

# MATÉRIAUX COMPOSITES POUR STRUCTURES ET ENVELOPPES DE BATIMENT, Focus sur la cathédrale éphémère de Créteil

Jean-François CARON

PhD student, Assistant Professor, Professor : UMR Navier Ecole des Ponts ParisTech

Lionel DU PELOUX

Engineer : T/E/S/S & UMR Navier

Navier

# Mécanique et physique des matériaux, des structures et des géomatériaux

Génie civil

Environnement et développement durable

Énergie et transports

*Expérimentations, Imagerie,  
Modélisation, Changement d'échelles,  
Simulation*

184 personnes, 6 équipes

58 chercheurs (dont 34 HDR): 27 ENPC, 18 IFSTTAR, 5 CNRS,  
+8 autres

19 ingénieurs et techniciens: 8 ENPC, 6 IFSTTAR, 5 CNRS

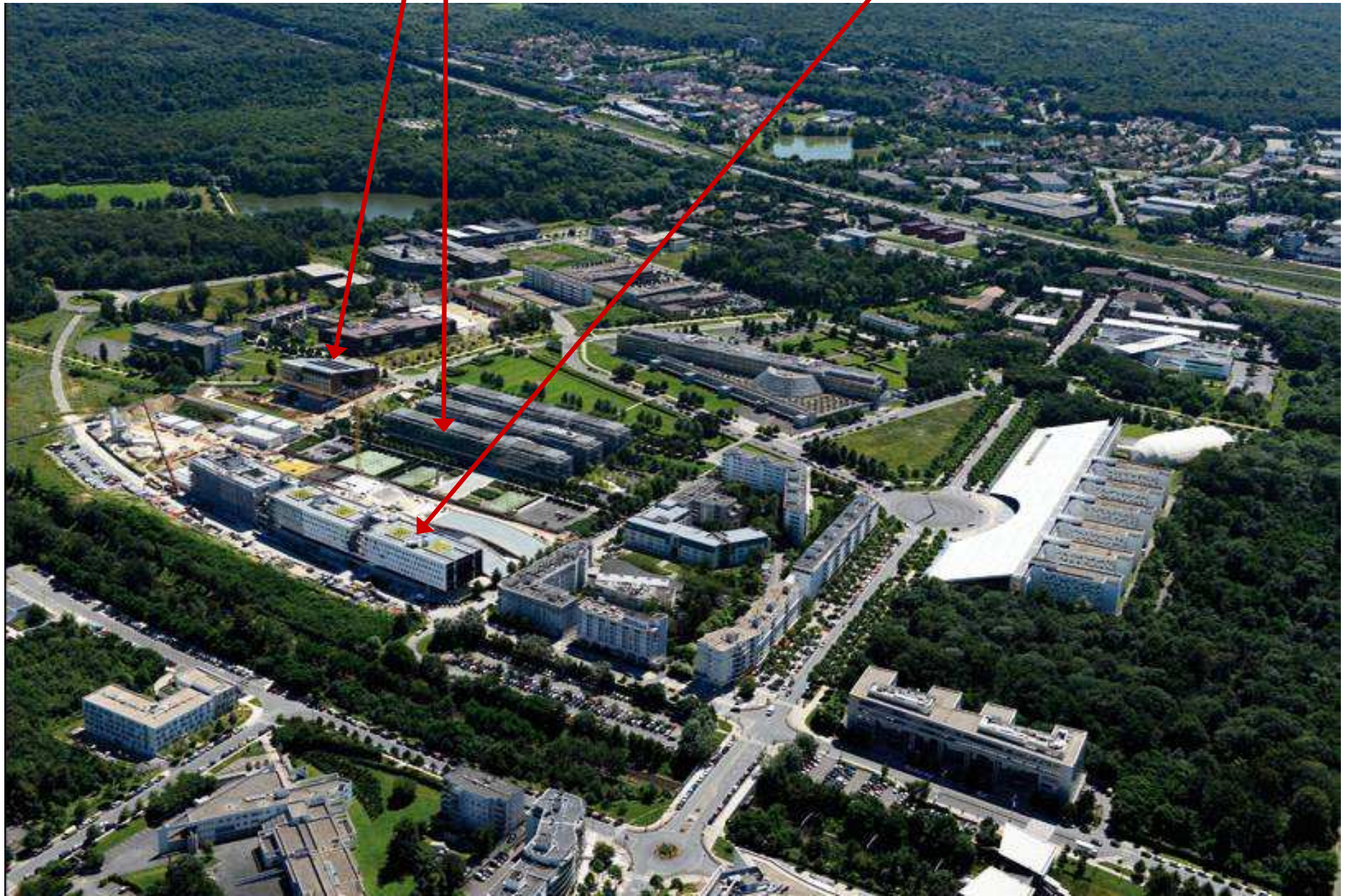
8 personnels administratifs : 5 ENPC, 1 IFSTTAR, 2 CNRS

88 doctorants

11 post doctorants

Ecole des Ponts ParisTech

IFSTTAR (ex LCPC/INRETS)



**Cité Descartes Champs sur Marne**

AFGC Nov. 2014

# Composites

- **Propriétés mécaniques:**

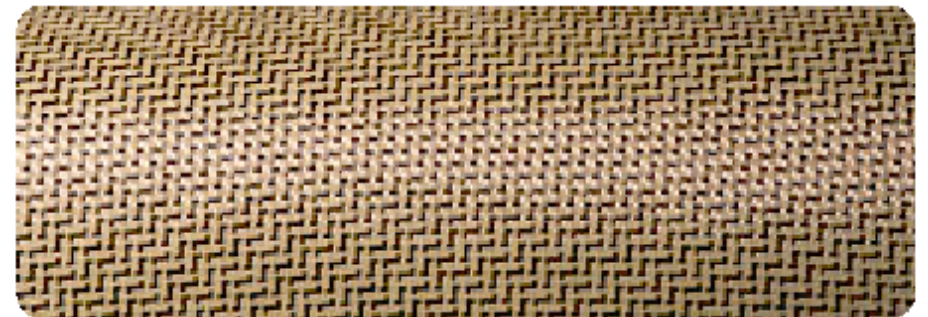
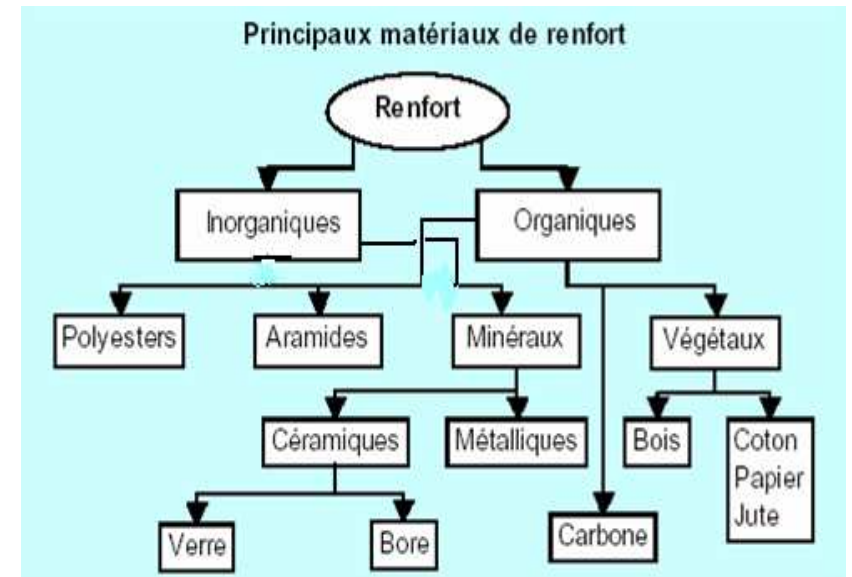
- ☐ rigidité et résistance élevées combinés à une faible densité
- ☐ grande résistance à la fatigue et à la corrosion
- ☐ haute résistance aux influences des produits chimiques
- ☐ stabilité du dimensionnement
- ☐ Faible conductivité thermique

