

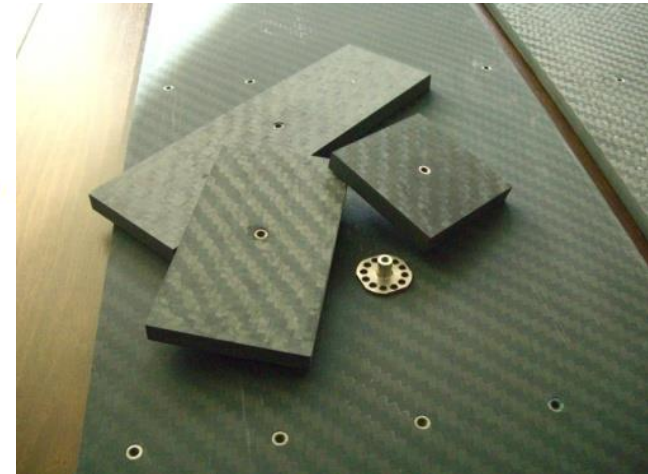
# COMPOSITE

- Thermo compression  
*rails en carbone pré imprégné*

- Inserts

*assemblage par inclusion dans plaques de préimprégné*

- Structures composites  
*du futur détecteur PIXEL d'ALICE*





## Le projet ILC / CALICE

# Thermo compression

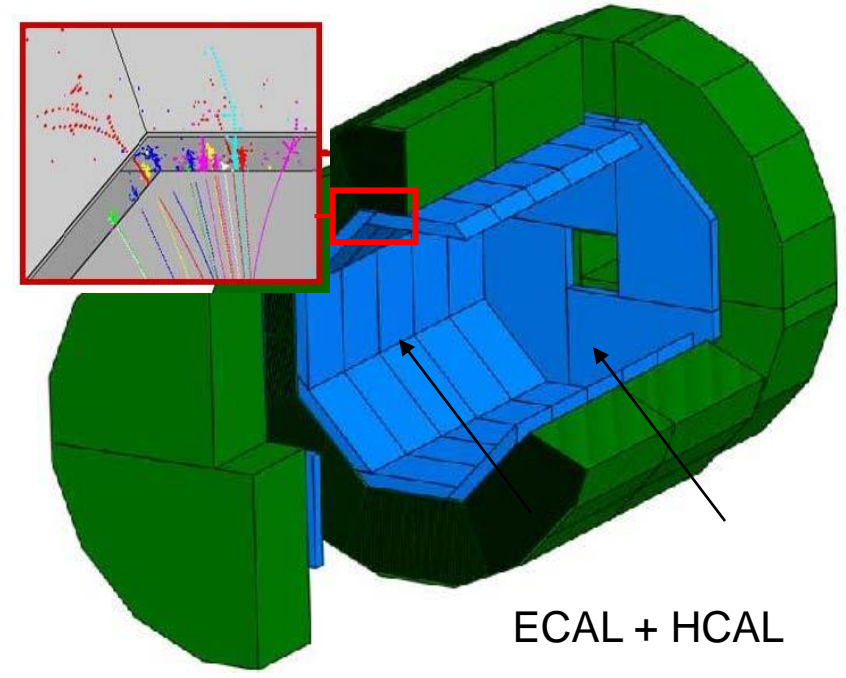
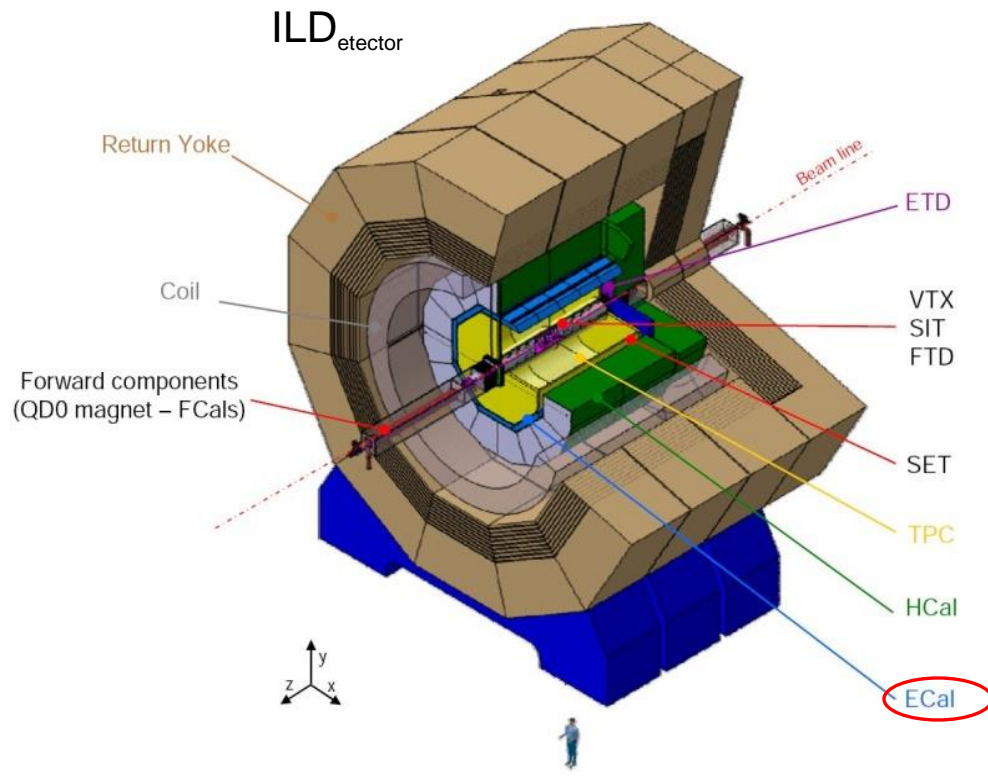
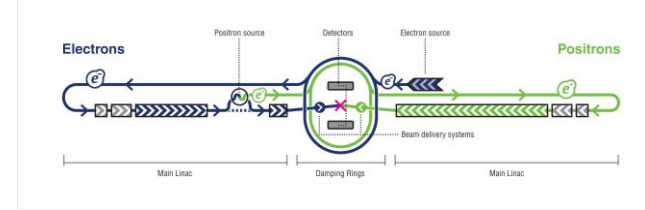
rails en carbone pré imprégné  
moule de compression et presse chauffante



