Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 131 (2005)
Heft: 04: Air structurel

Artikel: Construire grâce à l'air
Autor: Pedretti, Mauro / Perret, Jacques
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-99363

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Entretien avec Mauro Pedretti
Propos recueillis par Jacques Perret

Construire **grâce à l'air**

STRUCTURE

La toiture de l'extension du parking de la gare de Montreux met en scène une structure particulièrement audacieuse, tant par sa légèreté et sa portée que par son design et son illumination. Son origine est à chercher dans le cerveau de Mauro Pedretti, un ingénieur tessinois qui n'en est pas à son coup d'essai en matière d'innovation.

TRACÉS : Que ce soit par les activités de votre bureau d'ingénieurs Passera Pedretti & Partners Ltd *ou à travers votre société* Airlight Ltd, *plusieurs de vos structures se caractérisent par leur audace et expriment un sentiment de légèreté. Comment l'expliquez-vous ?*

Mauro Pedretti : Cette situation est sans doute due à certains principes qui dirigent nos recherches en matière de structures. Nous aimons nous référer à trois principes essentiels de l'éthique de la construction, énoncés par Vitruve il y a vingt siècles déjà :

- *utilitas* : utilité publique et fonctionnalité,
- *firmitas* : solidité, résistance, durabilité,
- *venustas* : inscription dans le site et élégance.

Pour répondre à ces principes, l'ingénieur doit selon nous observer la nature, s'en inspirer davantage et de façon plus intelligente. Au XVIII[e] siècle, Moreau de Maupertuis (1698-1759) s'exprimait dans les termes suivants :

« La nature œuvre toujours de la façon la plus essentielle, dans le respect de l'économie maximale des ressources. La nature minimise toujours ses efforts. La nature recherche la simplicité des formes et procède de la façon la plus simple et efficace possible. »

L'observation du monde qui nous entoure montre qu'il se caractérise - du macrocosme galactique au microcosme atomique - par d'énormes espaces vides. Selon l'échelle, différents champs de force interagissent à distance avec la matière :

- les forces gravitationnelles à l'échelle astronomique,
- les forces électromagnétiques à l'échelle atomique,
- les interactions fortes et faibles à l'échelle nucléaire.

Les vides présents dans la nature sont donc « utilisés » et font, de ce point de vue, partie intégrante de la matière.

Au niveau structurel, la nature utilise la matière de manière parcimonieuse, en exploitant intelligemment les espaces vides. Là où il faut une certaine rigidité pour résister à des moments ou à des charges verticales - par exemple pour les arbres ou pour les os -, elle résout le problème en répartissant la matière de façon intelligente. Les espaces vides ne « coûtent » rien en termes d'énergie ou de matière. A la base, l'ingénieur doit lui aussi essayer d'utiliser l'espace vide pour créer des structures plus légères et efficaces, ce qu'il fait par ailleurs depuis longtemps, avec des poutres en treillis ou des structures spatiales.

T. : Dès lors, comment l'architecte et l'ingénieur doivent-ils raisonner pour créer ensemble de grandes structures durables, avec un minimum de ressources et en minimisant l'impact sur l'environnement ?

M. P. : Une des structures les plus efficaces est sans aucun doute la cellule vivante, où nous trouvons une membrane externe tendue qui enveloppe un noyau central fait de matière fluide et gélatineuse. La tension externe de la membrane est en équilibre avec la pression hydrostatique interne. Toutes les structures pneumatiques traditionnelles fonctionnent selon ce même principe : une membrane externe tendue en équilibre avec la pression interne d'un gaz.

Il est intéressant de noter que les structures pneumatiques ne sont pas un apanage de notre civilisation : il y a 3000 ans déjà, des navigateurs sur le Tigre et l'Euphrate utilisaient, pour le transport des marchandises, des radeaux équipés de flotteurs construits avec des peaux d'animaux.

