

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

# LES COMPOSANTS FACE AU PLASMA

OU

COMMENT UN COMPOSANT DOIT  
SUPPORTER UN CHARGEMENT  
THERMIQUE  $> 10 \text{ MWm}^{-2}$  DANS UN  
ENVIRONNEMENT EXTRÊME?

| Marianne RICHOU

JEUDI 30 OCTOBRE 2014

6<sup>èmes</sup> rencontre CEA ↔ Industrie, en région PACA, pour l'innovation et le transfert de technologie

**Les Technologies pour la fusion**

**1, CONTEXTE**

**2, LE PROJET WEST :  
LA FABRICATION ET L'OPÉRATION  
D'UN COMPOSANT CRUCIAL POUR  
ITER**

**3, EXEMPLES D'AUTRES  
DÉVELOPPEMENTS POUR LES  
COMPOSANTS FACE AU PLASMA**

## Définition

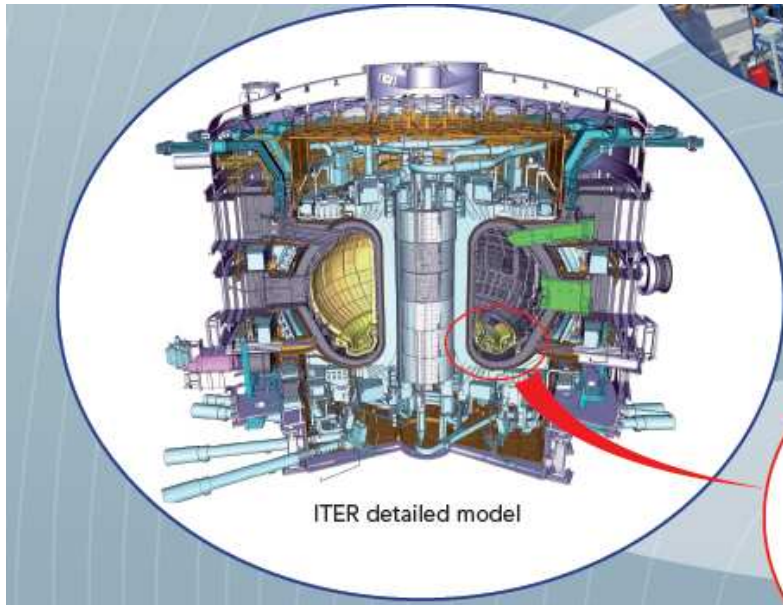
- C'est la première surface matérielle vue par le plasma (électrons, ions).
- Nombreuses contraintes : thermique (plusieurs MW/m<sup>2</sup>), neutronique, érosion...
- Le choix des matériaux est important !



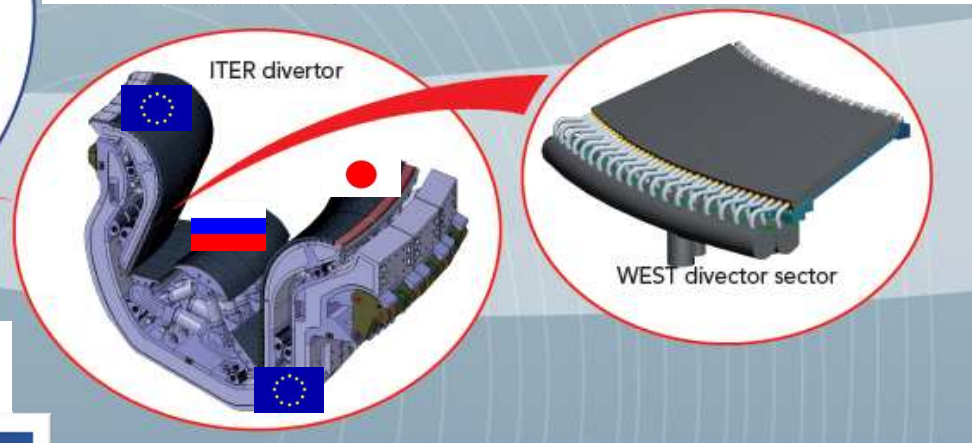
## Contraintes et solutions :

