

# Système de tenségrité déployable et modulaire pour le développement de l'accessibilité

Julien Averseng<sup>1</sup>, Frédéric Jamin<sup>2</sup>, Jérôme Quirant<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LMGC, Université de Montpellier, CC 048, 163 rue Auguste Broussonnet  
34090 MONTPELLIER, julien.averseng@umontpellier.fr

<sup>2</sup> LMGC, Université de Montpellier, frederic.jamin@umontpellier.fr

<sup>3</sup> LMGC, Université de Montpellier, jerome.quirant@umontpellier.fr

---

*RÉSUMÉ. Le problème de l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite reste à l'heure actuelle posé dans de nombreux sites naturels. Au delà du coût, la construction de cheminements permanents est rarement possible, sinon au prix d'une modification durable de l'environnement. Nous présentons ici une solution de plateforme temporaire, légère et modulaire pour la mise en accessibilité de sites d'usage saisonnier, comme sur le littoral par exemple. Chaque module est une structure de tenségrité pliable en un fagot aisément stockable, transportable, ce qui facilite les opérations de montage et démontage sur site. Les modules s'assemblent bord à bord selon un procédé spécifique breveté afin de former des cheminements de toutes formes. Avec la fabrication d'un premier prototype, on démontre en conditions réelle les étapes de montage d'une plateforme de 16 m<sup>2</sup> en quelques minutes. La légèreté et la transparence de cette solution permettent à la fois de minimiser l'impact sur le sol et de minimiser les actions extérieures. Le but est de permettre l'accès à la mer en toute autonomie pour des personnes à mobilité réduite.*

*ABSTRACT. The problem of accessibility for people with reduced mobility is still present in many natural sites. Beyond cost, the construction of permanent paths is rarely possible, if not at the cost of a lasting modification of the environment. We present here a temporary, light and modular platform solution for the accessibility of sites of seasonal use, such as on the coastline for example. Each module is a foldable tensegrity structure into a bundle that is easily storable, transportable, which facilitates the assembly and dismantling operations on site. The modules are assembled edge to edge according to a specific patented process to form paths of all shapes. With the manufacturing of a prototype, we demonstrate in real conditions the steps of mounting a platform of 16 m<sup>2</sup> in minutes. The lightness and the transparency of this solution make it possible both to minimize the impact on the ground and to minimize the external actions. The goal is to allow access to the sea in full autonomy for people with reduced mobility.*

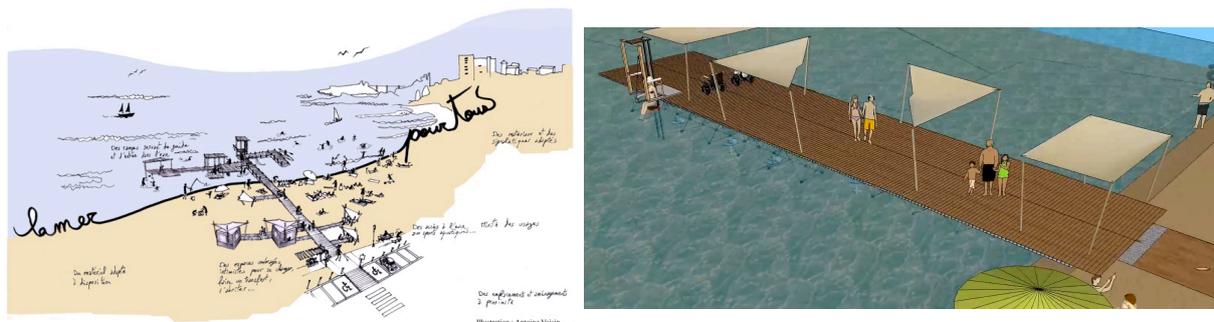
*MOTS-CLÉS : structure, tenségrité, accessibilité, modularité, assemblages*

*KEYWORDS: structure, tensegrity, accessibility, modularity, joints*

---

Malgré les lois du 30 juin 1975, 13 juillet 1991 et du 11 février 2005, la mer reste toujours inaccessible aux personnes à mobilité réduite, aucun site touristique sur le littoral français ne proposant pour ce public de structure permettant l'accès en toute autonomie à la baignade. Les dispositifs d'accès à la plage et à la baignade se limitent aujourd'hui à des tapis de plage et des fauteuils (tiralo©, amphiby©) mais il s'agit de solutions qui exigent une assistance extérieure et qui sont perçues comme des équipements médicaux. Des initiatives ont été proposées, comme le projet « un fauteuil à la mer » dans la commune de Hyères, mais dans tout concept s'ajoute le besoin de respecter de la loi du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral, qui implique que les installations doivent être démontables et transportables, ne pas comporter d'éléments de nature à les ancrer durablement au sol et être conçus de manière à permettre un retour du site à l'état initial.

