



# ITER Développement des procédures de fabrication pour les sous composants en acier 9 % Cr de la couverture tritigene Helium Cooled Lithium Lead (HCLL)

L. Forest, N. Thomas, M. Zmitko, L. Cogneau-Garampon

## ► To cite this version:

L. Forest, N. Thomas, M. Zmitko, L. Cogneau-Garampon. ITER Développement des procédures de fabrication pour les sous composants en acier 9 % Cr de la couverture tritigene Helium Cooled Lithium Lead (HCLL). Journée technique "nucléaire", Jun 2016, Villepinte, France. cea-02438701

**HAL Id: cea-02438701**

**<https://cea.hal.science/cea-02438701>**

Submitted on 14 Jan 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea den

ATMOSTAT  
ALCEN



## 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](#)<sup>1</sup>, [N. THOMAS](#)<sup>2</sup>, M. ZMITKO<sup>3</sup>, L. COGNEAU<sup>4</sup>

<sup>1</sup>CEA SACLAY DEN/DANS/DM2S/SEMT/LTA

<sup>2</sup>ATMOSTAT

<sup>3</sup>F4E (FUSION FOR ENERGY)

<sup>4</sup>CEA GRENOBLE DRT/LITEN/DTBH/SCTR/LCA

29 JUIN 2016

**INTRODUCTION ET CONTEXTE**

**GRANDES ÉTAPES DE FABRICATION**

**OBJECTIFS DES ÉTUDES**

**CRITÈRES D'ACCEPTATION**

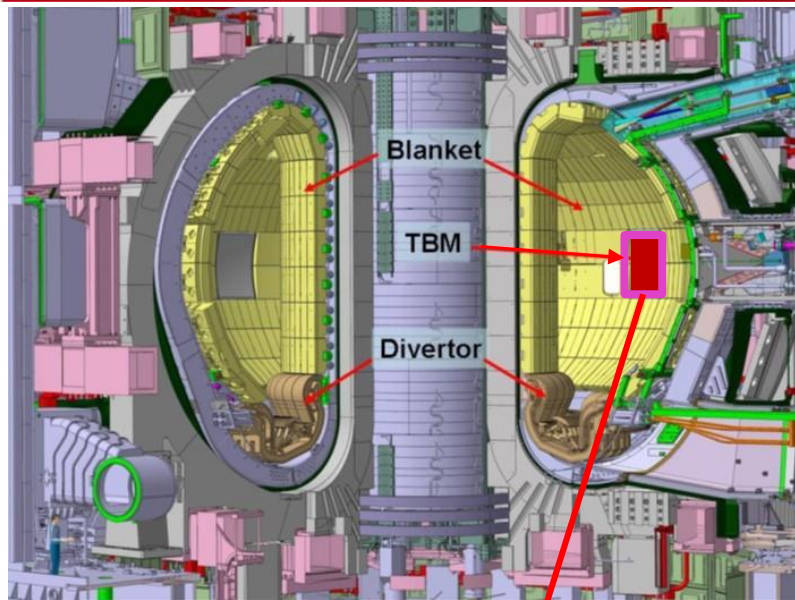
**FABRICATION DES SOUS-COMPOSANTS COOLING PLATE, SIDE CAP, STIFFENING PLATE ET FIRST WALL VIA LES TECHNOLOGIES « WELD + HIP » ET « 2 STEPS HIP »**

**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



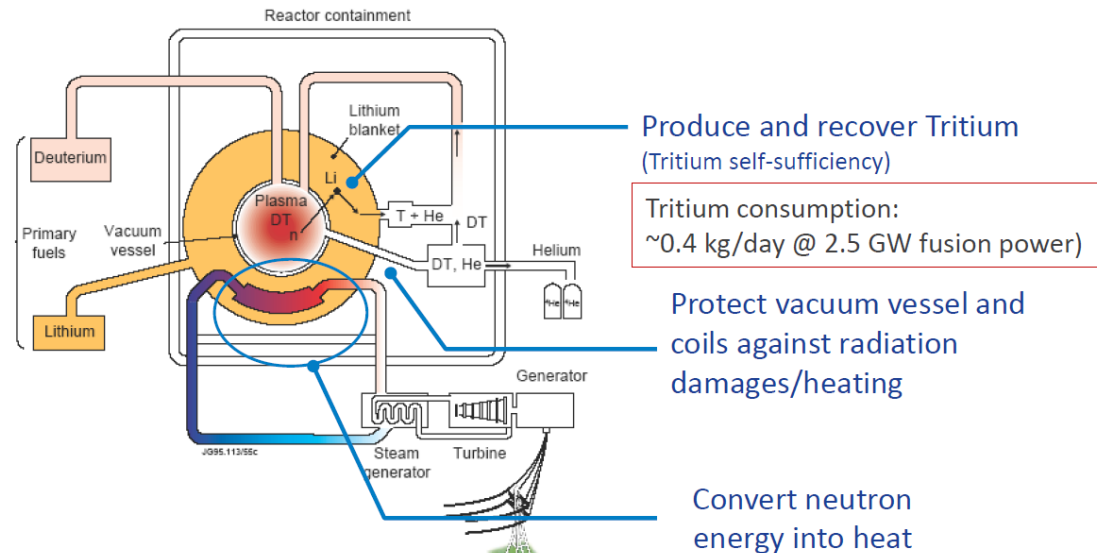
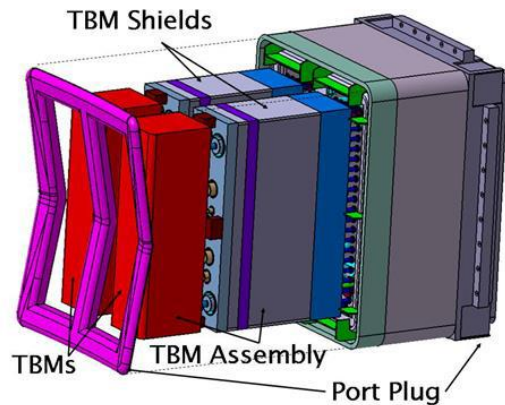
ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)  
Couverture tritigène / TBM (Test Blanket Module)

## Why a Tritium Breeder Blanket?

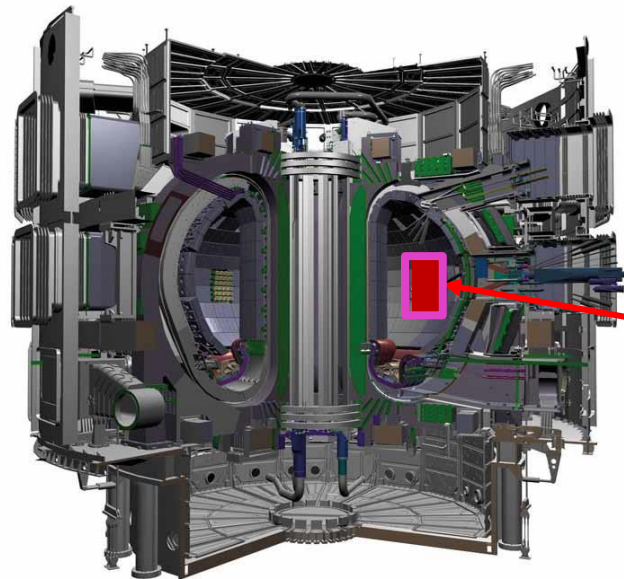


DT Fusion (plasma):  $T + D \rightarrow {}^4\text{He} + n$  (17.6 MeV)