- Opération sur des temps longs ~qq minutes (**refroidissement des composants**),
- Tenue au vide (**étanchéité du composant**),
- Champ magnétique (Effort mécanique conséquent → **matériau de structure**)
- Plasma=ions+électrons+neutres (**Compatibilité matériau face au plasma**)
- Hautes températures (**Matériau face au plasma : matériau réfractaire**)

# UN COMPOSANT FACE AU PLASMA CRUCIAL : LE DIVERTOR



- Chargement thermique du divertor d'ITER:
  - . Stationnaire: 10 MW/m<sup>2</sup>
  - . Transitoire (qqs secondes): 20 MW/m<sup>2</sup>
  - . Evènements énergétiques (~ 100 MJ, 400 μs)



## Keys figures for ITER divertor risk analysis

- Cost > 100 M€
- Manufacturing: ~ 6 to 8 years
- Installation and commissioning in nuclear environment : ~1 year

*NB: operation cost ~300 MEuros/year*

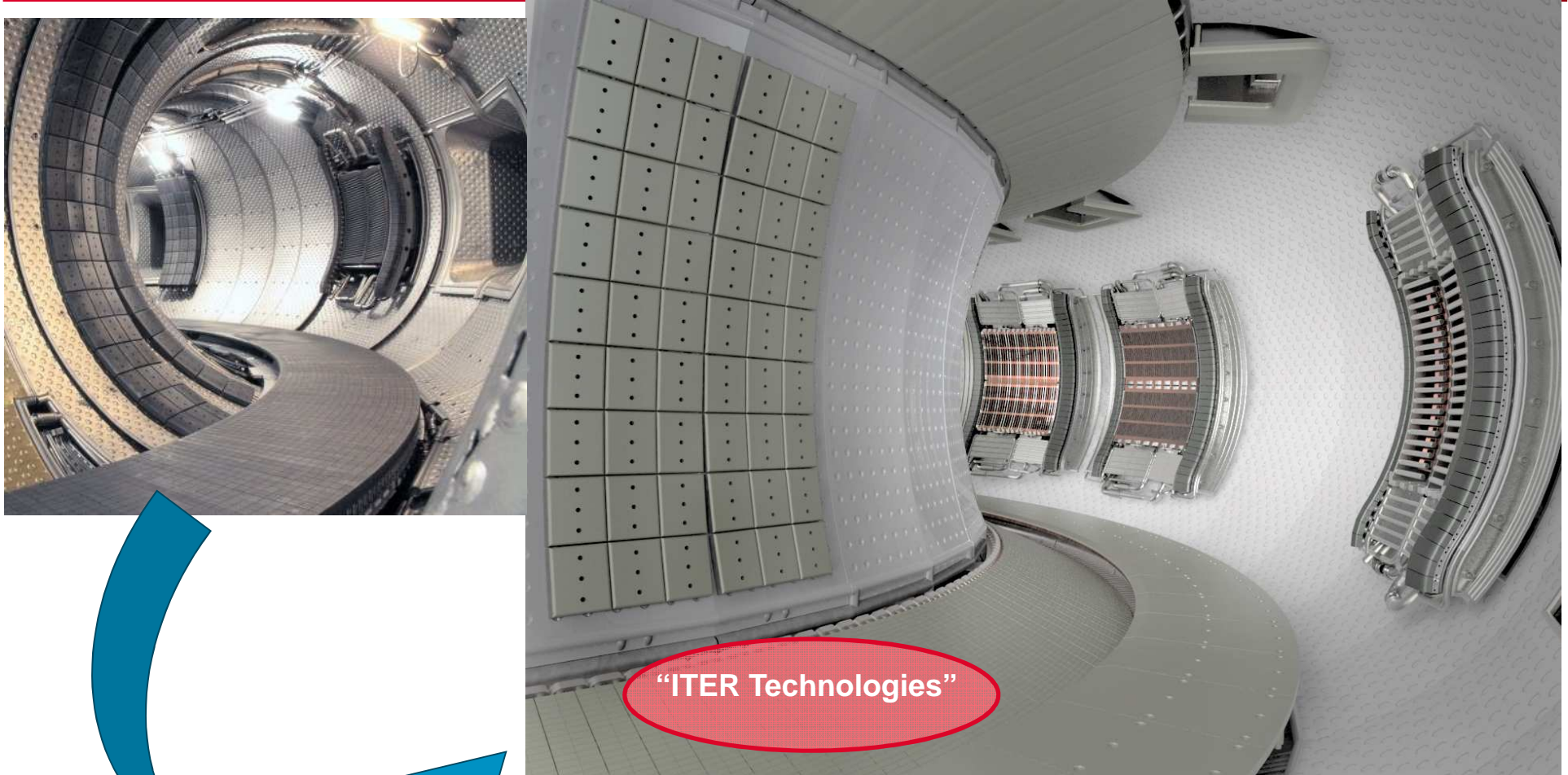
**1, CONTEXTE**

**2, LE PROJET WEST :  
LA FABRICATION ET L'OPÉRATION  
D'UN COMPOSANT CRUCIAL POUR  
ITER**

**3, EXEMPLES D'AUTRES  
DÉVELOPPEMENTS POUR LES  
COMPOSANTS FACE AU PLASMA**



# LE PASSAGE À LA CONFIGURATION WEST



## Configuration WEST

~ 2000 composants face au plasma  
à installer ou à modifier

# Les missions de WEST

## Le projet WEST a pour but de :

- **Transformer Tore Supra dans une configuration d'intérêt pour ITER**