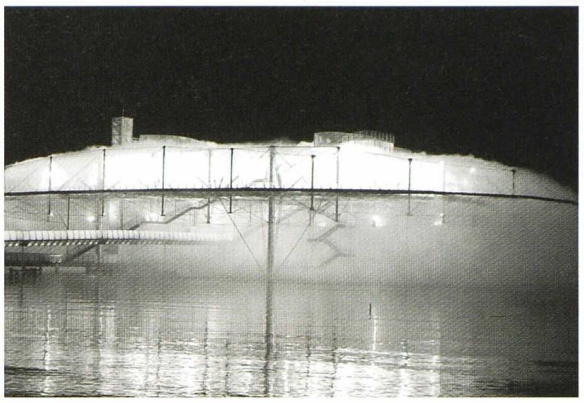
Au niveau mondial, on a probablement réalisé déjà plus de 100 000 structures pneumatiques différentes, dans certains cas avec des portées supérieures à 200 m. Par leur exploitation intelligente de l'espace vide, les structures pneumatiques sont extrêmement parcimonieuses dans l'utilisation de la matière, mais elles présentent au moins deux inconvénients majeurs pour les architectes et les ingénieurs : elles ne permettent pas de réaliser des formes géométriques compliquées et sont incapables de supporter des charges importantes.

*Fig. 1 : Le nuage d'*Expo.02 *à Yverdon (Photo* Passera Pedretti & Partners Ltd*)*

Fig. 2 : Couverture du vélodrome de l'UCI à Aigle (Photo Passera Pedretti & Partners Ltd*)*

Fig. 3 : Exemple d'une poutre Tensairity *(Photo* Airlight Ltd*)*

Partant de ces observations, nous pensons que, pour réaliser des structures légères, efficaces et économes dans l'emploi des ressources et des matériaux, nous devons éviter de solliciter les matériaux en flexion ou, pire encore, en cisaillement ou en torsion. Nous devons chercher à utiliser seulement des éléments structuraux en traction ou en compression. Dans ce dernier cas, il faut minimiser les problèmes de stabilité, notamment en exploitant le « vide » de façon intelligente. C'est à partir de ces considérations que nous avons envisagé un nouveau type de structure : les *Tensairity®*.



1

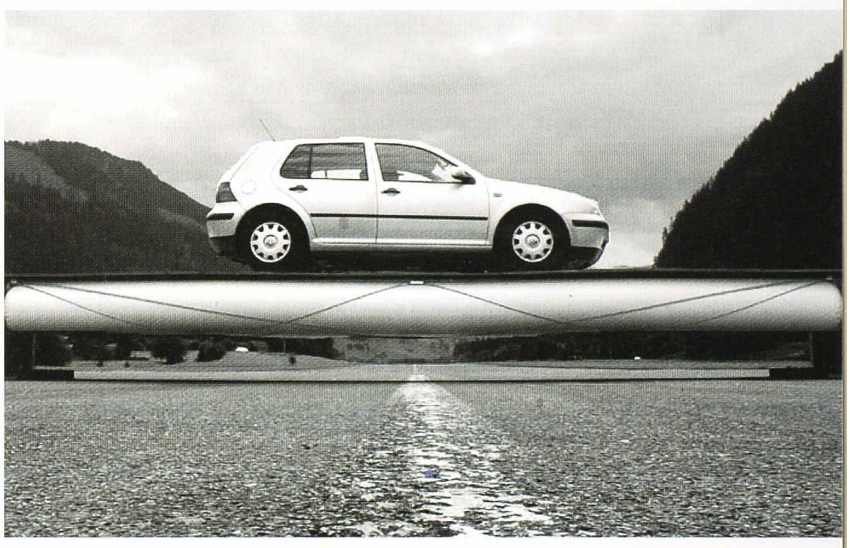
T. : Nous avions eu l'occasion de présenter la notion de Tensegrity *dans un numéro précédent, à travers les activités du professeur Smith, directeur de l'IMAC à l'EPFL*[1]*. Vous avez breveté l'appellation voisine de* Tensairity*. Quels sont les points communs entre ces deux notions ?*

M. P. : Elles sont effectivement voisines. Il faut tout d'abord rappeler que j'ai été un des initiateurs des structures de *Tensegrity* sur lesquelles les collaborateurs de l'IMAC travaillent aujourd'hui. D'autre part, le bureau d'ingénieurs *Passera Pedretti & Partners Ltd* a réalisé les deux applications de ce principe citées par le professeur Smith : le système de fixation des buses du défunt nuage d'*Expo.02* à Yverdon (fig. 1) et la couverture du vélodrome de l'UCI à Aigle (fig. 2).

2

D'un point de vue sémantique, le vocable *Tensairity* a une origine très proche de *Tensegrity*, issu de la combinaison des mots anglais *tension* et *integrity*. Nous y avons simplement ajouté un élément naturel, l'air, ce qui conduit logiquement à la dénomination de notre produit.