# Le projet ILC



ILC (International Linear Collider), est un projet de collisionneur linéaire  $e^+e^-$  de 30 Km de long avec une énergie de 90 à 500 GeV. Il permettra des mesures de très haute précision



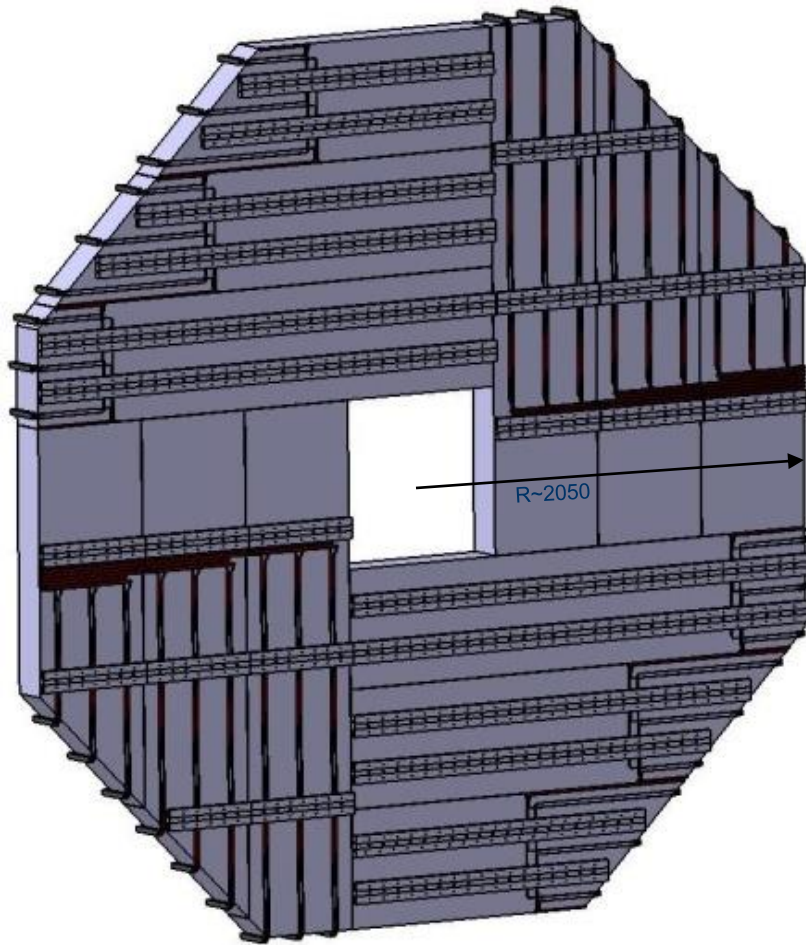
ECAL: calorimètre électromagnétique Silicium-Tungstène (SiW).

# ILD - Architecture des bouchons EM

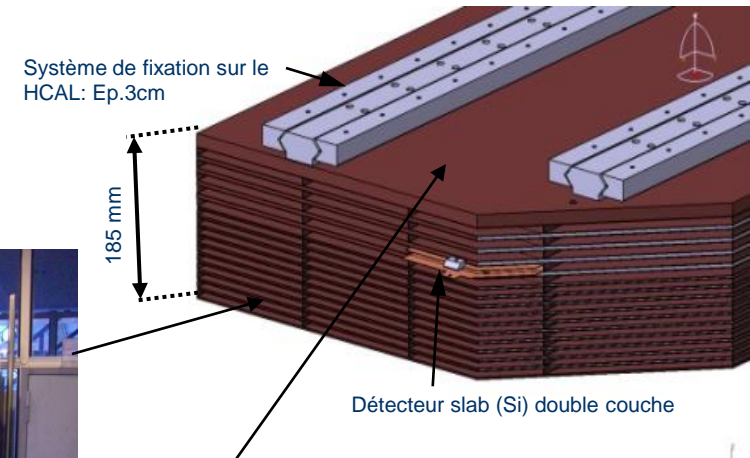


2 x structure modulaire alvéolaire W / Carbone HR – 25,5 t

12 modules indépendants - 2 x 540 alvéoles  
+ système de guidage/supportage  
+ système de refroidissement



Moulage d'un layer 3 alvéoles  
L = 2.490 m Ep.paroi = 0.5mm



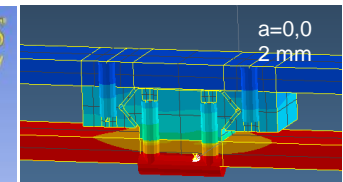
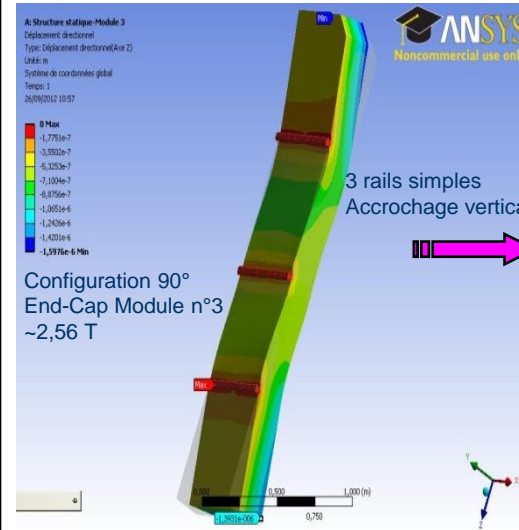
Plaque épaisse Carbone HR  
Ep. 13 mm , avec inserts et rails

