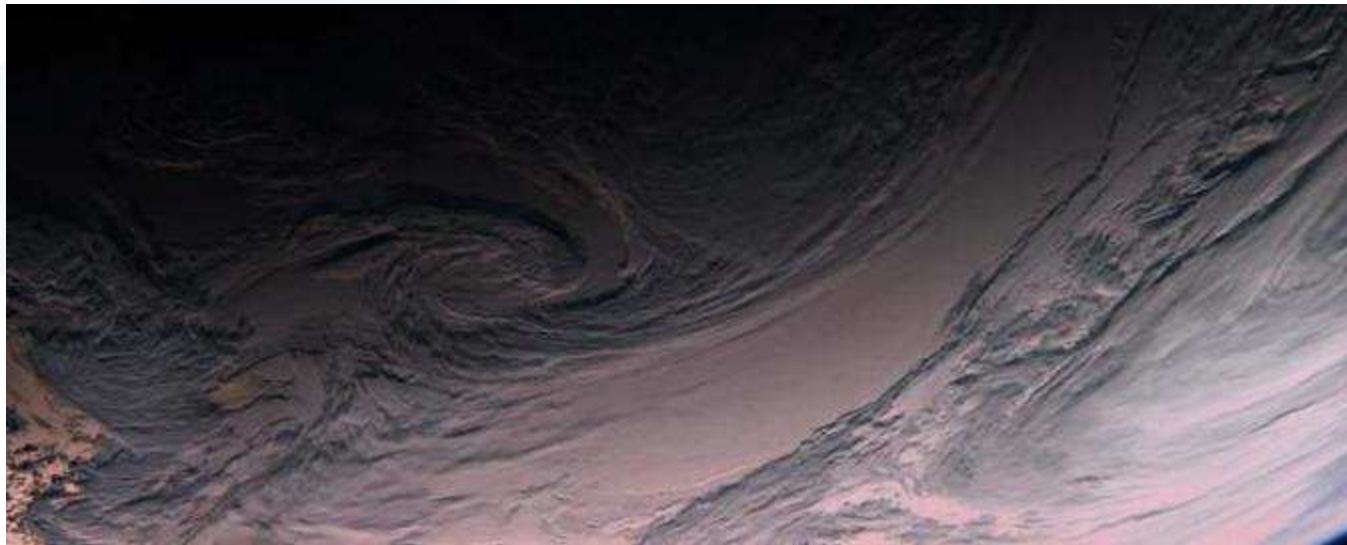


Echangeurs et Réacteurs en carbure de silicium : conception, fabrication, commercialisation
Marc Ferrato (BOOSTEC)



Présentation de BOOSTEC

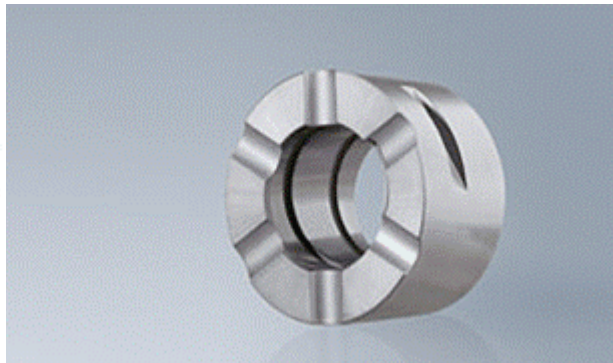
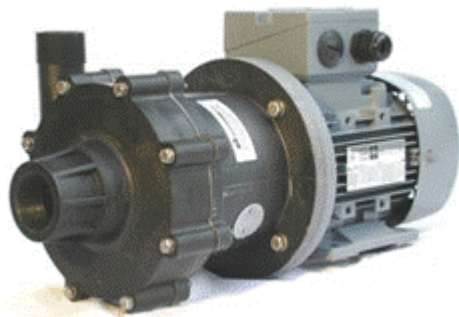
Le matériau SiC

Les équipements BOOSTEC® SiC pour la chimie

- Les échangeurs SiC
- Les réacteurs SiC pour la chimie sans catalyse
- Les réacteurs SiC pour la chimie catalytique

