

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

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

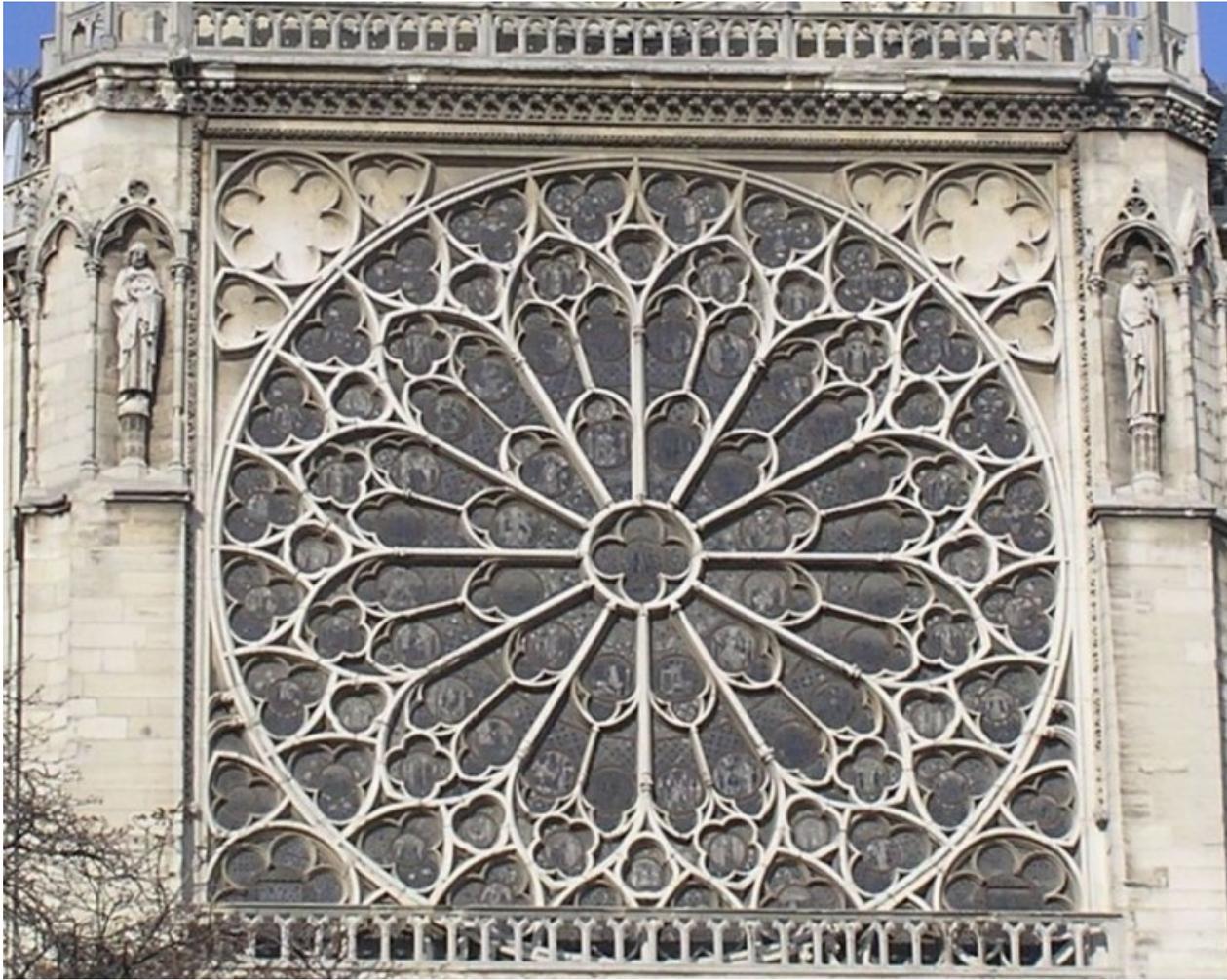
(** éléments 2D qui forment de structures 3D)

Compression seule, 1D

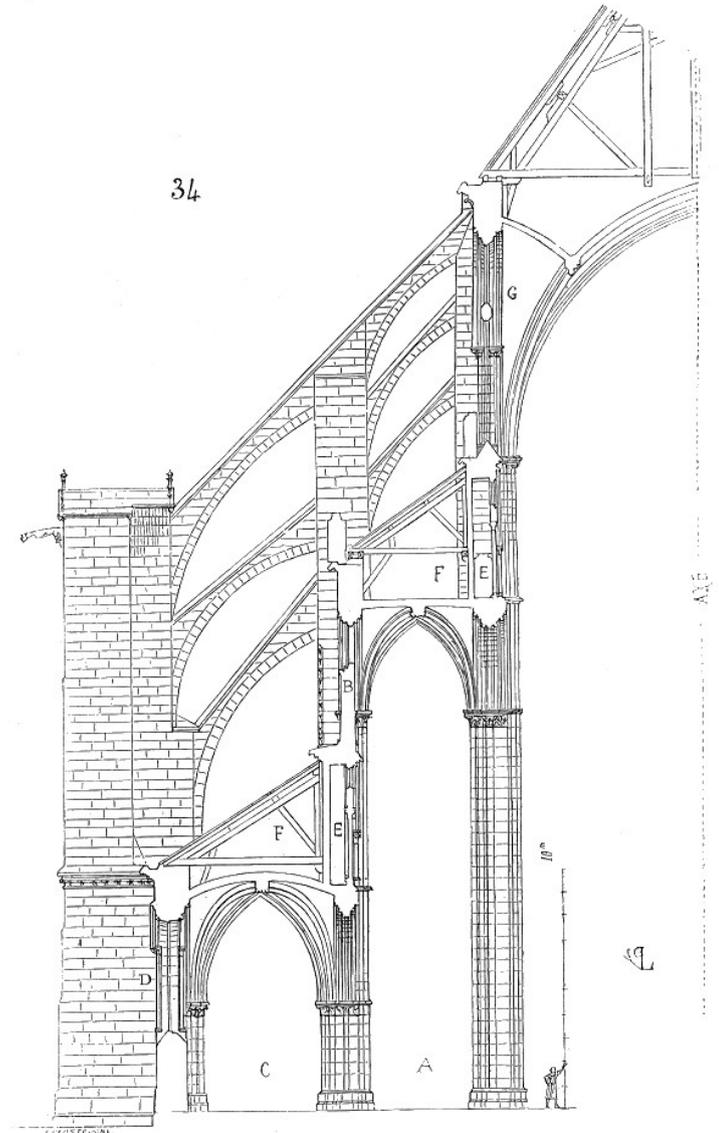


Colonne, pilier, arches...

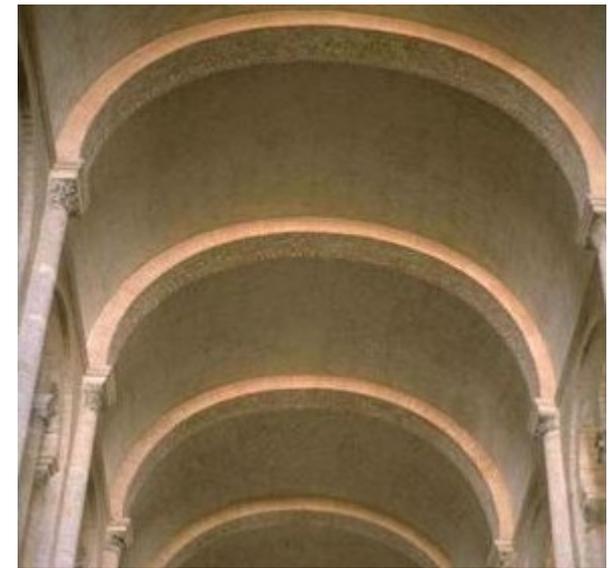
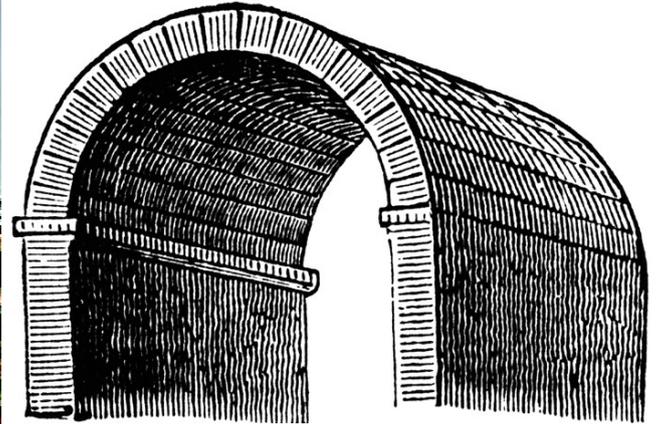
Compression seule, 1D+



Rosace, systèmes colonnes/arcs boutants...



