

Université de Tlemcen
Faculté de technologie
Département d'architecture

LES STRUCTURES LEGERES

Matière: Structures

Parcours: Master Architecture

Pr Mohammed Nabil Ouissi
ouissi_n@yahoo.fr

- **HISTORIQUE:**

Qui dit construction classique, dit des tonnes de matériaux qu'il faut transporter et façonner pour les mettre en place. D'où les problèmes de coût, de stockage et surtout de recyclage en cas de démolition. De là, viens l'idée de construire son ouvrage en utilisant des structures faciles à réaliser, légères et surtout recyclables.

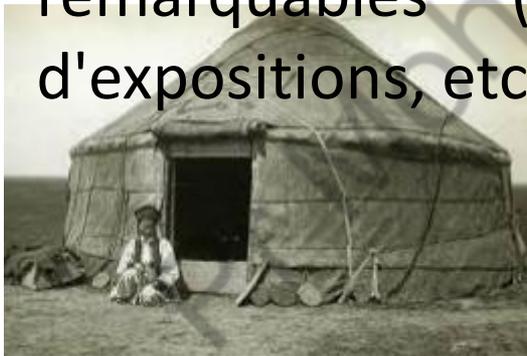
Les premières structures légères furent bien sûr les tentes, difficiles à monter et présentant certains inconvénients en terme d'humidité, résistance, espaces, etc.



- **HISTORIQUE:**

Certains auto-constructeurs parviennent tout de même à concilier la légèreté avec la solidité requise pour une habitation. Ils se tournent généralement vers des solutions éprouvées telles que tipis ou yourtes, ou pour certains plus audacieux vers les dômes géodésiques.

- Malheureusement, le confort et la résistance souhaités ne sont pas encore atteints. Mais en persévérant, d'évolution en évolution, d'innovation en innovation, on est passé des tentes aux réalisations remarquables (aérogares, salles de sports, halls d'expositions, etc.,



- **DÉFINITION:**

Une structure légère est comme son nom l'indique une structure dont le poids est relativement faible par rapport à une structure classique. Les éléments la constituant ne travaillent qu'à la compression et la traction.

On peut citer comme types les systèmes réticulés, les membranes textiles, les réseaux de câbles, les systèmes en état de tenségrité, etc.

Tensegrity = tension + integrity

Islands of compression
floating in a balanced sea of tension



Membrane textile



Réseaux de câbles

- **Coques en treillis**

Le principe de la coque en treillis vient de la première construction de ce type, à savoir la yourte. En effet, cette construction qui est autoportante n'a besoin ni d'être ancrée, ni de mât central.

Elle est autoportante grâce au fait qu'elle soit constituée de nombreux petits éléments reliés entre eux sous forme de treillis. Ce dernier est ensuite courbé pour former la coque.



- **Principe des coques en treillis :**

Déformer un treillis pour former un cylindre est possible. Mais en revanche, le déformer pour qu'il épouse une forme à double courbure n'est pas évident. D'où les étapes à suivre:

- On commence comme pour le mur d'une yourte par assembler à plat sur le sol sans sérer de longues lattes selon un maillage généralement carré mais qui peut être aussi triangulaire ou hexagonal
- Par une combinaison de poussées et de tractions, on déforme la trame plane en une surface à double courbure
- Une fois la forme finale atteinte, on assure la jonction avec le sol et on sert bien tous les boulons. On obtient au bout du compte une structure extrêmement résistante par effet de coque.

Exemples de coques en treillis :

Mannheim Multihalle

Construite en 1975. 7400 m² couverts, une longueur maximale de 160 m, une largeur maximale de 115 m, une portée maximale de 85 m, une hauteur maximale de 20 m pour un poids de seulement 14 kg/m². La structure est constituée d'un double réseau de longue lattes de bois de 5x5 cm et le tout est recouvert d'une membrane transparente en polyester.



Exemples de coques en treillis :