- **Fonctionnalités:**

- ☐ préfabrication haut de gamme en usine
- ☐ finitions de surface sur mesure
- ☐ possibilité d'intégration de fonctions

# Composites

Des fibres...

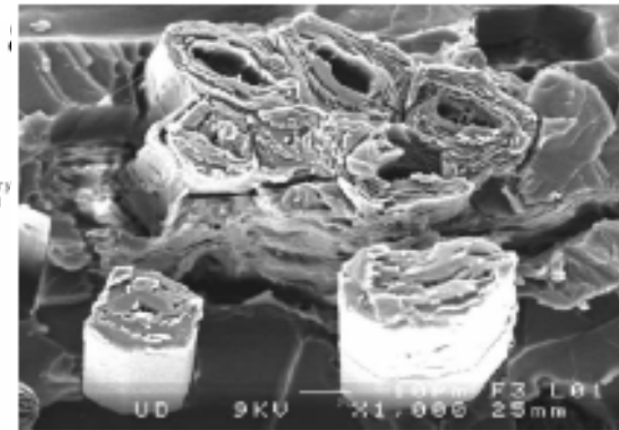
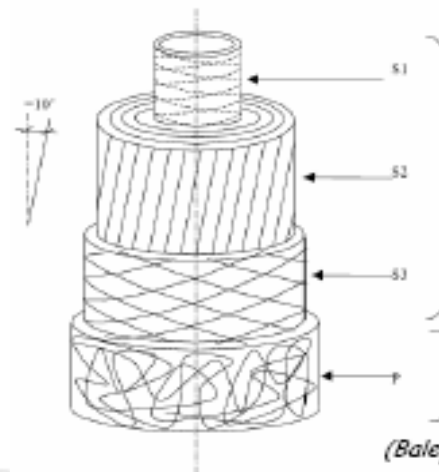


...+ une résine

# Composites

## Fibres naturelles

- Lin
- Chanvre
- Raphia
- Cactus



(Baley, Composites Part A 33 - 2002 - L2P)

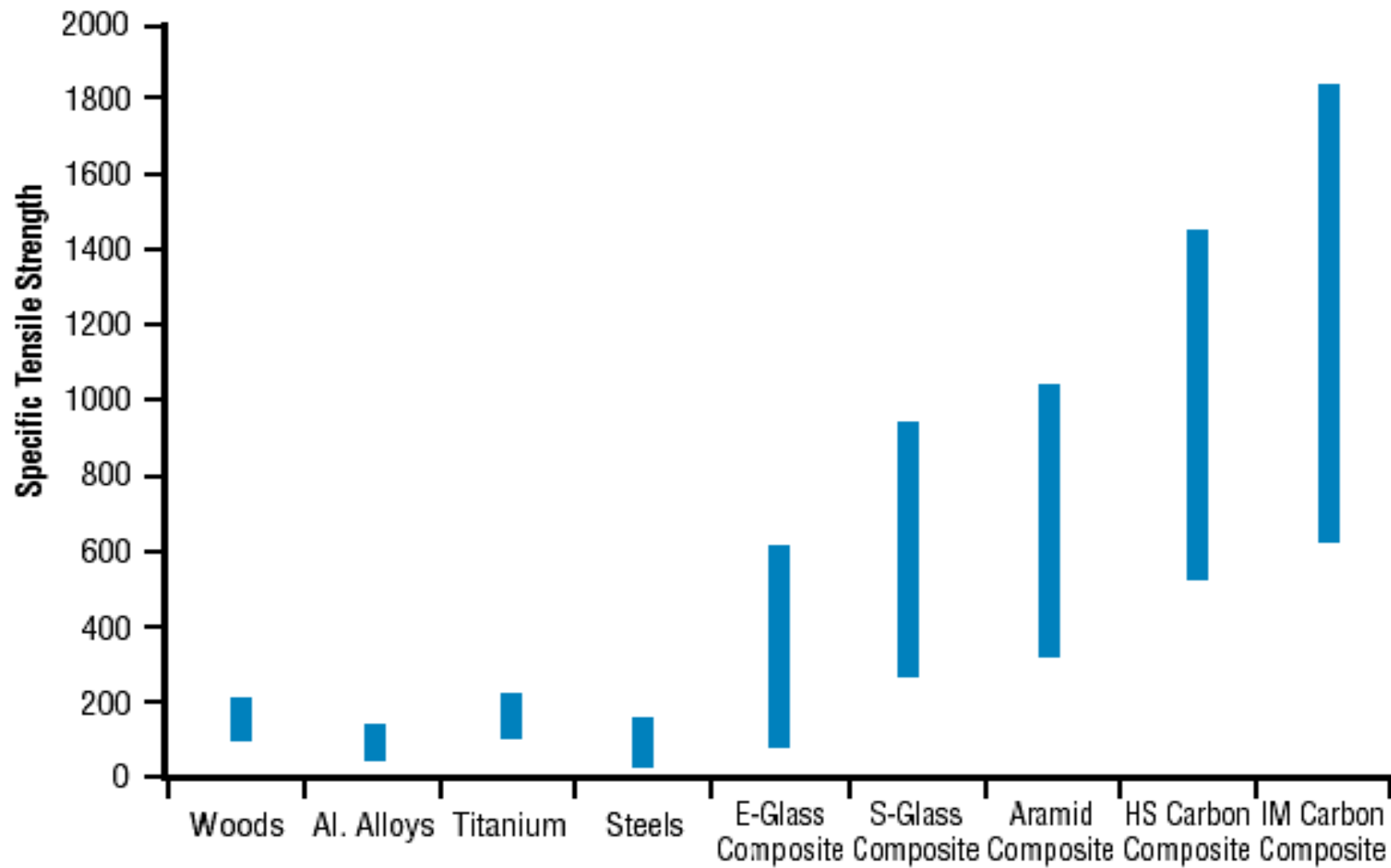
**Table 3: Typical specific strength properties, cost and energy content of synthetic and plant fibres**

