

**Ateliers Design 2012**  
**Expérimentation structurale – C. Douthe & M. Vrontissi**

## **Typologie des structures**

**« ...comprendre la structure  
pour l'exprimer en tant qu'élément d'architecture. »**

**Cyril Douthe**

# Typologie des structures

*« Pour s'orienter dans la phase initiale de la conception, il est utile de se référer à des archétypes de structures et de s'appuyer sur une vision organisée du champs des possibles par rapport à l'expérience acquise : un classement typologique des structures est alors utile. »*

(Maurizio Brocato, APSTR, ENPC)

Maurizio Brocato propose deux classements:

- Rationnel (par nature des efforts et par dimensions géométriques)
- Opérationnel (en fonction des performances requises).

# Classement rationnel

| dim        | compression<br>seule  | effort normal<br>ou efforts<br>membranaires                 | traction<br>seule  | flexion<br>(avec d'autres<br>efforts)                        |
|------------|---|---|--|--|
| 1          | piliers,<br>colonnes,<br>arches   | barres  | câbles (haubans<br>ou caténares),<br>cerclages                             | poutres  |
| 1+<br>(* ) | remplages et<br>rosaces,<br>systèmes arche-<br>arc-boutant-pilier,<br>voûtes à nervures | poutres treillis<br>treillis spatiaux<br>dômes en treillis  | nappes de<br>câbles,<br>systèmes<br>câble porteur-<br>tirant-stabilisation | ossatures<br>grillages<br>grid shells<br>nexorades<br>fermes |
| 2          | murs, piles,<br>contreforts,<br>voûtes  | voiles et<br>coques minces                                  | toiles   | dalles,<br>coques épaisses                                   |
| 2+<br>(**) | murs et<br>contreforts  | systèmes<br>à facettes,<br>systèmes<br>plissés,<br>caissons |  |  |

(\* éléments 1D qui forment de structures 2D ou 3D)

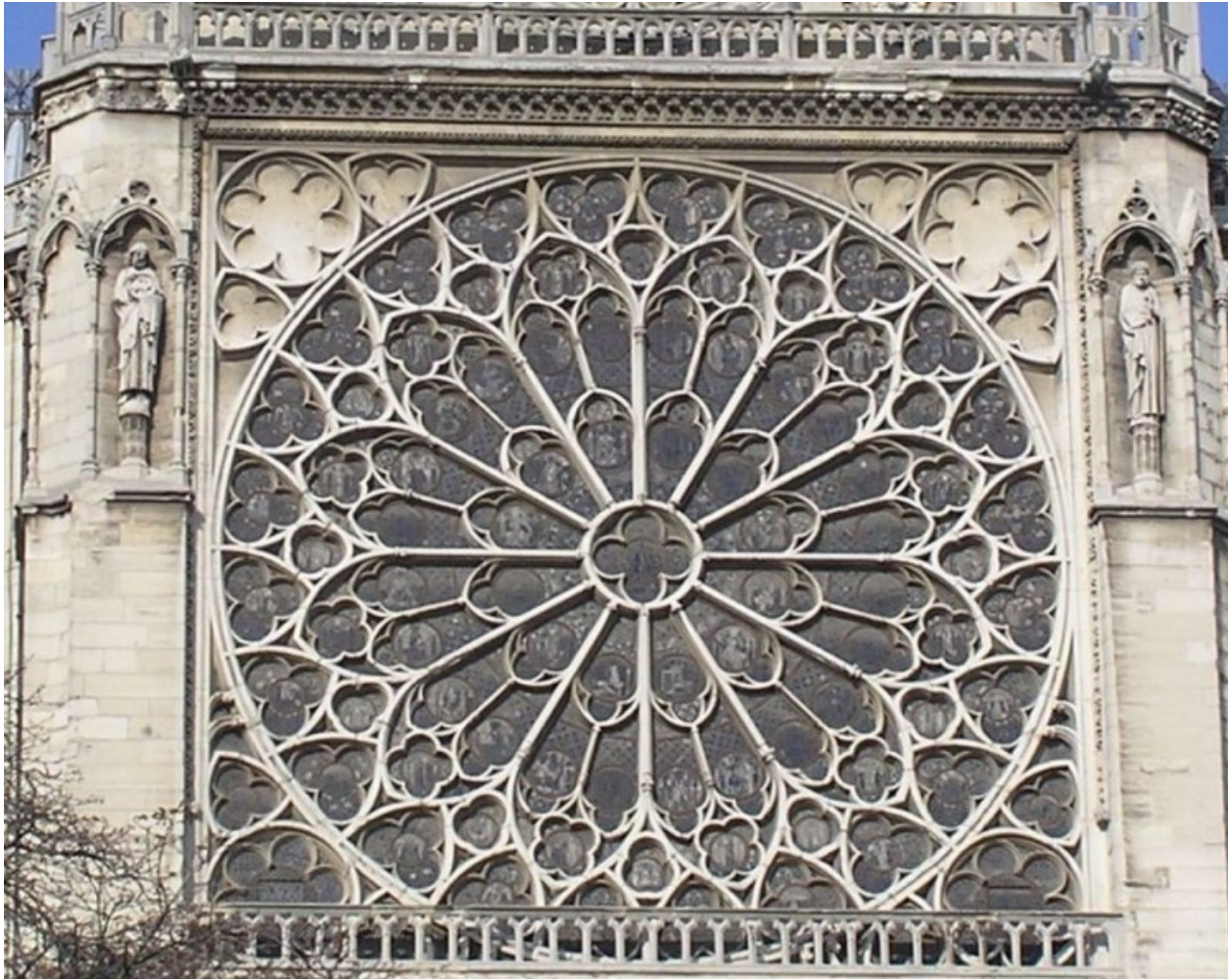
(\*\* éléments 2D qui forment de structures 3D)

# Compression seule, 1D

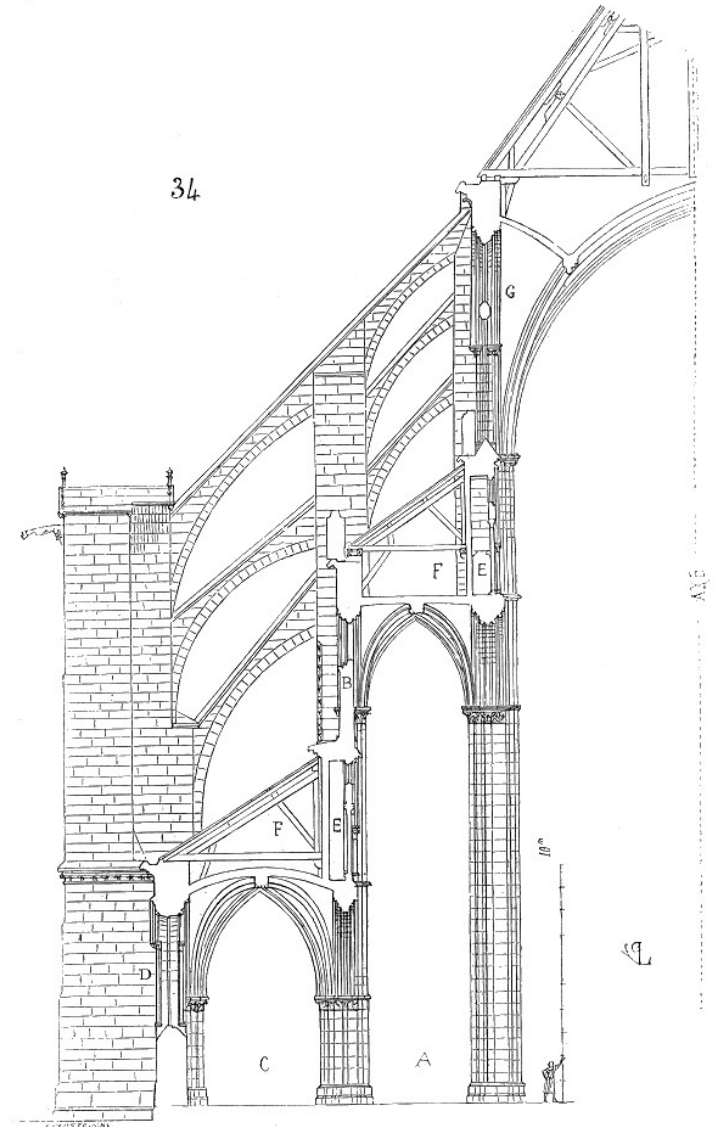


Colonne, pilier, arches...