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

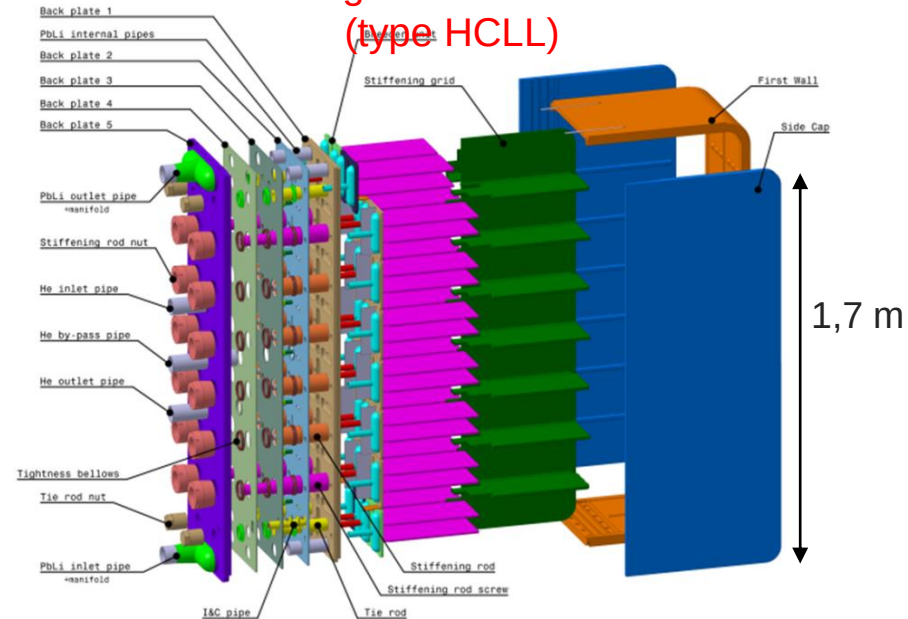


ITER  
(International  
Thermonuclear  
Experimental  
Reactor)

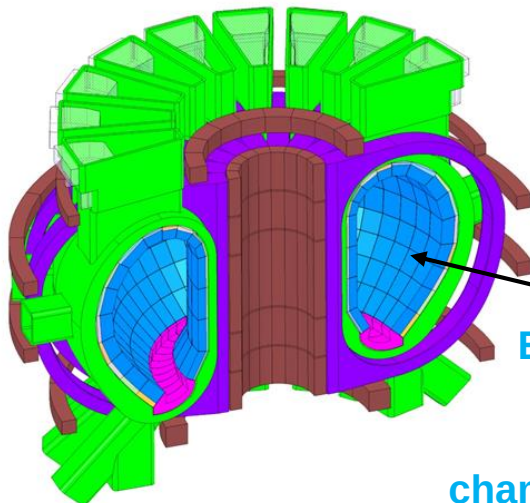


Pour l'EU, 2 types de module (HCLL & HCPB)  
seront testés dans le port #16 du réacteur

## Couverture tritigène / Test Blanket Module (type HCLL)

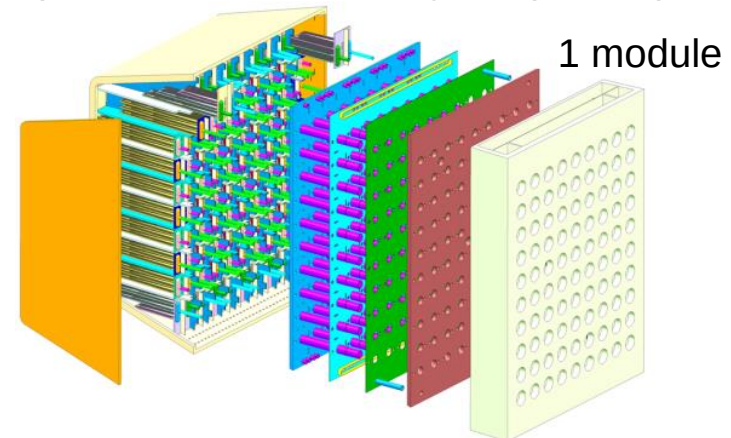


DEMO  
(Demonstration  
Power Plant)



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

## Exemple de couverture Tritigène (DEMO)





# INTRODUCTION & CONTEXTE

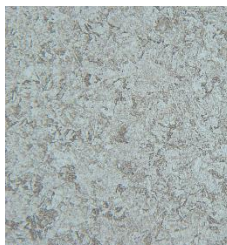
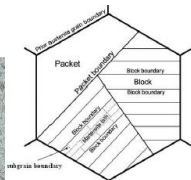
- Plusieurs concepts de couvertures tritigènes en EU dont deux seront testées dans ITER (TBM)
  - Même caloporteur et matériaux de structure, la Box est commune

## Matériau du TBM

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

| Éléments    | 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



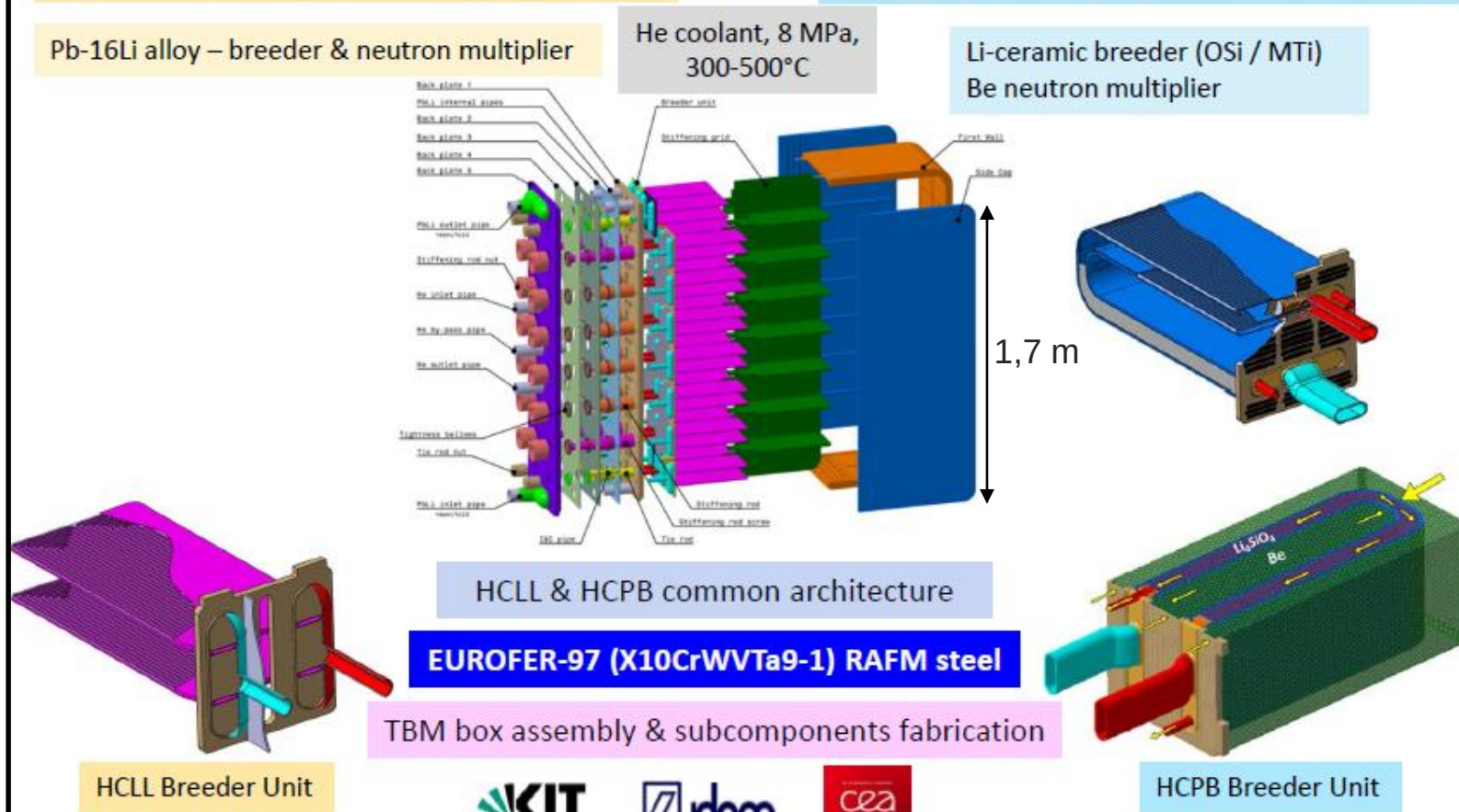
## Helium Cooled Lithium Lead (HCLL)

