

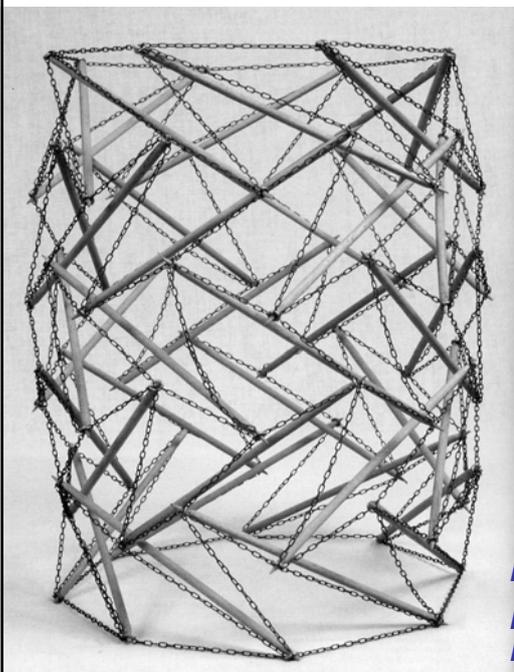
Ecole d 'architecture de Nantes

# Cours de géométrie constructive

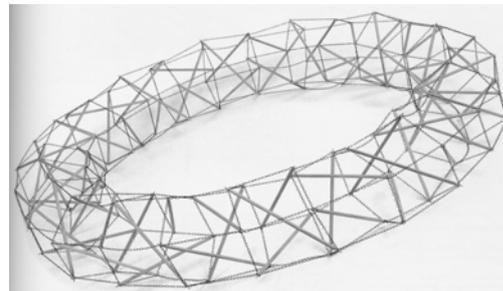
Livre I

Morphologie ou *Science des formes*

## ***LES STRUCTURES AUTOTENDANTES ou STRUCTURES DE TENSÉGRITÉ***



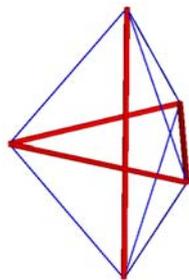
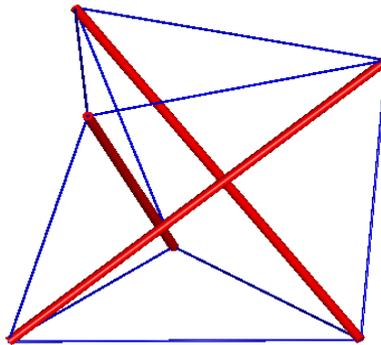
*David Georges Emmerich :  
Tore autotendant, collection  
FRAC Centre, Orléans*



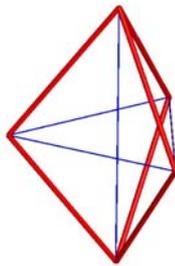
*David Georges Emmerich :  
Mât entrelacé 8B hexoïde, collection  
FRAC Centre, Orléans*

*LES STRUCTURES AUTOTENDANTES  
Ou  
STRUCTURES DE TENSÉGRITÉ*

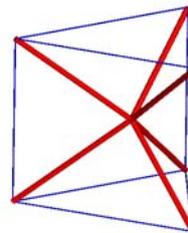
**1 Les structures élémentaires ou  
simplex**



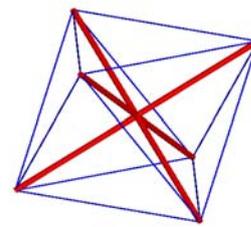
**Roue de bicyclette**



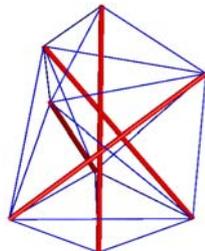
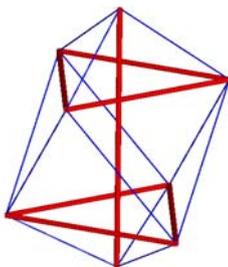
**Parapluie**



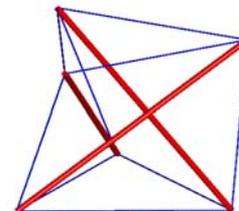
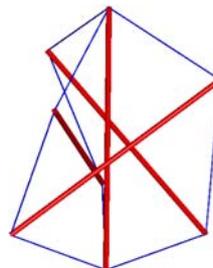
**Stellation  
prismatique**



**Stellation  
antiprismatique**

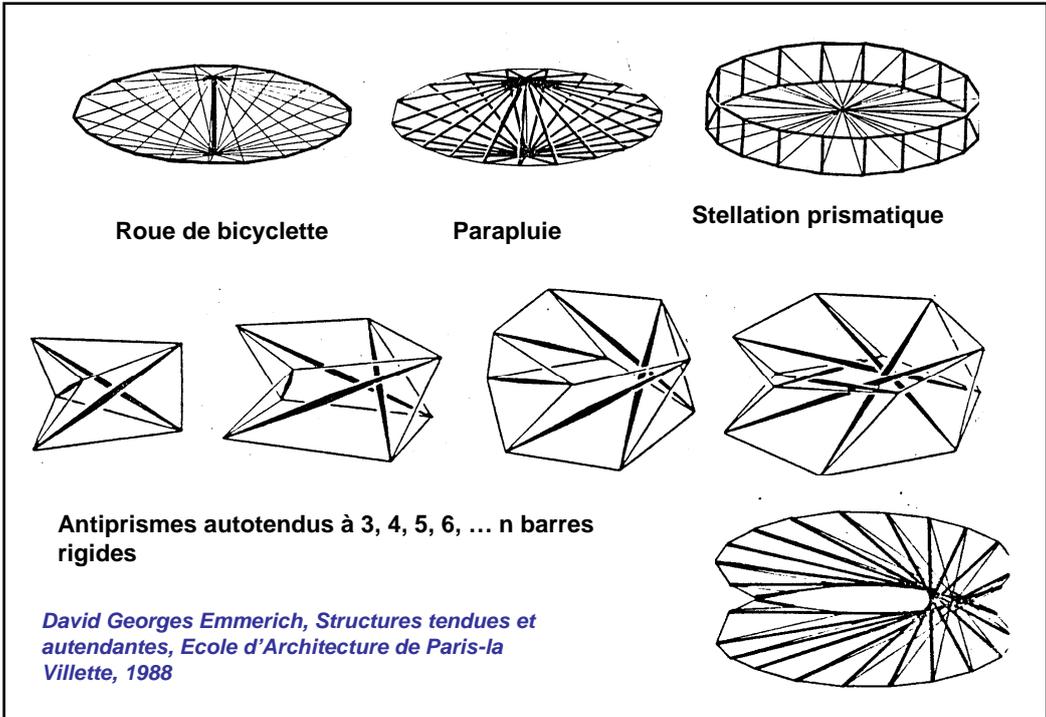
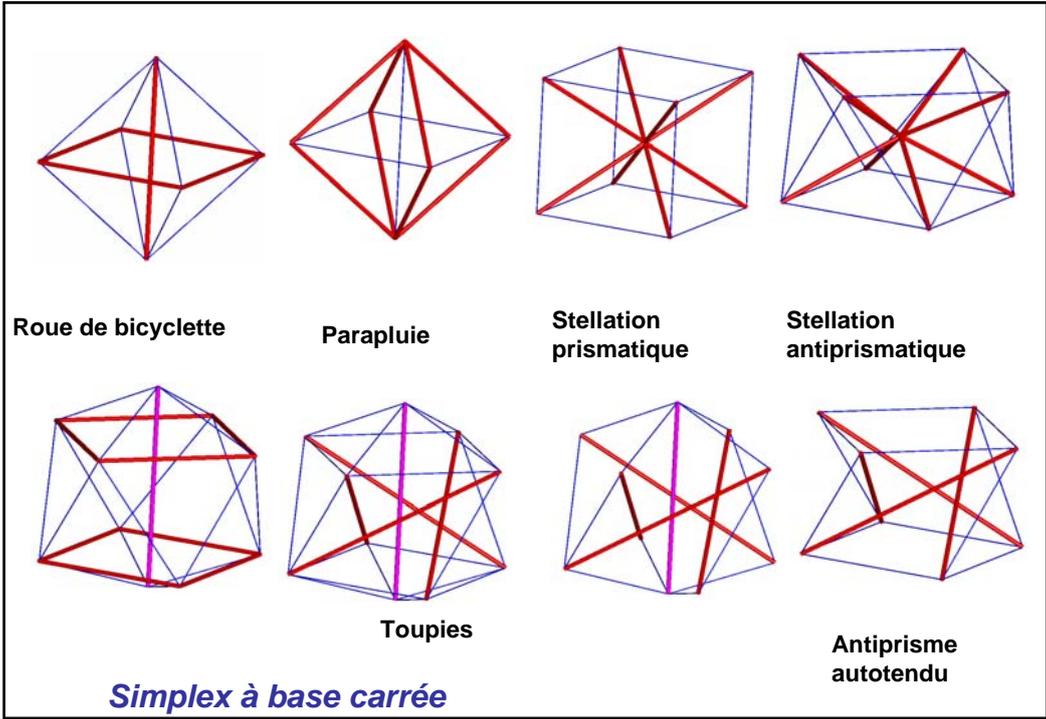


**Toupies**



**Antiprisme  
autotendu**

*Simplex à base triangulaire*



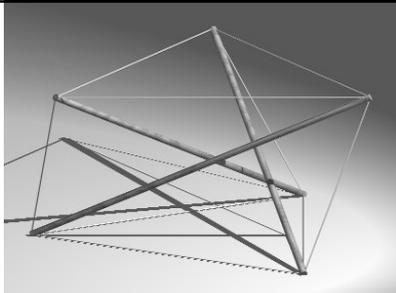
**Les structures autotendantes sont des treillis spatiaux indéformables constituant des réseaux finis ou infinis.**

**Les membrures reliant les nœuds sont de deux sortes :**

- un réseau continu de tirants
- un réseau discontinu de barres comprimées.

**Leur morphologie particulière entraîne un comportement spécifique de ces structures; ce ne sont pas des structures triangulées :**

- 1 – Le sens des efforts dans les membrures (traction ou compression) est invariable, quel que soit le cas de charge extérieur appliqué aux nœuds de la structure;
- 2 – Chaque nœud reçoit en principe une seule barre comprimée et au moins trois tirants.
- 3 – Une structure autotendante devient rigide sous l'effet d'une précontrainte réalisée par la mise en tension interne des tirants (tendeurs) et la mise en compression interne des barres rigides, ceci sans solliciter les appuis de la structure (différence avec les toitures et les ponts suspendus).

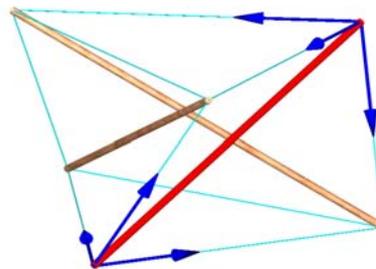
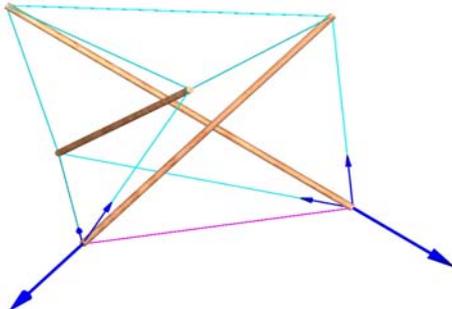


Images d'après [www.tensegridad.es](http://www.tensegridad.es)

### **Comportement mécanique du simplex à base triangulaire ou tripode autotendant**

**Les tirants (câbles) sont mis en traction par la poussée des barres rigides**

**Les barres rigides sont mises en compression par l'action des 3 câbles à chaque nœud (idem à un mât haubanné).**



4 – Les lois de formation des structures autotendantes, et en particulier le rapport entre le nombre de nœuds et le nombre de membrures nécessaires à la rigidité du système sont telles que si l'on appliquait la loi d'Euler utilisée pour déterminer la stabilité des treillis triangulés, on trouverait en général un nombre de liaisons internes inférieur à celui nécessaire à l'isostaticité de la structure.

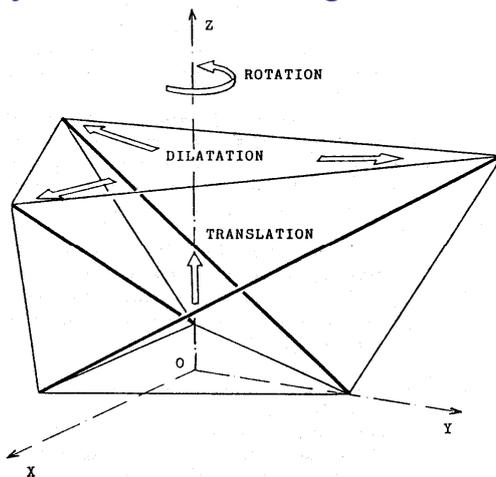
Les structures autotendantes ne sont pas des structures triangulées, les notions d'isostaticité et d'hyperstaticité des structures issues de la loi d'Euler ne sont pas applicables.

### **Morphologie des simplex autotendants :**

Un simplex autotendant est formé de deux bases polygonales à  $s$  côtés tendus situés dans des plans parallèles, et décalés en rotation et  $s$  barres et  $s$  tirants latéraux ; l'ensemble forme un antiprisme.

En faisant varier la position relative des deux polygones (en translation et en rotation) et leur dimension, on pourrait déterminer trois séries de structures homéomorphes (voir figure ci-dessous, le cas du simplex à base triangulaire).

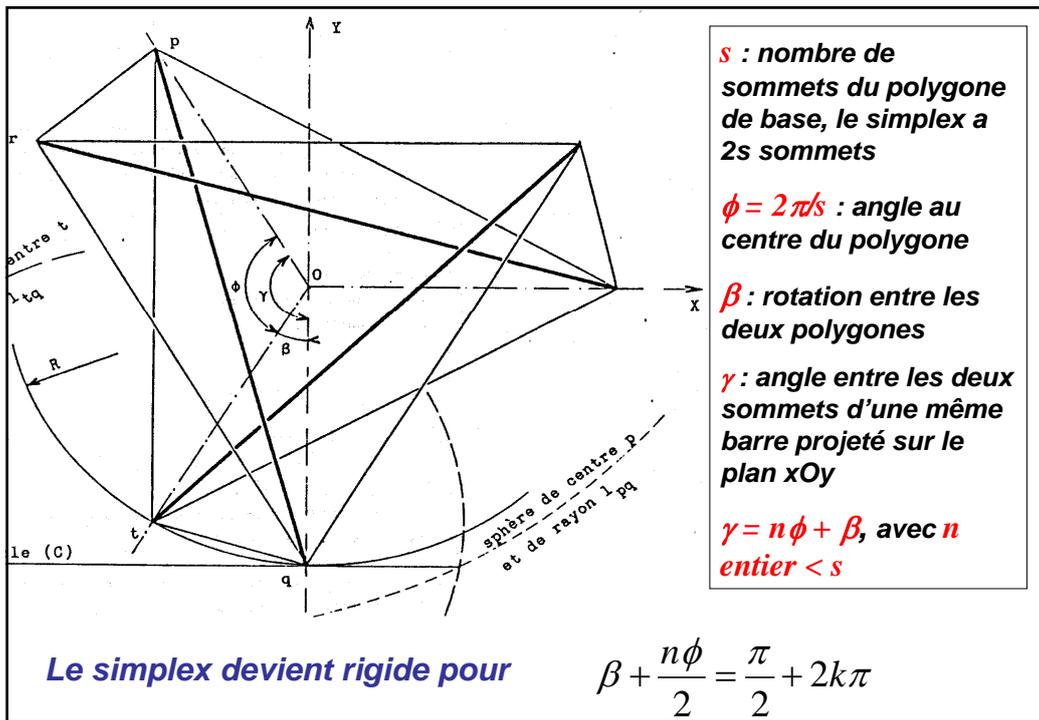
### **Possibilités morphologiques du simplex autotendant anti-pyramide à base triangulaire**



En fait la distance entre les deux polygones (translation) et leur dimension relative (dilatation) peuvent varier, permettant de réaliser des structures plus ou moins élancées et/ou en forme d'anti-pyramides, par contre ce n'est pas le cas pour la rotation.

Les simplex ne sont rigides que pour des valeurs précises de la rotation entre les deux polygones ;

ces valeurs angulaires correspondent à la longueur maximale des barres comprimées par rapport à celle des tirants latéraux (pour un élanement une dimension des arêtes des polygones donnés).

