



Laboratoire d'Anecy-le-Vieux  
de Physique des Particules

# Projet CTA

# Cherenkov Telescope Array

***Ecole Composites 2014 - AUSSOIS***

19 Septembre 2014

# Sommaire

- Introduction
- Pré-étude
- Etude détaillée
- Solutions retenues

# Introduction

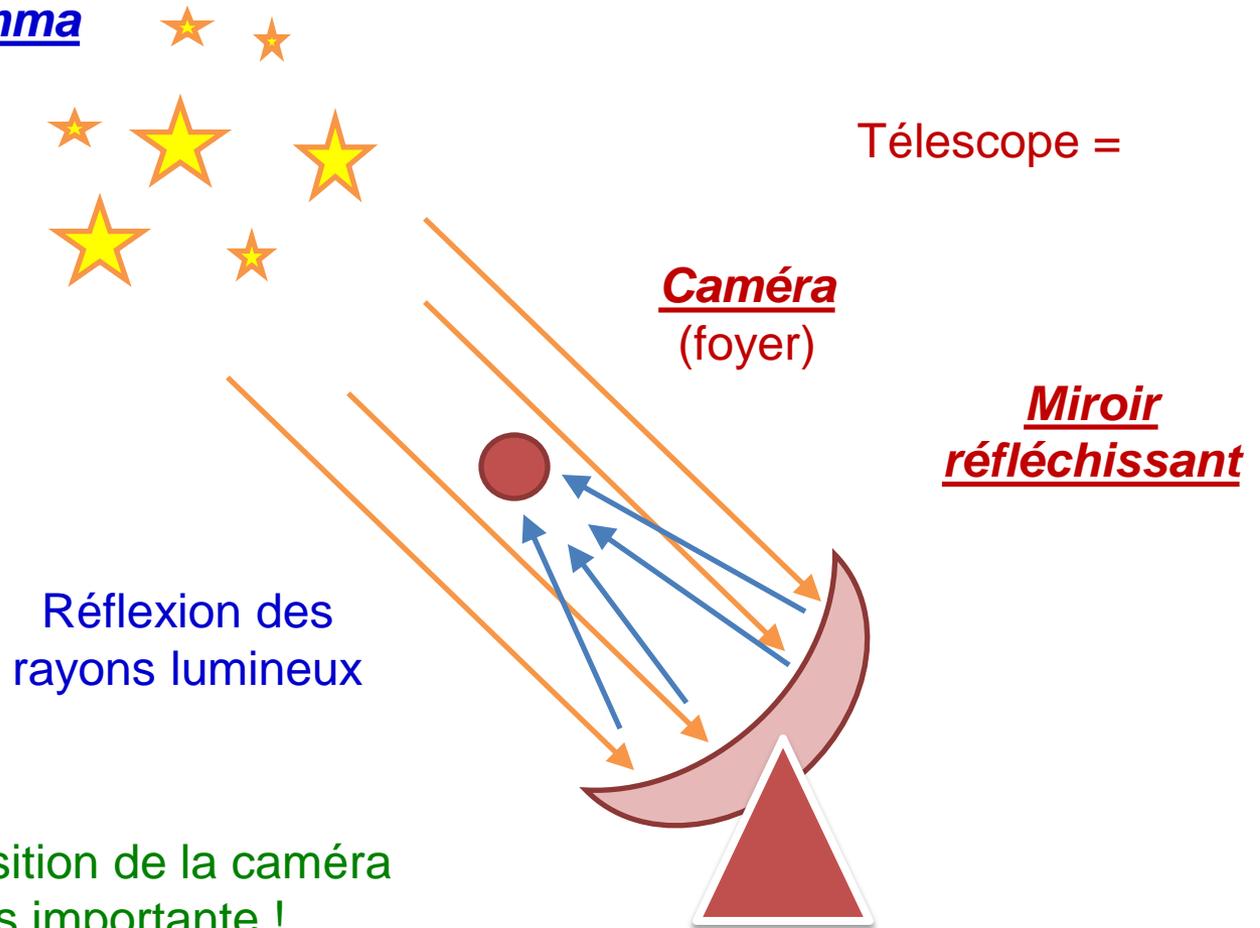
Etudes d'astrophysique des hautes énergies et de cosmologie

## Réseau de télescopes de 3 tailles différentes :

- SST (Small Size Telescope)       $\phi_{\text{miroir}} = 6 \text{ m}$       x 40
- MST (Middle Size Telescope)       $\phi_{\text{miroir}} = 12 \text{ m}$       x 20
- LST (Large Size Telescope)       $\phi_{\text{miroir}} = 24 \text{ m}$       x 8

# Introduction

Sources  
astronomiques de  
rayonnement gamma



**NB :** La position de la caméra  
est très importante !

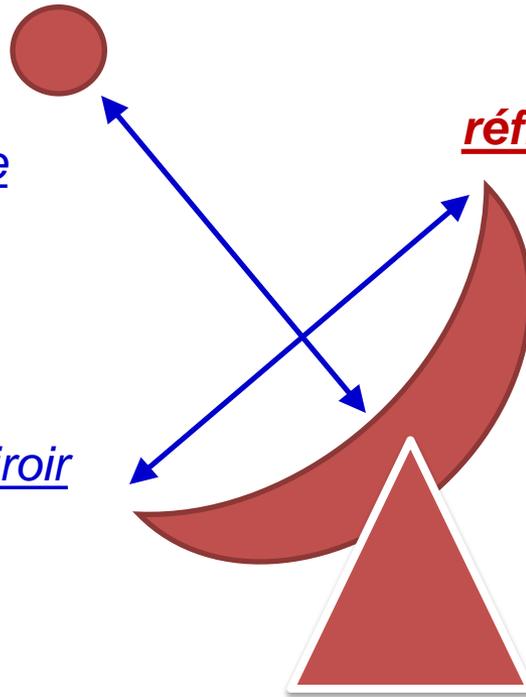
# Introduction

Caméra = 2 tonnes  
(foyer)

Miroir  
réfléchissant

Distance focale  
= 28m

Diamètre du miroir  
= 23m



Le LAPP est chargé d'étudier  
la structure supportant la  
caméra

# Introduction

## – Spécifications :

- Légèreté (repositionnement rapide 180°/20s)
- Ombre projetée
- Critères de rigidité : déplacements statiques(30mm) et dynamiques (+/- 16mm)
- Critères de tenue mécanique
- Structure transportable dans des containers standards
- Montage sur site isolé, collages sur place à éviter

# Des idées pour la conception

## **HESS I & II**



### **HESS II**

- Structure rigide
- 40m hauteur
- 36m focale
- 565 tonnes
- 600m<sup>2</sup> de miroir