Pour ces raisons, le groupe "Mer Pour tous" a publié un recueil de bonnes pratiques [CHA 01] proposant des solutions pour permettre à toute personne en situation de handicap un accès libre et en toute autonomie à la plage et à la mer, y compris à la baignade, et ce sans aucune stigmatisation. Ce nouveau concept nommé [POZ 14] combinant accessibilité, design et revalorisation des bords de mer répond à plusieurs problématiques sociétales : le tourisme et le handicap, la mobilité et le vieillissement de la population, l'insertion des sportifs handicapés et l'égalité de tous face aux plaisirs de l'eau. Ainsi, la qualité des espaces créés doit répondre aux attentes de tous dans une approche sociale et innovante (voir figure 1).



**Figure 1.** *Projet Pozeia [POZ 14]; Concept proposé de plateforme modulaire*

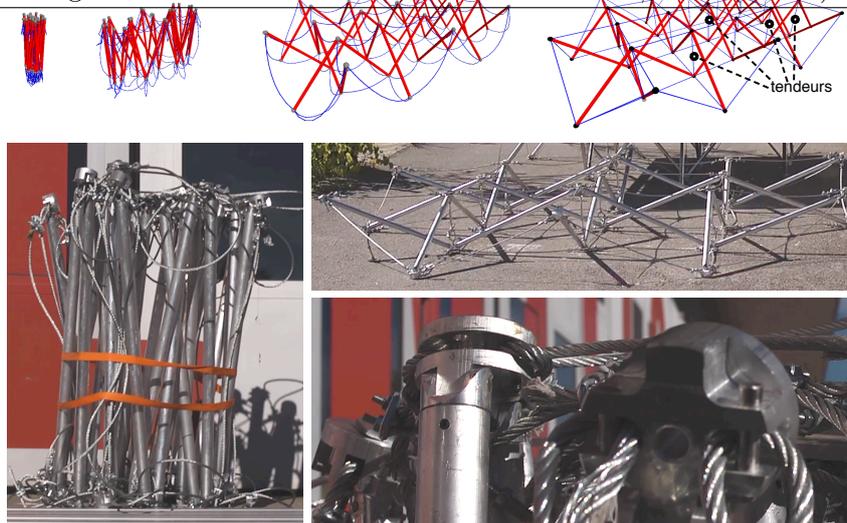
Dans ce contexte, nous proposons [AVE 15] une solution basée sur l'usage d'une structure légère et pliable, permettant de former une plateforme rigide d'accès au littoral, dans le respect d'un cahier des charges strict [JAM 16]. Le système à la base de celle-ci est une grille de tenségrité développée au LMGC dans le cadre du projet Tensarch [MOT 02]. Le principe structurel, apparu dans les années 1950, consiste en l'auto-équilibre stable d'un réseau discontinu de barres comprimées à l'intérieur d'un réseau continu tendu, formé de câbles [MOT 03]. Plus spécifiquement, la topologie d'une grille Tensarch s'inspire du tissage : les barres relient alternativement les nœuds d'une nappe à l'autre, à l'image des fils de chaîne et de trame. Ce réseau comprimé est maintenu à l'intérieur d'un réseau de câbles constitué de deux nappes horizontales et de tendeurs reliant les nœuds de chaque nappe deux à deux. Par ses composants, ce type de système est naturellement transparent, léger, et avec les liaisons adaptés, pliable.

La solution proposée présente comme intérêt majeur une modularité à deux niveaux : celui de chaque grille, ou module structural, dont on conçoit la forme en définissant [QUI 03] le nombre de mailles dans chaque direction du plan et leurs dimensions (longueur, largeur, hauteur), et à l'échelle du système entier, cheminement multi-forme constitué par assemblage bord-à-bord de modules.