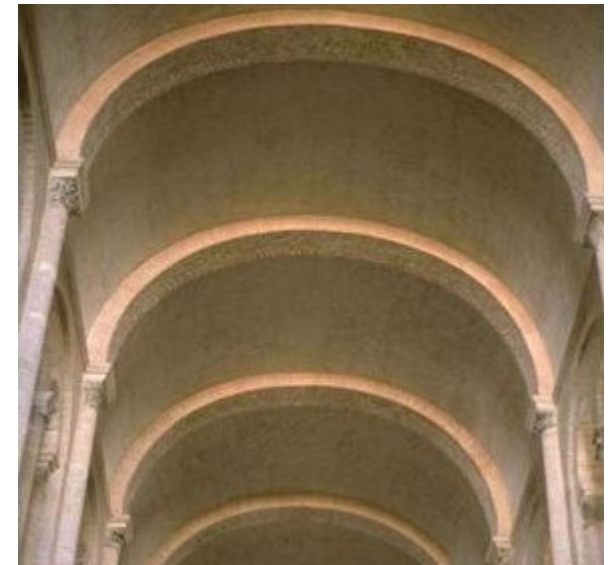
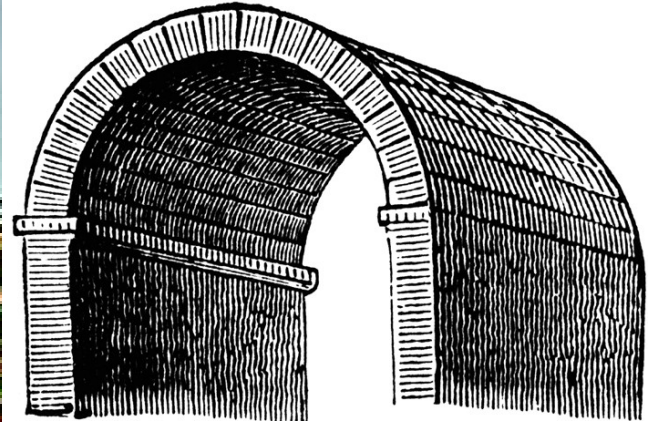
# Compression seule, 1D+



Rosace, systèmes colonnes/arcs boutants...



# Compression seule, 2D



**Pile, mur,  
contrefort, voute...**

# Compression seule, 2D+



Système mur/contrefort...

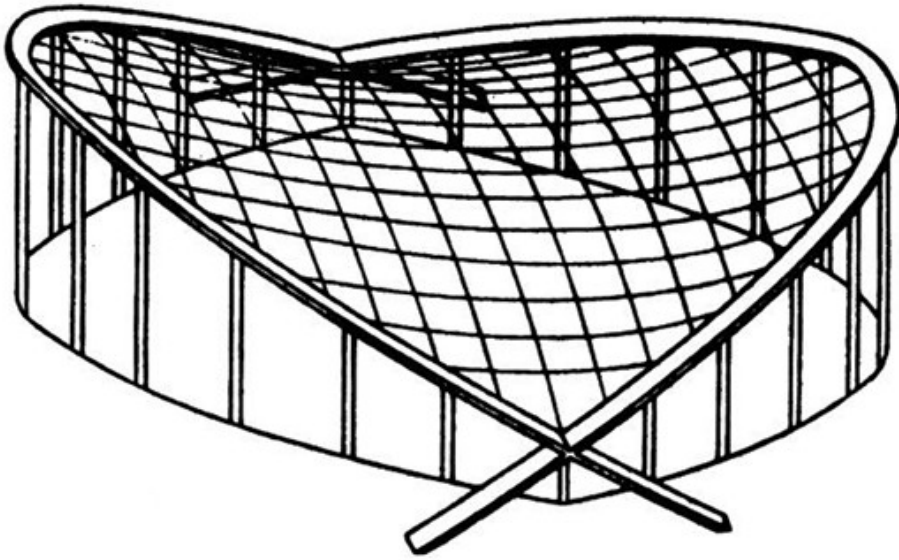
# Traction seule, 1D



Câbles (haubans ou caténares), cerclages...



# Traction seule, 1D+

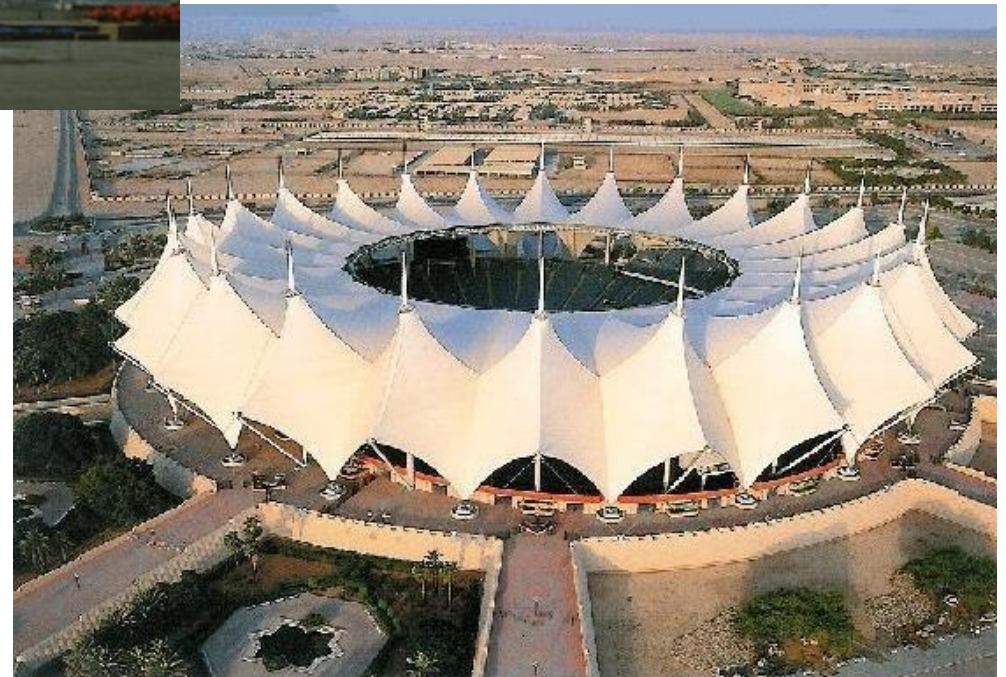


Nappes de câbles,  
poutre câble...

# Traction seule, 2D

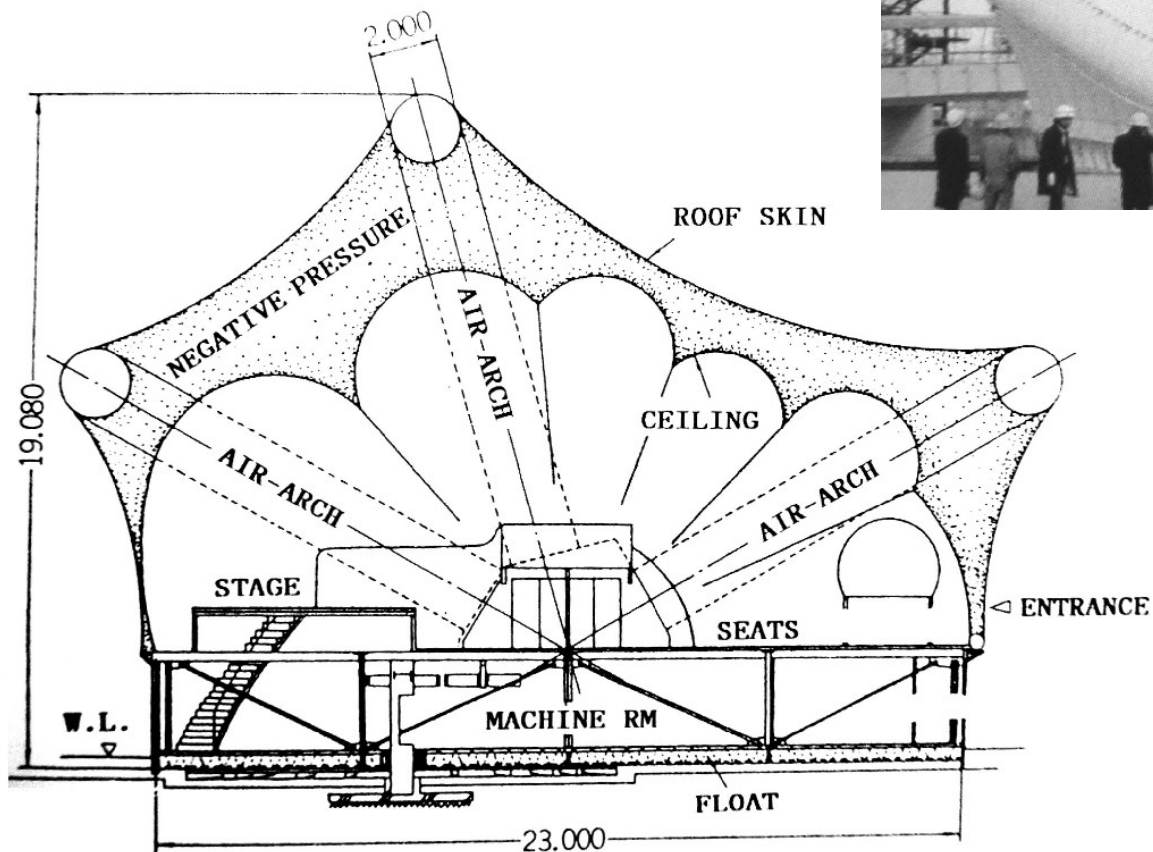
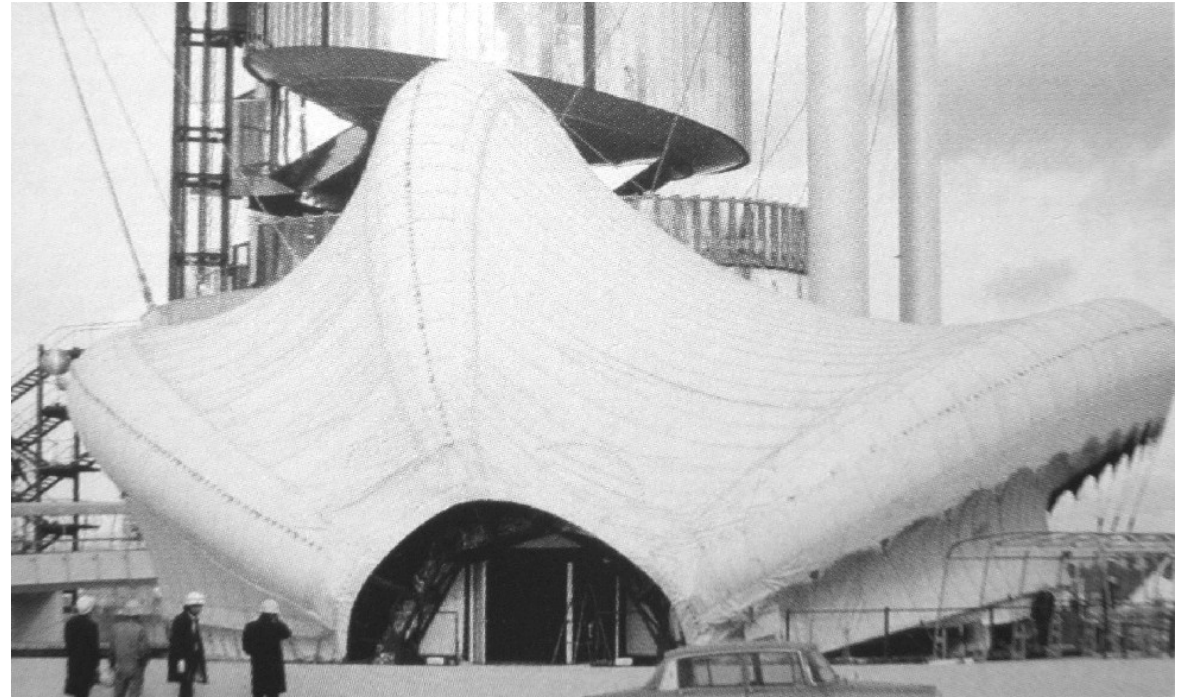