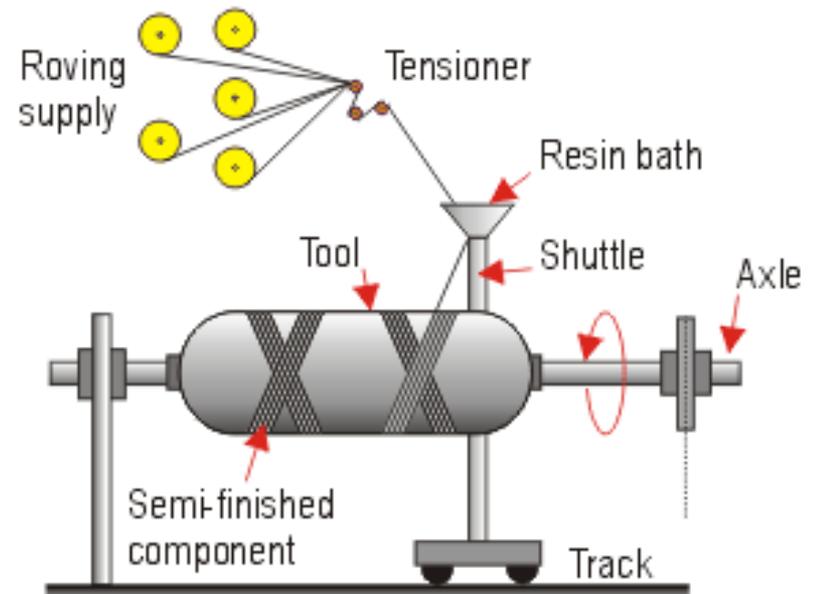
## **MAGIC**



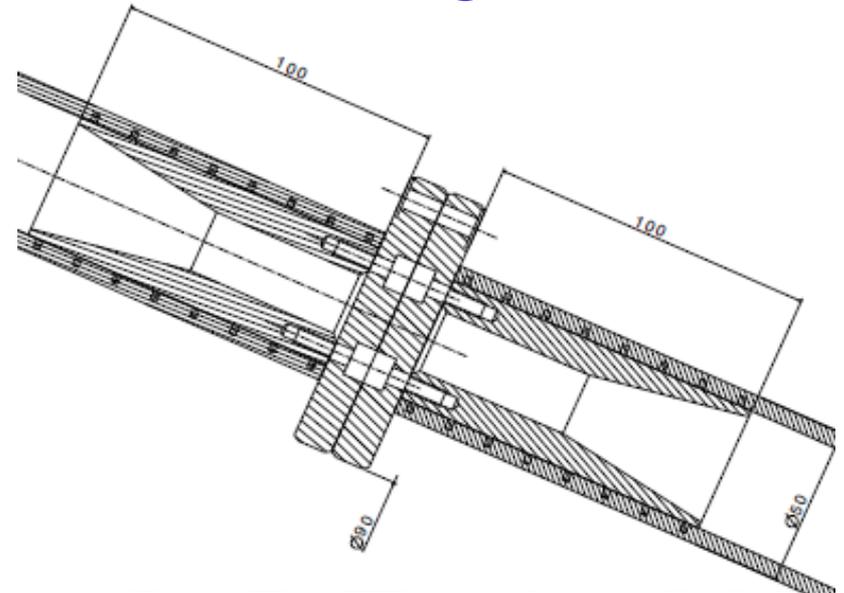
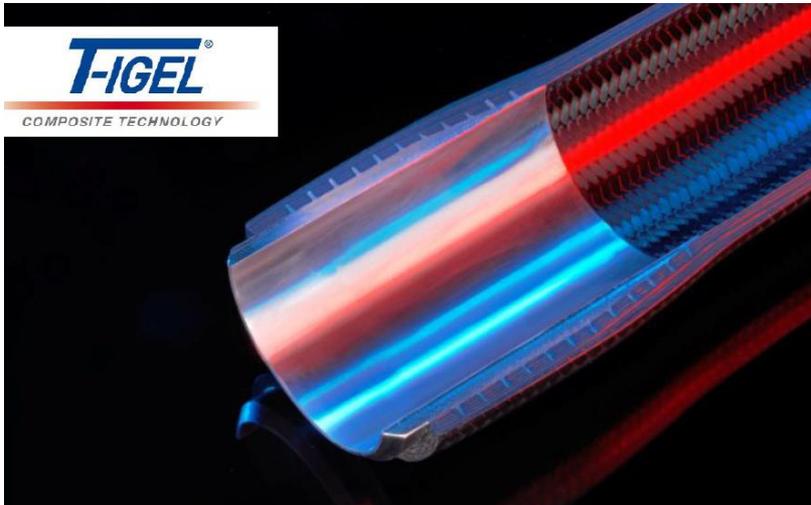
- Structure « souple »
  - Env. 18m focale
  - Caméra légère
  - Arceau aluminium + câbles
  - Corrections par asservissement des miroirs
  - Grande mobilité
- Guillaume Deleglise

# Pré-étude : procédé de fabrication

- Mode de production initialement envisagé :
  - Enroulement filamentaire
  - Réalisation de tubes courts / droits



# Pré-étude : principe de montage

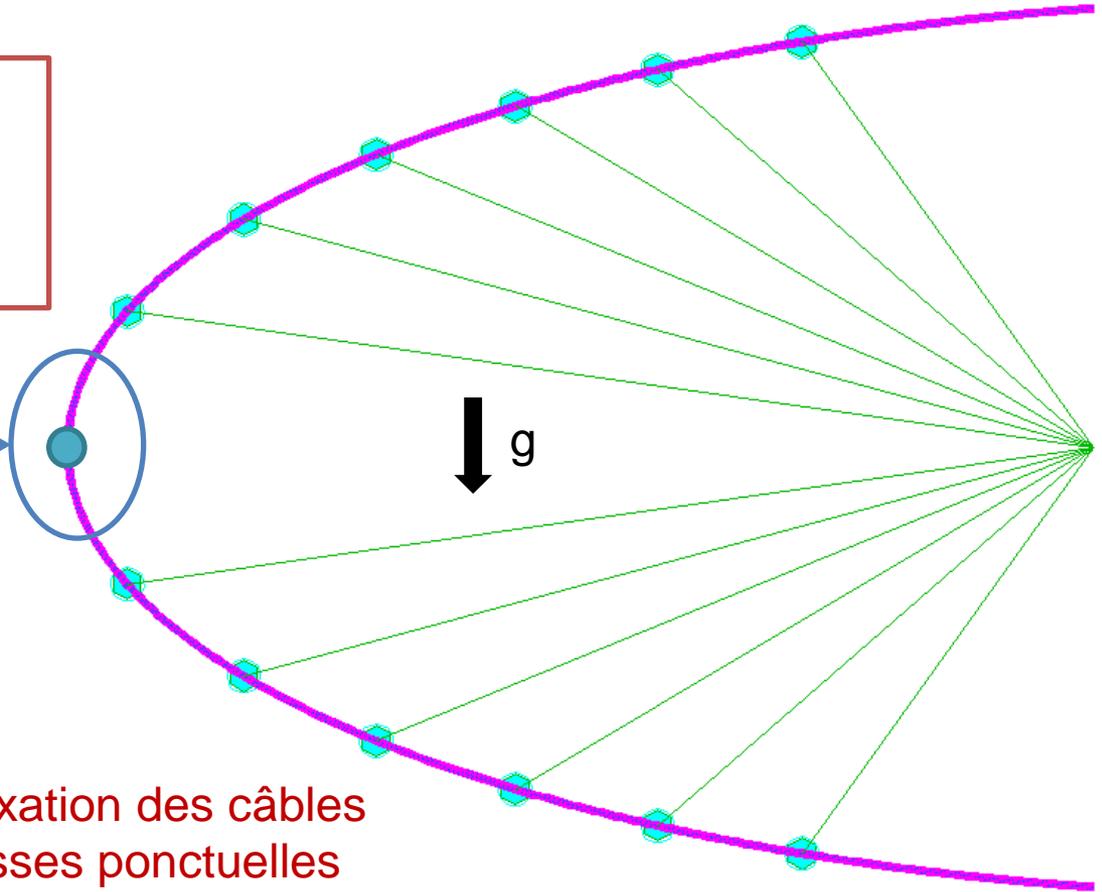


# Pré-étude :

## Etude paramétrique

- 1 tube courbe continu
- 24 CF câbles
- 2.5t caméra
- Calcul statique sous gravité

Cadre de caméra  
non modélisé



Jonctions inter tubes et fixation des câbles  
modélisées par des masses ponctuelles

# Pré-étude :

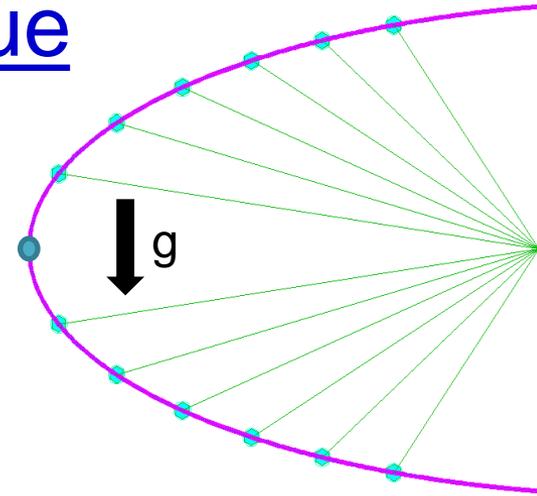
## Etude paramétrique

### Paramètres :

- Diamètre des tubes
- Séquence d'empilement fixée
- Epaisseur des plis unitaires variable
- Masse des jonctions variable (calculée en fonction du diamètre du tube)
- Type de fibres
- Calcul statique sous gravité

