

# Application d'une structure de génie civil au réseau d'une structure déployable spatiale

Xavier Maetz <sup>(1)(2)</sup>, Jérôme Quirant <sup>(1)</sup>, Julien Averseng <sup>(1)</sup>, Mehdi Sodki <sup>(2)</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Mécanique et Génie Civil – UMR5508

Université de Montpellier, CC048, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier, FRANCE

Email: [xavier.maetz@umontpellier.fr](mailto:xavier.maetz@umontpellier.fr)

<sup>2</sup>Centre National d'Études Spatiales, 18 Avenue Edouard Belin 31401 Toulouse Cedex 4, FRANCE

**RESUME** L'équipe SIGECO du Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil de Montpellier (LMGC) conçoit et réalise des structures spatiales innovantes en collaboration avec le CNES. Un nouveau concept de structure déployable porteuse s'inspirant d'une structure de tensegrité a récemment été développé. Cette architecture est composée d'un anneau déployable qui met en tension un réseau dôme-câble dans le but de générer une surface parabolique. Une nouvelle géométrie de réseau dôme-câble est proposée permettant une meilleure distribution des efforts.

**Mots-clés :** Structure, tensegrité, dôme-câble, réseau, spatial

## I. INTRODUCTION

Les réflecteurs déployables sont généralement constitués d'une structure rigide et d'une surface parabolique pour l'émission et la réception de signaux électromagnétiques. Cette surface est souvent mise en tension par un réseau de câbles. Nous proposons une nouvelle configuration basée sur un concept de dôme-câble [1], inspirée des systèmes de tensegrité. Développés en génie civil depuis plusieurs décennies pour leur faible masse, les dômes-câble sont généralement utilisés pour couvrir des stades ou de grands bâtiments (Fig. 1) [2].



**FIGURE 1.** Construction de la structure dôme-câble de l'arène de gymnastique pour les jeux olympiques d'été de 1988 (Séoul, Corée du Sud)

## II. CONCEPT DE DÔME-CÂBLE ET PROBLEME DE TENSION

Les réseaux dômes-câble sont des structures inspirées des systèmes de tensegrité, qui sont étymologiquement une contraction de « tension » et « intégrité ». Ce concept a été présenté pour la première fois en 1962 par R. B. Fuller pour des applications de génie civil. Ces structures sont composées de barres en compression et de câbles en traction, dans le but de générer une surface en forme de dôme.

Parmi les structures existantes, les dômes-câble Fuller et Geiger sont les plus répandus. Ces réseaux tridimensionnels ont été étudiés en 2018 par la Comet Ingeneria dans l'optique de les appliquer dans le domaine spatial [3]. Ils ont alors démontré que ce type de réseau pouvait obtenir les mêmes performances que les réseaux tendus classiques des réflecteurs. Le concept de ces systèmes peut être visualisé en plan (Fig.2). Les éléments verticaux sont des barres en compression et les autres des câbles tendus. Deux forces opposées stabilisent le réseau en périphérie, elles représentent l'action d'un anneau extérieur sur le réseau. La surface réfléchissante est accrochée au sommet des barres pour générer le paraboloïde souhaité.

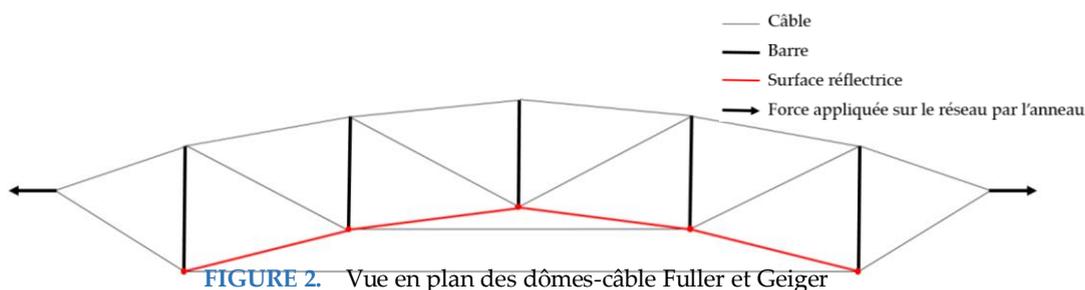


FIGURE 2. Vue en plan des dômes-câble Fuller et Geiger

Le schéma de principe des réseaux Geiger et Fuller montre une tendance intrinsèque de la structure à augmenter les forces des câbles de l'intérieur vers l'extérieur. Ce problème est décrit par la Comet Ingeneria dans [3] avec le schéma ci-dessous (Fig.3).