|              | Specific Gravity | Specific Tensile Strength GPa | Specific Tensile Modulus GPa | Cost US\$/Tonne | Energy Content GJ/Tonne |
|--------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Plant fibres | 0.6-1.2          | 1.60-2.95                     | 10-130                       | 200-1000        | 4                       |
| Glass        | 2.6              | 1.35                          | 30                           | 1500-2000       | 30                      |
| Kevlar       | 1.4              | 2.71                          | 90                           | 4000-6000       | 25                      |
| Carbon       | 1.8              | 1.71                          | 130                          | 8000            | 130                     |

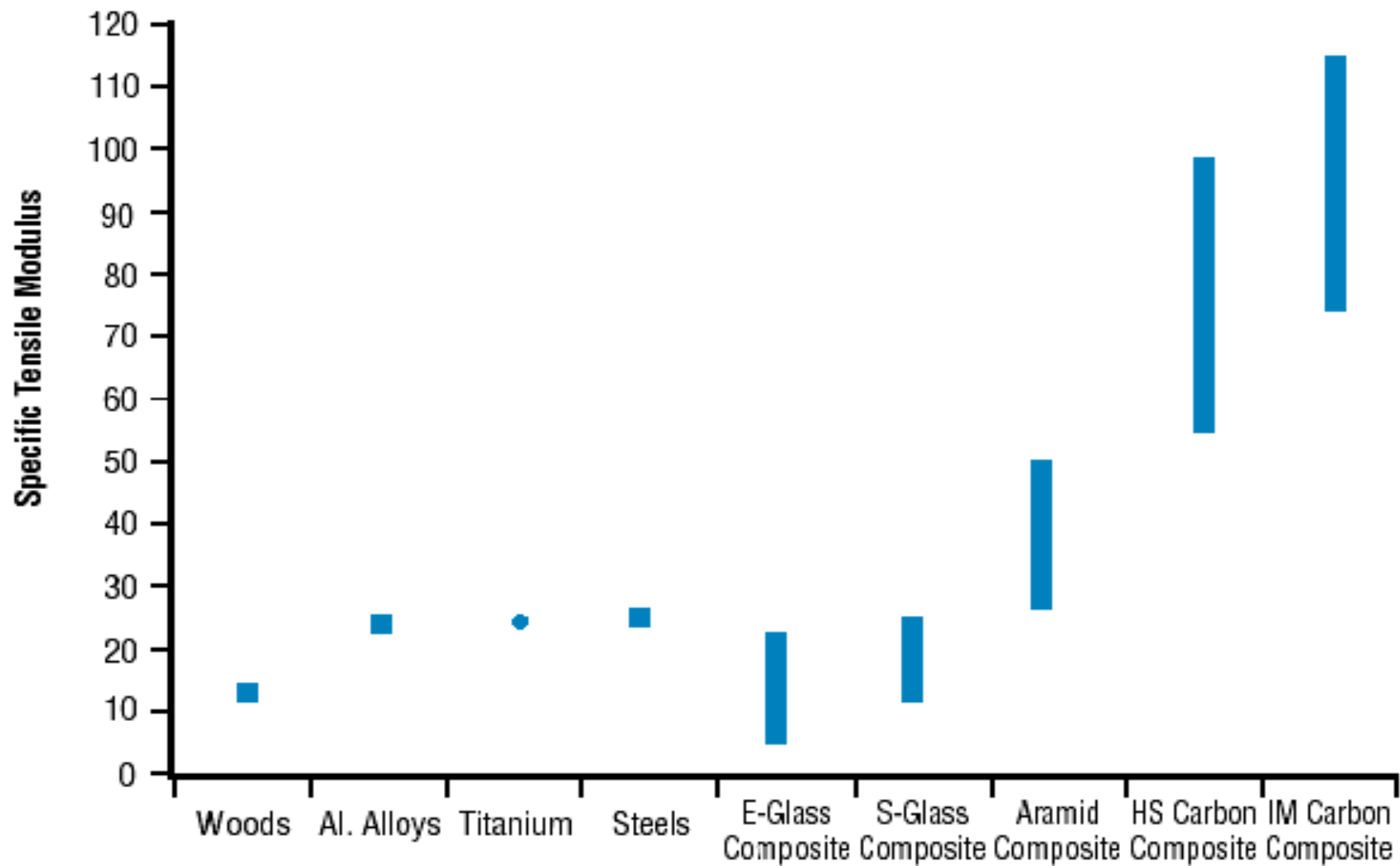
Source: Bolton (1994), updated



*Caractéristiques comparées des différentes fibres synthétiques et végétales*



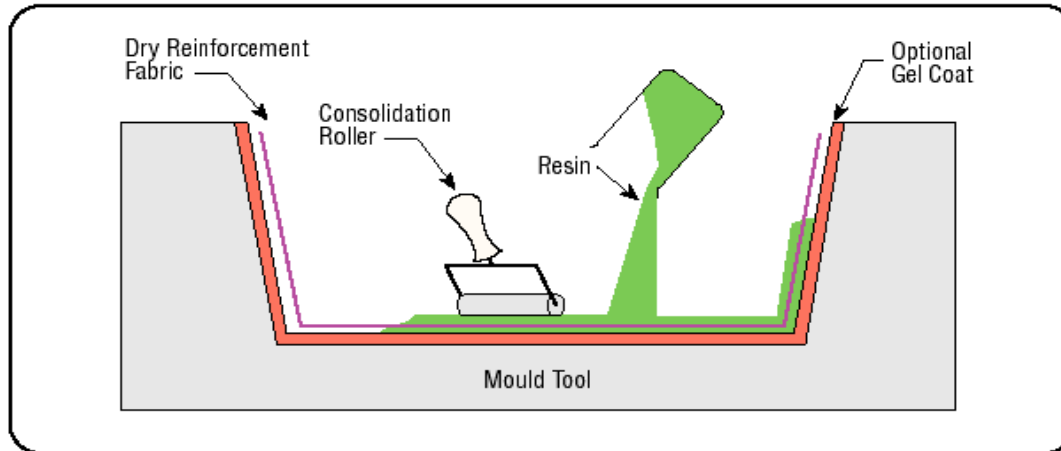
**Specific Tensile Strength of Common Structural Materials**