Toiles...



# Traction seule, 2D+

Electric power pavillon  
Expo'70, Osaka, Japon  
Ing. Kawaguchi

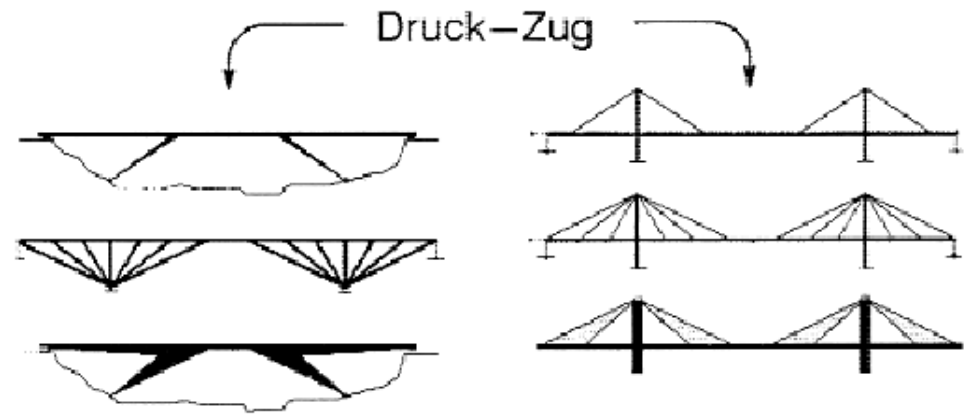


Toiles gonflables, sous pression...

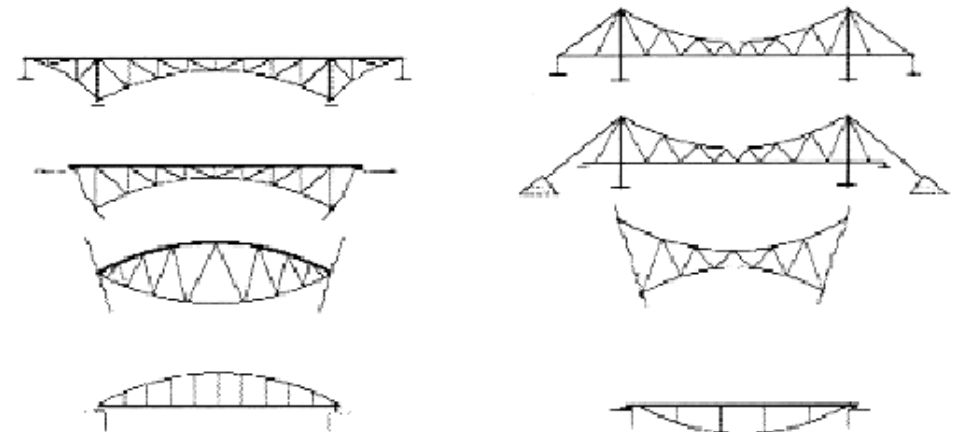
# Systemes duaux : traction/compression

(d'après Jörg Schlaich)

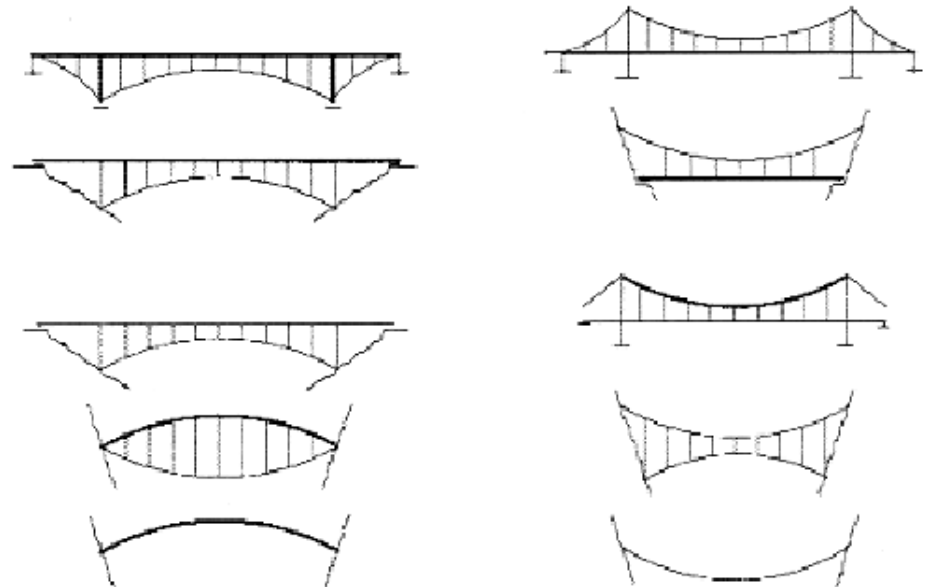
c |



d |



e |



# Efforts normaux & efforts membranaires

## Efforts normaux

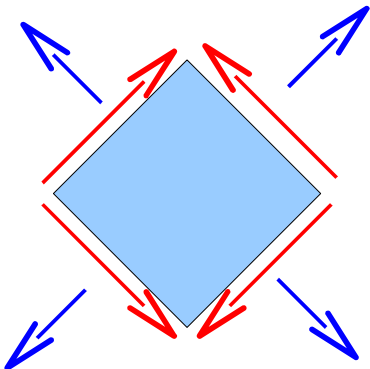
- Dans les éléments 1D: compression et traction



- Structures de type treillis - barres articulées
  - barres convergentes
  - chargement aux nœuds uniquement