  - En offrant une installation permettant de **tester dans un environnement le plus réaliste possible les composants d'ITER**
  - En implantant un ensemble de composants face au plasma qui seront testés dans des **conditions proches des conditions d'opération du divertor d'ITER** (niveaux de flux thermique, temps d'opération, refroidissement actif...)

## Un livrable d'importance du projet WEST est :

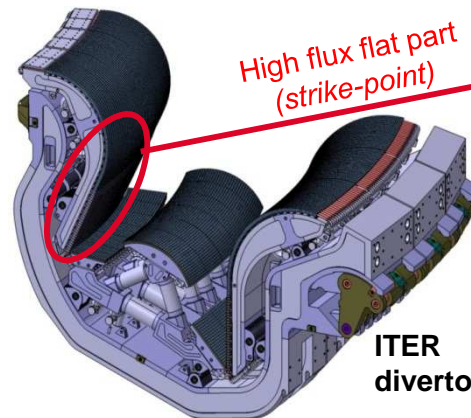
- **Ouvrir la voie pour la fabrication, l'approvisionnement et l'opération du divertor d'ITER**
  - Optimisation d'une production de composants fabriqués en grande quantité / qualification intégrée des procédés avant la fabrication du divertor d'ITER
  - Évaluation des capacités **d'extraction de puissance / durée de vie du divertor d'ITER** dans un environnement le plus réaliste possible

# Divertor : WEST représentatif de ITER

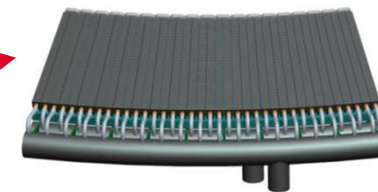
	WEST vs ITER
Technologie d'assemblage	Identique
Géométrie élémentaire	Identique
Aire	~14% ITER
Longueur du composant	Echelle 1/3
Nombre de composants	~ 1/2 ITER
Condition d'opération	Identique

Même géométrie et même technologie d'assemblage  
(⇒ *mêmes fabricants*)

## Partenaires du divertor de WEST :



High flux flat part  
(strike-point)