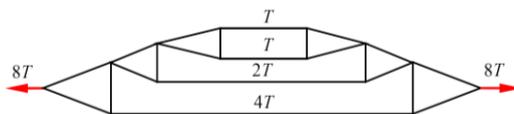


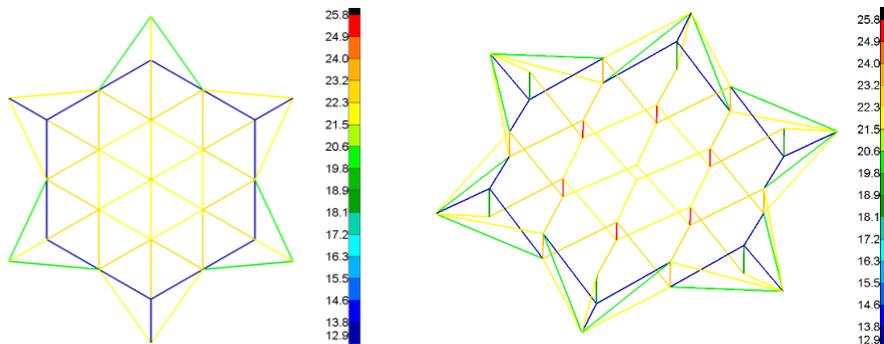
FIGURE 3. Problème de tension intérieur [3]

En effectuant une simple analyse statique de l'équilibre des forces, on constate qu'à chaque fois qu'un motif de base est ajouté, la tension est doublée. Elle augmente exponentiellement vers l'extérieur lorsque le réseau est densifié. Les forces de mise en tension deviennent alors trop grandes et la structure extérieure déployable demande un dimensionnement trop important pour sa rigidité et sa motorisation. C'est pourquoi nous proposons une nouvelle géométrie, inspirée d'une grille de tensegrité [4] et permettant une meilleure distribution des efforts.

## III. DESCRIPTION DU RESEAU DÔME-CÂBLE PYRAMIDAL

Le nouveau réseau dôme-câble est basé sur une structure isostatique, chaque nœud du réseau étant stabilisé par 3 câbles à  $120^\circ$ , formant un motif de pyramide. Les barres sont alors disposées verticalement au sommet de triangles équilatéraux. Une architecture isostatique avec 6 accroches

est présentée en illustration (Fig.4). D'autres câbles peuvent être ajoutés à l'arrière du réseau pour améliorer les performances dynamiques tout en ayant un impact mineur sur la distribution des efforts normaux. La recherche de forme est réalisée avec un modèle analytique et plusieurs modèles éléments-finis montrant l'homogénéisation des forces à l'intérieur du réseau [5].

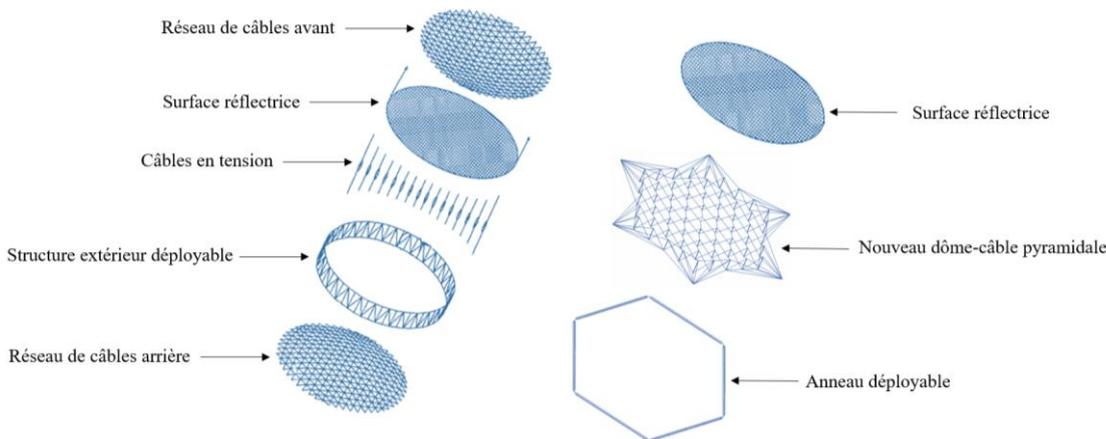


**FIGURE 4.** Distribution des forces pour une tension appliquée à chaque nœud extérieur de 100 N (la tension des câbles dans le réseau intérieur est comprise entre 21.5 N et 22.6 N)