Compression seule, 2D



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

Compression seule, 2D+



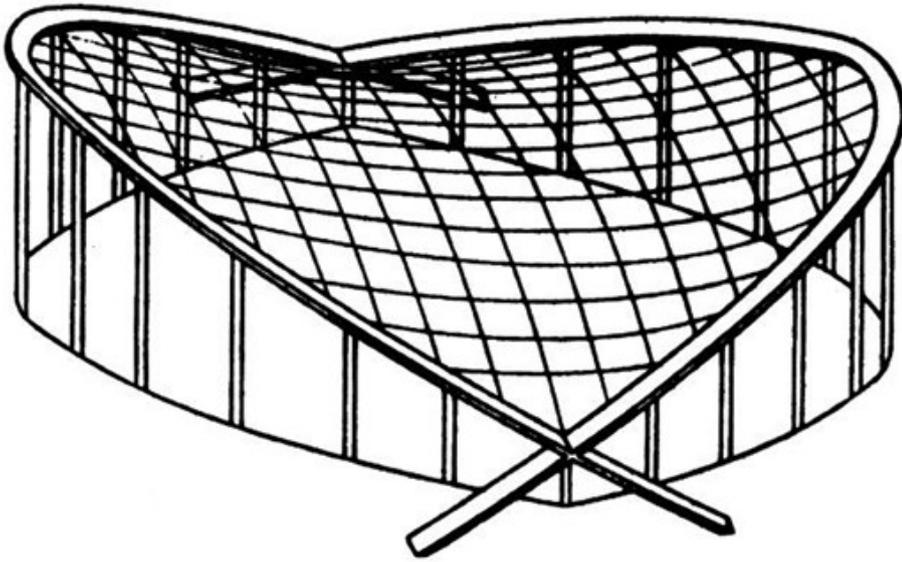
Système mur/contrefort...

Traction seule, 1D



Câbles (haubans ou caténares), cerclages...

Traction seule, 1D+

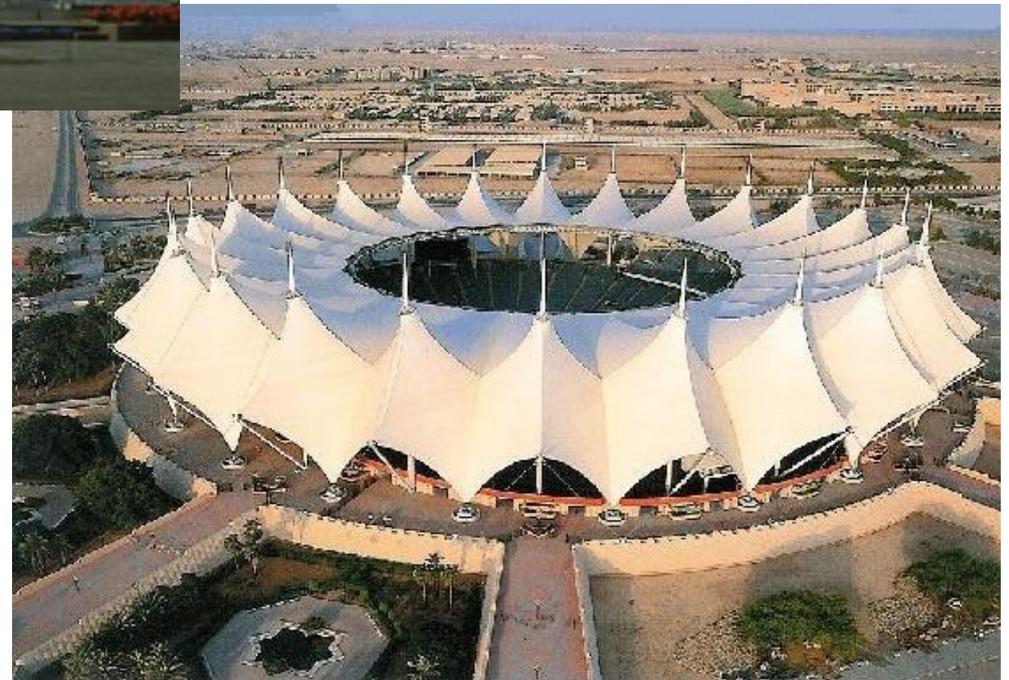


Nappes de câbles,
poutre câble...

Traction seule, 2D

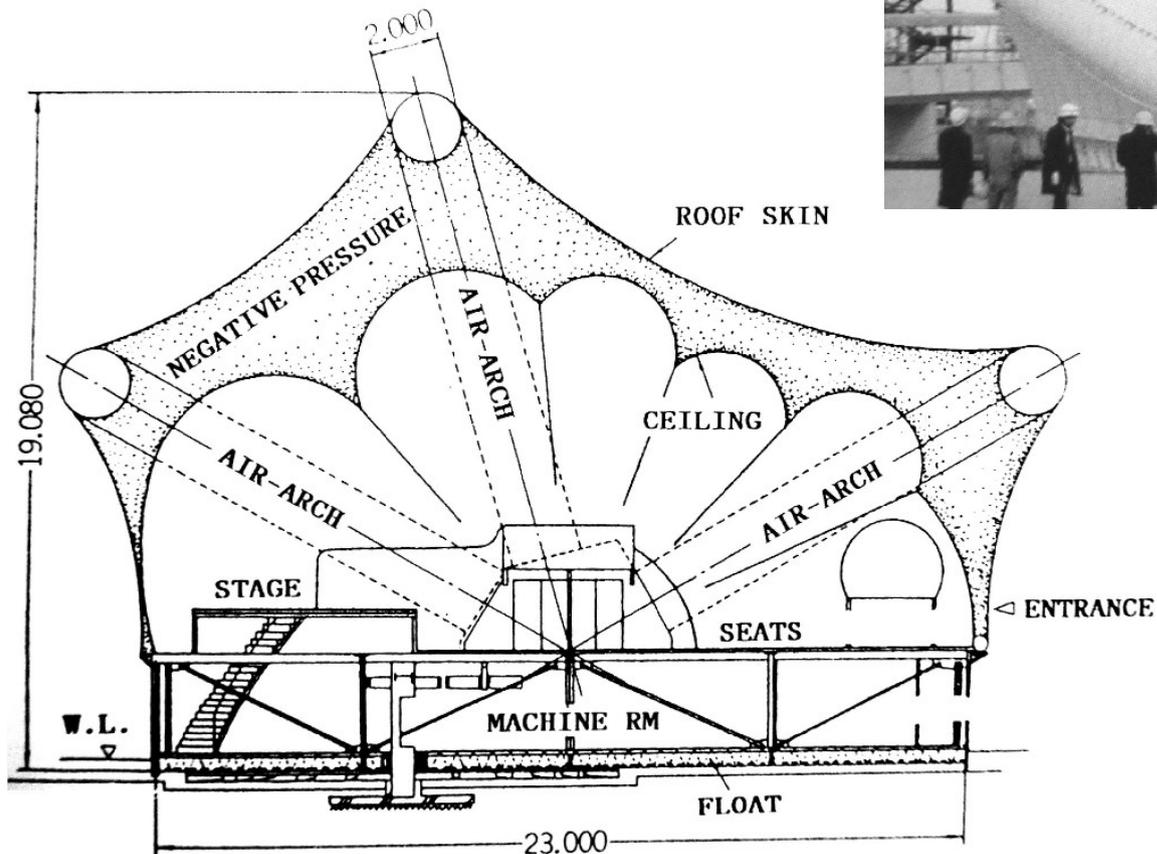
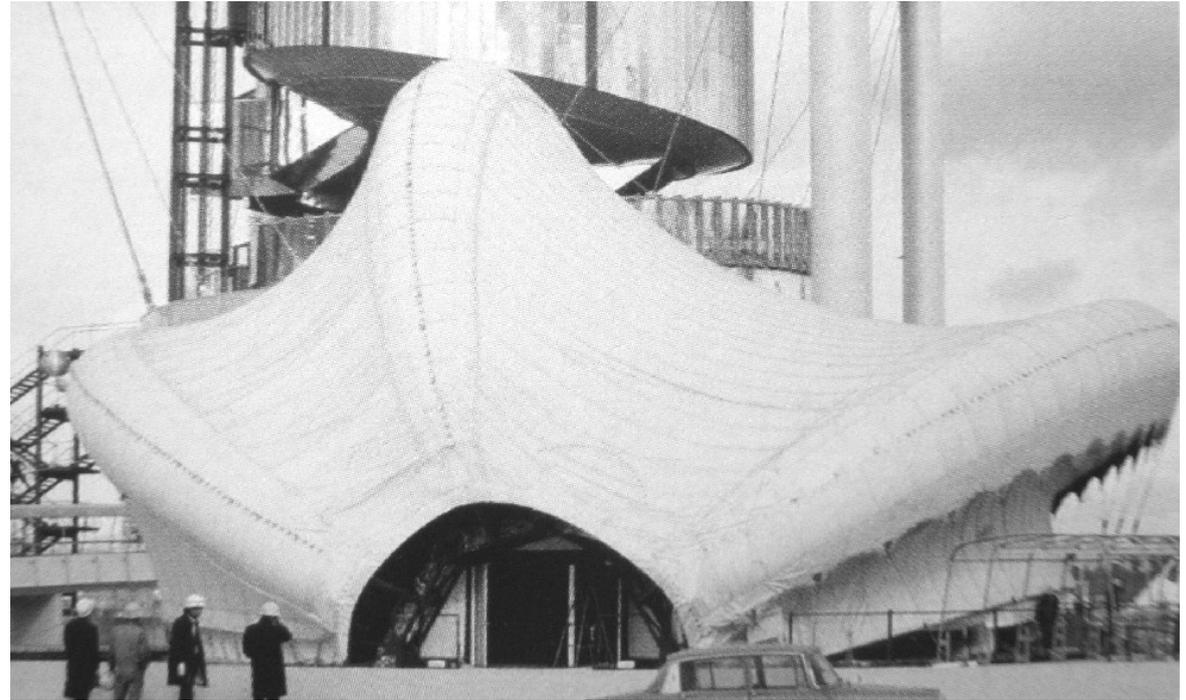


