



ITER

Une énergie pour notre avenir



ITER

35 pays unis dans un but commun

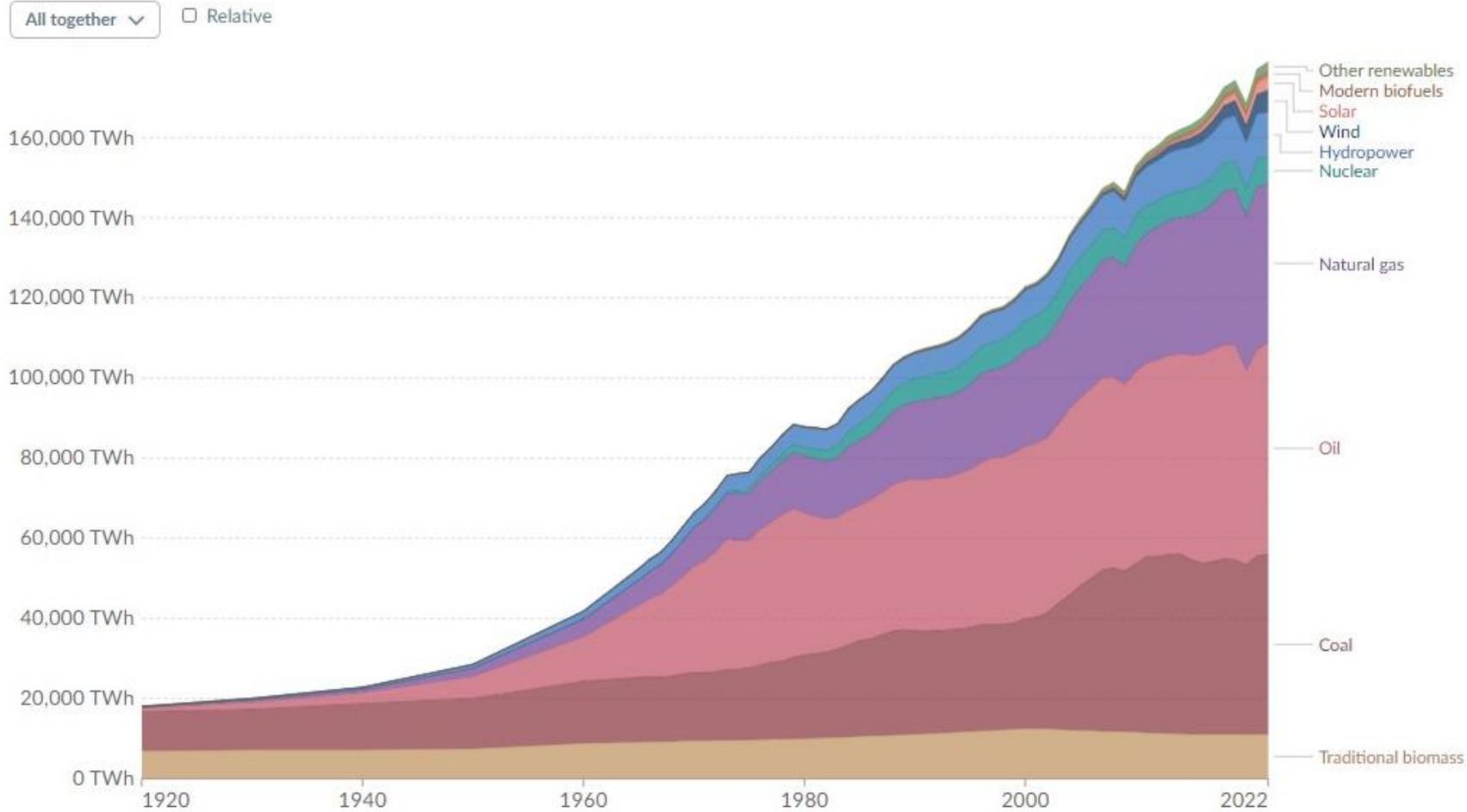
Démontrer la faisabilité technologique de l'énergie de fusion



Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.

Our World
in Data



Source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023); Vaclav Smil (2017)

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Why ITER?

Augmentation de nos
besoins énergétiques

85% de la consommation
énergétique est d'origine
carbonée

La Fusion Nucléaire est
une des options pour
une production massive
et décarbonnée
d'énergie



Why ITER?

Augmentation de nos besoins énergétiques

85% de la consommation énergétique est d'origine carbonée

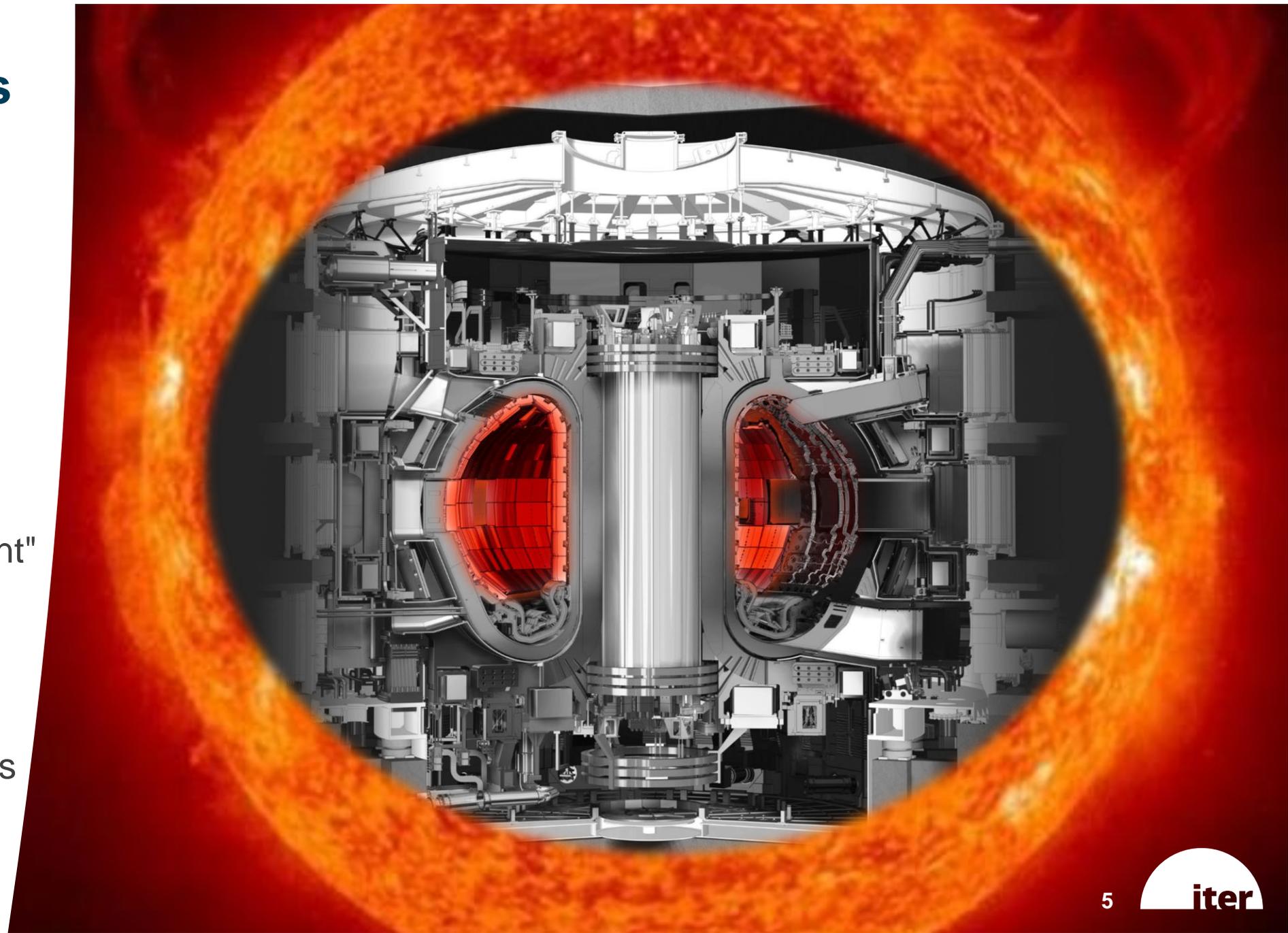
La Fusion Nucléaire est une des options pour une production massive et décarbonnée d'énergie

ITER's missions

Démontrer la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion à l'échelle industrielle

Créer un plasma "brûlant" contrôlé

Générer 500 MW d'énergie de fusion dans son plasma



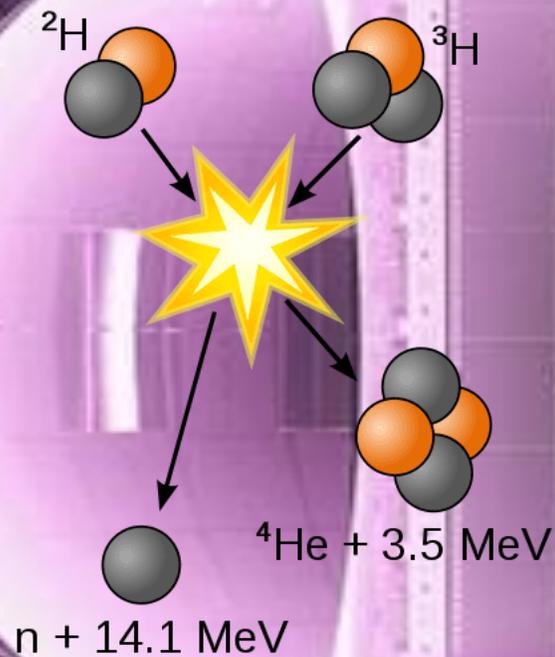
La Fusion Nucléaire

Utilisation de la réaction deutérium-tritium dans un plasma magnétiquement confiné chauffé à 150 millions °C

1g de D-T \approx 8T de petrol

Produits de la réaction

- ${}^4\text{He}$ contribue à l'auto-échauffement du plasma
- Le neutron s'échappe avec la majeure partie de l'énergie (énergie de fusion collectée)



COMMENT CA MARCHÉ?