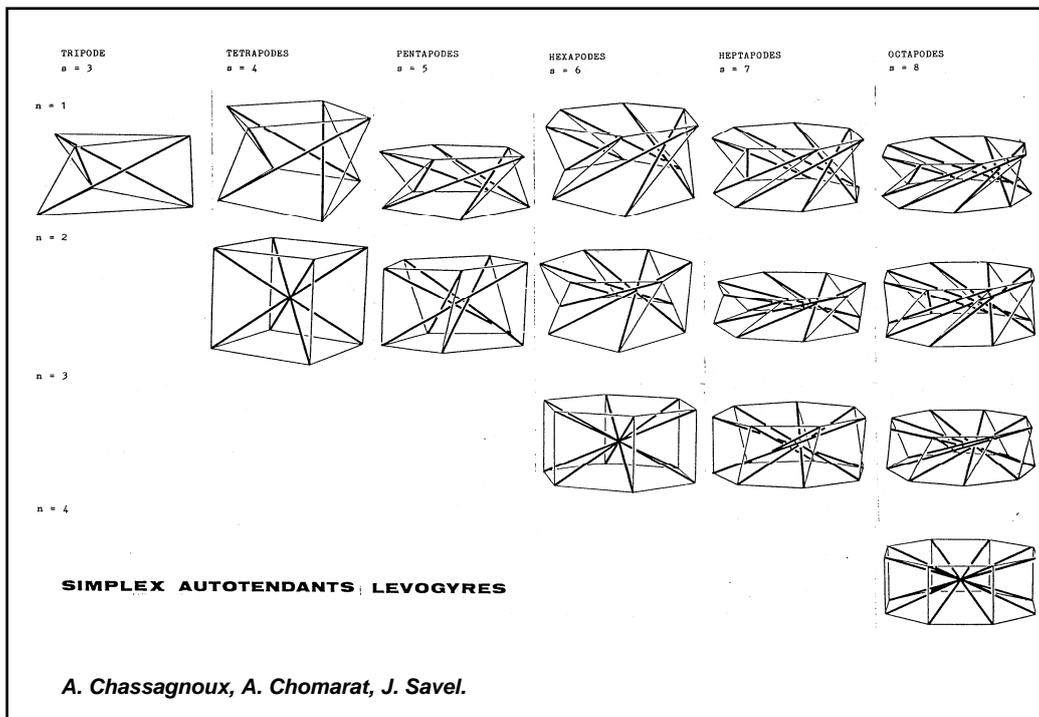
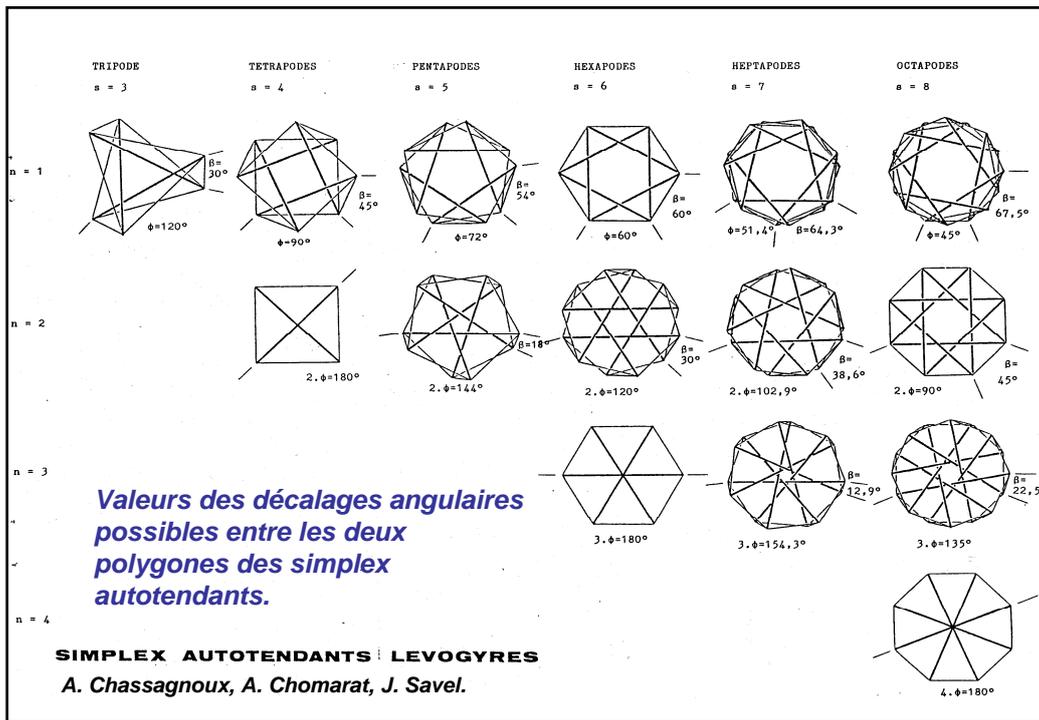


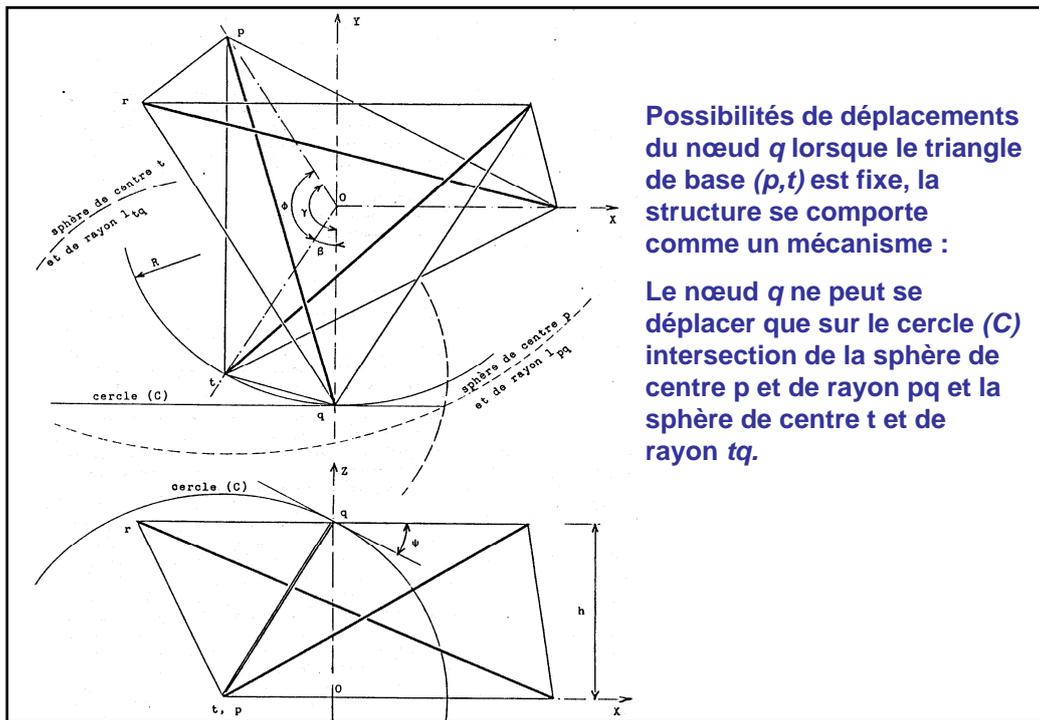
FAMILLES DE SIMPLEX	s	φ	VALEURS DE β POUR n = 1, 2, ..... n									
			n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6	n = 7	n = 8	n = 9	....
Tripodes	3	120°	30°	-30°								
Tétrapodes	4	90°	45°	0°	-45°							
Pentapodes	5	72°	54°	18°	-18°	-54°						
Hexapodes	6	60°	60°	30°	0°	-30°	-60°					
Heptapodes	7	51,43°	64,29°	38,57°	12,86°	-12,86°	-38,57°	-64,29°				
Octapodes	8	45°	67,5°	45°	22,5°	0°	-22,5°	-45°	-67,5°			
Ennéapodes	9	40°	70°	50°	30°	10°	-10°	-30°	-50°	-70°		
Décapodes	10	36°	72°	54°	36°	18°	0°	-18°	-36°	-54°	-72°	
.....												

TABLEAU DES SIMPLEX AUTOTENDANTS

Les valeurs de  $\beta > 0$  correspondent aux simplex LEVOGYRES.  
 Les valeurs de  $\beta < 0$  correspondent aux simplex DEXTROGYRES.

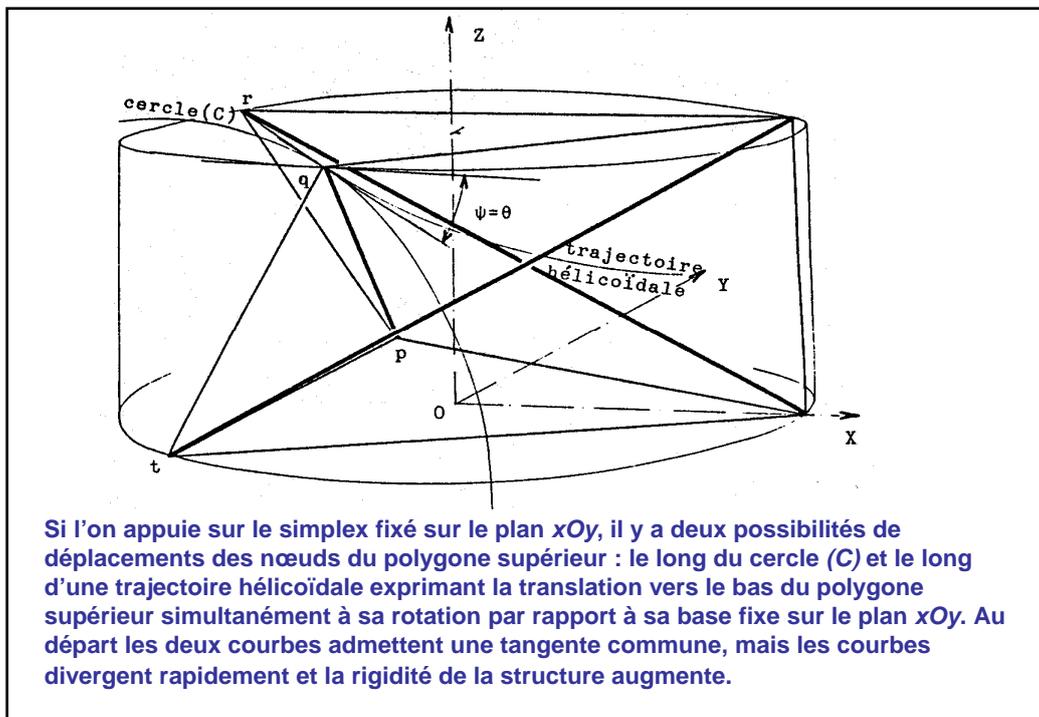
**Valeurs des décalages angulaires possibles entre les deux polygones des simplex autotendants.**





Possibilités de déplacements du nœud  $q$  lorsque le triangle de base  $(p,t)$  est fixe, la structure se comporte comme un mécanisme :

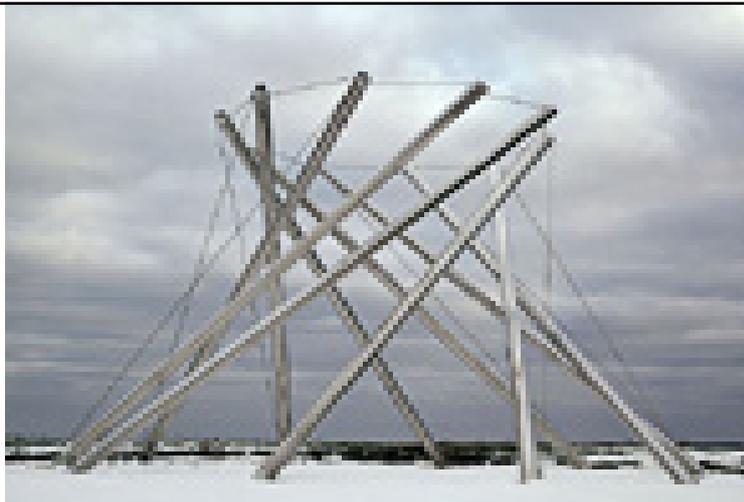
Le nœud  $q$  ne peut se déplacer que sur le cercle  $(C)$  intersection de la sphère de centre  $p$  et de rayon  $pq$  et la sphère de centre  $t$  et de rayon  $tq$ .



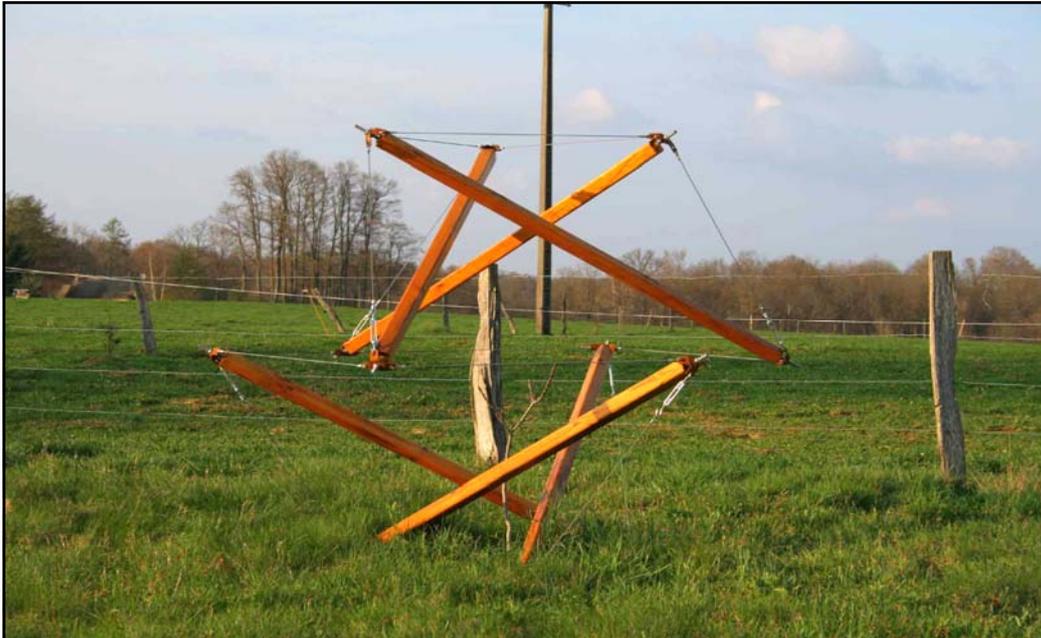
Si l'on appuie sur le simplexe fixé sur le plan  $xOy$ , il y a deux possibilités de déplacements des nœuds du polygone supérieur : le long du cercle  $(C)$  et le long d'une trajectoire hélicoïdale exprimant la translation vers le bas du polygone supérieur simultanément à sa rotation par rapport à sa base fixe sur le plan  $xOy$ . Au départ les deux courbes admettent une tangente commune, mais les courbes divergent rapidement et la rigidité de la structure augmente.



*A. Chassagnoux : trois simplex tripodes et un simplex tétrapode, 2004*



Kenneth Snelson: [V-X](#), 1968, stainless steel  
10 x 14 x 14 feet  
3 x 4.3 x 4.3m  
Columbus Museum of Art, Columbus, OH



*A. Chassagnoux : deux simplex tripodes assemblés formant un cuboctaèdre, 2005*

*Bio – tenségrité : structure autotendante modélisant le fonctionnement mécanique d'un bras, avant-bras et d'une main.*

*Les os sont modélisés par les barres rigides et les tendons par des câbles.*

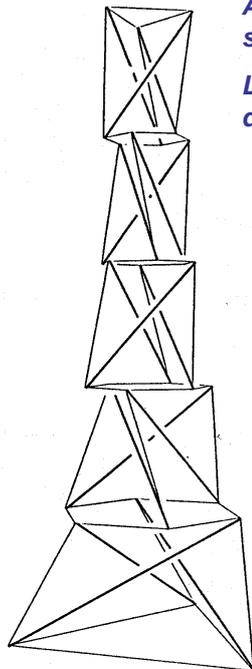
*(D'après <http://biotensegrity.com>)*



**LES STRUCTURES AUTOTENDANTES  
ou  
STRUCTURES DE TENSÉGRITÉ**

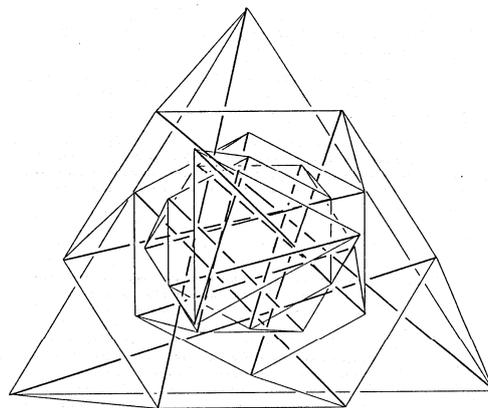
## 2 Les Mâts

*Kenneth Snelson: Needle Tower,  
1968  
aluminum & stainless steel  
60 x 20 x 20 feet  
18.2 x 6 x 6m  
Collection: Hirshhorn Museum &  
Sculpture Garden, Washington,  
D.C.*



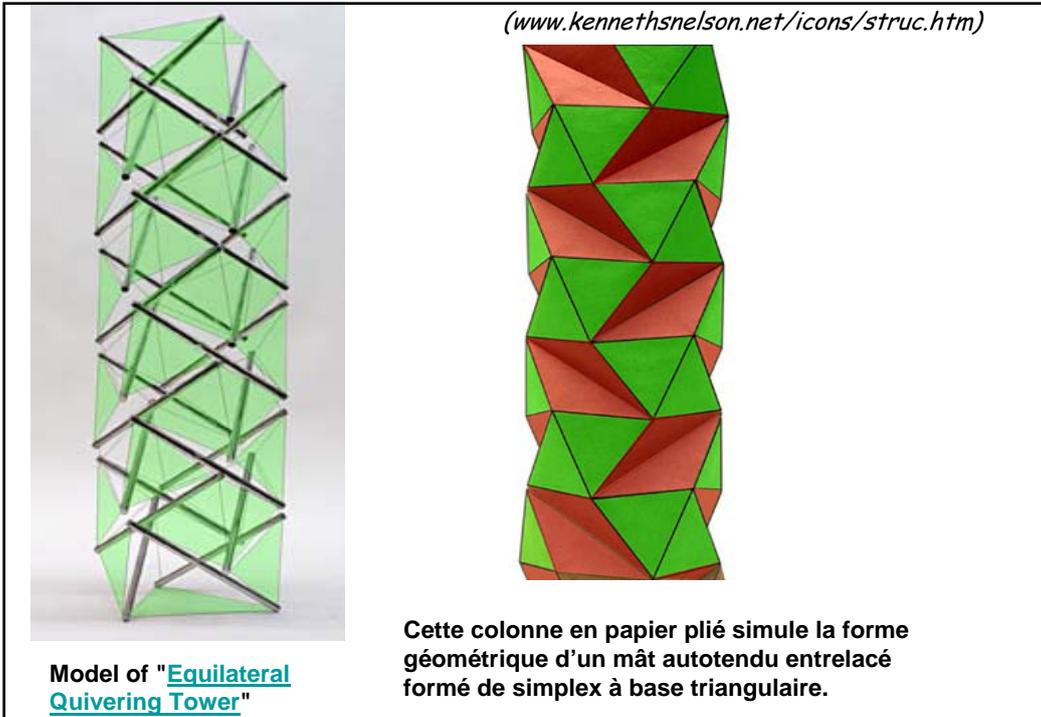
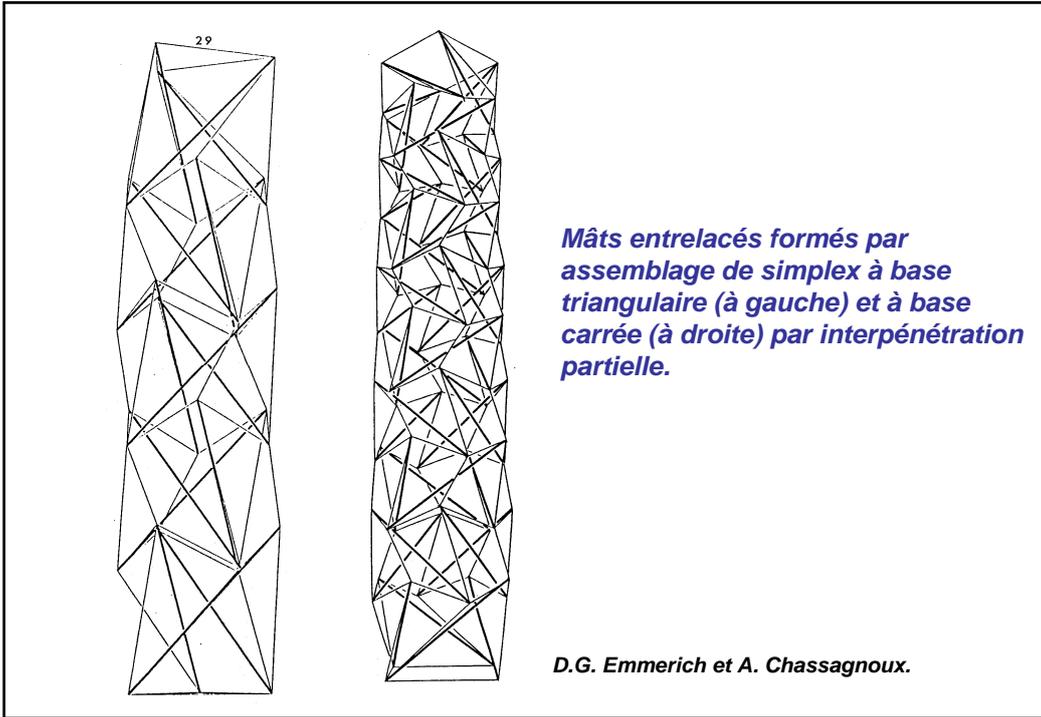
**Assemblage de simplex à base triangulaire par  
superposition.**