Pb-16Li alloy – breeder & neutron multiplier

He coolant, 8 MPa, 300-500°C

## Helium Cooled Pebbles Bed (HCPB)

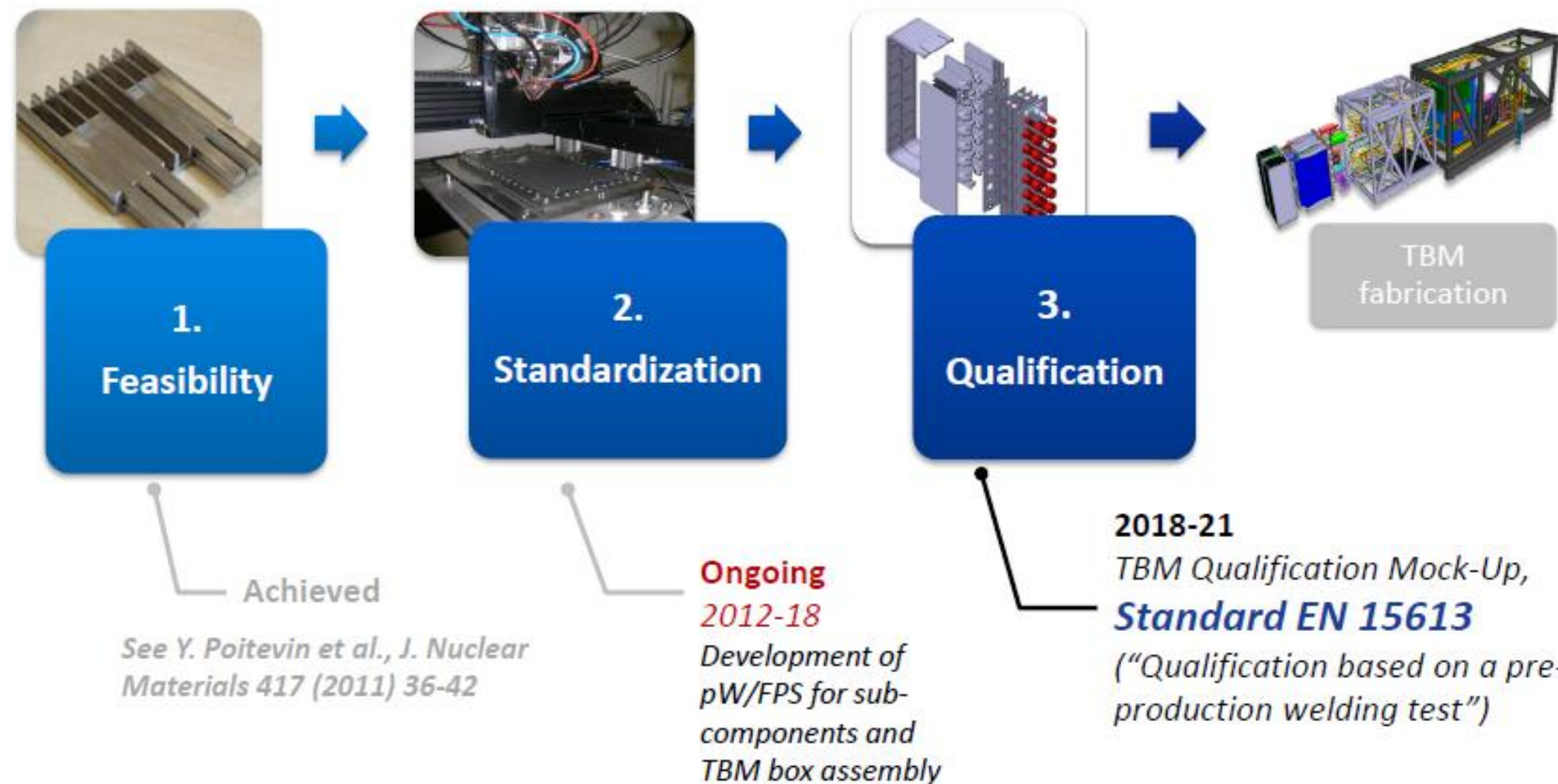
Li-ceramic breeder (OSi / MTi)  
Be neutron multiplier



# **GRANDES ÉTAPES DE FABRICATION**



# GRANDES ÉTAPES DE 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)

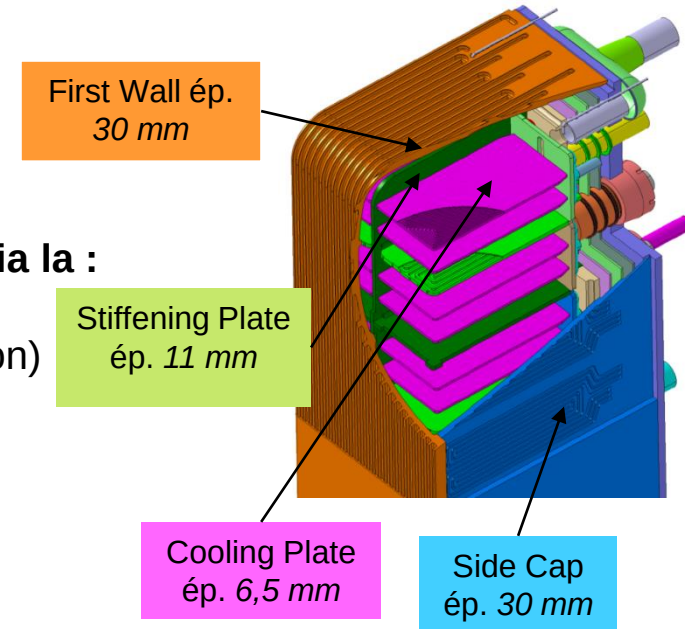
- CP / Cooling Plate (ép. 6,5 mm)
- SP / Stiffening Plate (horizontal & vertical, ép. 11 mm)
- SC / Side Cap (ép. 30 mm)
- FW / First Wall (ép. 30 mm)