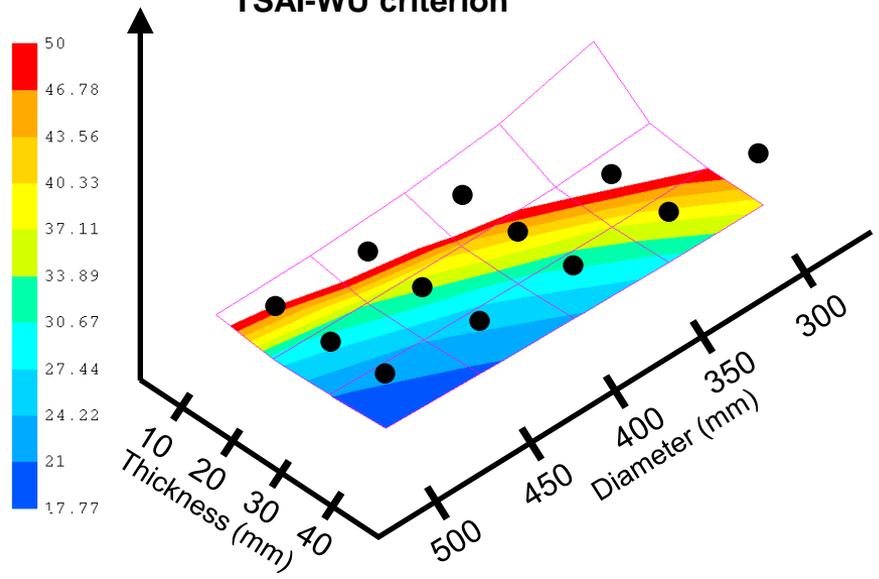
### Résultats :

- Critère de rupture
- Critère de déplacement
- Masse de carbone → coût approximatif

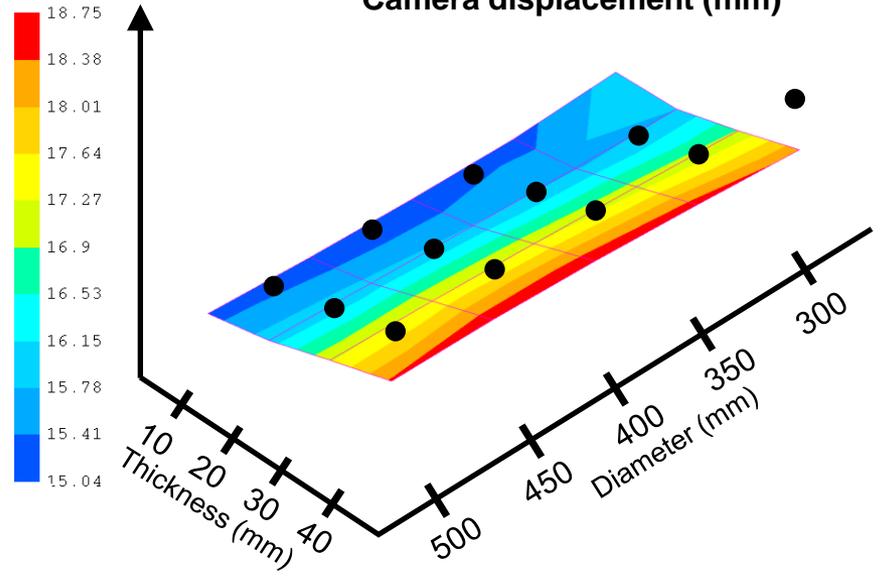


# illustration des résultats pour un type de fibre

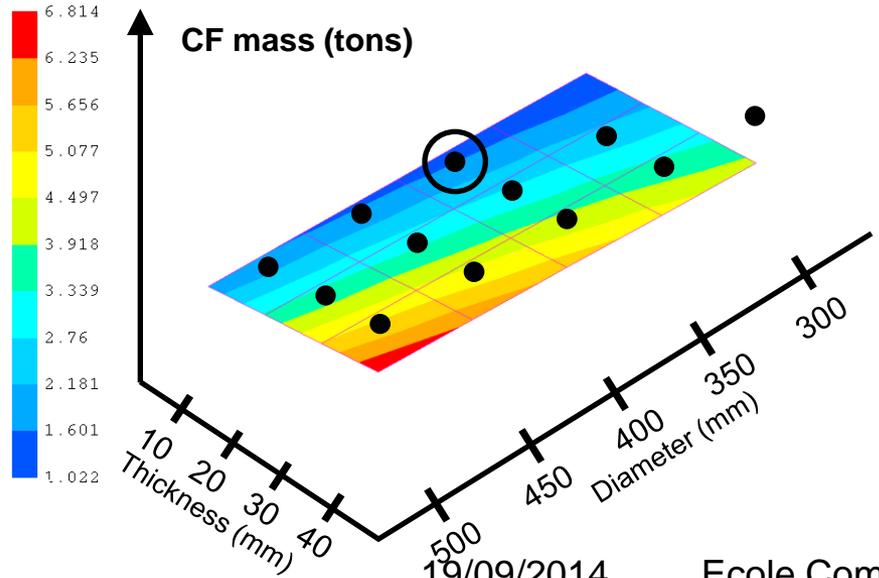
TSAI-WU criterion



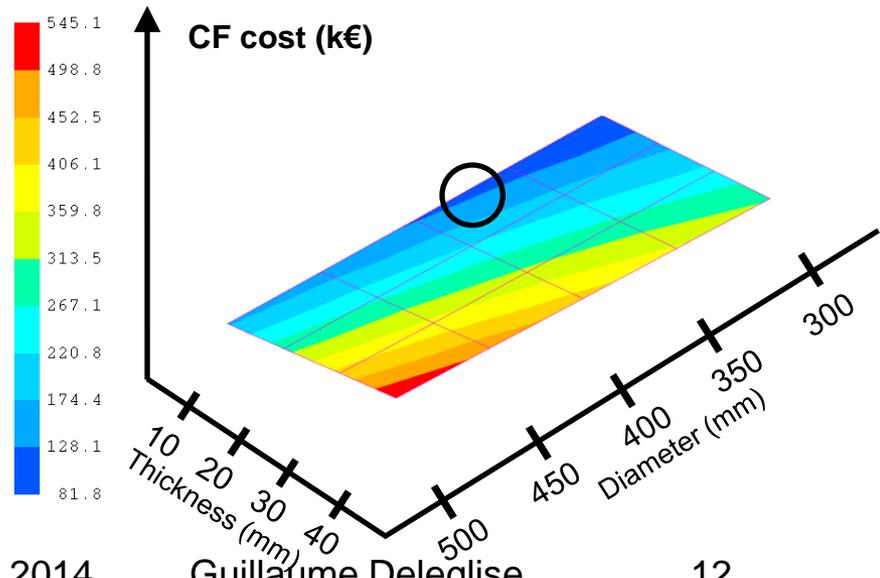
Camera displacement (mm)



CF mass (tons)



CF cost (k€)



# Single tube design : CF1 vs. CF2

( UHM vs UHT )

The best candidate with CF 1 :  
diameter = 400 mm  
thickness = 20 mm

TSAI-WU	=	0.4
Camera displ.	=	16 mm
CF mass	=	2.7 tons
CF cost (CF1)	=	220 k€

NB : total mass = 5,8 tons

The best candidate with CF 2 :  
• diameter = 300 mm  
• thickness = 20 mm

TSAI-WU	=	0.3
Camera displ.	=	23 mm
CF mass	=	1.7 tons
CF cost (CF1)	=	45 k€

NB : total mass = 4.6 tons

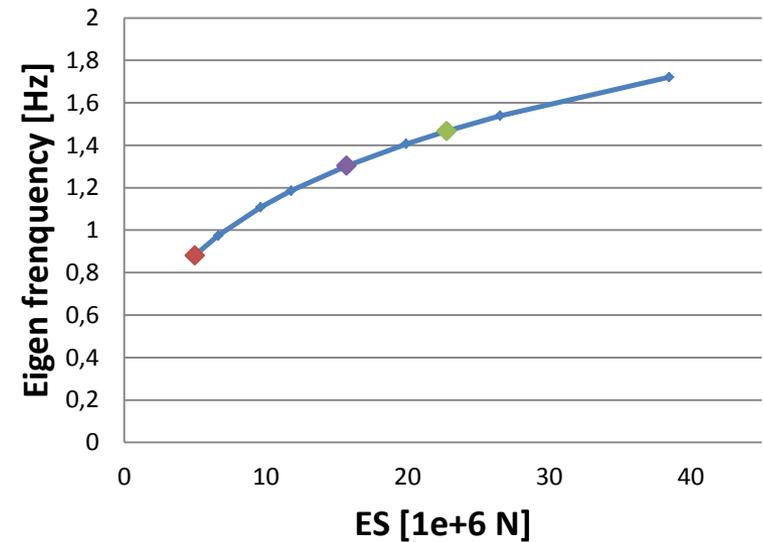
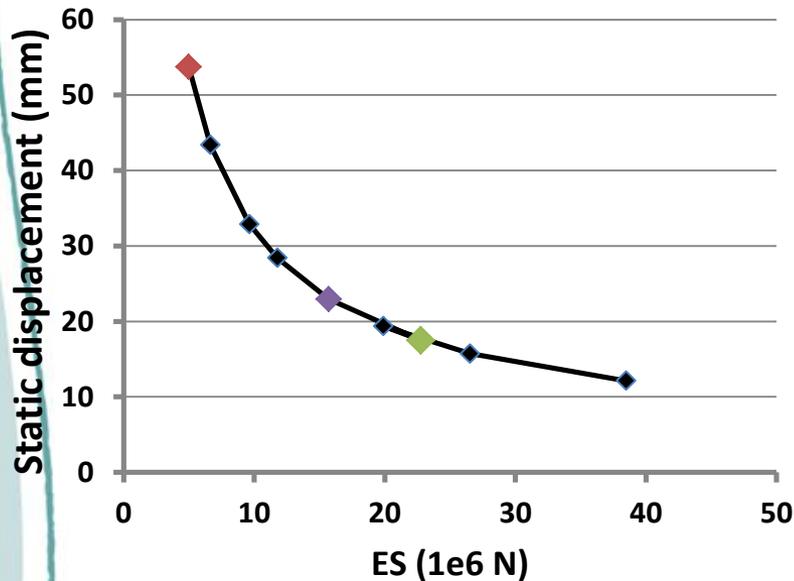
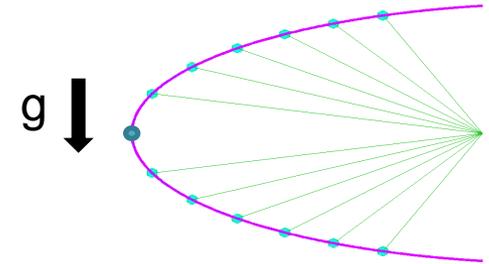
These values give just a **trend** !