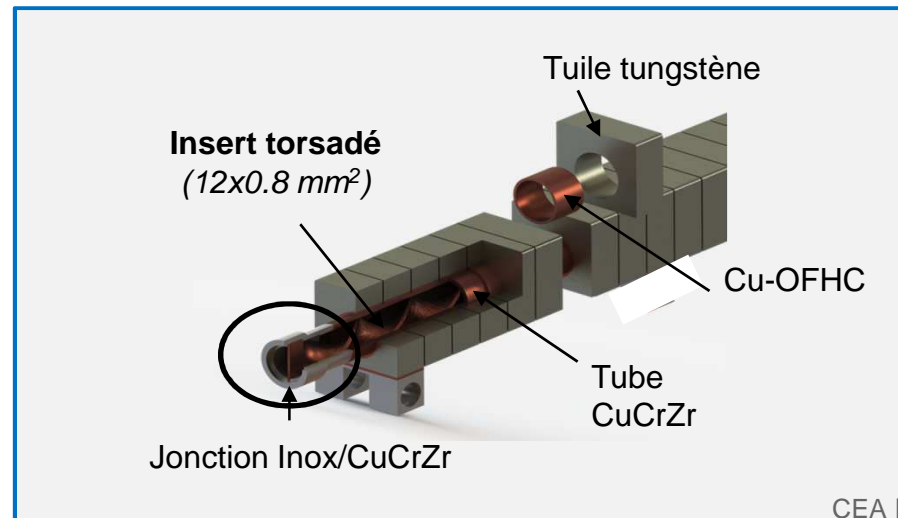
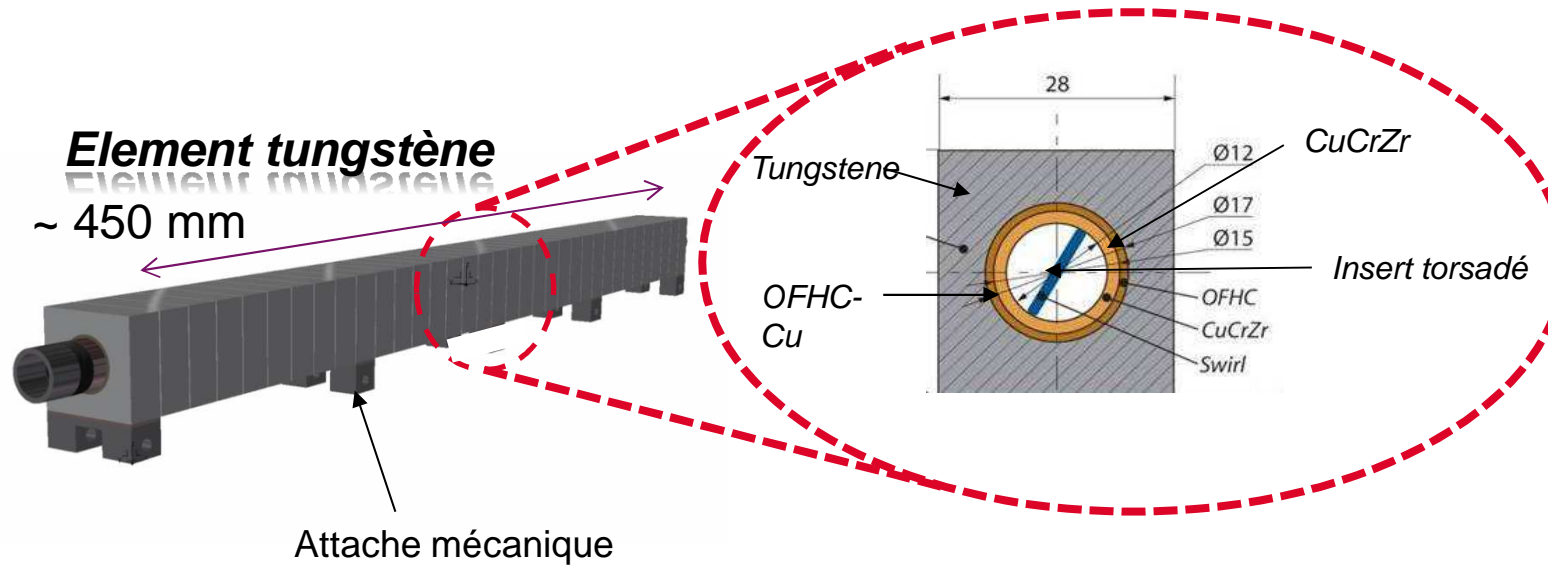


