DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea den

ATMOSTAT

ALCEN

FUSION FOR ENERGY

JOURNÉE TECHNIQUE « NUCLÉAIRE »

29 JUIN 2016 / INSTITUT DE SOUDURE (VILLEPINTE)

ITER : DÉVELOPPEMENT DES PROCÉDURES DE FABRICATION POUR LES SOUS COMPOSANTS EN ACIER 9 % CR DE LA COUVERTURE TRITIGÈNE HELIUM COOLED LITHIUM LEAD (HCLL)

L. FOREST[1], N. THOMAS[2], M. ZMITKO[3], L. COGNEAU[4]

[1]CEA SACLAY DEN/DANS/DM2S/SEMT/LTA
[2]ATMOSTAT
[3]F4E (FUSION FOR ENERGY)
[4]CEA GRENOBLE DRT/LITEN/DTBH/SCTR/LCA

SOMMAIRE

INTRODUCTION ET CONTEXTE

GRANDES ÉTAPES DE FABRICATION

OBJECTIFS DES ÉTUDES

CRITÈRES D'ACCEPTATION

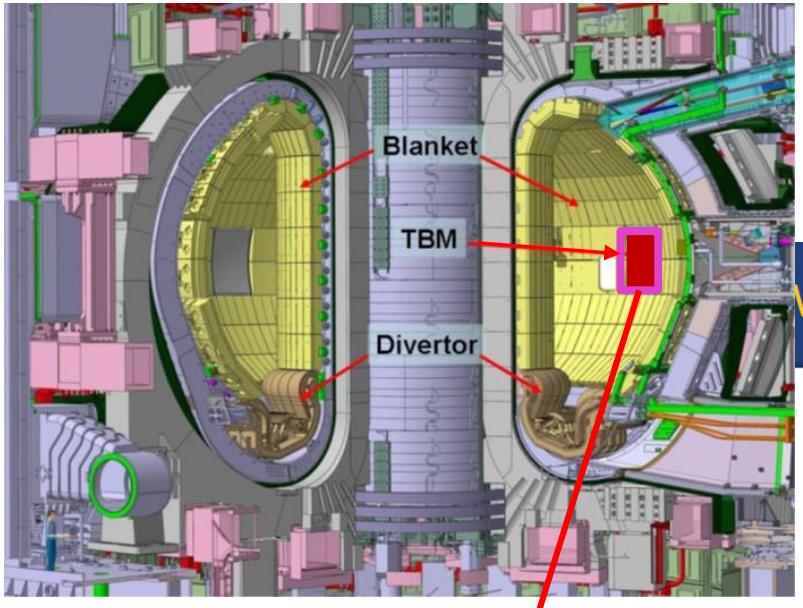
FABRICATION DES SOUS-COMPOSANTS COOLING PLATE, SIDE CAP, STIFFENING PLATE ET FIRST WALL VIA LES TECHNOLOGIES « WELD + HIP » ET « 2 STEPS HIP »

ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS SIDE CAP / FIRST WALL ET STIFFENING GRID / BOX VIA LES TECHNOLOGIES TIG ET « 2 STEPS HIP »

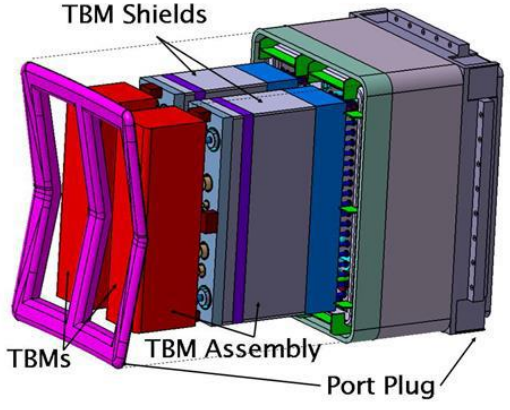
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

INTRODUCTION ET CONTEXTE

LES RÉACTEURS THERMONUCLÉAIRE À FUSION ET LE RÔLE DE LA COUVERTURE TRITIGÈNE



ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)
Couverture tritigène / TBM (Test Blanket Module)

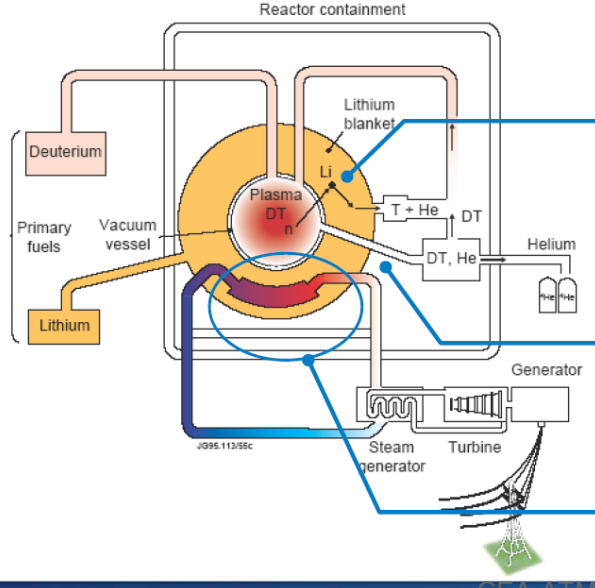


Why a Tritium Breeder Blanket?

FUSION FOR ENERGY

DT Fusion (plasma): $T + D \rightarrow {}^4He + n$ (17.6 MeV)

Tritium Breeding (blanket): $n + {}^6Li \rightarrow {}^4He + T$ (4.8 MeV)



Produce and recover Tritium
(Tritium self-sufficiency)

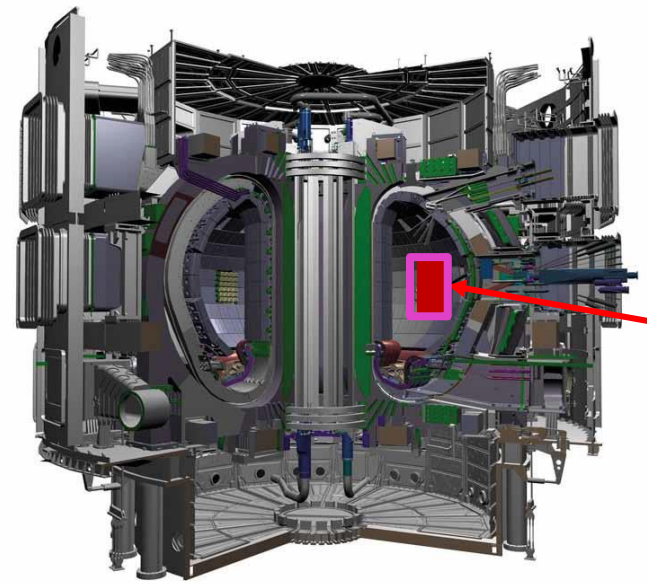
Tritium consumption:
~0.4 kg/day @ 2.5 GW fusion power)