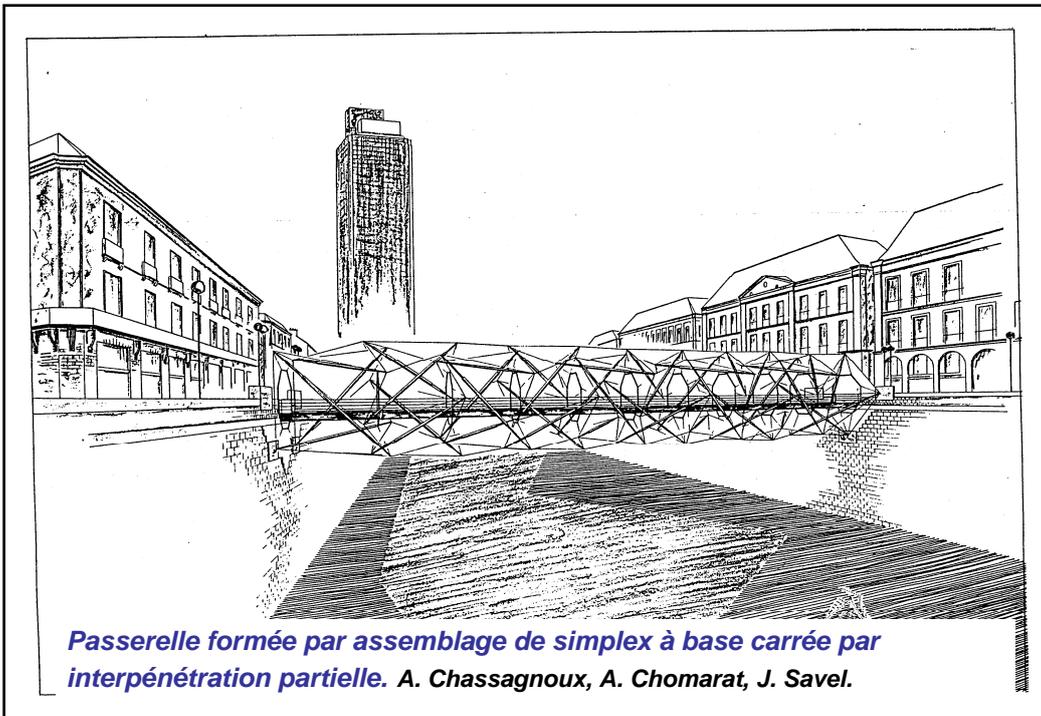
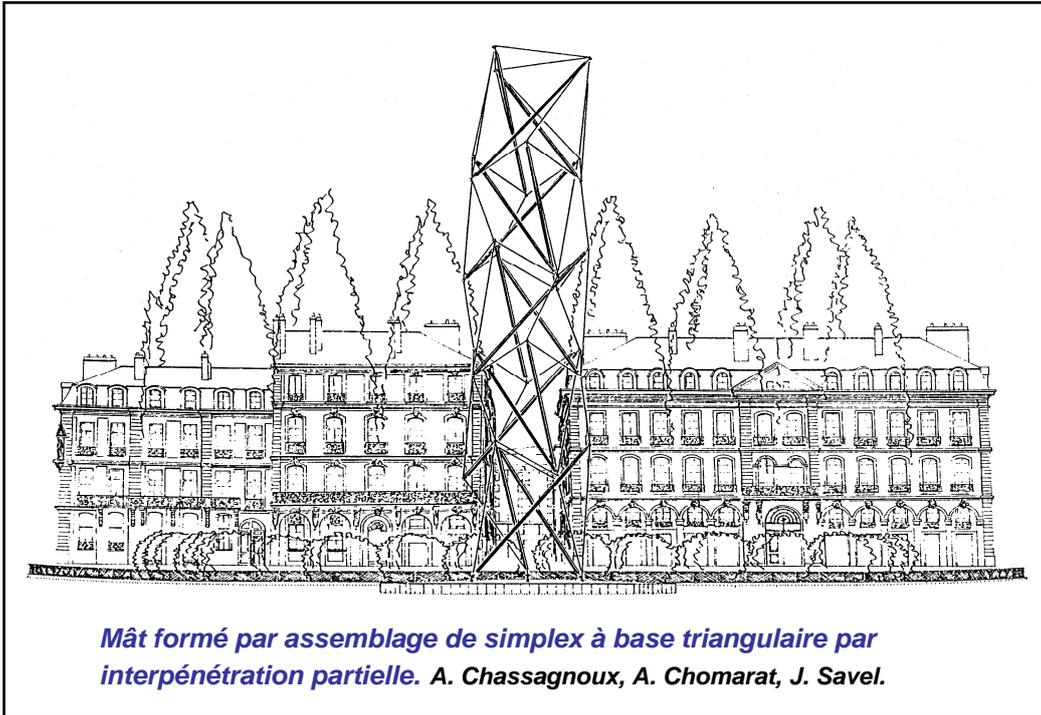
**Le polygone d'assemblage des deux simplex a le double  
de côtés, soit ici un hexagone**

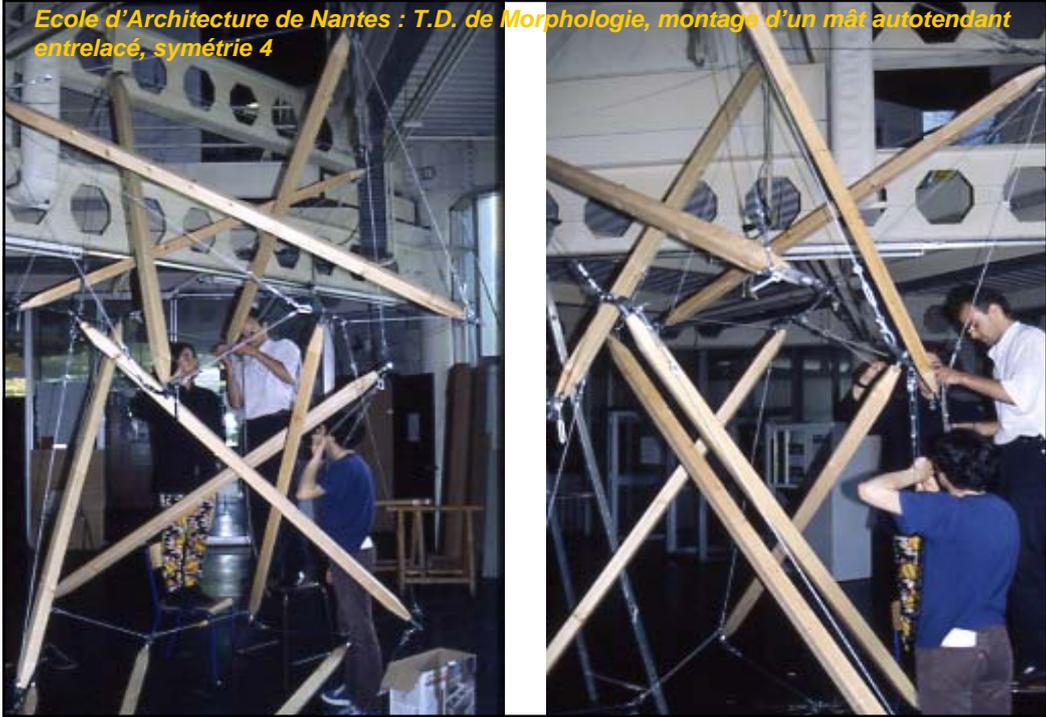


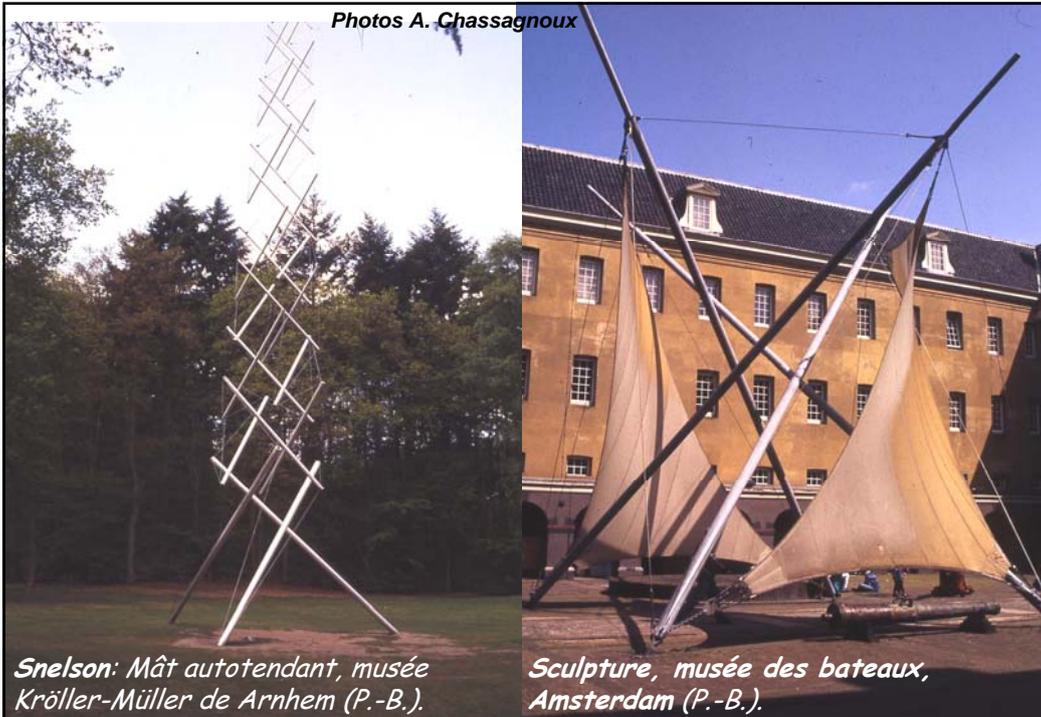
MAT PARABOLIQUE AUTOTENDANT FORME PAR  
SUPERPOSITION DE CINQ SIMPLEX (TRIPODES).

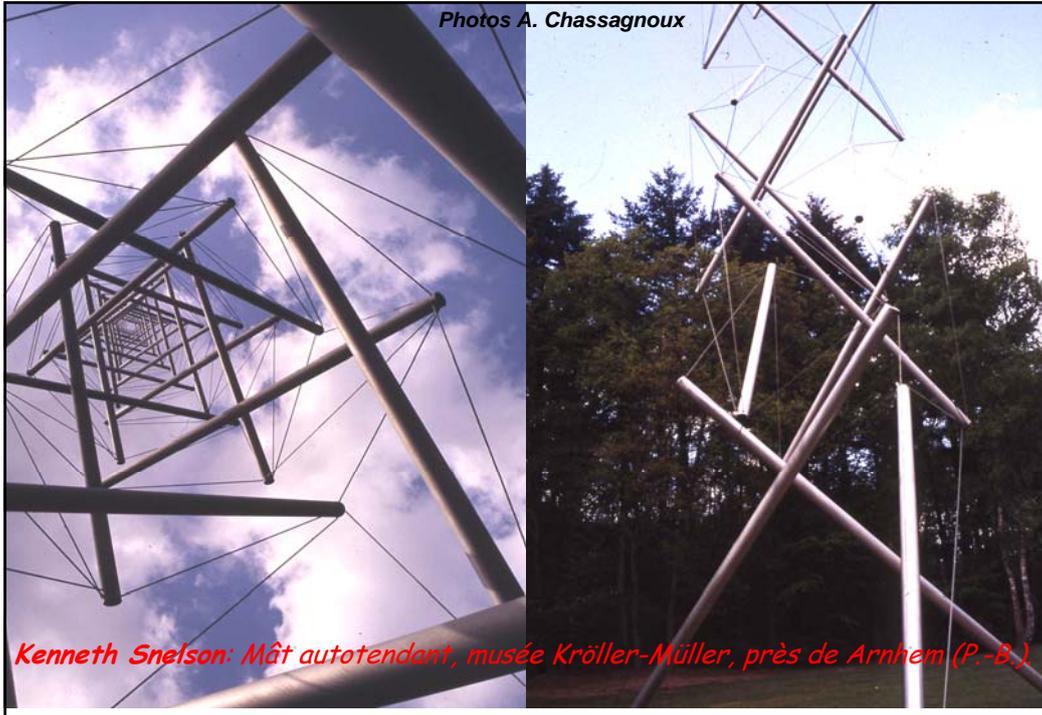
**A. Chassagnoux, A. Chomarat, J. Savel.**









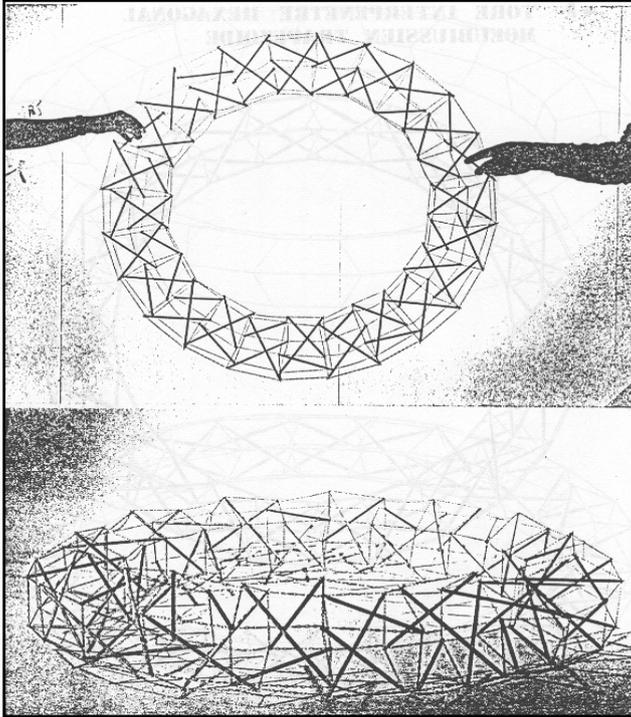




*Kenneth Snelson: Dragon, 2000-03, stainless steel, 30.5 x 31 x 12 feet, 9.3 x 9.5 x 3.65m, ([www.kennethsnelson.net](http://www.kennethsnelson.net))*



*Kenneth Snelson: Rainbow Arch, 2001, aluminum & stainless steel, 7 x 12.6 x 2.6 feet, 2.1 x 3.8 x 1m ([www.tensegridad.es/Galeria\\_de\\_imagenes.htm](http://www.tensegridad.es/Galeria_de_imagenes.htm)). En diminuant les longueurs de certains câbles latéraux, on peut courber un mât et même, réaliser des tores.*



**David Georges Emmerich**  
(Structures attendues et  
autotendantes, Ecole  
d'Architecture Paris-la Villette,  
1988, p. 262)

**Tore réalisé par la  
juxtaposition de simplex à  
base triangulaire par des  
hexagones de liaison.  
L'ensemble constitue un tore  
prismatique (hexagonal)  
moebiusien.**