Downland

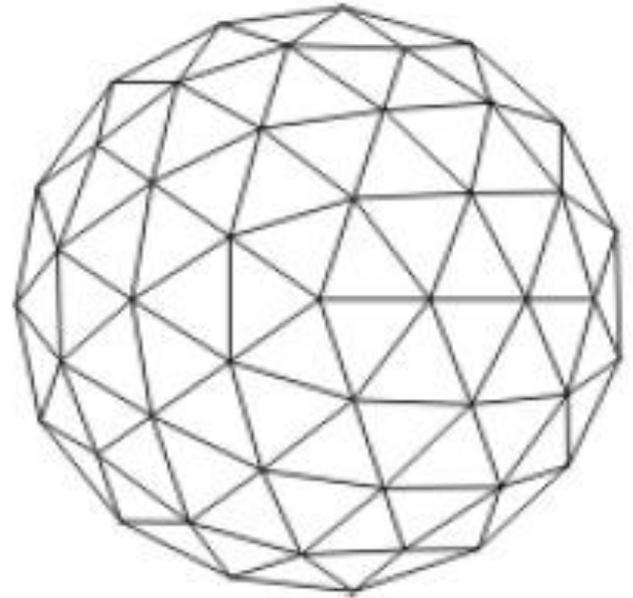
Avec ses 48 m de long, ses 16 m de largeur maximale, et ses 11 m de hauteur, la structure pèse seulement 6 tonnes. Elle est constituée de 6000 m de lattes en chêne de 5x3,5 cm assemblées en un double réseau superposé à mailles carrées de 1 m qui au sol forme approximativement un rectangle de 30 m sur 52.



- **Dômes géodésiques**

Si par contre on utilise des éléments plus courts et plus rigides, donc impossible à utiliser pour les treillis, on peut réaliser des dômes géodésiques consistant en la triangulation de la surface par des modules triangulaires répétitifs.

De telles constructions ont commencé à voir le jour à partir du début du 20ème siècle. L'innovation résidait dans le type de connexion entre les éléments.



Exemples de dômes géodésiques: Biosphère Montréal 1967

Sphère légère et transparente de 80m de diamètre (équivalente à un bâtiment de 20 étages) à l'intérieur de laquelle se trouve un bâtiment de six étages.

Structure de 600 tonnes seulement en deux couches espacées de 1m. Les éléments utilisés sont des tubes d'acier de 9 cm de diamètre soudés entre eux



Exemples de dômes géodésiques: Buckminster Fuller

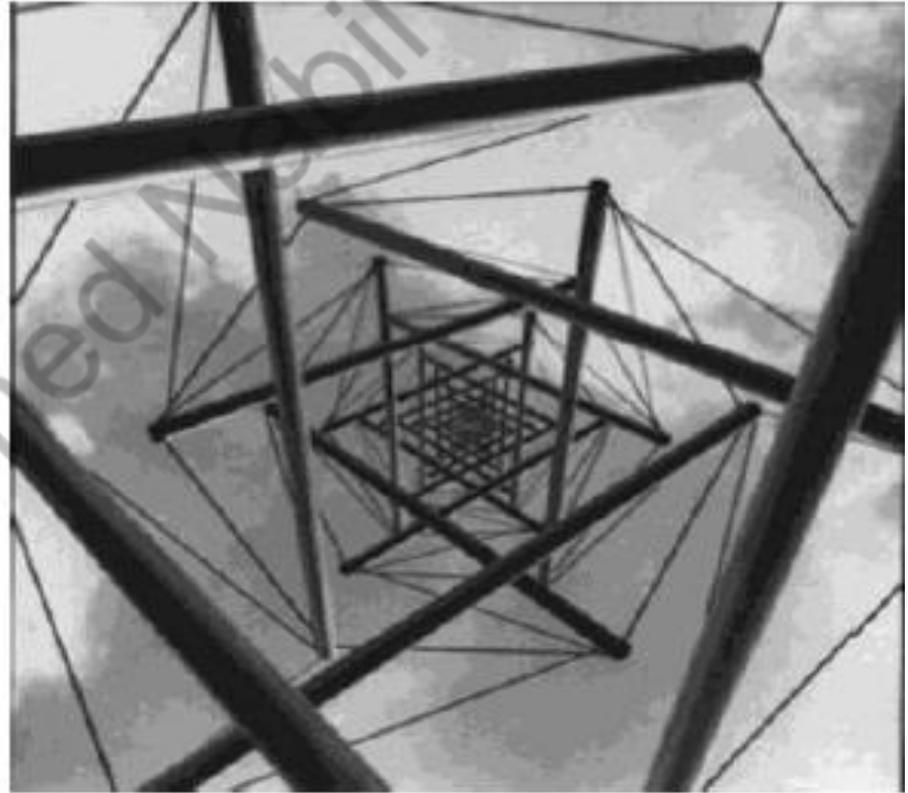
Conçue par Buckminster Fuller (1895-1983) aussi précurseur des systèmes de tensegrité.



- **Systemes en état de tenségrité**

Plusieurs définitions ont été données mais la plus intéressante est celle donnée par René Motro qui dit:

«Les systèmes de tenségrité sont des systèmes réticulés spatiaux en état d'autocontrainte. Tous les éléments ont une fibre moyenne linéaire et une taille équivalente. Les éléments tendus n'ont pas de rigidité en compression et constituent un ensemble continu. Les éléments comprimés n'ont pas de rigidité en traction et constituent un ensemble discontinu. En chaque nœud arrivent au moins une barre et trois câbles ».



