

**Conception, Calculs,  
Expertise des matériaux  
et Structures**

**BET Structures Spéciales**

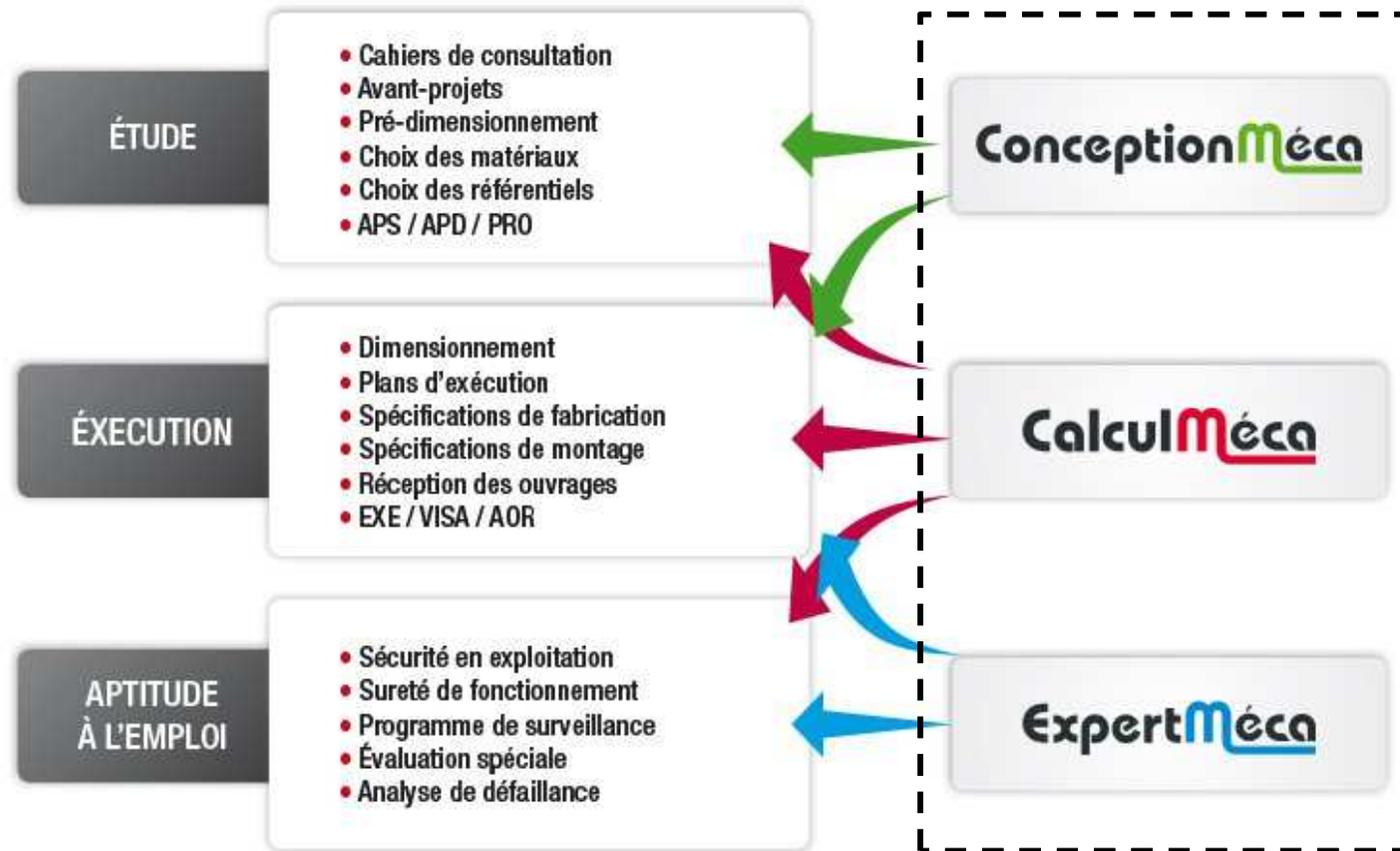
20 rue de l'héronnière

44000 NANTES

tel: 02 51 83 96 45

<http://www.cluster-meca.fr>

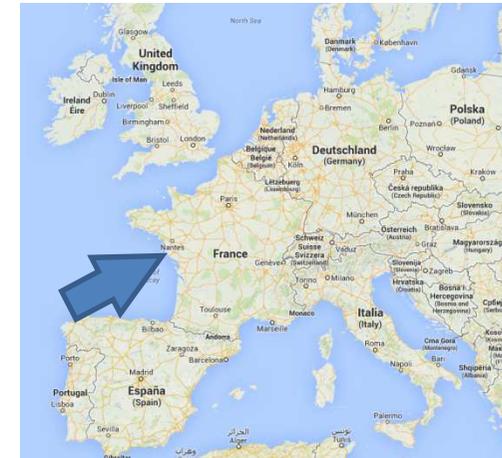
# Qui sommes nous ?