BOOSTEC company : our history

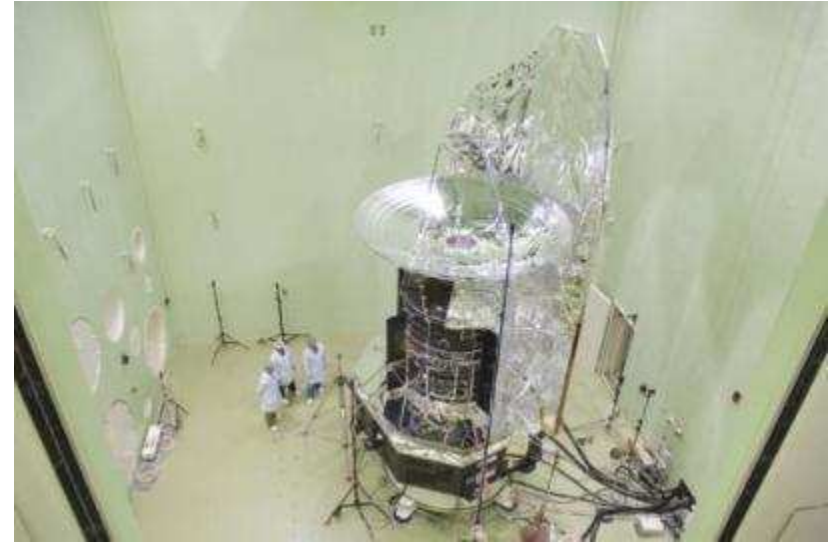
- 1985 Creation of an industrial company dedicated to the fabrication of sintered silicon carbide in Bazet, France : **Céramiques & Composites**
- 1993 Set up a common research activity between Céramiques & Composites and **Matra Marconi Space**
- 1999 Creation of **Boostec** company
 - Céramiques & Composites is sold to Wacker group, then to CERADYNE to become ESK France (now definitely closed),
 - Development of innovating ceramic products for space, electronics and chemical engineering,
 - A new company based on a long experience,
 - Our first “all in SiC space telescope”: **Osiris** embarked on Rosetta (ESA).



BOOSTEC company

- **2000 HERSCHEL contract**

- the largest space project of the decade,
- a several M€ contract, a concomitant investment of several M€,
- specialization of Boostec in space optics,
- reinforcement of the collaboration with EADS Astrium.



- **2006 GAIA contract**

Creation of **Celatec** company, subsidiary of Boostec, for the production of SiC green blanks