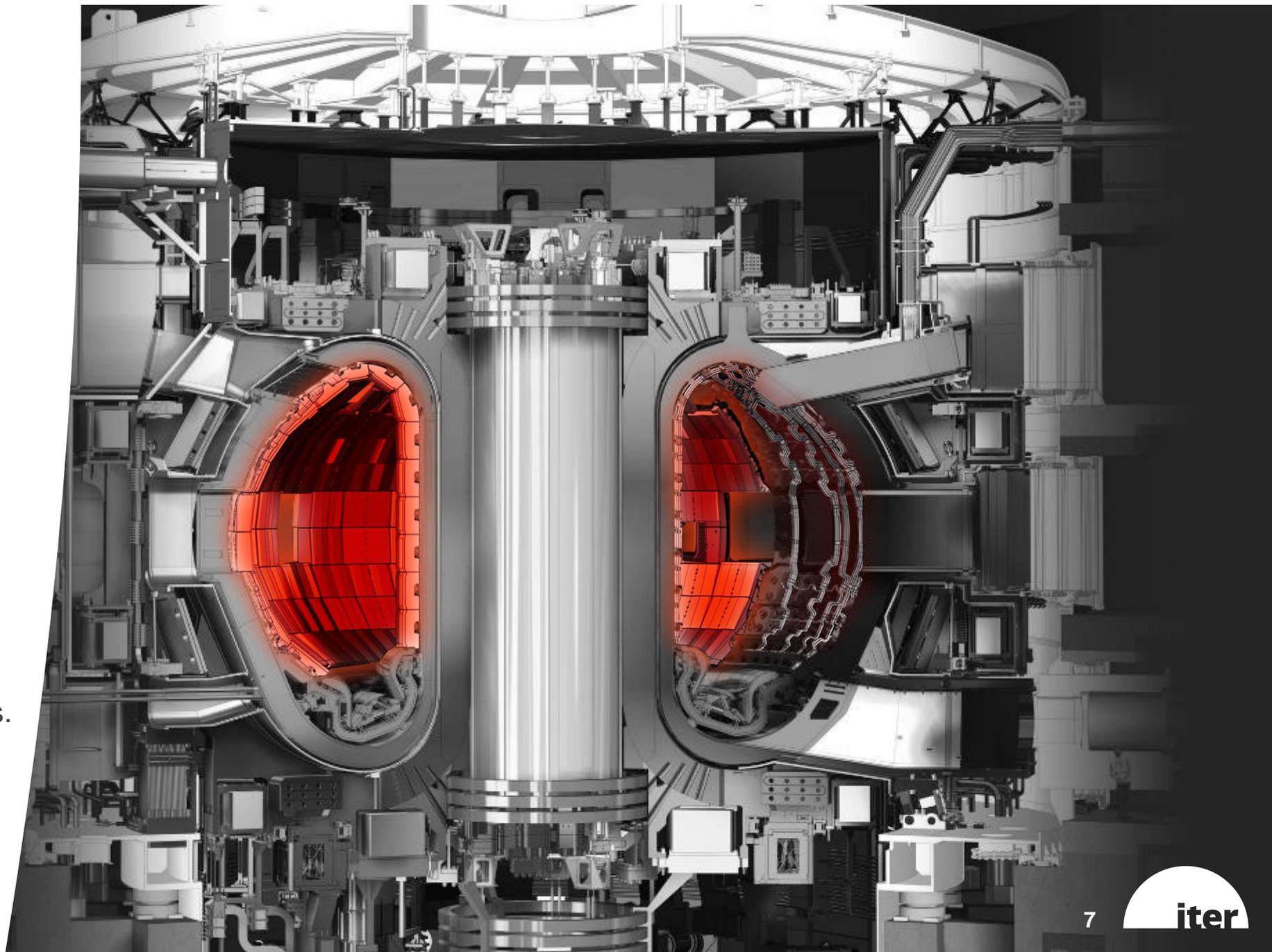
Injection de gaz D-T

Injecter un courant électrique pour convertir le gaz en plasma

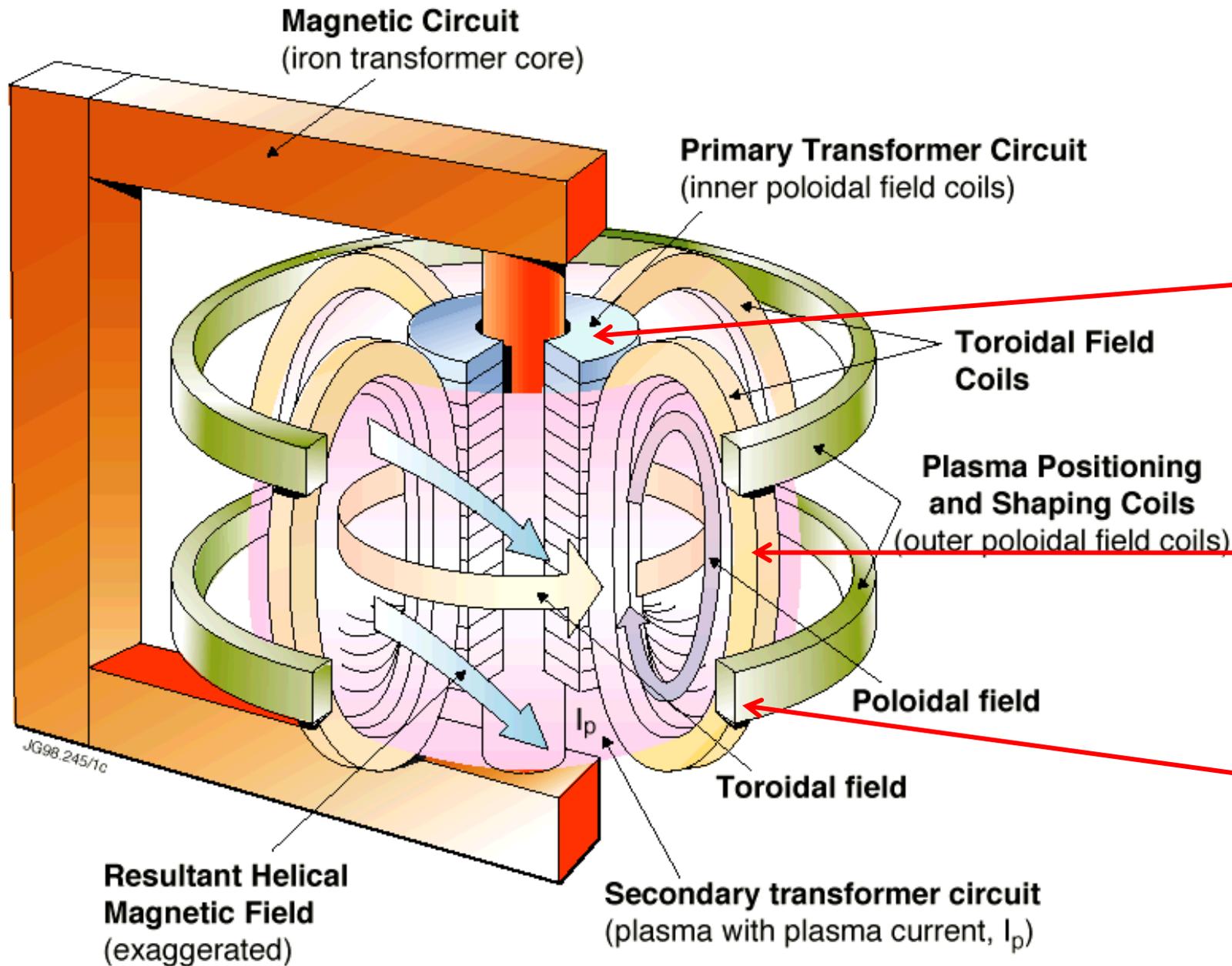
Chauffer le plasma par chauffage électromagnétique, injection de particules neutres à haute énergie

Combiner ces techniques pour atteindre 150 millions de degrés.

CHALLENGE: CONTENIR ET FAÇONNER LE PLASMA



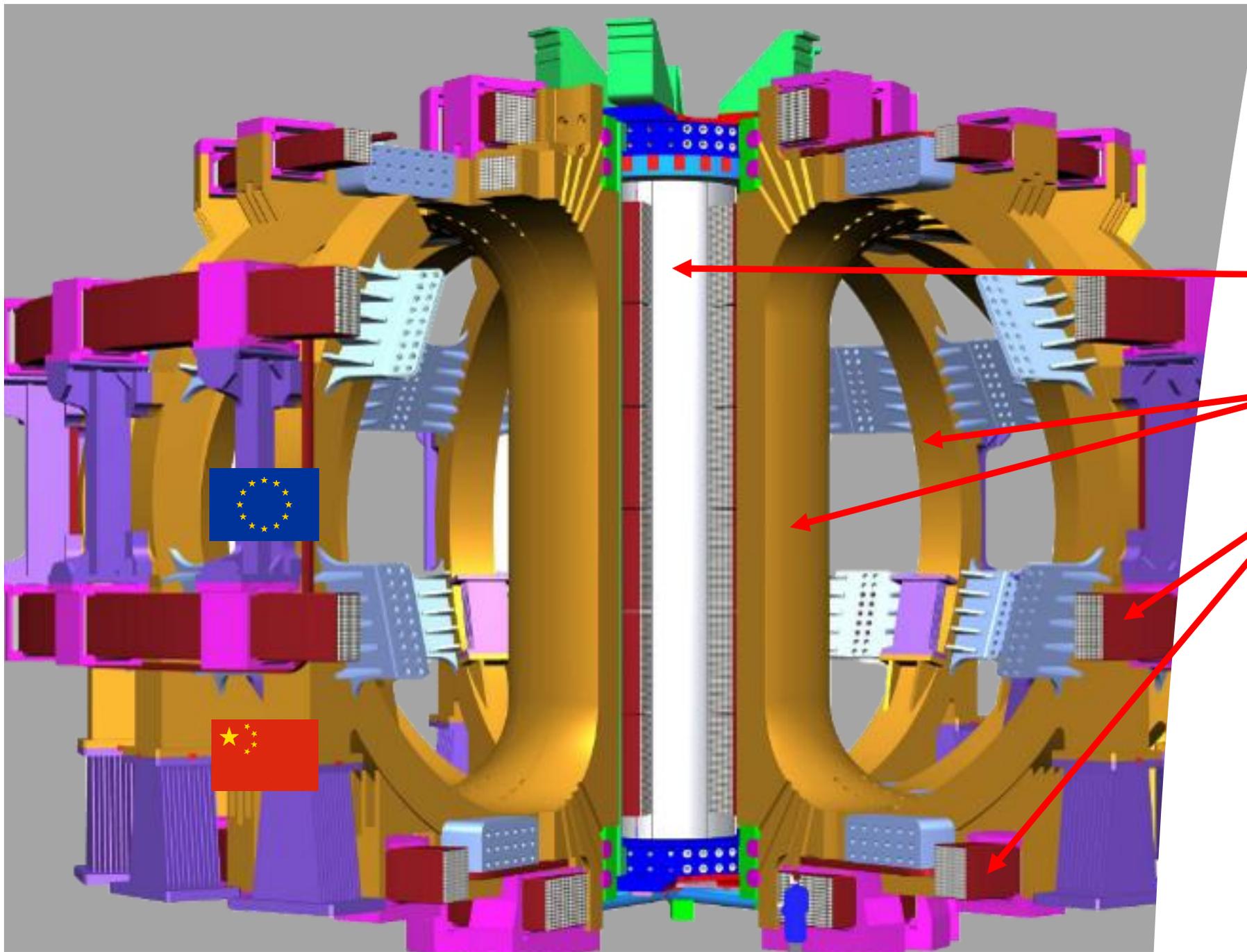
Confinement magnétique dans un tokamak



Les solénoïdes centraux produisent le courant de plasma et, avec lui, les composantes du champ magnétique poloidal.