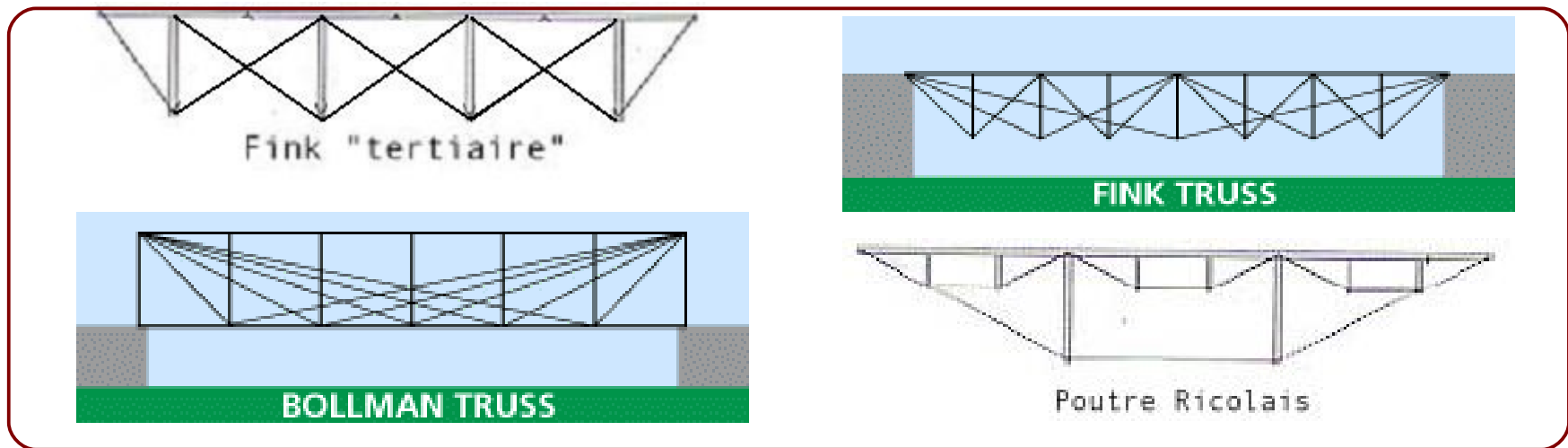
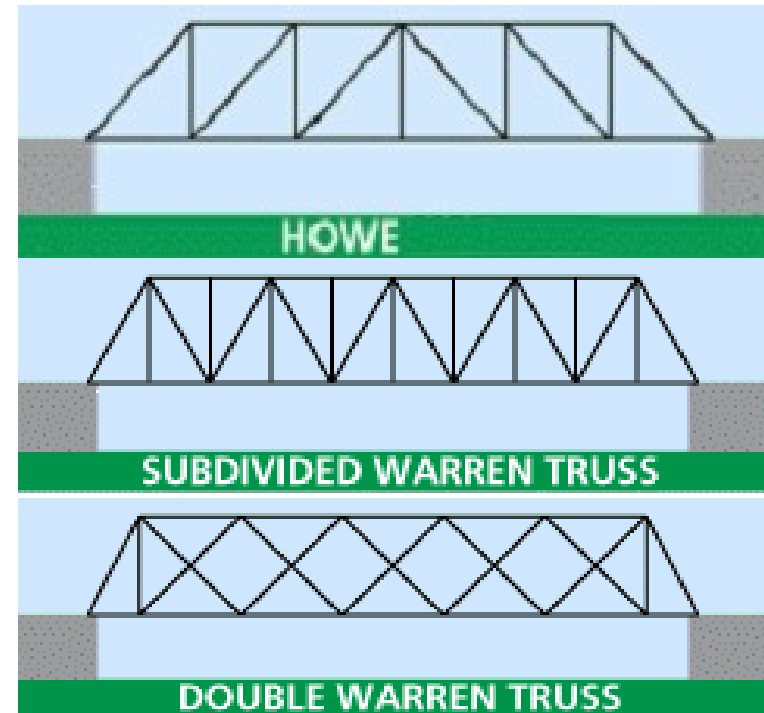
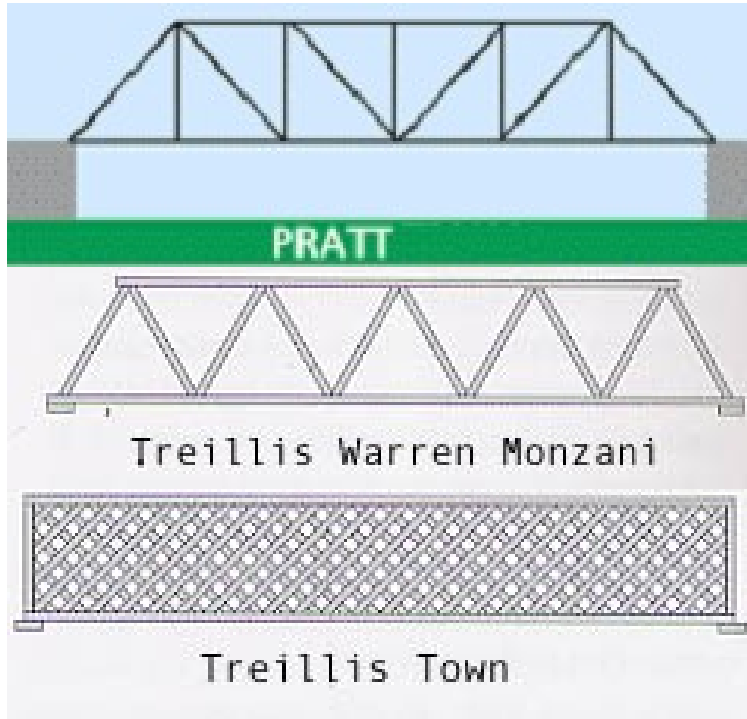
## Efforts membranaires

- Dans les éléments 2D: compression, traction & cisaillement



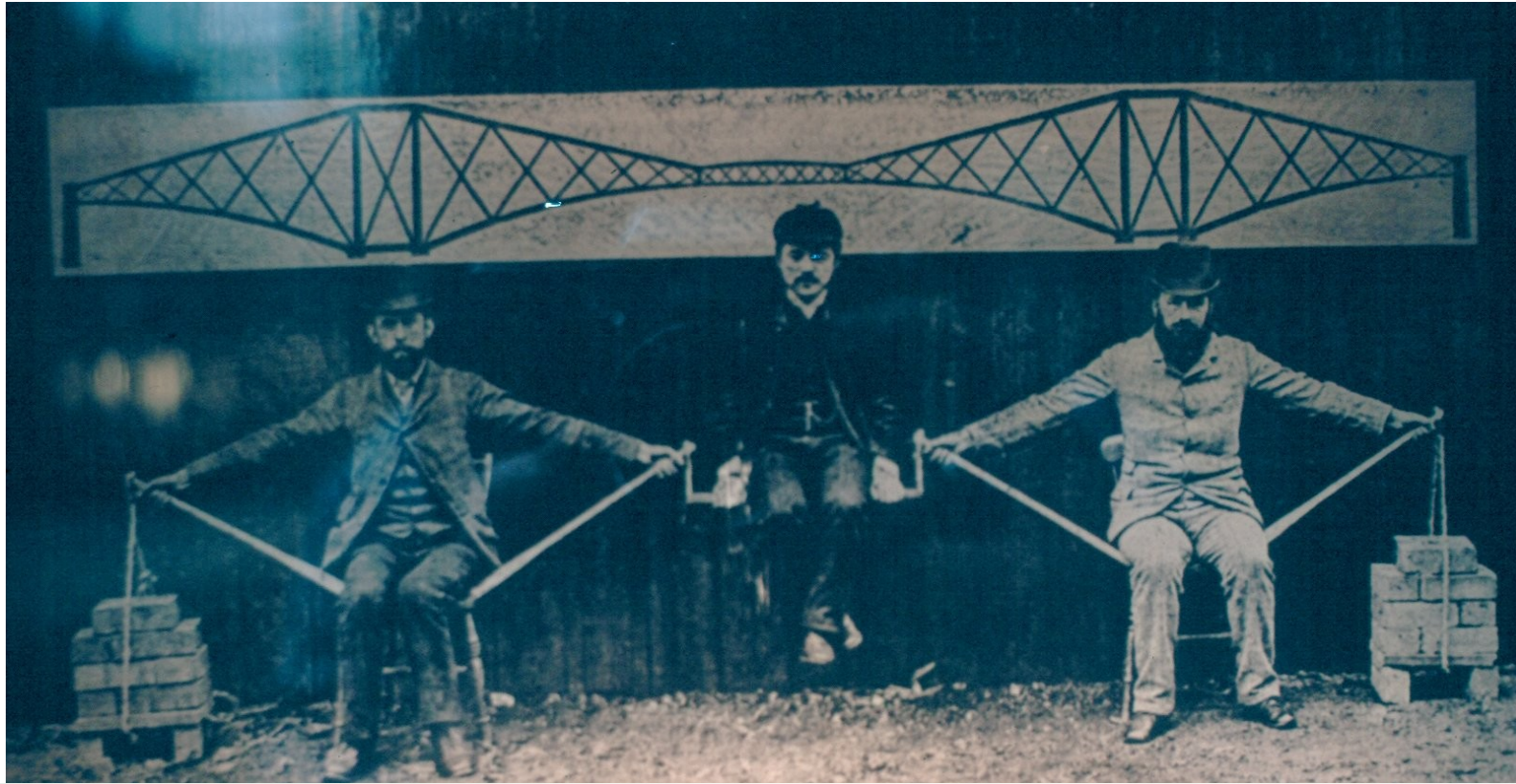
- Structures de types membranes

# Compression & traction, 1D+



Compression et traction différenciée...