**LES STRUCTURES AUTOTENDANTES**  
**Ou**  
**STRUCTURES DE TENSÉGRITÉ**

### **3 Les Structures double - nappe**

*Ecole d'Architecture de Nantes : T.D. de Morphologie.*



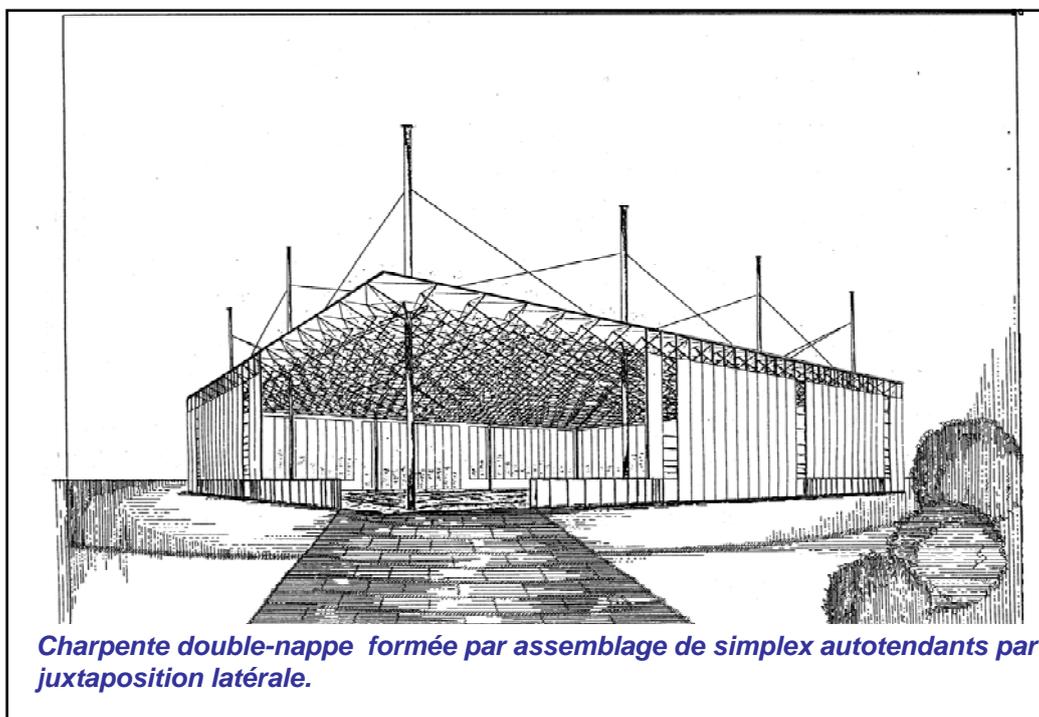
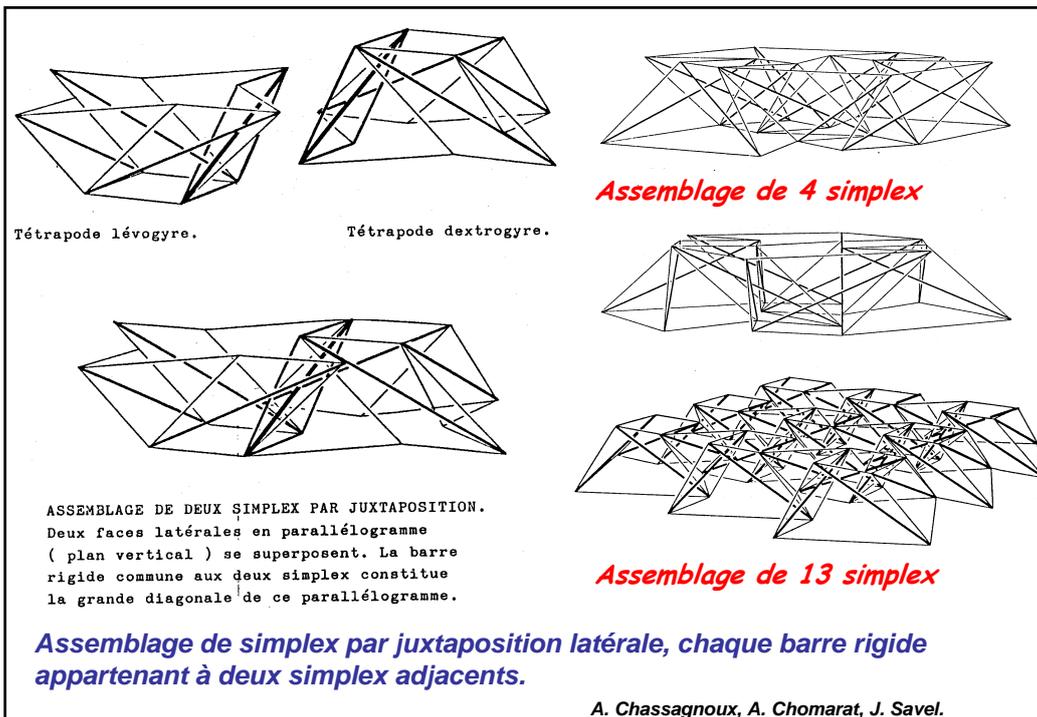
*Dans les structures double-nappes planes, ou dalles en treillis, tous les nœuds sont situés sur deux plans parallèles, les membrures appartenant à chacun de ces plans sont disposées régulièrement et forment une tessellation.*

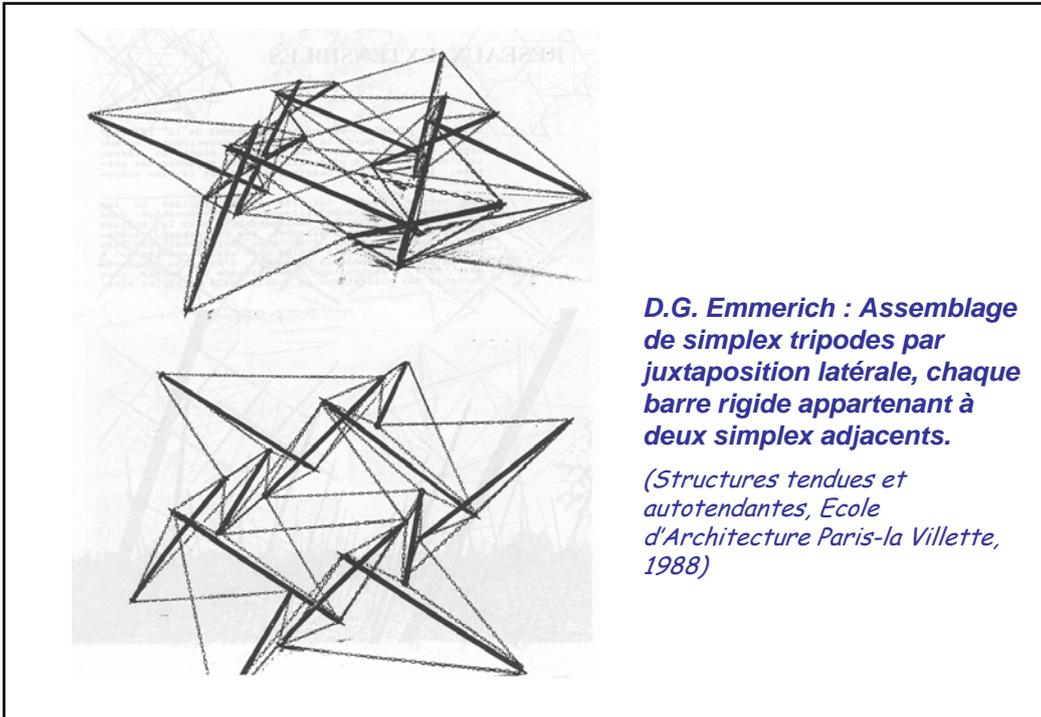
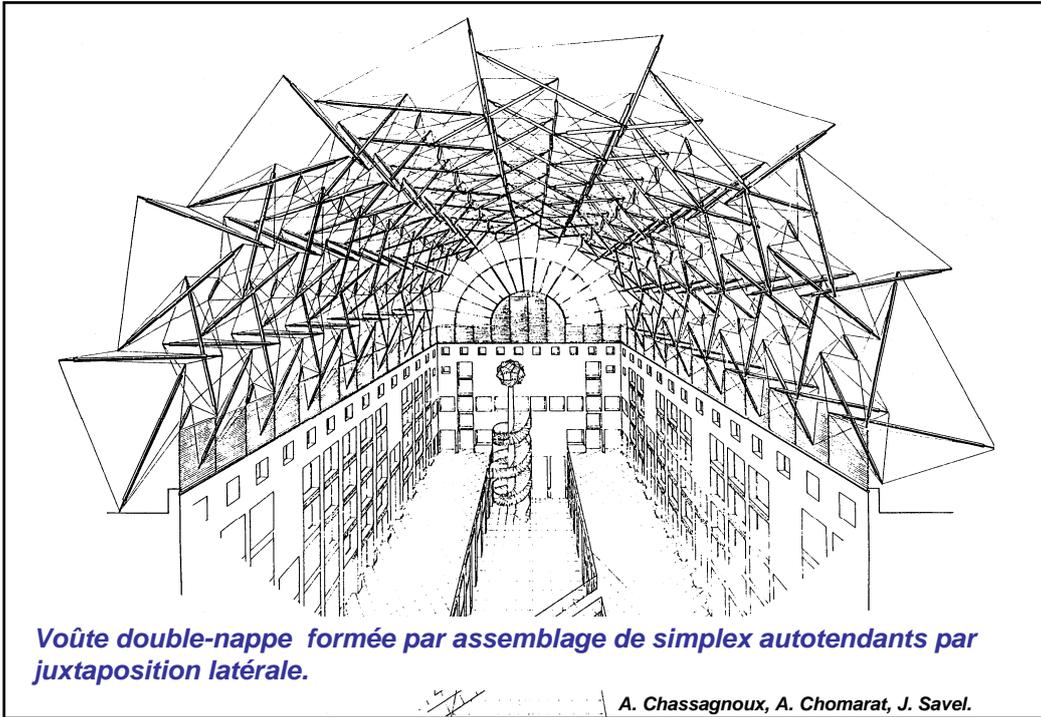
*Dans les structures autotendantes double-nappe, chaque tessellation est constituée par un réseau continu de tirants, les deux plans sont reliés par des barres rigides et des tirants.*

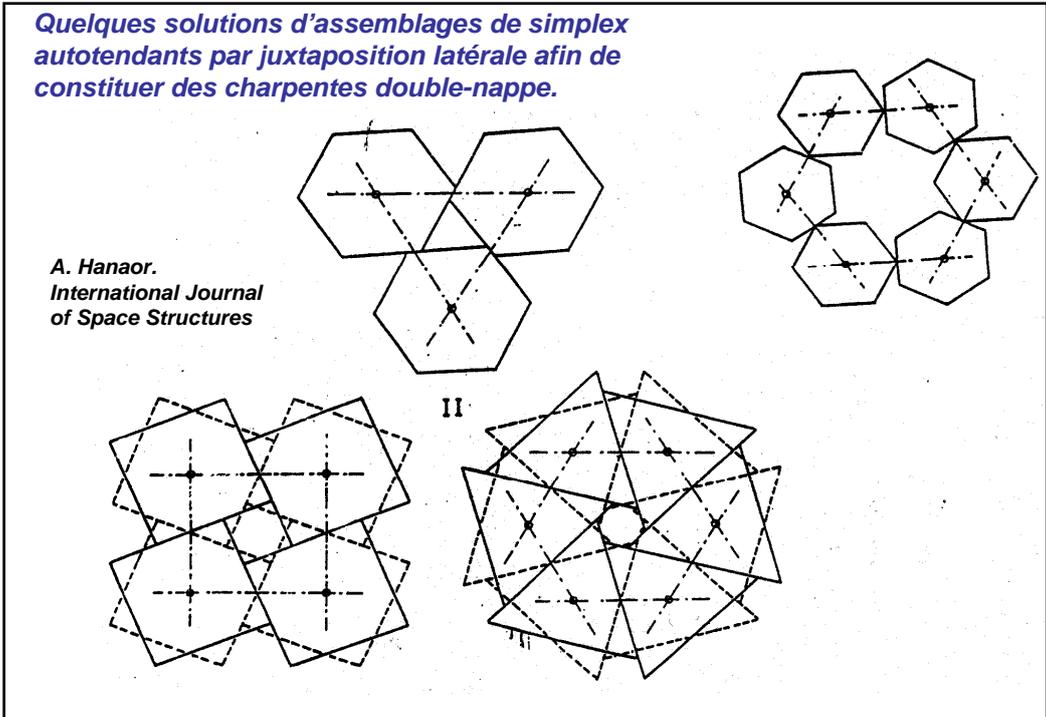
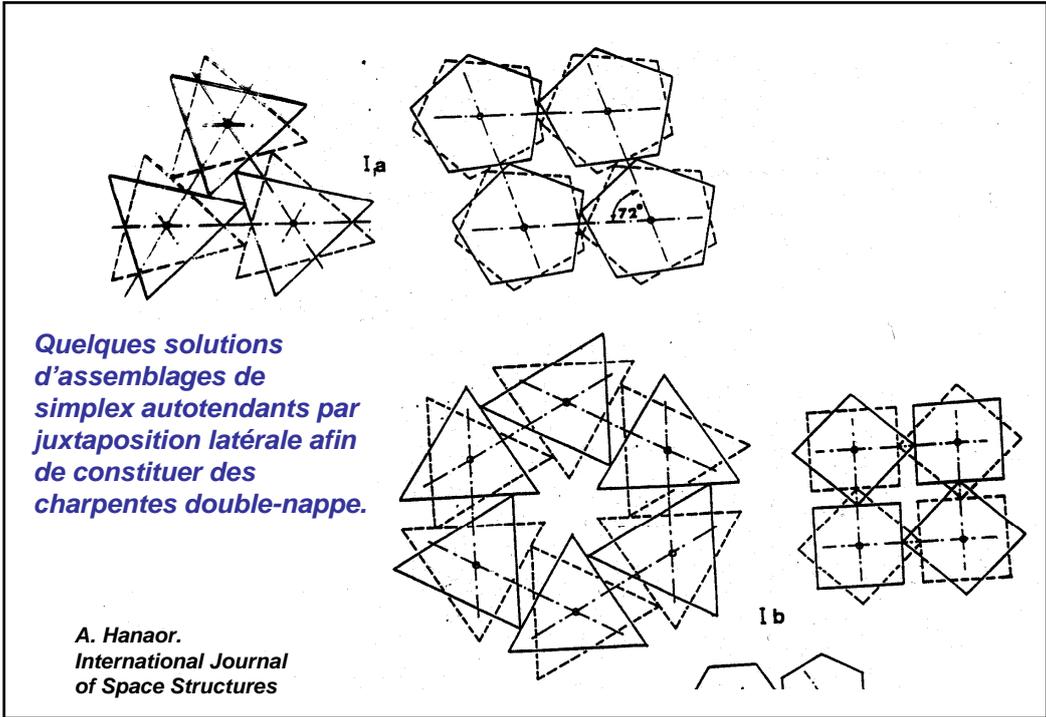
*Les structures sont construites à partir de l'assemblage de simplex par leurs faces latérales. Il existe plusieurs règles d'assemblage possible par simple juxtaposition ou par interpénétration partielle ou totale.*

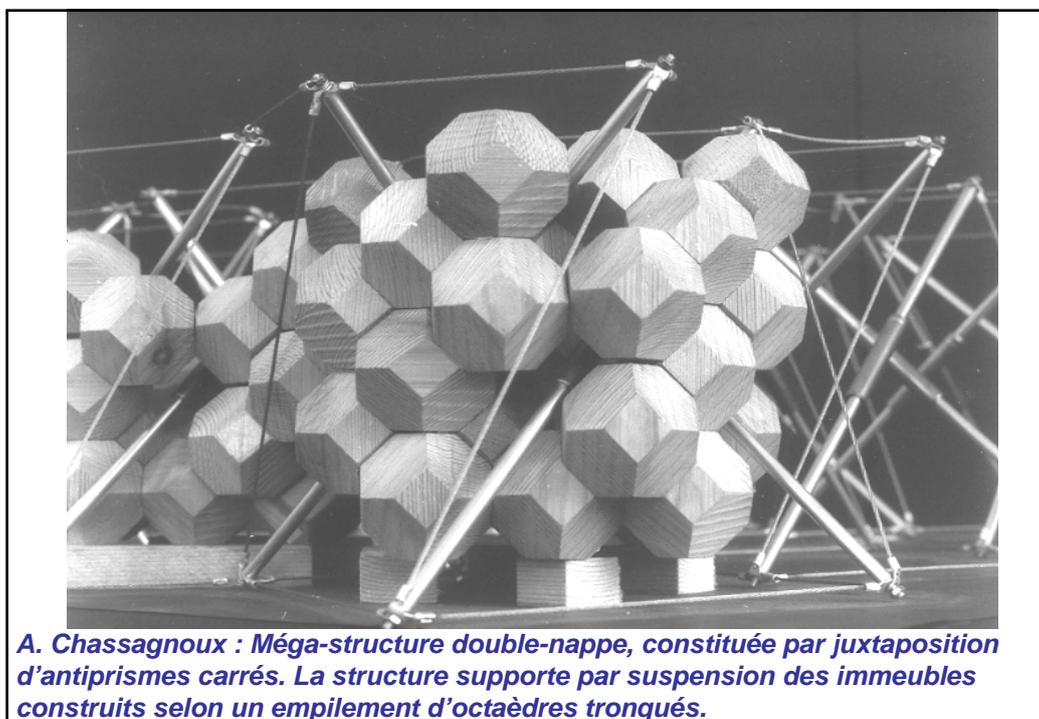
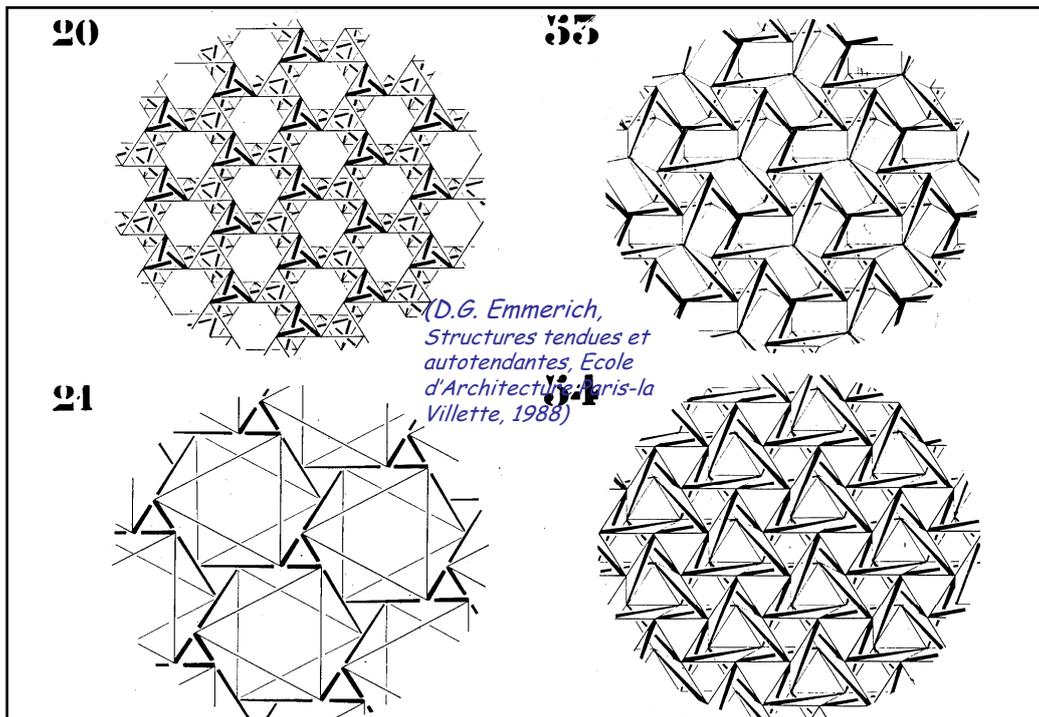
*Selon le simplex utilisé les tessellations seront à symétrie triangulaire, carrée, hexagonale, ... voire pentagonale.*