Production de composants de champ magnétique toroïdal

Contrôle de la forme et de la position du plasma



LA CAGE MAGNETIQUE

- 1 solenoïde Central

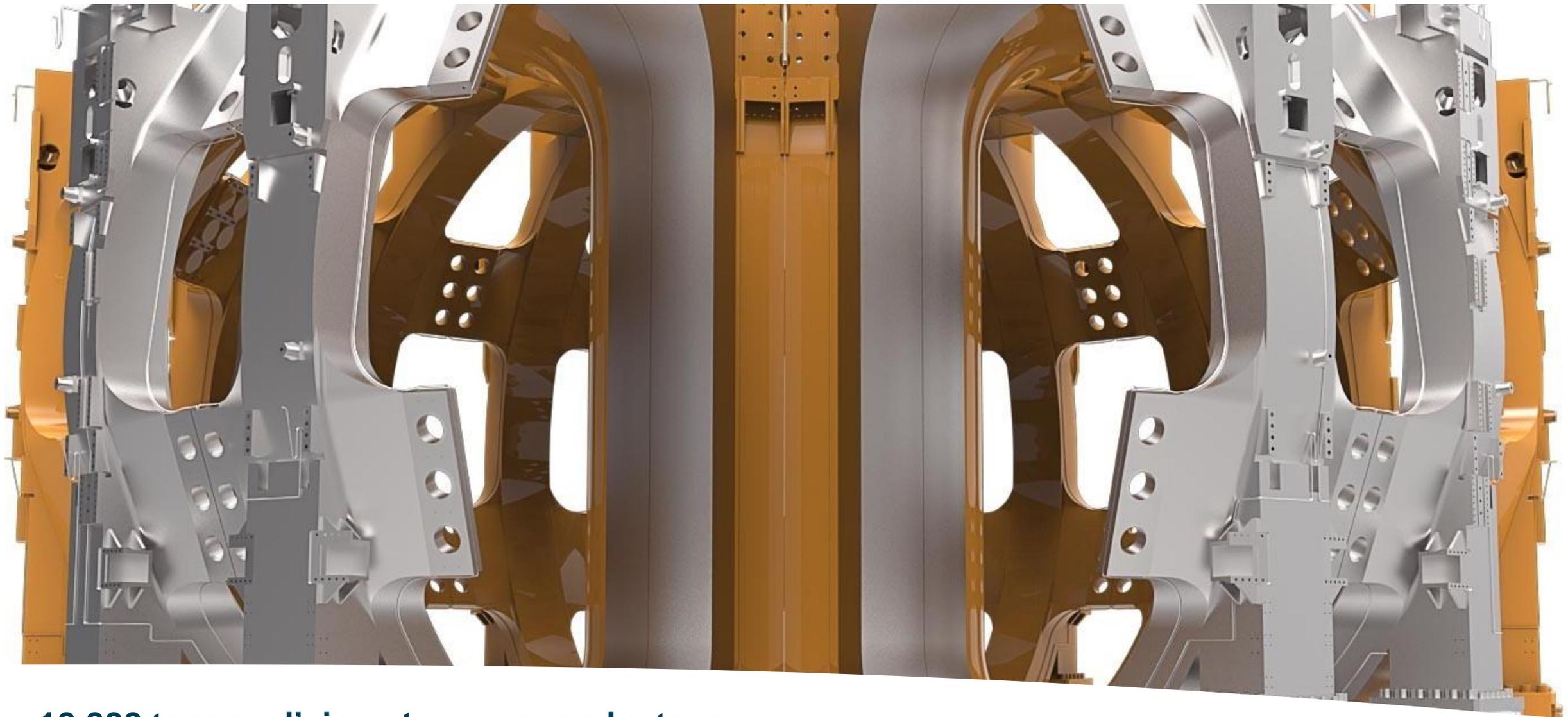


- 18 bobines de champ toroidal



- 6 bobines de champ poloidal





10 000 tonnes d'aimants supraconducteurs

10 000 tonnes d'aimants supraconducteurs produisent le champ magnétique qui génère, confine, modèle et contrôle le plasma dans la machine.

Les aimants de niobium-étain ou niobium-titane sont refroidis à 4K ($- 269\text{ }^{\circ}\text{C}$) par un flux d'hélium supercritique.

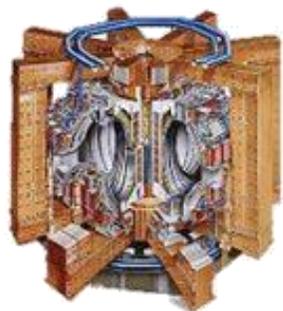


DE REMARQUABLES ATOUS

- Massive
- Non émettrice de CO₂
- Pas de déchets de très haute activité à vie longue
- Ressources abondantes
- Sûre

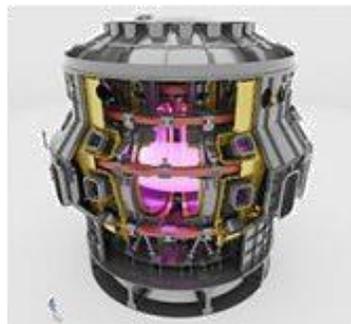
Mais aussi...

- Des défis technologiques majeurs



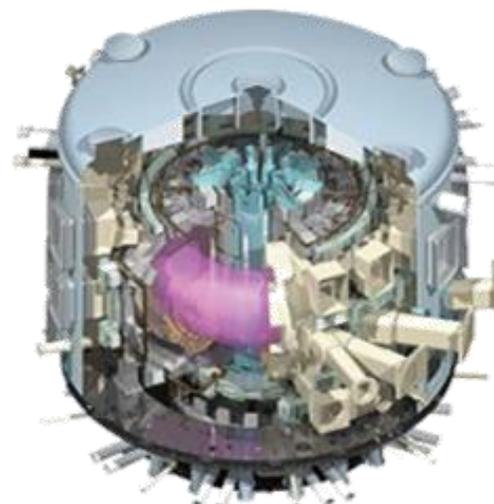
JET

80 m³



JT-60SA

135 m³



ITER

800 m³

(one-third the size of an Olympic swimming pool)

~ 500 MW_{th}



DEMO

~ 1000 – 3500 m³

(half to one and a half times the size of an Olympic swimming pool)

~ 2000-4000 MW_{th}

ITER hérite d'une longue histoire de recherche sur les tokamaks

ITER comblera le fossé entre les dispositifs de fusion expérimentaux à petite échelle d'aujourd'hui et les centrales de fusion de démonstration de demain.

ITER est la première machine de fusion autorisée en tant qu'installation nucléaire.