# Compression & traction, 1D+



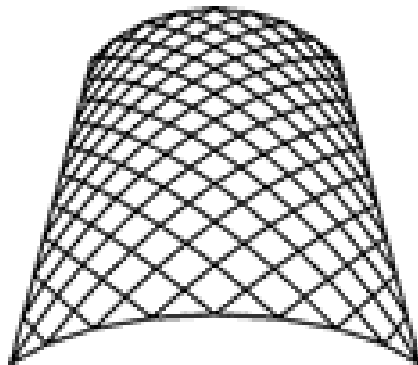
# Composition 1D+:

compression & traction + compression seule

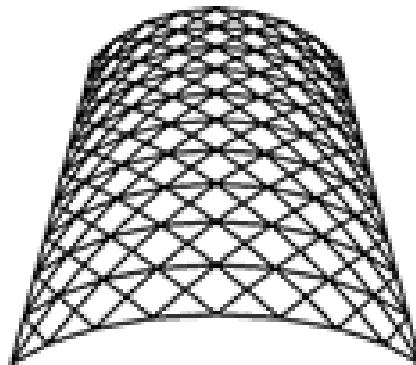




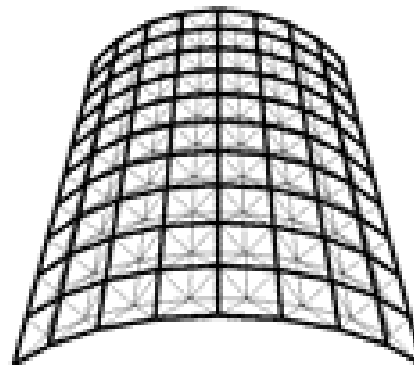
# Compression & Traction, 1D++



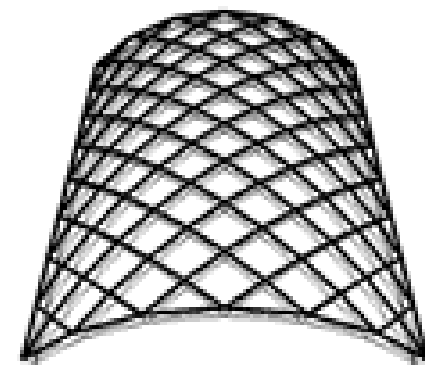
(a) Lamella (diagonal) barrel vault



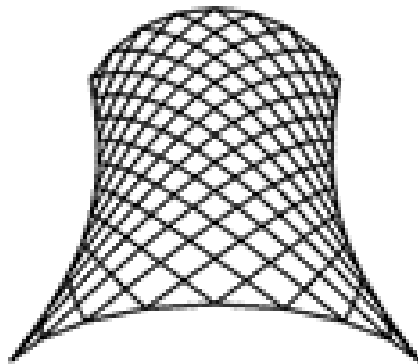
(b) Three-way barrel vault



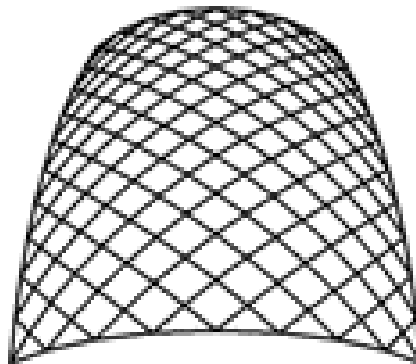
(c) Two-way on two-way double layer barrel vault



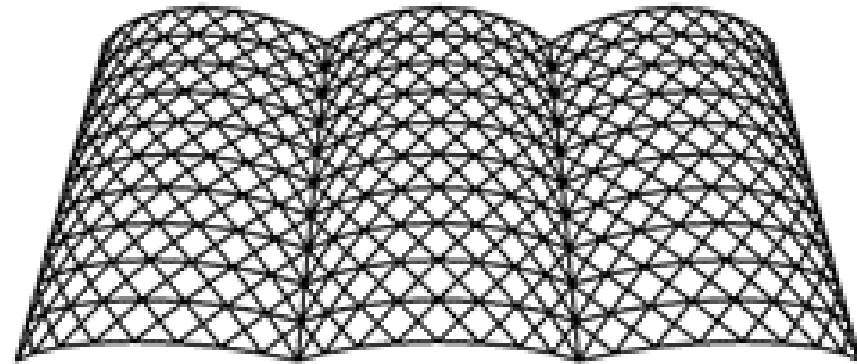
(d) Lamella (diagonal) truss barrel vault



(e) Hyperboloidal lamella barrel vault



(f) Ellipsoidal lamella barrel vault



(g) Compound three-way barrel vault

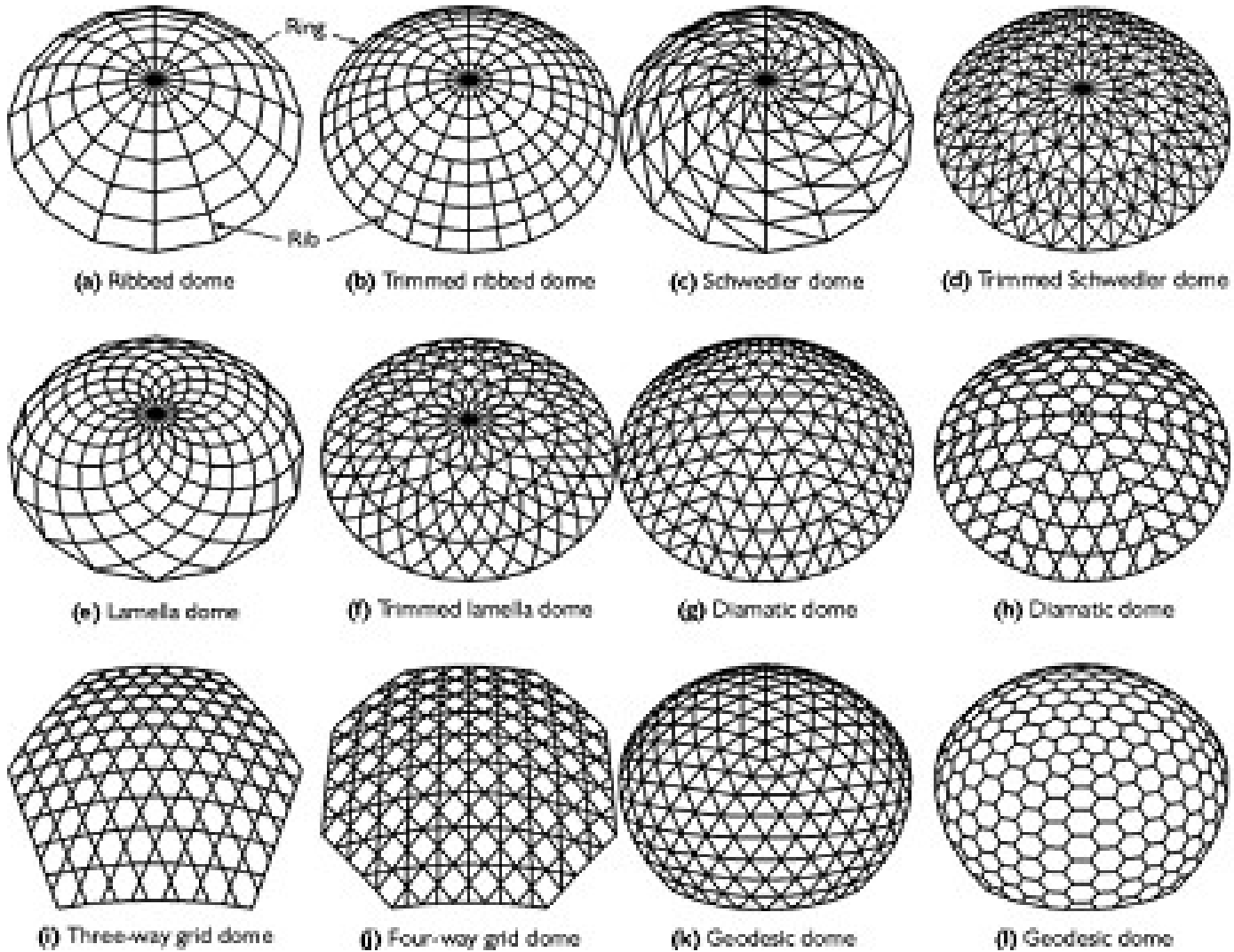
Gridshell, voûtes réticulées...



« Bulle » des hippopotames, Zoo de Berlin, SBP, 1998

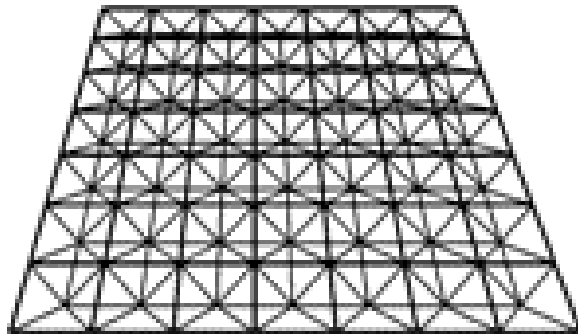
Compression traction différenciée...