**méca**

## 20 Techniciens et Ingénieurs

### Basés à Nantes



Issus des mondes

- De l'industrie,
- De la plasturgie,
- De l'automobile,
- De la construction métallique,
- Des composites,
- De la recherche appliquée,
- ...





# La construction ose les composites



DXB Airport, Dubai (1972)

Passé proche : limité à des revêtements

Plus récemment : Structures porteuses

Raisons évidentes :

- Gain de masse,
- Raideur,
- Capacité de forme pour des architectures audacieuses



Millennium Dome (O2 Arena), London (2000)

Inconvénients

- Prix élevé,
- Tenue au feu

Avenir du composite pour la construction

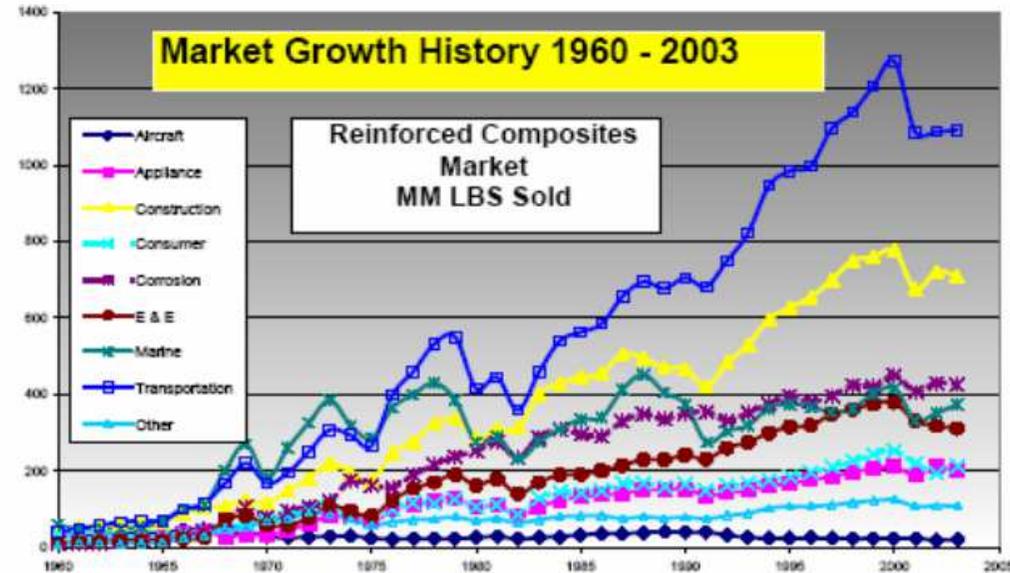
- dans la forme,
- l'intégration de fonctions

Un Enjeu majeur est donc dimensionner au plus juste



# Quid des normes dans la construction ?

- Normes Européennes
  - Eurocode 2: structures béton
  - Eurocode 3: structures acier
  - Eurocode 5: structures bois
  - Eurocode 9: structures aluminium
- Normes composites
  - EN 13121: GRP pressure vessels
  - ISO 14692: GRP piping offshore



Evolution of FRP market share (American Composite Manufacturing Association)

- Manque de normes composites pour la construction
  - EuroComp book – Design Guide
  - JRC, Joint Research Centre (European commission)