DE L'INTENTION... À LA RÉALISATION

Novembre 1985



Novembre 2006

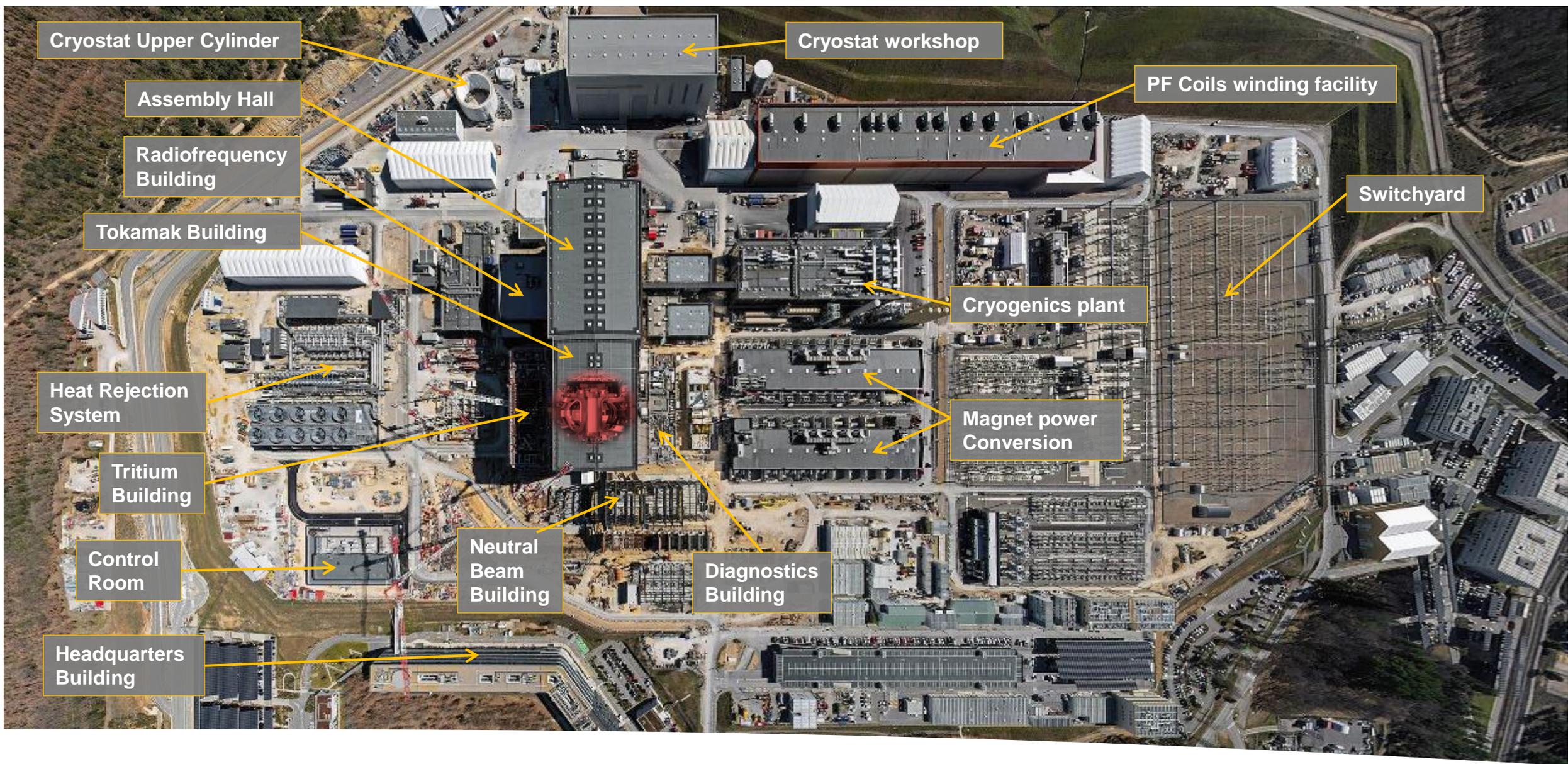


Aôut 2010



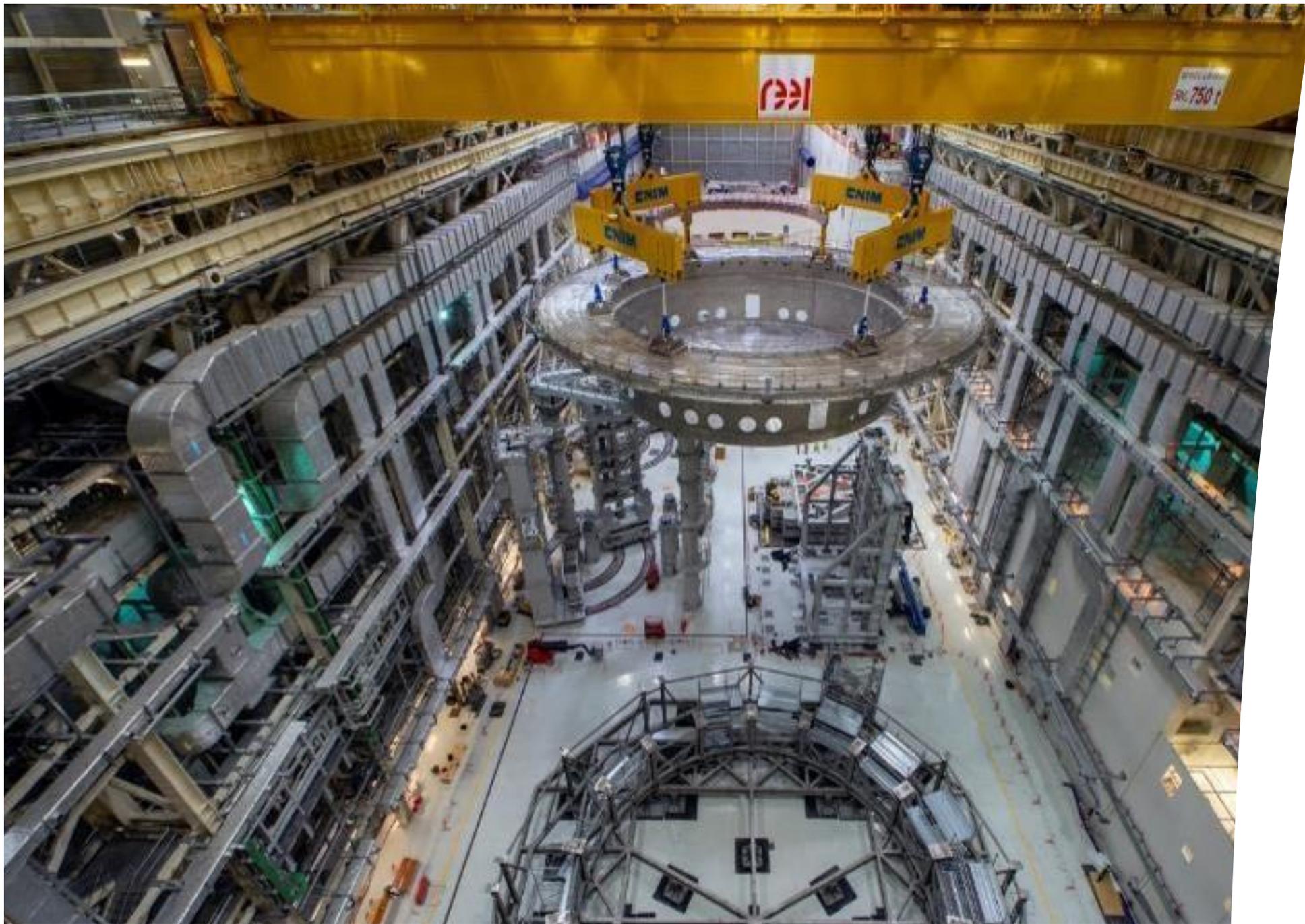
2023





WORKSITE CONSTRUCTION

Aerial perspective, March 2023



L'ASSEMBLAGE PROGRESSE

Installation de la base du
Cryostat (1350 tonnes).

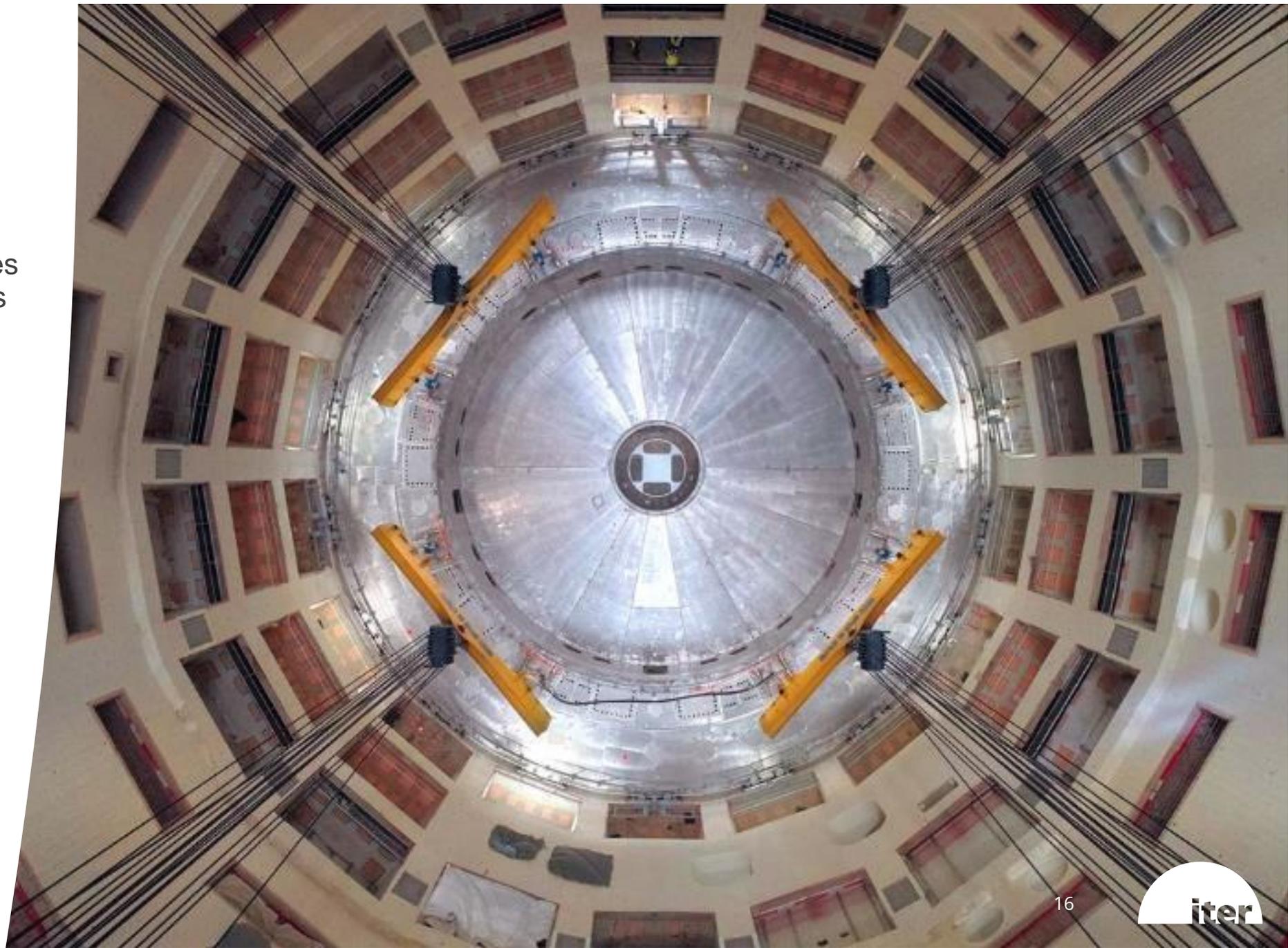
Mai 2020

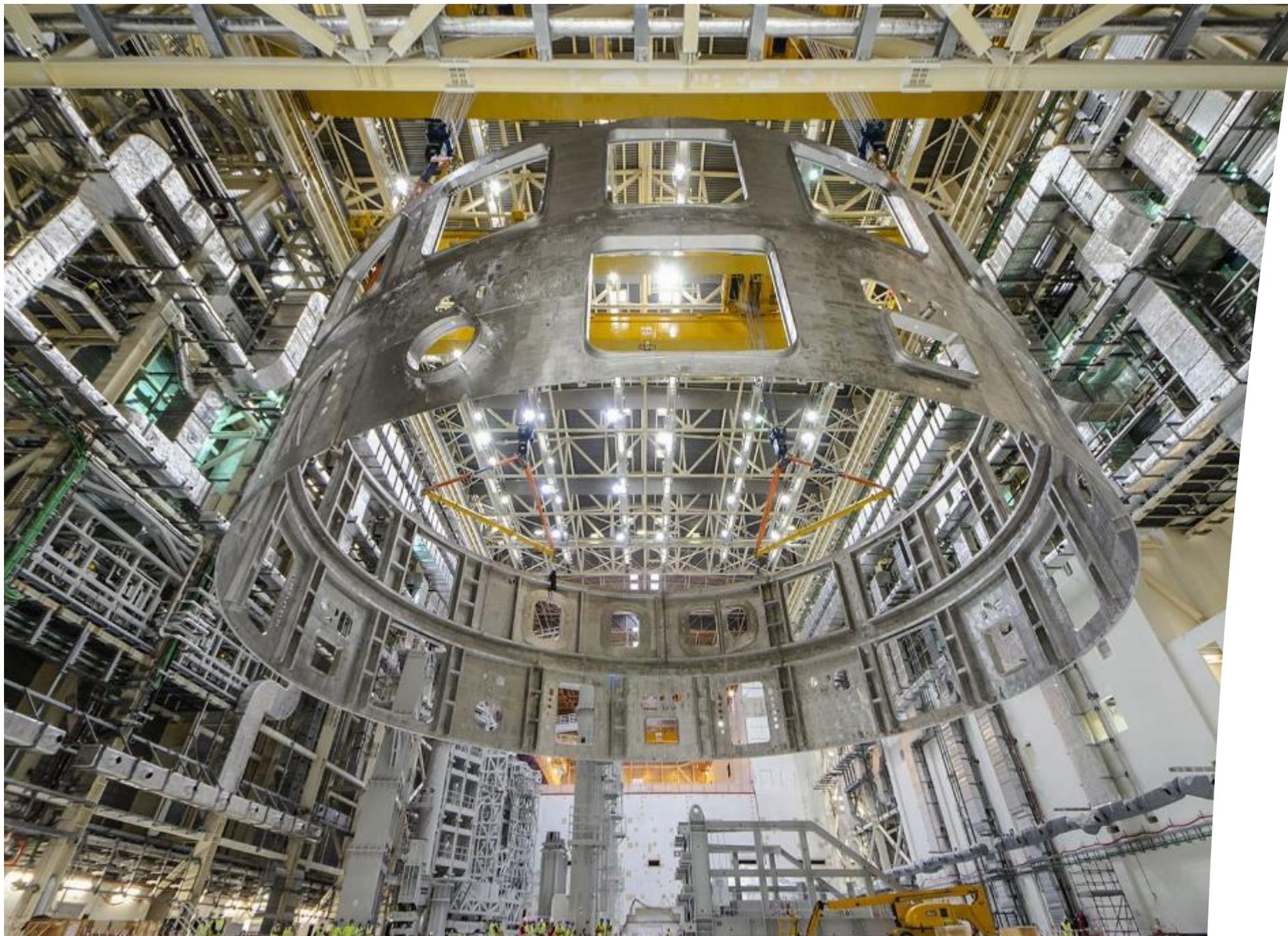
L'ASSEMBLAGE PROGRESSE

[Tokamak Pit, vue de haut]

La base du Cryostat, 30 metres de large, positionnée avec des tolerances de moins de 3mm.