- **2010 Acquisition by Mersen** with 15% share still held by Astrium

MERSEN

ASTRIUM
AN EADS COMPANY

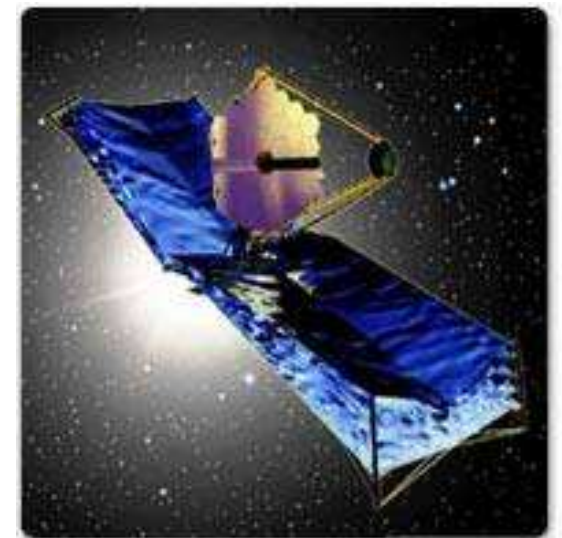


MERSEN

BOOSTEC company : ... now in 2012

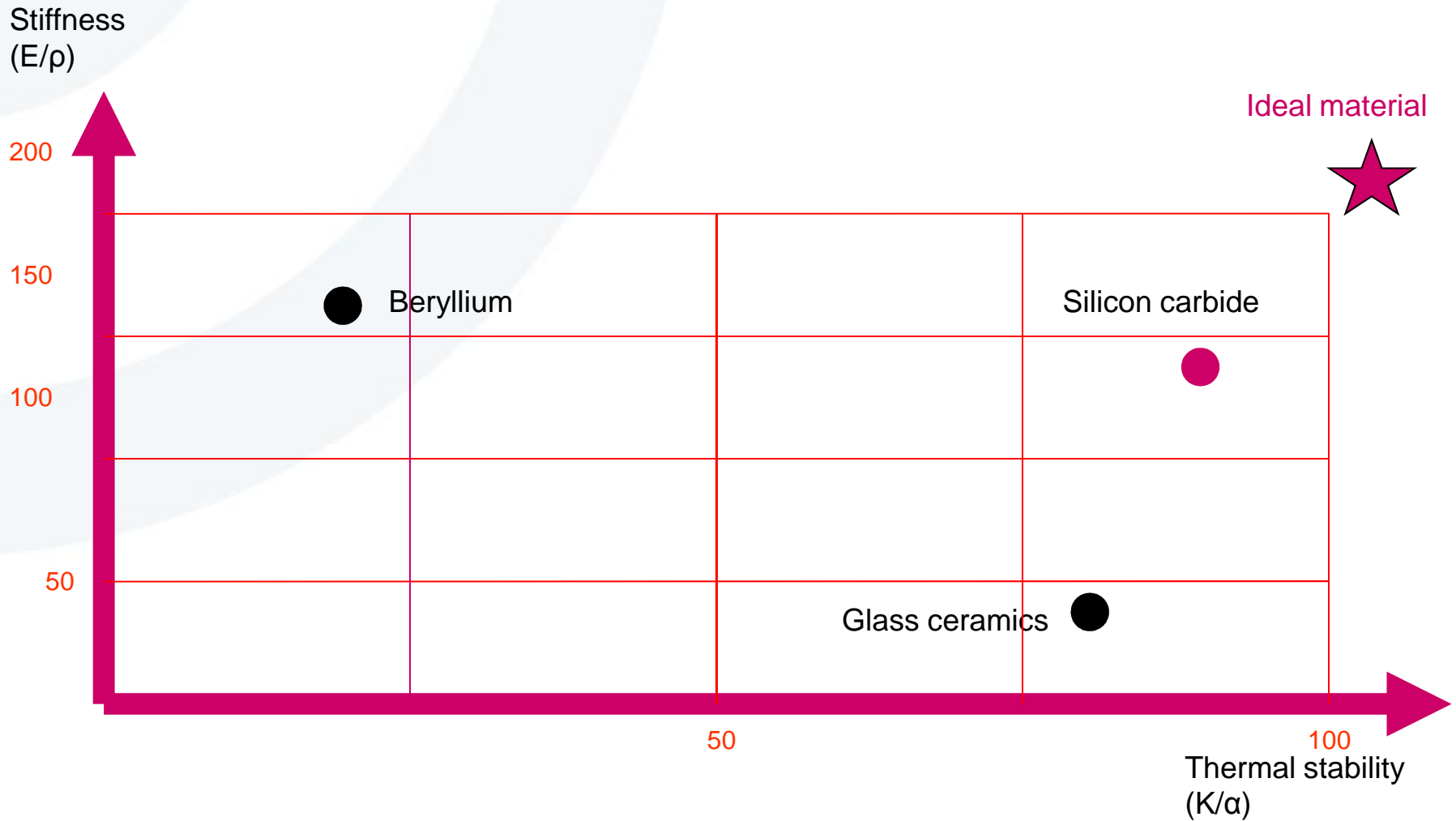
Several large space projects have been successfully achieved :

- **Earth observation instruments for ESA**
Aladin (Aeolus), Naomi – Astroterra (future Spot 6 and 7).
- **Earth observation instruments for export**
- Rocsat 2 (Taiwan), Theos (Thailand), Goci (Korea), Naomi – Alsat (Algeria) ...
- **Astrophysics instruments for ESA and NASA**
Osiris (Rosetta), Nirspec (JWST), Herschel...



7 all-SiC space instruments are currently in operation

Why BOOSTEC® SiC for optics instrumentation ?