## Interface par rails et fixation sur l'hadronique

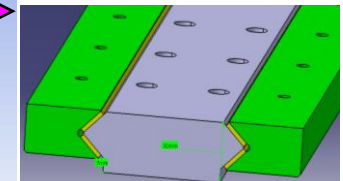
Les rails permettent d'assurer la fixation et le guidage de la structure du barrel et des deux End-Caps du ECAL avec le HCAL qui représente la structure portante de l'instrument .



## Design 3D de différents systèmes d'accrochage **Ep. 30 mm** & double rangée



Simulation par E.F. pour déterminer la rigidité des rails



Détermination de rails doubles

Simulation E.F., but: Influence de la **position / nbr** de rails

## Evolution

Alternative à des rails aluminium : rails composites

Avantages:

- masse (passer de 1.5 kg à 850 gr)
- a-magnétisme (ECAL plongé dans un champ magnétique de 4 Teslas)
- résistance (pouvant supporter la charge et reprendre les efforts)

# SMC (Sheet Moulding Compound)



## Quel procédé et quelle matière première

- Des formes 3D complexes limitent l'utilisation de matrices à base de fibres continues stratifiées renforcées classiques
- Pièces avec brusque variation d'épaisseur de la section
- Pièces avec copolymérisation d'éléments (inserts métalliques, etc...)
- Utilisation dans un processus de production automatisé
- Production de pièces sans aucune chute de matière.



*Plaque composite End-Cap 13mm difficile à réaliser en 1 pièce avec rails intégrés*

## Moulage par compression de mat préimprégné SMC Fibre de Carbone/Résine Epoxy

- Mélange d'imprégnation : polyesters, agents compensateurs de retrait, charges, catalyseurs, inhibiteurs, agents de mûrissement, agents de démoulage, pigments
- Renfort carbone HR  
(taux de renfort 25 à 50 % pondéral) → 57% ( $Tx_{vol}$ ) ici

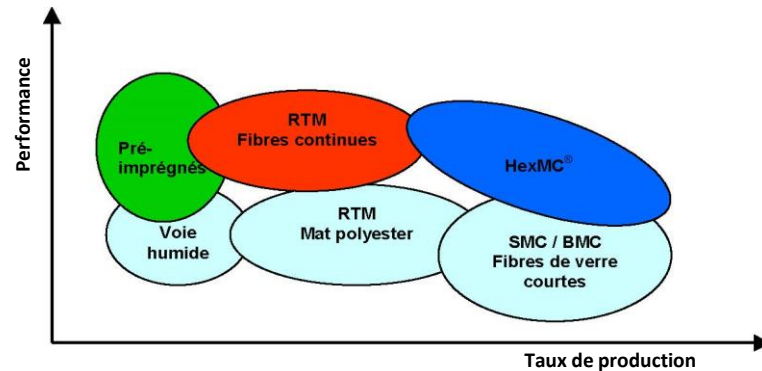
Composites testés pour la réalisation de 8 rails:

- HexMC® (Hexcel) - **HexMC® / C / 2000 / R1A**
- SMC LONZA carbone HUP CF 24/50 RB-1090/34175 (Polynt)



*Rail composite / thermo-compression*

## Le HexMC® comparé aux autres technologies



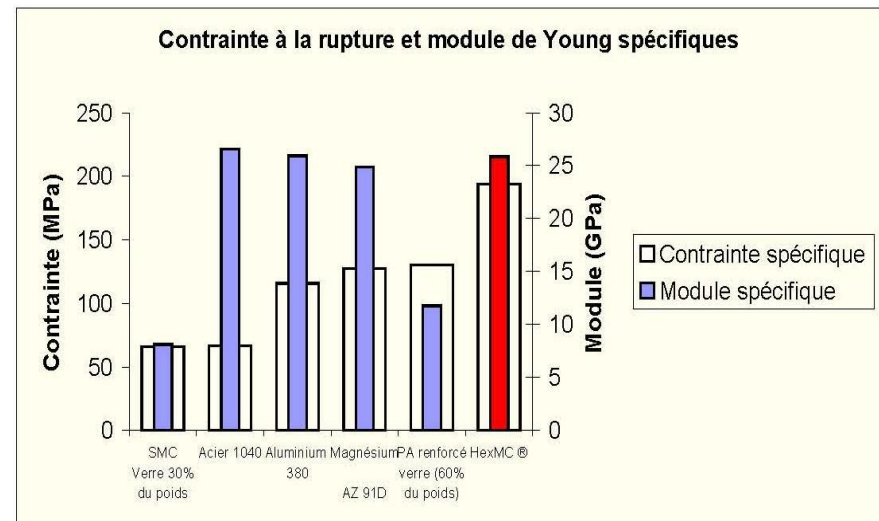
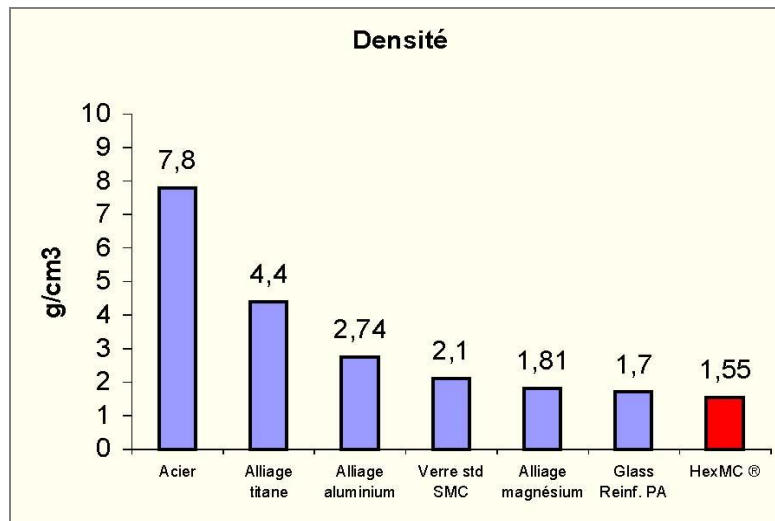
Rouleau d'HexMC®