Un des points faibles des structures dites de *Tensegrity* concernait les risques de flambages des barres comprimées. Nos structures *Tensairity* utilisent de l'air à très basse pression pour éliminer les problèmes de stabilité des éléments structuraux sollicités en compression. Notre produit constitue un nouveau concept de structure légère : plus que sur le recours à des matériaux légers, cette structure repose sur une conception attentive de la transmission des efforts, de manière à ce qu'un minimum de matière suffise pour répondre aux sollicitations.



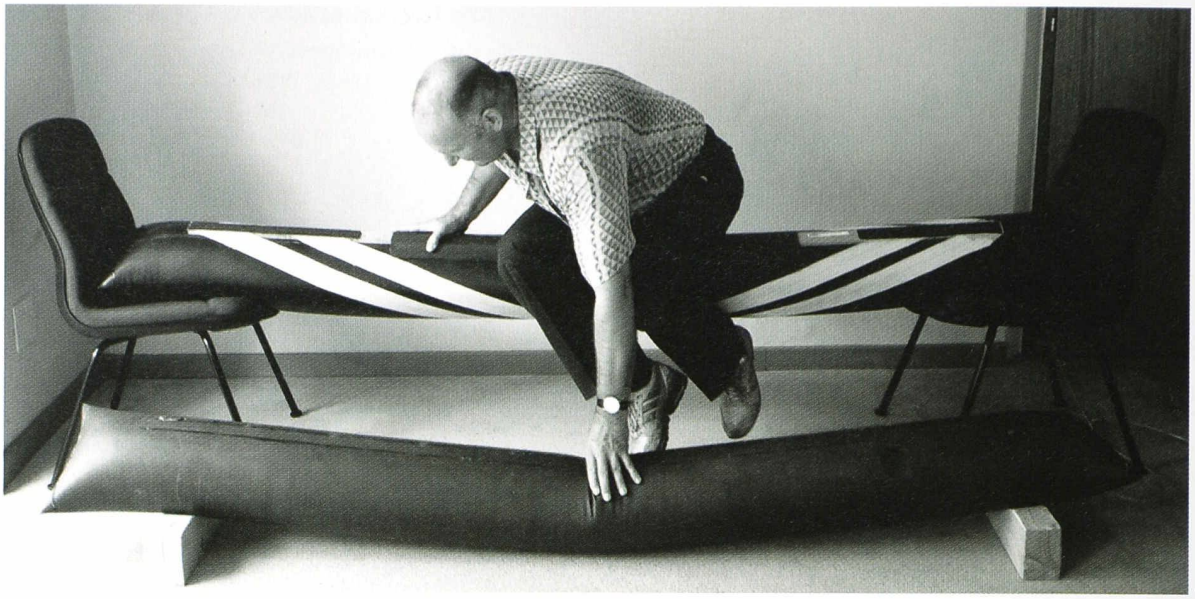
3

T : Assurer la stabilité d'éléments comprimés avec de l'air, voilà qui est pour le moins assez surprenant : comment la simple conception d'un élément est-elle à même de répondre à un tel défi ?

M. P. : L'élément *Tensairity* de base est une poutre constituée de trois éléments principaux (fig. 3) :

- un tube cylindrique rempli d'air légèrement comprimé, réalisé par exemple avec une membrane élastique,
- un élément comprimé, en contact avec le tube sur toute sa longueur,
- deux câbles roulés en spirale autour du tube et reliés aux deux extrémités de l'élément comprimé.

[1] Voir *TRACÉS* 15/16 du 20 août 2003



4

La figure 4 montre un de mes premiers prototypes. Les deux tubes ont une même pression d'environ 200 mbar. L'élément en compression est simplement constitué d'une fine latte en bois de 5 x 40 mm. La spirale est un ruban en tissu plastique, collé aux extrémités de la latte en bois.