Needle Tower, Keneth Snelson

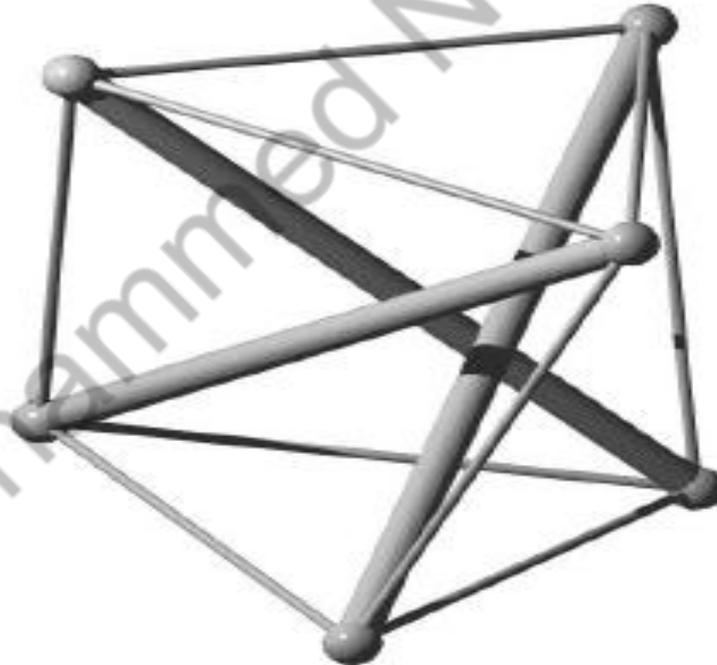
CLASSIFICATION:

A travers la géométrie ou le mode d'assemblage.

Selon la géométrie:

-Les systèmes réguliers:

Les éléments d'un même type, câble ou barre, ont une même longueur



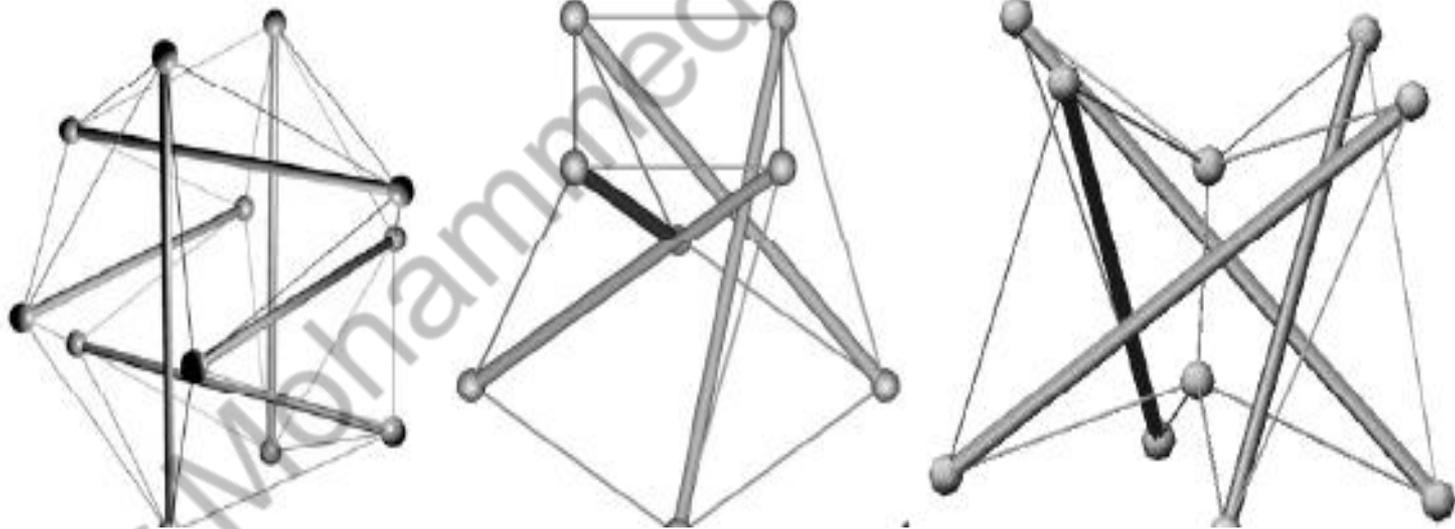
CLASSIFICATION:

A travers la géométrie ou le mode d'assemblage.