# Compression & Traction, 1D++

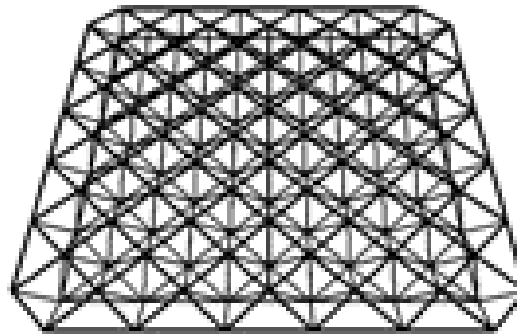


Gridshells ou dômes réticulés, géodésiques...

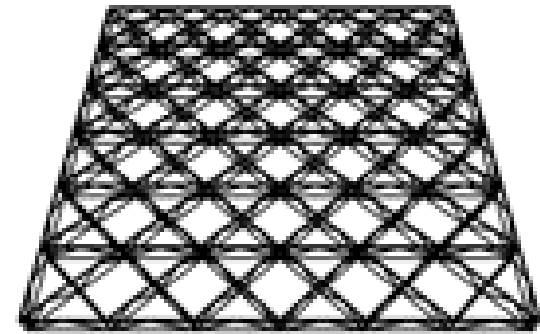
# Compression & traction 1D++



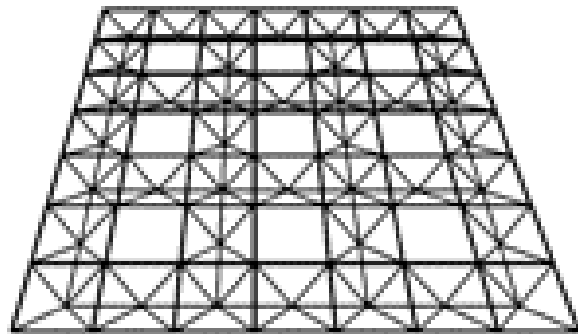
(a) Two-way on two-way grid



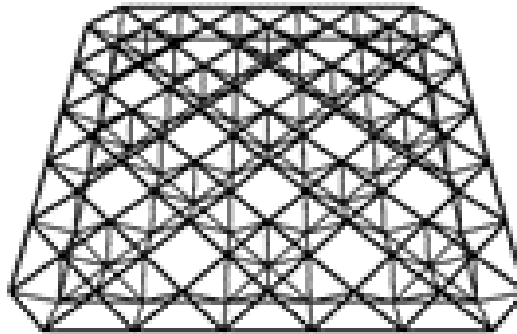
(b) Diagonal on diagonal grid



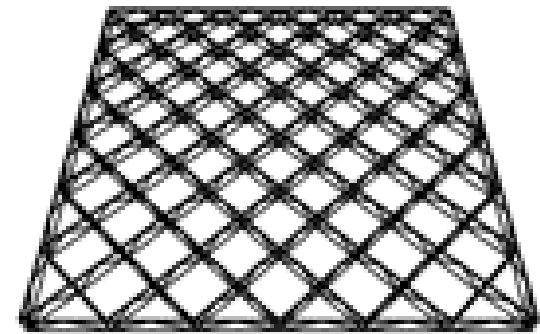
(c) Three-way truss grid



(d) Reduced two-way on two-way grid



(e) Reduced diagonal on diagonal grid

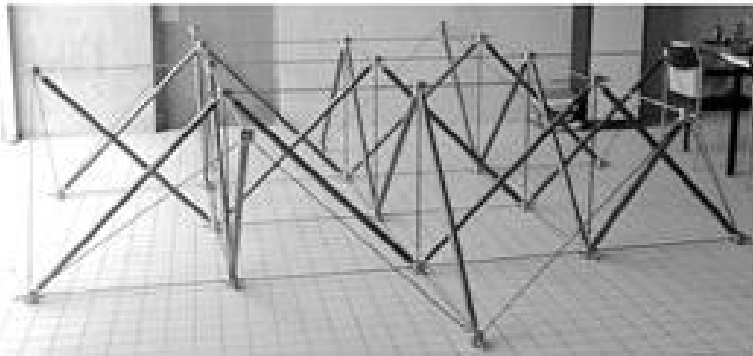
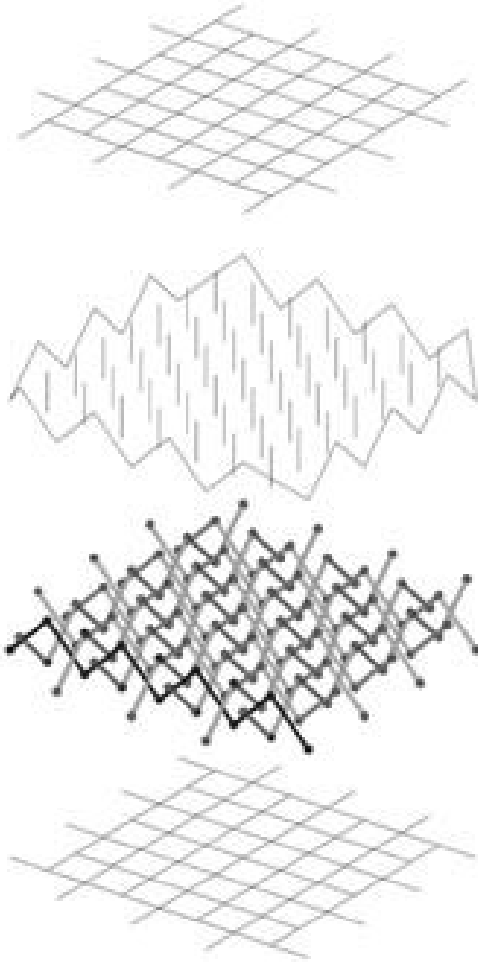


(f) Diagonal truss grid

Treillis spatiaux...

Grille de poutre en treillis  
=> torsion des poutres...

