages sont dus à un aplatissement de la section qui diminue fortement le moment d'inertie quadratique et concentre la déformation de flexion. On remarquera qu'en dehors des zones de pliage, le ruban retrouve sa forme non déformée. En manipulant le mètre ruban, on constate facilement que la zone de pliage peut migrer le long du ruban, se dupliquer, disparaître...



FIGURE 1 – Pliage d'un mètre tuban.

Dans la littérature, on recense principalement deux approches pour modéliser la dynamique du pliage et du déploiement des mètres rubans ([1], [2]). La première consiste à résoudre le problème non-linéaire de coque par éléments finis et conduit à des modèles lourds et des calculs difficiles à piloter. La deuxième approche consiste à modéliser le ruban par un système de barres reliées par des ressorts spiraux. Les ressorts spiraux rendent compte de la raideur des zones de pliage et les barres, de longueur variable, rendent compte des parties qui restent droites. Ce modèle simplifié permet de simuler des scénarios de

déploiement mais requiert l'introduction *ab initio* des zones de pliages.

Le modèle proposé se situe entre les deux approches en modélisant le ruban par une poutre à section fortement déformable.

2 Principe du modèle, implémentation et résultats

Partant d'un modèle de coque en grands déplacements, grandes rotations et en dynamique, on établit le modèle de poutre en introduisant des hypothèses cinématiques et sthéniques sur le comportement dans la section. Outre les hypothèses classiques de poutres minces (sections qui restent droites et perpendiculaires à ligne moyenne), l'originalité du modèle repose sur l'introduction d'une cinématique de type "elastica" pour décrire avec peu de paramètres le caractère fortement variable de la forme de la section : on suppose que la "courbe section" est inextensible. D'autre part, on fait l'hypothèse, comme pour une théorie classique de poutre, que les contraintes axiales sont prépondérantes devant les autres composantes.

Pour illustrer la démarche, on traite l'exemple d'un mètre ruban dont la section est initialement circulaire (Figure 2), restreint aux mouvements plans : la ligne moyenne se déforme dans le plan de symétrie et la section reste symétrique. Le modèle présenté consiste à supposer que la section reste circulaire mais avec un rayon qui dépend du temps et de l'abscisse initiale s_1 de la section.

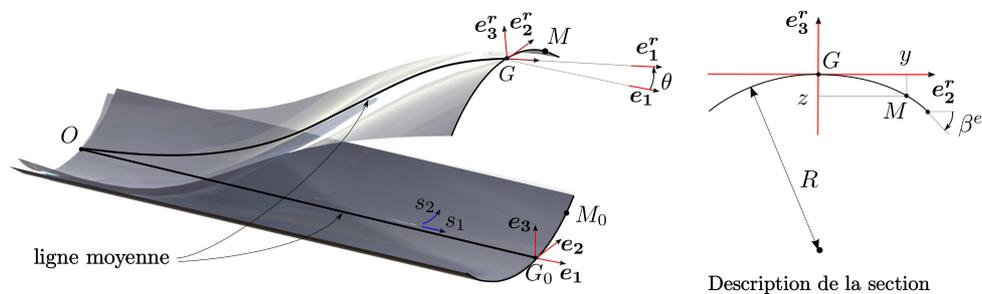


FIGURE 2 – Description du mètre ruban.

On obtient ainsi un modèle de poutre à seulement quatre paramètres cinématiques : deux composantes u_1 et u_2 de translations décrivant les déplacements des points de la ligne moyenne, la rotation θ de la section et un angle β^e lié à la courbure transverse dans la section. Cette cinématique permet d'exprimer les énergies potentielle et cinétique pour le modèle de coque et on obtient le modèle de poutre par une intégration analytique dans la section.

Le modèle est implémenté dans Comsol qui permet d'exploiter directement les expressions des énergies en formulant le problème à l'aide du principe d'Hamilton. La figure 3 permet d'illustrer la capacité du modèle de poutre à rendre compte des phénomènes mentionnés dans l'introduction.

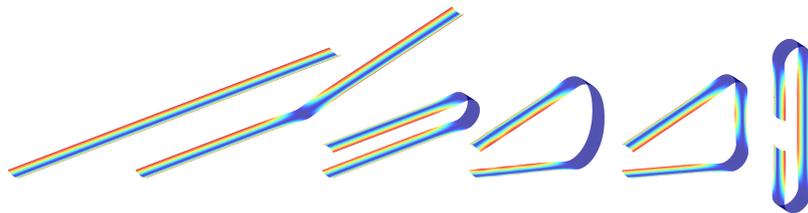


FIGURE 3 – Exemple de scénario modélisé : pliage simple puis séparation d'une zone de pliage en deux. Reconstruction des déformées tridimensionnelles à partir des résultats du modèle 1D de poutre proposé.

Références

- [1] K. Seffen, S. Pellegrino, *Deployment dynamics of tape springs*, Proceedings of the Royal Society A 455, 1003-1048, 1999.
- [2] K. Seffen, Z. You, S. Pellegrino, *Folding and deployment of curved tape springs*, International Journal of Mechanical Sciences 42 (10), 2055-2073, 2000.