### SMC époxyde:

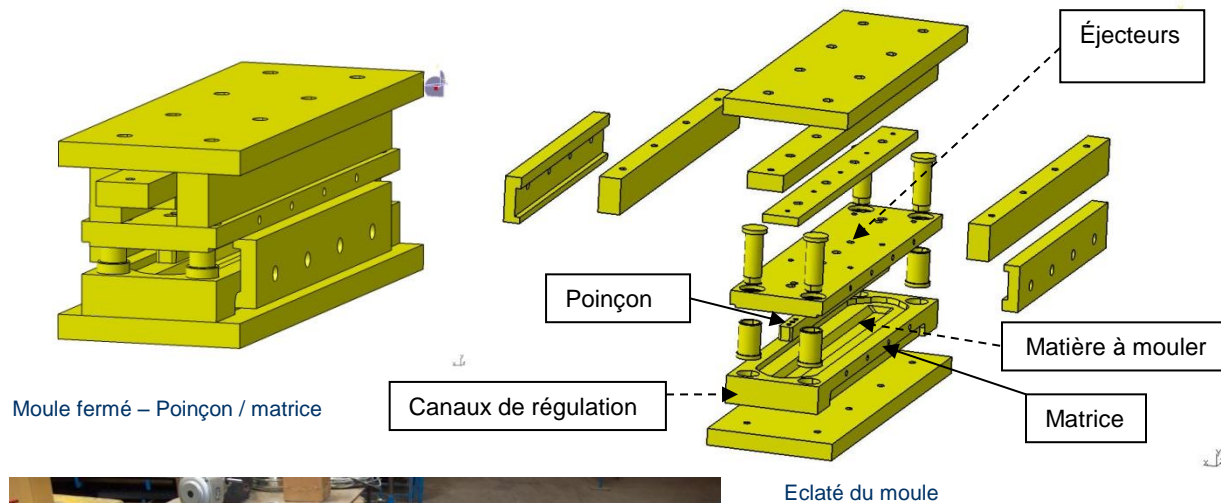
- Carbone à fort nombre de filaments
- Faisceaux de 50 x 8 mm
- Taux volumique de fibres de 57 %
- Système époxyde à polymérisation rapide
- Mat préimprégné fourni en rouleaux suffisamment malléable et collant pour être coupé, empilé afin de former une « charge »

## Propriétés mécaniques

Comparaisons des propriétés du HexMC® aux métaux à couler, au plastique renforcé à mouler et à l'acier



- Moulage à chaud (120 à 160 °C) par compression entre un moule et un contre-moule en acier
- Le moule est placé entre les 2 plateaux chauffants d'une presse 80T, mais on peut aussi envisager un moule à cartouche chauffante



## Critères de choix de la presse

- Presse force (t)
- Dimension des plateaux
- Ouverture
- Course
- Descente rapide (mm / s)
- Travail (mm / s)
- Chauffage moules thermo fluide



# Procédure de mise en œuvre



Opération	HexMC (Hexcel)	SMC Lonza (Polynt)
Conservation et sortie du matériau préimprégné du congélateur		
Reprise de la température ambiante dans son emballage		
Nettoyage du moule avec un solvant		
Application d'un agent de démoulage (Freekote 700 NC)		
Préchauffage du moule - <b>Température</b> de moulage	120°C – 150°C	120°C
Enlèvement du film protecteur		
Détermination de la masse de la pièce finie, et coupe des formats du mat préimprégné pour former une <b>charge</b> de masse supérieure de 2 à 5 %	Entre 922gr et 914gr	Entre 900gr et 800gr
Caractéristique de la pré-cuisson si nécessaire (exemple : Pré-cuisson : 13 minutes à 100° C puis Cuisson : 10 minutes à 120° C)		
Mise en place de la charge dans le moule de compression (couverture d'environ 80% de la surface du moule)		
Fermeture du moule et application de la <b>pression</b> (entre 50 et 150 bars) pour entraîner le fluage de la matière et le remplissage de l'empreinte	120 bar	120 bar
<b>Temps de cuisson</b>	2,5 min/mm Ep soit 75min	60 sec/mm Ep soit 30min
<b>Temps de compression</b>	30 sec/mm	2,5 min/mm
Caractéristique de la post-cuisson si nécessaire		
Démoulage à chaud - Le temps de durcissement très court (en fonction de l'épaisseur) permet un démoulage rapide		