## 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 $\sigma$ de fabrication)

## ► Mise à jour du code de fabrication RCC-MRx



## CONTRAINTES DE FABRICATION

- Présence de canaux de refroidissement ( $4 \times 4,5$  à  $15 \times 15$  mm<sup>2</sup>) sur les CP, SP, SC & FW
  - Accessibilité limitée
  - Nombreuses soudures (faible à moyenne ép. soudée)
- Structures de grandes dimensions ( $\approx$ Poloidal  $1,7 \times$ Radial  $0,7 \times$  Toroïdal  $0,5$  m<sup>3</sup>)

# **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  $\theta$  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

0,4 m

Plaque couvrante

Bandelette

Bandelette

Canal

Plaque  
rainurée

Canal

## Usinage



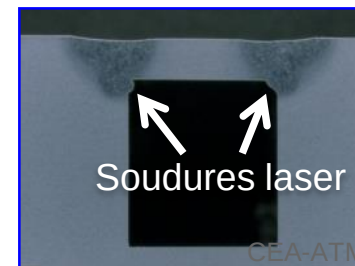
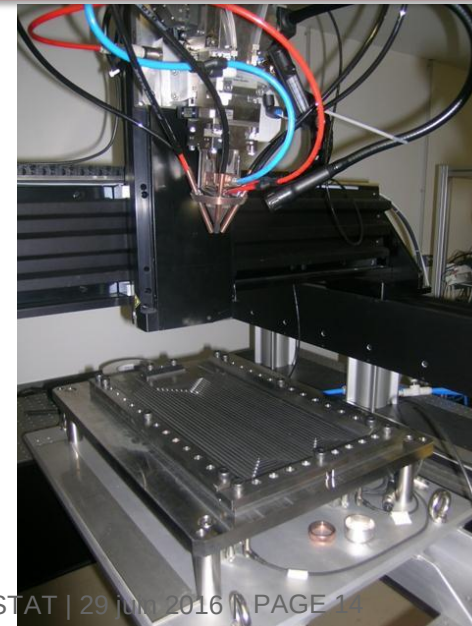
Plaque rainurée



Languette monobloc



## Soudage laser



Soudures laser

## Usinage de la plaque couvrante



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

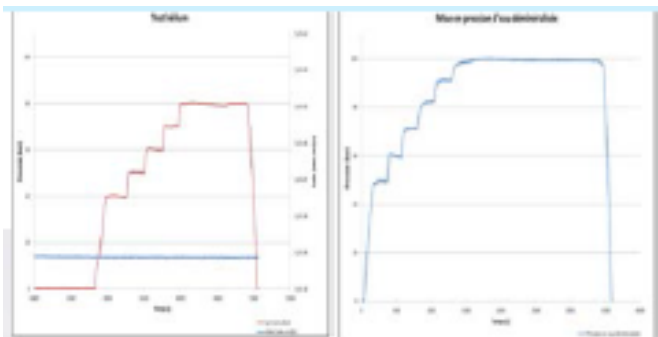
**Nettoyage (US) des  
tôles avant  
soudage**



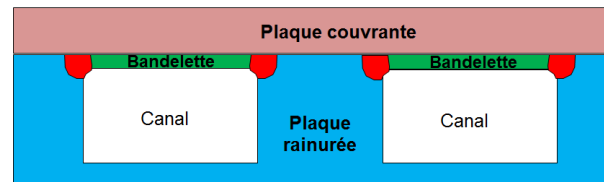
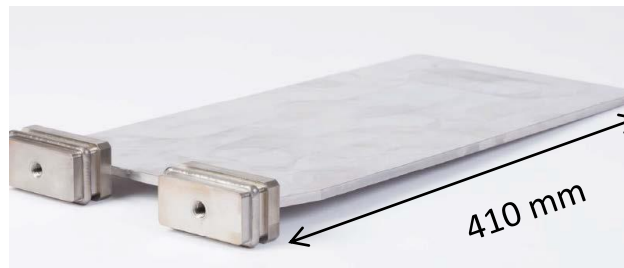
**Mise en place et soudage du conteneur  
puis soudage par CIC**



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



**Enlèvement du conteneur et  
usinage**

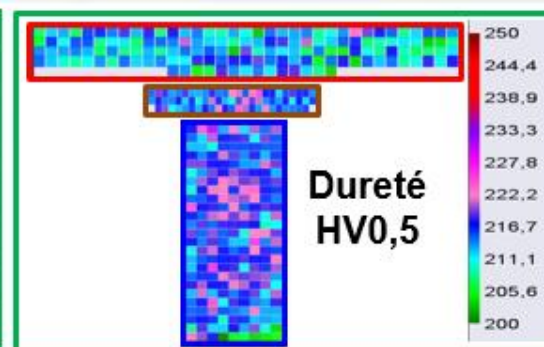
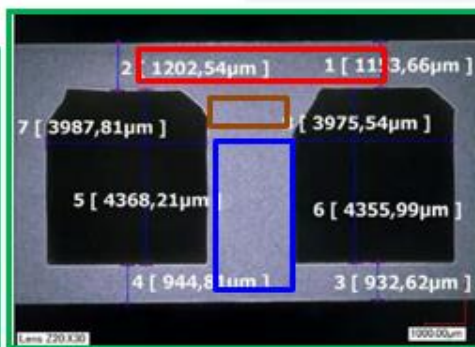
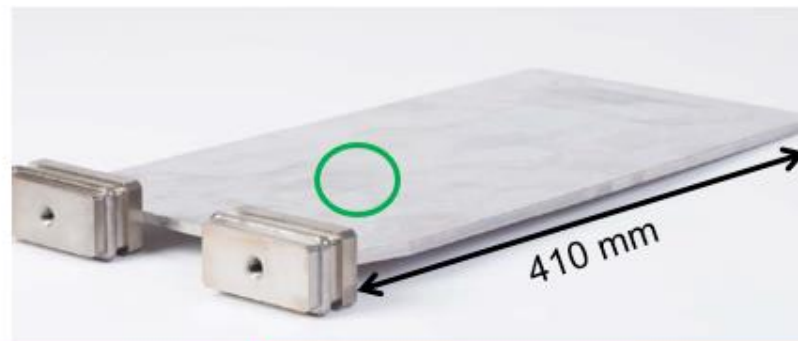