Analyses limitées au comportement élastique linéaire



# Les toitures en matériaux composites de grandes portées

A travers 3 exemples

PEM Saint Nazaire

Projet HHR

- la Mecque
- Jeddah



# PEM Saint Nazaire



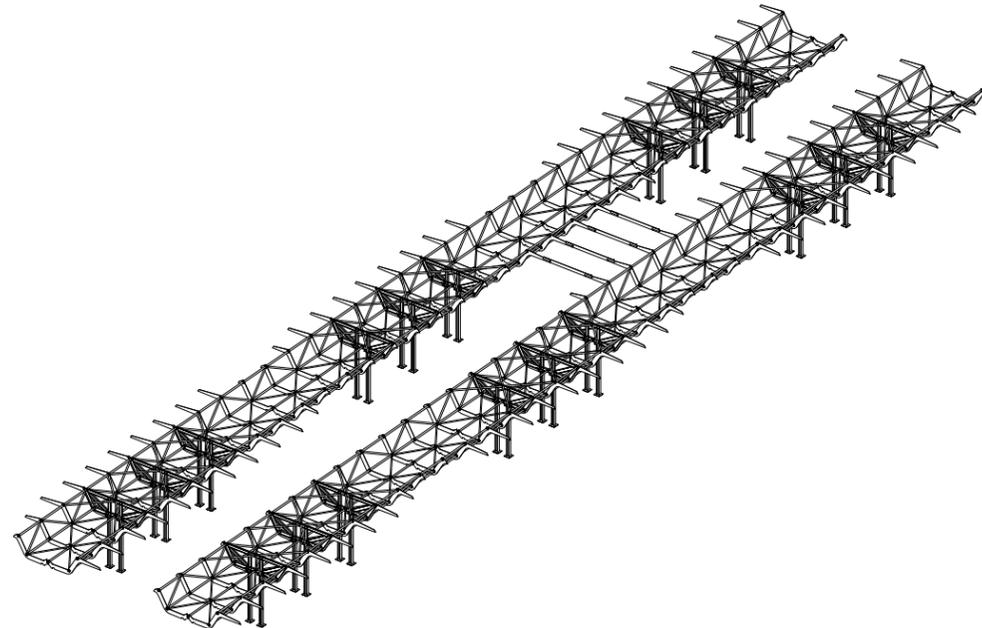
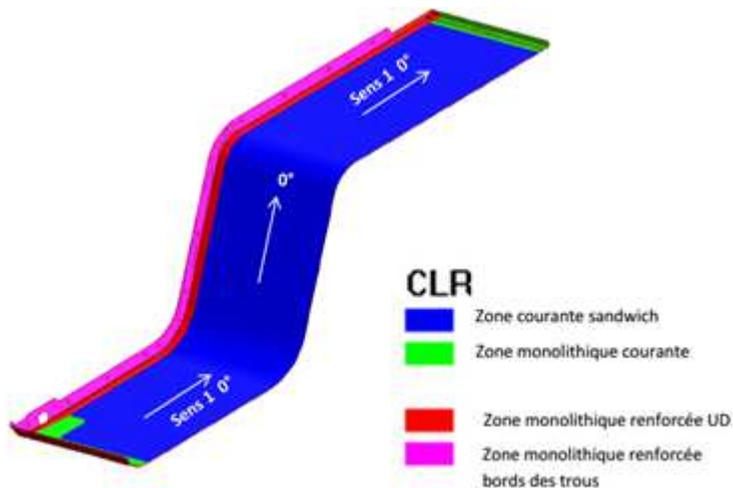
Pole d'Echange Multimodal, Saint Nazaire(44), cabinet TETRARC



Action variable dominante	Coefficient de sécurité partiel					
	Gravité	Vent (surpression)	Vent (dépression)	Neige	Maintenance	Accumulation d'eau
Vent (surpression)	1,35	1,5	0	1,5	0	1,0
Vent (dépression)	1,00	0	1,5	0	0	0
Neige	1,35	1,5	0	1,5	0	1,0
Maintenance	1,00	0	0	0	1,0	0
Accumulation d'eau	1,00	1,5	0	1,5	0	1,5