Objectifs	Conséquences
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Taux de fibres maximal</li> <li>-Taux de porosités minimal</li> <li>-Positionnement du renfort durant la polymérisation</li> <li>-Respecter les paramètres de polymérisation (cycle T°/P)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de fibres: fonction de la pression et de la viscosité de la résine</li> <li>- Viscosité de la résine: fonction de T° (attention à l'essorage)</li> <li>- Porosités: forte pression et vide (attention / cisaillement de la matrice)</li> <li>- Position du renfort: patrons ou gabarits de dépose</li> </ul>



Moule HP pour rails Carbone HR



Découpe et pesage de la matière



Remplissage de l'empreinte



Poinçon monté sur la traverse de la presse



Matrice et poinçon montés sur presse chauffante 80T



Barreau sorti de moulage, non ébarbé (démoulage à chaud)

## Marquage défaut d'aspect

- Traitement de la surface du barreau après usinage (nickelage...)
- 3 éjecteurs à régler à ras de la surface du poinçon (hauteur des extracteurs)

## Retrait - Dispersion / épaisseur

Dispersions sur les cotes d'épaisseur ( $30 \pm 0,1$ ) importantes:

- SMC: 0.4 à 0.75 mm
- HexMC: 0.15 à 0.4 mm

(habituellement de l'ordre de 0,05 à 0,1 mm /pièces structurales faible Ep.)

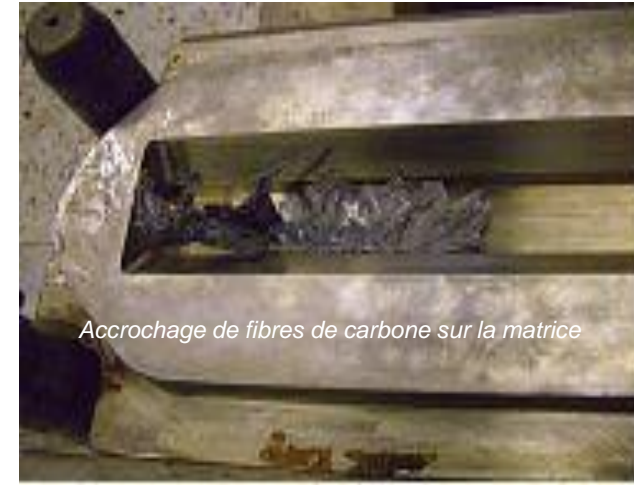
- L'HexMC est un matériau qui flue peu lors du compactage  
→ irrégularité de répartition de la matière dans le moule
- Probable retrait de matière après réticulation
- Cote de fermeture du moule
- Coefficient de correction pour moules acier

## Arrachements lors du démoulage

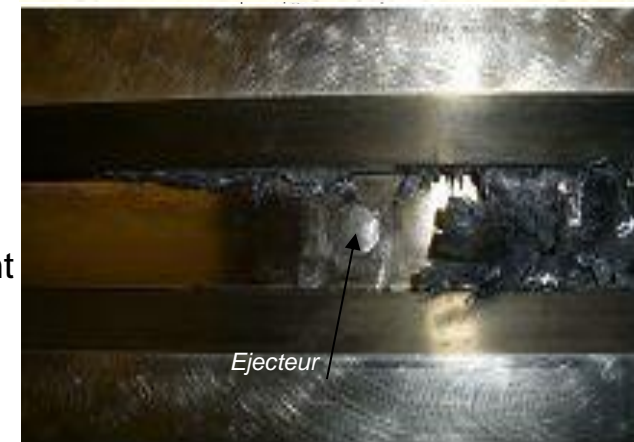
Bavures importantes (de l'ordre de 0,5 à 1 mm)

- Masse à ajuster en fonction des pertes de résine dans le plan de joint
- Ajustement jeu de l'assemblage barreau/corps principal du poinçon (0,3mm=accrochage fibres)

## Mise en œuvre: HexMC (+) SMC LONZA (-)



*Accrochage de fibres de carbone sur la matrice*



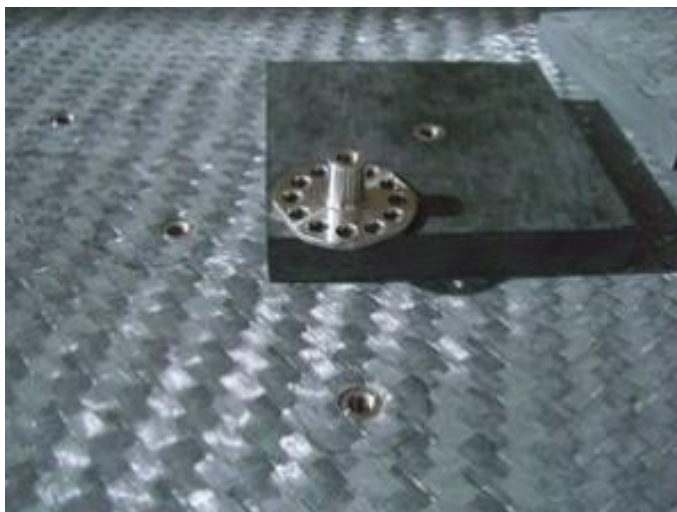
*Ejecteur*



# Le projet ILC / CALICE

## Inserts

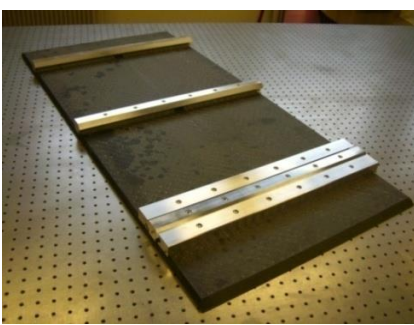
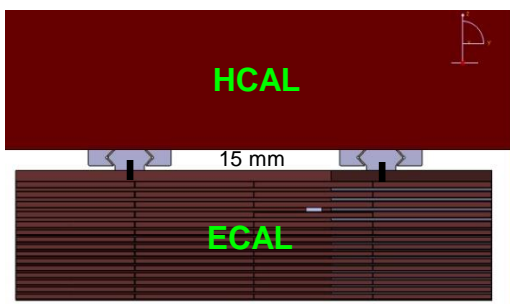
assemblage par inclusion dans plaques de préimprégné