**Traitements  
thermiques après  
CIC**



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

## Examens destructifs

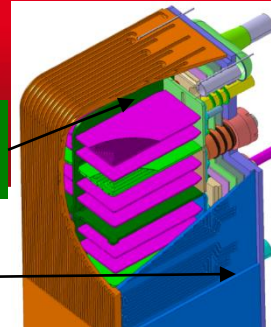


- Pas de défaut de soudage
- Pleine pénétration
- Bonne reproductibilité
- Déformation des canaux (négligeable)
- Déformation de la CP (<0,15 mm)

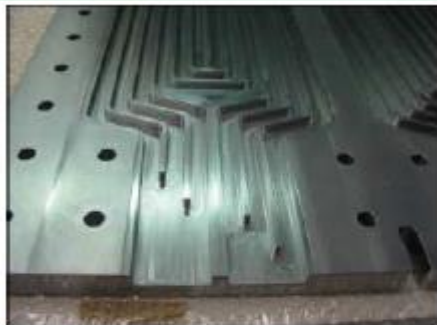


Stiffening Plate  
ép. 11 mm

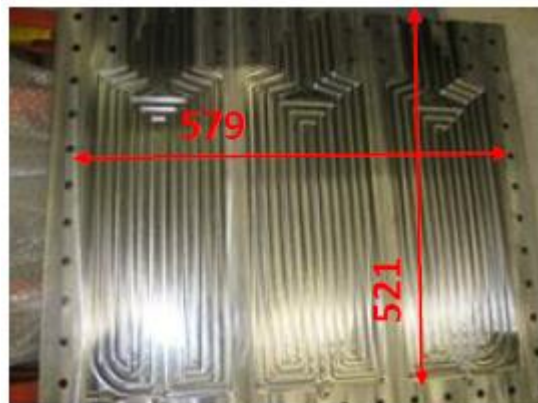
Side Cap  
ép. 30 mm



Vertical Stiffening Plate (ép. 11 mm)



V-SP (plaque rainurée  
et languette  
monobloc)



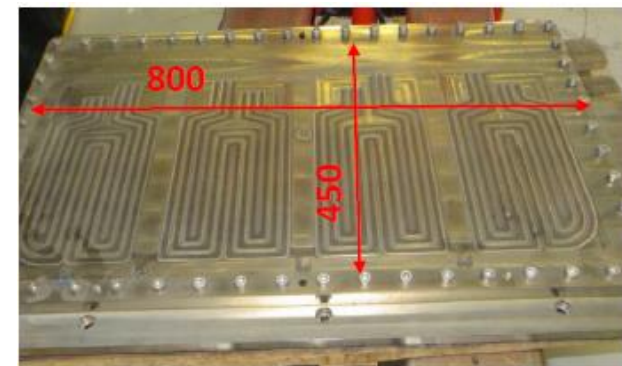
3 cellules v-SP après  
soudage laser



Examen destructif sur sous-composant SP



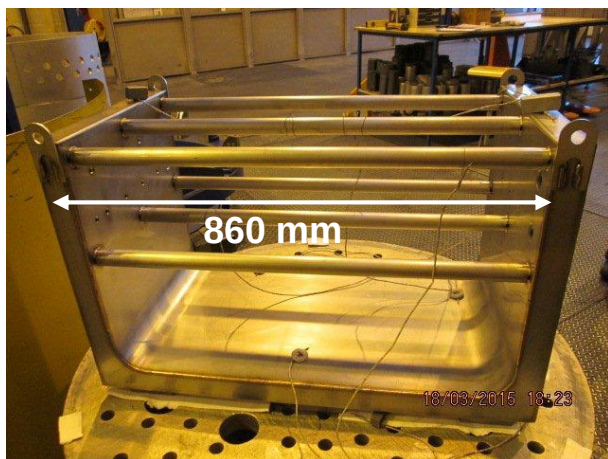
Side Cap (ép. 30 mm)



4 cellules (après CIC)

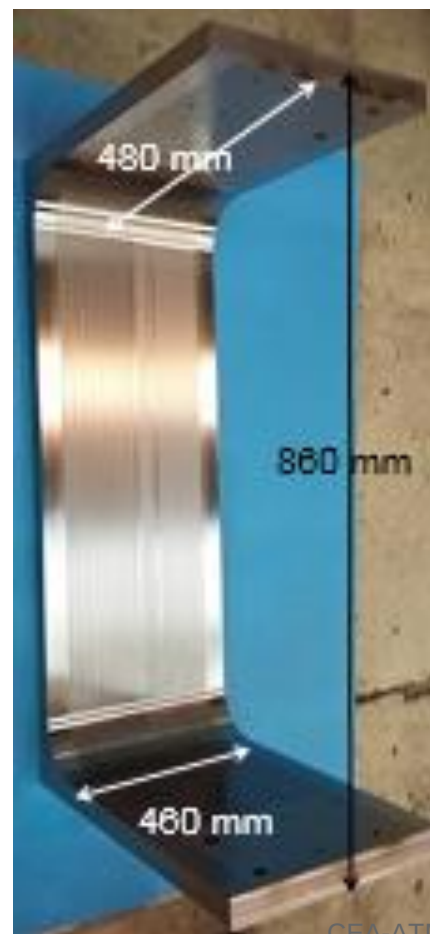
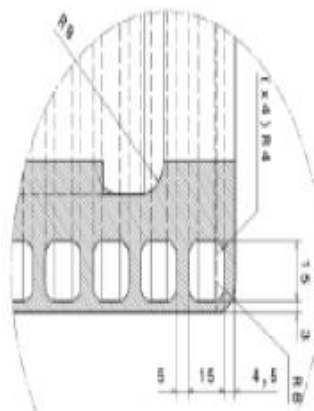
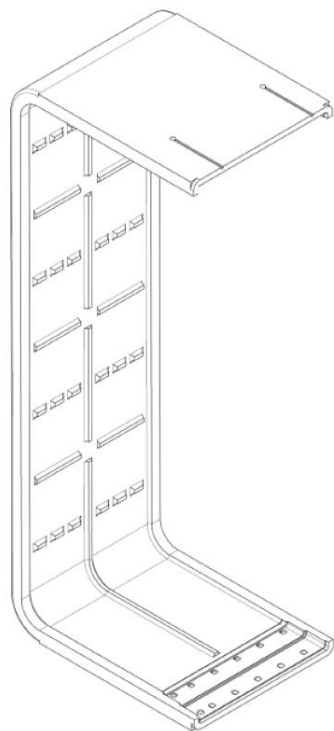
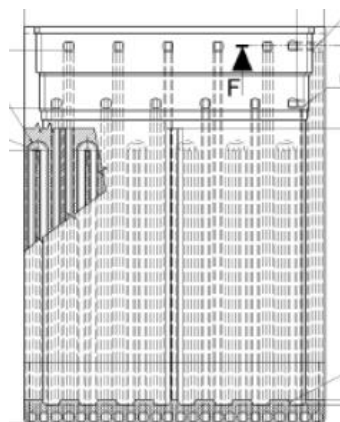
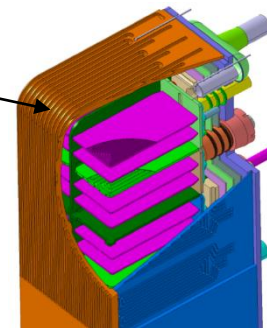