Protect vacuum vessel and coils against radiation damages/heating

Convert neutron energy into heat

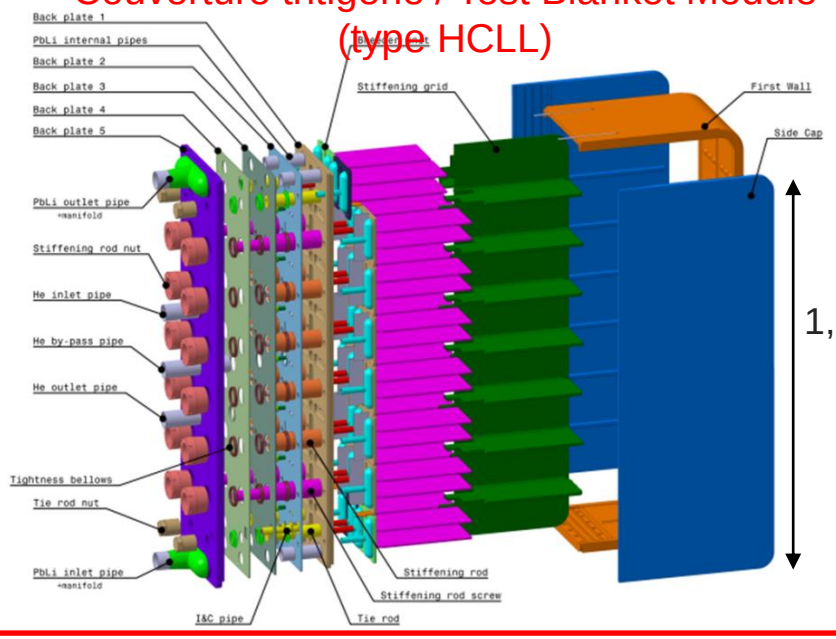
ITER ET DEMO

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)

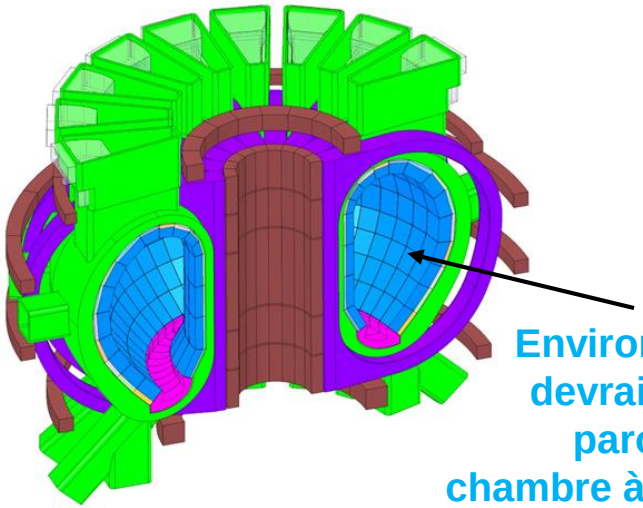


Pour l'EU, 2 types de module (HCLL & HCPB) seront testés dans le port #16 du réacteur

Couverture tritigène / Test Blanket Module (type HCLL)



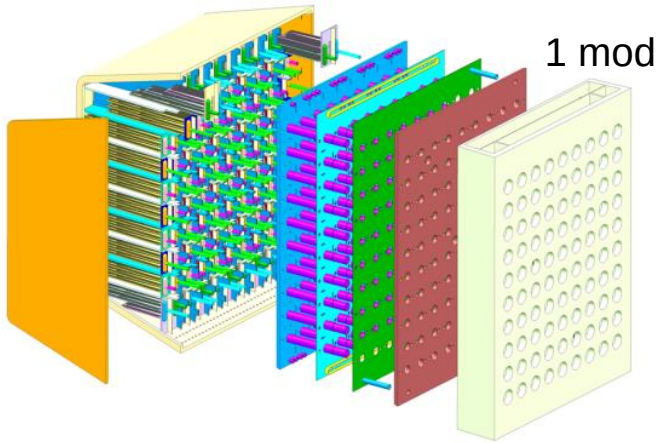
DEMO (Demonstration Power Plant)



Environ 800 modules devraient tapisser la paroi interne de la chambre à vide toroïdale

Exemple de couverture Tritigène (DEMO)

1 module



INTRODUCTION & CONTEXTE

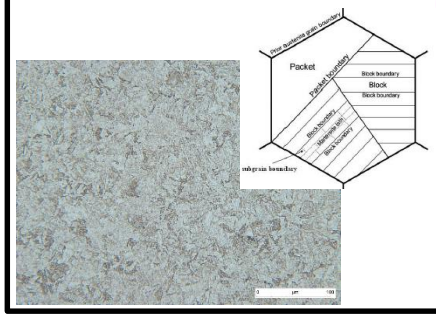
- **Plusieurs concepts de couvertures tritigènes en EU dont deux seront testées dans ITER (TBM)**
- **Même caloporteur et matériaux de structure, la Box est commune**

Matériau du TBM

- Acier EUROFER
- Nuance à 9%Cr
- A faible activation

Eléments	Sur coulée et sur produit (%)	
	mini	maxi
Carbone	0,0900	0,1200
Manganèse	0,2000	0,6000
Phosphore	-	0,0050
Soufre	-	0,0050
Silicium	-	0,0500
Nickel	-	0,0100
Chrome	8,5000	9,5000
Molybdène	-	0,0050
Vanadium	0,1500	0,2500
Tantale	0,1000	0,1400
Tungstène	1,0000	1,2000
Titane	-	0,0200
Cuivre	-	0,0100
Niobium	-	0,0050
Aluminium	-	0,0100
Azote	0,0150	0,0450
Bore	-	0,0020
Cobalt	-	0,0100
As+Sn+Sb+Zr	-	0,0050
Oxygène	-	0,0100

Code RCC-MRx



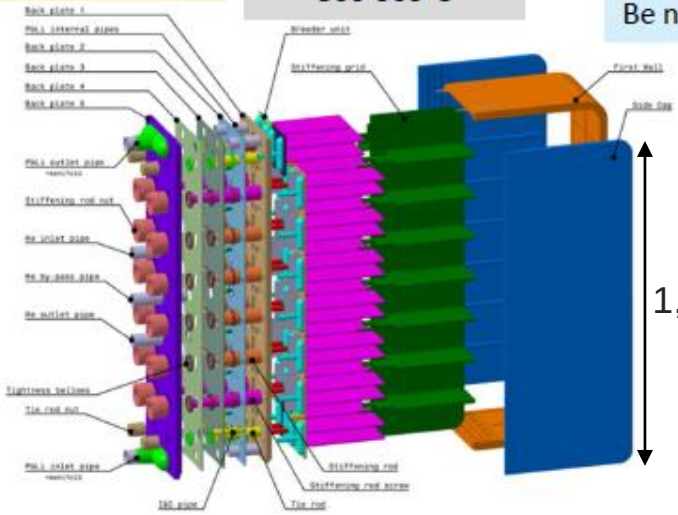
Helium Cooled Lithium Lead (HCLL)

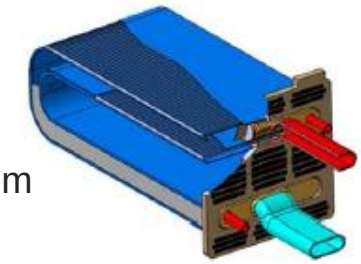
Pb-16Li alloy – breeder & neutron multiplier

