



ITER ORGANIZATION
L'ANNÉE 2018 EN IMAGES





2018

ITER ORGANIZATION
L'ANNÉE 2018 EN IMAGES



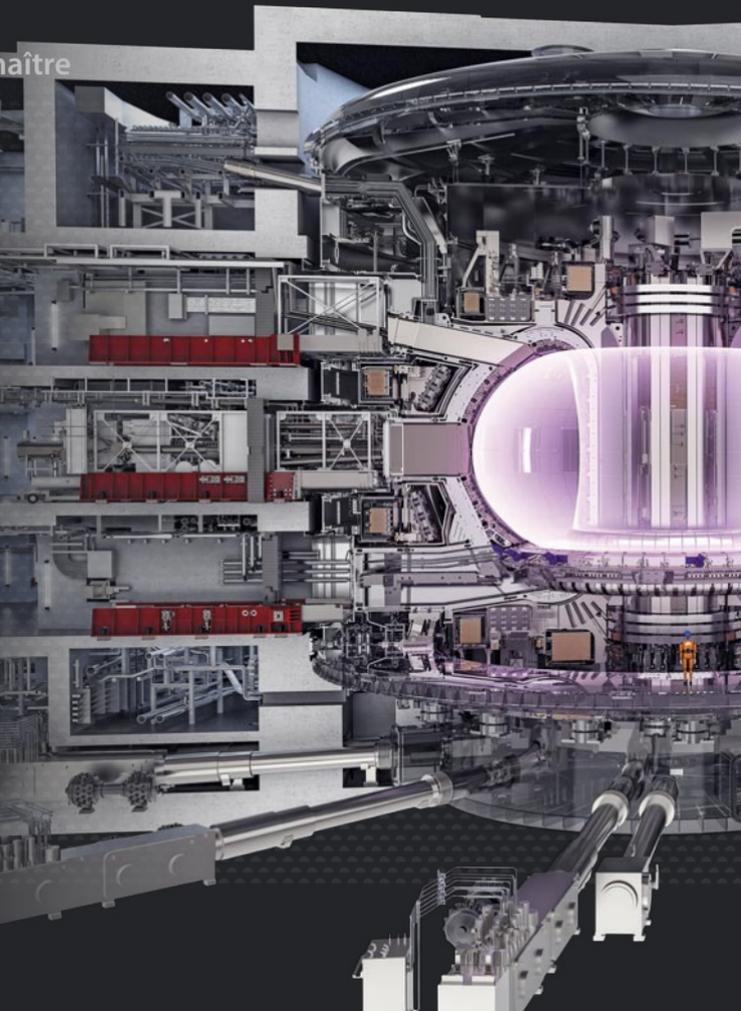
Une étoile va naître

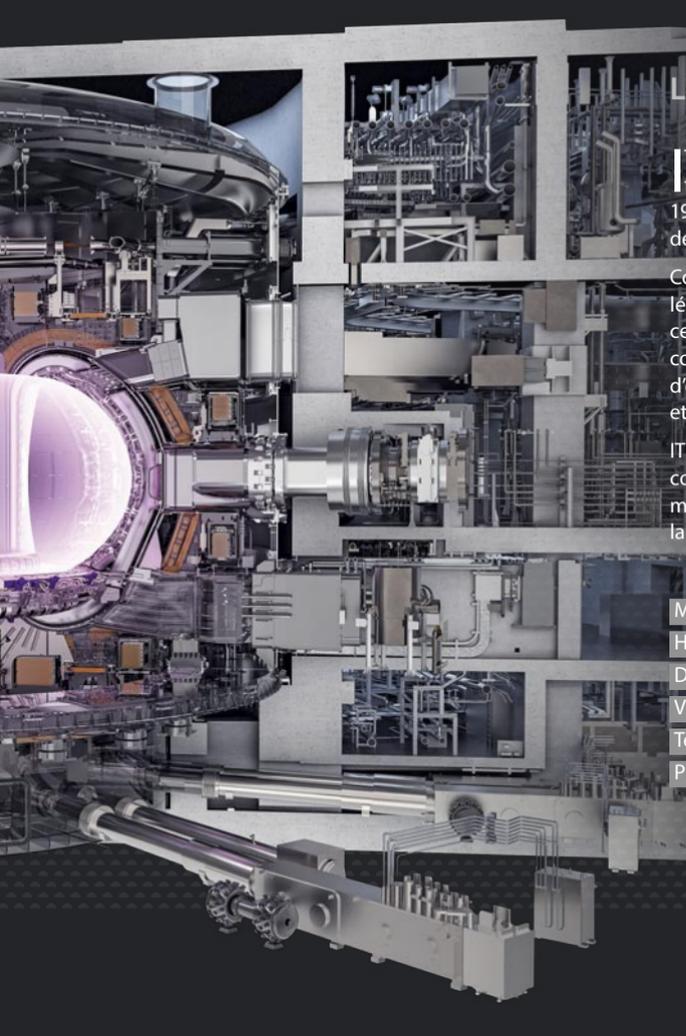
Une étoile va naître, conçue et créée par l'intelligence, la technologie et la persévérance des hommes.

Quand ITER – le mot latin pour « le chemin » – commencera à briller au milieu de la prochaine décennie, l'humanité entrera dans une ère nouvelle. Un premier pas, décisif et indispensable, aura été accompli vers la maîtrise d'une source d'énergie virtuellement inépuisable, sûre et respectueuse de l'environnement.