WEST divertor

ITER divertor

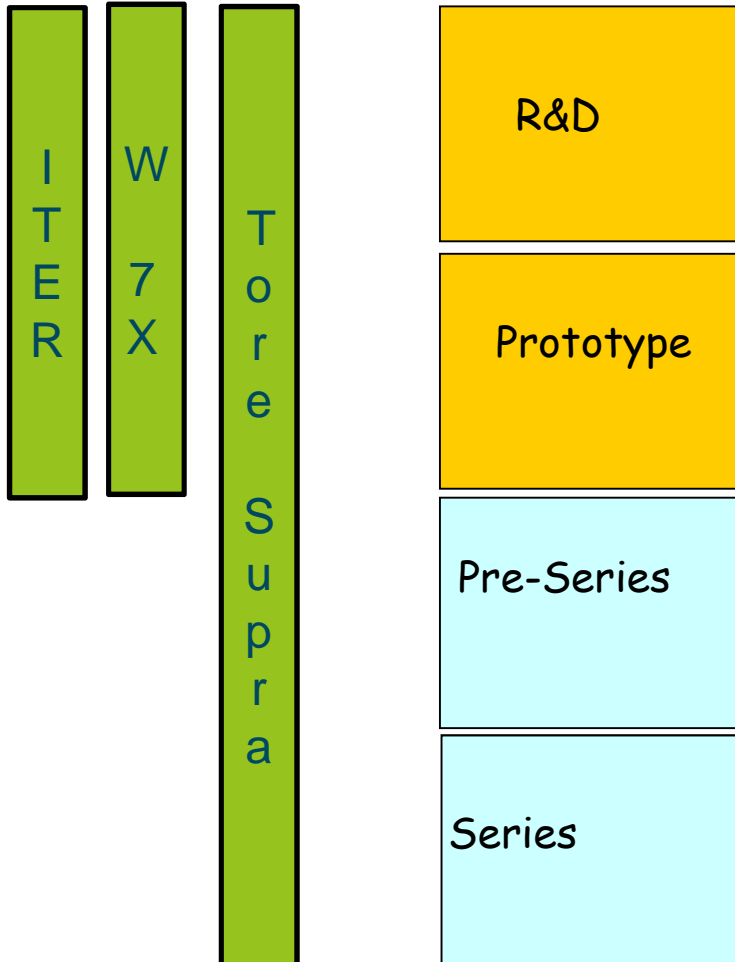


# Technologie : WEST DIVERTOR = ITER divertor



# Méthode de qualification des composants face au plasma activement refroidis

Compétences IRFM :