Toiles...



Traction seule, 2D+

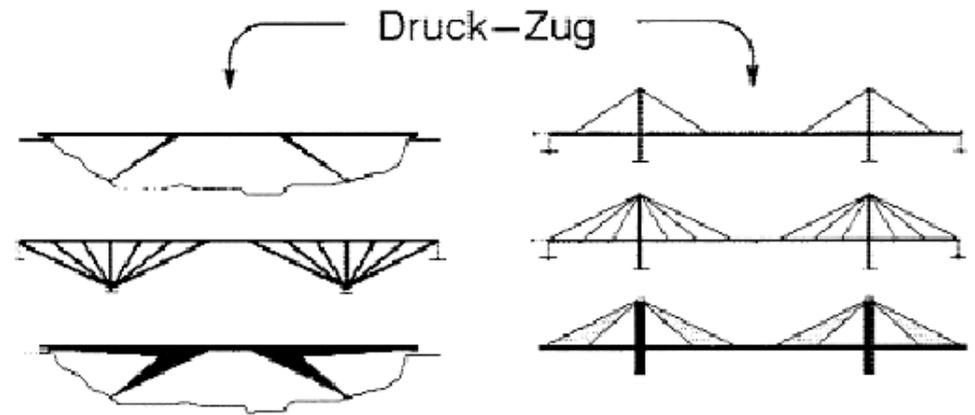
Electric power pavillon
Expo'70, Osaka, Japon
Ing. Kawaguchi



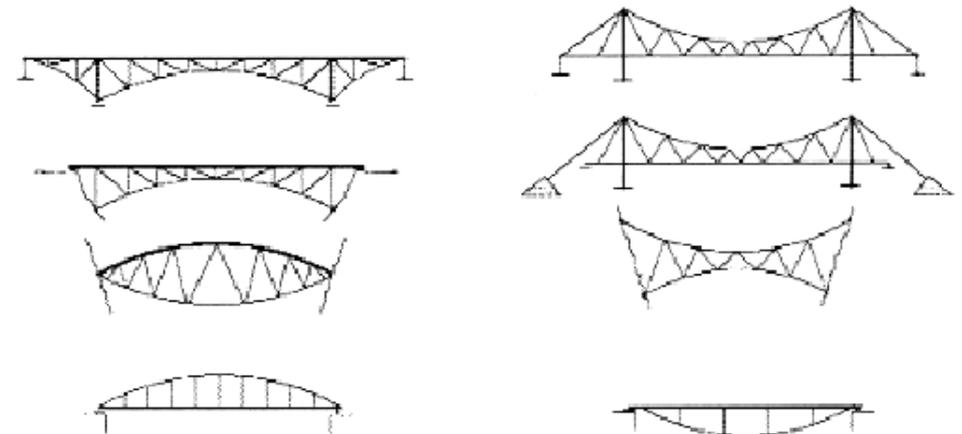
Toiles gonflables, sous
pression...

Systemes duaux : traction/compression *(d'après Jörg Schlaich)*

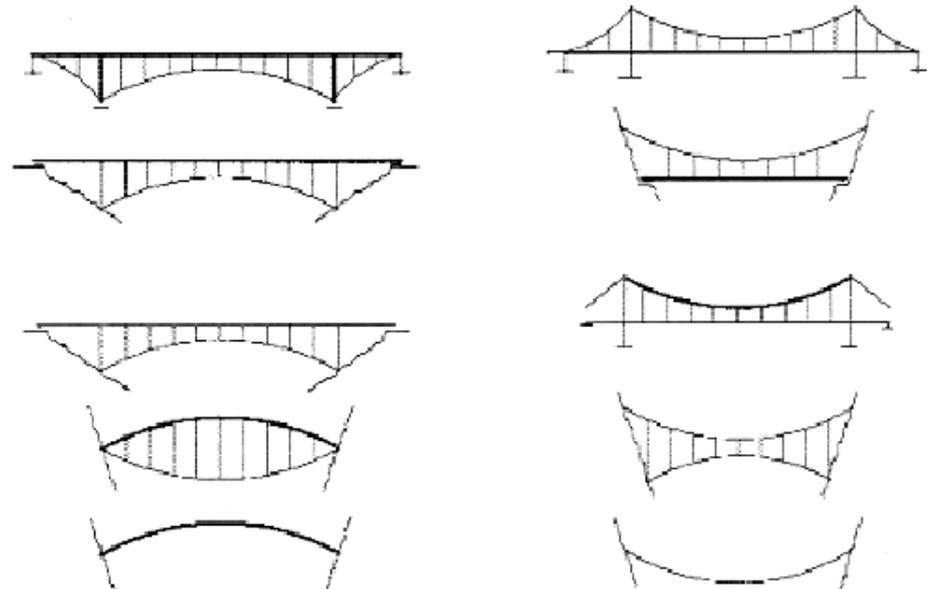
c |



d |



e |



Efforts normaux & efforts membranaires

Efforts normaux

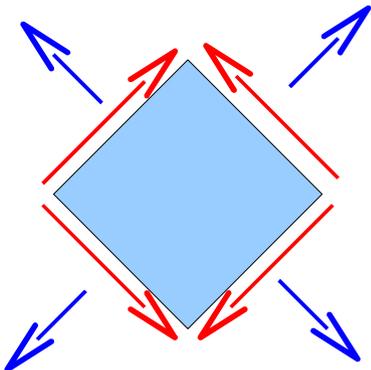
- Dans les éléments 1D: compression et traction