## 2. Module élémentaire pliable

Il a été montré et expérimenté [AVE 15, JAM 16] que la topologie Tensarch admettait un mode de pliage simple [SAM 07] permettant de ranger une grille en un fagot de volume compact et de poids limité. Le montage d'un module se déroule en trois étapes (voir figure 2). Le fagot, de forme compacte, est d'abord déployé dans le plan. Ensuite, les tendeurs verticaux sont installés pour atteindre la géométrie finale. Enfin, les éléments secondaires (platelage, etc...) sont installés.

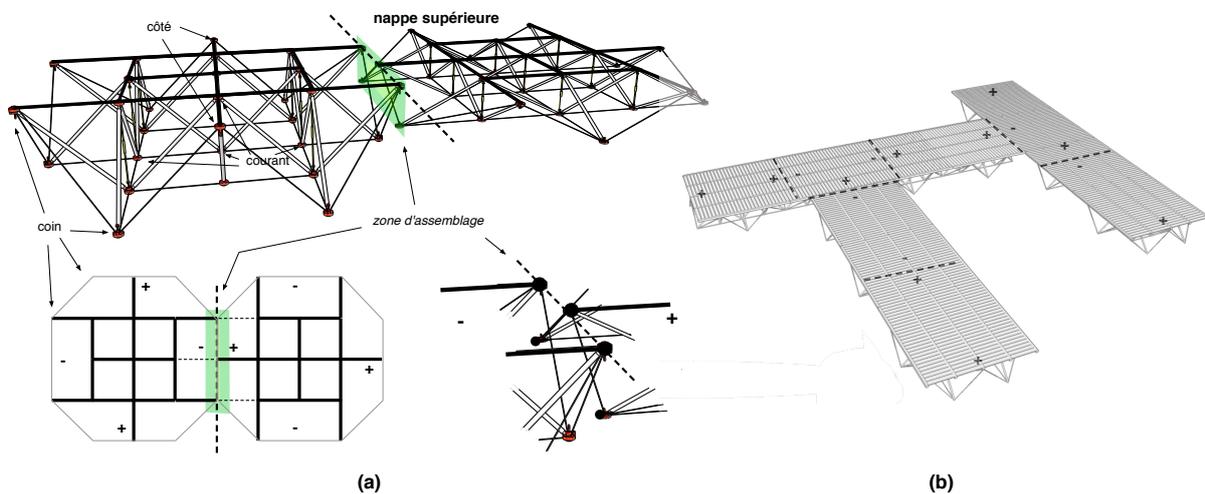
Pour favoriser ce pliage, les liaisons doivent être adaptées afin d'autoriser l'articulation relative entre barres pour un rangement côte à côte mais aussi la liaison avec cinq câbles de manière concentrique, et la fixation d'un



**Figure 2.** Principe de déploiement et mise en oeuvre d'une grille de 16 m<sup>2</sup> en aluminium

platelage. Dans le principe "tissé" Tensarch, il est nécessaire de développer au moins trois types de noeuds, en fonction de leur position dans la structure : en partie courante, sur les bords et dans les coins (voir figure 3).

Deux prototypes ont été construit pour matérialiser le concept avec des matériaux représentatifs mais surtout expérimenter en conditions réelles la pliabilité et la modularité de ce système. Ils sont composés de barres en aluminium de diamètre 40 mm, d'épaisseur 2 mm et de câbles en acier de diamètre 8 mm. Chaque fagot pèse environ 40 kg, ce qui reste portable à deux personnes. On illustre en figure 2 les deux premiers états du prototype de 50 cm de hauteur.

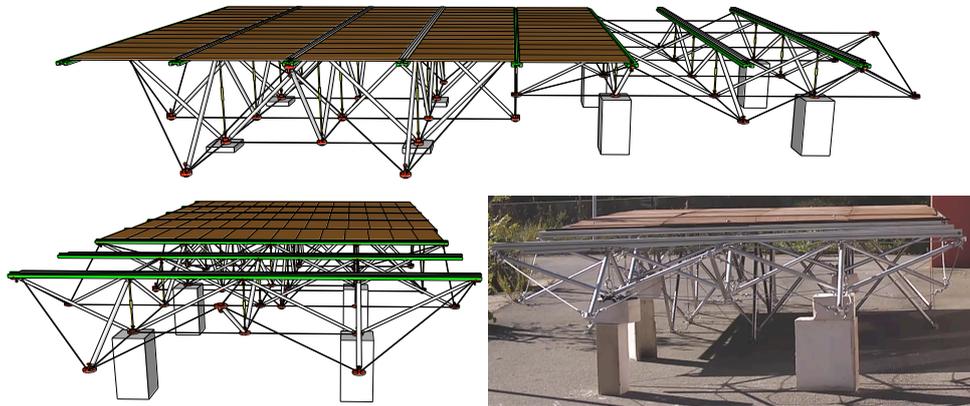


**Figure 3.** Principe d'assemblage entre modules (a) - Calepinage pour la formation d'une plateforme de géométrie complexe (b)