## Principe de fixation par inserts métalliques

Des inserts métalliques sont noyés dans la plaque composite épaisse, « colonne vertébrale » de chaque module, permettant la fixation des rails de guidage

Les inserts métalliques servent à introduire des efforts sur une pièce composite structurale, c'est-à-dire qu'ils permettent la transmission des sollicitations de la pièce vers la structure métallique de l'ensemble



Des inserts métalliques sont noyés dans la plaque permettant la fixation des rails de guidage

Différentes techniques d'assemblages

- Collage*
- Sertissage*
- Expansion*
- Fusion (pour les thermoplastiques)*
- Emmanchement*
- Inclusion***





# Inserts métalliques



Insert « Beaghead » F2\_B\_S\_38 soudé – acier doux galvanisé



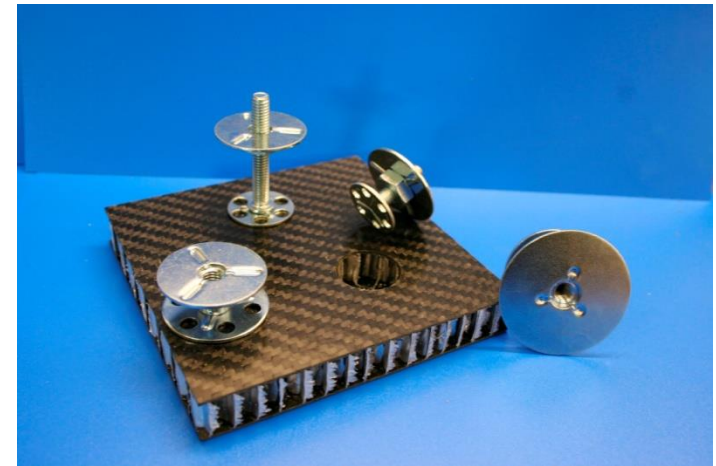
© 2014 Tappex Thread Inserts Ltd



©2013 MARKETING MASTERS, INC.



Inserts usinés LPSC – Inox amagnétique  
(Rp0.2 ≈ 400Mpa et Rm ≈ 680 Mpa)



Inserts « Beaghead »

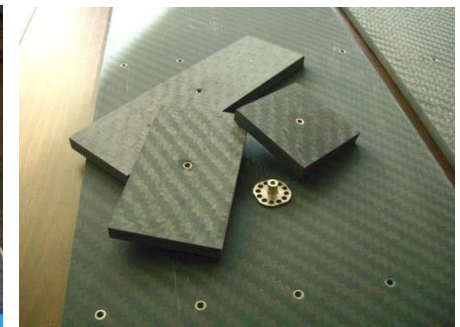
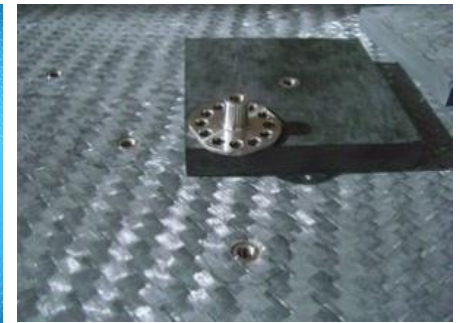
Pour des problèmes:

- de réactions chimiques avec certaines résines (résines phénoliques): traitements de surfaces (décadmiage et nickelage).
- de corrosion galvanique par le carbone (sur renforts secs avant imprégnation): isoler le métal en contact avec le carbone (Intercaler un pli de tissu de verre ou traiter le métal par anodisation)

# Mise en place des inserts métalliques

Embase circulaire ou carrée à noyer dans le composite :

- Trouer les plis du préimprégné lors du drapage pour laisser passer les tiges des inserts
- Percer les fibres une fois polymérisées = usinage post cuisson + plis extérieurs

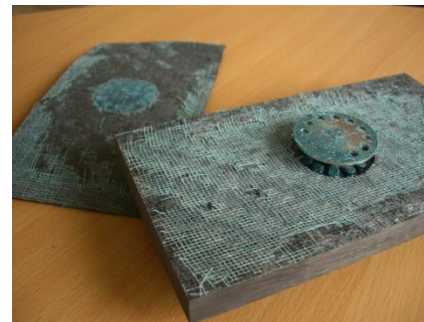
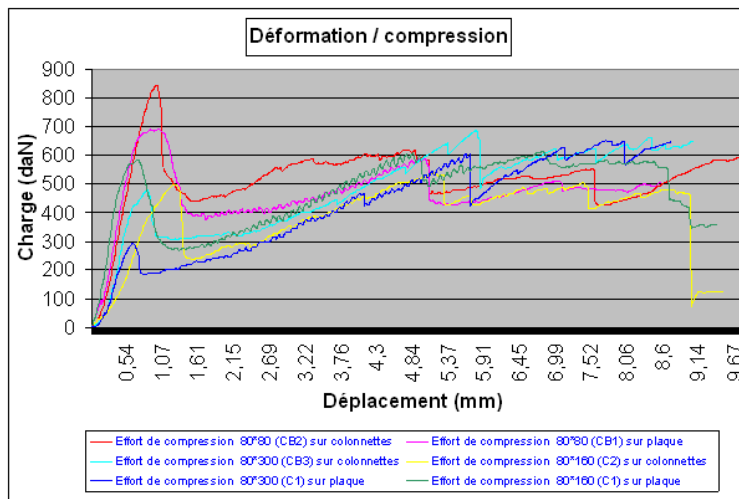
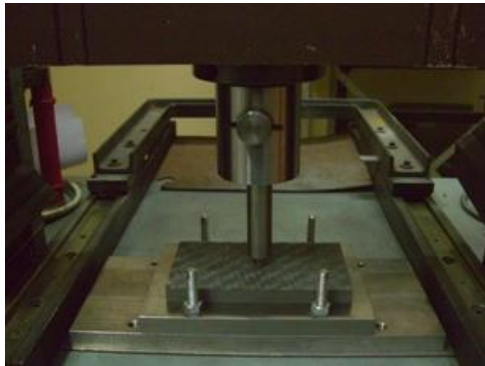