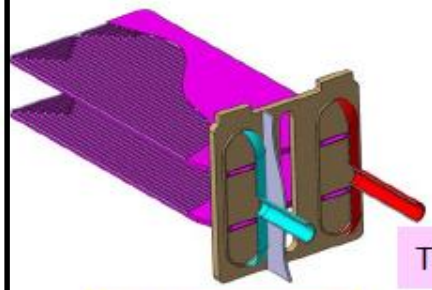
He coolant, 8 MPa, 300-500°C

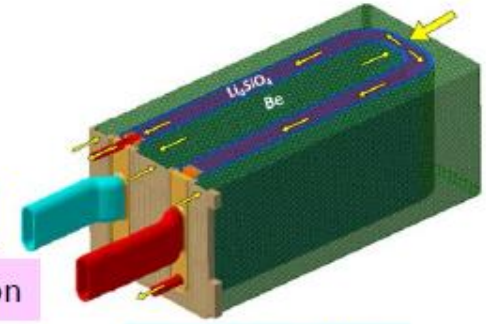
Helium Cooled Pebbles Bed (HCPB)

Li-ceramic breeder (OSi / MTi)
Be neutron multiplier









HCLL & HCPB common architecture

EUROFER-97 (X10CrWVTa9-1) RAFM steel

TBM box assembly & subcomponents fabrication

HCLL Breeder Unit

HCPB Breeder Unit

GRANDES ÉTAPES DE FABRICATION

GRANDES ÉTAPES DE FABRICATION



1. Feasibility

Achieved

See Y. Poitevin et al., J. Nuclear Materials 417 (2011) 36-42



2. Standardization

Ongoing

2012-18

Development of pW/FPS for sub-components and TBM box assembly



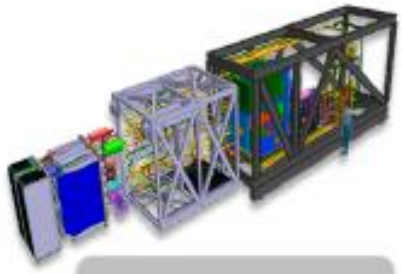
3. Qualification

2018-21

TBM Qualification Mock-Up,

Standard EN 15613

("Qualification based on a pre-production welding test")



TBM fabrication

OBJECTIFS DES ÉTUDES

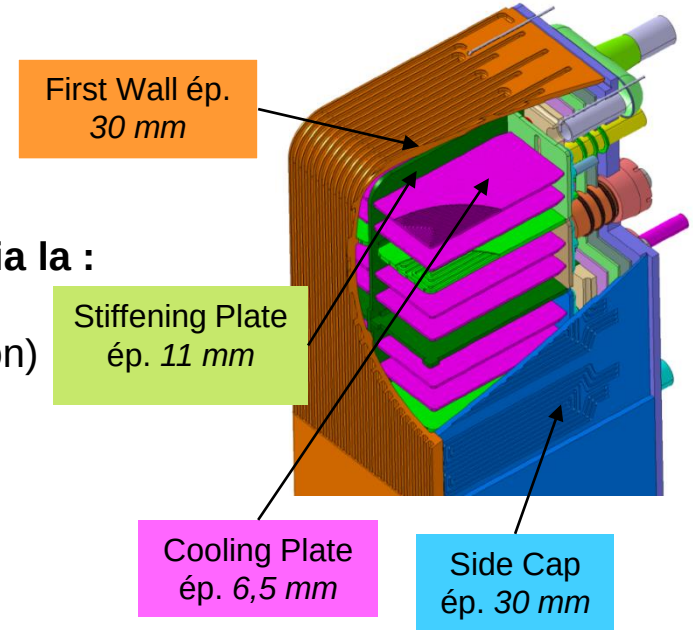
OBJECTIFS DES ÉTUDES

► DÉVELOPPEMENT DES PROCÉDURES DE FABRICATION ET DE CONTRÔLES des sous-composants présentant des canaux de refroidissement (contrat F4E-OPE-305 03/2012 → 11/2015)

- CP / Cooling Plate (ép. 6,5 mm)
- SP / Stiffening Plate (horizontal & vertical, ép. 11 mm)
- SC / Side Cap (ép. 30 mm)
- FW / First Wall (ép. 30 mm)

et de leurs assemblages (contrat F4E-OMF-331 07/2013 → 05/2018) via la :

- Définition des outillages de bridage et de soudage
- Mise au point des conditions de soudage (nominale & réparation)
- Réalisation des contrôles non destructifs et destructifs



► Optimisation du design (intégration des σ de fabrication)

► Mise à jour du code de fabrication RCC-MRx

CONTRAINTES DE FABRICATION

- Présence de canaux de refroidissement (4×4,5 à 15×15 mm²) sur les CP, SP, SC & FW
- Accessibilité limitée
- Nombreuses soudures (faible à moyenne ép. soudée)
- Structures de grandes dimensions (≈Poloïdal 1,7×Radial 0,7* Toroïdal 0,5 m³)

CRITÈRES D’ACCEPTATION

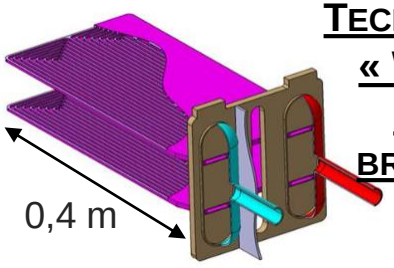
CRITÈRES D'ACCEPTATION

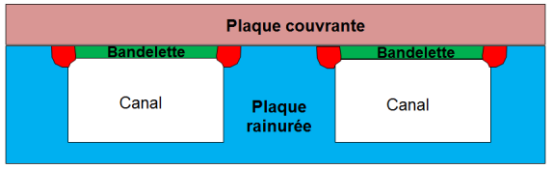
- Impositions de la réglementation ESPN et recommandations du code de fabrication RCC-MRx
- Pas de défauts de soudage (fissures, manques de fusion…)
- Exigences dimensionnelles (canaux & déformation)
- Tenue mécanique (traction, Charpy) à 20°C et haute θ et sous irradiation
- Tenue à la pression sous He et sous eau
- Robustesse et répétabilité des procédés
- Procédures de fabrication « industrialisable » et « nucléarisable »

FABRICATION DES SOUS-COMPOSANTS COOLING PLATE, SIDE CAP, STIFFENING PLATE ET FIRST WALL VIA LES TECHNOLOGIES « WELD + HIP » ET « 2 STEPS HIP »

FABRICATION DU SOUS-COMPOSANT COOLING PLATE VIA LA TECHNOLOGIE « WELD + HIP »

TECHNOLOGIE « WELD + HIP » BREVETÉE





Usinage



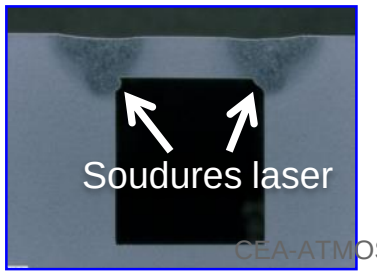
Plaque rainurée

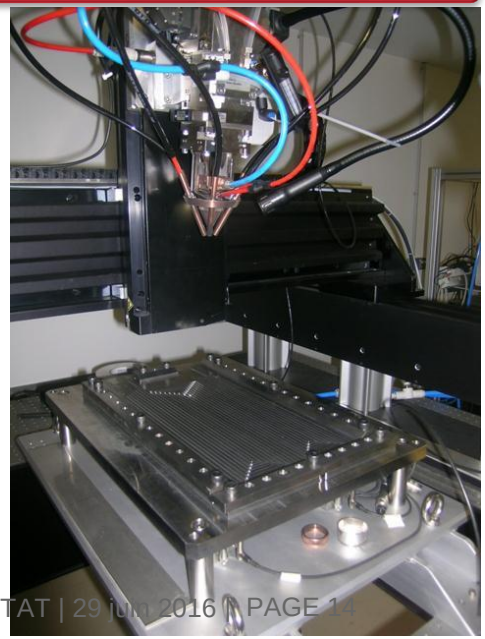


Languette monobloc

Soudage laser







Usinage de la plaque couvrante



FABRICATION DU SOUS-COMPOSANT COOLING PLATE VIA LA TECHNOLOGIE « WELD + HIP »