Lots of load cases (excitation) must be checked ...

# Etude de influence des cables

➔ Evaluation de la fleche du telescope @ 90°

Tous les câbles sont prétendus à 2 tonnes

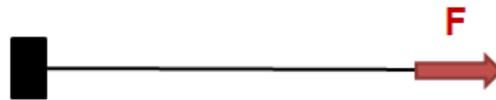


➔ La raideur des câbles a une grosse influence sur les performances

# Raideur axiale réelle des haubans

## Comparaisons de différents haubans (diamètre et matériaux)

Case 1  
(no sagging) :



Displacement under the axial force reads :

$$x_1 = \frac{F \cdot L}{E \cdot S}$$

Case 2  
(given sagging) :

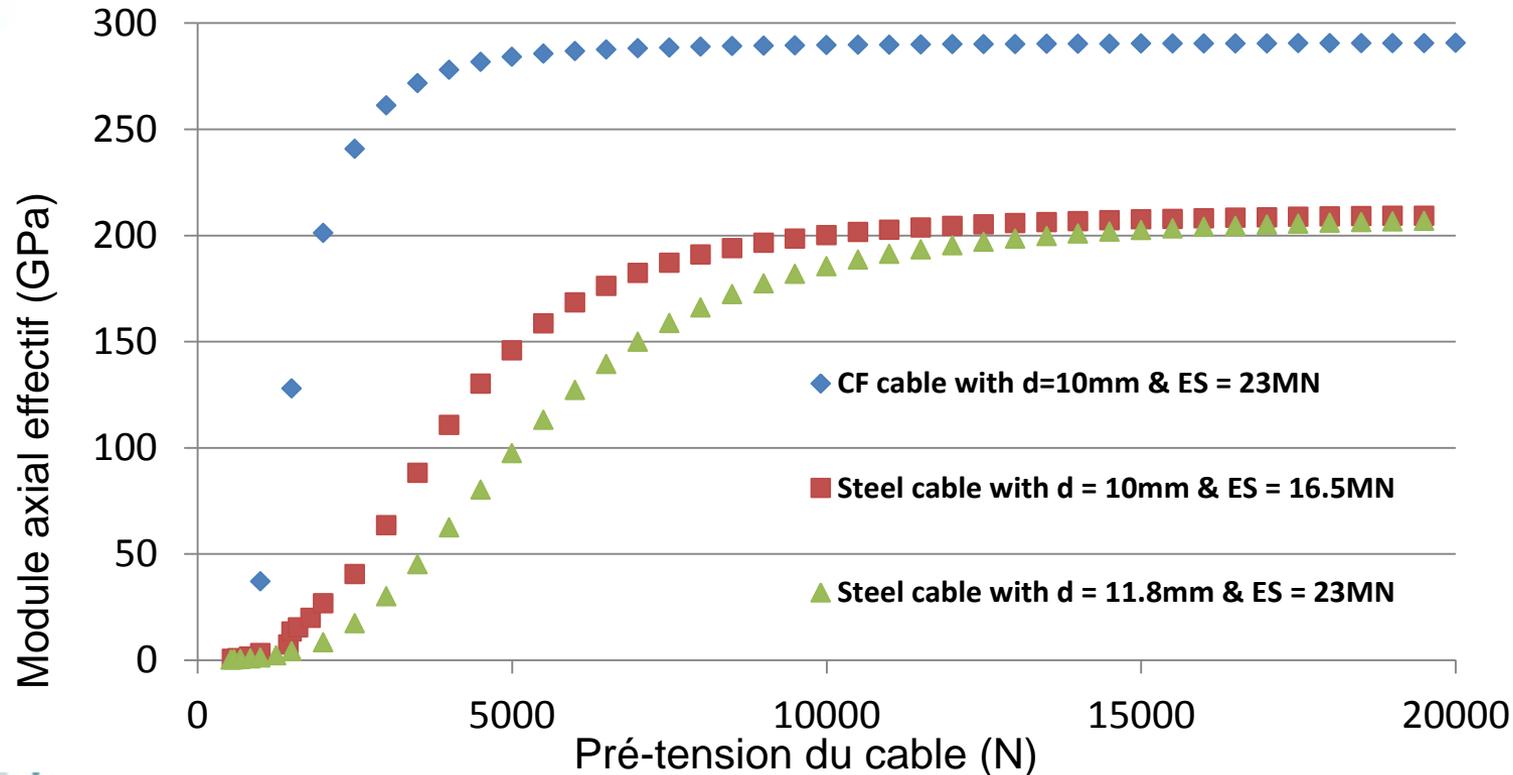


$$x_2 = \frac{F \cdot L}{E_{\text{eff}} \cdot S}$$

with:  $E_{\text{eff}} < E$

# Raideur axiale réelle des haubans

## *Comparaisons de différents haubans (diamètre et matériaux)*

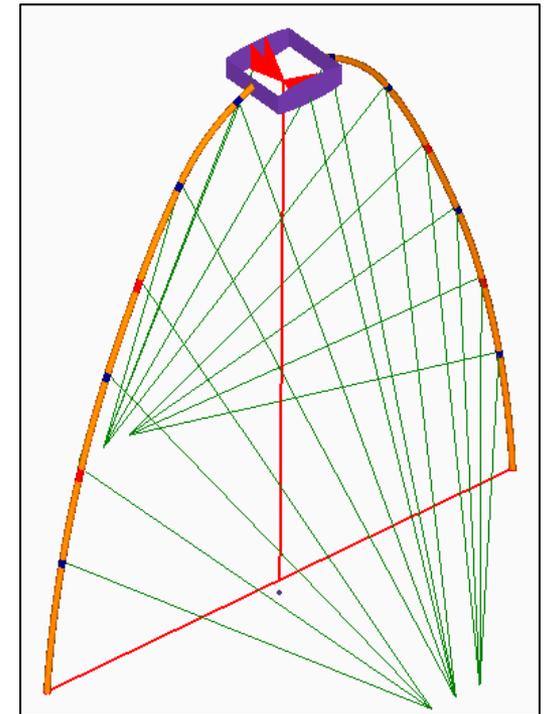
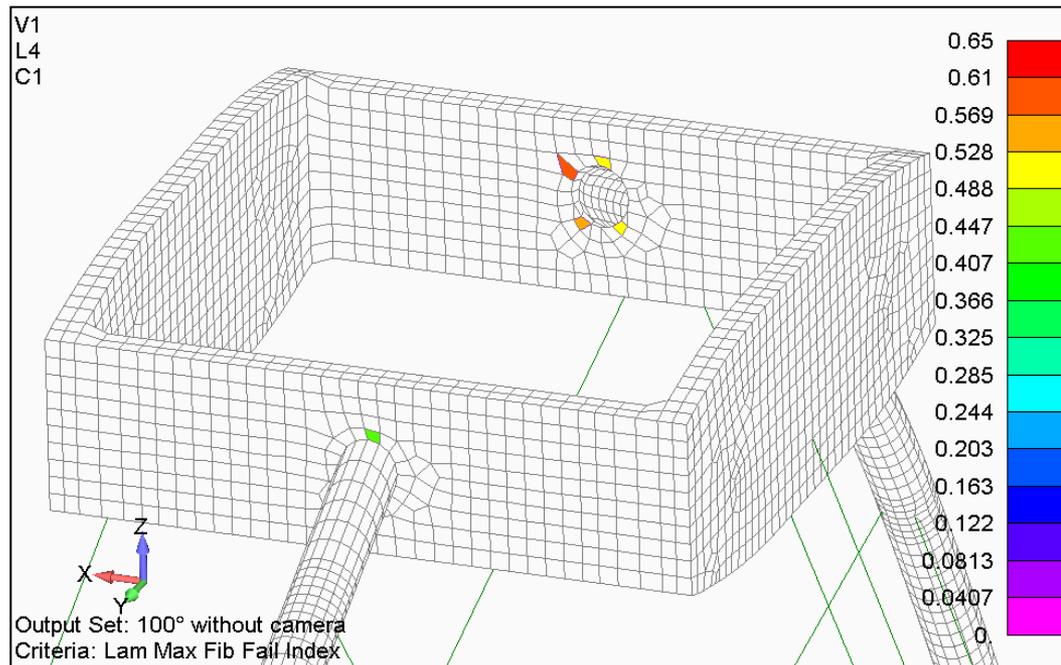