*Tout comme on peut courber les mâts en faisant varier les longueurs des tirants, on peut courber les double-nappes planaires, dans un seul sens et obtenir des voûtes double-nappe, ou dans les deux sens et obtenir des coupes.*









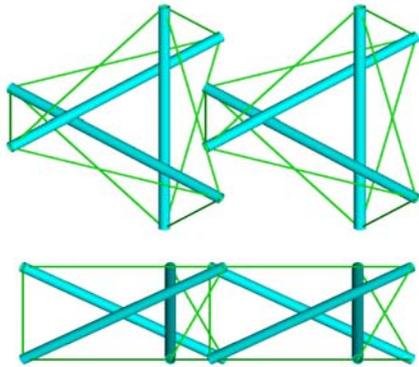


*M. Bertreux, S. Clouet, Avignon : Jardin suspendu dans un parc à Rezé : double-nappe à simplex triangulaires. Câble en acier et barres en châtaigner.*

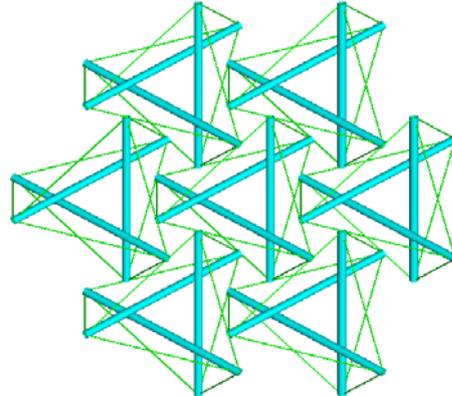


*M. Bertreux, S. Clouet, Avignon : Jardin suspendu dans un parc à Rezé : double-nappe à simplex triangulaires. Câble en acier et barres en châtaigner.*

*Double courbure d'une structure double-nappe plane pour la transformer en coupole (A. Chassagnoux : Shaping of tensegrity structures, I.J.S.S., Delft University, 2000)*

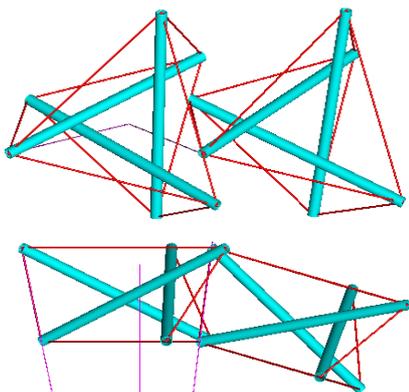


**1. Réseau plan double-nappe autotendant. Assemblage de deux simplex (anti-pyramides triangulaires) par juxtaposition latérale**

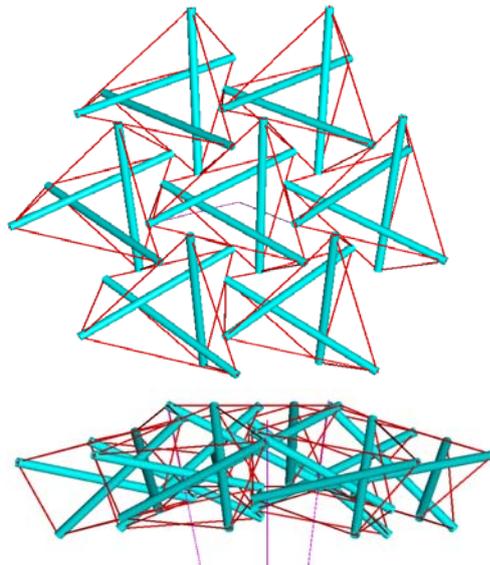


**2. Réseau plan double-nappe autotendant. Composition étoilée, avec sept simplex.**

*(A. Chassagnoux : Shaping of tensegrity structures, I.J.S.S., Delft University, 2000)*



**3. Transformation du simplex, pour courber le réseau double nappe**

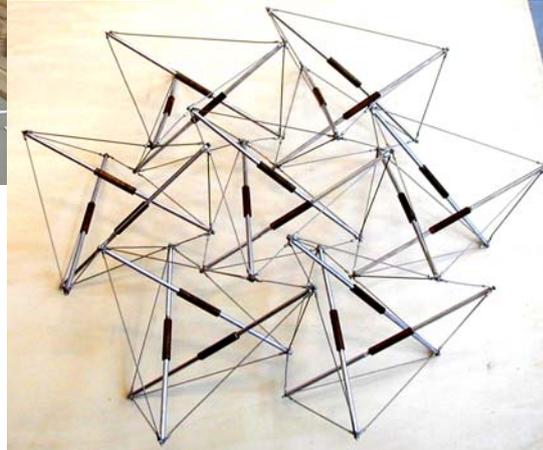


**4. Réseau autotendant double-nappe sphérique. Composition étoilée avec sept simplex, modèle numérique.**

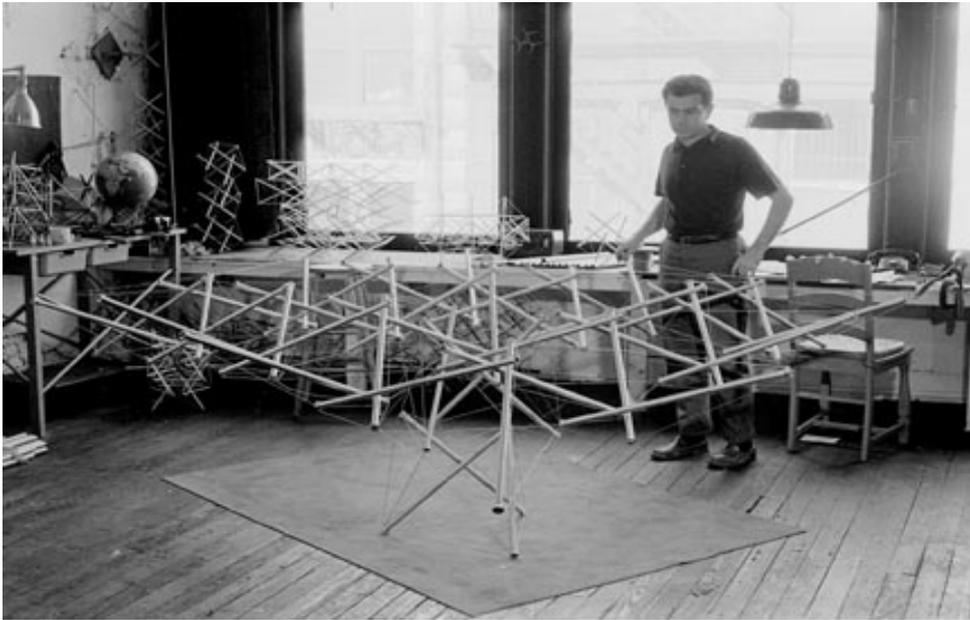


*T.D. de Morphologie à l'Ecole d'Architecture de Nantes. Montage d'une structure avec barres en bois de 2mètres de longueur, à partir d'un modèle d'étude à barres extensibles en aluminium / laiton.*

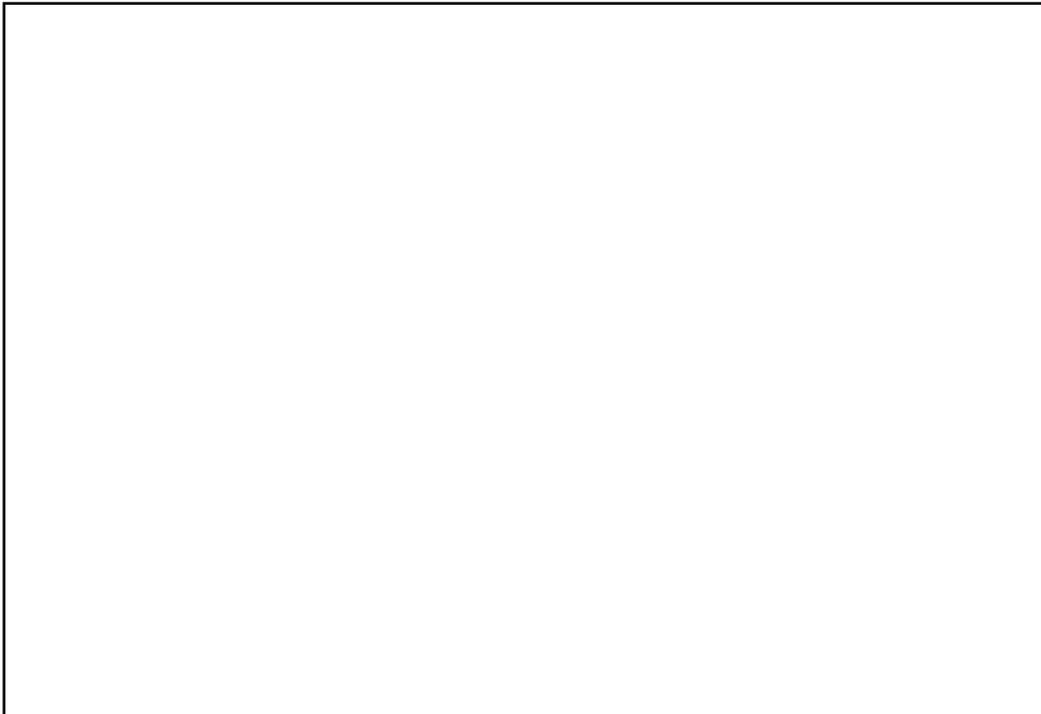
**5. Réseau autotendant double-nappe sphérique. Composition étoilée avec sept simplex, modèle physique**



*T.D. de Morphologie à l'Ecole d'Architecture de Nantes. Montage d'une structure avec barres en bois de 2mètres de longueur, à partir d'un modèle d'étude à barres extensibles en aluminium / laiton, (réseau double-nappe sphérique).*

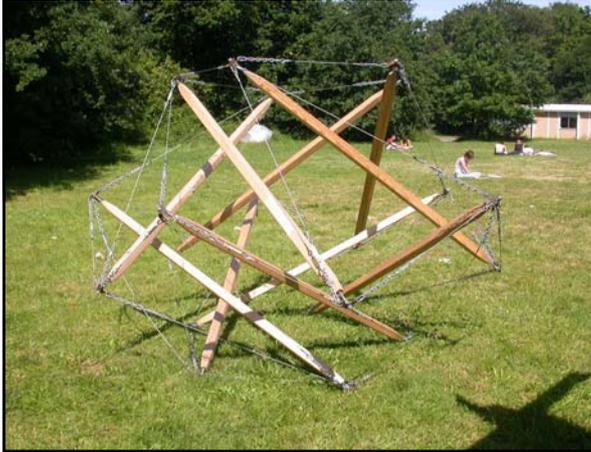


Kenneth Snelson, double planar structure, 148 Spring Street loft, 1961



**LES STRUCTURES AUTOTENDANTES**  
**Ou**  
**STRUCTURES DE TENSÉGRITÉ**

## 4 Les Polyèdres



*Réalisation d'un dodécaèdre autotendant (555) : 10 barres en bois, 40 câbles en acier.  
T.D. de morphologie à l'Ecole d'Architecture de Nantes, 2006*

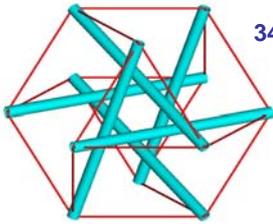
*Les polyèdres autotendants sont des structures autotendantes dont les enveloppes coïncident soit rigoureusement, soit par homéomorphie, à trois polyèdres platoniques : l'octaèdre (il s'agit en fait du simplexe à base triangulaire), l'icosaèdre et le dodécaèdre, et aux treize polyèdres archimédiens. On peut aussi former des polyèdres autotendants selon des polyèdres n'appartenant pas aux corps platoniques et archimédiens.*

*On ne peut pas construire un tétraèdre autotendant, car celui-ci ne possède que 4 sommets, et 2 barres rigides ne peuvent former une structure spatiale. Dans le cas du cube, il faudrait que les 4 barres rigides (correspondant aux 8 sommets) soient concourantes au centre du polyèdre.*

*Quatre polyèdres sont anisotropes : le cuboctaèdre et le pseudo-cuboctaèdre, le dodécaèdre et l'icosidodécaèdre.*

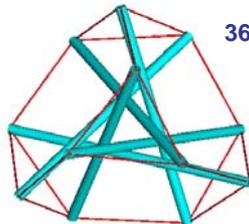
*Les autres sont isotropes, leurs composants sont des simplexes antipyramide (tripodes, tétrapodes, pentapodes), tressés de telle sorte que la petite base polygonale correspond à une face du polyèdre, et que chaque barre rigide appartient à deux simplexes.*

Morphologie de trois polyèdres autotendants ayant 12 nœuds et 6 barres rigides



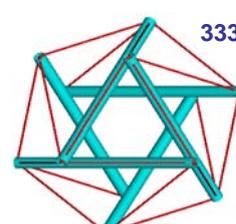
3434

**Le Cuboctaèdre**  
12 nœuds  
6 barres rigides  
18 câbles  
3 câbles / nœud



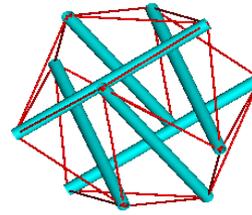
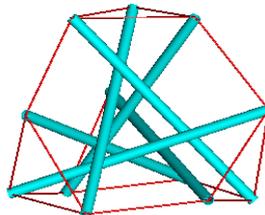
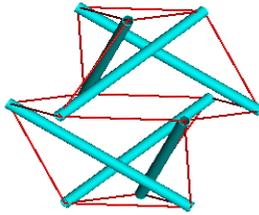
366

**Le Tétraèdre tronqué**  
12 nœuds  
6 barres rigides  
18 câbles  
3 câbles / nœud



33333

**L'Icosaèdre**  
12 nœuds  
6 barres rigides  
24 câbles  
4 câbles / nœud



(A. Chassignoux : Shaping of tensegrity structures, I.J.S.S., Delft University, 2000)

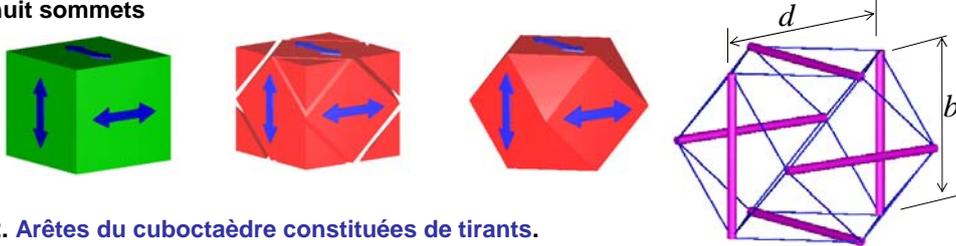


**Le Cuboctaèdre autotendant**

A. Chassignoux : deux modèles identiques, posés au sol de deux façons différentes

## Mise en forme de l'icosaèdre autotendant

1. Parahémiédrie du cube, puis transformation en cuboctaèdre par troncature des huit sommets

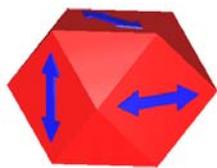


2. Arêtes du cuboctaèdre constituées de tirants.

Mise en place de barres extensibles, selon les diagonales des carrés, dans les directions de parahémiédrie. La structure n'est pas stable.  $d/b=1$



3. L'extension des barres provoque la pliure des faces carré du cuboctaèdre qui se transforment en deux triangles, soit des volumes à 20 faces. Le position ultime est atteinte lorsque les plis se referment, il n'y a plus que 8 triangles: un octaèdre



\*Si  $d/b=1$  :  
cuboctaèdre



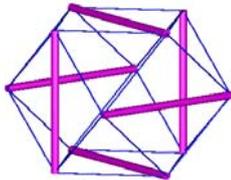
\*Si  $d/b=1/\phi$  :  
icosaèdre régulier



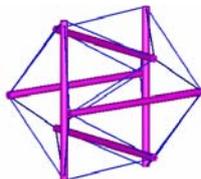
Si  $d/b=\sqrt{2}/\sqrt{3}$  :  
octaèdre tronqué



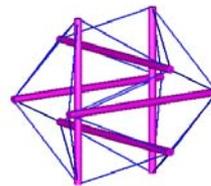
\*Si  $d/b=0$  : octaèdre



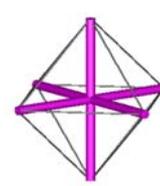
Structure instable;