Pour créer cette étoile artificielle et en exploiter l'énergie, la Chine, l'Union européenne (Euratom), l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis ont mis en commun leurs ressources humaines, financières et industrielles. Ensemble, les membres d'ITER représentent plus de la moitié de la population de la planète et 85% de la production de richesses mondiale.

Ce petit livret vous invite à découvrir, en images, l'état d'avancement du chantier de construction, à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), ainsi que les progrès des fabrications dans les usines et les laboratoires où, sur trois continents, les hommes et les femmes de 35 nations œuvrent à s'approprier le feu des étoiles.





Le tokamak ITER

ITER est un tokamak, un acronyme russe qui signifie « chambre toroïdale, bobines magnétiques ». Développés au cours des années 1960 en Union soviétique, les tokamaks sont aujourd'hui les machines de fusion les plus abouties et les plus performantes.

Comme une étoile, un tokamak est conçu pour fusionner les noyaux légers (hydrogène) en noyaux plus lourds (hélium). Au cours de ce processus, une infime perte de masse se produit, laquelle, conformément à l'équation $E=mc^2$, génère une formidable quantité d'énergie – un gramme d'hydrogène, ou de ses isotopes deutérium et tritium, peut libérer autant d'énergie que 8 tonnes de pétrole.

ITER sera, de loin, le tokamak le plus grand et le plus puissant jamais construit. Fruit de l'expérience accumulée par des centaines de machines au cours des six décennies écoulées, ITER doit démontrer la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion.

Masse du Tokamak	23 000 tonnes
Hauteur	~ 30 mètres
Diamètre	~ 30 mètres
Volume de plasma	840 m³
Température au cœur du plasma	150 000 000 °C
Puissance générée	500 MW



Deux fois par an, les hauts représentants des gouvernements chinois, européen, indien, japonais, coréen, russe et américain se réunissent au siège d'ITER Organization à Saint-Paul-lez-Durance (13). *Jun 2018*



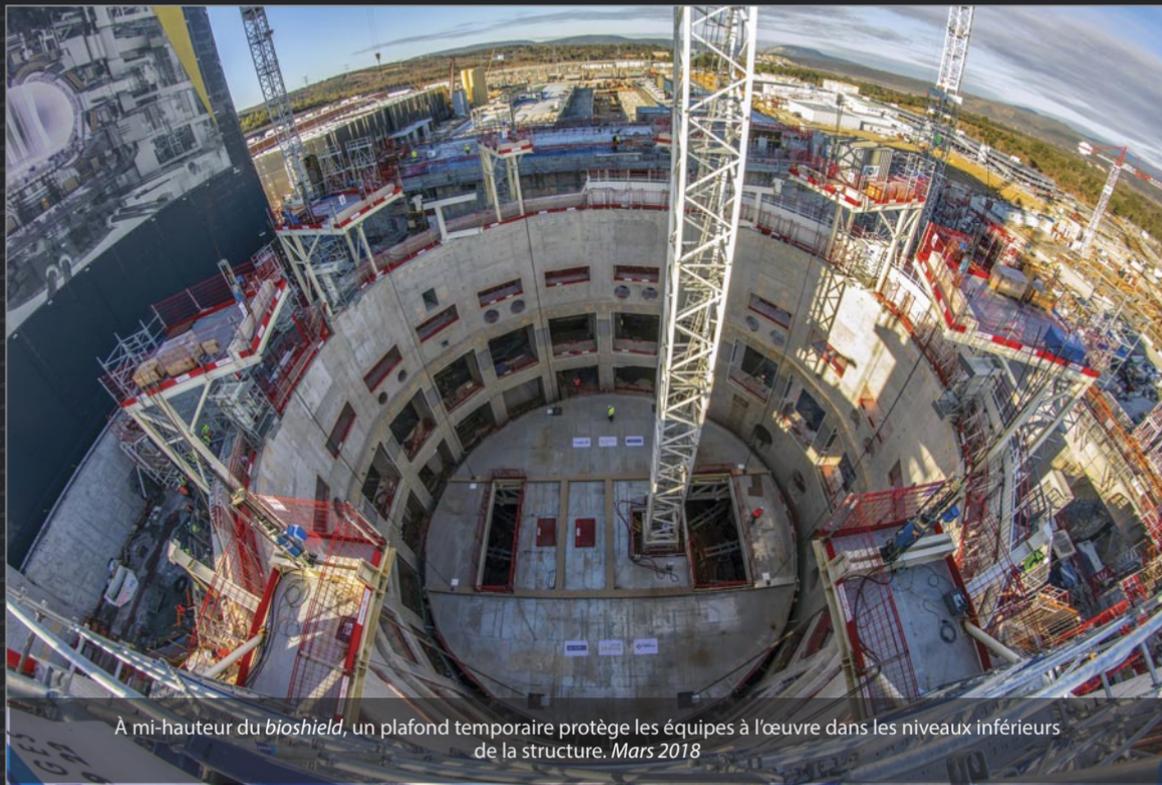
Le site d'ITER occupe une superficie de 180 hectares concédés par la France à l'organisation internationale ITER. Les travaux de construction ont été lancés au mois d'août 2010. *Juillet 2018*