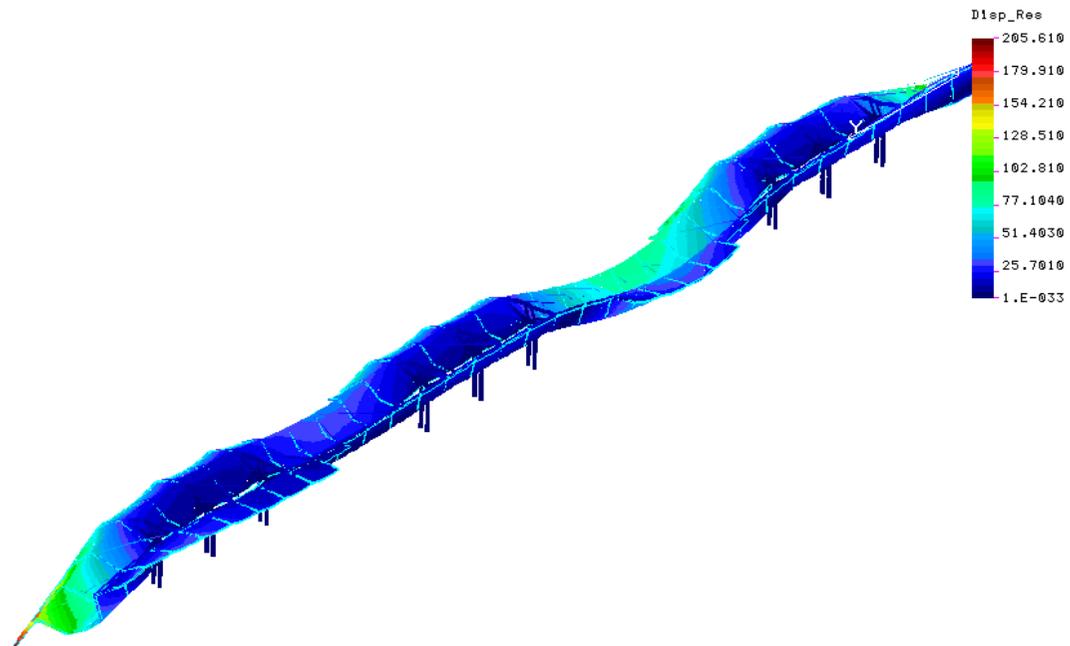
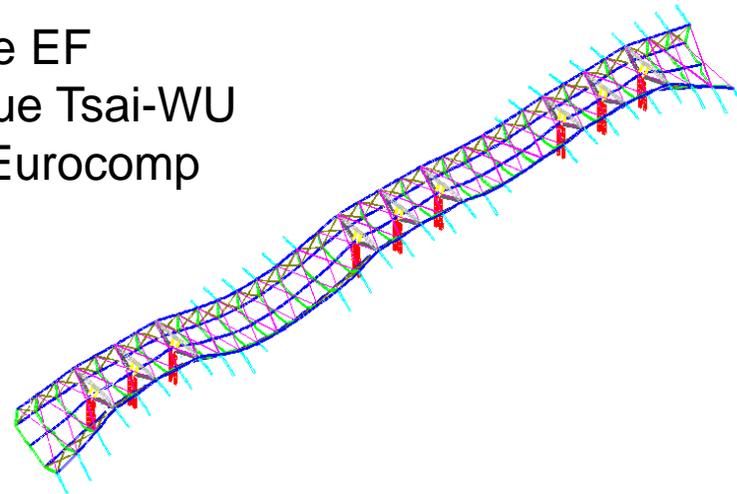
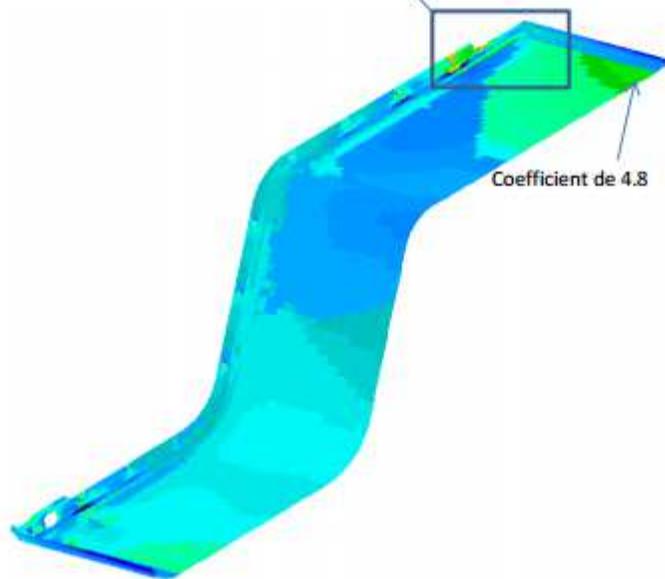
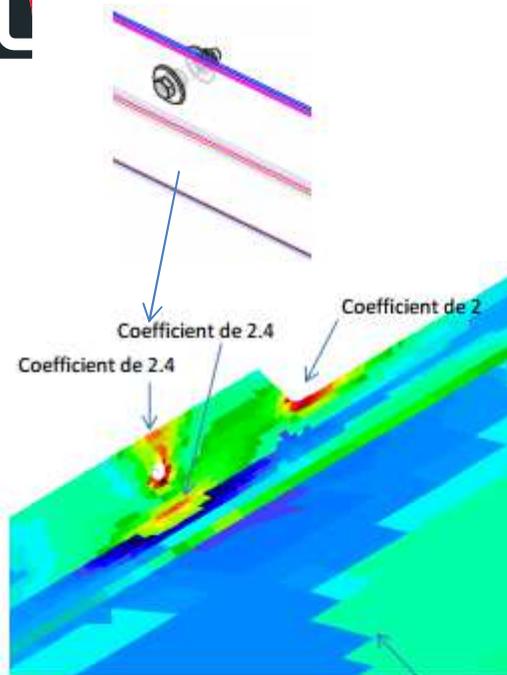
Panneaux composite Sandwich  
 Verre Résine Polyester mousse PET  
 Classement Feu : M2 F2  
 Process : infusion  
 Structure primaire porteuse acier galvanisé  
 Pas de structure secondaire (sandwich)  
 Masse surfacique panneaux : 16.3 kg/m<sup>2</sup>





# PEM Saint Nazaire

Analyse classique EF  
Critère énergétique Tsai-WU  
Analyse suivant Eurocomp





# Projet HHR Haramain High speed Railway



## Le projet HHR

5 gares

11.2 milliards USD (total projet)

Foster + Partenaires (Londres, Royaume-Uni)