L'idée d'utiliser l'air comme une sorte de ressort pour stabiliser la latte comprimée a pour origine la situation statique de la poutre comprimée reposant sur un sol élastique - un problème bien connu des ingénieurs. En revanche, l'idée de reprendre les efforts de traction par une simple spirale est issue d'un mélange entre hasard et intuition ; j'ai eu bien de la peine à m'expliquer pourquoi et comment une simple spirale enroulée sur un tube à très basse pression pouvait supporter des efforts de traction de l'ordre de plusieurs centaines de kilos. C'est à partir de l'équation du rayon de la spirale - redécouverte dans les livres de géométrie différentielle utilisés durant mes études polytechniques - que j'ai compris et que j'ai pu expliquer mon intuition initiale : *e luce fu !*

Le tube élastique sous pression a une fonction double puisqu'il sert d'une part à pré-tendre les deux câbles et d'autre part à stabiliser l'élément comprimé contre le flambage. L'air, qui joue essentiellement un rôle stabilisant, est utilisé à très basse pression, entre 50 et 300 mbar selon l'application. La charge extérieure est reprise par un élément en compression et des tirants en traction. Cette situation fait que la capacité portante d'une poutre *Tensairity* ne dépend que des dimensions des câbles et de l'élément en compression. Par ailleurs, ce dernier se comporte statiquement comme une poutre sur sol élastique - le tube pneumatique assume la fonction du sol - avec comme conséquence qu'il n'est pas sujet à des problèmes de stabilité et que la résistance du matériau, comme pour les éléments en traction, peut être exploitée pratiquement jusqu'à sa limite élasto-plastique. C'est ainsi que ces structures deviennent extrêmement efficaces tout en restant très légères[2].

[2] Pour plus de détails, voir l'article sur la statique élémentaire, pp. 16-17

T. : Comme pour n'importe quel élément pneumatique, on peut imaginer qu'il existe des risques de crevaison, voir de perte de pression dans votre tube. Est-ce un danger réel ?

M. P. : Les structures pneumatiques de grandes dimensions ne sont jamais totalement étanches et les fuites augmentent avec la pression interne. La qualité des soudures, des tubes et des tissus est donc capitale. La pression atmosphérique peut varier de 50 mbar selon la météo, ce qui est considérable pour des structures utilisant des pressions comprises entre 50 et 100 mbar. Pour compenser ces pertes et maintenir la pression constante, il faut insuffler de l'air en permanence. La puissance du compresseur et les conduites doivent être dimensionnées de manière à garantir que des fuites importantes - par exemple à la suite d'actes de vandalisme - puissent être compensées. De ce point de vue, par la faible pression qu'elles nécessitent, les *Tensairity* sont très avantageuses.

Dans le cas du parking de Montreux, la pression dans chacun des tubes est constemment mesurée. Si la pression dans un des tubes descend sous la valeur limite, le compresseur s'enclenche et la pression de tous les tubes est portée au maximum. Cette procédure permet que le compresseur ne fonctionne que quelques fois par heure. Par ailleurs, les structures sont dimensionnées pour supporter leur propre poids plus une petite charge même sans aucune pression dans les tubes.

T. : Quels sont les principaux avantages d'une telle conception et pourquoi bénéficie-t-elle d'un fort potentiel de développement ?

M. P. : Les structures *Tensairity* combinent un stockage léger avec un transport et un montage très faciles, puisque plus de 99% du volume d'une telle poutre est constitué d'air. Comparées à une structure conventionnelle en acier, les poutres en *Tensairity* peuvent supporter des charges équivalentes avec un poids extrêmement réduit.

Sur le plan écologique, l'efficacité structurelle de ce principe permet une réduction maximale de la quantité de matiè-

Fig. 4 : Test de charge d'un des premiers prototypes de Tensairity *(Photo* Airlight Ltd*)*

Fig. 5 et 6 : Images de synthèse du projet Cutty Sark *(Documents Grimshaw Architects, Londres)*

re pour répondre aux efforts. De plus, il est possible de choisir le matériau adapté à chaque unité fonctionnelle de la structure, permettant ainsi un usage optimal. Cette efficience structurelle, matérielle et énergétique entraîne une réduction des coûts qui fait que les structures en *Tensairity* peuvent être construites pour un prix de revient inférieur à celui des méthodes traditionnelles.

T. : Compte tenu des résultats très encourageants de vos poutres, quels sont les domaines dans lesquels cette conception est à même de fournir des applications ?