*Plaque de fond et éprouvettes en fabrication (inserts collés avant drapage final – plaques finies)*

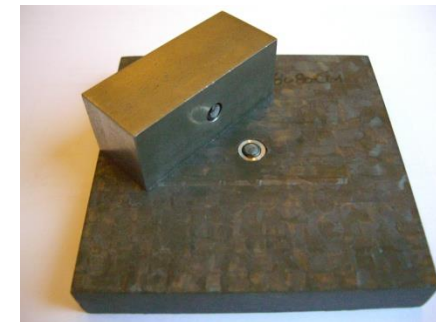
- Araldite (classe 120°C) type Redux 420 A/B
- 3M Scotch-Weld™ 7271 Hybrid structural adhesive



## Rupture des plaques épaisses au niveau des inserts Essais de traction, compression, flexion et cisaillement



*Délamination des plis extérieurs / compression*



*Rupture vis « fusible » / cisaillement*

But: valider la charge minimale admissible par ce système d'inserts noyés : 500 daN par insert.

# Plaques composite épaisses



	EUDET 15mm	EUDET 2mm	End-Cap 13 mm
<b>Dimensions</b>	1152×549×15 mm	1495×549×2 mm	2493.2×564.4×13 mm (45 kg)
<b>Fournisseur</b>	SRUCTIL (Groupe SNPE)	"	HEXCEL + SGL groupe (2 plis revêtement)
<b>Ref Prepreg</b>	T2TE230	"	M10 + CE 8254
<b>Ref Fibre / Tissu</b>	TC230-01 12k Sergé 2x2 (Twill)	"	600T 2X2 / CHS 12K + sergé (SGL)
<b>Masse fibre tissu</b>	300 g/m <sup>2</sup> ± 15	"	600 g/m <sup>2</sup> + 282 g/m <sup>2</sup>
<b>Taux de résine</b>	40 % ± 3	"	42 %
<b>Type de résine</b>	R367-2	"	/
<b>Prix ~</b>	8 K€	0,8 K€	9,4 K€
<b>Nbr plis</b>	40 (48 pour le démonstrateur) + 2	6	20 + 2
<b>Nbr compactages</b>	7 plis - 5 compactages 5 plis - 1 compactage 2 plis - couverture inserts	6 plis – 1 compactage	6 plis - 1 compactage 7 plis - 2 compactages 2 plis - couverture inserts
<b>Cuisson autoclave (3m)</b>	3 bar 20 – 85° C / 2° C/min + 1h30 / 85° C 85 – 120° C / 0,5° C/min + 1h30 / 120° C	3 bar 0 – 80° C / 2° C/min 1h30 / 120° C	3 bar 20 – 80° C / 1,5° C/min + 1h30 / 80° C 80 – 120° C / 1,5° C/min + 1h30 / 120° C
<b>Film de colle</b>	Redux 609 300g/m <sup>2</sup>	/	Redux 609 300g/m <sup>2</sup>
<b>Nbr inserts / colle</b>	18 M6 / Araldite 420/A-B	/	30 M6 / Araldite 420/A-B
<b>Usinage</b>	Découpe jet d'eau (plaque ep.=17.6 mm) Usinage formes inserts, Ep. et chanfreins	Découpe jet d'eau (plaque)	Découpe jet d'eau (plaque ep.=13.3 mm) Usinage formes inserts et chanfreins