Deux Gares, deux constructeurs

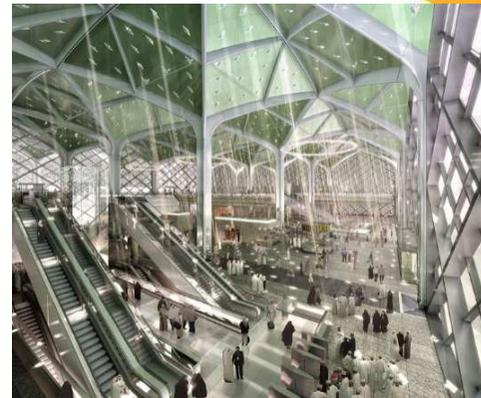
## La Mecque

PREMCO (Saudi BINLADEN GROUP)

## Jeddah

SAUDI OGER

... Deux solutions différentes





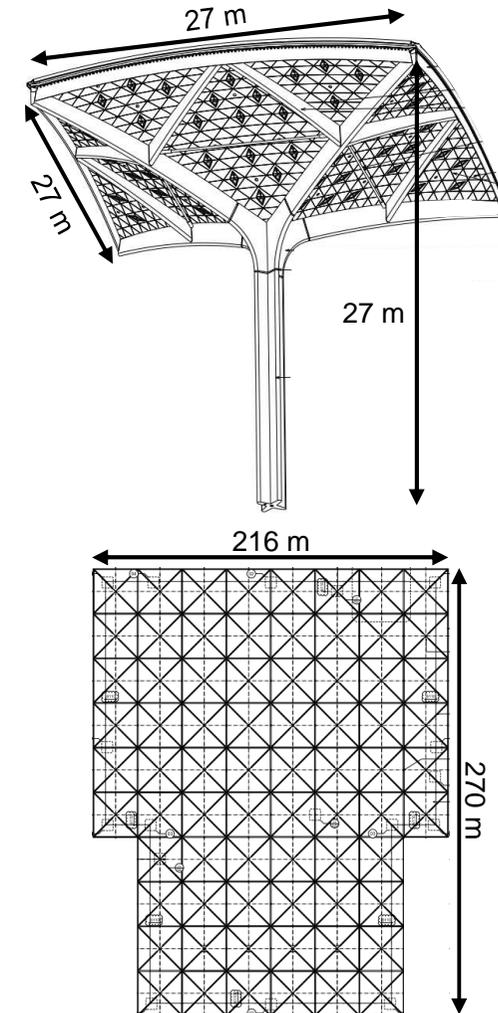
# Toiture GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)



**Pour une gare : 58000m<sup>2</sup> (Jeddah), 40000 m<sup>2</sup> la Mecque**

## Caractéristiques

- Portée : 27m
- Exigences initiales : isolation thermique, caractéristique feu ASTM
- Levé avec de faux plafonds, mosaïque et équipements





## Exigences de conception

- Saudi Building Code: combinaison de charges  
(par exemple :  $1.35 \times \text{masse} + 1.5 \times \text{Vent} + 0.7 \times \text{Température} + 0.3 \times \text{Sable}$ )
- Analyse linéaire
- Analyse des modes d'instabilités élastiques
- Critère de rupture : Tsai-Wu
- Coefficient de sécurité suivant Eurocomp  
 $\gamma_m = 1.8$  (Effets à courts termes)  $\gamma_m = 4$  (Effets à longs termes)

## Charges élémentaires prises en compte

### Poids propres

- La pression du vent
- Encrassement de sable
- Gradients (humidité, thermiques)
- Les déplacements de cadre métallique
- sismique