#### IV. APPLICATION AUX REFLECTEURS SPATIAUX

Les réflecteurs déployables actuels sont généralement composés de deux anneaux parallèles périphériques comprimés (Fig.5 à gauche). A l'intérieur vient s'insérer un réseau de câbles tendus afin de venir poser une surface réfléchrice en forme de parabole. Le réseau de câbles avant est accroché à l'anneau supérieur et le réseau arrière est accroché à l'anneau inférieur. Ils sont reliés entre eux par des liaisons qui vont se tendre lors du déploiement motorisé de la structure extérieure. Cela va alors donner la forme d'un parabololoïde.

Le nouveau concept est constitué d'un unique anneau déployable à l'intérieur duquel vient s'insérer le nouveau réseau dôme-câble pyramidal (Fig.5 à droite). L'intérêt du dôme-câble est donc de créer une surface tridimensionnelle (potentiellement non régulière, ce que ne permettent pas les autres configurations) à partir d'un anneau plan.



**FIGURE 5.** Nouvelle configuration de réflecteur spatial avec dôme-câble (à droite) comparée avec un réflecteur classique de type AstroMesh (à gauche)

## V. PROTOTYPE

Un démonstrateur d'anneau déployable de forme hexagonale a été réalisé. L'anneau est auto-déployable et, une fois libéré, sa seule position stable existante est celle où il est complètement déployé. A l'intérieur de cet anneau, un réseau dôme-câble pyramidal a été intégré. Il est accroché au milieu des barres par l'intermédiaire de ressorts souples et d'un dispositif de réglage de la tension. Le réseau dôme-câble est composé de 19 barres en carbone qui fournissent autant de points de contrôle pour la surface qu'il met en tension. Le diamètre intérieur de ce réseau est de 2,2 m pour un paraboloïde généré de 4,5 m de distance focale. A l'extrémité de chaque barre, des joints imprimés en 3D permettent aux câbles d'être accrochés avec la bonne orientation.

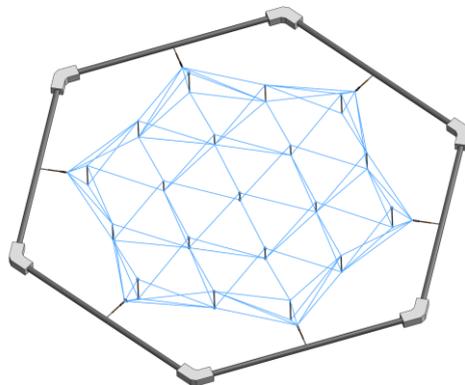


FIGURE 6. Modèle du prototype de réseau dôme-câble pyramidal

## VI. CONCLUSION

Une nouvelle géométrie de réseau dôme-câble est proposée permettant une meilleure distribution des forces. Cette homogénéisation des efforts permet une optimisation dans le dimensionnement des éléments du dôme-câble et de la structure périphérique qui met en tension le réseau. La légèreté du système offre une solution pour une application dans le domaine du spatial.

## REFERENCES

- [1] W. Bettini, J. Quirant, J. Averseng, B. Maurin, *Self deployable geometries for space applications*, Journal of aerospace engineering, Volume 32, issue 1, 2019.
- [2] En ligne : <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/SEOUL/s-olymp.html> « Olympic Domes First of Their Kind »
- [3] J. Fayos, J. Nieto, A. Pipó and J. Santiago-Prowald. *Tensegrity diaphanous dome demonstrator*. Proceedings of the European conference on spacecraft structures, materials and environmental testing, 28 mai-1er juin, Noordwijk, Pays-Bas, 2018.
- [4] R. Motro, V. Raducanu, *Tensegrity systems*, International journal of space structures, 18(2), p77-84, 2003.
- [5] X. Maetz, W. Bettini, J. Quirant, J. Averseng, M. Sodki, *Cable domes for self-deployable reflector antennas*, 40th ESA Antenna Workshop – Antenna developments for terrestrial and small-space platforms, 8-10 octobre, Noordwijk, Pays-Bas, 2019.