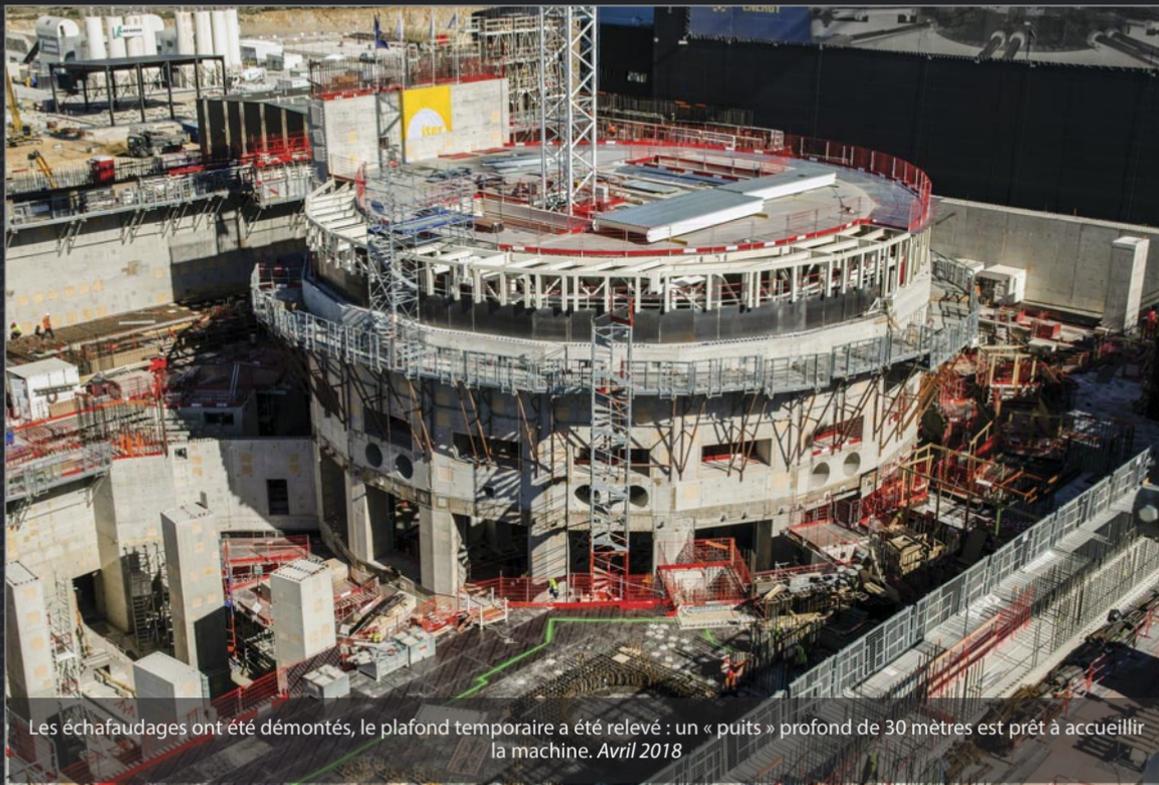
Le Complexe tokamak forme le cœur de l'installation ITER. Une fois terminé, ce bâtiment s'élèvera à plus de 60 mètres de hauteur. *Juillet 2018*



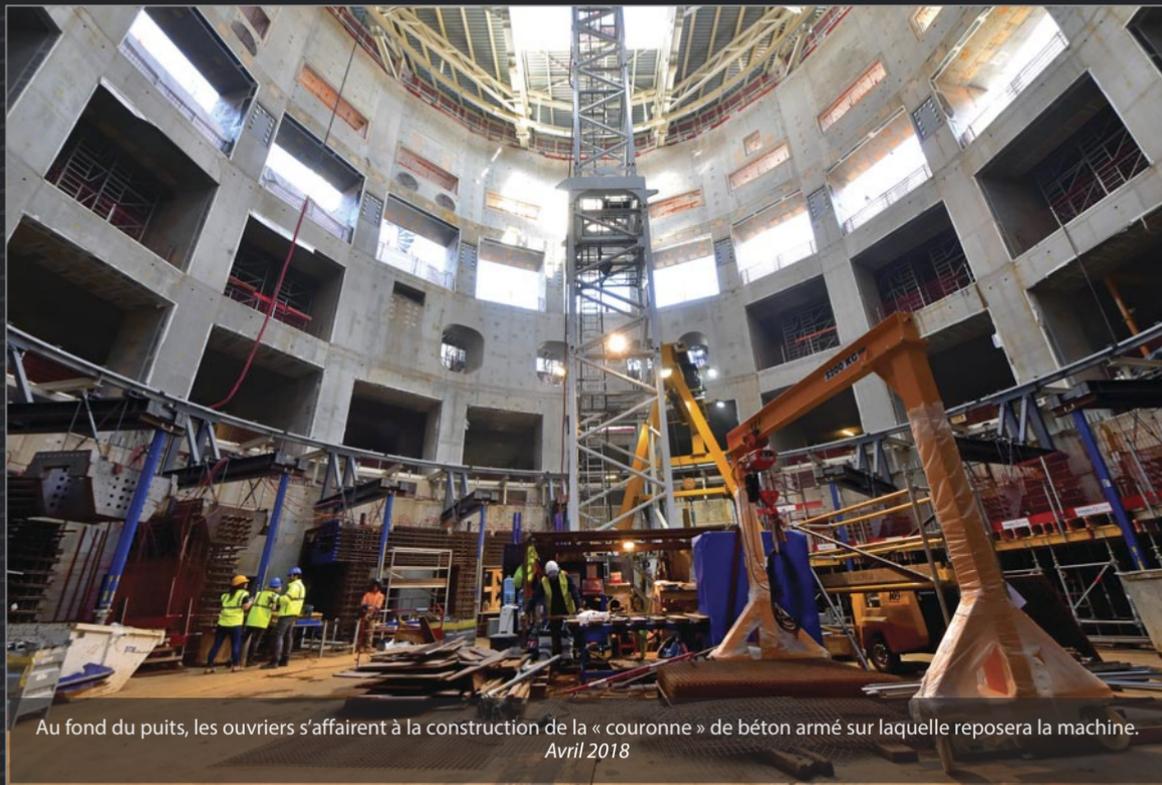
Un écrin de béton et d'acier, le *bioshield* (30 m de haut, 30 m de diamètre), enveloppe le tokamak et l'isole de son environnement. *Février 2018*