Structure instable



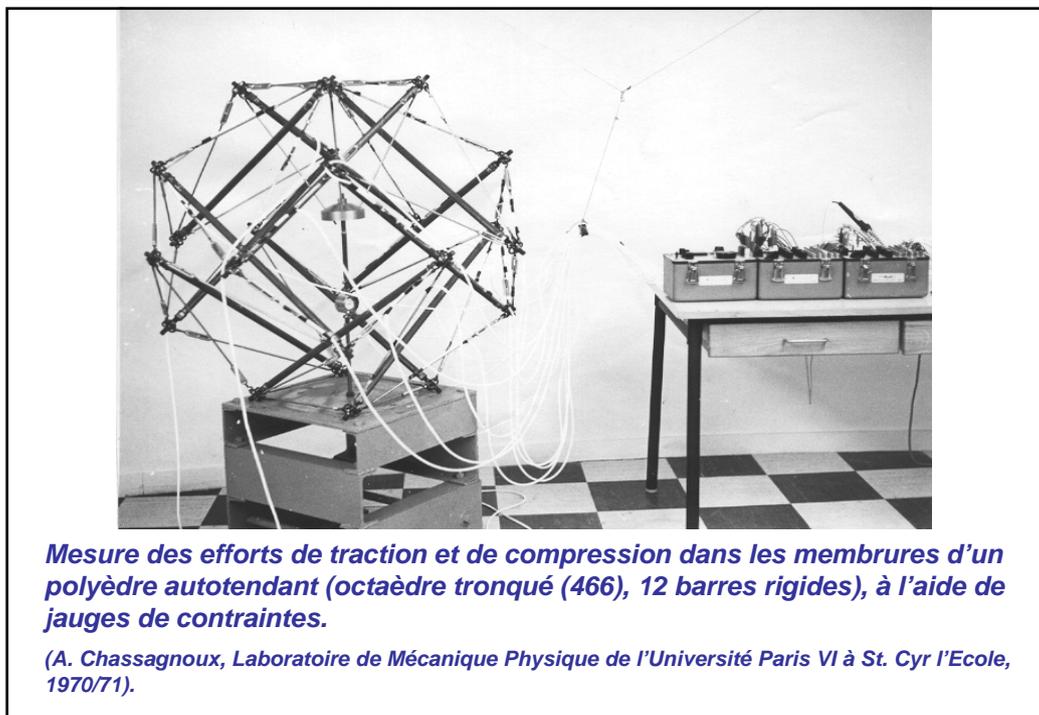
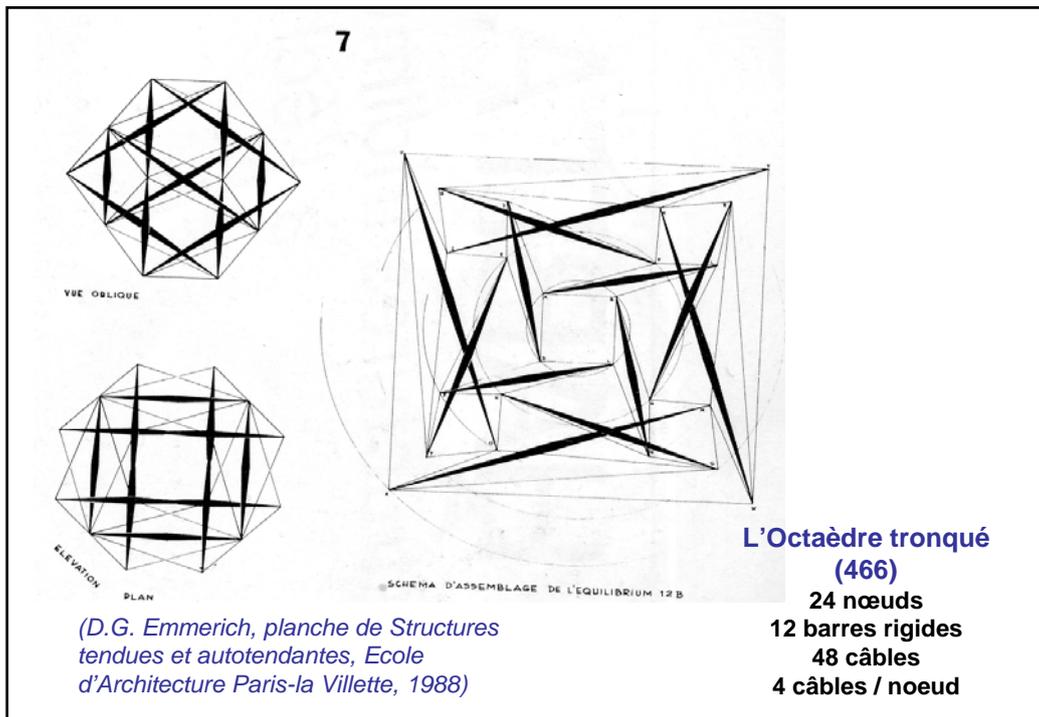
Structure stable

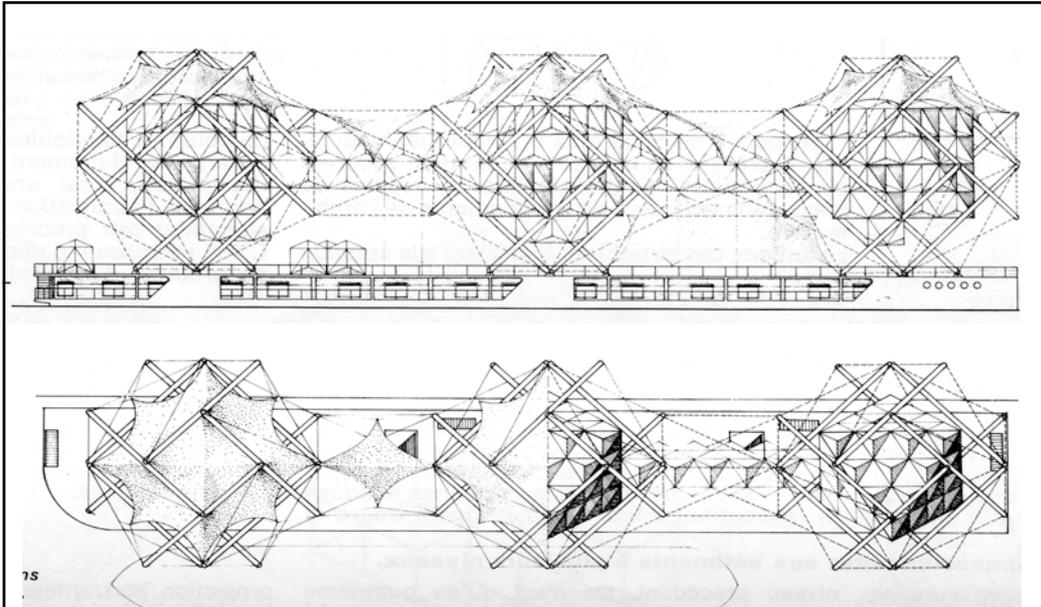


Impossible

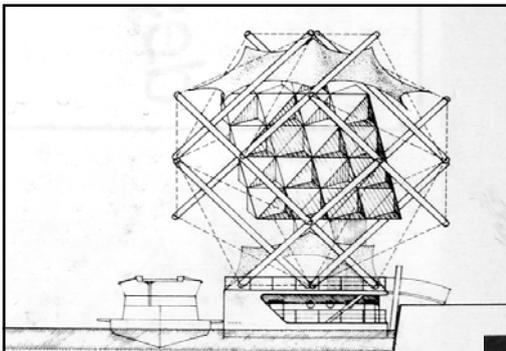


A. Chassagnoux.

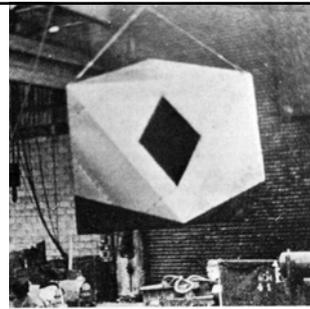




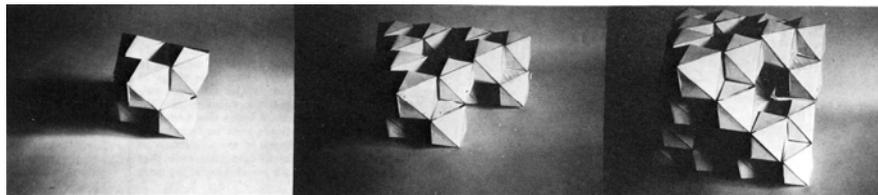
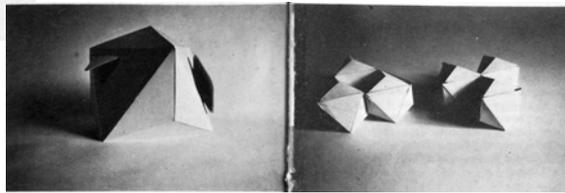
**D.G. Emmerich. Projet d'hôtel flottant, ponton des bateaux-mouches, pont de l'Alma, Paris, 1970, constitué de trois octaèdres tronqués. (Techniques & Architecture N°309, Mai 1976, p. 108/109)**

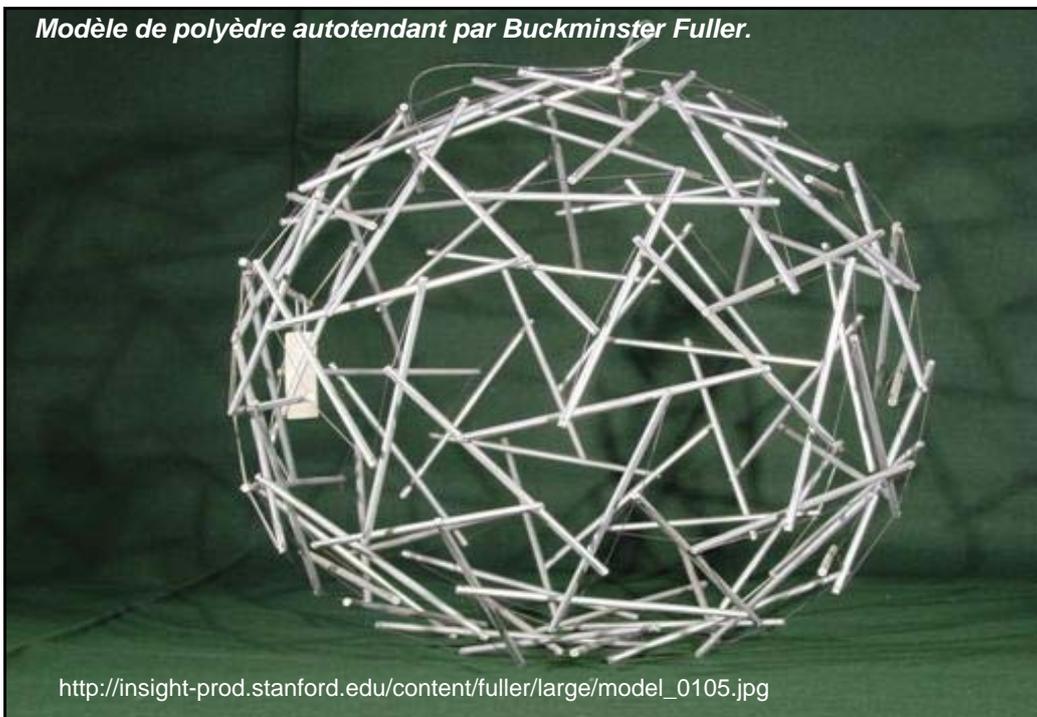
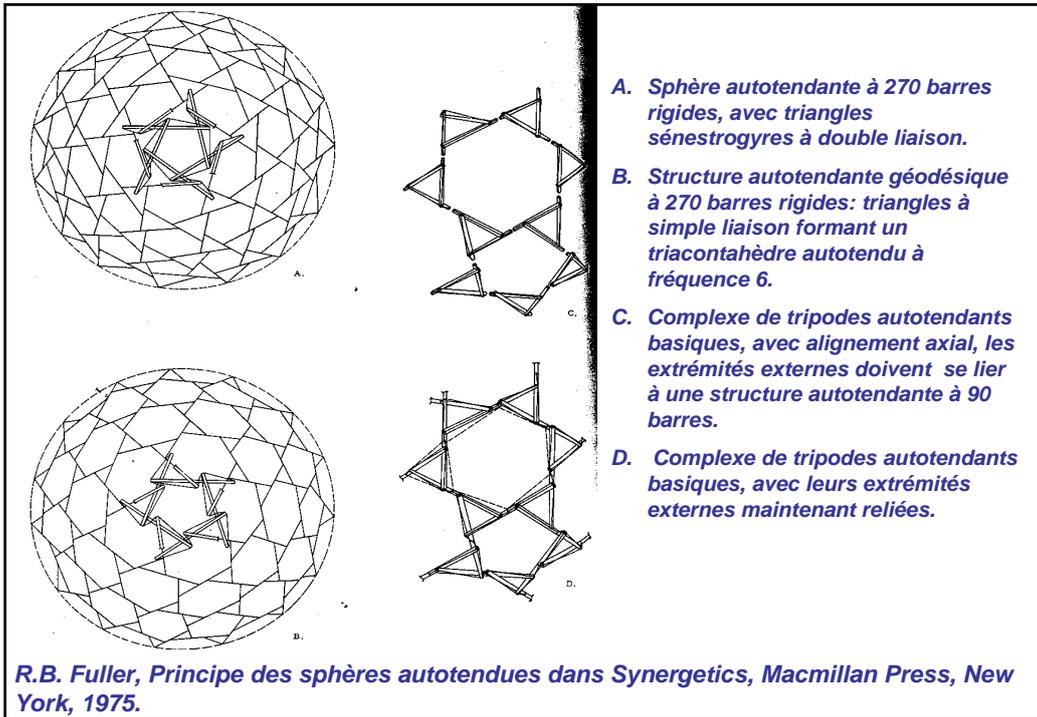


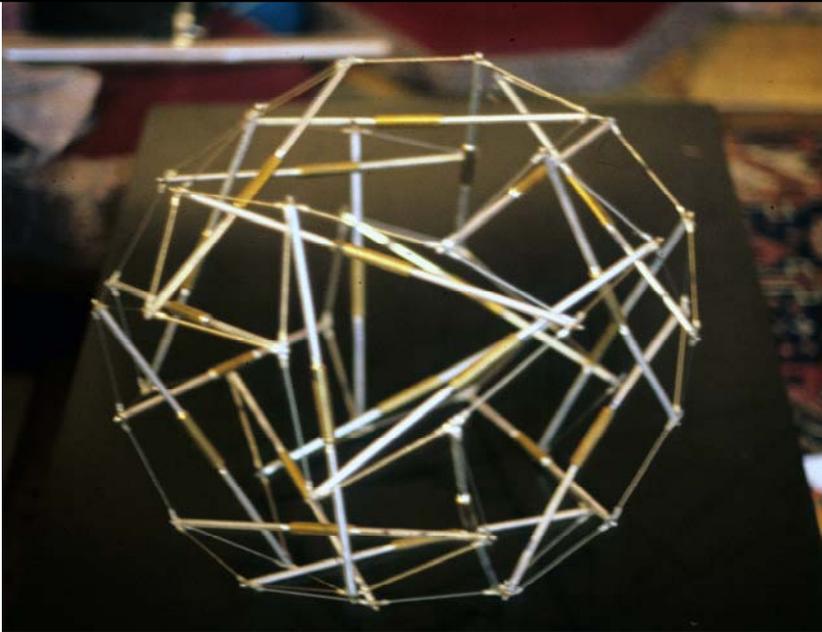
**Les chambres sont constituées par empilement compact de tétraèdres à faces pyramidées. Chaque pyramide étant 1/4 de tétraèdre.**



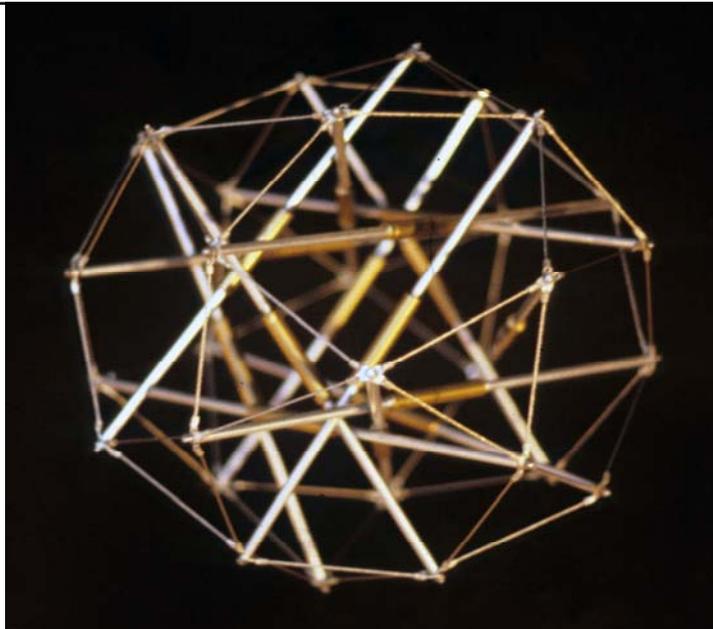
**D.G. Emmerich. Projet d'hôtel flottant, ponton des bateaux-mouches, pont de l'Alma, Paris, 1970. (Techniques & Architecture N°309, Mai 1976, p. 108/109)**







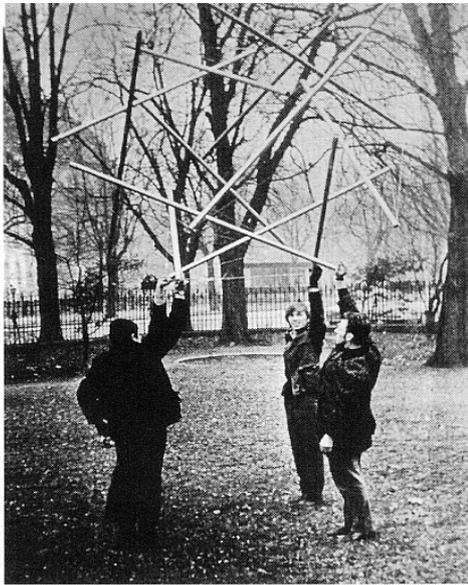
**Grand Rhombicuboctaèdre (468)** 48 nœuds 24 barres rigides 72 câbles 3 câbles / nœud. A. chassagnoux, laboratoire de morphologie de l'ENSAN.



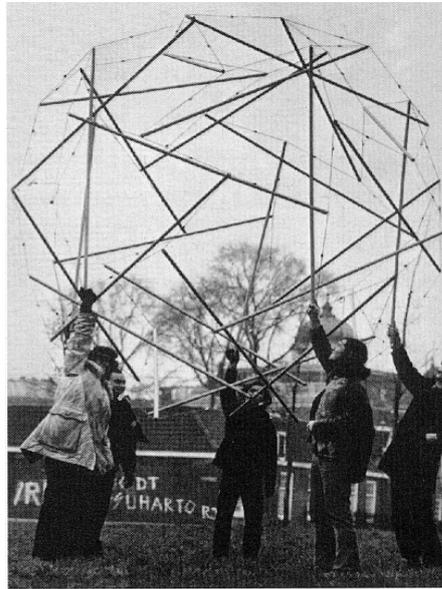
**icosidodécaèdre (3535)** 30 nœuds 15 barres rigides 60 câbles 4 câbles / nœud. A. chassagnoux, laboratoire de morphologie de l'ENSAN.