Selon la géométrie:

-Les systèmes semis-réguliers:

Quelques éléments ont des longueurs différentes mais les polygones conservent leur régularité.



CLASSIFICATION:

A travers la géométrie ou le mode d'assemblage.

Selon la géométrie:

-Les systèmes irréguliers:

Les longueurs des éléments ainsi que les formes des polygones sont quelconques.

CLASSIFICATION:

A travers la géométrie ou le mode d'assemblage.

Selon l'assemblage:

On distingue:

- Les structures linéaires, mâts ou poutres qui sont des assemblages de modules de tensegrité dans une direction



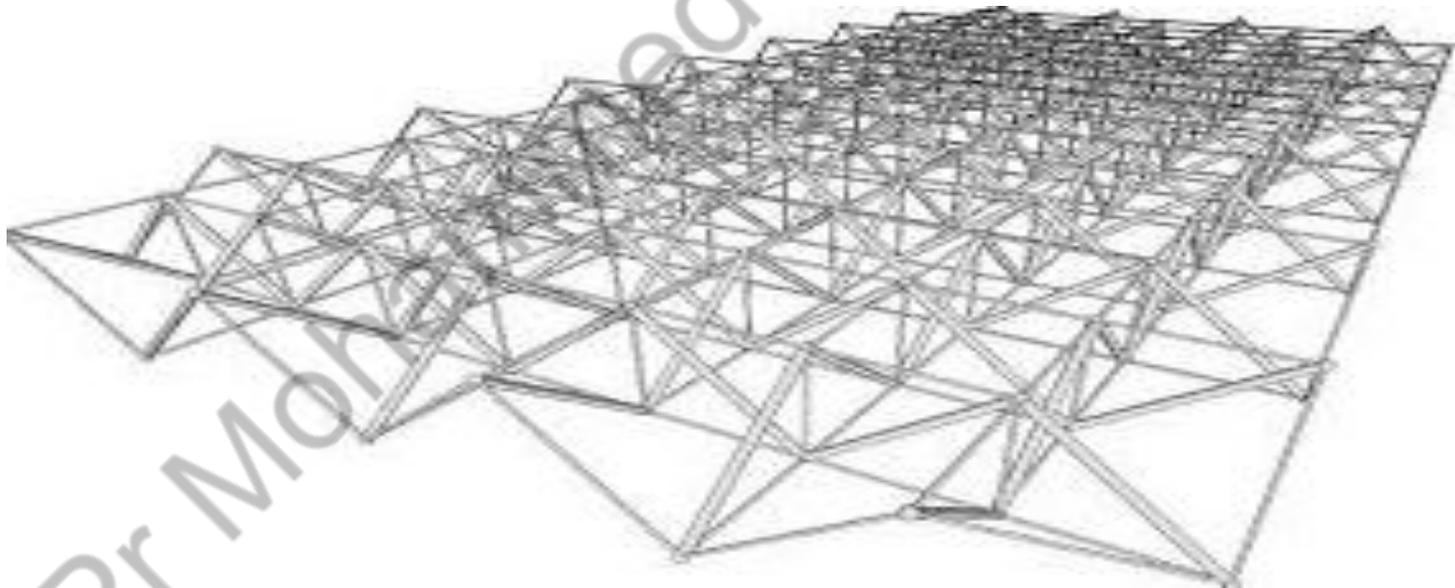
CLASSIFICATION:

A travers la géométrie ou le mode d'assemblage.

Selon l'assemblage:

On distingue:

-Les grilles de tensegrité planes ou à simple ou double courbure. Ce sont des assemblages en 2 D.



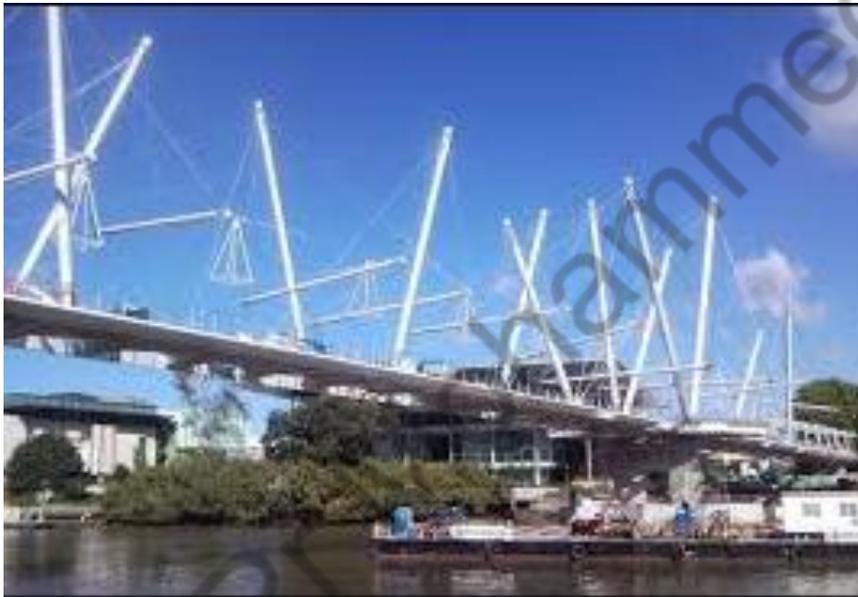
CLASSIFICATION:

A travers la géométrie ou le mode d'assemblage.

Selon l'assemblage:

On distingue:

-Les réseaux spatiaux de tensegrité. Ce sont des assemblages de modules en 3 D.



- **Structures à membranes tendues**

Dans les structures montrées précédemment, on se heurte à l'obligation de les recouvrir, d'autant plus que les formes ne sont plus simples et classiques mais relativement complexes.

La solution serait donc de concevoir une structure avec seulement une membrane qui assurera à elle seule toutes les fonctions, structurelle, délimitation de la forme, couverture, protection, esthétique, etc.

- **Structures à membranes tendues**

L'un des pionniers de ce type de structures est Otto Frei, il a étudié les tentes traditionnelles, les voiliers, les cerfs-volants, les plantes etc.

Parmi ses réalisations:

- Kiosque à musique à Kassel en 1955, semble aussi léger qu'un papillon
- En 1967, le pavillon allemand à l'exposition de Montréal
- En 1972, le toit du stade olympique de Munich
- Horst Berger, Tennessee Pavilion, 1979.



Pr M





Pr Mohammed Nabil Oulssi

En plus du fait qu'elle donne forme, résistance et protection au bâtiment,

La membrane doit:

- Supporter la pré-tension à laquelle elle est soumise en permanence;
- Supporter des surtensions temporaires souvent bien plus considérables, celles dues au vent notamment;
- Ne pas se détendre ni se dégrader sous l'effet de l'humidité, de la chaleur ou des ultraviolets;
- Dans certains cas, être étanche à l'eau, à l'air, résister au feu, etc.

Donc les membranes doivent être constituées de matériaux performants et durables.

Les principaux matériaux utilisés en guise de membranes dans les structures tendues sont des composites constitués:

- d'un support en fibres synthétiques tissées qui procure à la membrane la résistance mécanique à la tension,
- d'une enduction en polymère qui assure l'étanchéité, la protection et permet de réaliser des soudures.

Membrane en tension

Plus une membrane est tendue, mieux elle résiste aux efforts. En particulier le fait de tendre la membrane lui évite de battre, phénomène très dommageable comme on le constate à l'extrémité des drapeaux qui finissent rapidement et systématiquement en lambeaux.

Mise En Forme

- interdépendance entre forme, surface, pré-tension de la membrane et ses propriétés mécaniques.
- ne pas créer des zones susceptibles d'accumuler l'eau ou la neige

Membrane tendue sur ossature

Ossature:

Ce sont des éléments rigides qui supportent les efforts de compression qui contrebalance la tension de la membrane.

- Les mâts qui sont en-dehors de la forme délimitée par la membrane.
- Les arches qui appartiennent à la surface et participent à la délimitation de la forme.

Membrane tendue sur ossature

Surface:

Surface anticlastique

Ce sont des surfaces sont à double courbure.