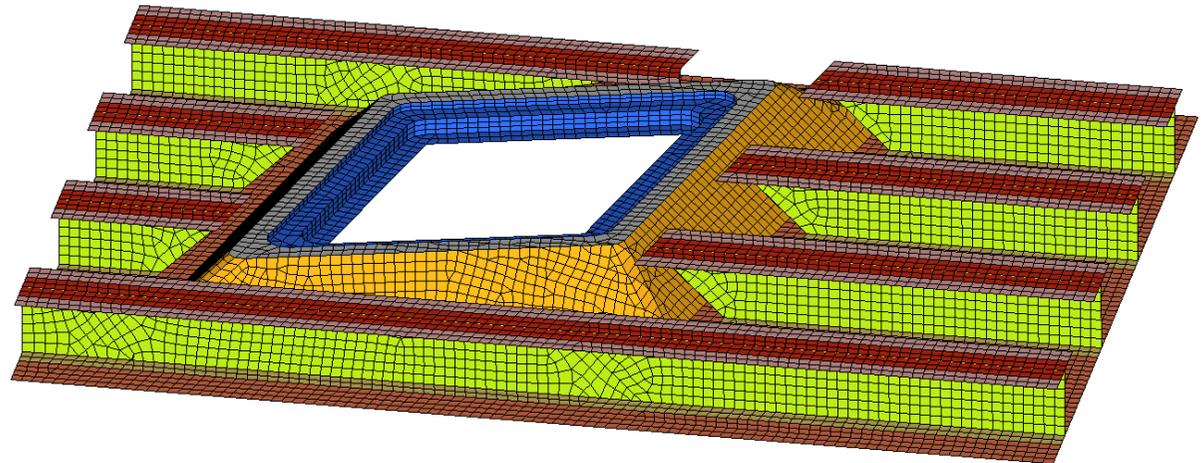
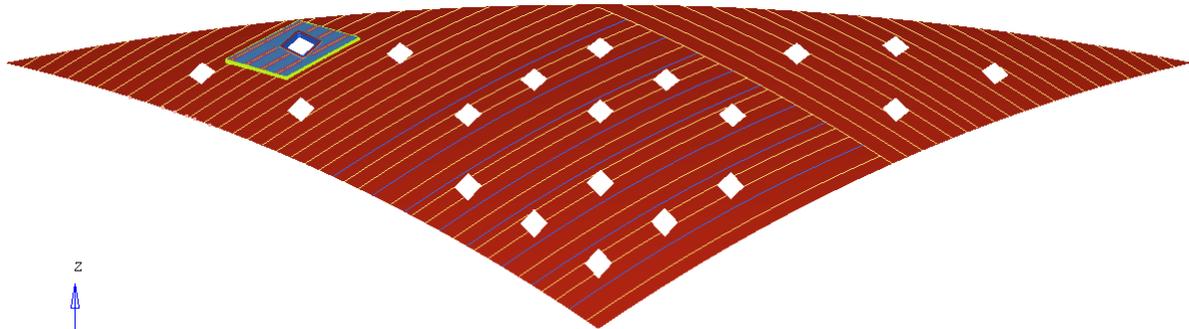
# La Mecque



## Le projet Premco composite

Solution poutres + coques

Masse structure seule : 47.5 kg/m<sup>2</sup>



Donc ici une solution “d’héritage” métallique

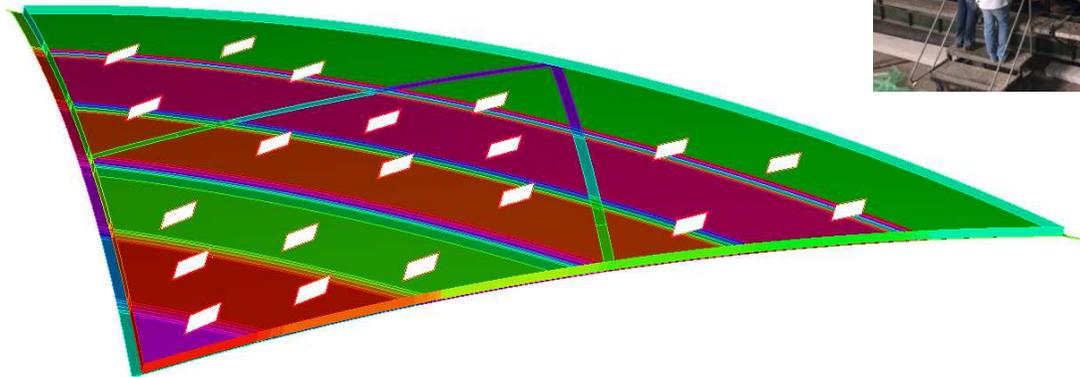


# JEDDAH

## Le projet Saudi OGER

Masse structure seule : 24 kg/m<sup>2</sup>

2 panneaux fabriqués et levés par jour

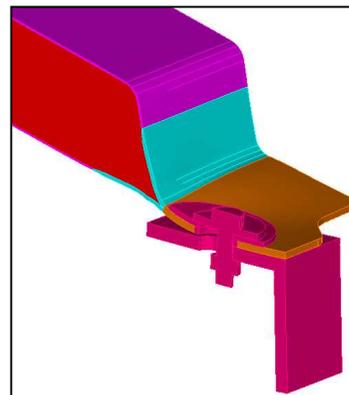


Solution sandwich composite renforcée localement

[0/45/90<sup>2</sup>/-45/0]

PET 150 mm

[0/45/90<sup>2</sup>/-45/0]