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

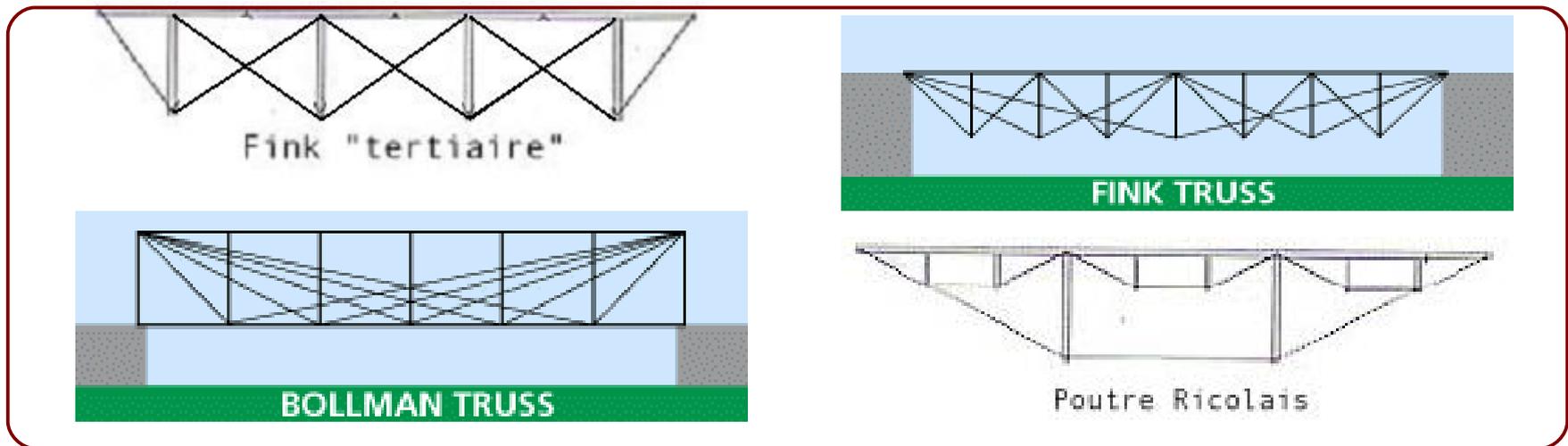
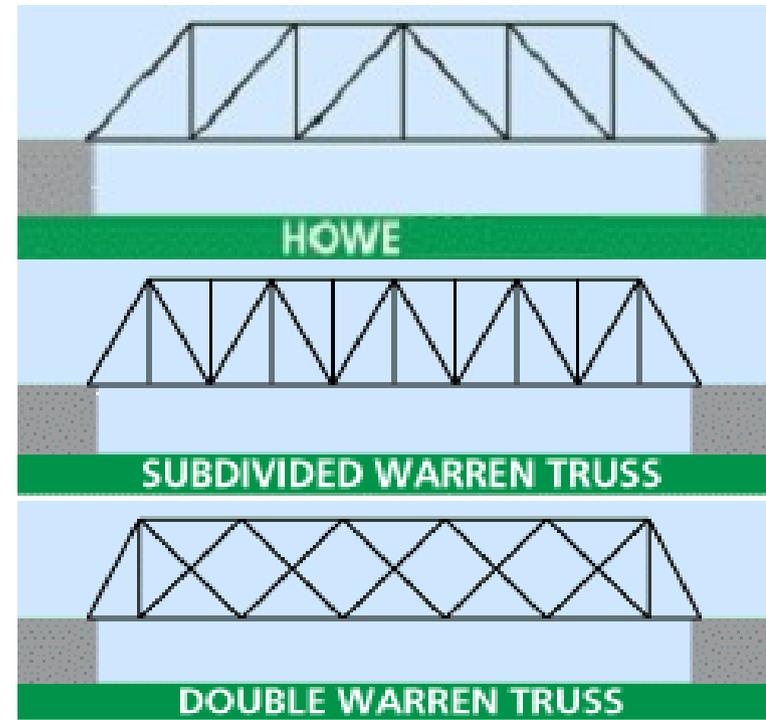
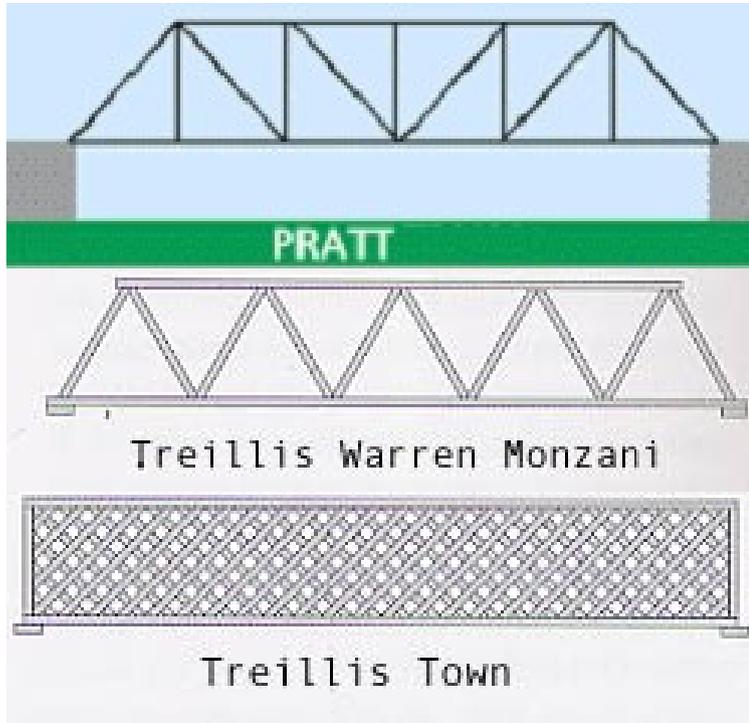
Efforts membranaires

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



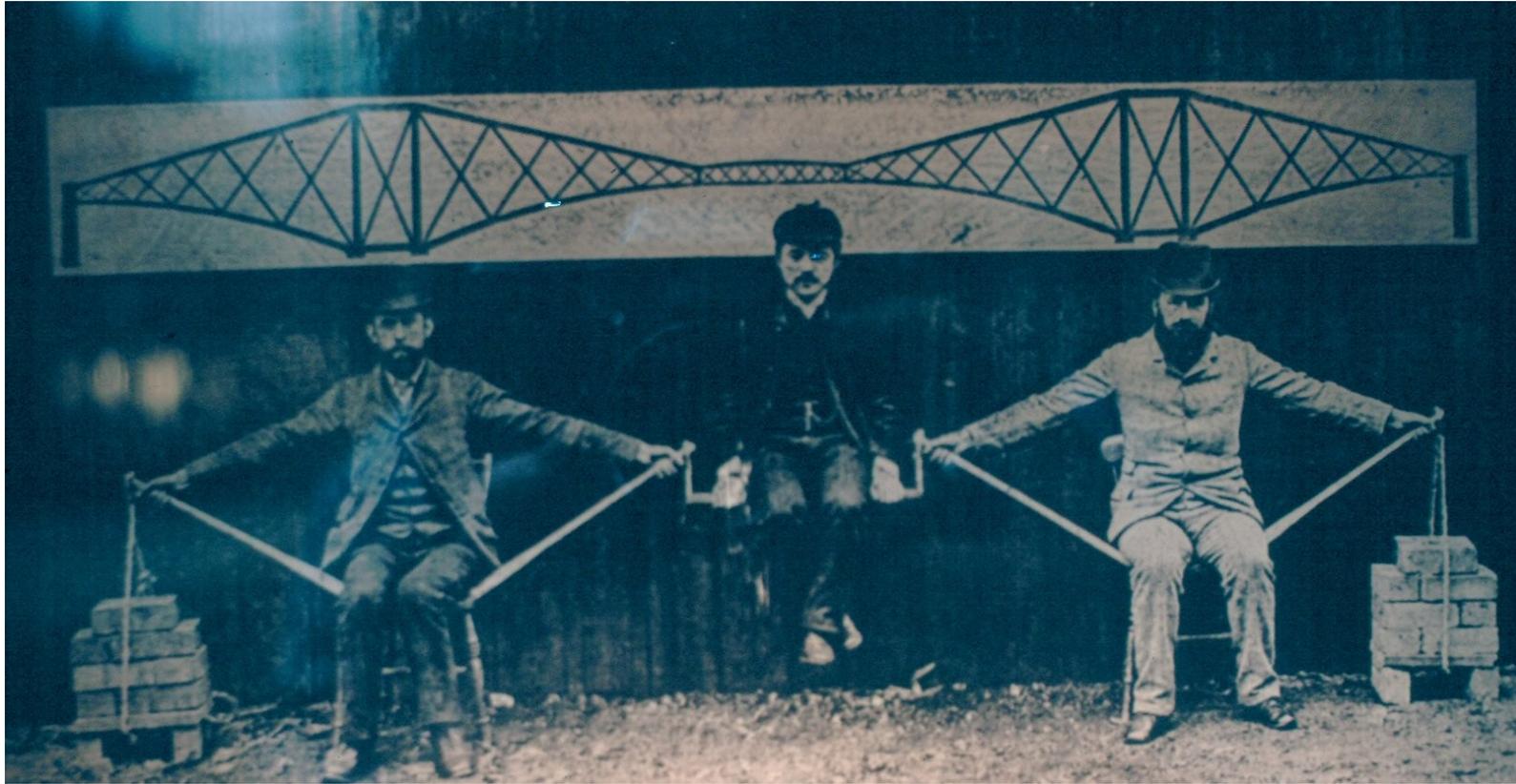
- Structures de types membranes

Compression & traction, 1D+



Compression et traction différenciée...