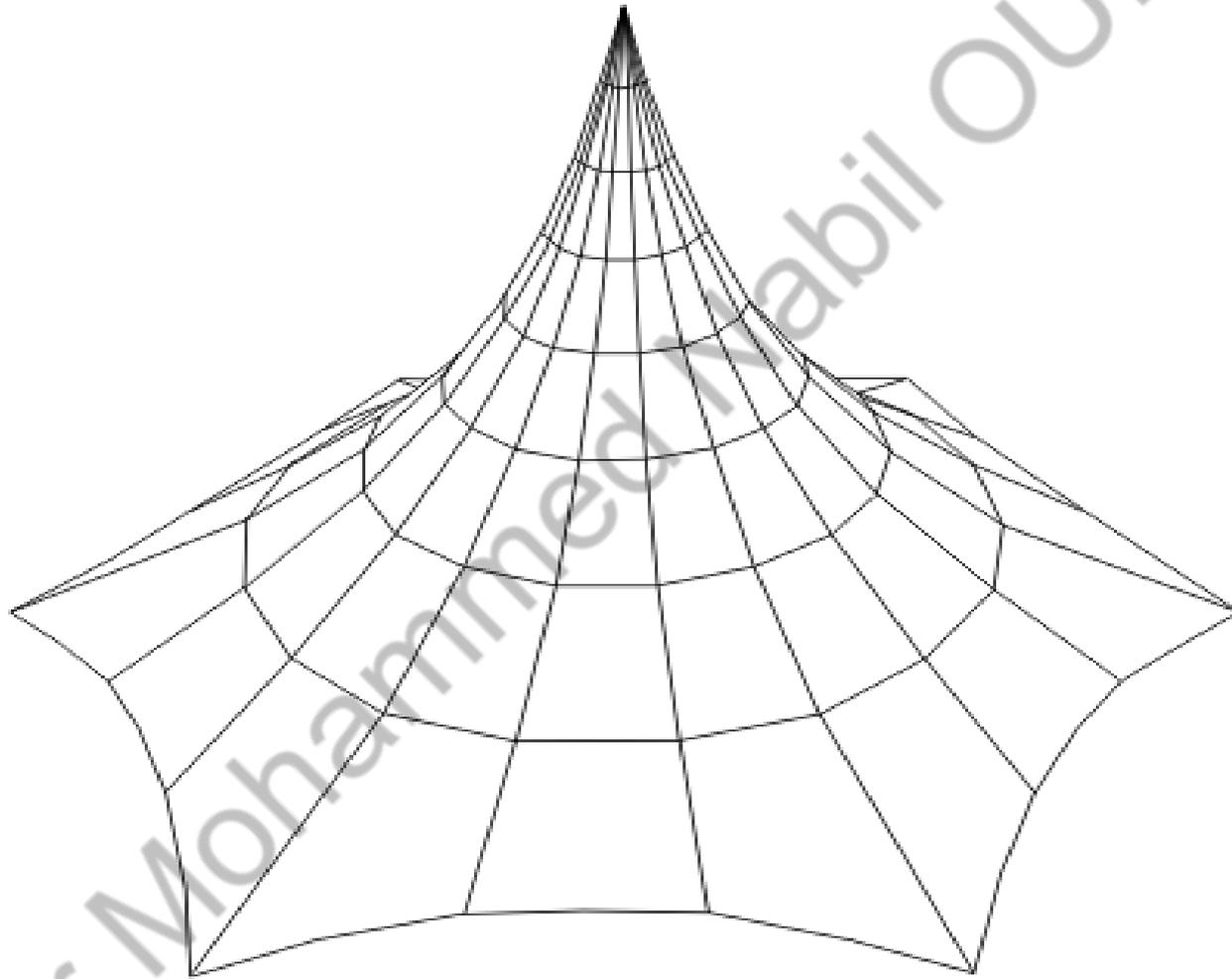
- Surfaces synclastiques celles où tous les rayons de courbure en un point quelconque ont leur centre d'un même côté de la surface, comme la sphère,
- Surfaces anticlastiques celles où les rayons de courbure en un point sont situés de part et d'autre de la surface, comme le parabololoïde hyperbolique.

Surface minimale

Capacité d'une membrane à se déformer en augmentant sa superficie ou en la conservant.