# Matériel échelles PIXEL ALICE



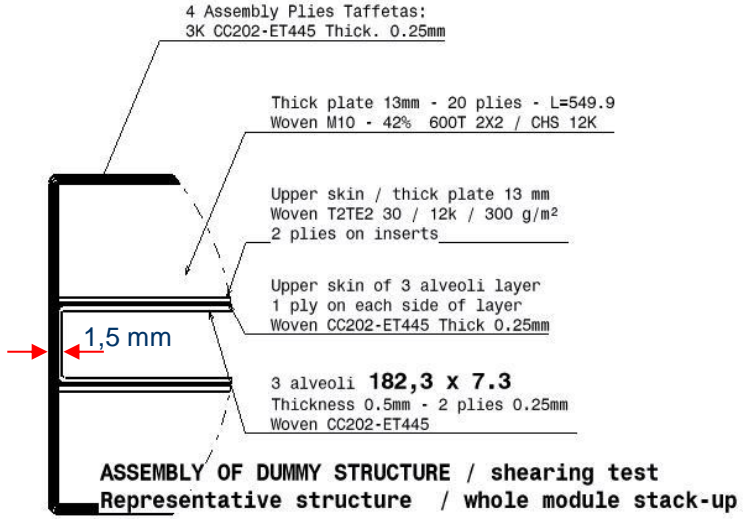
Supplier	Material	Ref	Dimension	Qty [m <sup>2</sup> ]	Price	
<b>Suter-Kunststoffe ag</b> <a href="http://www.swiss-composite.ch">www.swiss-composite.ch</a> Tel. 0041 (0)31 763 60 60 Fax 0041 (0)31 763 60 61	Rohacell foam	1G-F51 1/8 plate th.2mm	625x625 mm	2 pc	74 [CHF]	
		Aramide honeycomb	th. 2mm ¼ plate	1220x610mm	1 pc	46 [CHF]
		hard foam plastic	Airex C70.75 th.10mm	109x51cm	1 pc	42 [CHF]
		CF Roving	HM M60J 3k (100tex)	100m	1 spool	77,85 [CHF]
		CF Roving	HTA40 1k (66,7tex)	100m	1 spool	35 [CHF]
		CF Fleece	8 - 20 [g/m <sup>2</sup> ]		1	25,35 - 31,80 [CHF]
		CF fabric	Dry density 68 [g/m <sup>2</sup> ]		1	79,75 [CHF]
<b>Amazon Supply</b> <a href="http://www.amazonsupply.com">www.amazonsupply.com</a>	Miniature polyimide tubing	15AWG 30"Length Translucent Amber	Dout =1,514mm Din= 1,45mm W.Th=0,032mm Pmax 35.4bar	pack of 10	89,36 [USD]	
		18AWG 30"Length Translucent Amber	Din= 1.024mm, Dout=1.075mm, W.th = 0.0254mm, Pmax 40bar	pack of 10		
<b>TenCate Advanced Composites</b> <a href="http://www.tencate.com">www.tencate.com</a>		EX-1515/K13D2U 2k 33% th. 0,07 mm	FAW [g/m <sup>2</sup> ): 120 / 80 / 45	20 / 15 / 25 (1/100 panels)	11371 / 2874 / 3711 [USD] 10006 / 2529 / 3266 [CHF]	
		RS-3 K13D2U 2k				
<b>Torayca</b> <a href="http://www.mitsubishichemical.com">www.mitsubishichemical.com</a>	Dry CF thread	M55JB -6k				
	CF Prepreg	P12055F-13	125g/m <sup>2</sup>			

# Composite structure: shearing tests

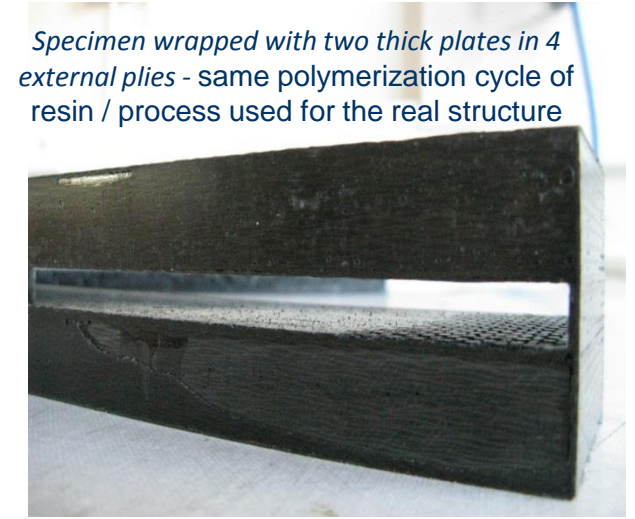


## Dummy structure and tests

Influence / modification of thickness of the outer plies **Impact on ECAL dead zone**

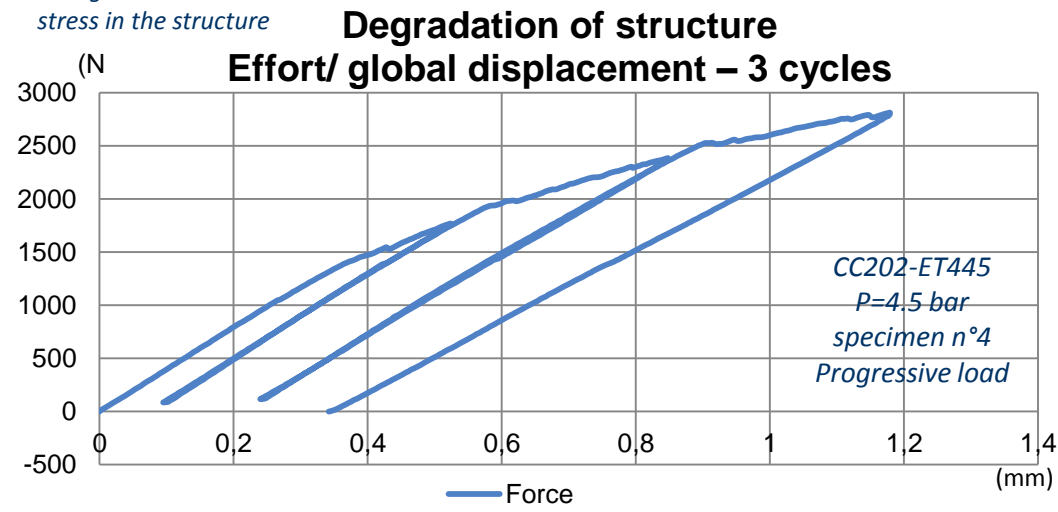


Shearing tests to determine stress in the structure



Specimen wrapped with two thick plates in 4 external plies - same polymerization cycle of resin / process used for the real structure

- Test of new resin complex ET445 for long wrapping
- Modification of curing cycle



Charge & discharge: progressive lowering in the force / displacement with gradual breakdown of resin  
Ecole IN2P3 Composites @ AUSSOIS 2014

# Moulage échantillons Prepreg HR