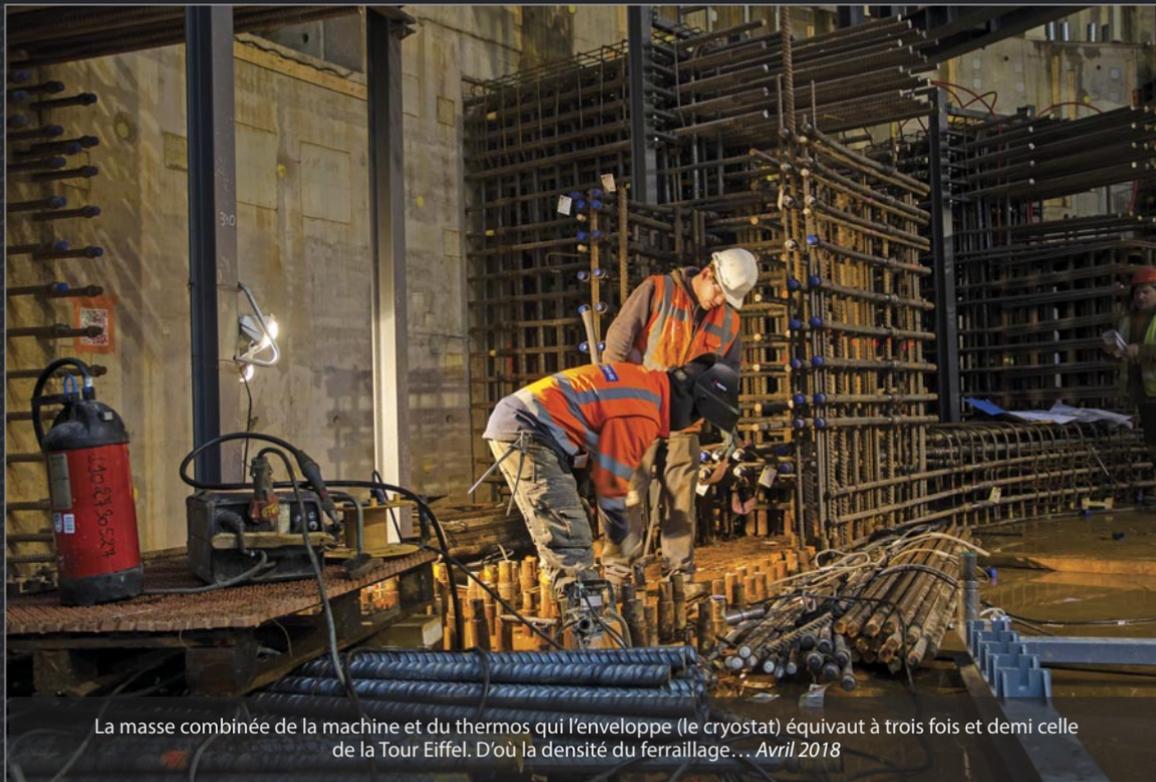
À mi-hauteur du bioshield, un plafond temporaire protège les équipes à l'œuvre dans les niveaux inférieurs de la structure. Mars 2018