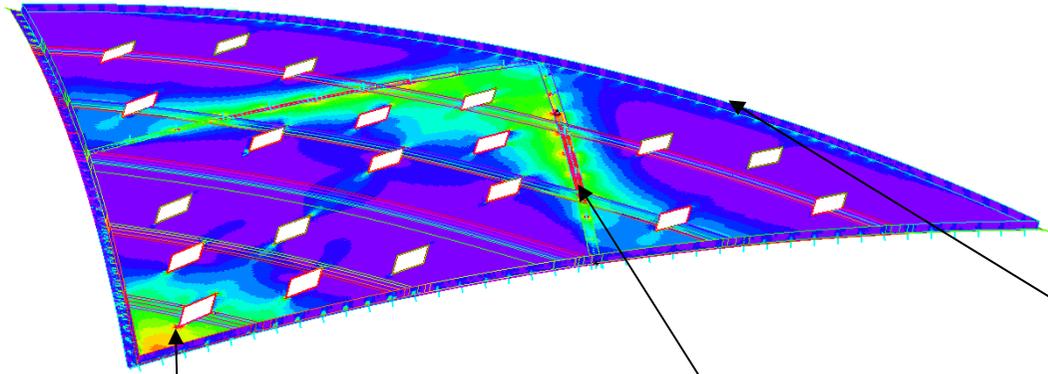




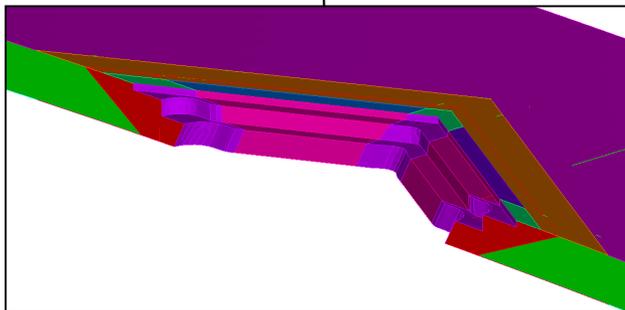
# Analyse : Méthode Global-Local



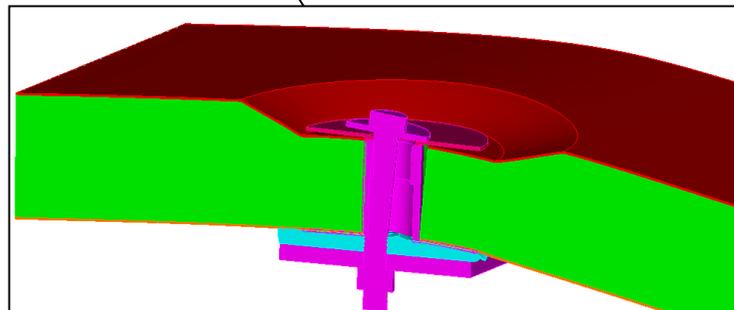
- ▶ Modèle coque multicouche : distribution du critère de Tsai-Wu



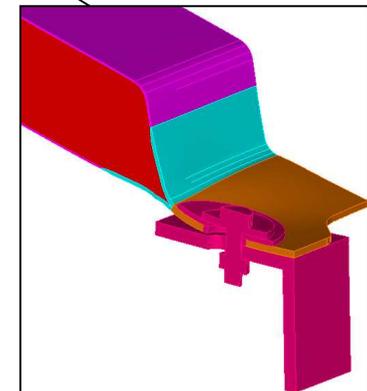
- ▶ Modèles locaux 3D local pour analyse des zones locales



Cadre antireflet



Supportages intermédiaires



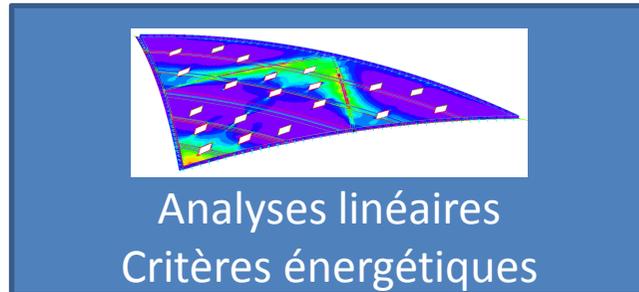
Supports principaux



# De la conception standard à la prédiction de dégradation



## Conception standard



## HHR structure peu commune

Process, Dimension, Empilement (nombre de couches et disymétrie), Comportement de la résine (à retardement pour le feu et rupture à faible déformation)



## Analyse des dommages

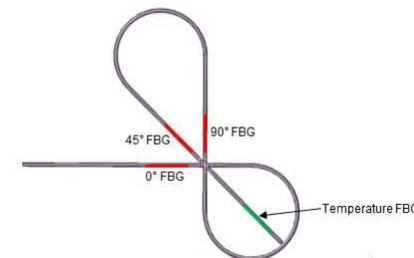
Compréhension du comportement des peaux jusqu'à la rupture