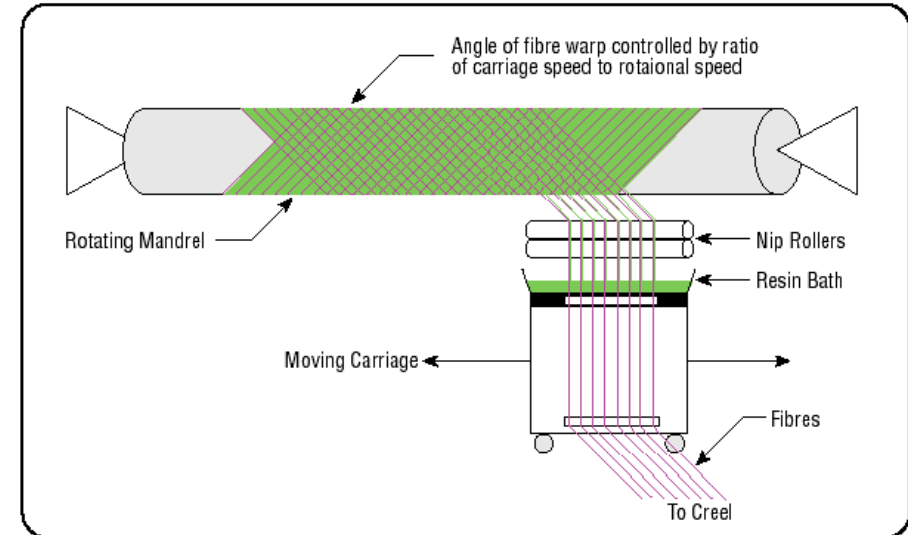
**Specific Tensile Modulus of Common Structural Materials**

# Technos de mise en œuvre

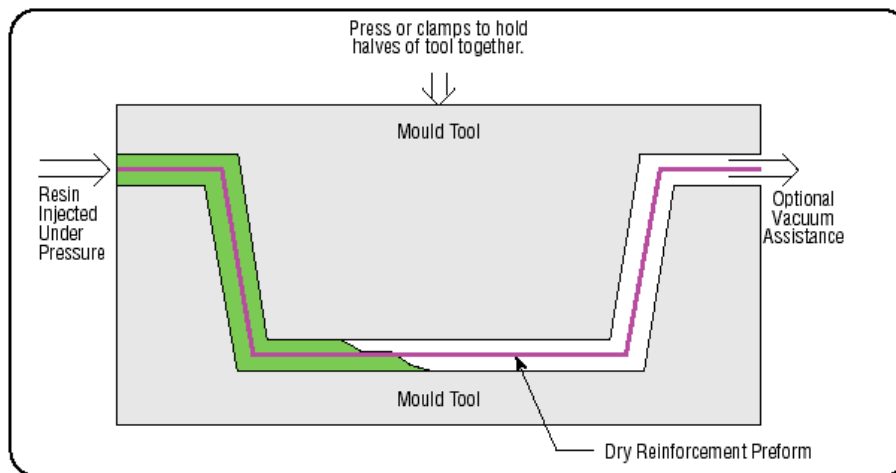
## Moulage au contact



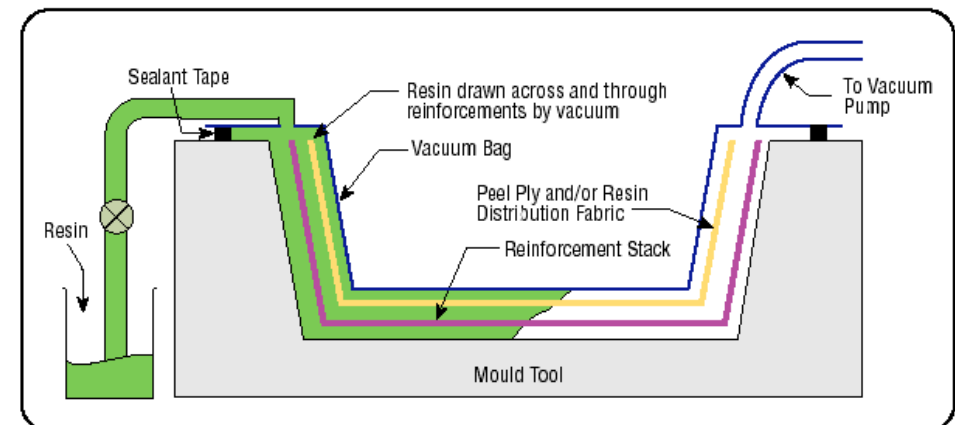
## Enroulement Filamentaire



RTM

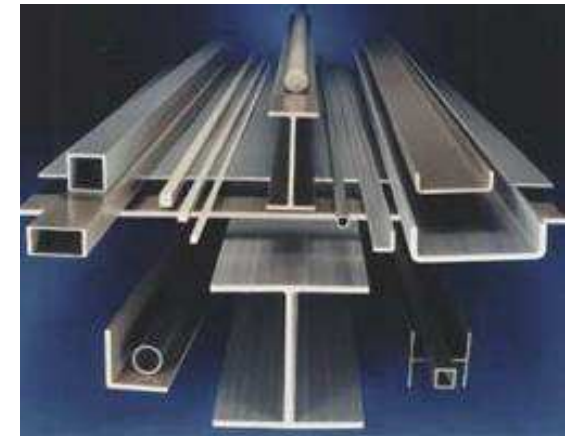
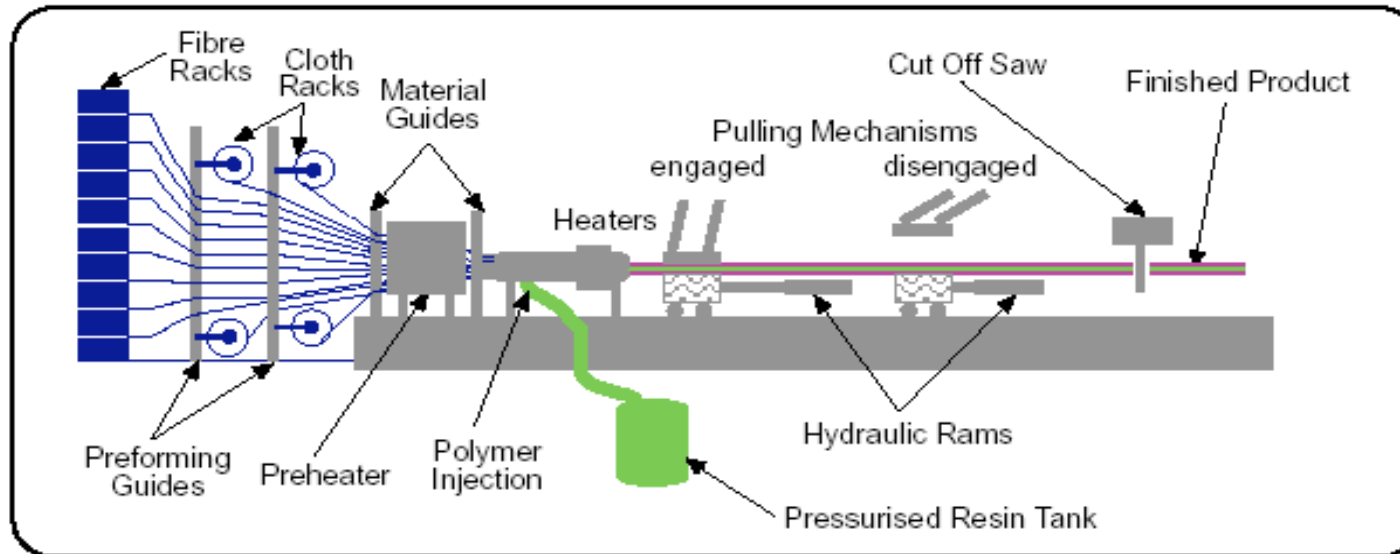