A iso raideur (ES) un câble acier est plus gros  
&  
Il faut une pré-tension plus grande

# Etude détaillée

Financement dédié à la sous-traitance d'une étude structure

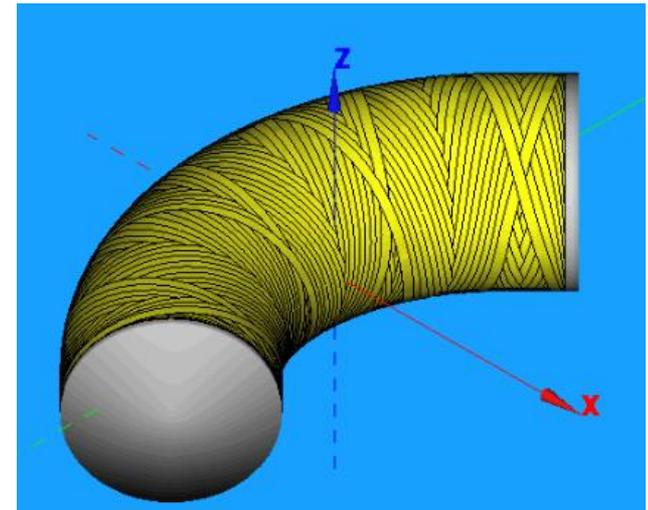
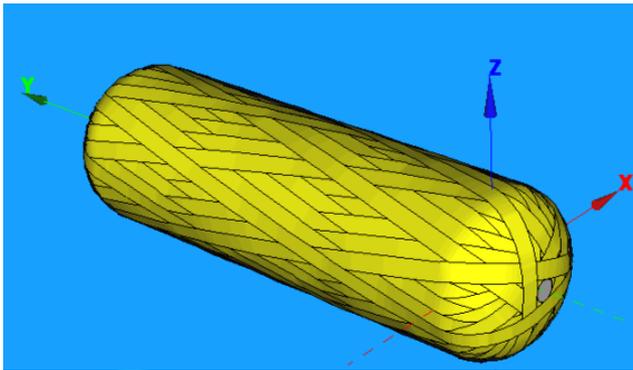
- Remise à plat de notre pré-étude
- Proposition de solutions alternatives
- Solutions de jonctions inter-tubes composites
- Proposition d'un design pour le cadre de la caméra



# Enroulement filamentaire Vs pré-imprégné

## Enroulement filamentaire

- Réalisation de tubes courts / droits
- Mieux adapté aux réservoirs sous pression ( enroulement circonférentiel)
- Tube courbes possibles mais mandrin mousse perdu (cout outillage)
- Impossibilité de placer des fibres à  $0^\circ$  ( $\pm 10^\circ$  min)
- Ratio résine / fibre « mal » maîtrisé
- Orientation des fibres moins bien connue spécialement pour les tubes courbes
- Outils de modélisation moins développés
- Moins bon compactage, taux de porosité plus élevé
- Température de transition vitreuse plus basse



# Enroulement filamentaire Vs pré-imprégné

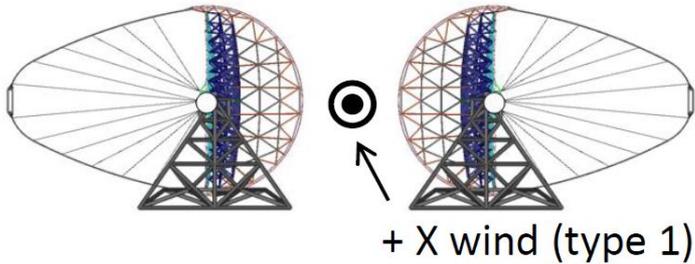
## Pré-imprégné

- Réalisation de tubes courts / droits
- Tube courbes possibles, cout outillage élevé mais réutilisable
- Toutes les orientations réalisables, renforts locaux possibles
- Bon compactage
- Ratio résine / fibre bien maîtrisé
- Outils de modélisation précis disponibles
- Température de transition vitreuse plus élevée

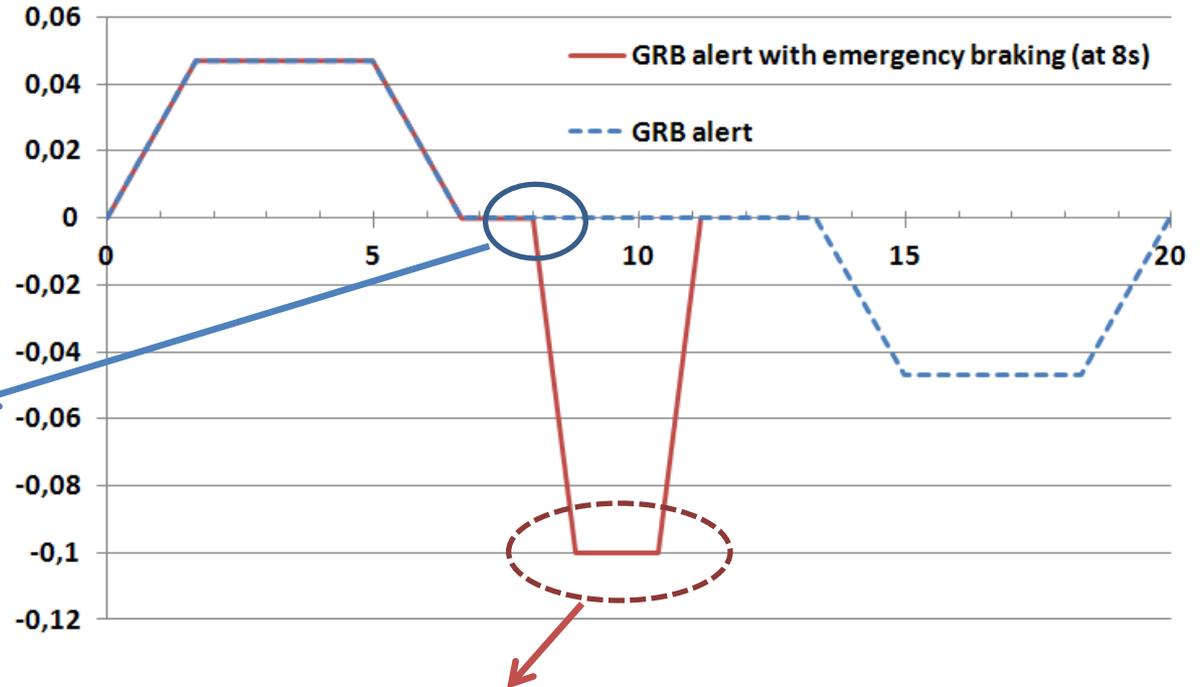
Structure plus légère et plus performante

Cout d'outillages répartis sur 8 télescopes (16 pièces)