Validation des hypothèses EF

**Puck** (Calcul-Méca)

**Mesomodel** (Gilles Lubineau)

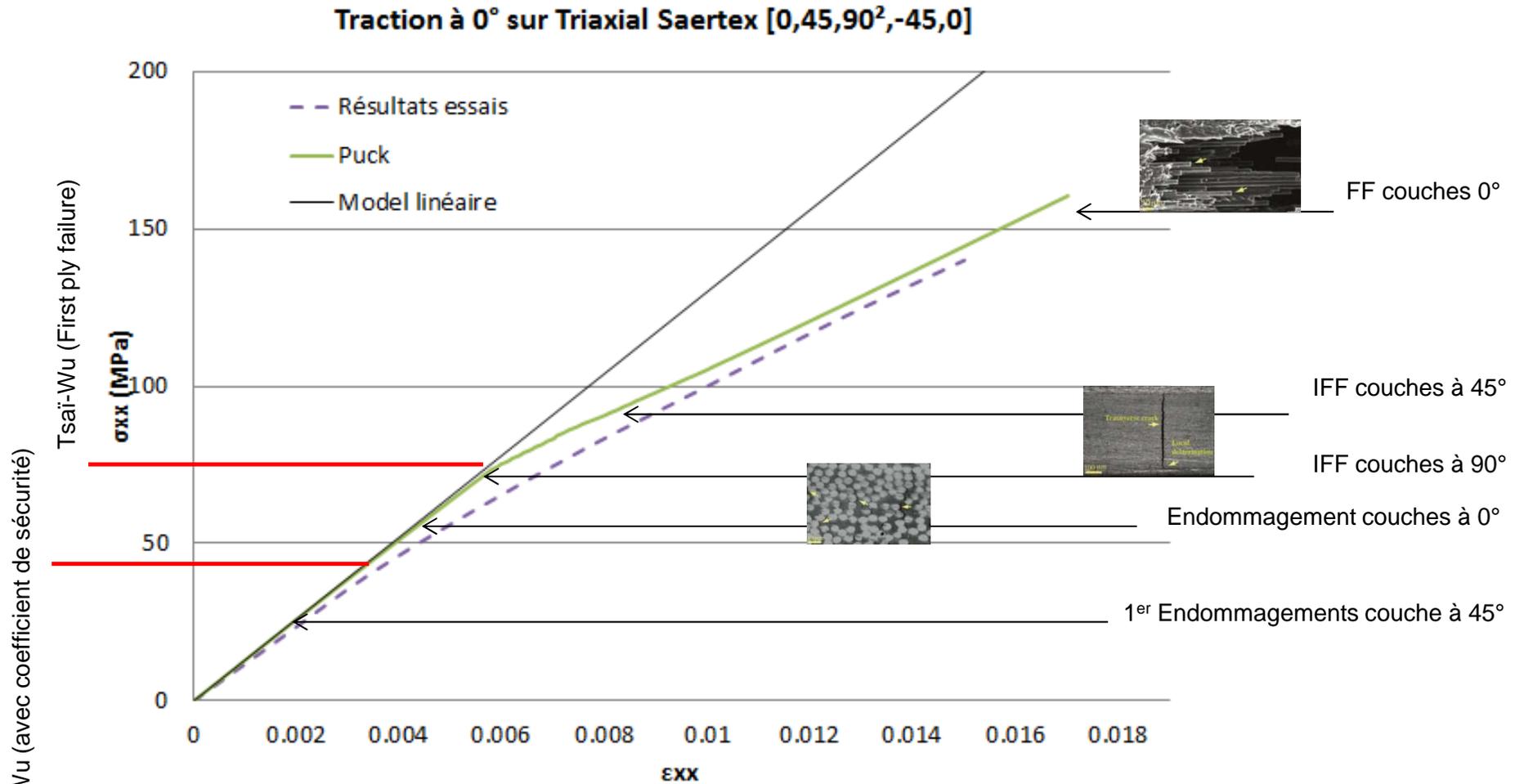
## Surveillance de l'état des structures sur site par mesure sur Réseaux de Bragg





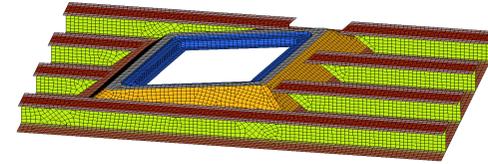
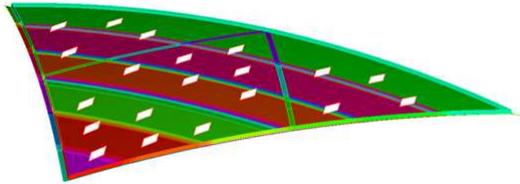
# Essai de traction

## Triaxial SAERTEX [0/45/90<sup>2</sup>/-45/0]





## Conclusion



Les méthodes de prévision du comportement des matériaux sont au point,

Les méthodes de calculs des états de contraintes et de stabilité sont au point,

Différents niveaux d'analyses en post traitement permettent une compréhension fine des phénomènes de dégradation prévisibles,

Reste sans doute un travail sur

- La tenue des exigences Européennes et Françaises feu fumée,
- Code de construction officialisé associé à un encadrement des règles de construction des défauts admissibles. En l'absence de règles claires, il convient de poser les hypothèses de calculs de façon transparente.

Merci de votre attention