Mai 2020





L'ASSEMBLAGE PROGRESSE

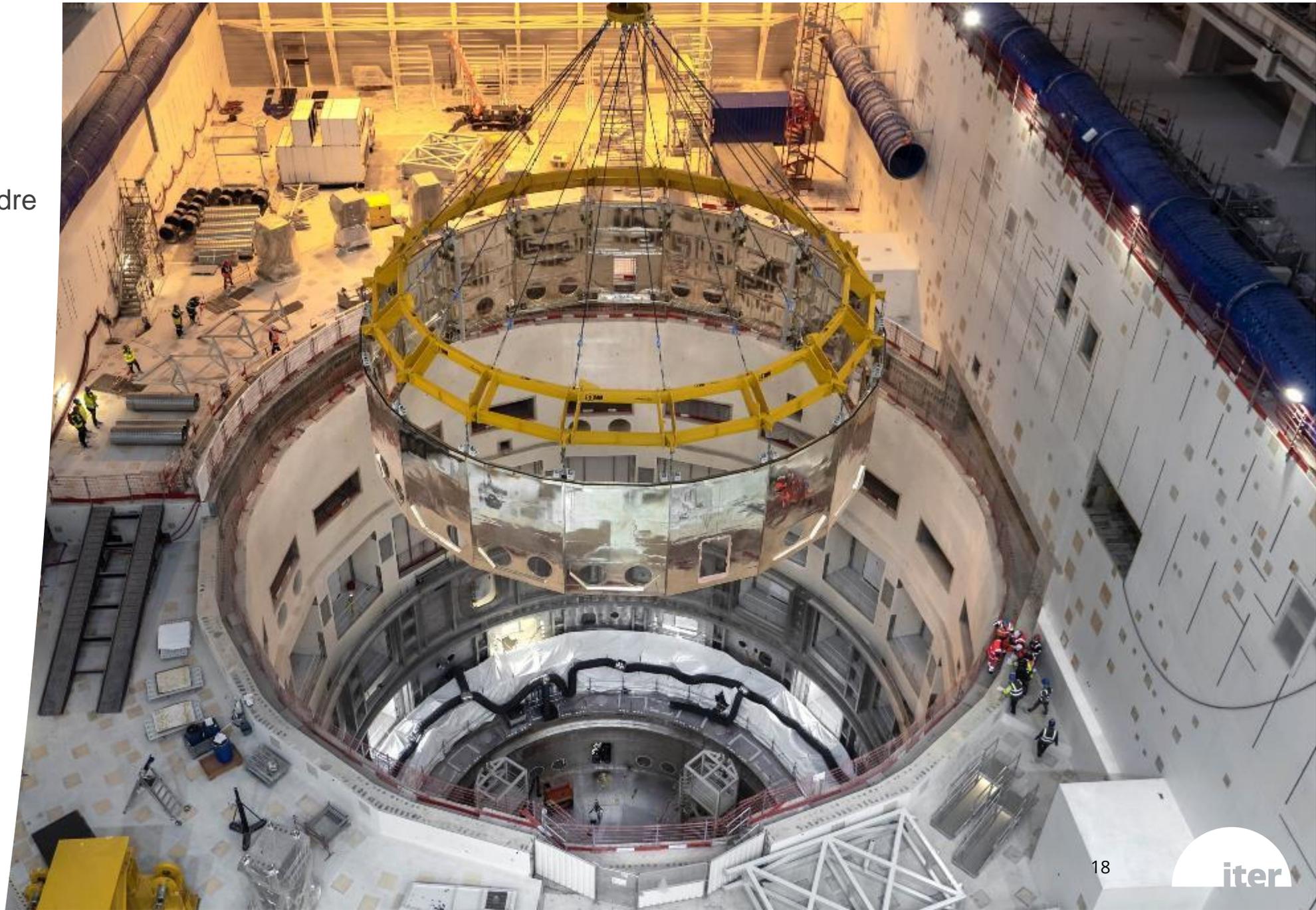
Cylindre inférieur du
Cryostat

Août 2020

L'ASSEMBLAGE PROGRESSE

Ecran thermique du cylindre
inférieur du Cryostat

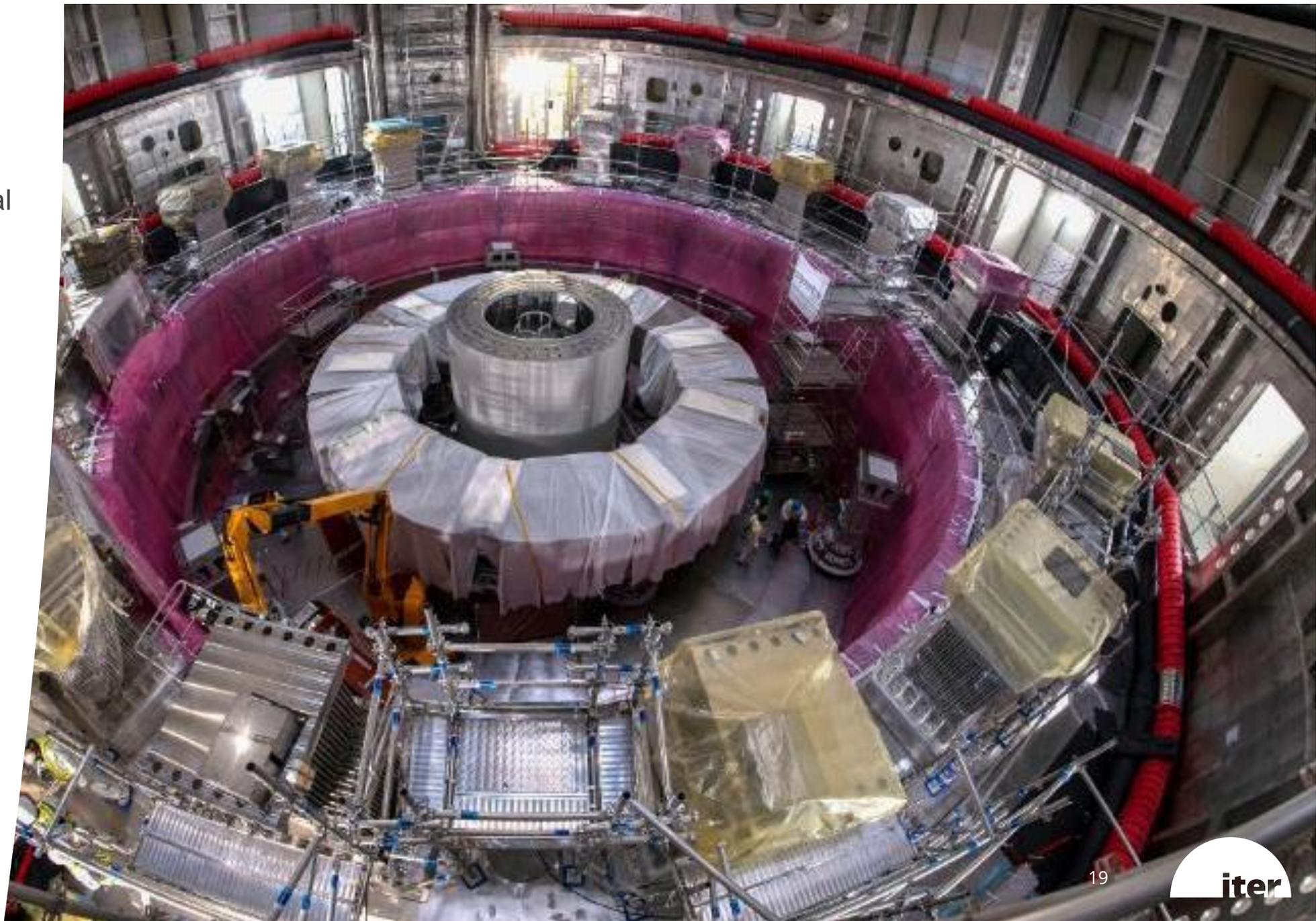
Janvier 2021



L'ASSEMBLAGE PROGRESSE

Bobine de champ poloidal
PF#6