Compression & traction, 1D+

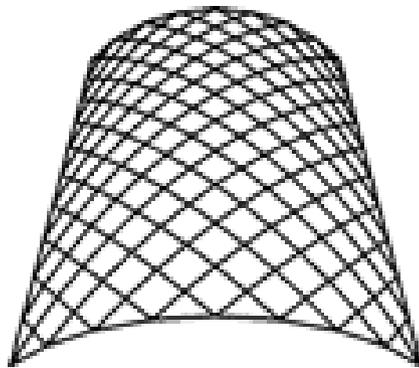


Composition 1D+:

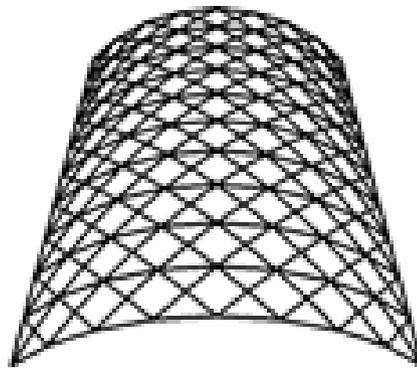
compression & traction + compression seule



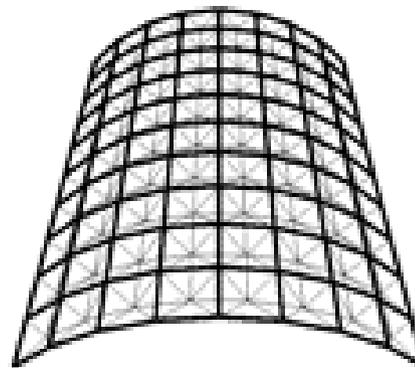
Compression & Traction, 1D++



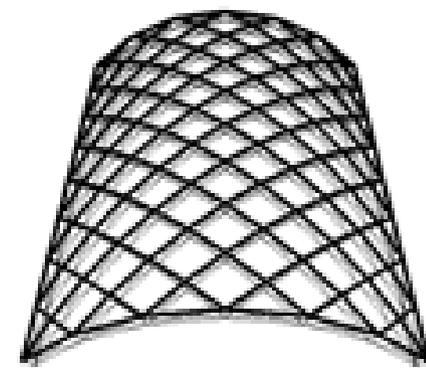
(a) Lamella (diagonal) barrel vault



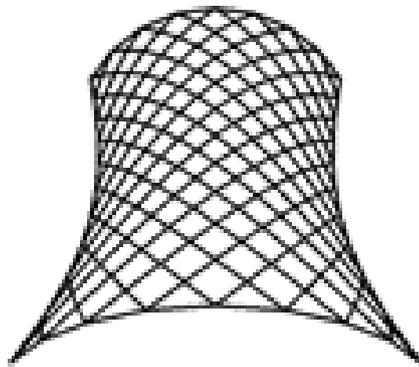
(b) Three-way barrel vault



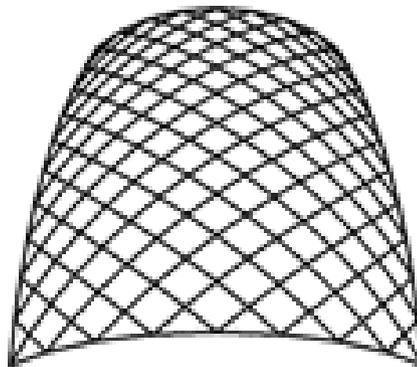
(c) Two-way on two-way double layer barrel vault



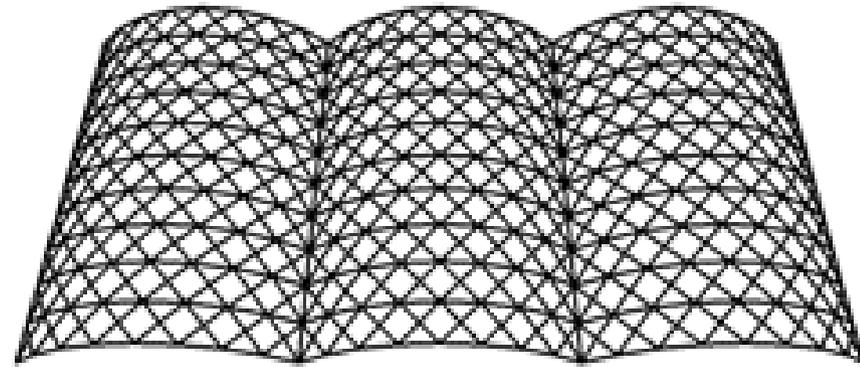
(d) Lamella (diagonal) truss barrel vault



(e) Hyperboloidal lamella barrel vault



(f) Ellipsoidal lamella barrel vault



(g) Compound three-way barrel vault

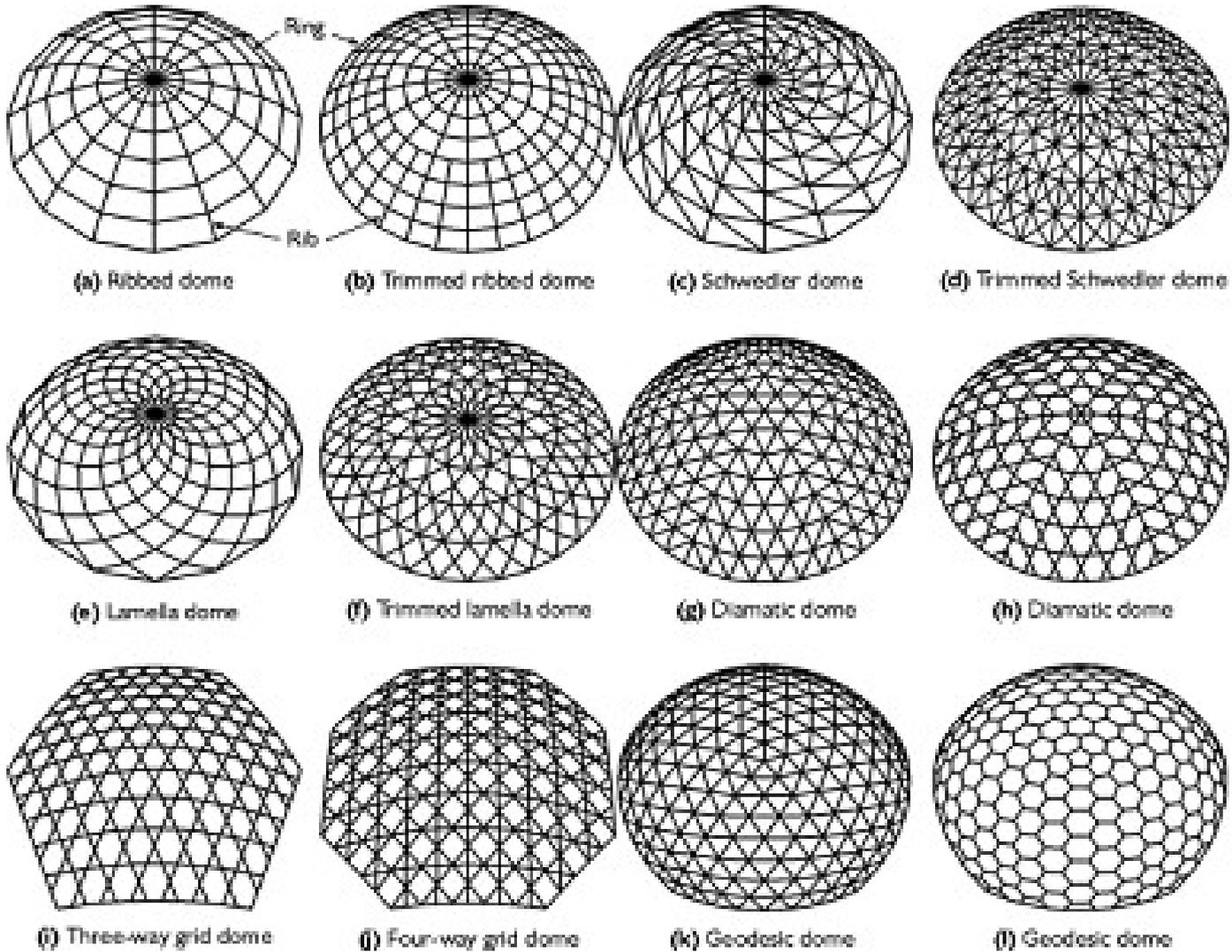
Gridshell, voûtes réticulées...



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

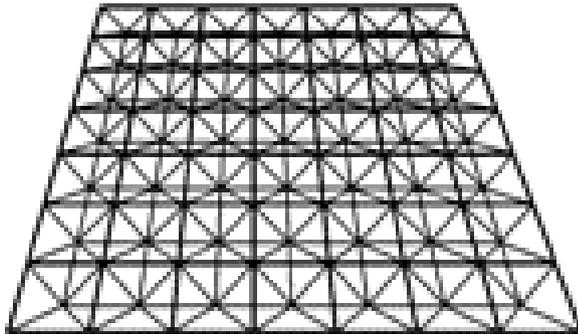
Compression traction différenciée...