## Infusion



# Technos de mise en œuvre

## Pultrusion



- Formage de profilés
- Fibres dans l'axe
- « au km » = prix bas
- polymérisation en température
- 70% taux de fibre
- 0.5 à 3m / min



# Technos de mise en œuvre

## Pré-imprégnés



## Panneaux sandwichs



Martin Marietta



Kansas Structural Composite



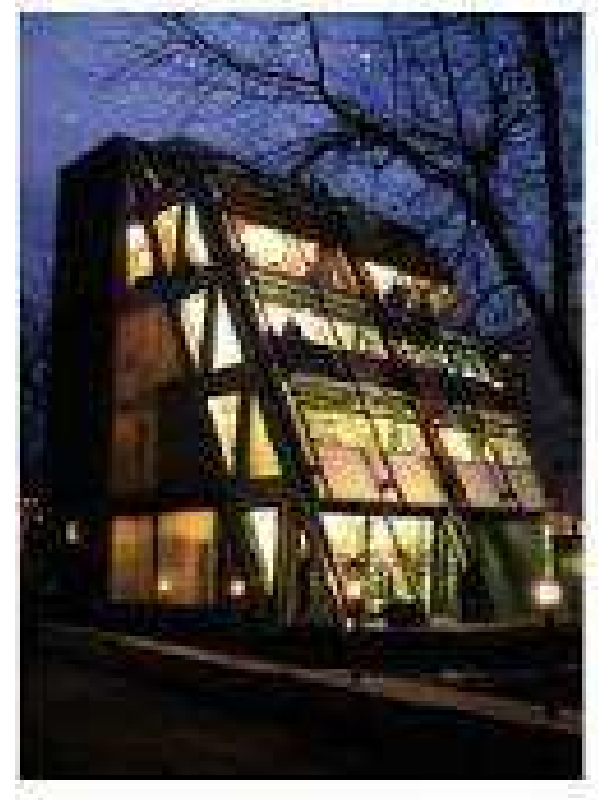
Hardcore Composites

# Composites pour la construction, des atouts, des écueils...



# Les moteurs actuels

- Légèreté
- Design, richesse formelle
- Préfabrication
- Comportement thermique
- Résistance corrosion
- Souplesse+résistance

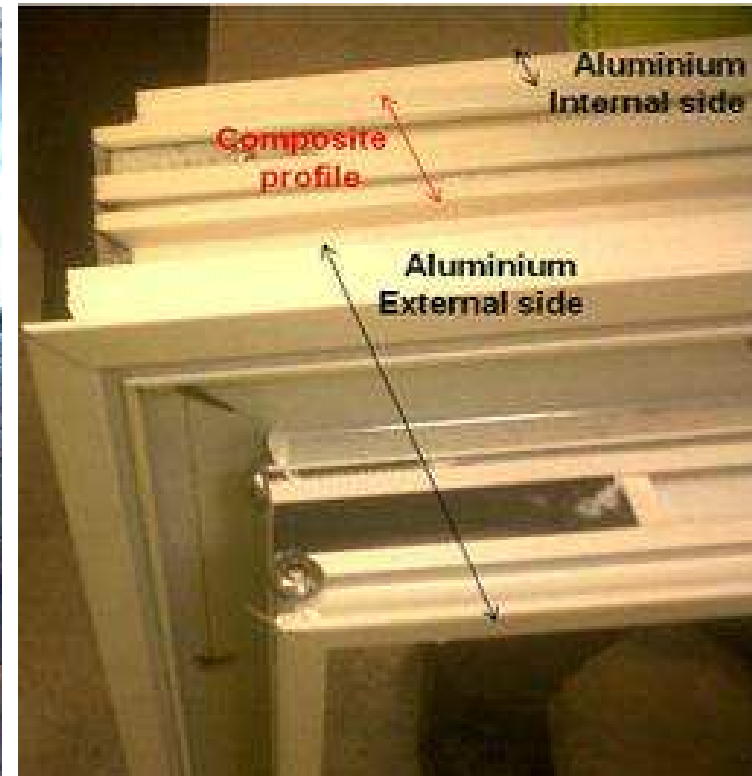


# Quelques freins et verrous restants

- + Normes et réglementations
  - + Durabilité
  - + Calcul
  - + Innovations en rupture
- 
- « Les classiques »: feu, environnement, prix



# Focus Thermique



Projet COFAHE (CSTB, Goyer, St-Gobain, Exel, Navier, 2012)

- Cadres pultrudés, géométrie complexe
- Panneaux sandwich optimisés
- Matériaux à changement de phase (Energain®, Du Pont de Nemours™)
- Isolants sous vide (Vacupor NT-B2, Porextherm)
- Conception intégrée

# Focus Thermique



2008

TopGlass/Solutions  
Composites



2006

TopGlass/Solutions composites, IDA,  
Isover, Saint Gobain, Lapeyre,  
Terreal...Ademe,

# Cathédrale éphémère de Créteil, Un Gridshell en fibres de verre et polyester



# T/E/S/S

Engineering Company

Geometry, Structures, Envelopes

[www.tess.fr](http://www.tess.fr)

# Navier

Ecole des Ponts ParisTech/ IFSTTAR/CNRS

[www.navier.enpc.fr](http://www.navier.enpc.fr)

# T/E/S/S

Engineering Company

Geometry, Structures, Envelopes



AFGC Nov. 2014

20

# Un Gridshell élastique:

*la souplesse du  
matériau au service de  
la rigidité structurelle*

**(Wood)**

**Mannheim 1977 , Frei Otto**



**Downland 2002 , Barnes (Wood)**



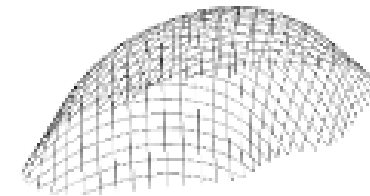
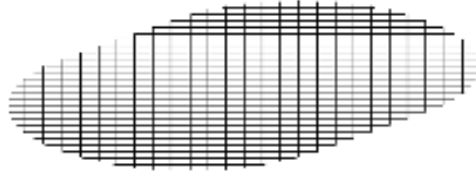
**Composite Prototype I Ecole des Ponts, 2006**



**Composite Prototype II Ecole des Ponts, 2008**

# Gridshell, definition and process of construction

➡ A membrane without shear stiffness



➡ Two shots construction, shaping and bracing

➡ Material Flexibility for Structural Stiffness



AT CC NOV. 2014



DOUTHE, C., CARON, J-F. AND BAVEREL, O. 2010. Gridshell structures in glass fibre reinforced polymers. *Construction and Building Materials*, Volume 24, Issue 9, 1580-1589.