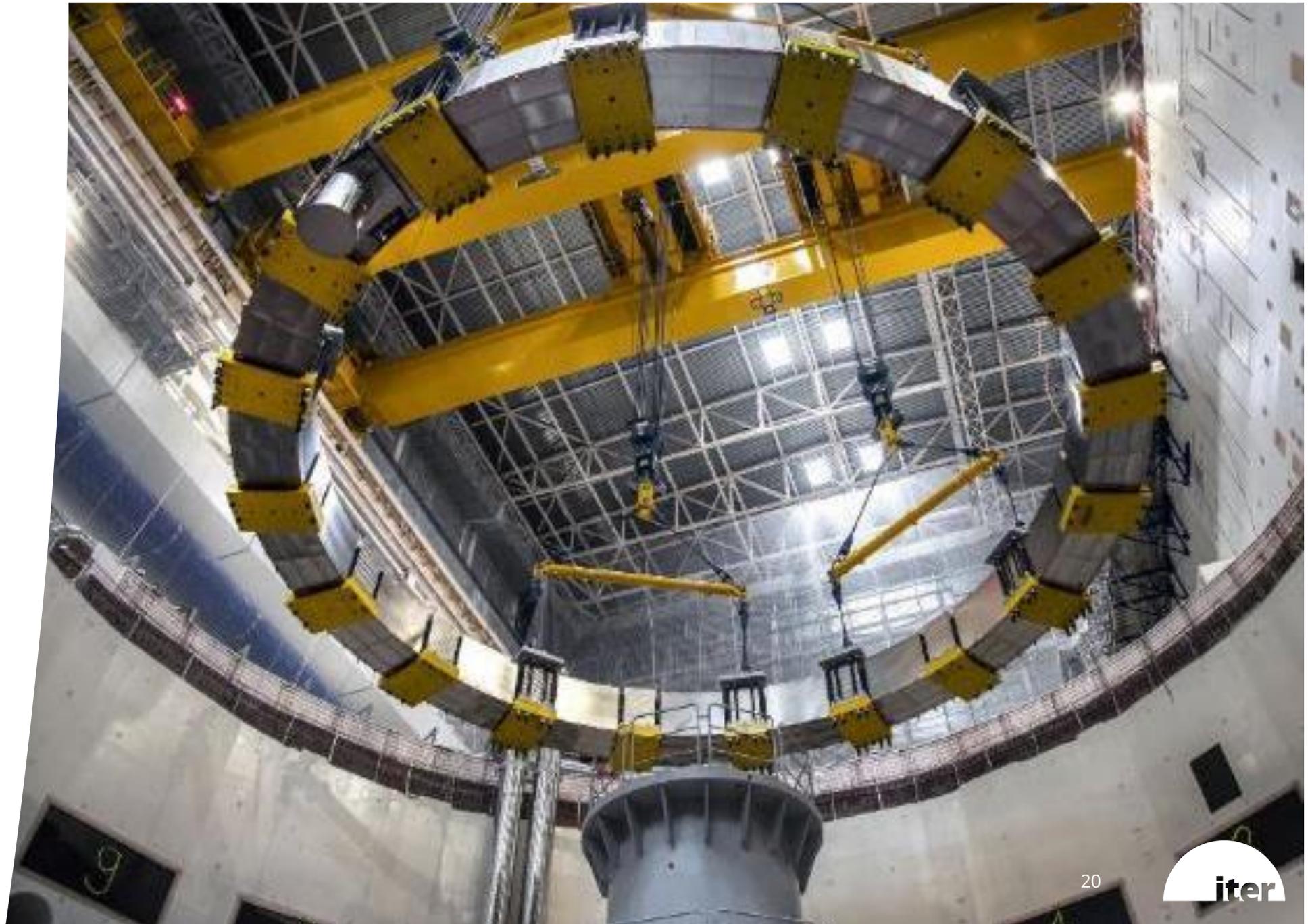
Avril 2021

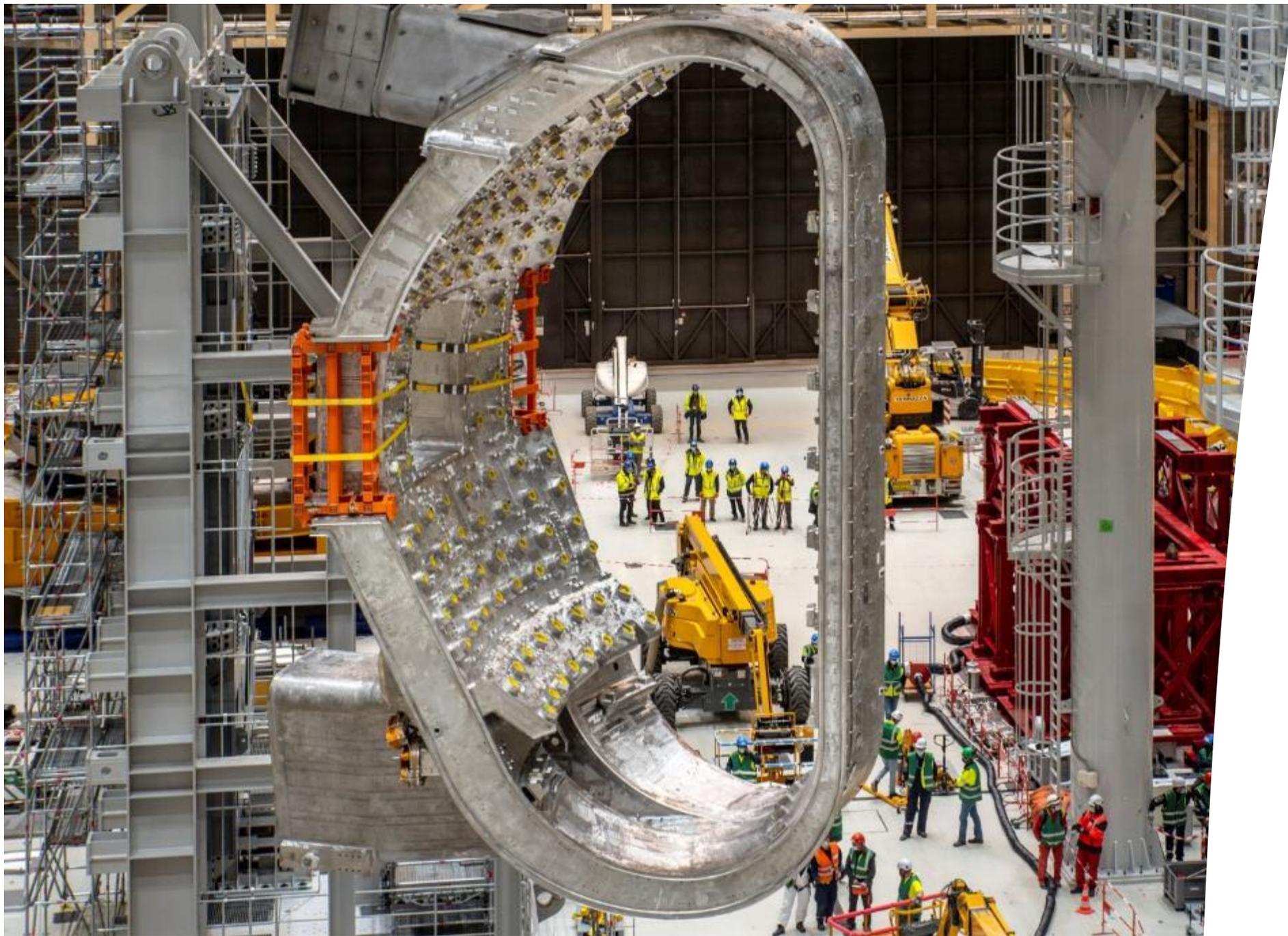


L'ASSEMBLAGE PROGRESSE

Bobine de champ poloidal
PF #5

Septembre 2021

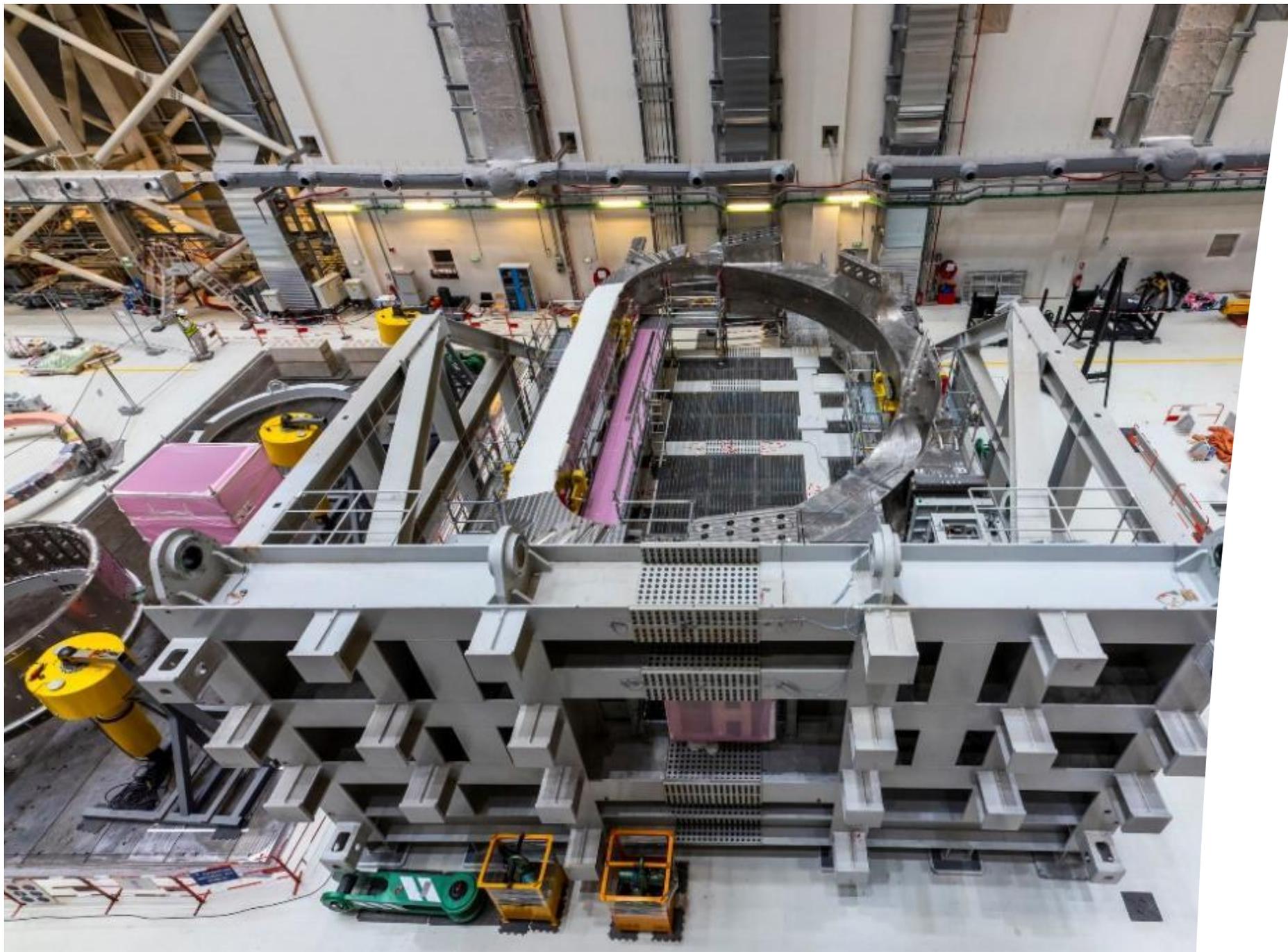




SOUS ASSEMBLAGE DU PREMIER "MODULE"

Secteur 6 Chambre à vide
place sur le SSAT
(portique de sous
assemblage)