### 3. Modularité

La topologie Tensarch, par son principe inspiré du tissage, ouvre la possibilité d'assembler des modules tout en gardant la continuité de la plateforme. En effet dans chaque module, les noeuds de nappe supérieure, qui sont amenés à être les premiers appuis de la plateforme, sont placés sur un réseau orthogonal, régulièrement en partie courante, et en alternance sur les bords. Ainsi, deux modules différents peuvent être choisis et accostés sur des

bords complémentaires [AVE 15] que le réseau de noues supporte (voir figure 3a). Ce principe se généralise [QUI 16] et permet de proposer une méthode de calepinage pour toute forme de plateforme (voir figure 3b). Pour illustrer et mettre en oeuvre cette modularité, nous avons réalisé avec succès (voir figure 4 et en vidéo à l'adresse [AXL ]) l'assemblage de deux modules carrés de hauteurs différentes (1 m et 50 cm).



**Figure 4.** Assemblage de deux grilles

#### 4. Conclusion

En continuité de plusieurs études [AVE 15, JAM 16], nous avons pu montrer depuis, par la construction de prototypes mais aussi le dépôt d'un brevet [QUI 16], que le concept proposé est réaliste. La topologie Tensegrity permet de construire des modules structuraux de formes variées pliables et légers, facilement stockables et déployables. Par ailleurs, ces modules peuvent être assemblés bord-à-bord pour constituer une plateforme sans limite de forme ou taille, selon un calepinage adapté. Par un travail complémentaire sur les liaisons avec l'existant et l'intégration d'équipements secondaires, ce projet espère contribuer à concrétiser l'idée de rendre le trajet du véhicule à la mer réellement utilisable par tous en toute autonomie.

#### Remerciements

Nous remercions particulièrement le département Génie Civil de l'IUT de Nîmes, Nîmes Métropole ainsi que la SATT AXLR pour leurs soutiens à la réalisation de ce projet.

#### 5. Bibliographie

- [AVE 15] AVERSENG J., JAMIN F., QUIRANT J., « Les systèmes de tensegrité déployables : application à l'accessibilité de la baignade en mer », *33èmes Rencontres de l'AUGC*, ISABTP/UPPA, Anglet, 27-29 mai 2015.
- [AXL ] AXLR, SIGECO, « Tensegrity project », <https://lc.cx/Jc56>.
- [CHA 01] CHAUTARD N., *La mer ouverte à tous*, Editions de l'Espérou, 2001.
- [JAM 16] JAMIN F., AVERSENG J., QUIRANT J., AMOURI S., « La mer accessible à tous : Les systèmes de tensegrité déployables au service de l'autonomie », *Handicap 2016 : La recherche au service de la qualité de vie et de l'autonomie*, p. 181-186, 2016.
- [MOT 02] MOTRO R., « Tensegrity Project », *Fifth International Conference on Space Structures*, 2002.
- [MOT 03] MOTRO R., *Tensegrity, Structural systems for the future*, Hermès Pinton Sciences, 2003.
- [POZ 14] POZEIA, « POZEIA : DANS L'EAU COMME TOUT LE MONDE », [www.pozeia.com](http://www.pozeia.com), 2014.
- [QUI 03] QUIRANT J., KAZI-AOUAL M. N., MOTRO R., « Designing tensegrity systems : the case of a double layer grid », *Engineering Structures*, vol. 25, n° 9, p. 1121-1130, 2003.
- [QUI 16] QUIRANT J., AVERSENG J., JAMIN F., DEVIC S., « Assemblage de modules de tensegrités pliables », demande de brevet français n° 1654269, déposé le 12 mai 2016.
- [SAM 07] SAMILI A., MOTRO R., « Foldable/unfoldable curved tensegrity systems by finite mechanism activation », *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, vol. 47, n° 155, 2007.