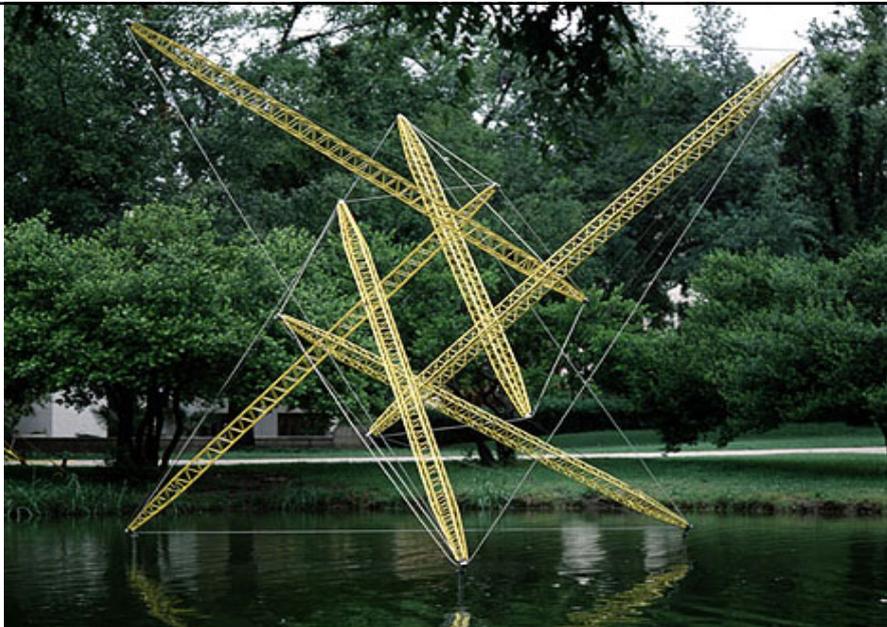
**D.G. Emmerich :**



**Cube adouci (33334), séminaire à l'Ecole des Beaux-Arts de Strasbourg et à l'ENSAIS, 1967**



**icosaèdre tronqué (566) autotendant, séminaire à Amsterdam**



**Kenneth Snelson : Northwood, 1969, painted steel & stainless steel, 15 x 15 x 20 feet, 4.6 x 4.6 x 6m, Collection: Northwood Institute, Cedar Hills, TX**



Modèle de table. Le pied est composé de deux simplex anti-pyramide à base triangulaire assemblé par interpénétration partielle (l'hexagone de liaison est gauche), chaque barre rigide se poursuit au-delà du nœud de fixation des tirants.  
([rich@koeniqdesign.com](mailto:rich@koeniqdesign.com))

## **LES STRUCTURES AUTOTENDANTES**

*Ou*

## **STRUCTURES DE TENSÉGRITÉ**

### **5 Les Hyper - polyèdres**



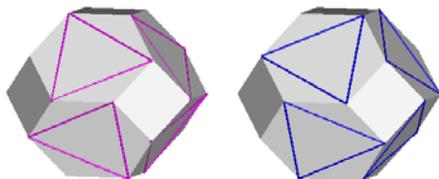
*Réalisation d'un hyper-tétraèdre tronqué autotendant (366) : 12 barres en bois, 48 câbles en acier.*

*T.D. de morphologie à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes.*

*Dans les polyèdres autotendants vus au chapitre précédent, les barres rigides traversaient le volume enveloppe du polyèdre platonique ou archimédien, laissant peu d'espace libre.*

*Le principe des hyper - polyèdres autotendants (inventés par D.G. Emmerich) consiste à réaliser un tressage de simplex antiprismes autotendants par l'extérieur du polyèdre archimédien, laissant l'ensemble de l'espace interne libre de toute membrure.*

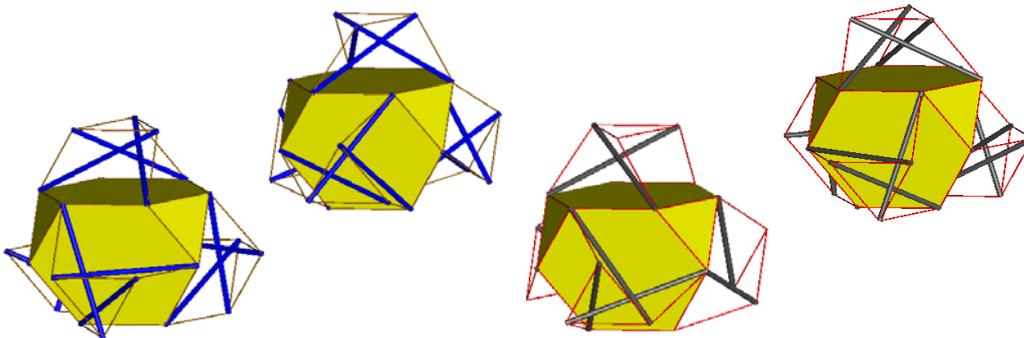
*Seuls les polyèdres archimédiens sont utilisables, car le procédé de construction nécessite de positionner des simplex tripodes, tétrapodes ou pentapodes, sur les faces du polyèdre en utilisant qu'un sommet sur deux de ces faces. Il faut donc que le polyèdre possède obligatoirement des faces hexagonales, octogonales ou décagonales, ce qui n'est pas le cas des polyèdres platoniques.*



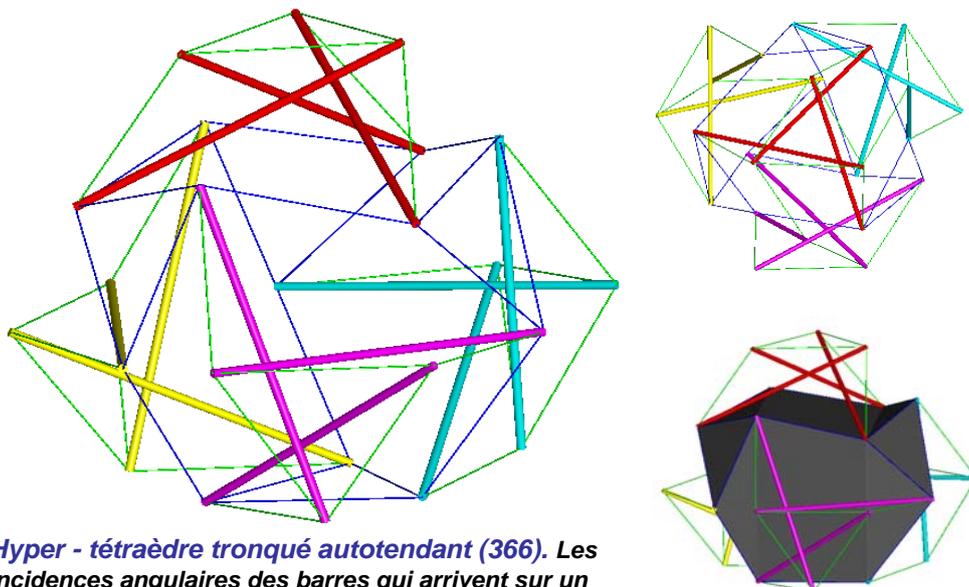
*Exemple du positionnement de la base des simplex antiprismes tripodes sur les faces hexagonales de l'octaèdre tronqué (466), dextrogyre et sénestrogyre*

*Le positionnement des bases de simplex antiprismes sur les faces du polyèdre archimédien produit une re-segmentation rotatoire du solide archimédien servant d'espace de support. La position des simplex par rapport au polyèdre peut être sénestrogyre ou dextrogyre, indépendamment du fait que les simplex eux-mêmes sont dextrogyres ou sénestrogyre.*

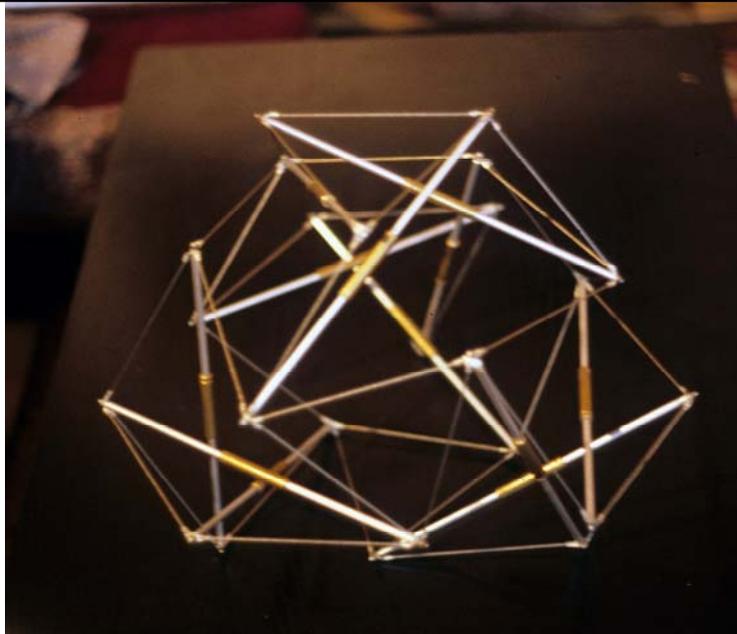
*Pour chaque polyèdres il existe donc quatre constructions possibles.*



*Allomorphies de l'hyper-tétraèdre tronqué autotendant*



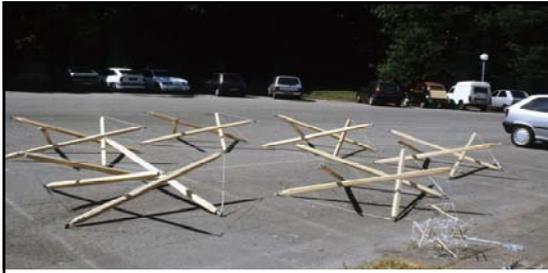
*Hyper - tétraèdre tronqué autotendant (366). Les incidences angulaires des barres qui arrivent sur un même hexagone étant deux à deux inverses, la mise en autocontrainte ne peut se faire que par un gauchissement des faces polygonales*



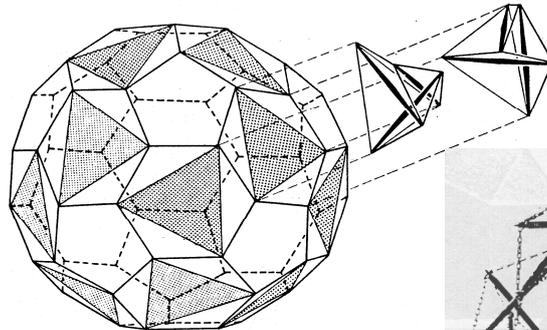
**Hyper – tétraèdre tronqué (366)** 24 nœuds 12 barres rigides 48 câbles 3 ou 4 câbles / nœud. A. chassagnoux, laboratoire de morphologie de l'ENSAN.



**T.D. de Morphologie à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes. Montage d'un hyper – tétraèdre tronqué autotendant.**



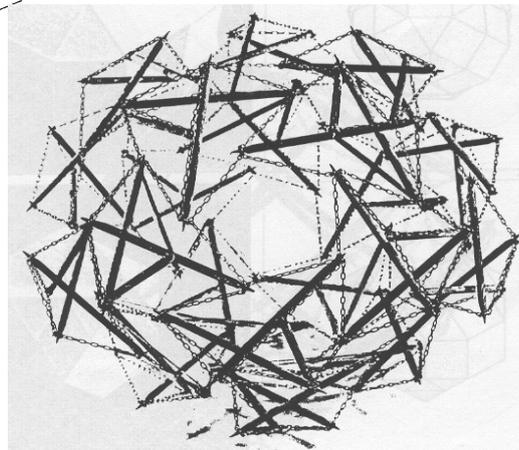
**T.D. de Morphologie à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes. Montage d'un hyper – cube tronqué autotendant.**



*Les deux positions possibles des simplex sur les faces hexagonales de l'icosaèdre tronqué*

**L'Icosaèdre tronqué autotendant  
(566)  
60 nœuds, 30 barres rigides**

*(D.G. Emmerich, planche de Structures tendues et autotendantes, Ecole d'Architecture Paris-la Villette, 1988, page 343)*



*Modèle physique en tiges de bois et chaînettes, collection du FRAC Centre.*

**LES STRUCTURES AUTOTENDANTES**

*Ou*

**STRUCTURES DE TENSÉGRITÉ**

## 6 Les Réseaux

*D.G. Emmerich. Réseau autotendant composé par l'assemblage de 10 modules icosaèdres (6 barres rigides).*

*Modèle exposé lors du congrès de l'U.I.A. devant le Palais de la Culture de Varsovie (Pologne), 1983.*



***Avec les types d'assemblages vus ci-dessus, on peut déjà réaliser une infinité de variétés de structures correspondant à des segmentations régulières :***

***du plan : doubles – nappes, voûtes, calottes sphériques;***

***du cylindre : mâts, tores;***

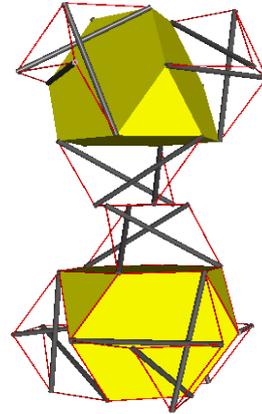
***de la sphère : polyèdres, hyper - polyèdres.***

***En utilisant chacune de ces structures comme simplex, assemblés entre eux à une échelle supérieure, on peut réaliser des réseaux spatiaux autotendants, se développant à l'infini dans l'espace à trois dimensions.***

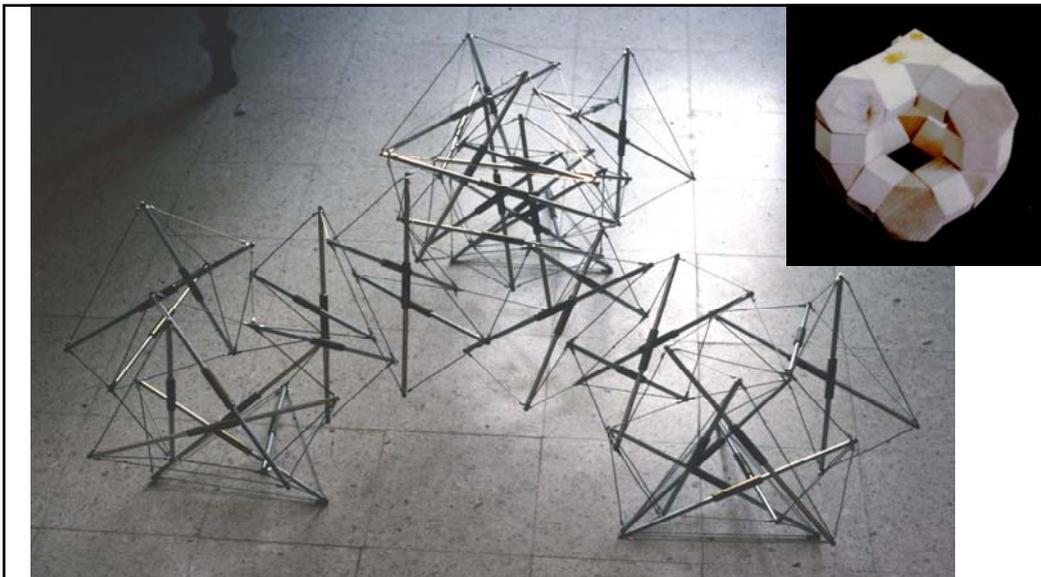
***Exemple : Des polyèdres autotendants peuvent être les nœuds d'un réseau dont les arêtes sont des mâts autotendants.***

***Exemple :***



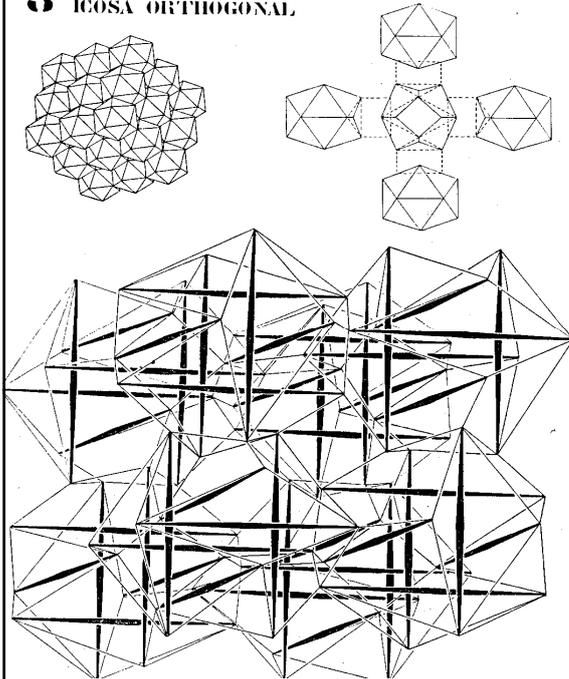


*Assemblage de deux hyper-tétraèdres tronqués par un polygone hexagonal. On peut effectuer les mêmes liaisons à partir des trois autres triangles externes des deux hyper polyèdres. ENSAN, labo de morphologie.*



*Modèle d'un réseau cubique centré, composé de 4 hyper - tétraèdres tronqués autotendants, pouvant se développer selon l'empilement lâche de polyèdres en bois ci-dessus. A. Chassignoux, Laboratoire de Morphologie de l'Ecole Nat. Supérieure d'Architecture de Nantes.*

**S** ICOSA ORTHOGONAL



Principe d'assemblage du réseau icosaèdre orthogonal, constitués d'icosaèdres liés par des quadrilatères gauches se substituant à deux arêtes orthogonales appartenant chacune à un icosaèdre voisin.