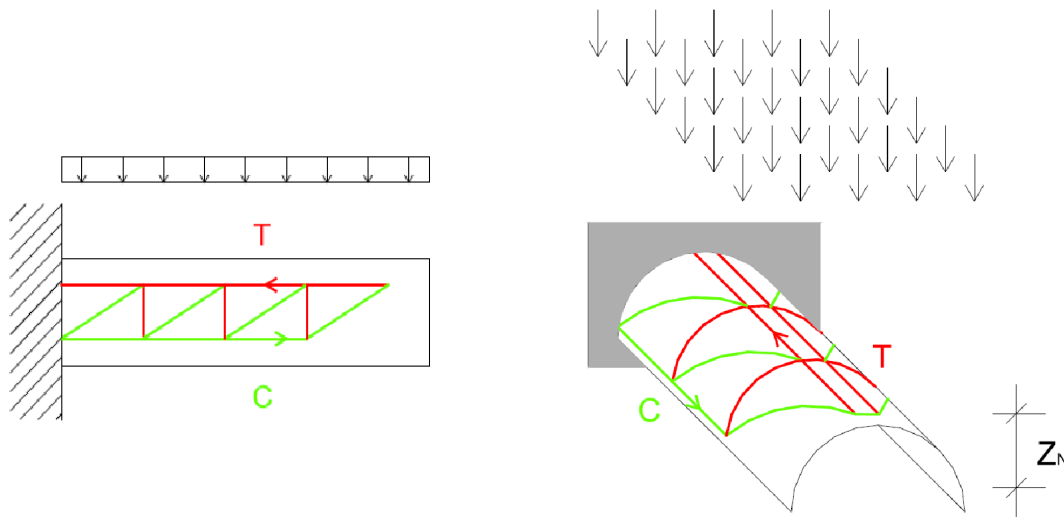
# Compression & traction 1D++



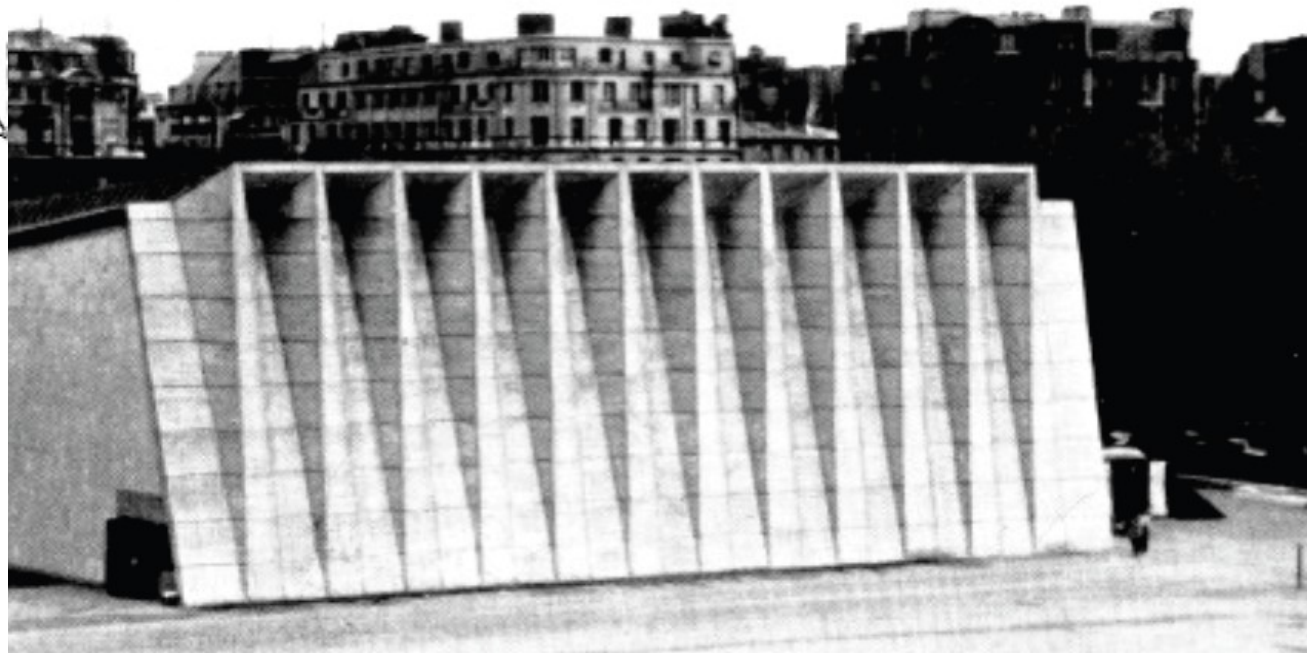
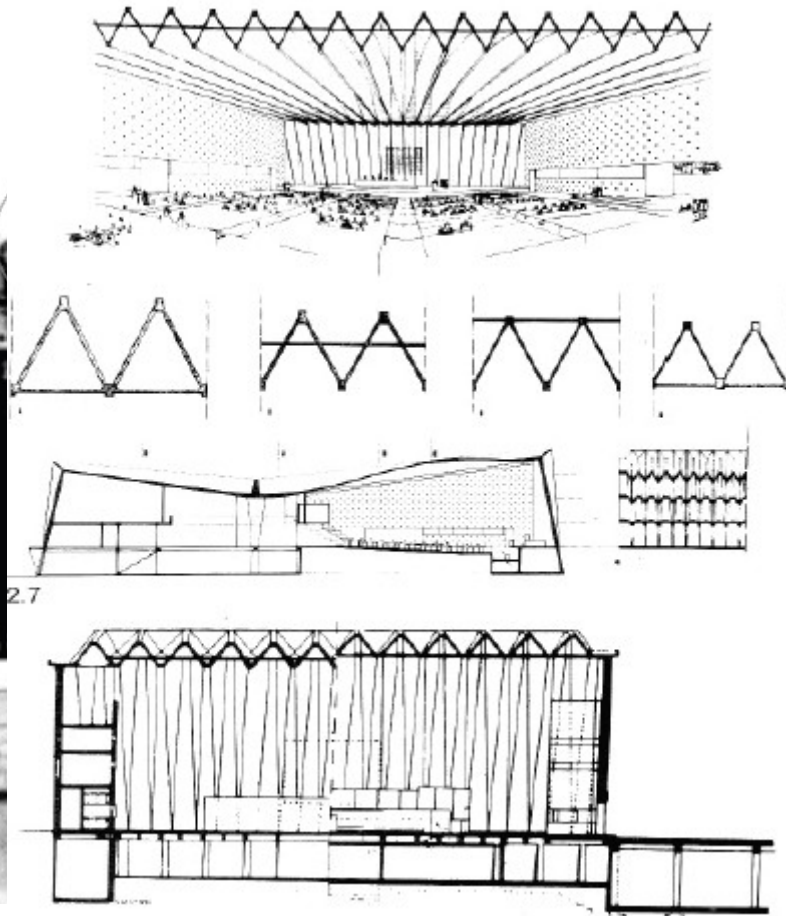
# Compression & traction & cisaillement, 2D



## Voiles & coques minces...



# Compression & traction & cisaillement, 2D+



Structures plissées...

# Compression & traction & cisaillement, 2D+

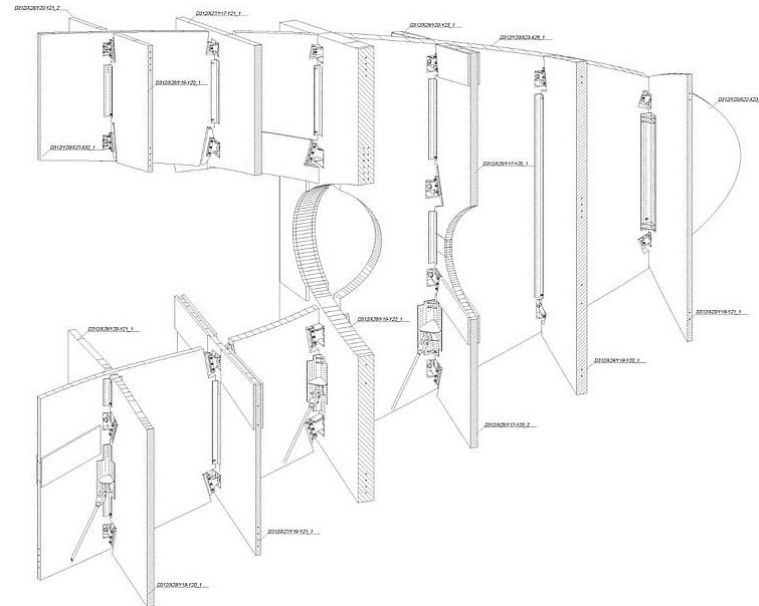


Caisson (pour torsion)...





# Compression & traction & cisaillement, 2D+



# Flexion (avec autres efforts), 1D



Poutres

Poutre isostatique



Poutre hyperstatique, travées multiples



Portique



Arc à trois articulations

# Flexion (avec autres efforts), 1D+

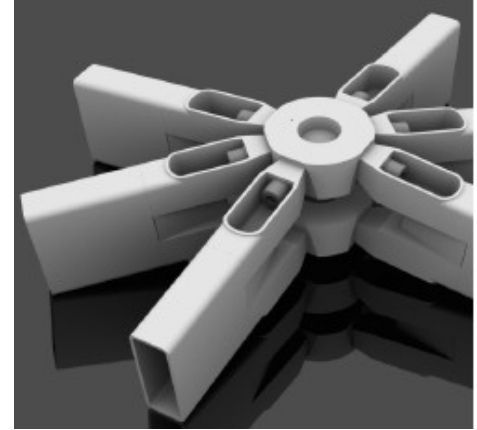


Ossature, grille de poutres...