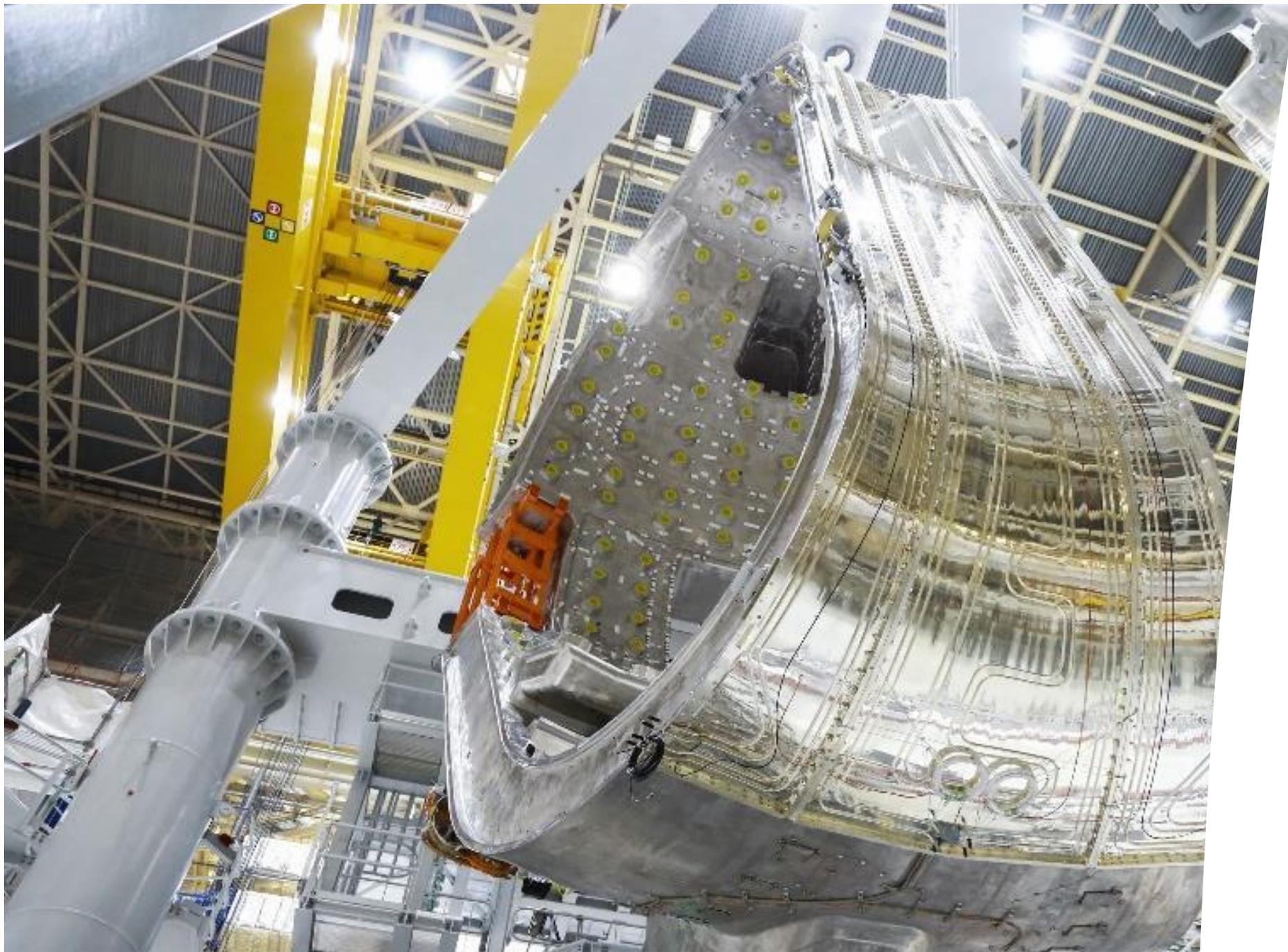
Mai-Juin 2021



SOUS ASSEMBLAGE DU PREMIER “MODULE”

Bobine TF #12 placée sur
l'outil de basculement.

Mai-Juin 2021



SOUS ASSEMBLAGE DU PREMIER “MODULE”

Écran thermique ajouté sur
le secteur de chambre à
vide

Mai-Juin 2021

PREMIER MODULE EM PLACE

Un « module », ou sous-
assemblage, est constitué
d'un secteur de chambre à
vide de 40° (VVS), deux
bobines de champ toroïdal
(TF) et une section de
bouclier thermique (VVTS).

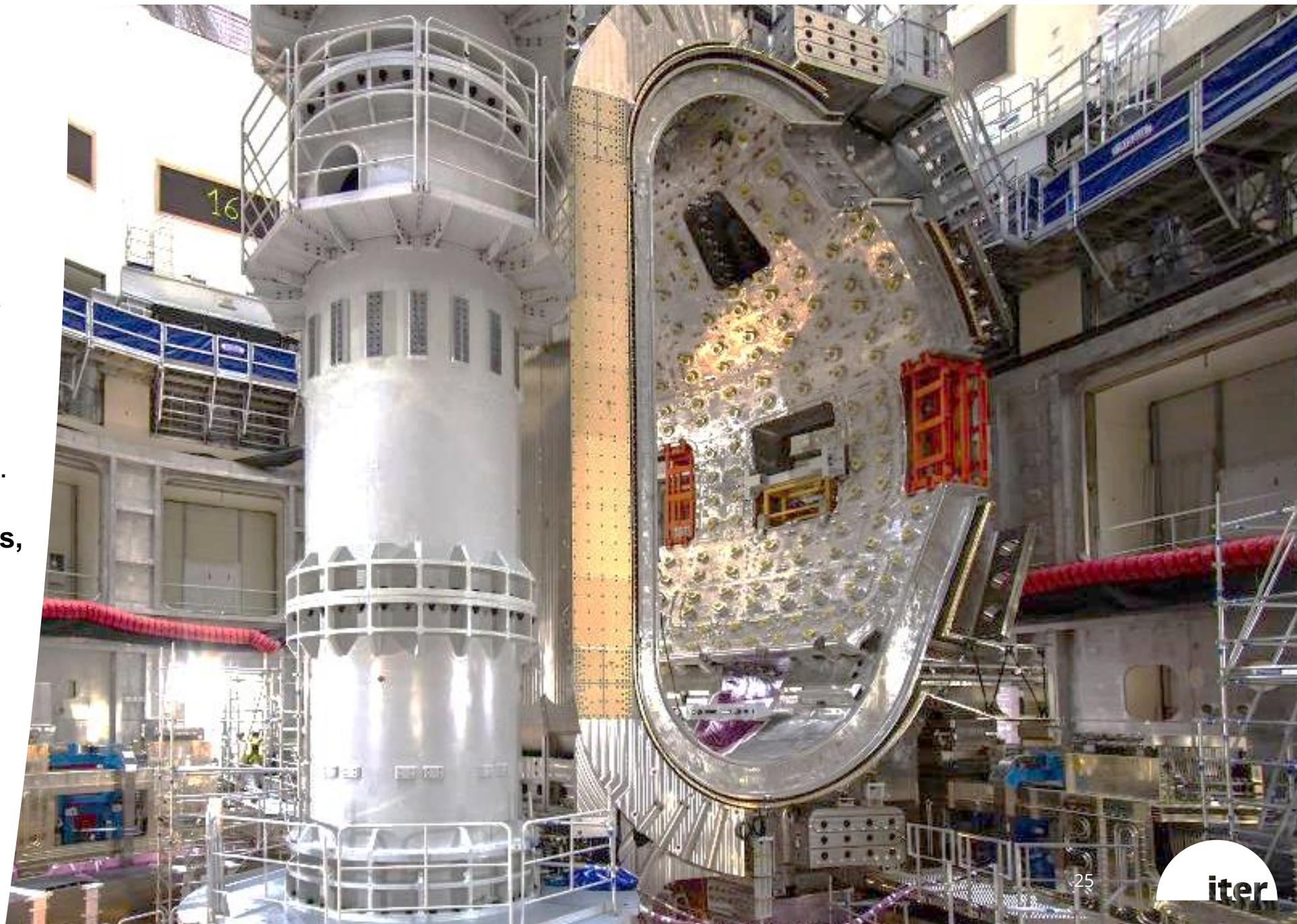
Poids total ~ 1 350 tonnes,
l'équivalent de **quatre**
Boeing 747 à pleine
charge.