# Loadcase #16: emergency braking during GRB repositioning



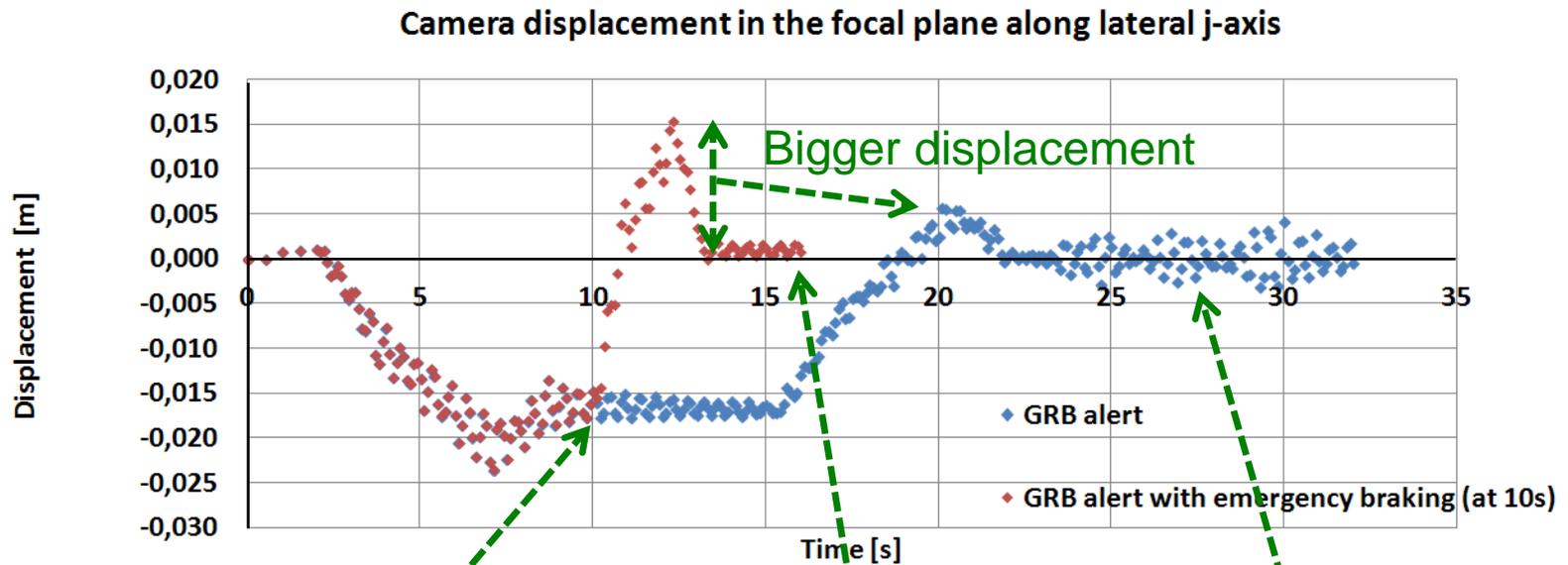
Azimuth acceleration (rad/s<sup>2</sup>)



Emergency braking occurs for max. speed ( $\approx 0.24$  rad/s)

**NB:** max. deceleration for emergency braking is 0.1 rad/s<sup>2</sup>

# Loadcase #16: *emergency braking during GRB repositioning*



Beginning of emergency braking

Wind **NOT** in the worst direction

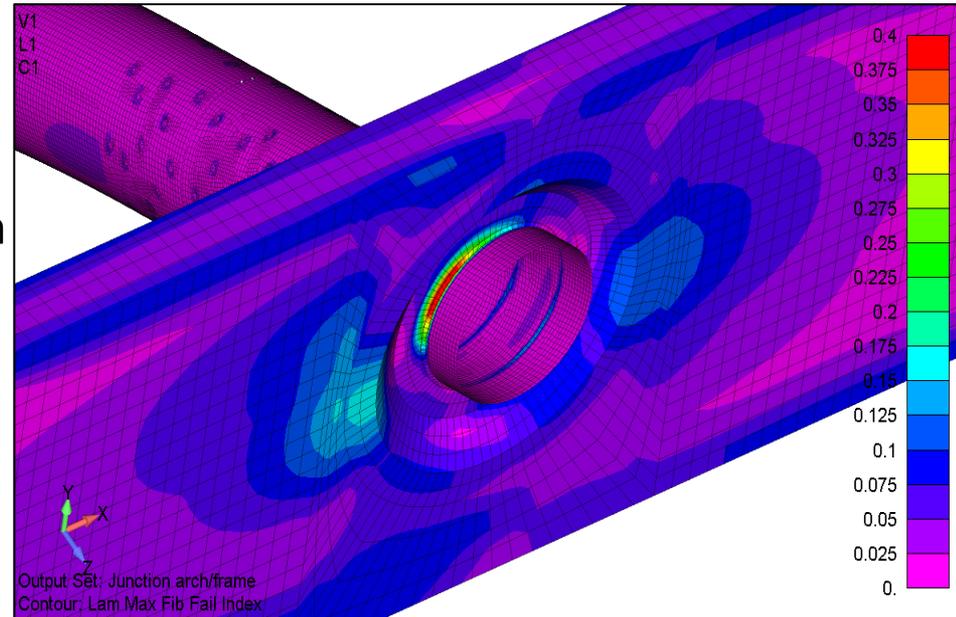
Wind in the worst direction (100% lateral)

Stop at 84° instead of 180°!

# Etude détaillée

- Calculs fait sur propriétés issues de la bibliographie  
*voir une combinaison de plusieurs sources biblio pour certaines propriétés*
- Critères de rupture retenus pour le dimensionnement :
  - Stratifié : Tsai-Wu
  - Mousse : cisaillement
  - Câbles contrainte max
  - Cables pas de perte de tension excessive

**Nécessite la connaissance de toutes les valeurs de résistance**



# Données matière, dur dur ...

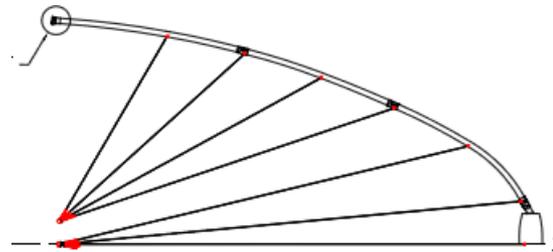
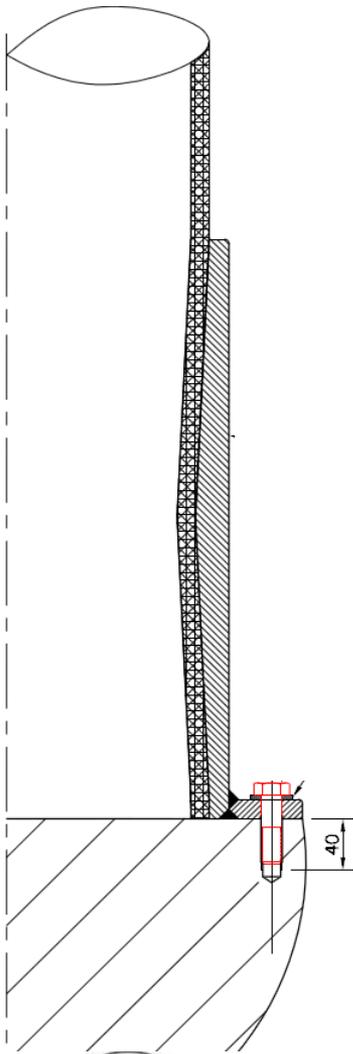
- Campagne de test matériaux faite par un fournisseur potentiel de fibres (Structil)

CUD-T700				
		Essais	Calcul initial	Variation
$E_{0^{\circ}-t}$	GPa	??	??	1,80%
$E_{0^{\circ}-c}$	GPa	??	??	-8,98%
$E_{90^{\circ}-t}$	GPa	??	??	34,96%
$E_{90^{\circ}-c}$	GPa	??	??	47,97%
$G_{12}$	GPa	??	??	-13,94%
$\nu_{12}$	GPa	??	??	7,53%
$\sigma_{tx}$	MPa	??	??	26,92%
$\sigma_{cx}$	MPa	??	??	35,79%
$\sigma_{ty}$	MPa	??	??	34,37%
$\sigma_{cy}$	MPa	??	??	-19,70%
$\tau_{xy}$	MPa	??	??	27,70%