BOOSTEC® SiC : CARBURE DE SILICIUM FRITTE NATUREL (S-SiC)

- Le carbure de silicium n'existe pas à l'état naturel sur la Terre. On en trouve assez couramment dans l'Univers.
- Il est synthétisé pour la première fois par Acheson en 1884 ($\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{SiC} + \text{CO}_2$).
- Il a été fritté pour la première fois par Prochazka en 1974. (S-SiC)
- Principaux marchés :
 - Frottement/corrosion (chimie/automobile)
 - Equipements de process du Si
 - Blindages



Different industrial SiC grades

Market size

Price

1. **Refractory of SiC including ceramic binders (oxide or nitride)**
 - *metallurgy, ceramic industry, wear parts*
2. **Recrystallized SiC *ReSiC***
 - *Wafer boats, ceramic industry*
3. **Infiltrated or Reaction Bonded SiC : *SiSiC* or *RBSiC***
 - *seals, burners, armors, optics*
4. **Liquid phase sintering SiC : *LPS SiC***
5. **Sintered SiC : *S-SiC* (un matériau pur , pas de silicium libre)**
 - *Seals, bearings, armors, optics, heat exchangers*
 - **Boostec® SiC,**
6. **Hot pressed SiC : *HPSiC***
 - *Armors, Si wafer processing,*
7. **SiC from Chemical Vapor Deposition: *CVDSiC***
 - *Si wafer processing , optics*
 - **Mersen GV**

Properties

Temperature of use

Mechanical properties

Thermal conductivity

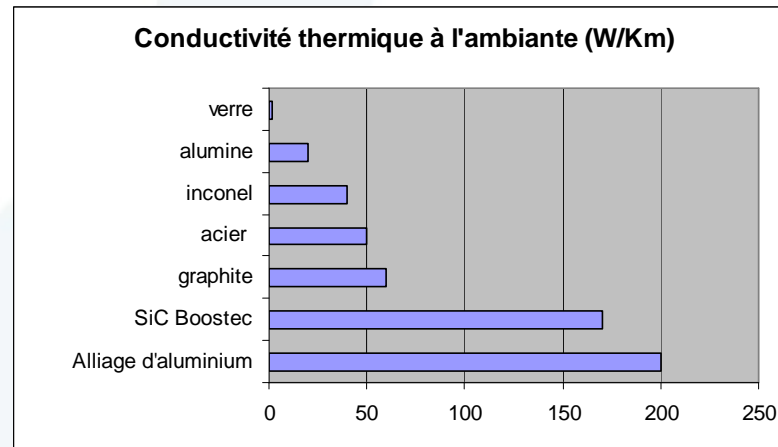
Corrosion resistance

Gas tightness

SiC BOOSTEC® is an excellent material for severe environments (temperature, corrosion and abrasion effects)

HIGH THERMAL CONDUCTIVITY

170 W/K.m à RT
closed to aluminum material

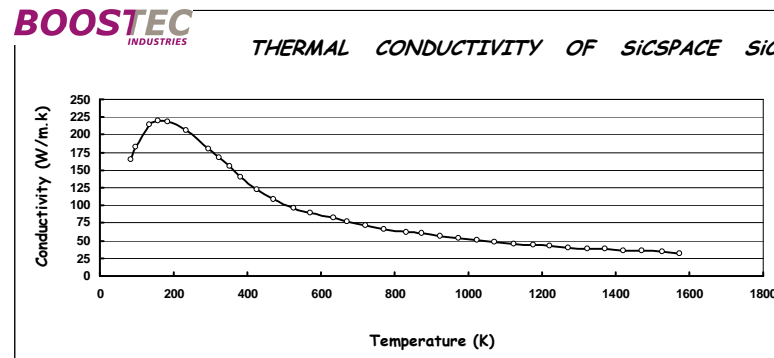


HIGH THERMOCHEMICAL RESISTANCE

Resistant to acid and alkalis
Resists to heating to around 1500°C in air

HIGH MECHANICAL STRENGTH

400 MPa in flexure strength
240 MPa in tensile strength



HIGH ABRASION RESISTANCE

Hardness closed to diamond material



...specifically for heat equipments....

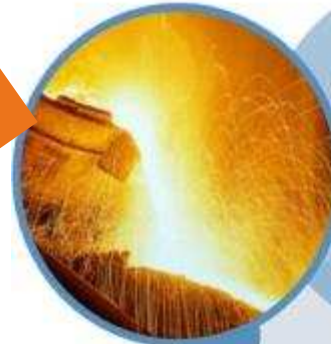
BOOSTEC® SiC process :

- Near-net shaping large size and complex 3D shapes
 - 6 axis high speed CNC milling machines
 - Improved speed and reliability
- Cost-effective and reliable process
- New size capability up to Φ 1.25m or 1.70mx1.20mx0.60m
- 3.5 m by brazing technology (BraSiC®)