Contrôles non destructifs  
Solicitation thermique du composant



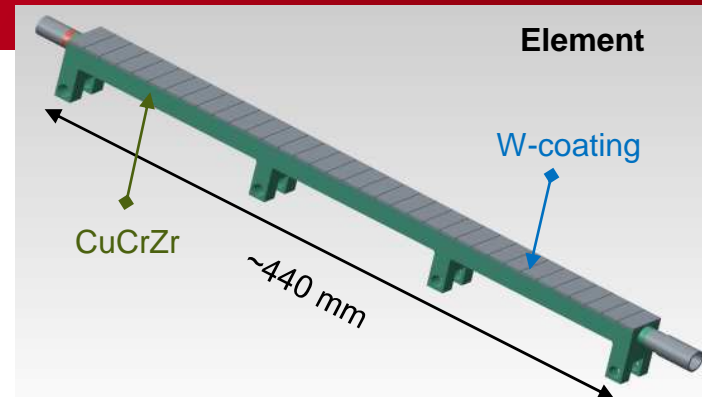
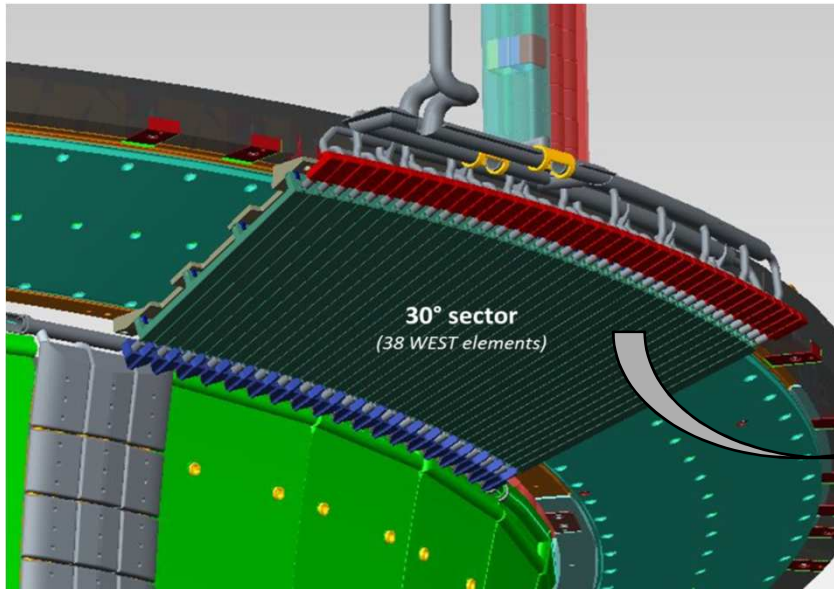
Tests à hauts flux  
Thermiques :

**1, CONTEXTE**

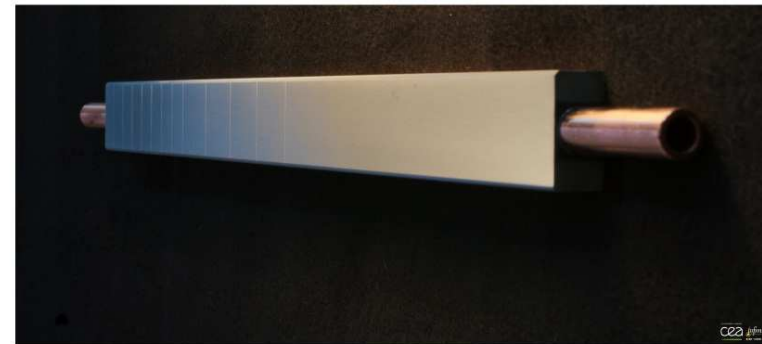
**2, LE PROJET WEST :  
LA FABRICATION ET L'OPÉRATION  
D'UN COMPOSANT CRUCIAL POUR  
ITER**

**3, EXEMPLES D'AUTRES  
DÉVELOPPEMENTS POUR LES  
COMPOSANTS FACE AU PLASMA**

# Le Divertor Cuivre



■ Prototype ✓



■ Test de qualification ✓

■ Actuellement :  
Phase negotiation pour fabrication  
Délais de réalisation ~11 mois

■ 456 composants (~7.4 m<sup>2</sup>)

■ Technologies :