# FABRICATION DU SOUS-COMPOSANT FIRST WALL VIA LA TECHNOLOGIE « WELD + HIP »



Vue générale et de détails du sous-composant FW fabriqué

First Wall  
ép. 30 mm



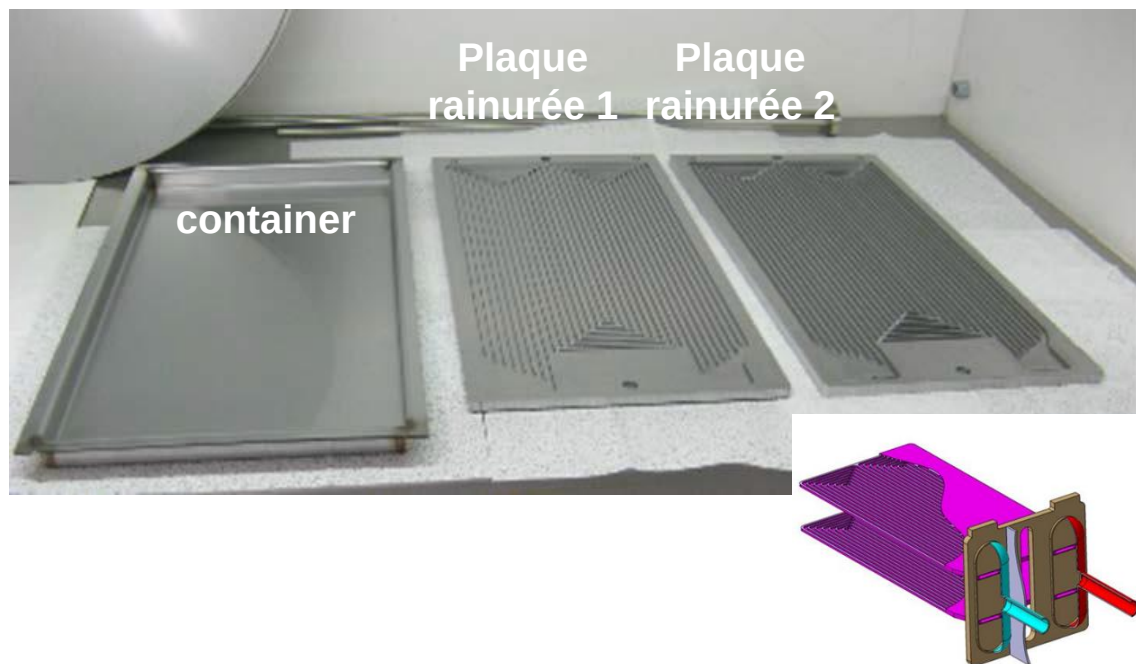
Développement  
spécifique  
(canaux en forme 3D)



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

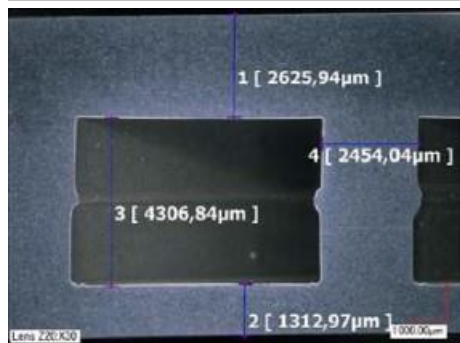


Soudage du conteneur



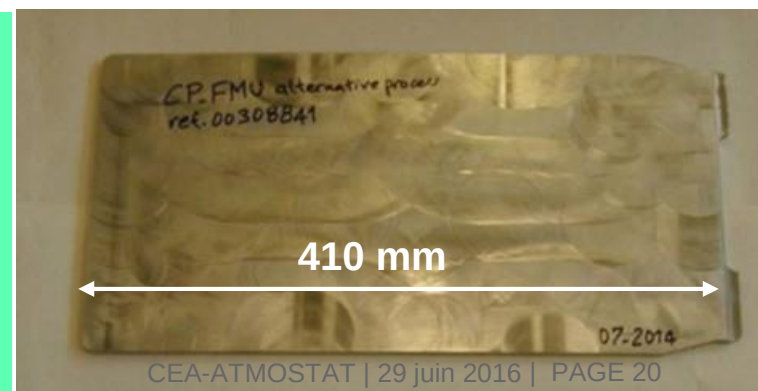
Cycles CIC et traitements thermiques

Examens destructifs



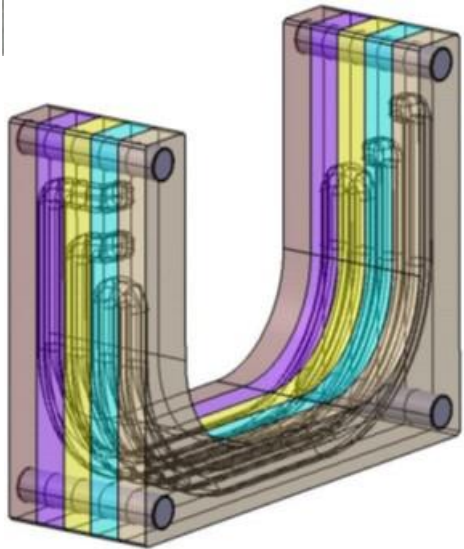
Tests hydraulique et (100 bars) et sous He (80 bar)