### ***Composite Prototype III Solidays's Forum, Ecole des Ponts /TESS Engineer, 2011***



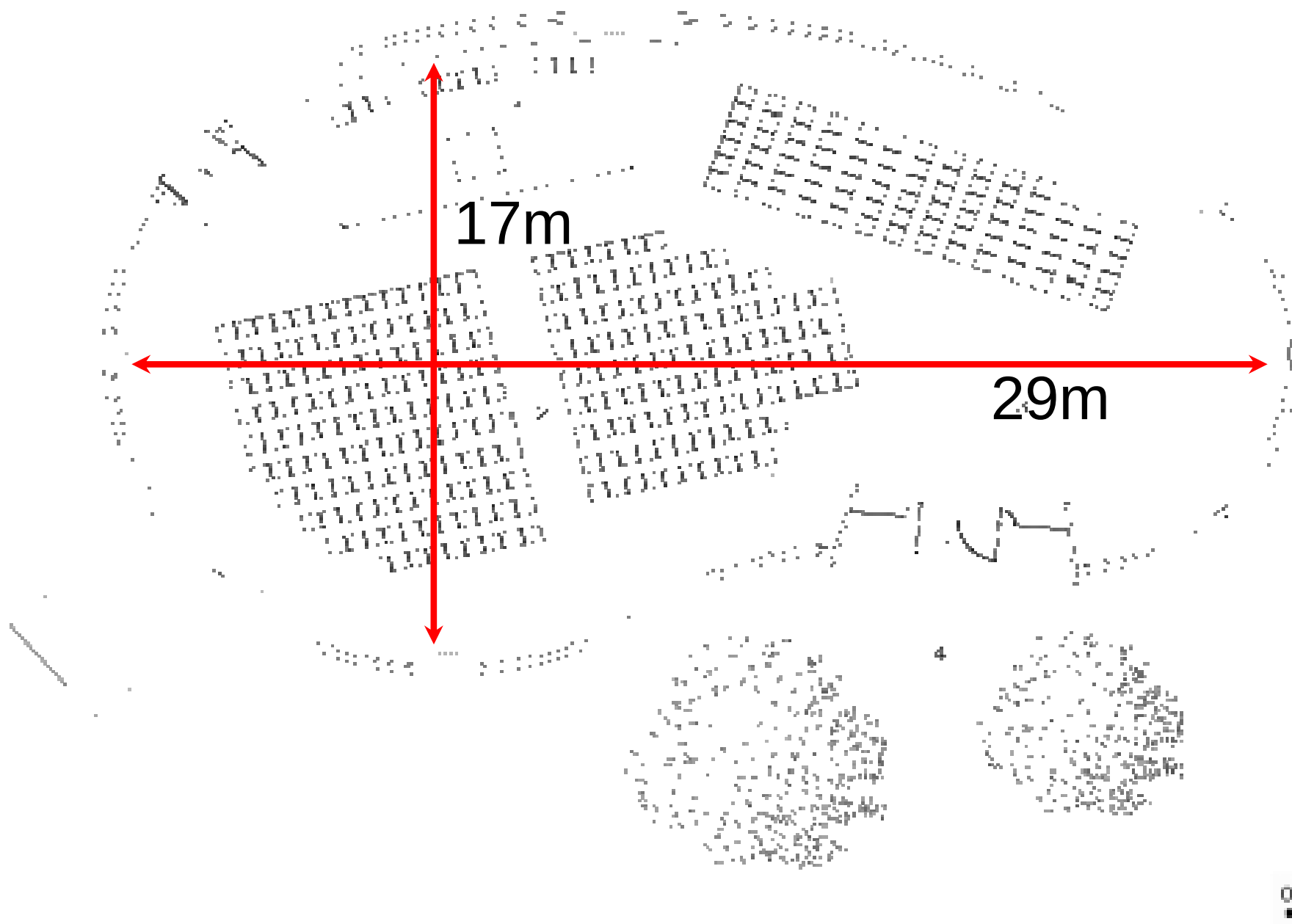
#### **Facts and figures**

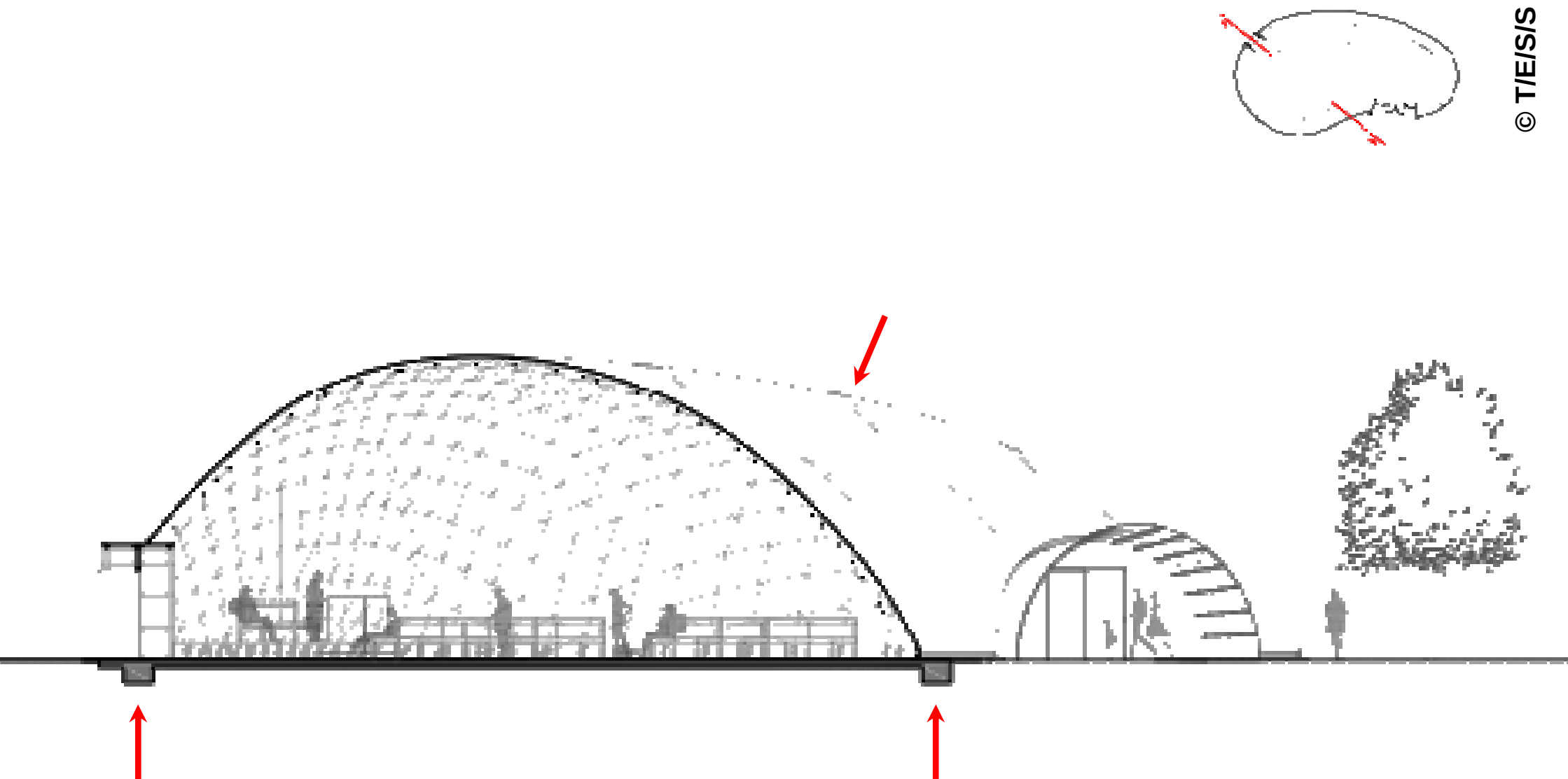
- 1,600 m of tubes
- 1,300 cross clamps
- 150 stakes
- 500 m<sup>2</sup> of fabric