Compression & Traction, 1D++

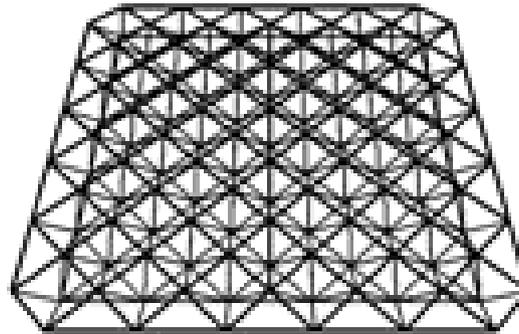


Gridshells ou dômes réticulés, géodésiques...

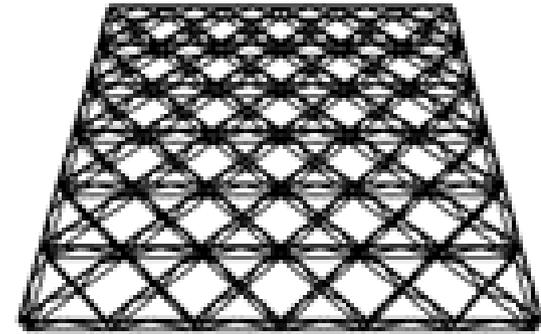
Compression & traction 1D++



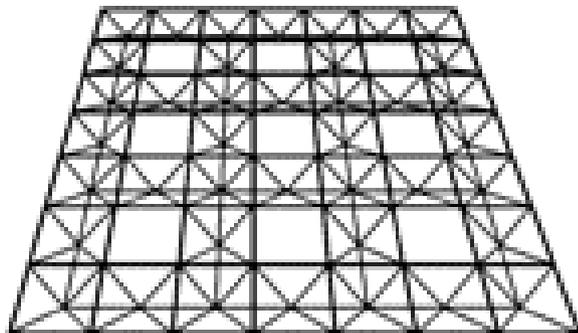
(a) Two-way on two-way grid



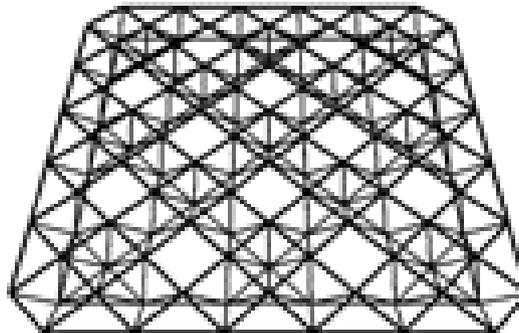
(b) Diagonal on diagonal grid



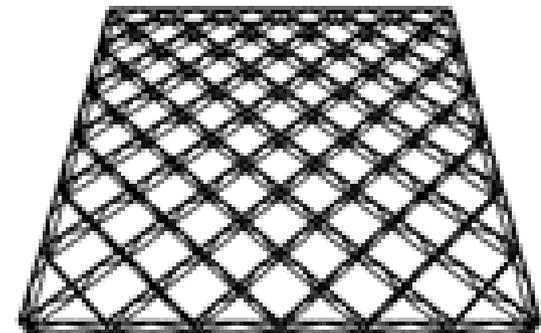
(c) Three-way truss grid



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



(e) Reduced diagonal on diagonal grid

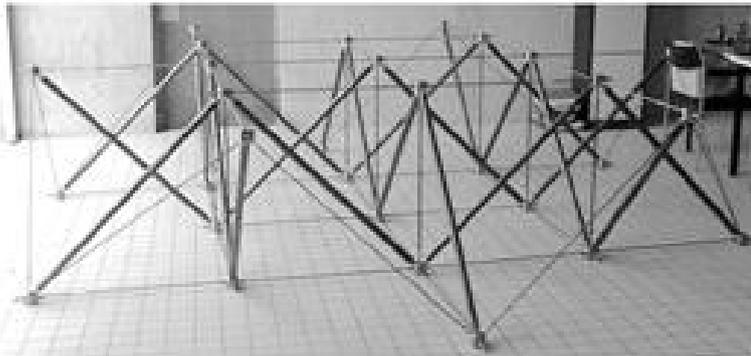
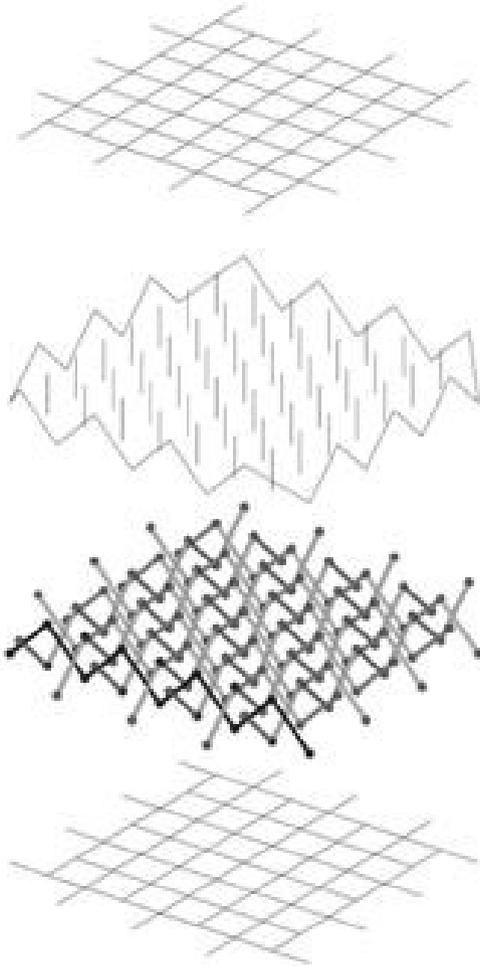


(f) Diagonal truss grid

Treillis spatiaux...