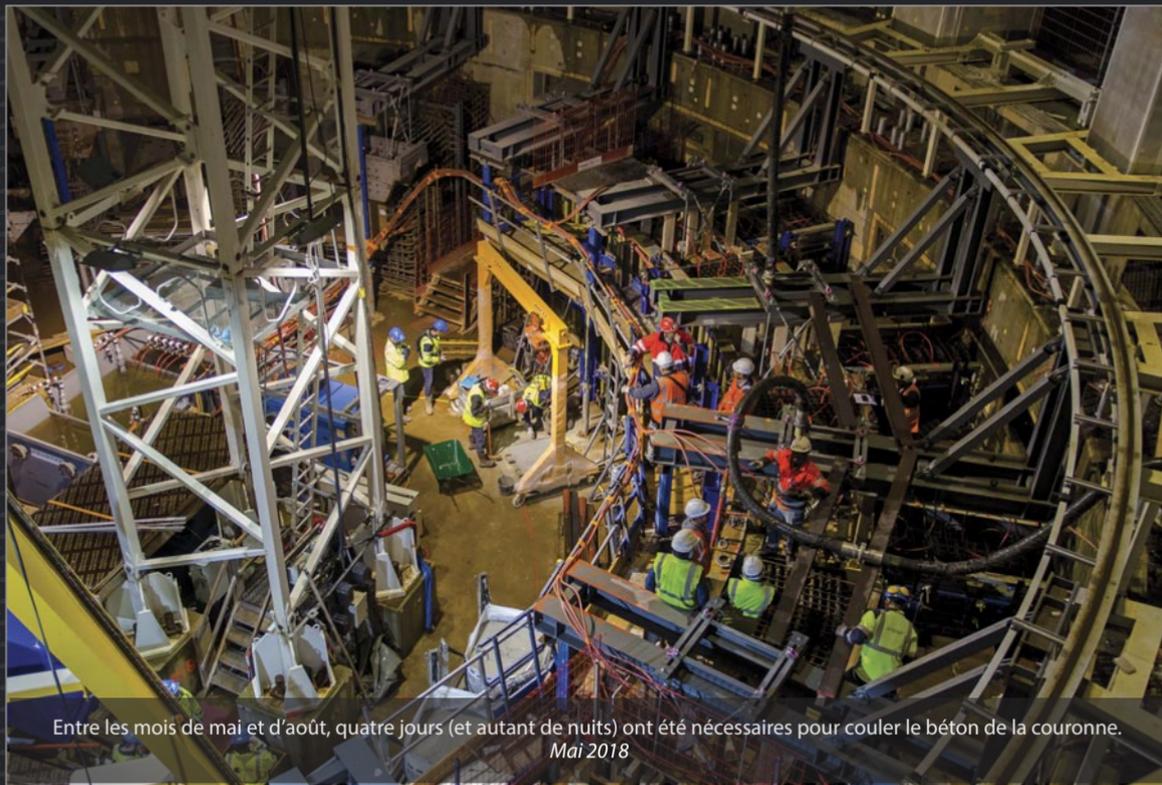
Les échafaudages ont été démontés, le plafond temporaire a été relevé : un « puits » profond de 30 mètres est prêt à accueillir la machine. *Avril 2018*



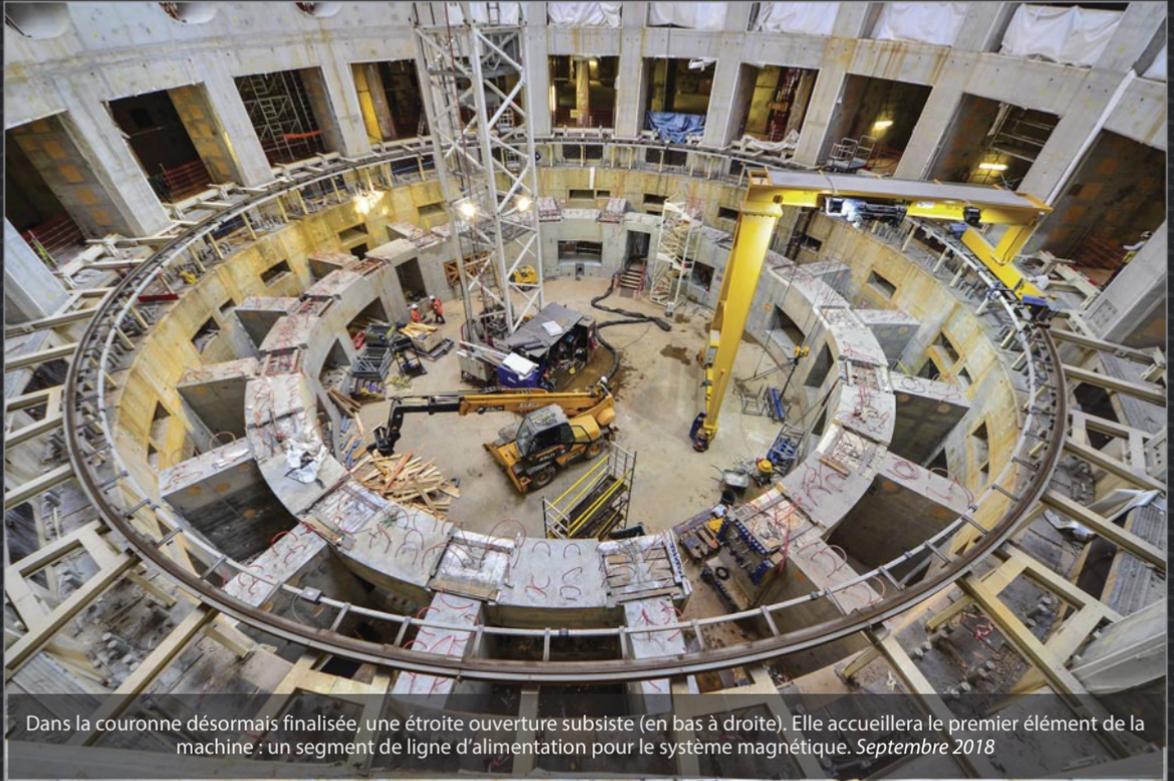
Au fond du puits, les ouvriers s'affairent à la construction de la « couronne » de béton armé sur laquelle reposera la machine.
Avril 2018



La masse combinée de la machine et du thermos qui l'enveloppe (le cryostat) équivaut à trois fois et demi celle de la Tour Eiffel. D'où la densité du ferrillage... *Avril 2018*