- Capacity: 500 people
- Floor area: 300 m<sup>2</sup>
- Glass content (tubes): 70% by weight
- Tube length: 13 metres
- Project preparation: 9 months
- Structure weight: 5 kg/m<sup>2</sup>



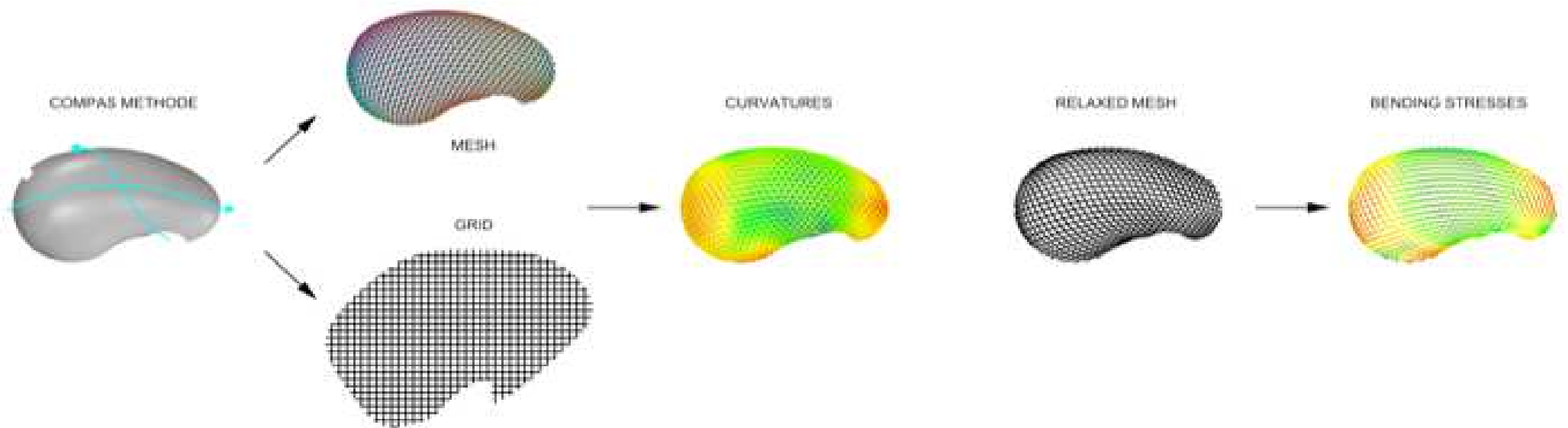
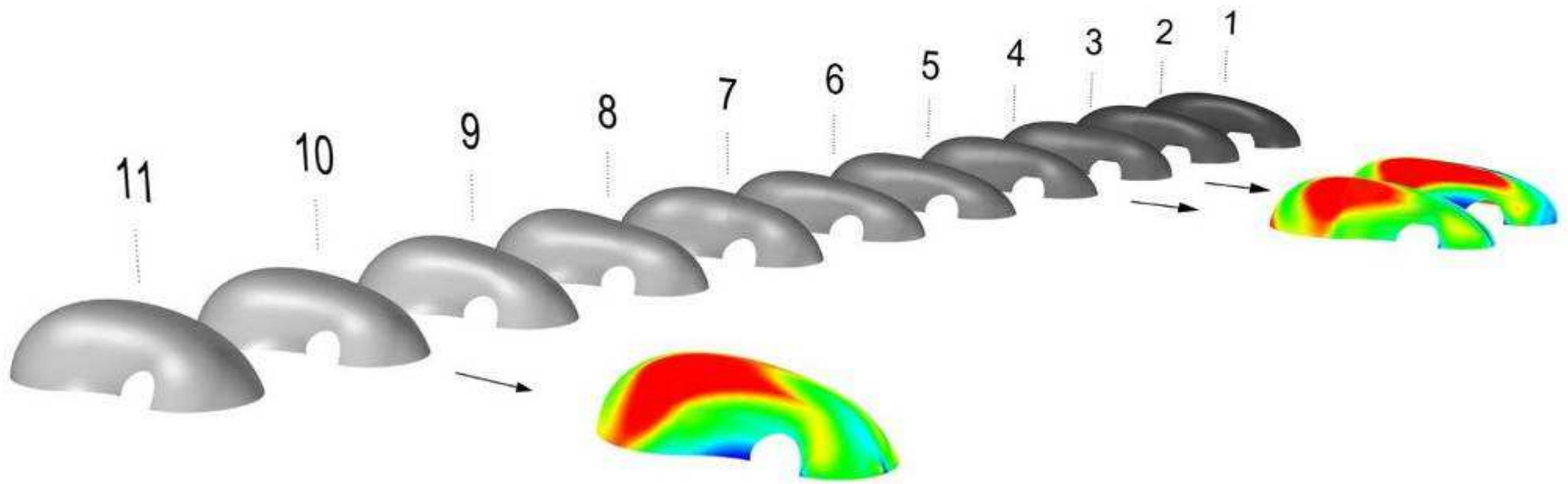
## Réalisation IV: Créteil