**Des variations parfois importantes !**

➔ Etude de sensibilité des résultats

# Solution proposée pour l'interface basse



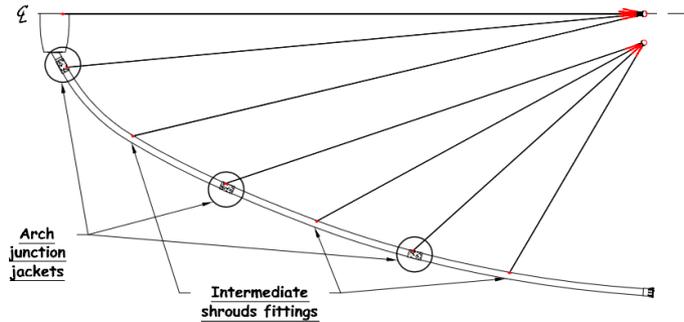
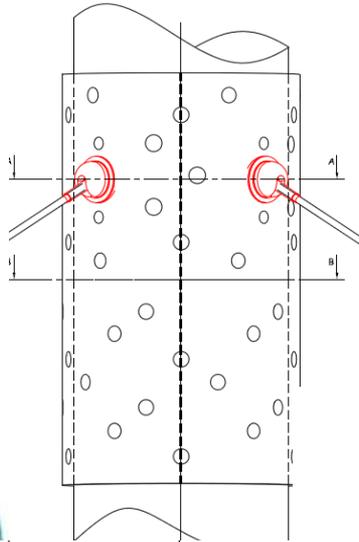
Bride métallique cylindrique :

- Double cône intérieur
- Dimensionnée uniquement grâce au coincement mécanique
- La bride se substitue localement au moule
- Tube polymérisé en autoclave dans le moule et la bride d'un coup



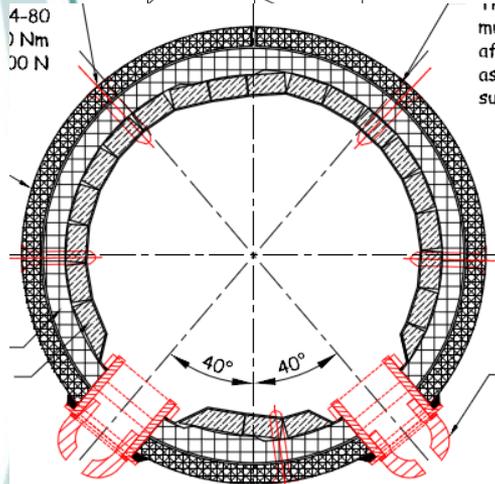
# Jonctions inter-tubes

JACKET/ARCH ASSEMBLY DETAIL

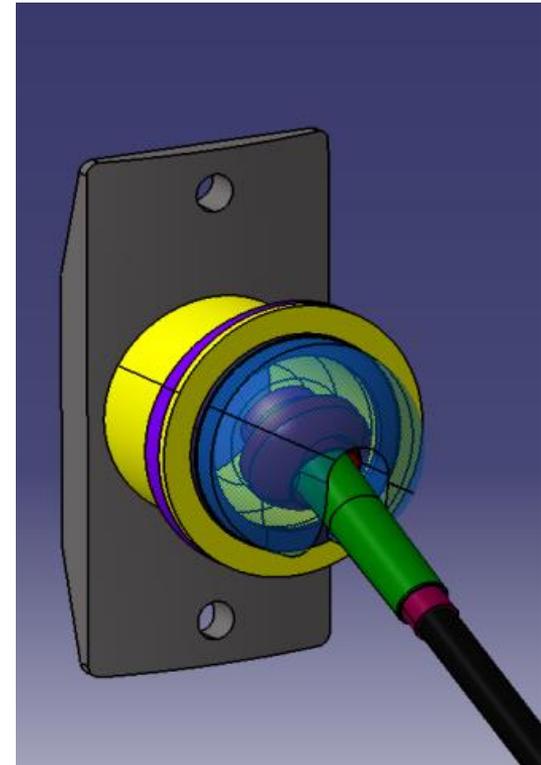
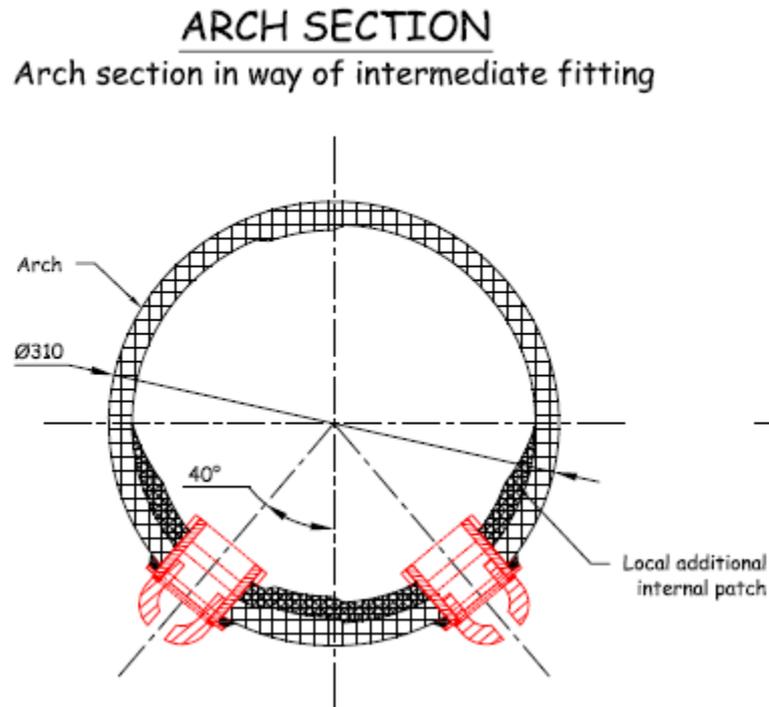


## Manchon carbone

- Manchon cylindrique fendu
- Fibres essentiellement axiales
- Inserts Tufnol dans l'extrémité des tubes (taraudages).
- Procédure de perçage assurant le serrage des tube par le manchon



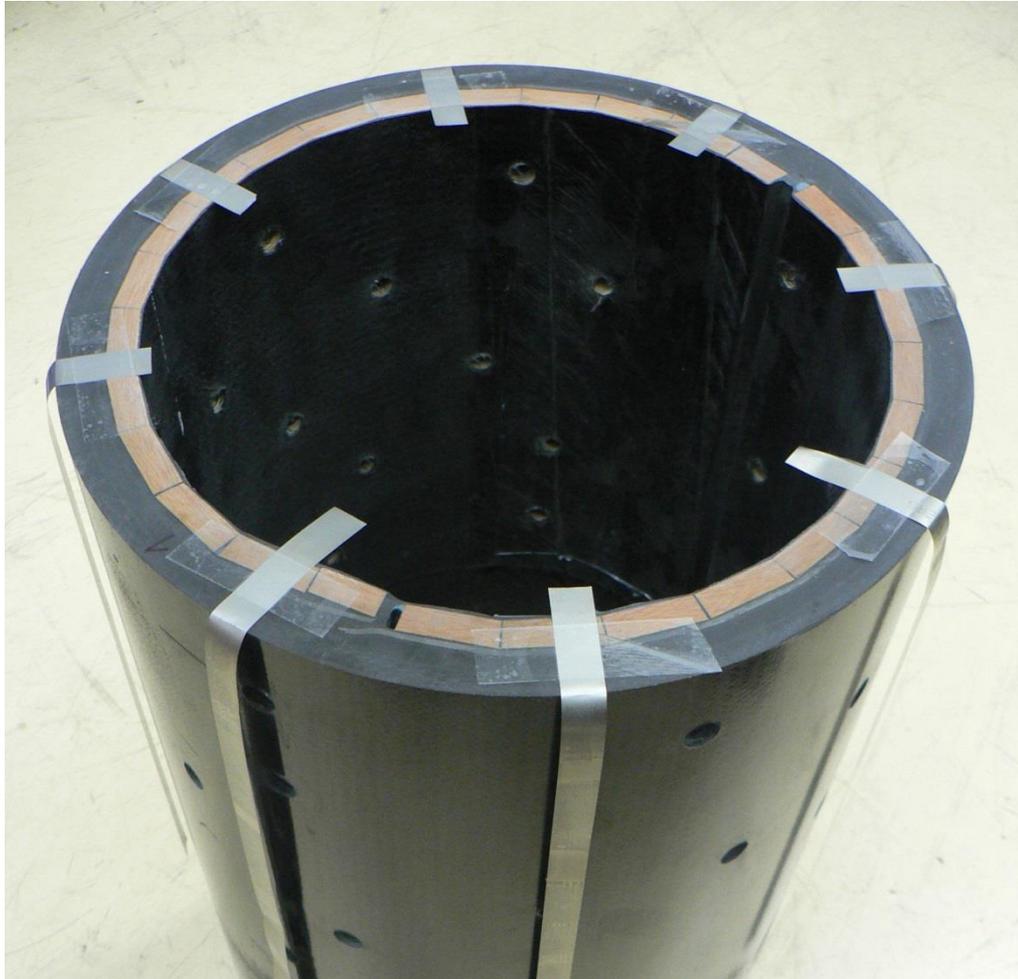
# Ancrage des haubans



Ancrage des haubans :