Entre les mois de mai et d'août, quatre jours (et autant de nuits) ont été nécessaires pour couler le béton de la couronne.
Mai 2018

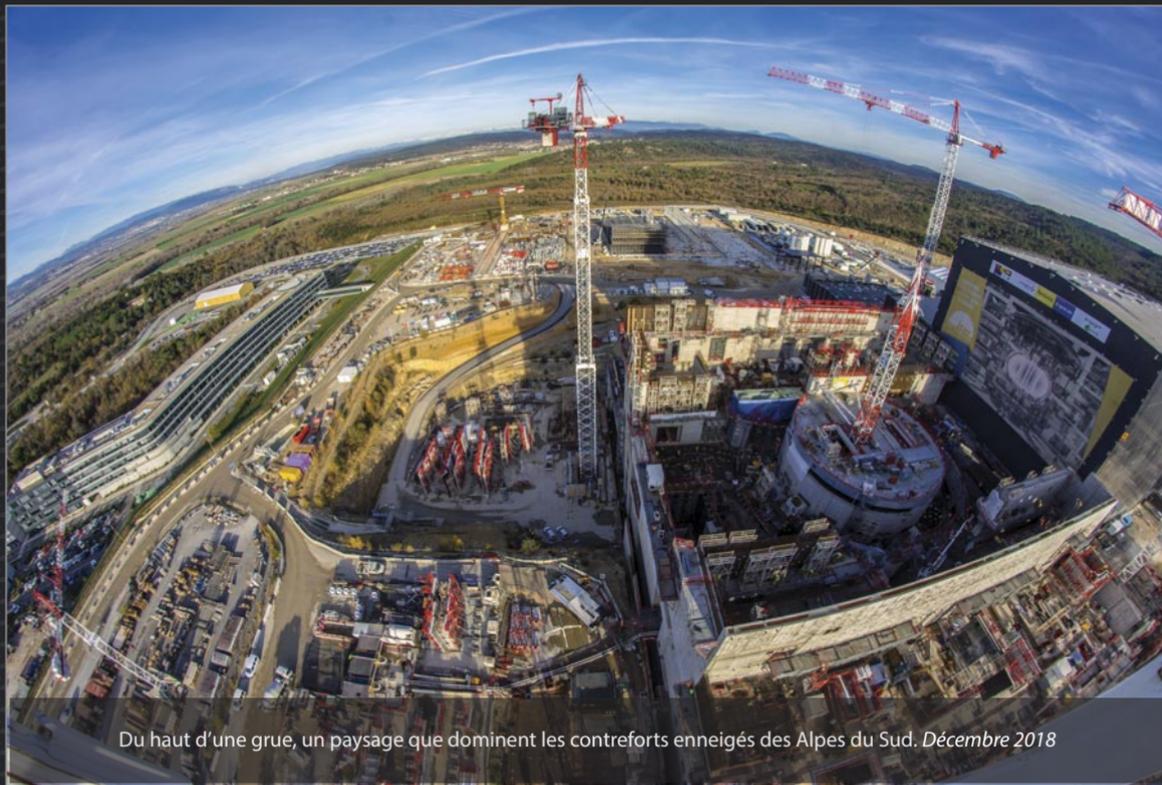


Dans la couronne désormais finalisée, une étroite ouverture subsiste (en bas à droite). Elle accueillera le premier élément de la machine : un segment de ligne d'alimentation pour le système magnétique. *Septembre 2018*