*(D.G. Emmerich, planche de Structures tendues et autotendantes, Ecole d'Architecture Paris-la Villette, 1988, page 382)*



*Assemblage de 2 mailles du réseau « icoso orthogonal ». Laboratoire de Morphologie de l'E.N.S.A.N., 1992.*



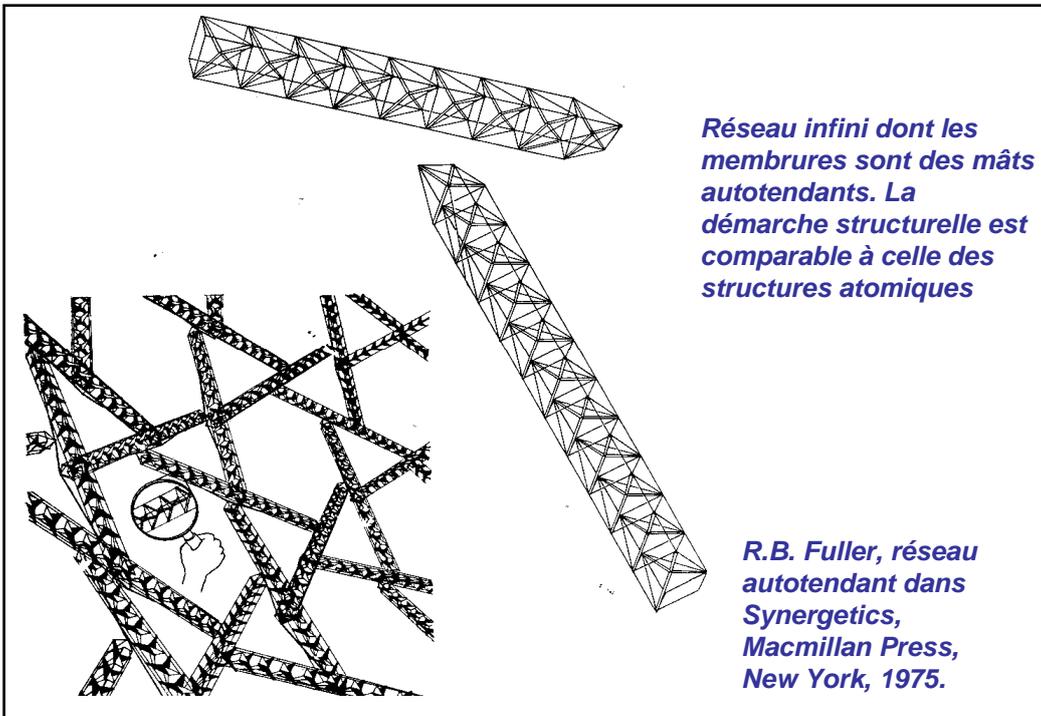
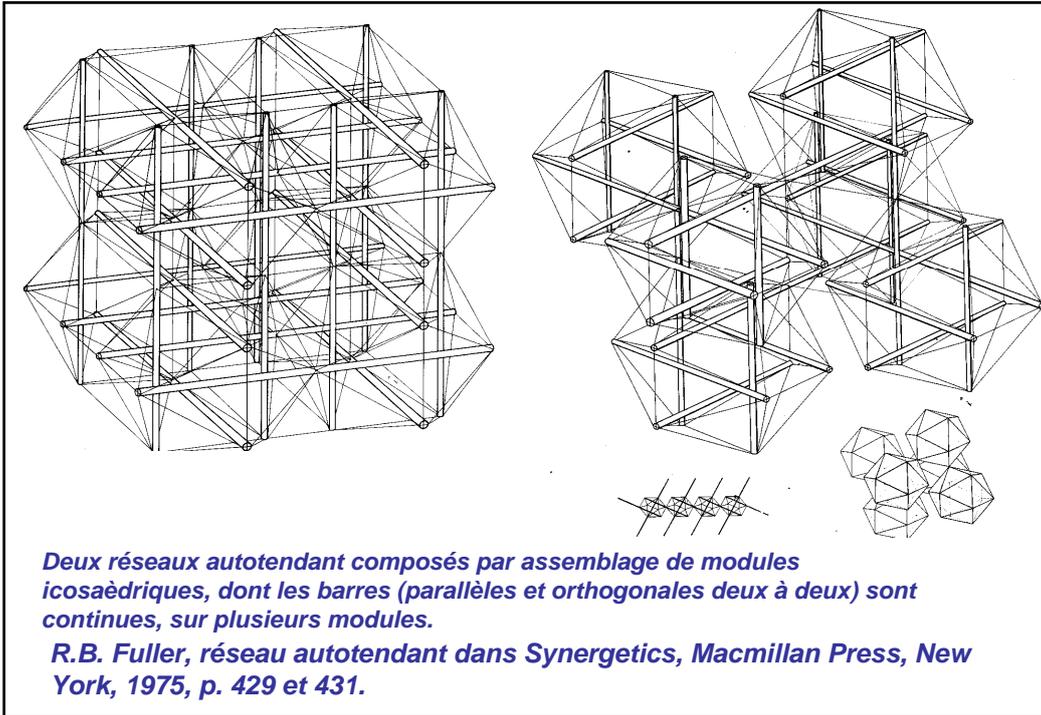
*Assemblage de 4 mailles du réseau « icsa orthogonal », soit 4 icosaèdres (24 barres).*

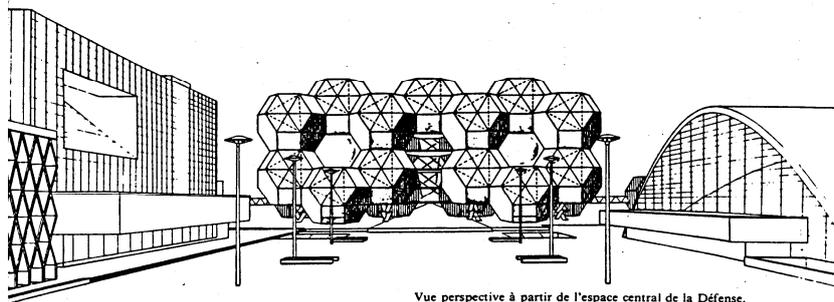
*Laboratoire de Morphologie de l'Ecole Nat. Supérieure d'Architecture de Nantes, 1992.*



*Réseau « icsa orthogonal », constitué de 4 icosaèdres autotendus (24 barres).*

*Laboratoire de Morphologie de l'Ecole Nat. Supérieure d'Architecture de Nantes.*





Vue perspective à partir de l'espace central de la Défense.

**D.G. Emmerich. Concours international pour le ministère de l'équipement, « Tête Défense » à Paris.**

**Réseau autotendant composé par l'assemblage de modules icosaédres (6 barres rigides).**

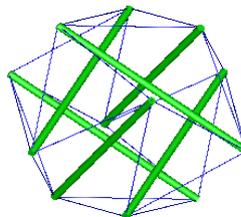
**Modèle exposé lors du congrès de l'U.I.A., prototype pour le concours « Tête Défense », devant le Palais de la Culture de Varsovie (Pologne), 1983.**



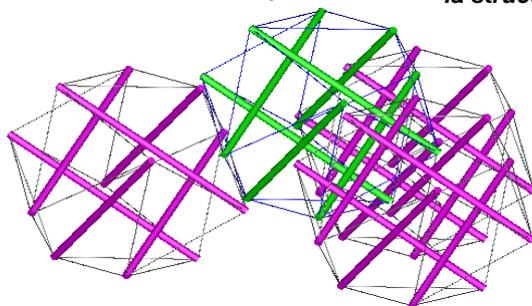
**Principe de montage du modèle ci-dessus exposé à Varsovie, fabriqué à l'E.A. Paris-la Villette, et monté sans échelle ni palan (environ 6m. de hauteur).**

**Chaque module est pré-monté en gerbe et déployé in situ**

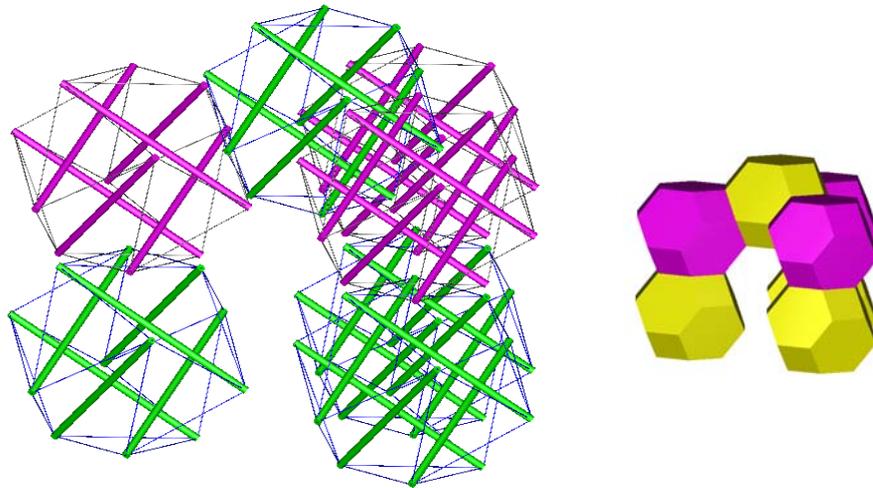
**(Dessins A. Chassagnoux pour le FRAC Centre à Orléans).**



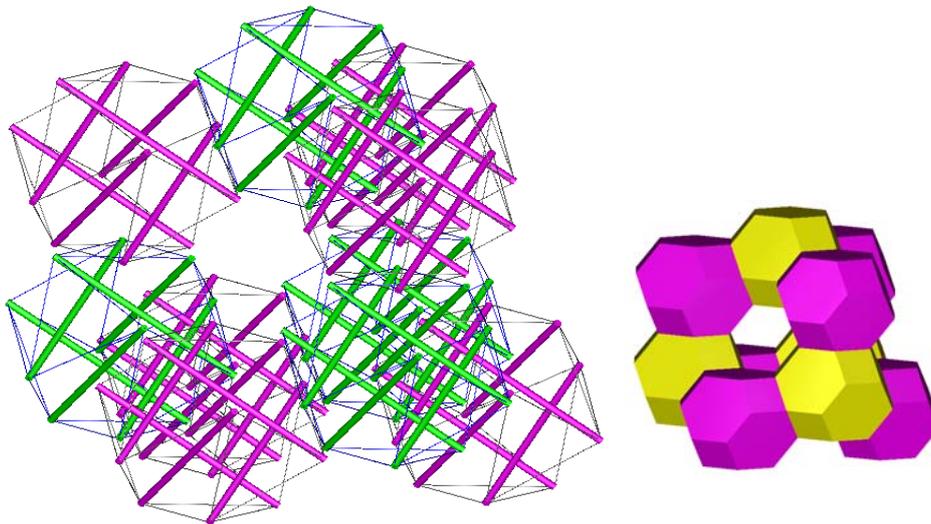
**1. Montage du premier module, sommet de la structure, placé sur des tabourets.**



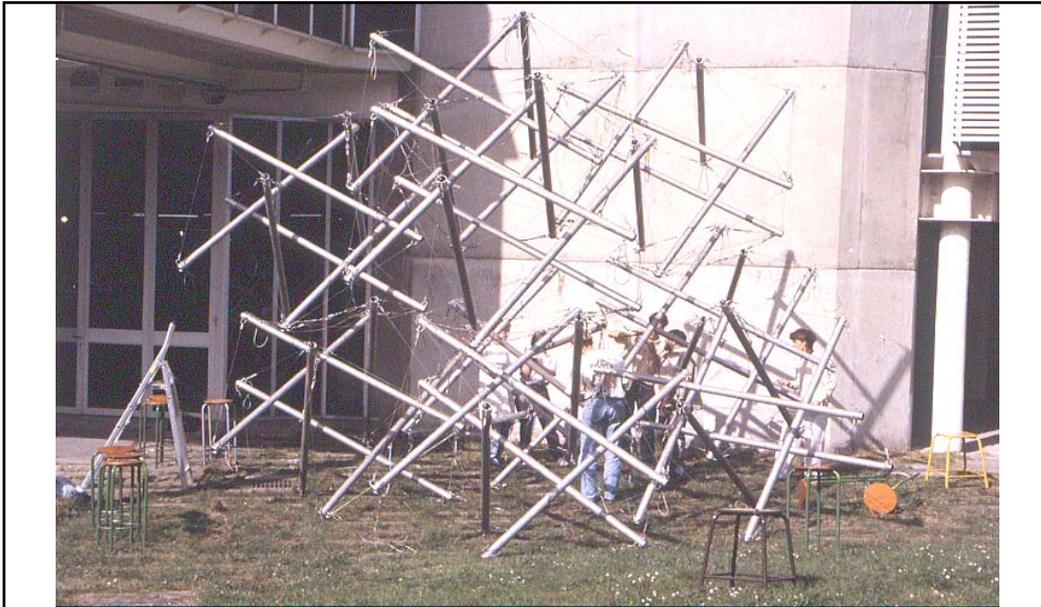
**2. Montage des 3 modules du 2ème rang, de telle sorte que les 4 modules forment une pyramide.**



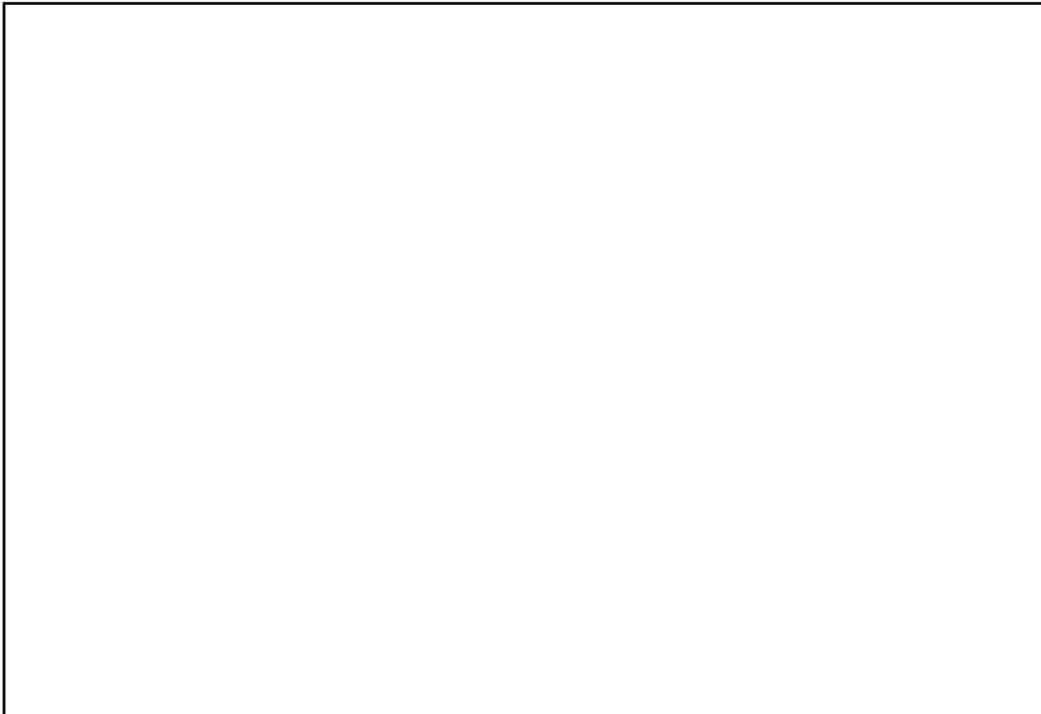
**3. Montage des 3 modules du 3ème rang, sous les 3 modules du 2ème rang. Environ 5 à 6 personnes soulèvent la structure constituée par les 4 premiers modules, pendant que quelques autres personnes glissent les trois nouveaux modules sous la structure. Après fixation, l'ensemble est à nouveau soulevé et placé sur 9 tabourets.**



**4. Montage des 3 derniers modules du 4ème rang, entre et sous les 3 modules du 3ème rang.**



*Montage de la structure décrite ci-dessus lors d'un workshop à l'ENSAN, labo de morphologie. Structure autotendante composée de 10 icosaèdres à barres en tubes d'aluminium, et câbles en acier.*



**LES STRUCTURES AUTOTENDANTES ou  
STRUCTURES DE TENSÉGRITÉ**

**BIBLIOGRAPHIE**

(succincte)

**M.A. Brayer** Editeur *David Georges Emmerich*. Collection du FRAC Centre, HYX, Orléans, 1997.

**A. Chassagnoux, A. Chomarat, J. Savel**, *Etude des caractéristiques morphologiques particulières aux structures autotendantes*, Actes du séminaire international sur la morphologie structurale, Edit R. Motro, T. Wester, E.A. Languedoc-Roussillon et Université de Montpellier, 1992.

**A. Chassagnoux**, *Shaping of tensegrity structures*, in International Journal of Space Structures, 2000

**D.G. Emmerich** : *Structures tendues et autotendantes*, monographie de géométrie constructive, Ecole d'Architecture de Paris-la Villette, 1988.

**D.G. Emmerich**, *Soft Architecture, essai sur l'autoconstruction*, Institut de l'Environnement, Paris, 1974.

**R.B. Fuller**, *Synergetics*, Macmillan Press, New York, 1975.

**A. Hanaor**, *Aspects of design of double layer tensegrity domes*, in International Journal of Space Structures, Vol. 7, N°2, 1992

**A. Hanaor**, *Tensegrity Theory and application*, Gabriel J.F. editor, Beyond the Cube, John Wiley and sons Inc., New York, 1998

**R. Motro**, *Etude morphologique de systèmes nécessitant une recherche de forme*, Annales de l'I.T.B.T.P., N°517, 1993.

**R. Motro**, *Tensegrity Structural Systems for the Future*, Edit. HPS, Kogan Page Science, 2003

**A. Pugh**, *an Introduction to Tensegrity*, Berkeley, California University Press, 1976

**R. Quirant**, *Recherche de forme pour les systèmes de tenségrité*. Actes du séminaire Systèmes de tenségrité 4/12/1997. Edition de l'Espérou, 1998.

<http://www.bfi.org/node/556>

[http://www.ferma.pl/mit/KONFERENCEJE/LSCE\\_2002/](http://www.ferma.pl/mit/KONFERENCEJE/LSCE_2002/)

<http://biotensegrity>

[http://www.tensegridad.es/Galeria\\_de\\_imagenes.htm](http://www.tensegridad.es/Galeria_de_imagenes.htm)

<http://www.lmqc.univ-montp2.fr/CS/RECHE/pliage.html>

<http://www.kennethnelson.net/icons/struc.htm>