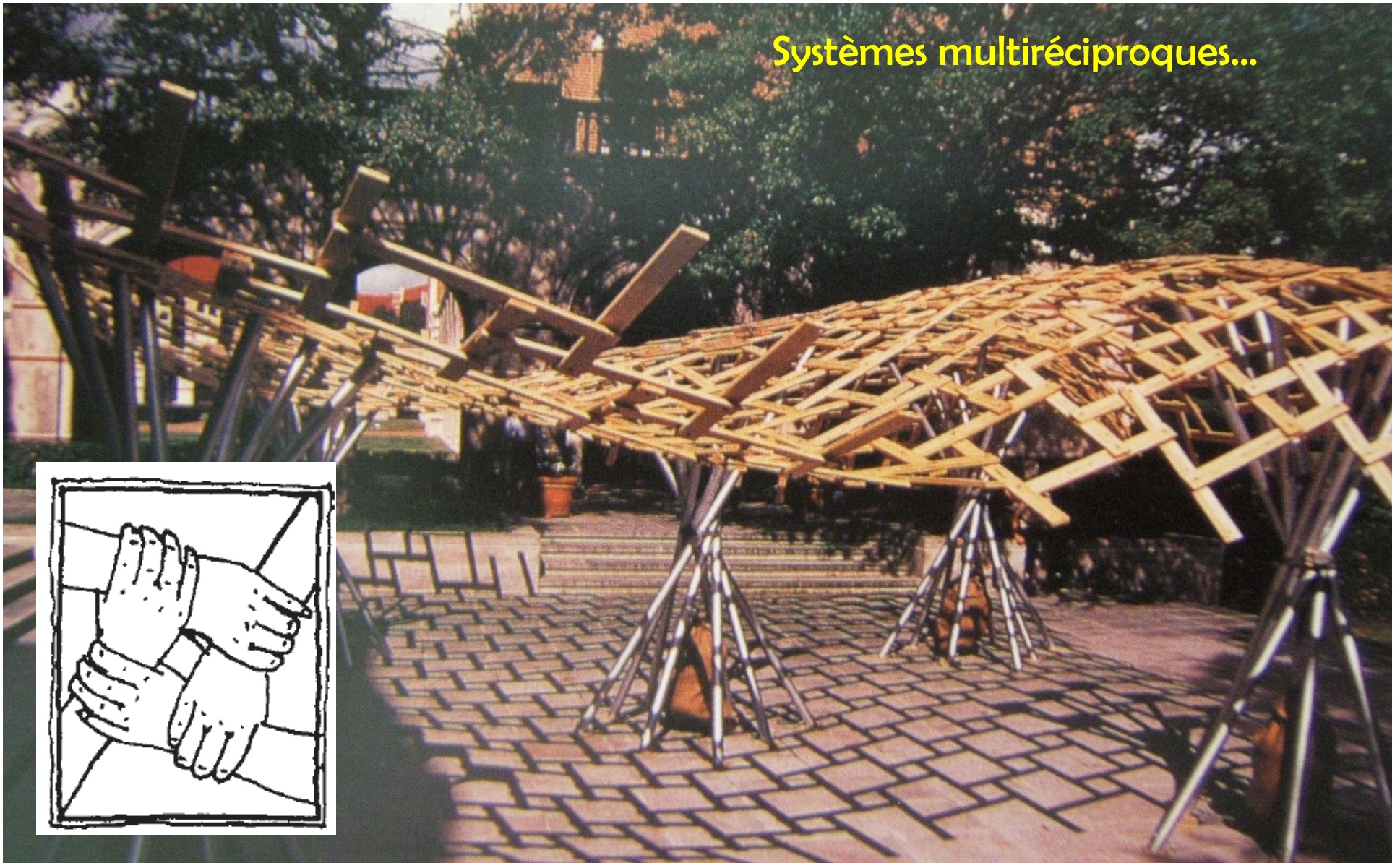
# Flexion, 1D+

Gridshell  
Sans mise en forme  
...et avec



# Flexion, 1D+

Systemes multiréciproques...



# Flexion, 2D



Dalles,  
coques épaisses...



# Classement opérationnel

Performances requises pour les structures :

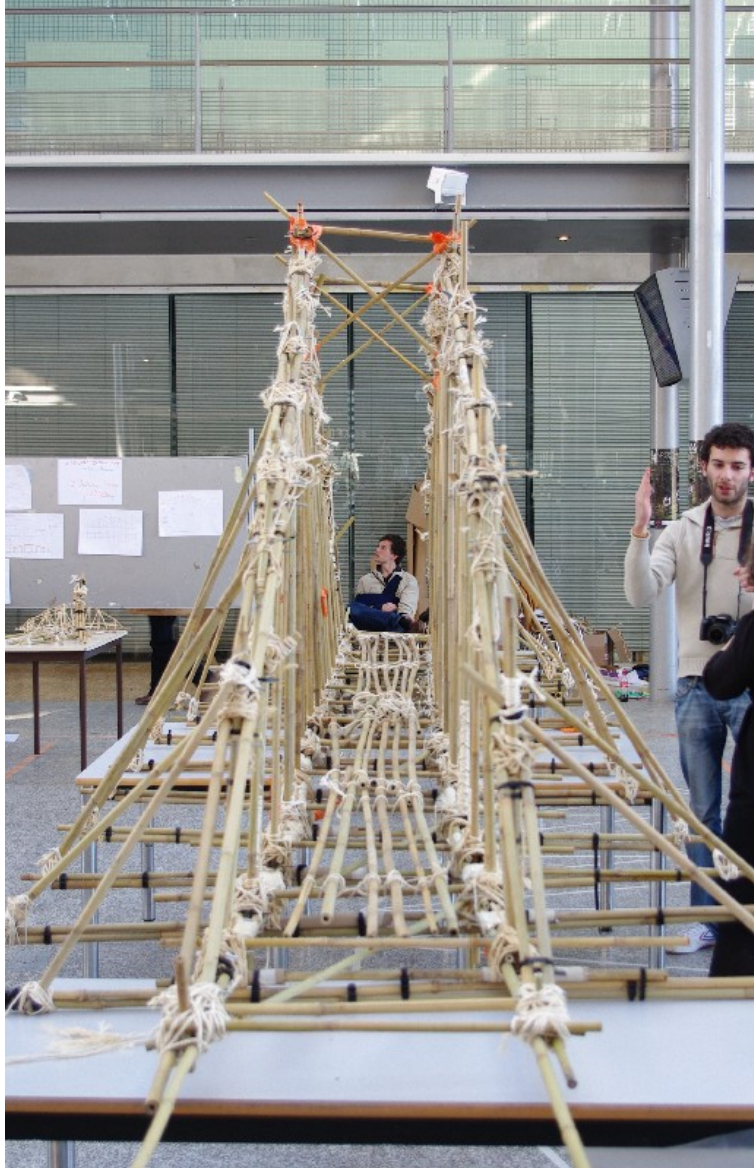
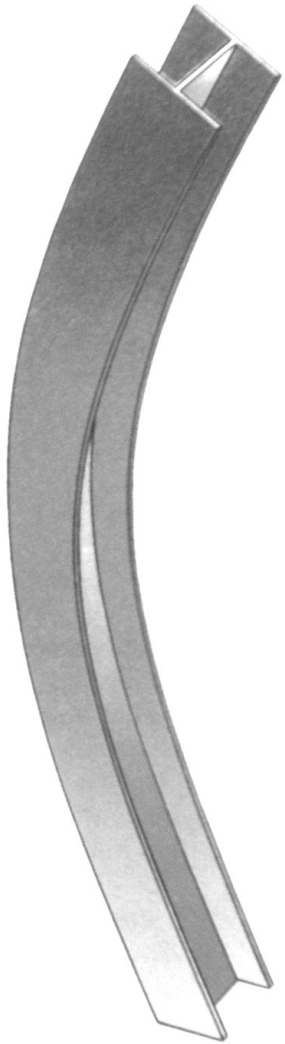
- Stabilité de l'équilibre à l'état non-déformé
- Résistance aux sollicitations prévues
- Déformabilité limitée
- Stabilité de l'équilibre à l'état déformé
- Autres critères (par ex. redondance, fréquence de vibration)

Guide de conception, guide de choix :

- Quelles stratégies pour remplir ces performances?



# Stabilité à l'état déformé



# Quelles stratégies?

1. la géométrie, les liaisons et les matériaux sont appropriés pour fournir les performances demandées.

| stratégie | compression seule | compression et traction | traction seule | flexion (+ compression et traction) |
|-----------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------------------------|
| standard  | —                 | barres                  | —              | poutres                             |
|           | —                 | treillis divers         | —              | ossatures diverses                  |
|           | —                 | voiles et coques minces | —              | dalles, coques épaisses             |

# Quelles stratégies?

2. Ces conditions ne sont pas remplies sans la mise en place d'un état d'autocontrainte.

| stratégie      | compression seule  | compression et traction  | traction seule  | flexion (+ compression et traction)   |
|----------------|--|--|---|---|
| autocontrainte | <p>piles et arches maçonneries avec câbles de préc., platebandes</p> <p>remplages et rosaces</p> <p>murs et voûtes préc.</p> | <p>barres préc.</p> <p>treillis préc., tenségrités, voûtes synclastiques avec arches et câbles,</p> <p>voiles et coques minces préc.</p> | <p>câbles (tendons)</p> <p>nappes de câbles anticlastiques</p> <p>toiles anticlastiques</p> | <p>poutres préc.</p> <p>poutres avec contreflèche ****</p> <p>ossatures préc.</p> <p>dalles et coques préc.</p> |

# Quelles stratégies ?

3. idem, mais on fait appel à un chargement dominant généré par le poids propre ou 4. par un autre chargement extérieur.

| stratégie      | compression seule       | compression et traction           | traction seule                       | flexion (+ compression et traction) |
|----------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| poids dominant | piliers ...<br>arches   | —                                 | câbles<br>(caténaïres)               | poutres<br>sous tendues             |
|                | remplages et<br>rosaces | treillis<br>divers<br>sous tendus | nappes de<br>câbles<br>synclastiques | ossatures<br>entrelacées            |
|                | murs,<br>voûtes         | —                                 | —                                    | dalles<br>sous tendues              |
| pneumatiques   | —                       | —                                 | —                                    | poutres<br>tensairités              |
|                | —                       | —                                 | toiles et<br>câbles                  | —                                   |
|                | —                       | —                                 | toiles<br>synclastiques              | —                                   |

# Stabilisée par une force centrifuge

Abri pneumatique rotatif conçu  
par Dominik Baumüller

(double membrane en polyéthylène:  
18 kg, diam.= 6 m).



# Typologie n'est pas morphologie

Μορφη: la forme

- Morphologie: la nommer, la décrire...
- Morphogénèse: son processus d'émergence

*« Simple ou composée »,*

*« hiérarchique ou non »*

*« ordonnée ou erratique »*

Très fortes interactions Forme / Force

Recherche de légèreté

= recherche d'une adéquation Forme / Force / Matériau / Technologie