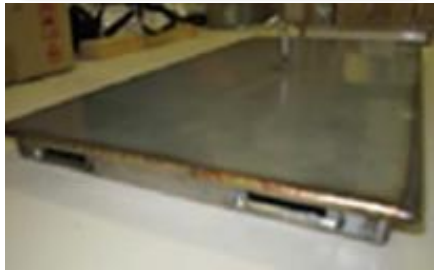
Nettoyage (US) des tôles avant soudage



Mise en place et soudage du conteneur puis soudage par CIC

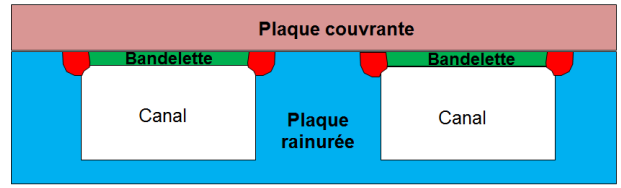


Traitements thermiques après CIC

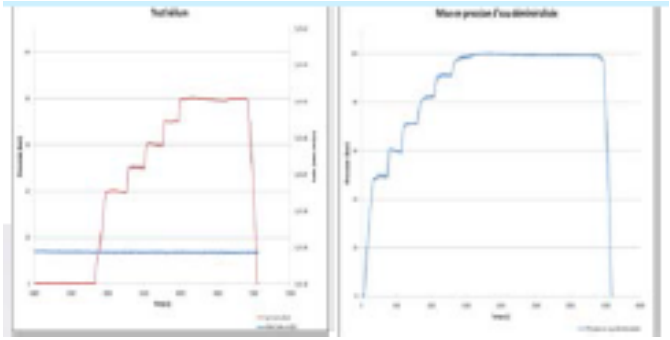


Enlèvement du conteneur et usinage





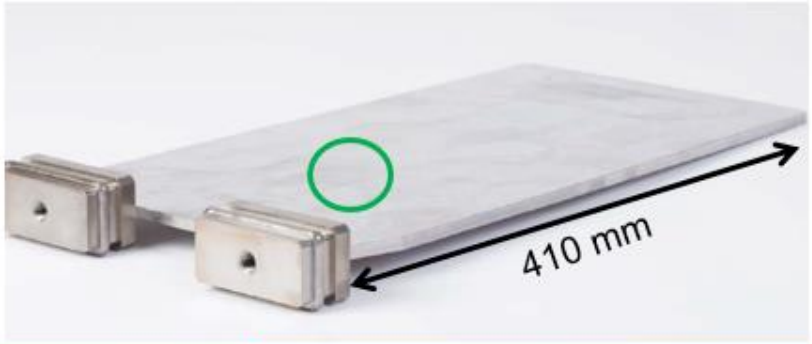
Tests hydraulique et (100 bars) et sous He (80 bar)



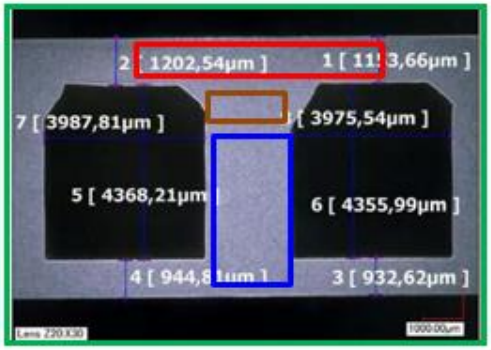
FABRICATION DU SOUS-COMPOSANT COOLING PLATE VIA LA TECHNOLOGIE « WELD + HIP »

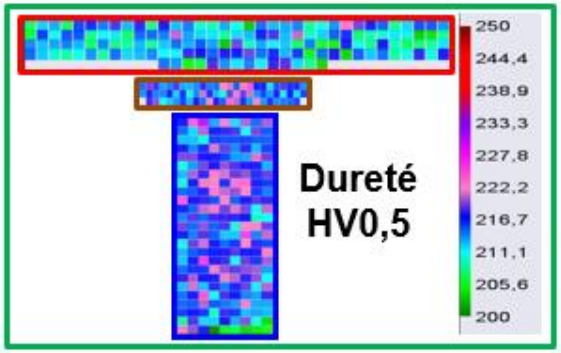
Examens destructifs





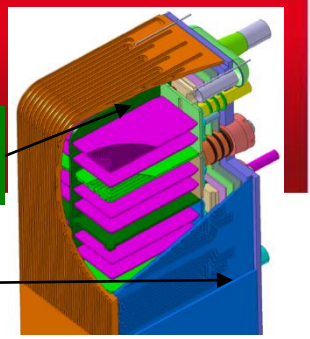




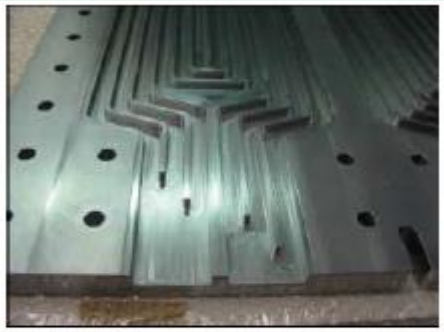


- Pas de défaut de soudage
- Pleine pénétration
- Bonne reproductibilité
- Déformation des canaux (négligeable)
- Déformation de la CP (<0,15 mm)

FABRICATION DES SOUS-COMPOSANTS SP ET SC VIA LA TECHNOLOGIE « WELD + HIP »

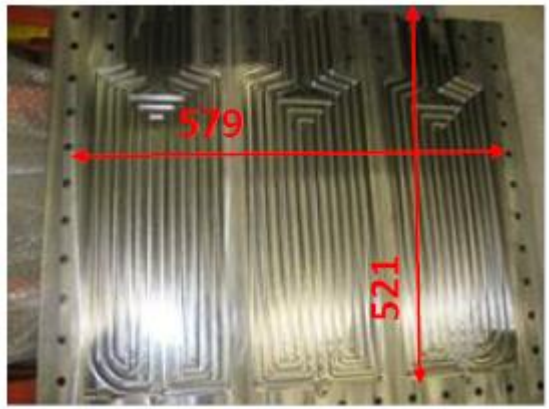


Vertical Stiffening Plate (ép. 11 mm)



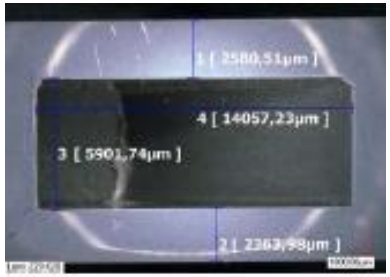


V-SP (plaque rainurée et languette monobloc)