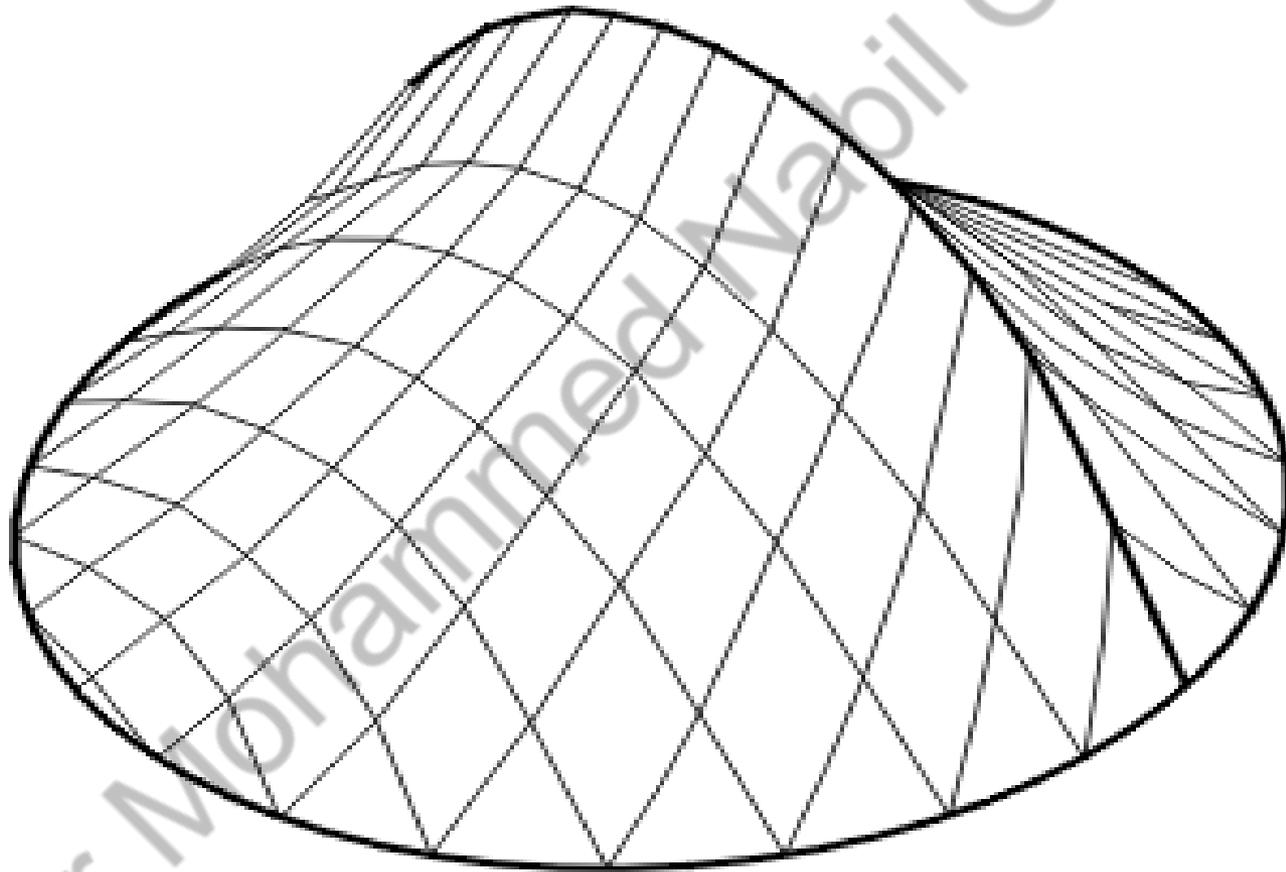
Catalogue de formes

Le cône



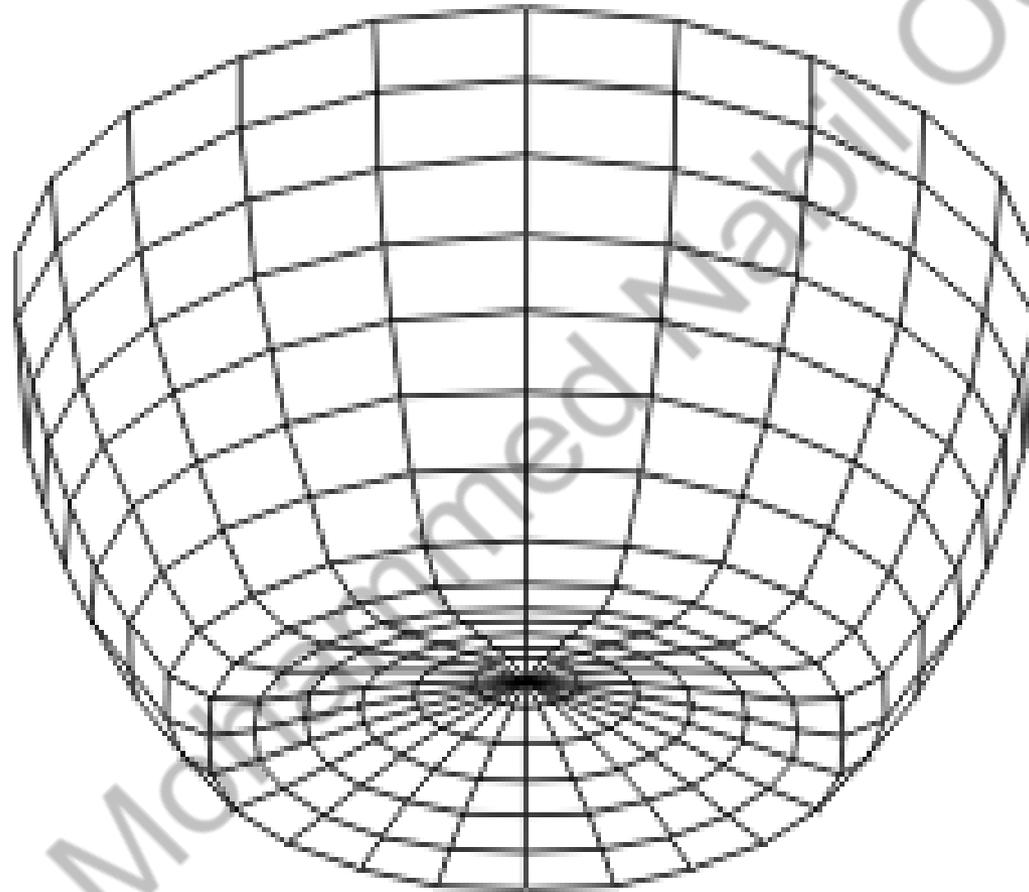
Catalogue de formes

L' Arche



Catalogue de formes