- From powder to large and complex parts.....in house process



MERSEN



**BOOSTEC in
MERSEN Group**



BOOSTEC
INDUSTRIES

1 Echangeur de chaleur

- Bloc échangeur
- échangeur tubulaire

2 Réacteurs à flux continu

- 2.1-For non catalytic applications
- 2.2-For catalytic applications (program)



1 All SiC heat exchangers

2011 - Worldwide Mersen
Innovation -
only SiC material (full SiC technology)

- tubular heat exchanger
- block SiC exchanger



2 Continuous Flow Reactors

- 2.1 Non catalytic chemistry : INPAC reactor (LGC/BOOSTEC)



Thermal fluid inlet
based on metallic standard
connection

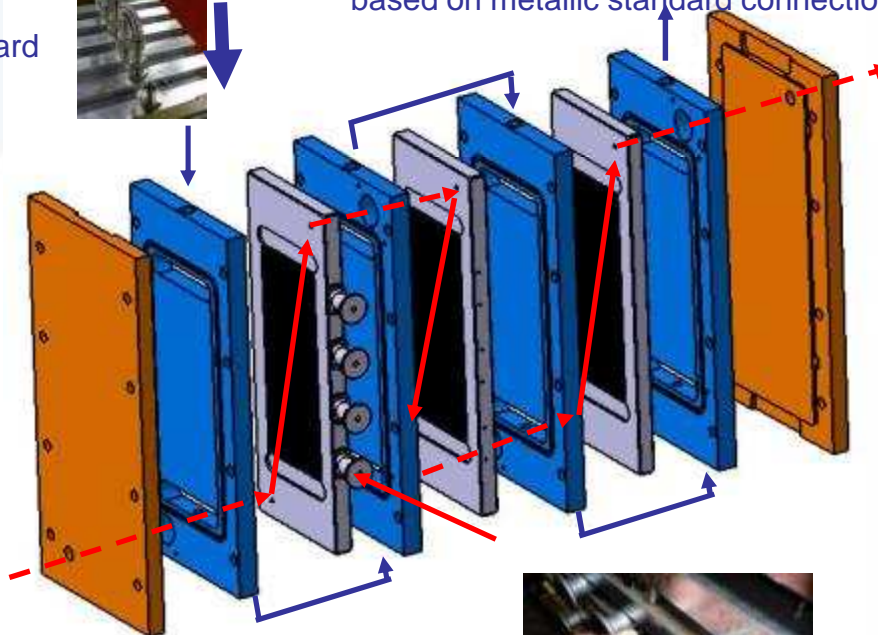


Thermal fluid outlet
based on metallic standard connection

Synthesised
molecules
outlet



Chemical products inlet
Swagelok standard connection
We can propose high corrosion metallic
material (tantale, titanium, ...)



2 Continuous Flow Reactors

2.1 Non catalytic chemistry : INPAC reactor (BOOSTEC / LGC)

- Compact and modular concept
- Multi point injectors (chemical additives)
- Thermal measurement closed to chemical channel
- Simplified cleaning procedure (mechanical, thermal or chemical processes)
- Isothermal reactor even for high exothermal reaction ($15\ 000\ \text{kW/m}^3\cdot\text{K}$)
- High pressure strength up to 200 bar
- High level of corrosion/abrasion resistance



2.2 Réacteur pour la catalyse hétérogène

Plusieurs voies explorées ou en cours

- Sans modifier le matériau BOOSTEC © SiC
 - Voie 1 : Avec inserts revêtus de catalyseurs (billes, mousses) :
 - Voie 1a : inserts posés après assemblage par brasgae : Hycycles
 - Voie 1b : inserts posés avant assemblage (joints toriques) : HexoSiC
 - Voie 3 : Avec dépôts d'une ou de plusieurs couches d'accueil des catalyseurs sur la surface SiC : → travaux LGPC : H exoSiC
- Modification superficielle du matériau BOOSTEC © SiC
 - Voie 2 : gradient de porosité du SiC (HexoSiC)
 - Ajout de Beta SiC
 - Ajout de alpha SiC

2.2 VOIE 1a : Inserts posés après assemblage

- **HYCYCLES** : production d'hydrogène cycle I/S



- Collaborative program : HYCYCLES (7 PCRD) completed March 2011
- Based on plate heat exchangers
- Successful thermal test until 850°C on CLAIRE loop (GRETH- CEA).