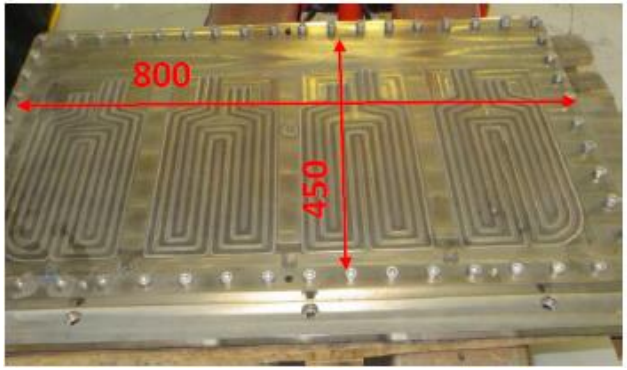
3 cellules v-SP après soudage laser

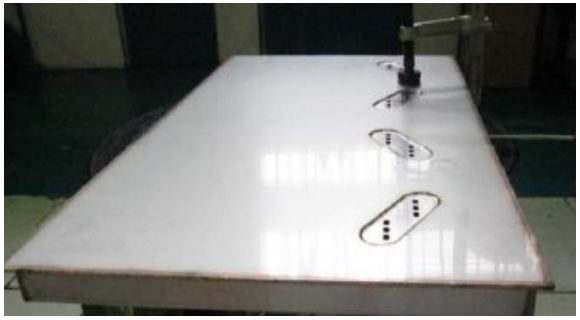




Examen destructif sur sous-composant SP

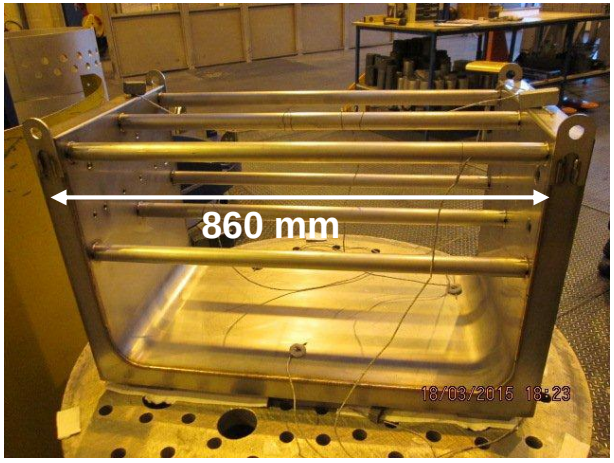
Side Cap (ép. 30 mm)





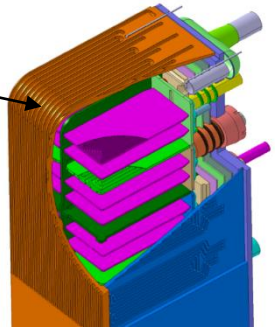
4 cellules (après CIC)

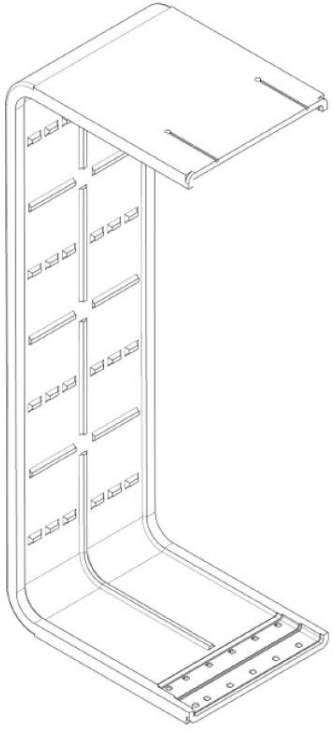
FABRICATION DU SOUS-COMPOSANT FIRST WALL VIA LA TECHNOLOGIE « WELD + HIP »

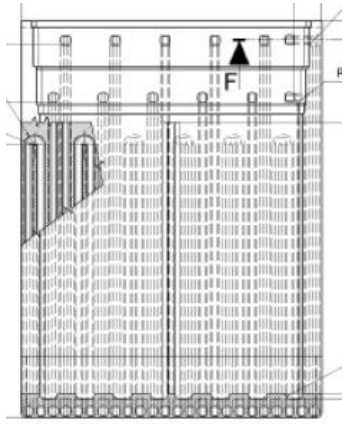


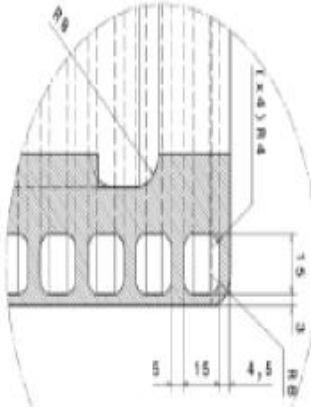
Vue générale et de détails du sous-composant FW fabriqué

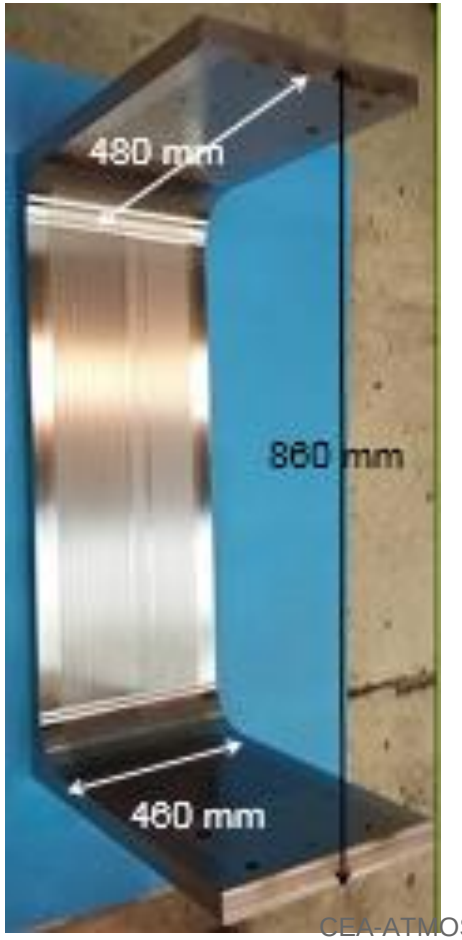
First Wall
ép. *30 mm*









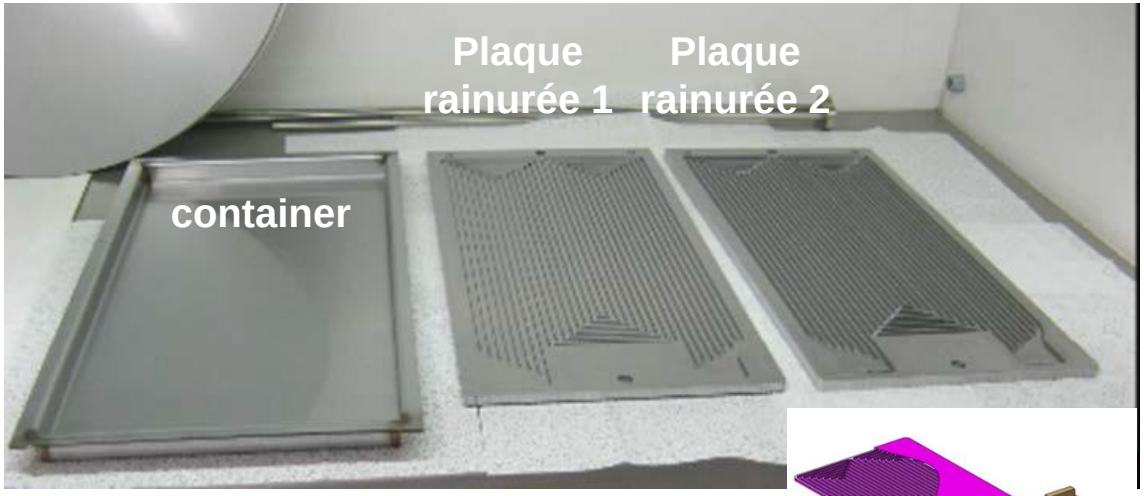


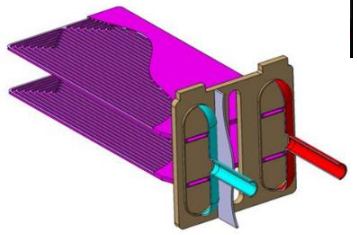
Développement spécifique
(canaux en forme 3D)