- Micro tang (emprunté au nautisme)
- Renforts locaux aux points d'ancrage

# Jonctions inter-tubes



# Les surprises du prototype manchon

Pincement du manchon lors de son ouverture

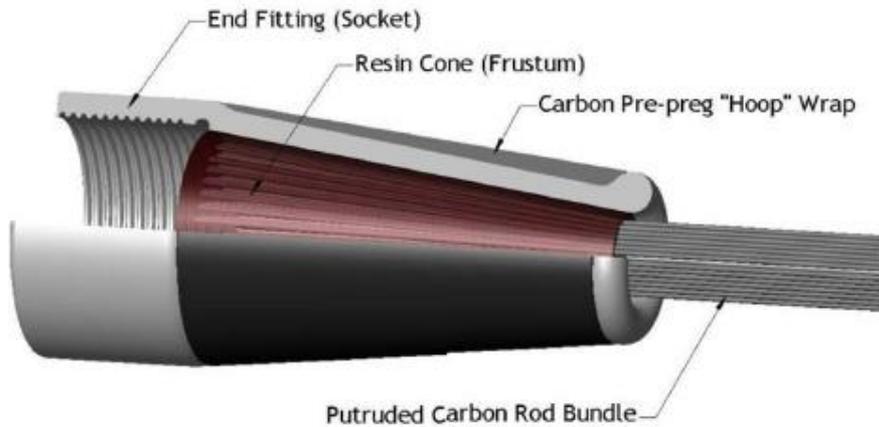
- Largeur de rainure longitudinale insuffisante
- Au serrage contact sur lèvres du manchon

Pincement du manchon lors de son ouverture

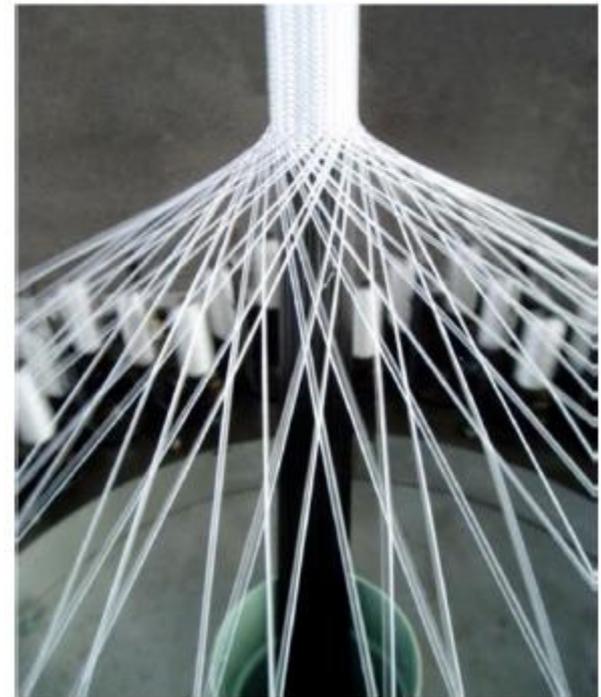


# Haubans carbonés

Jonc carbonés mis en //

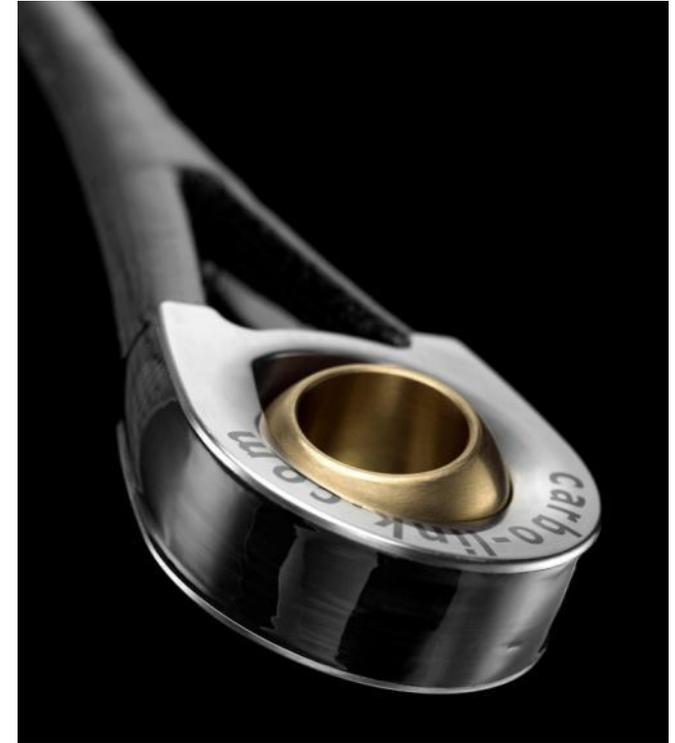


Gaine de protection  
tressée (optionnelle)



# Haubans carbonés

## Enroulement filamentaire (Carbolink)



Fibres pré-imprégnées enroulée en continu  
autour de deux terminaisons métalliques

Polymérisation

# Haubans carbonés

## Différentes sections réalisables



Circulaire



Elliptique (trainée, diamètre de bobinage)

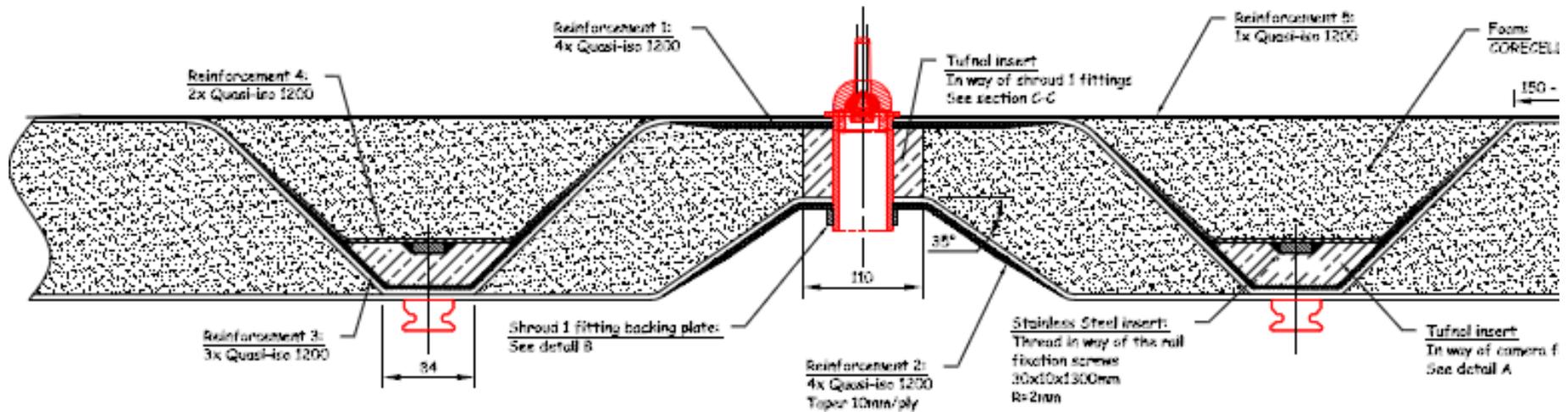
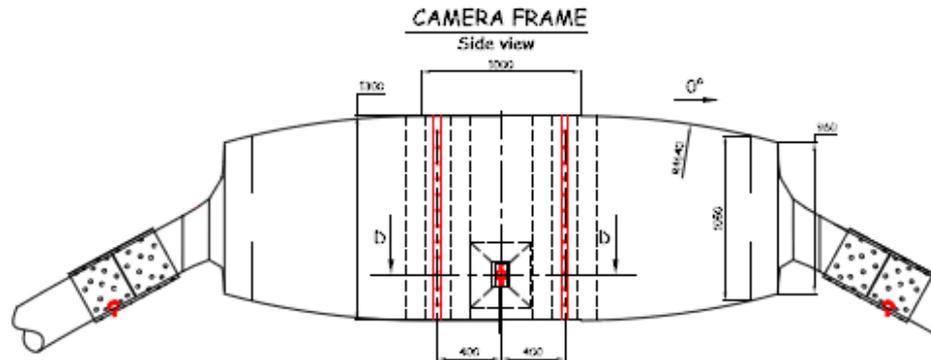


Quartiers séparés par film (à recoller sur place)

Polymérisation « sur place » par effet joule  
(attention aux délais production → installation)



# Cadre de caméra





## Questions ?