# Project Description

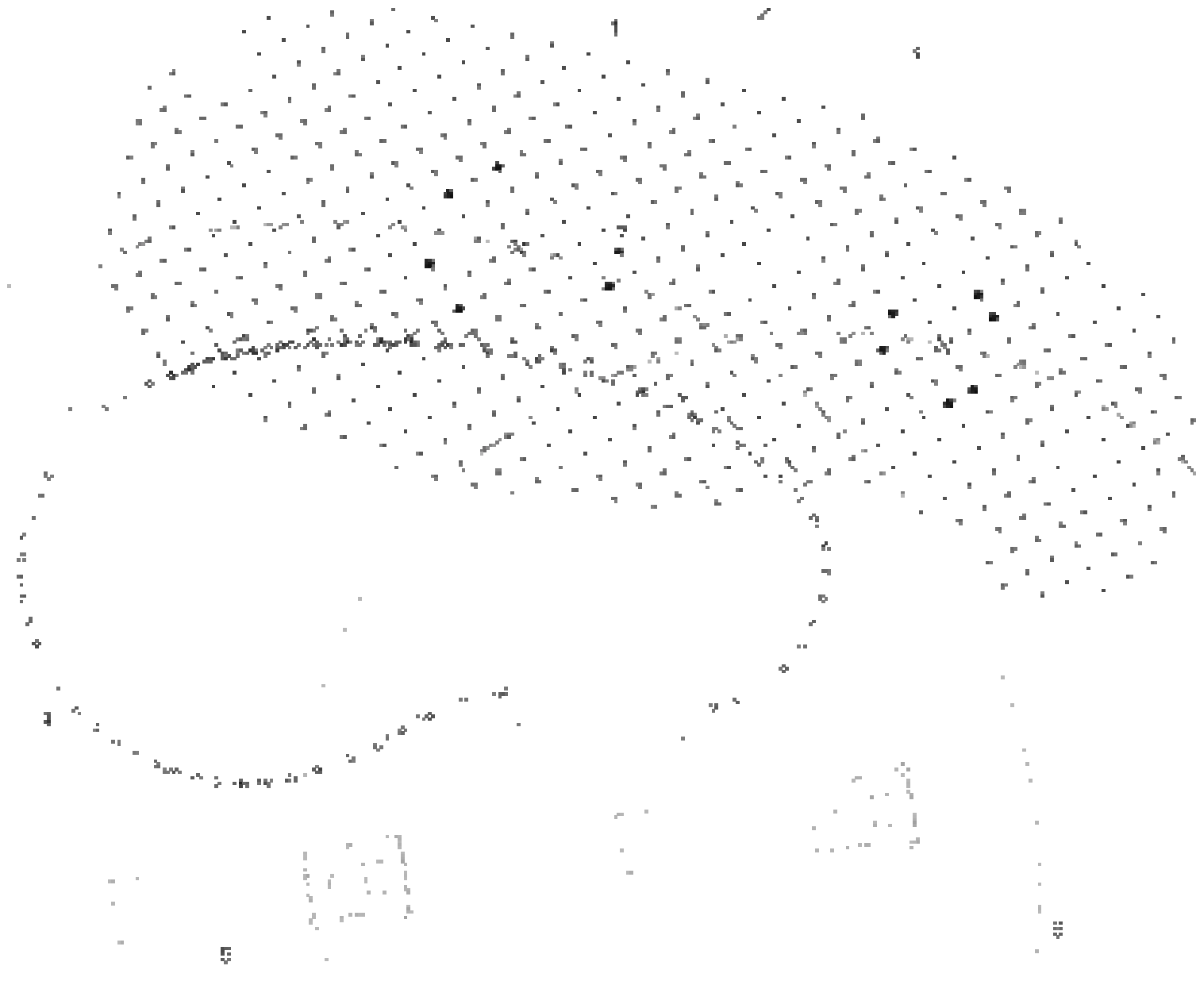




# Design



# Building the Shell

























© T/E/S/S



© T/E/S/S



# Conclusion

Le premier Gridshell « tout plastique »  
opérationnel au monde

5Kg/m<sup>2</sup> !

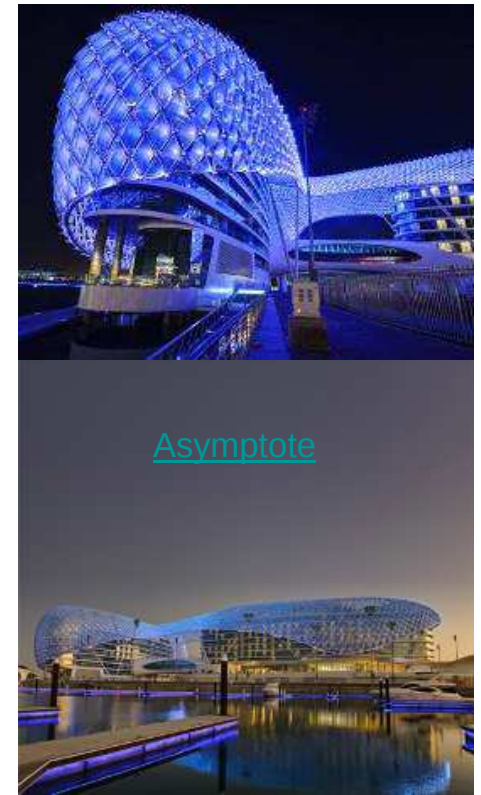
| Item       | Values                                                                       |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Capacité   | 360 assis/ 500 debout                                                        |
| Dimensions | Surface=350m <sup>2</sup> / Vol=1600m <sup>3</sup> /<br>h=7m / l=17m / L=29m |
| Gridshell  | 1775m de tube/ 1130 connections / 123 ancrages                               |
| Couverture | 600 m <sup>2</sup>                                                           |
| Masse      | 5kg/m <sup>2</sup>                                                           |

[Takeshi Hosaka Architects](#)



# Perspectives

- Canopées
- Structures cintres pour coques béton
- Renforcement de tunnels
- Gridshells + Géométrie différentielle = rationalisation des couvertures et connecteurs



*Bicton Garden, 1825*



*Zoo de Berlin, 1996*



*Isler*



*Freyssinet*



# GAUDI

Grefe Architecturale Urbaine  
pour un Développement  
Durable de l'Ilot