FABRICATION DES SOUS-COMPOSANTS COOLING PLATE, SIDE CAP, STIFFENING PLATE ET FIRST WALL VIA LES TECHNOLOGIES « WELD + HIP » ET « 2 STEPS HIP »

FABRICATION DU SOUS-COMPOSANT COOLING PLATE VIA LA TECHNOLOGIE « 2 STEPS HIP »

Usinage et nettoyage des composants à souder

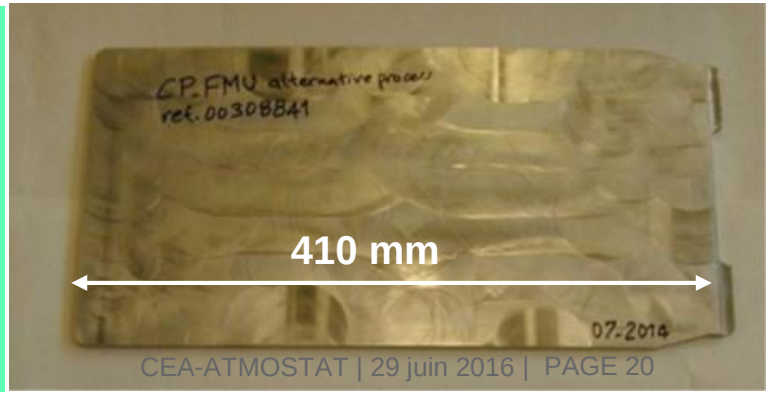




Soudage du conteneur



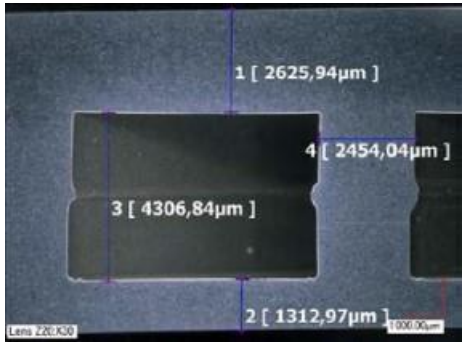
Cycles CIC et traitements thermiques



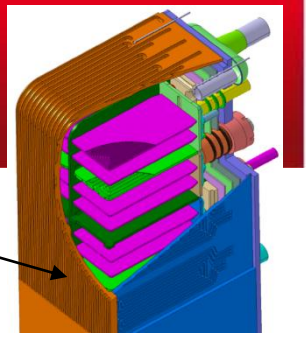
Enlèvement du conteneur et usinage

Tests hydraulique et (100 bars) et sous He (80 bar)

Examens destructifs



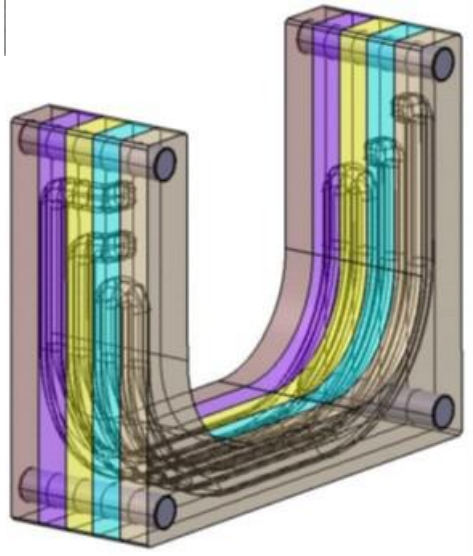
FABRICATION DU SOUS-COMPOSANT FIRST WALL VIA LA TECHNOLOGIE « 2 STEPS HIP »



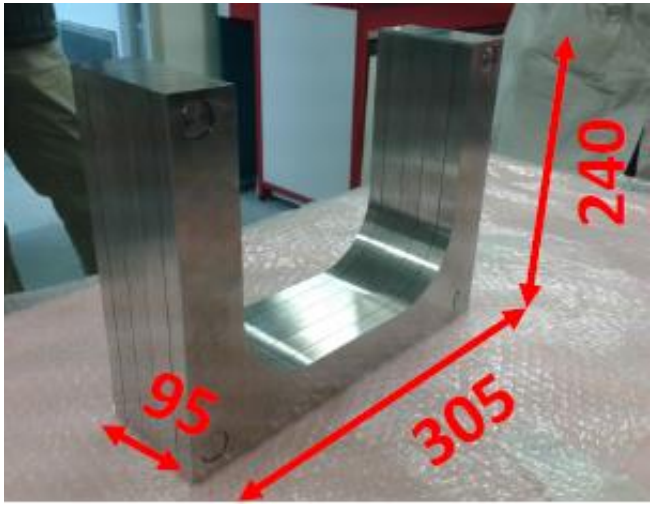
First Wall
ép. *30 mm*

Usinage des U élémentaires et nettoyage





Reconstitution du First Wall avant mise en conteneur et cycle CIC



Cycles CIC et traitements thermiques



Enlèvement du conteneur et usinage

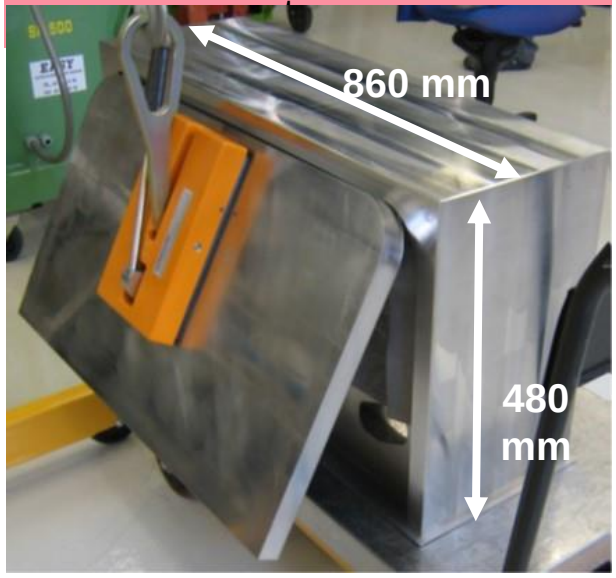
Examens destructifs



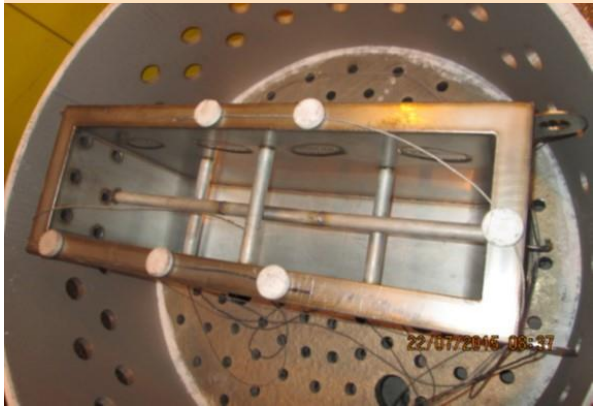
ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS SIDE CAP / FIRST WALL ET STIFFENING GRID / BOX VIA LES TECHNOLOGIES TIG ET « 2 STEPS HIP »

ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS SIDE CAP AVEC LE FIRST WALL VIA LA TECHNOLOGIE « 2 STEPS HIP »

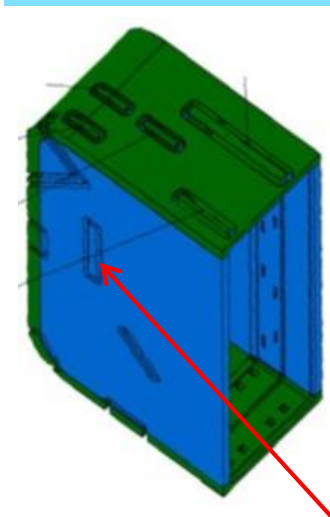
Assemblage des 2 composants SC et FW avant mise en

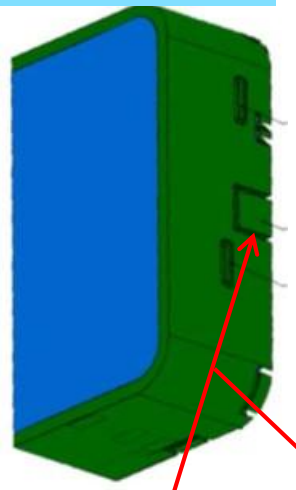


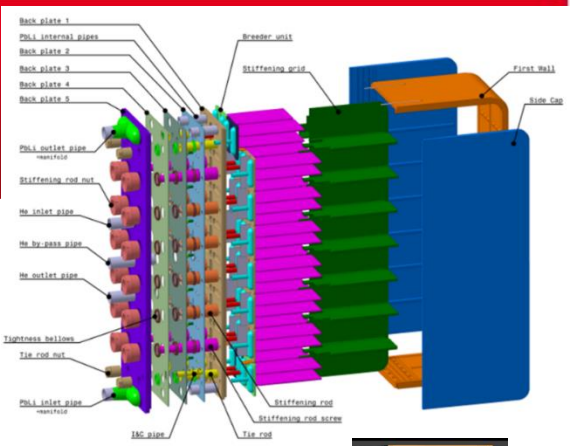
Mise en conteneur et cycles CIC



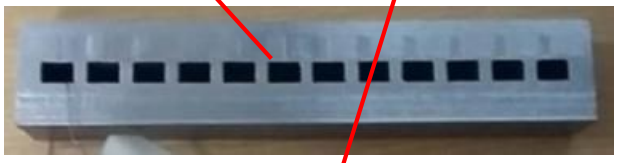
Examens destructifs

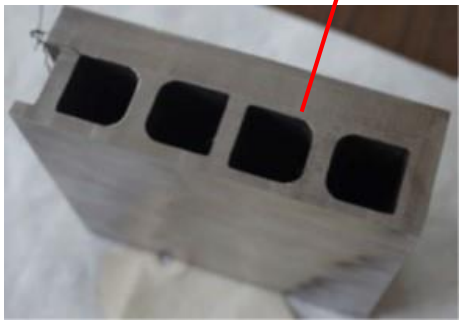










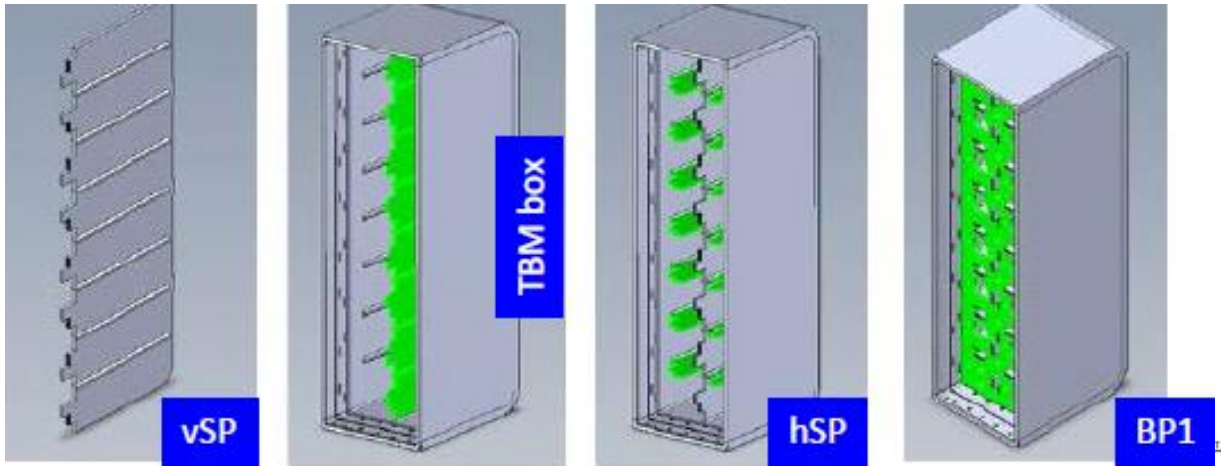


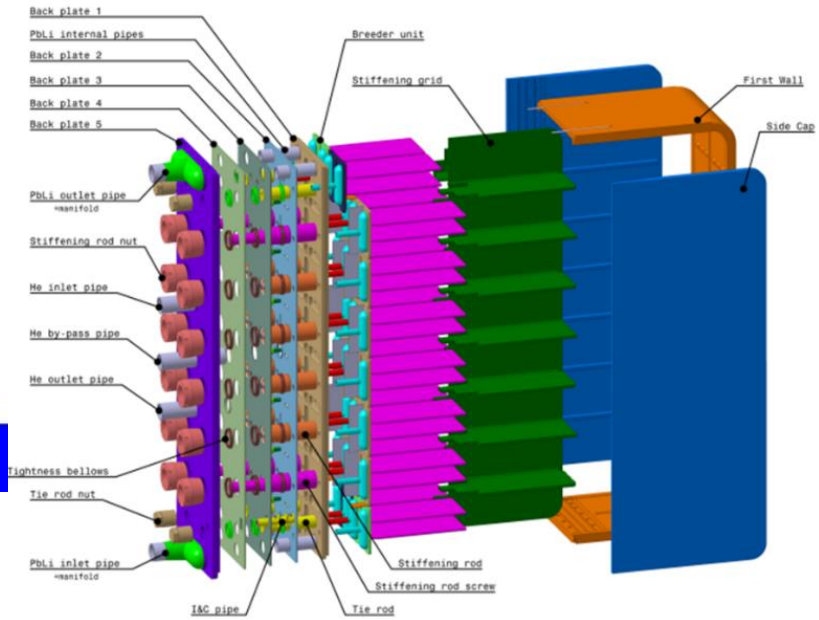


ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS SIDE CAP / FIRST WALL ET STIFFENING GRID / BOX VIA LES TECHNOLOGIES TIG ET « 2 STEPS HIP »

ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS STIFFENING GRID DANS LA BOX VIA LA TECHNOLOGIE TIG

Solution de référence (procédé TIG, développements en cours)