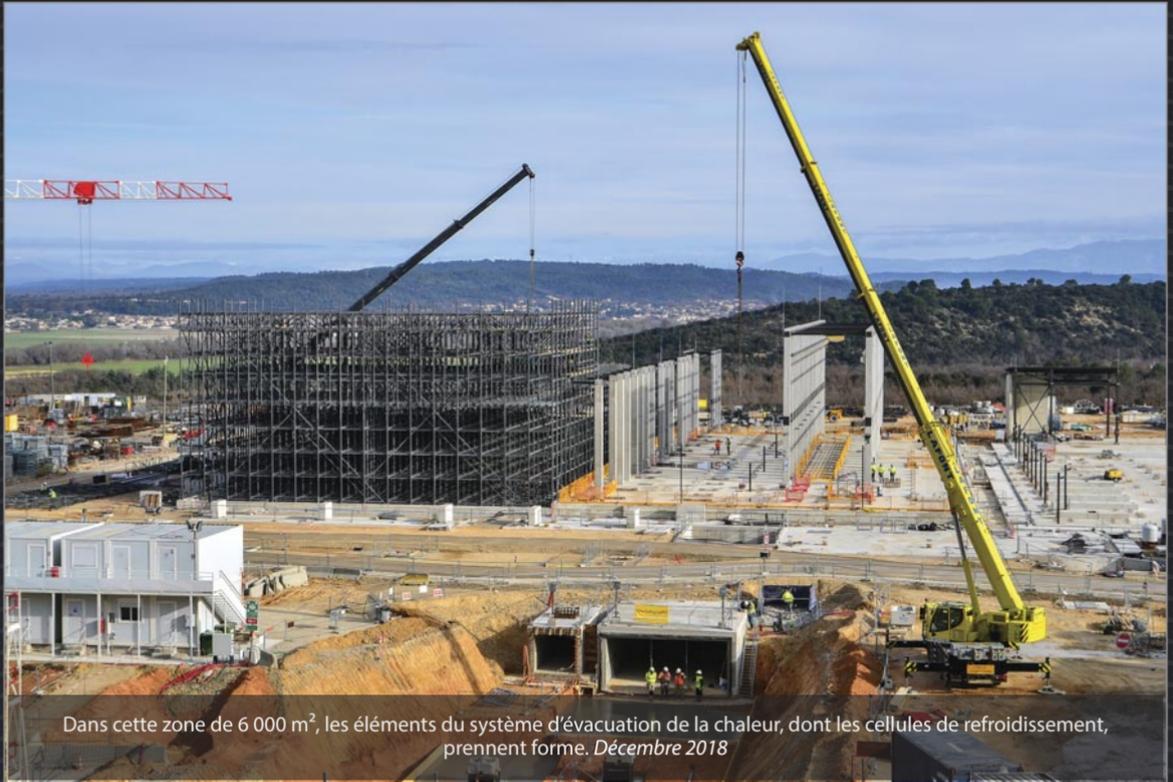




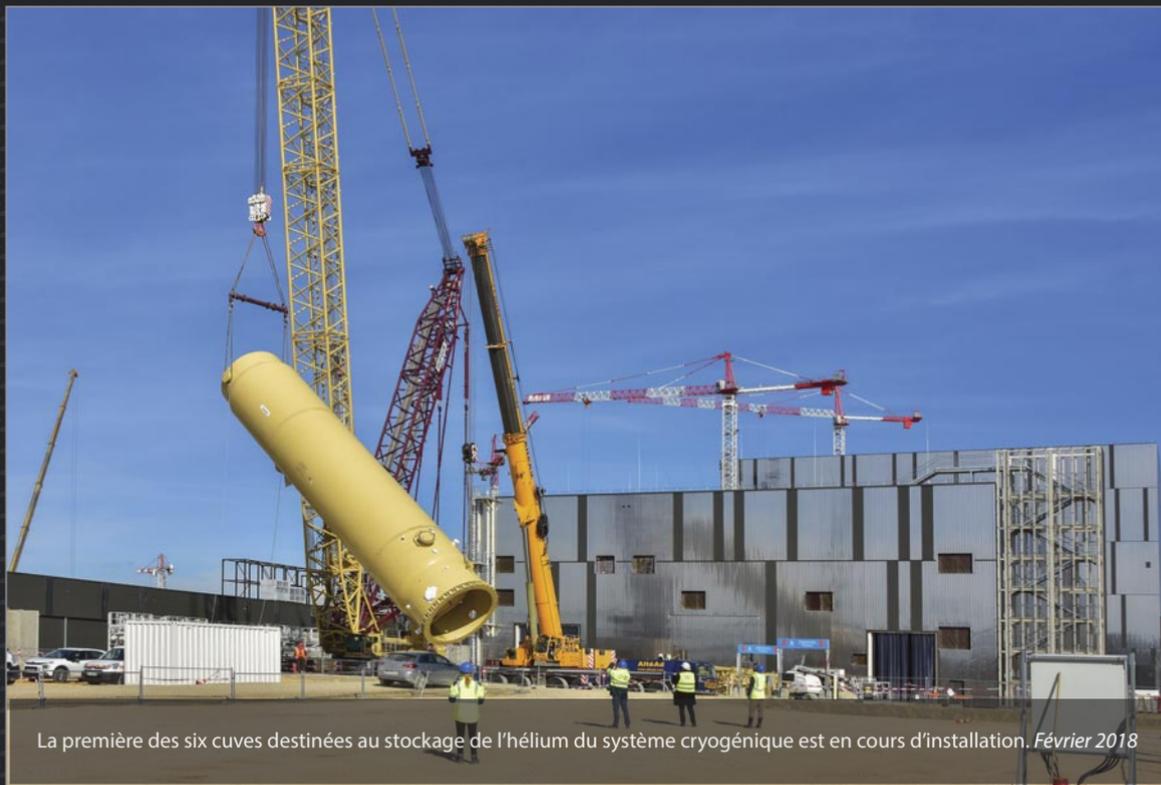
Les portes nucléaires sont en cours d'installation. D'une masse de 60 tonnes, elles s'interposent entre la machine et les vastes galeries qui l'entourent. *Octobre 2018*



Du haut d'une grue, un paysage que dominent les contreforts enneigés des Alpes du Sud. *Décembre 2018*