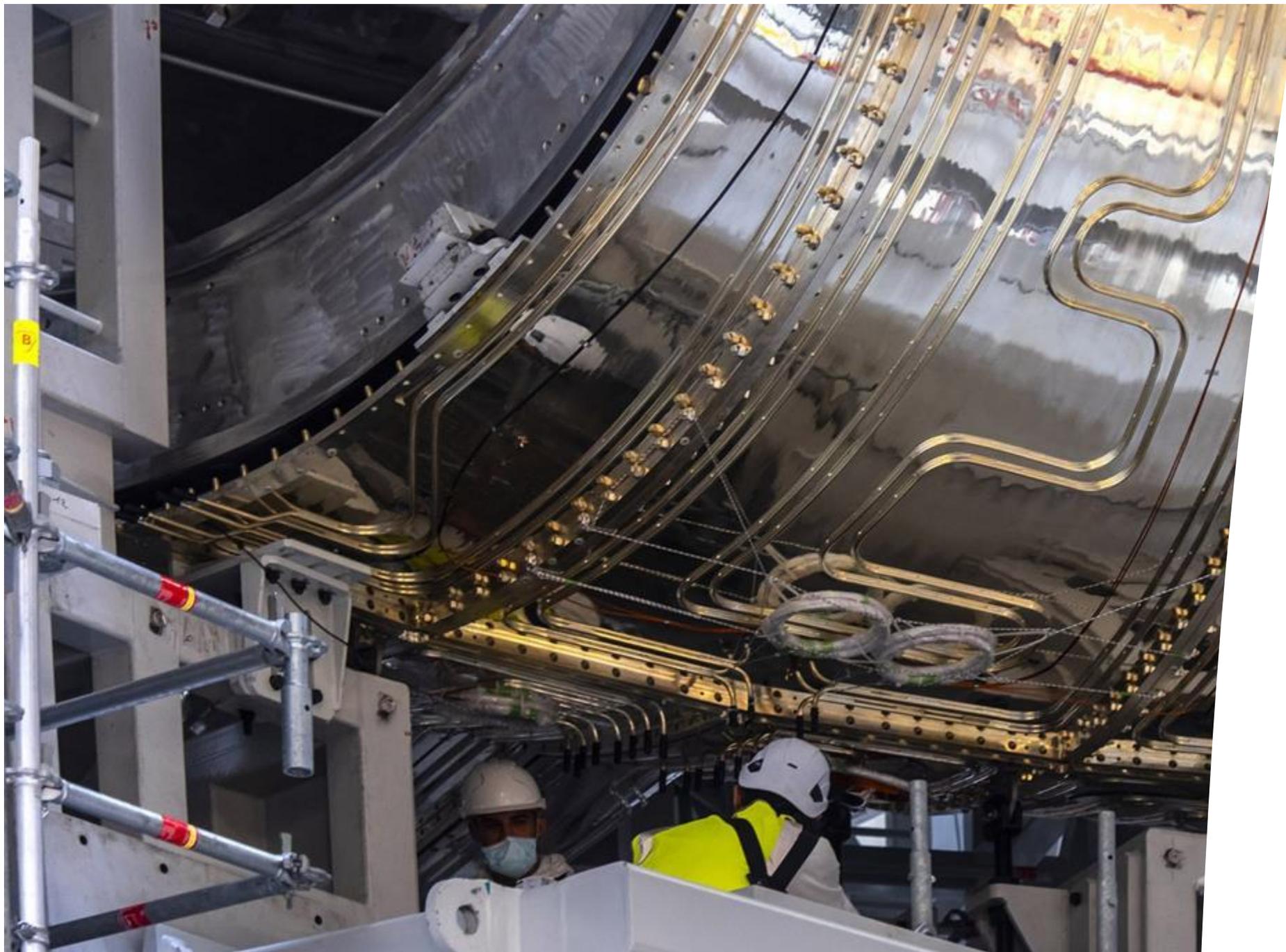


PREMIER MODULE EM PLACE

Un « module », ou sous-
assemblage, est constitué
d'un secteur de chambre à
vide de 40° (VVS), deux
bobines de champ toroïdal
(TF) et une section de
bouclier thermique (VVTS).

Poids total ~ 1 350 tonnes,
l'équivalent de **quatre**
Boeing 747 à pleine
charge.





DES PROBLÈMES ONT ÉTÉ IDENTIFIÉS

Corrosion dans le circuit
de refroidissement de
l'écran thermique.

Non-conformités
dimensionnelles des
interfaces des secteurs de
chambre à vide.

DES PROBLÈMES ONT ÉTÉ IDENTIFIÉS

Corrosion dans le circuit
de refroidissement de
l'écran thermique.

Non-conformités
dimensionnelles des
interfaces des secteurs de
chambre à vide.





INSTALLATION DES SYSTEMES ANNEXES

Evacuation de la chaleur (1 200 MW).



INSTALLATION DES SYSTEMES ANNEXES

L'usine de cryogénie.

Installation des équipement parachevée.

Actuellement en phase de qualification.

5,5 km de lignes cryogéniques

INSTALLATION DES SYSTEMES ANNEXES

Bâtiment de conversion de puissance.

Equipements installés à 100% dans le B33 et en voie de finalisation dans le B32.





INSTALLATION DES SYSTEMES ANNEXES

Bâtiment de chauffage par radiofréquence

INSTALLATION DES SYSTEMES ANNEXES

Alimentation électrique,
chauffage par injection de
neutres

Decembre 2022



INSTALLATION DES SYSTEMES ANNEXES

Bâtiment et salle de contrôle, 3 niveaux, 3,500 m²

December 2022

FABRICATIONS EN VOIE DE FINALISATION OU FINALISEES



Secteur de Chambre à vide



Couvercle du Cryostat



Bobines de champ poloidal en test



Modules du Solénoïde Central



MANUFACTURING PROGRESS



Bobine de champ toroidal



Secteur de chambre à vide



Bobine de correction



Bobine de champ poloidal





LES LIVRAISONS S'ENCHAINENT

Principaux composants livrés depuis 2020

- 17 bobines TF (sur 18+1 extra)
- 2 bobines PF
- 3 secteurs de chambre à vide (sur 9)
- 2 modules du solénoïde central (sur 6+1 extra)



LES LIVRAISONS S'ENCHAINENT

Déchargés au port de Fos-sur-Mer, les composants traversent l'Étang de Berre sur une barge spéciale et empruntent "l'itinéraire ITER", long de 104 km. Le trajet jusqu'au site d'ITER dure de trois à quatre nuits. L'itinéraire ITER a été aménagé par la France (Etat et CG13). 110 M€ de travaux réalisés en 2009-2012.



L'Europe importe ~ 58% de son énergie (charbon, pétrole, gaz)
pour un total de 350 milliards € annuellement

Quel coût?

Phase de construction (ITER Organization)

Fournitures en nature par les Membres

Phase d'exploitation

Phase de mise à l'arrêt:

Phase de démantèlement

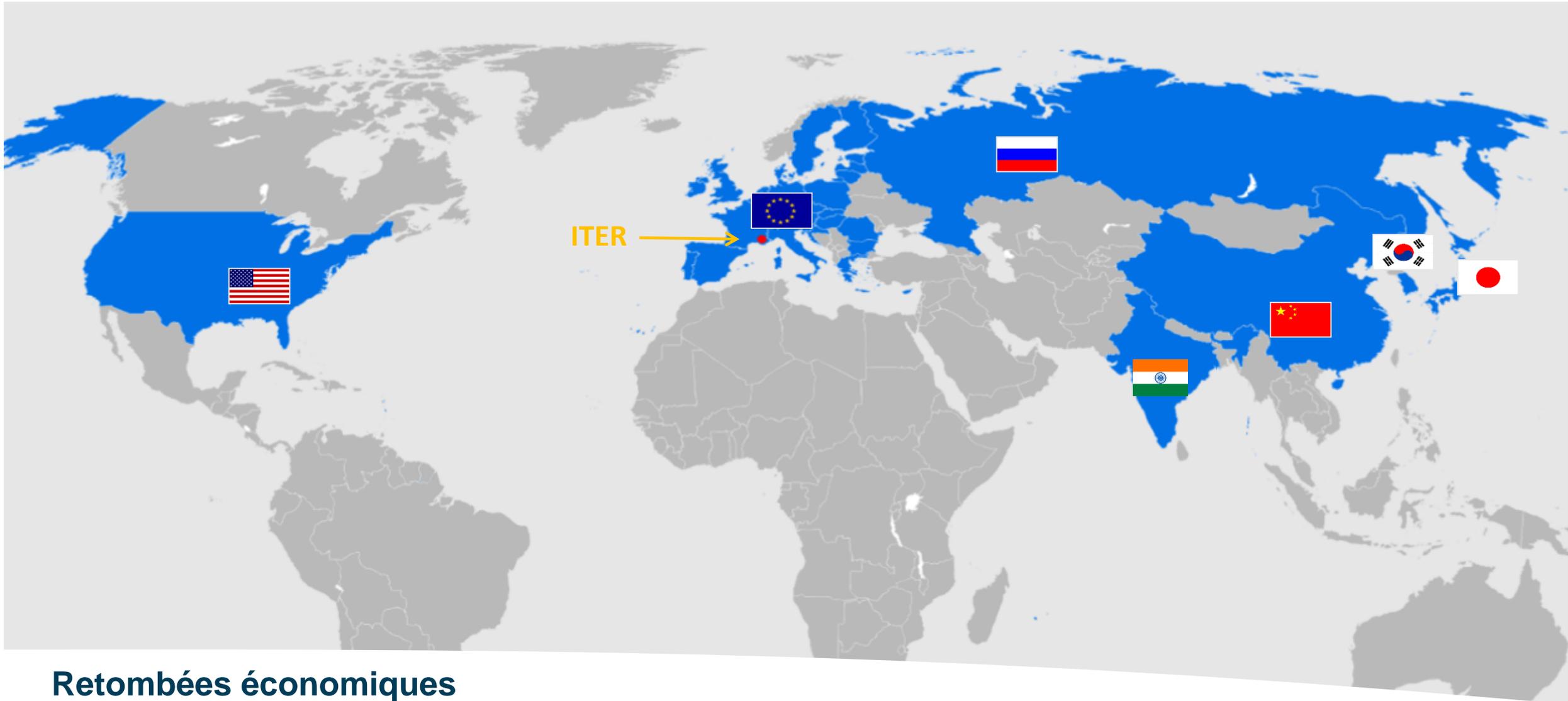
8,2 milliards €

12,5 milliards €

300 millions € /an

281 millions €

530 millions €



Retombées économiques

Plus de 15 milliards € de contrats (construction et fabrication)



Retombées économiques construction (Europe)

Total des contrats passés depuis 2007

Part des entreprises françaises

8,2 milliards €

~ 5,2 milliards €

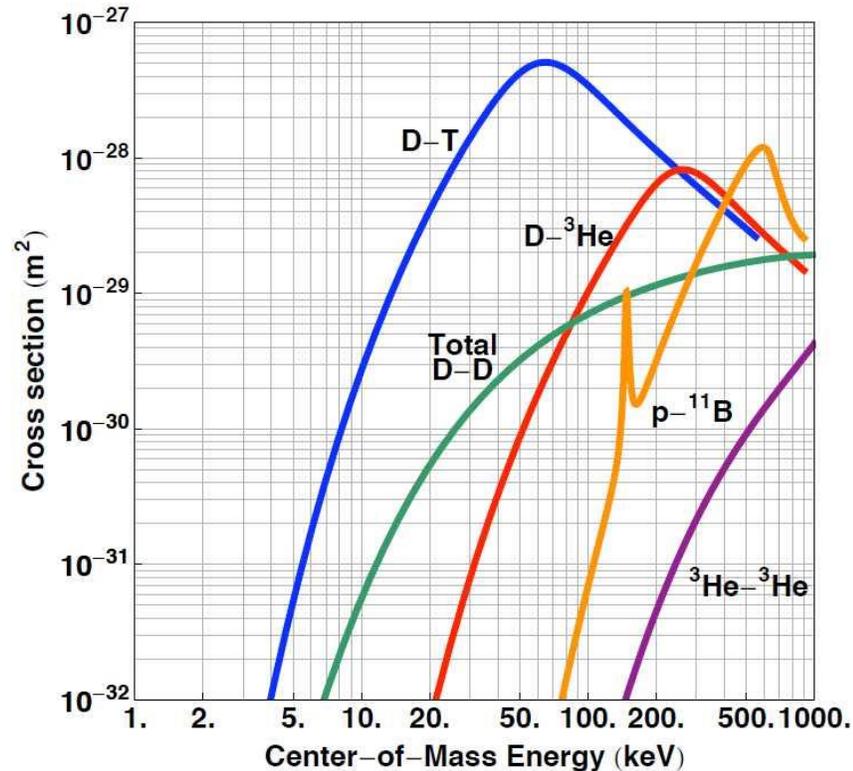


Merci!



Why using D-T reaction?

D-T reaction is the reaction with the highest cross-section (probability of occurrence) at the lowest temperature (Energy)



(Temperature – 1 keV ~ 11.6x10⁶ K)

What about the sun?

It uses the p-p branch