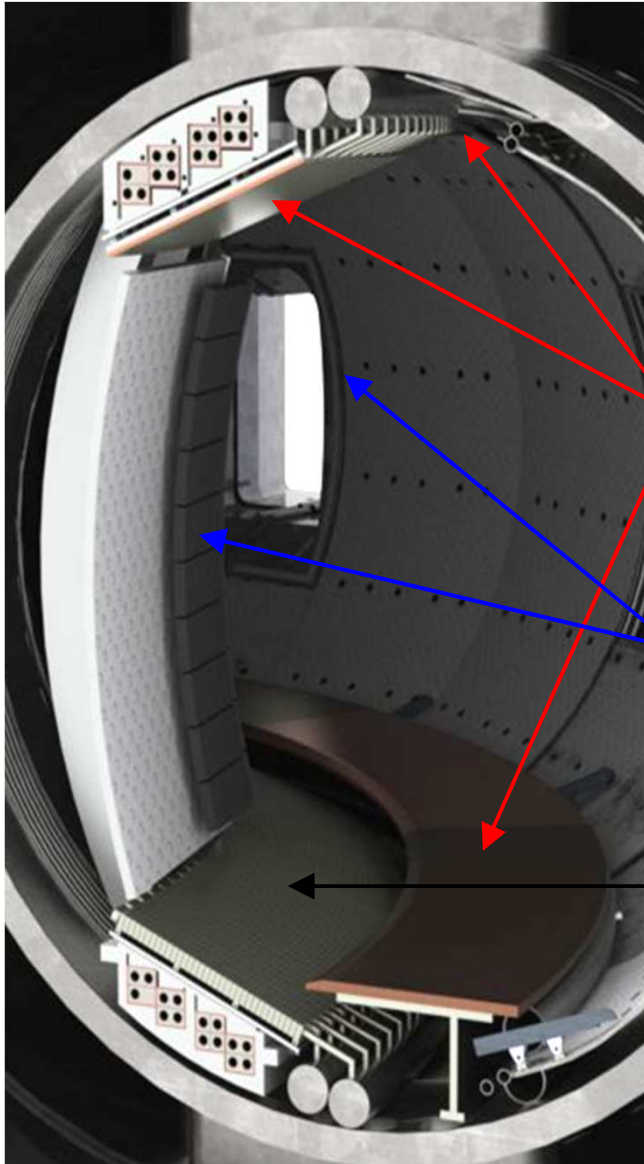
⇒ **Dépôt W** sur **CuCrZr**

⇒ **Forage** du **CuCrZr**

⇒ **Transition CuCrZr vers SS-316L**

*(Utilisée et à valider pour composants ITER)*

# Les revêtements dans WEST



■ > 600 composants (taille: 100-1000 mm), avec géométries complexes (chanfrein, bout arrondi...)

■ Dépôt W : Compétence des industriels

Substrat	Industriels impliqués
CuCrZr	DEPHIS (Fr.), XTC (Ch.), ENEA (It.), PLANSEE(Au.)
Actuellement : Fin de phase de qualification, appel d'offre ouvert fin 2014	
Composite carbone	ACERDE (Fr.) SAINT GOBAIN (Fr.)
Actuellement : Phase de R&D, Appel d'offre ouvert fin 2014	
Graphite	Medc(Ro.) (Utilisé dans d'autres machines de fusion)
Actuellement : Appel d'offre ouvert fin 2014	



- Les composants face au plasma sont des **composants clés** pour l'opération des machines de fusion magnétique
- La **fabrication et l'opération** des composants face au plasma doivent être maîtrisées
- Le projet WEST a pour but de :
  - **Transformer Tore Supra dans une configuration d'intérêt pour ITER**
  - **Ouvrir la voie pour la fabrication, l'approvisionnement et l'opération du divertor d'ITER**
- Pour cela il faut :
  - Fabriquer en amont, qualifier la fabrication et qualifier la qualité des composants face au plasma d'intérêt pour ITER (conjointement avec les acteurs impliqués dans la fabrication de ces composants pour ITER)
    - **Bénéficiaire du réseau collaboratif du projet WEST**
  - Développer et fabriquer d'autres composants pour que le projet puisse être mené à bien (revêtements...)
    - **S'appuyer sur les compétences des industriels**

Contact :

[Marianne.richou@cea.fr](mailto:Marianne.richou@cea.fr)

---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Cadarcche | code postal et adresse  
T. +33 (0)1 XX XX XX XX | F. +33 (0)1 XX XX XX XX

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

DSM  
IRFM  
SIPP  
GCECFP