Enlèvement du conteneur et usinage

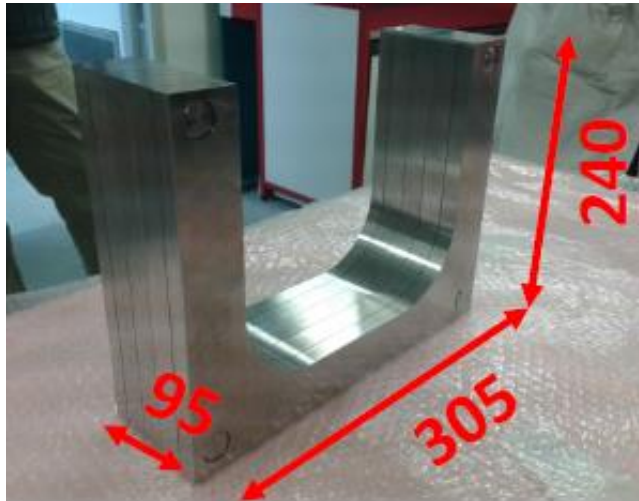


# FABRICATION DU SOUS-COMPOSANT FIRST WALL VIA LA TECHNOLOGIE « 2 STEPS HIP »

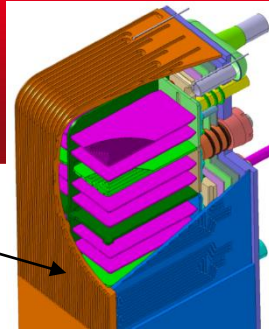
Usinage des U élémentaires et nettoyage



Reconstitution du First Wall avant mise en conteneur et cycle CIC



First Wall  
ép. 30 mm



Cycles CIC et traitements thermiques



Examens destructifs



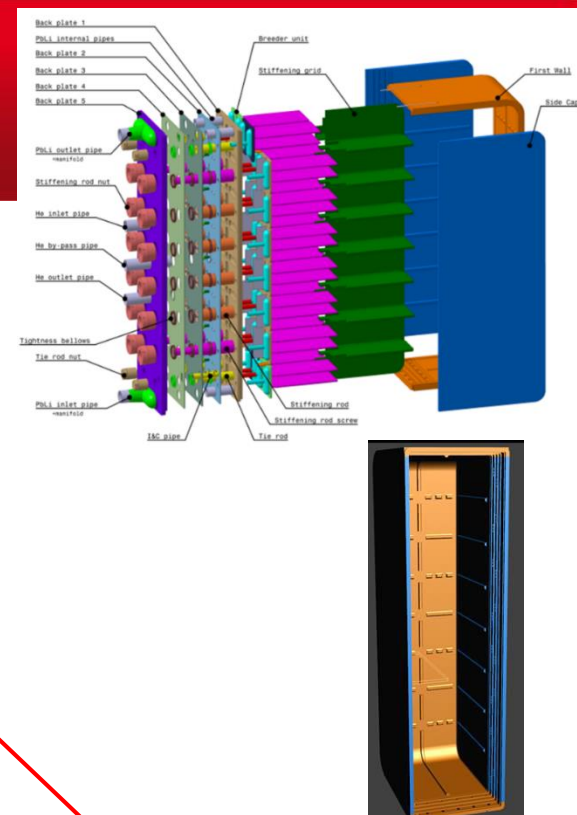
Enlèvement du conteneur et usinage



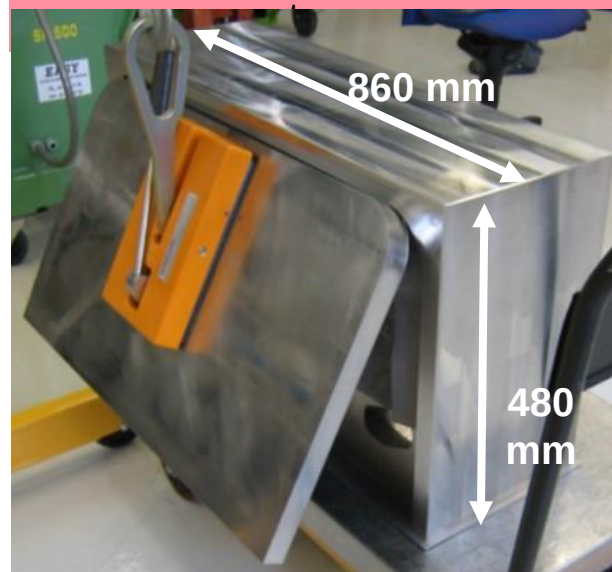
**ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS**  
**SIDE CAP / FIRST WALL ET STIFFENING**  
**GRID / BOX VIA LES TECHNOLOGIES TIG**  
**ET « 2 STEPS HIP »**



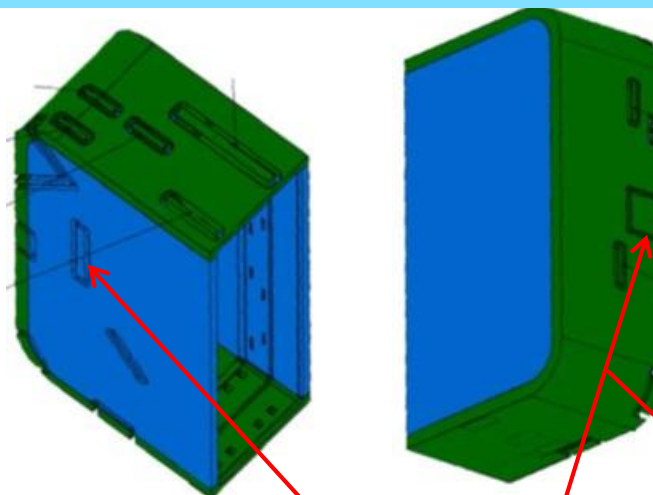
## SIDE CAP AVEC LE FIRST WALL VIA LA TECHNOLOGIE « 2 STEPS HIP »



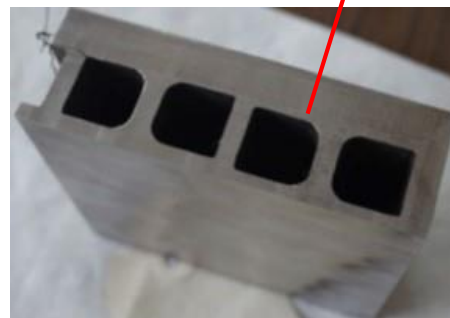
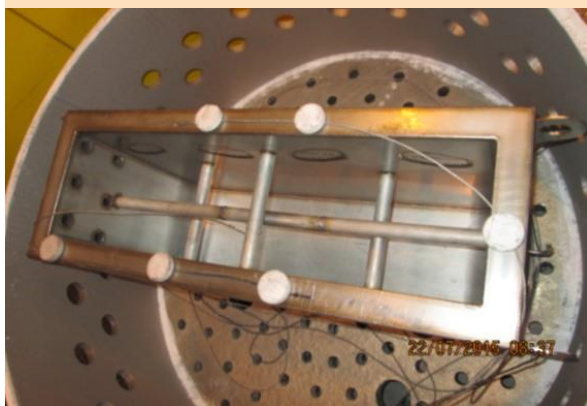
## Assemblage des 2 composants SC et FW avant mise en



## Examens destructifs



# Mise en conteneur et cycles CIC

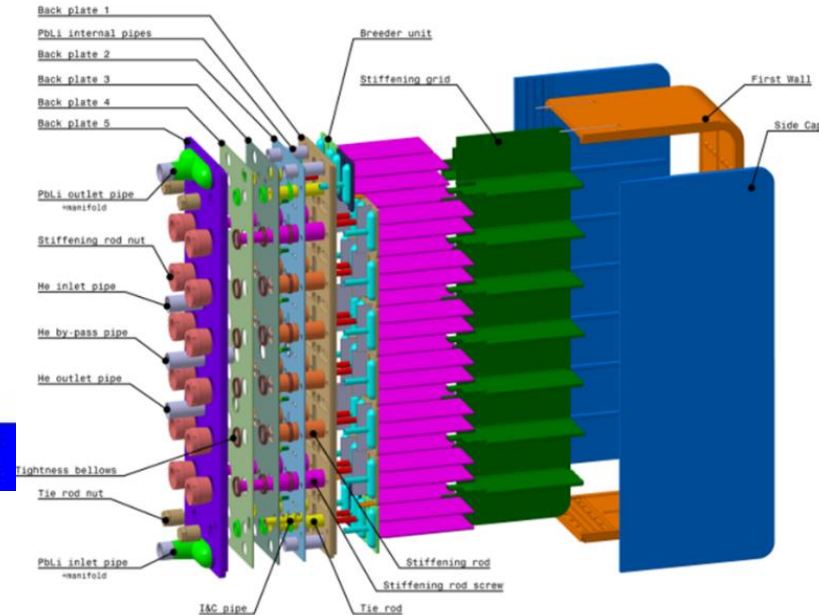
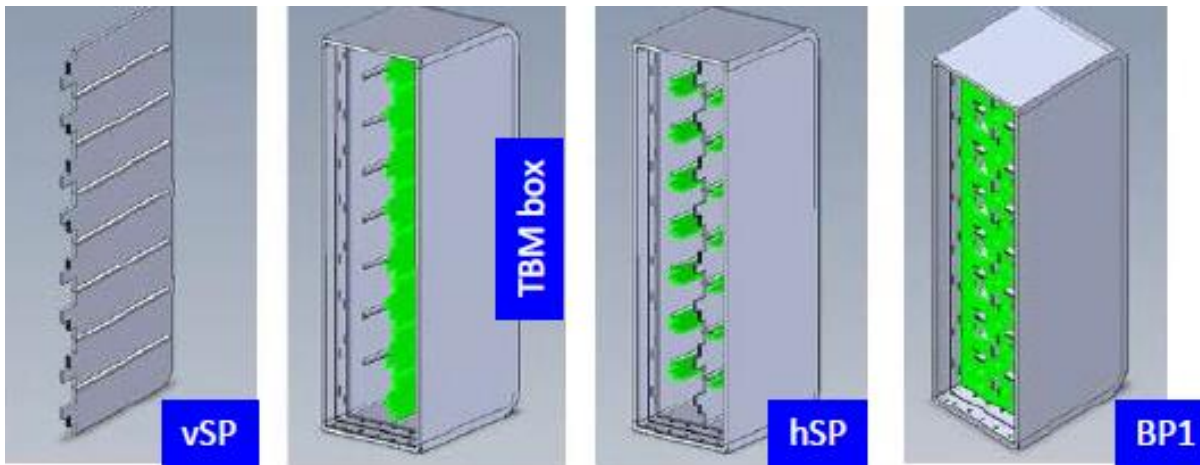




**ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS  
SIDE CAP / FIRST WALL ET STIFFENING  
GRID / BOX VIA LES TECHNOLOGIES TIG  
ET « 2 STEPS HIP »**

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

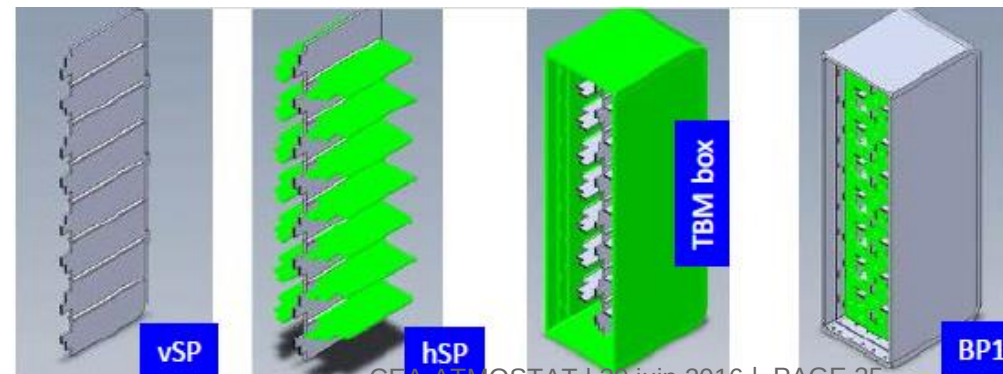
## Solution de référence (procédé TIG, développements en cours)



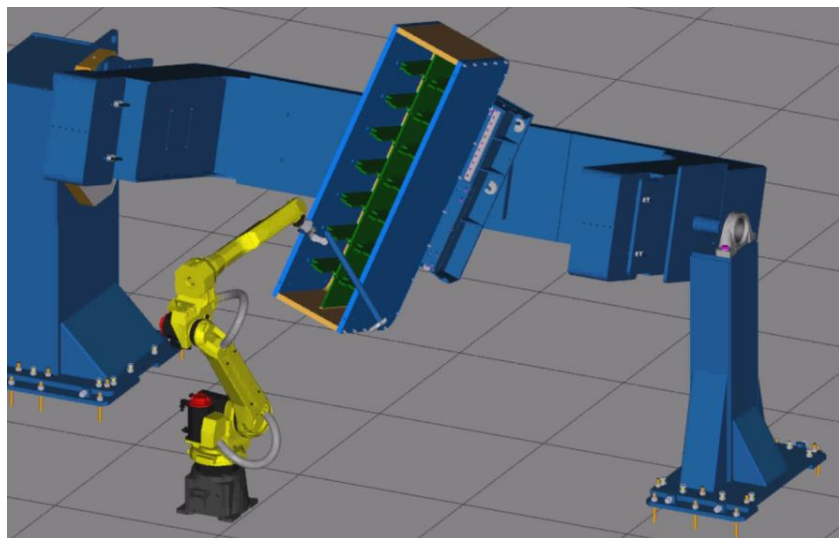
## Principales problématiques

- Développement et validation d'outillages de bridage
- Compacité des soudures
- Caractéristiques métallurgiques et mécaniques (effet cumulé de PWHT...)
- Maîtrise 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)

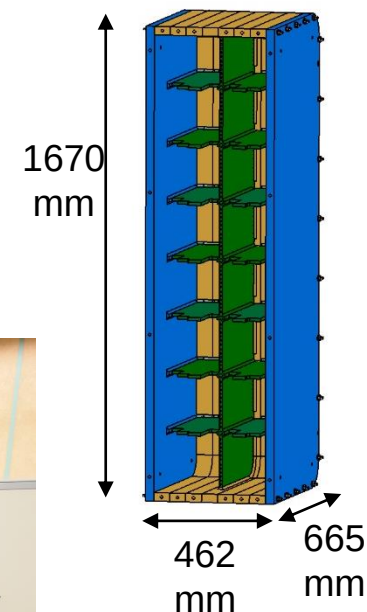
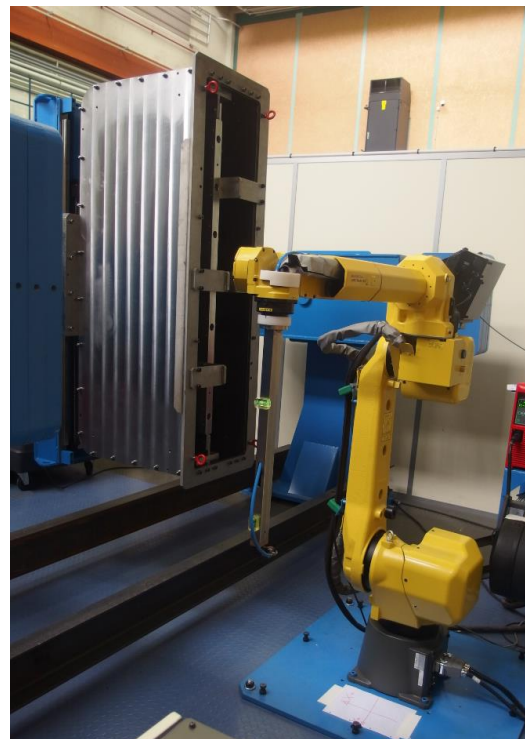


# ASSEMBLAGE DES SOUS-COMPOSANTS STIFFENING GRID DANS LA BOX VIA LA TECHNOLOGIE TIG



## 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

- 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





**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