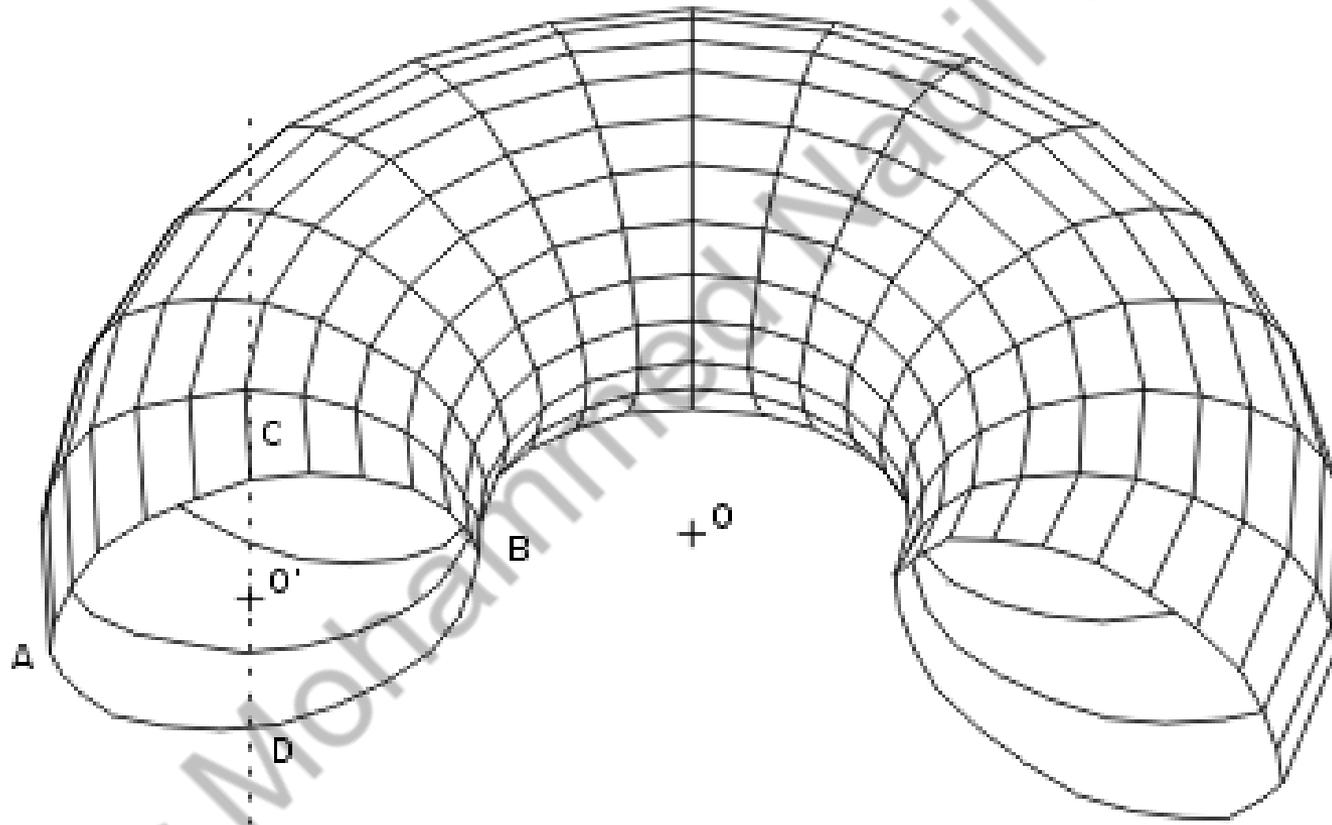
Sphère comprimée vers le centre



Pr Mohamed Nabil Oussif

Catalogue de formes

Tore



Catalogue de formes

Paraboloïde hyperbolique