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

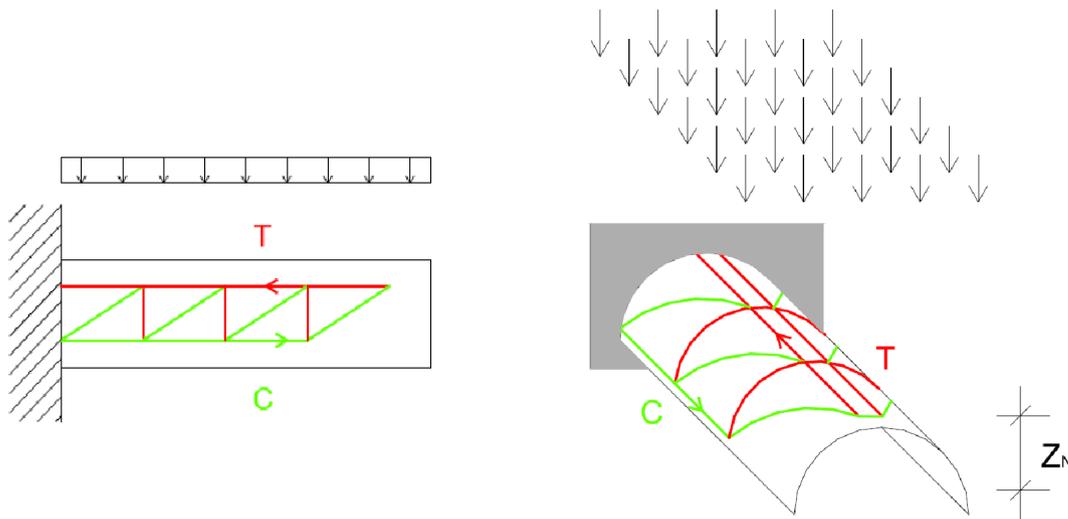
Compression & traction 1D++



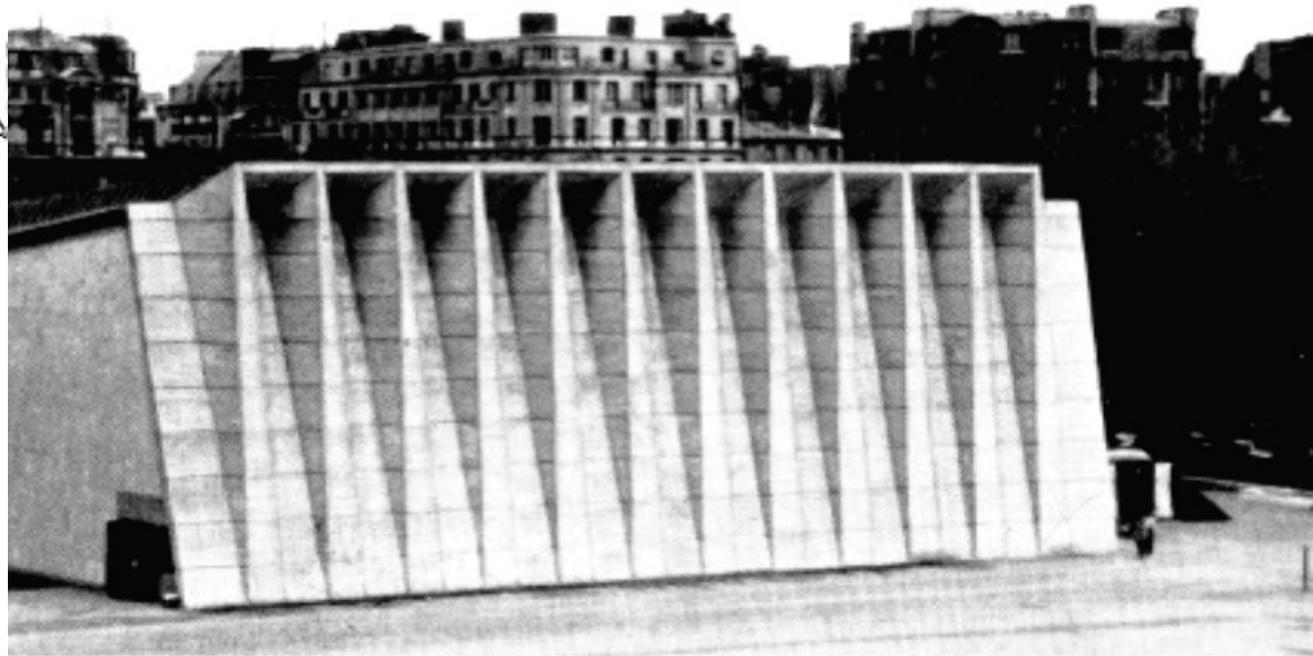
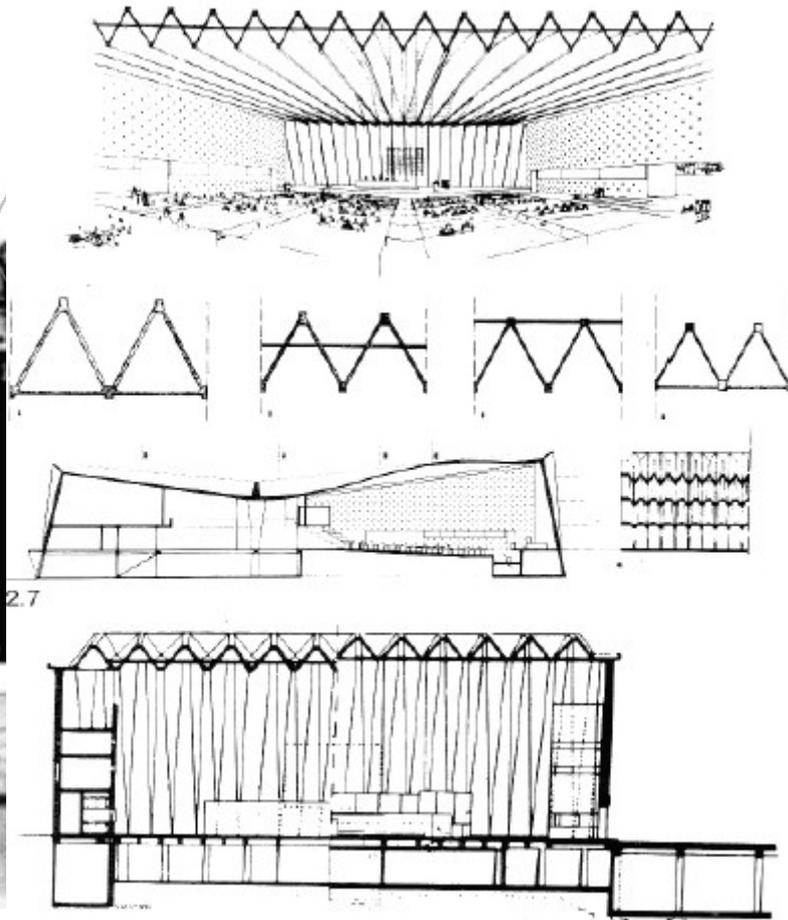
Compression & traction & cisaillement, 2D



Voiles & coques minces...



Compression & traction & cisaillement, 2D+



Structures plissées...

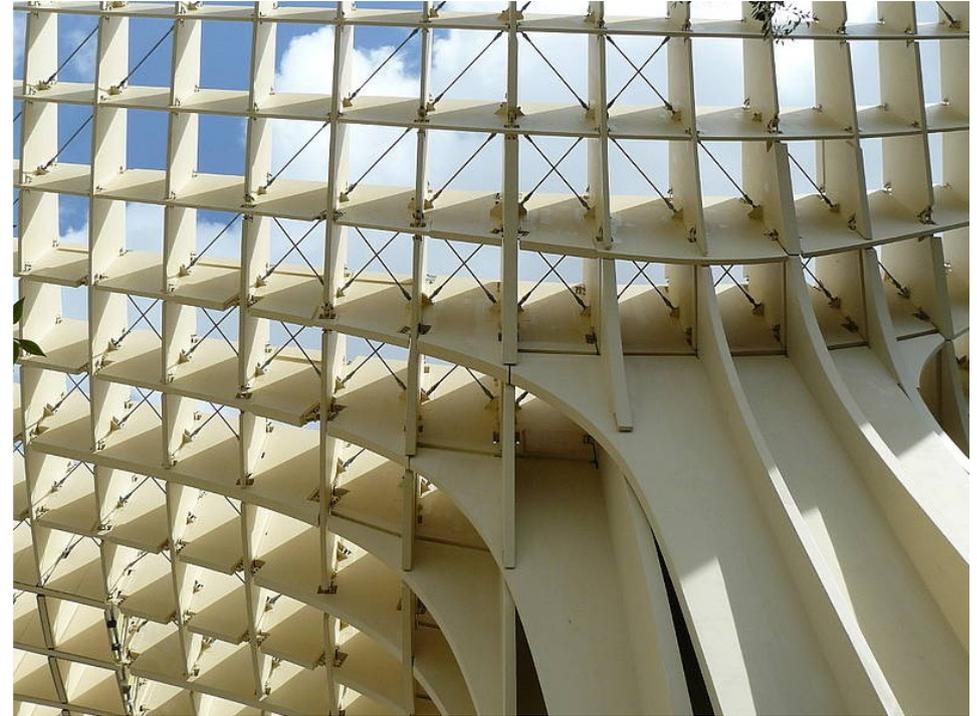
Compression & traction & cisaillement, 2D+



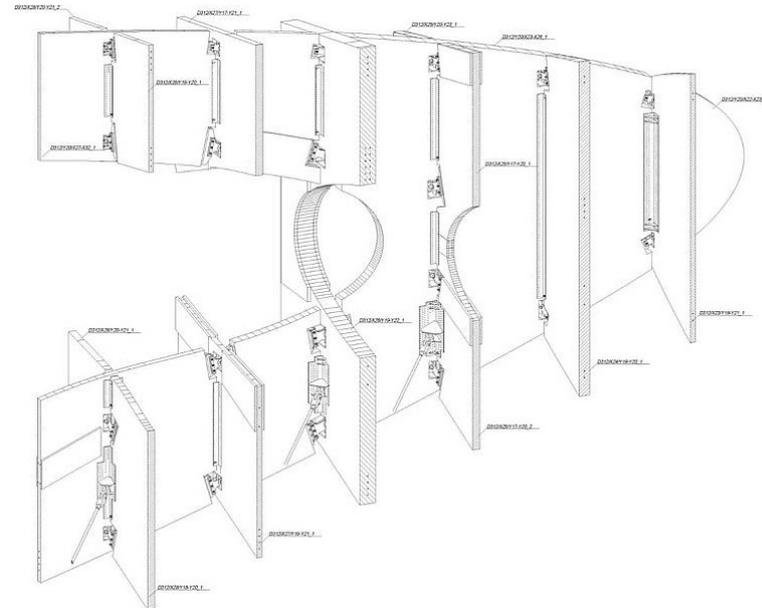
Caisson (pour torsion)...



Compression & traction & cisaillement, 2D+



Metropol parasol, Séville, 2011...



Flexion (avec autres efforts), 1D



Poutres

Poutre isostatique



Poutre hyperstatique, travées multiples



Portique



Arc à trois articulations

Flexion (avec autres efforts), 1D+

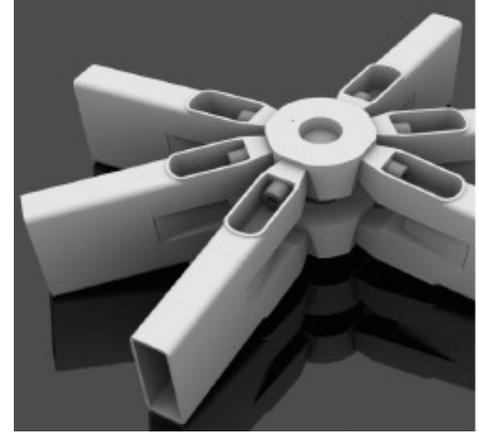


Ossature, grille de poutres...