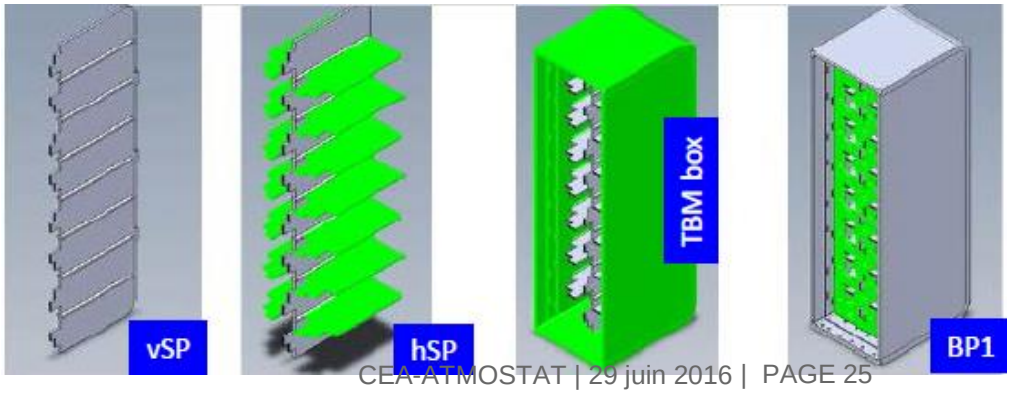




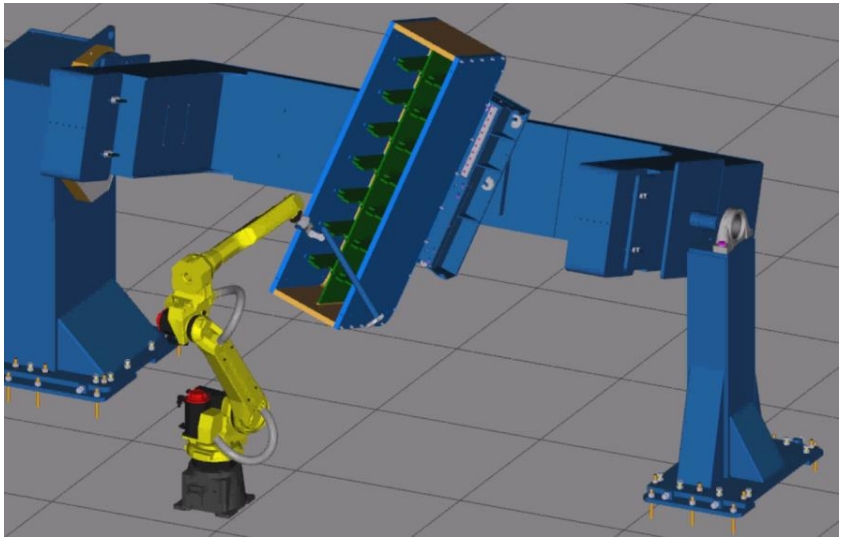
Principales problématiques

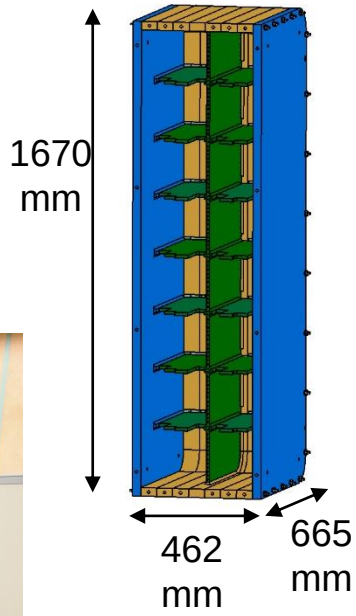
- Développement et validation d'outillages de bridage
- Compacité des soudures
- Caractéristiques métallurgiques et mécaniques (effet cumulé de PWHT…)
- Maitrise de la déformation des SP durant tout le processus de fabrication ► chanfrein, optimisation de la séquence de soudage via une approche numérique…
- Intégrité des canaux de refroidissement
- Contrôlabilité des soudures (accessibilité, performance des CND)

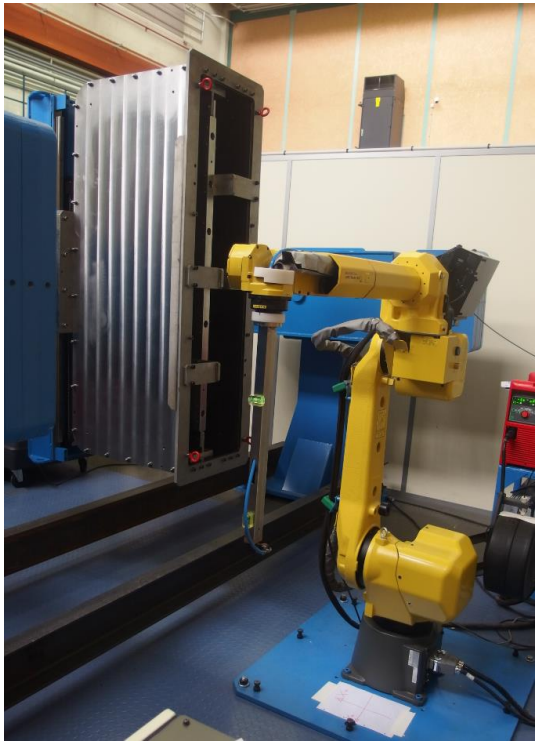
Solution alternative (procédé laser)



ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS STIFFENING GRID DANS LA BOX VIA LA TECHNOLOGIE TIG







Activités 2015/2016 (contrat F4E-OMF-331-05)

- Développement de procédures de fabrication sur maquette de géométrie « laboratoire »
- Conception et fabrication d'outillage de bridage adapté
- Fourniture d'un équipement de soudage (problématiques de trajectoires, d'encombrement et de robustesse…)
- Transfert des MOS vers des maquettes de géométries « intermédiaire » puis de « faisabilité »
- Définition des procédures préliminaires de fabrication

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Progrès important vis-à-vis du développement et des futures qualifications des procédures de fabrication des TBMs (pour les concepts européens)

- Démonstration de la faisabilité des procédés de fabrication pour les sous-composants Cooling Plate, Stiffening Plate, First Wall et Side Cap basés sur les procédés par fusion et par diffusion. Validation des procédés via la fabrication de maquettes de faisabilité de dimensions représentatives et définition des procédures préliminaires de fabrication

- Travaux en cours sur l'assemblage de ces sous-composants par procédés fusion et diffusion

- Prochaines étapes
  - ❑ Assemblage des Back Plate et des collecteurs situés dans la partie arrière du TBM avec prise en compte des contraintes de fabrication et de design (accessibilité…)
  - ❑ Qualification des procédures préliminaires de fabrication via la réalisation de maquettes échelle 1

REMERCIEMENTS

Milan ZMITKO, Yves POITEVIN

Frédéric BOUAS, Patrick COCHARD, Denis CONCHON, Philippe LAMBERT, Patrick LASNE, William KAHWAJI, Melchior SIMON PERRET

- **Aux membres de l'équipe du SEMT/LTA dont Guillaume DE DINECHIN (à présent chez AREVA TN), Olivier DOYEN, Gilles FONDANT, Jacques GRALL, Antonella LI PUMA, Marc RONFARD-HARET, François SIMON, Jérôme TOSI**
- **Aux membres de l'équipe du SCTR/LCA**

MERCI POUR

VOTRE

ATTENTION

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex
T. +33 (0)1 69 08 23 51 | F. +33 (0)1 69 08 90 23

Etablissement public à caractère industriel et commercial | R.C.S Paris B 775 685 019

DEN
DM2S
SEMT
LTA