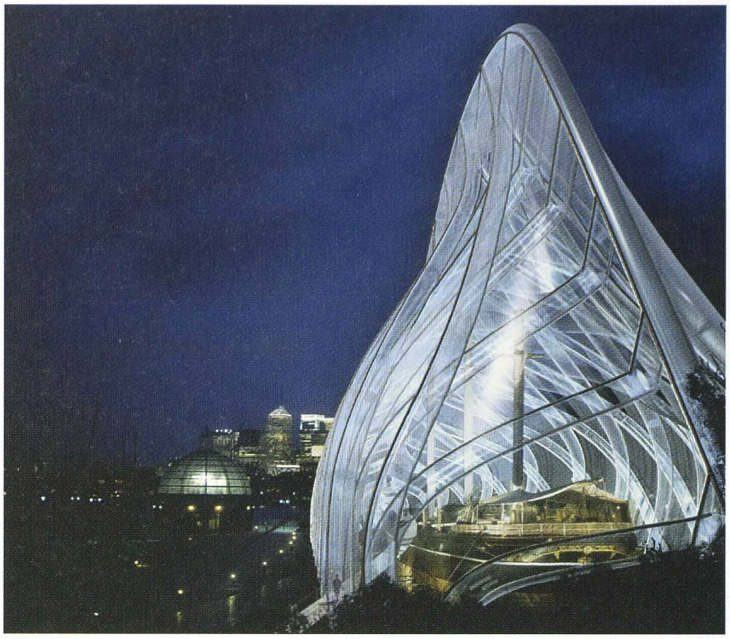
M. P. : En envisageant l'utilisation d'autres matériaux plus sophistiqués - par exemple du carbone ou du *Kevlar®*, - le potentiel de la *Tensairity* devient encore plus important pour des applications comme des couvertures à très grande portée, des passerelles et des ponts ou des bâtiments provisoires.

Bien qu'il s'agisse d'une technologie récente - les premiers brevets dans ce domaine ont été déposés en 2002 seulement par la société *Airlight Ltd* -, plusieurs ouvrages sont actuellement en cours de réalisation. On peut notamment citer les passerelles piétonnières sur une autoroute à proximité de Rouen (deux fois 45 m avec des éléments en bois) et une passerelle à Giubiasco (25 m avec des éléments en béton à haute performance), projets qui illustrent la possibilité d'utiliser d'autres matériaux que l'acier.

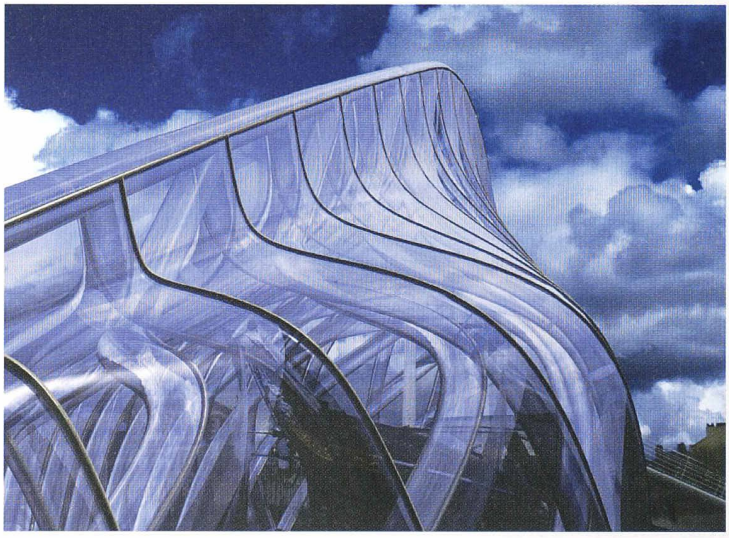
Par ailleurs, de récents développements ont montré comment, en partant du même principe de base, il est possible de réaliser non seulement des éléments structuraux linéaires, mais aussi des *Tensairity* bidimensionnelles de formes et dimensions quelconques, qui ouvrent de nouvelles possibilités dans l'architecture et l'ingénierie. Il deviendrait alors possible de réaliser des formes très compliquées et même très grandes, en utilisant comme matériau de couverture des membranes très fines et transparentes comme l'ETFE (un copolymère d'éthylène-tetrafluoroéthylène). Nous venons justement de décrocher un projet en collaboration avec l'architecte anglais Nicolas Grimshaw : il prévoit de réaliser une couverture provisoire pour le voilier *Cutty Sark*[3] avec cette technologie (fig. 5 et 6). Il s'agira d'une structure très complexe, de près de 140 m de longueur pour environ 40 m de hauteur, que nous nous réjouissons évidemment de pouvoir concrétiser.

Mauro Pedretti, dr sc. tech., ing. civil EPFL
Airlight Ltd, via Croce 1, CH - 6710 Biasca

Propos recueillis par Jacques Perret



5



6

[3] <http://www.cuttysark.org.uk/>