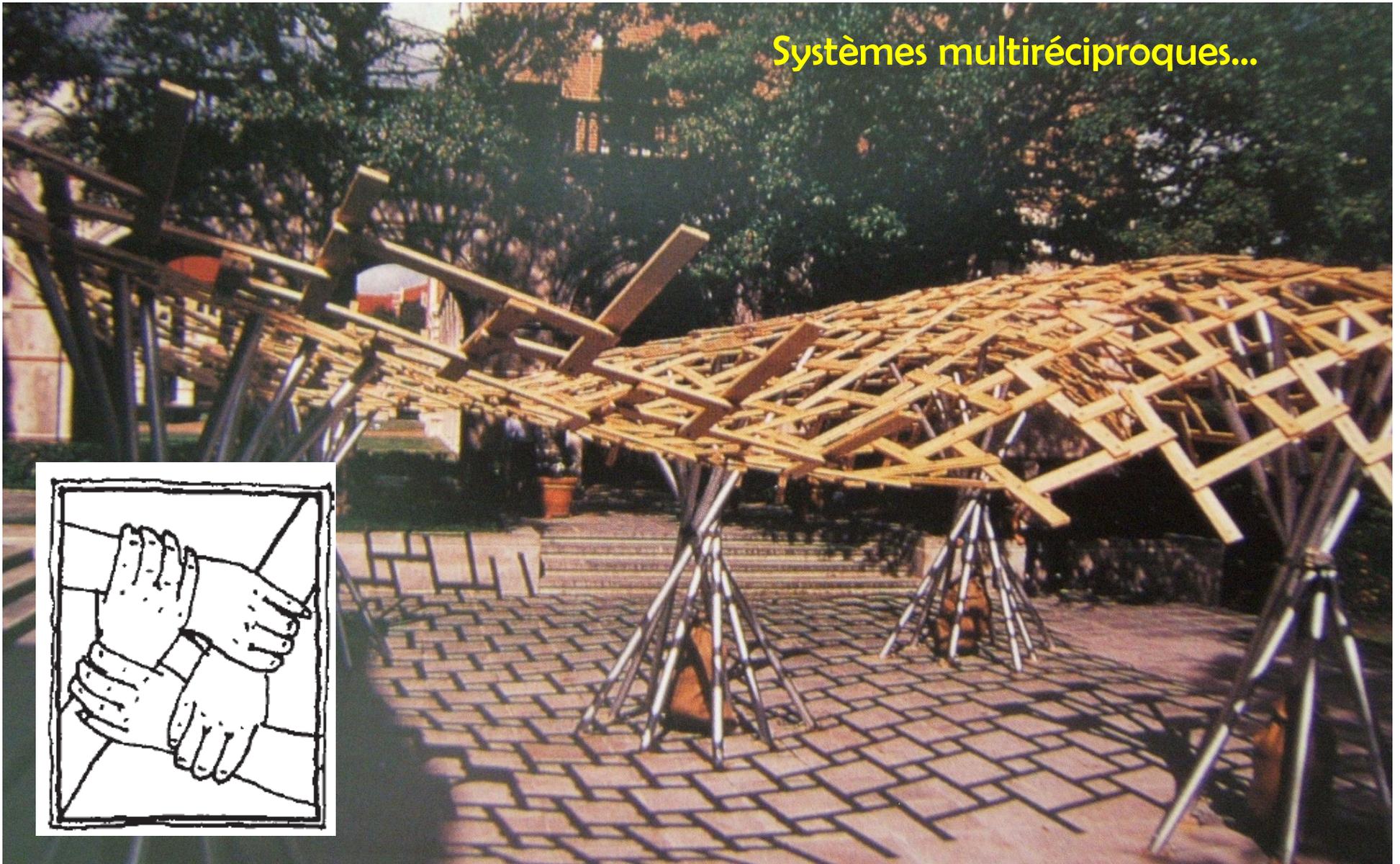
Flexion, 1D+

Gridshell
Sans mise en forme
...et avec



Flexion, 1D+

Systemes multiréciproques...



Flexion, 2D



Dalles,
coques épaisses...



Classement opérationnel

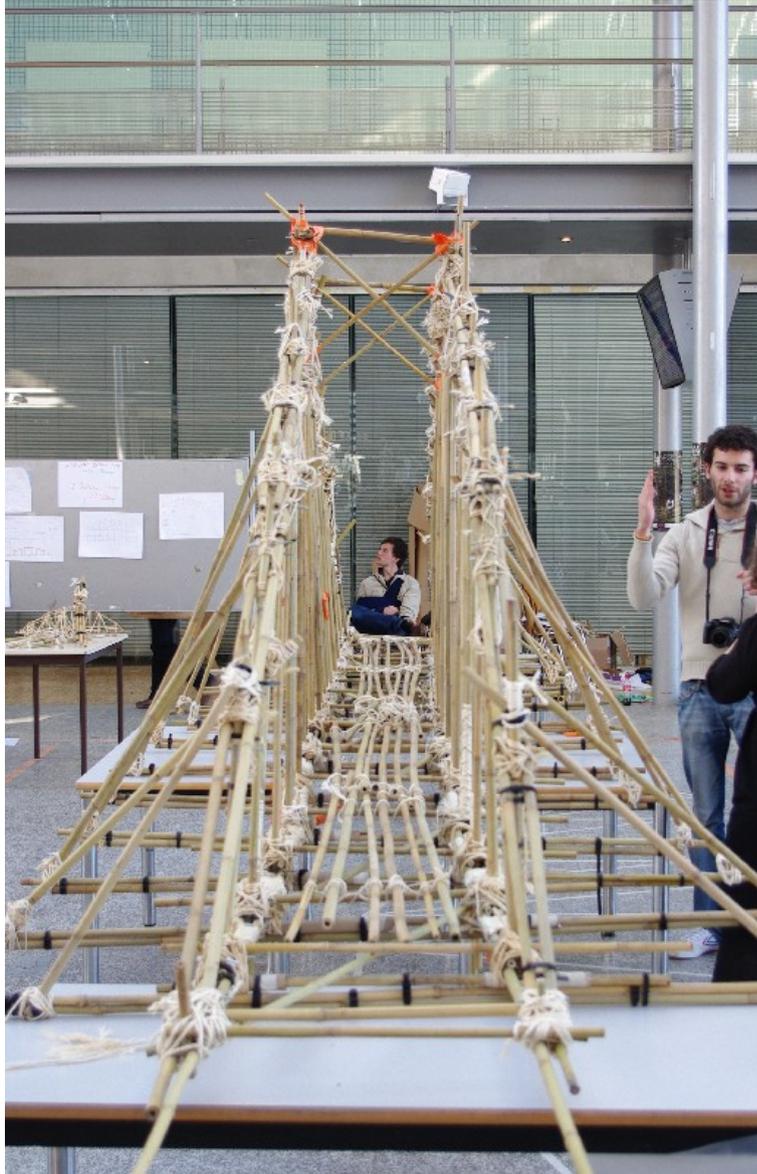
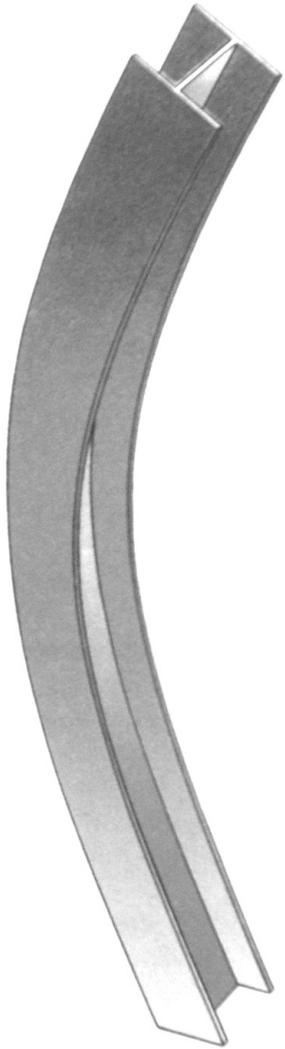
Performances requises pour les structures :

- 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 ... arches	—	câbles (caténaïres)	poutres sous tendues
	remplages et rosaces	treillis divers sous tendus	nappes de câbles synclastiques	ossatures entrelacées
	murs, voûtes	—	—	dalles sous tendues
pneumatiques	—	—	—	poutres tensairités
	—	—	toiles et câbles	—
	—	—	toiles 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