Demonstrator (by BOOSTEC)

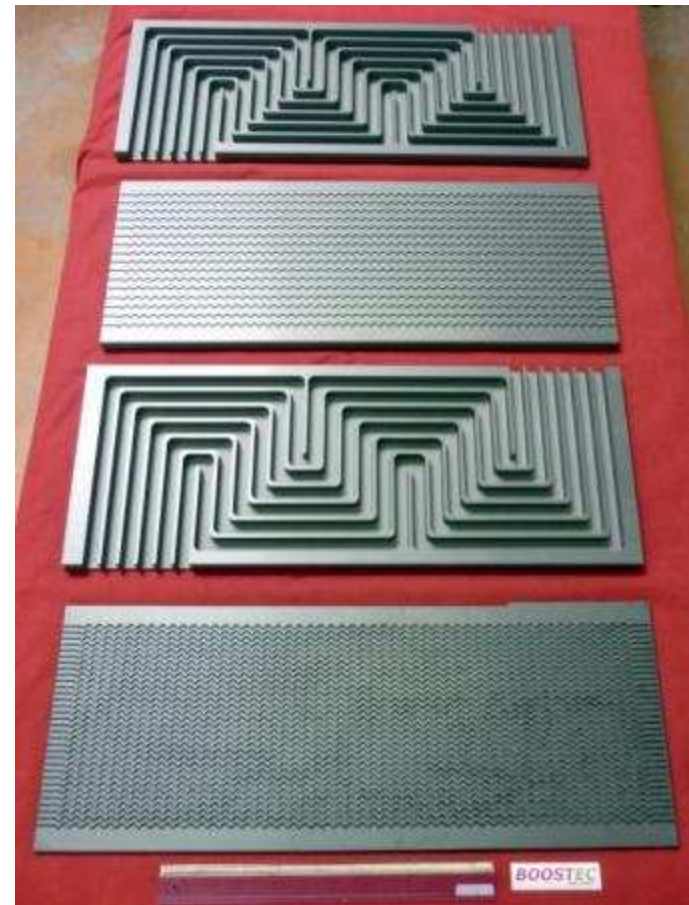


Thermo-hydraulic tests
By GRETh (CEA)

VOIE 1a : Inserts posés après assemblage

HYCYCLES : production d'hydrogène cycle I/S – 850°C

Plaques brasées à haute T°C (BrasiC® / CEA) → pose des catalyseurs après assemblage (T > 1000°C)



VOIE 1b : Inserts posés avant assemblage

HexoSic : synthèse de silicones

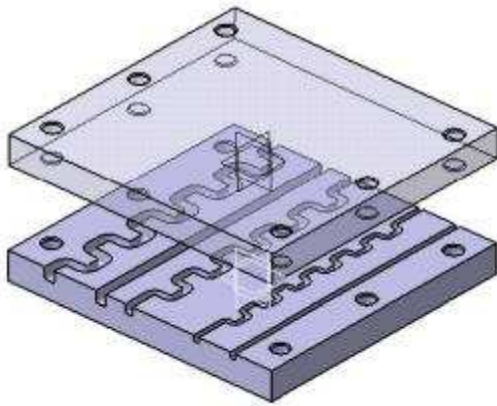


→ plaques assemblés avec joints toriques : pose du catalyseurs avant assemblage

réacteur LGC plaques et joints



VOIE 2 : augmenter la surface spécifique de la surface des canaux (HexoSiC)



	Cru	T brasage	>2000°C	1200°C
SiC β	4	1	1	1
SiC α	4	1	1	1

→ surface développée faible (à optimiser)

Conclusions : Avantages / inconvénients

- **Voie "Inserts"** : simple. Prête à l'utilisation car il existe des inserts commerciaux de différentes tailles, natures, textures...

Inconvénient : thermique des interfaces (?), ajustement sur canaux (by pass ?)

- Assemblage par brasage : non démontable --> limite la géométrie des inserts. → bon compromis avec des billes (Hycycles)
- Assemblage mécanique (plaques et joints toriques) → démontable : → le nettoyage, la régénération du catalyseur, la mise en place de l'insert sont simplifiés

- **Voie "couche poreuse en surface"**

Avantage : continuité thermique, surface en SiC (corrosion)

Inconvénients : régénération du catalyseur (?); procédé de pose du catalyseur (?), surface développée faible



Thanks for
your attention