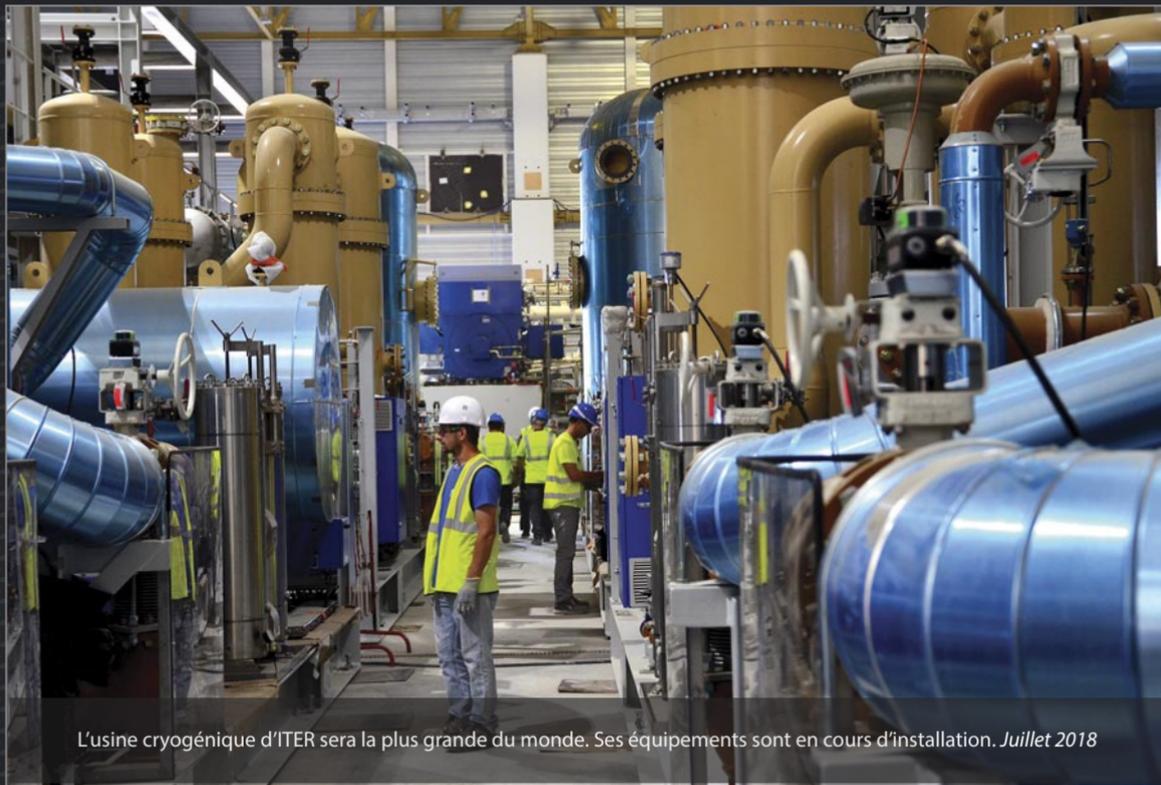
Dans cette zone de 6 000 m², les éléments du système d'évacuation de la chaleur, dont les cellules de refroidissement, prennent forme. *Décembre 2018*



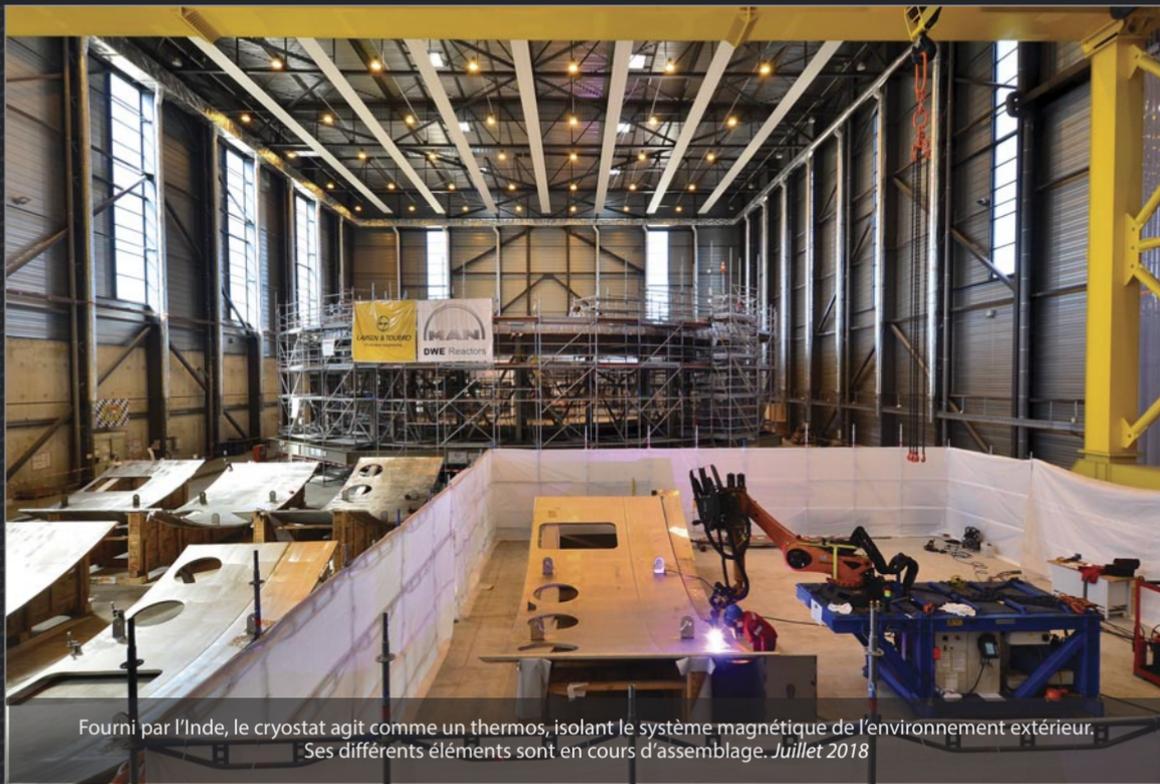
La première des six cuves destinées au stockage de l'hélium du système cryogénique est en cours d'installation. *Février 2018*



Quatre transformateurs fournis par les États-Unis sont désormais connectés au réseau. *Septembre 2018*



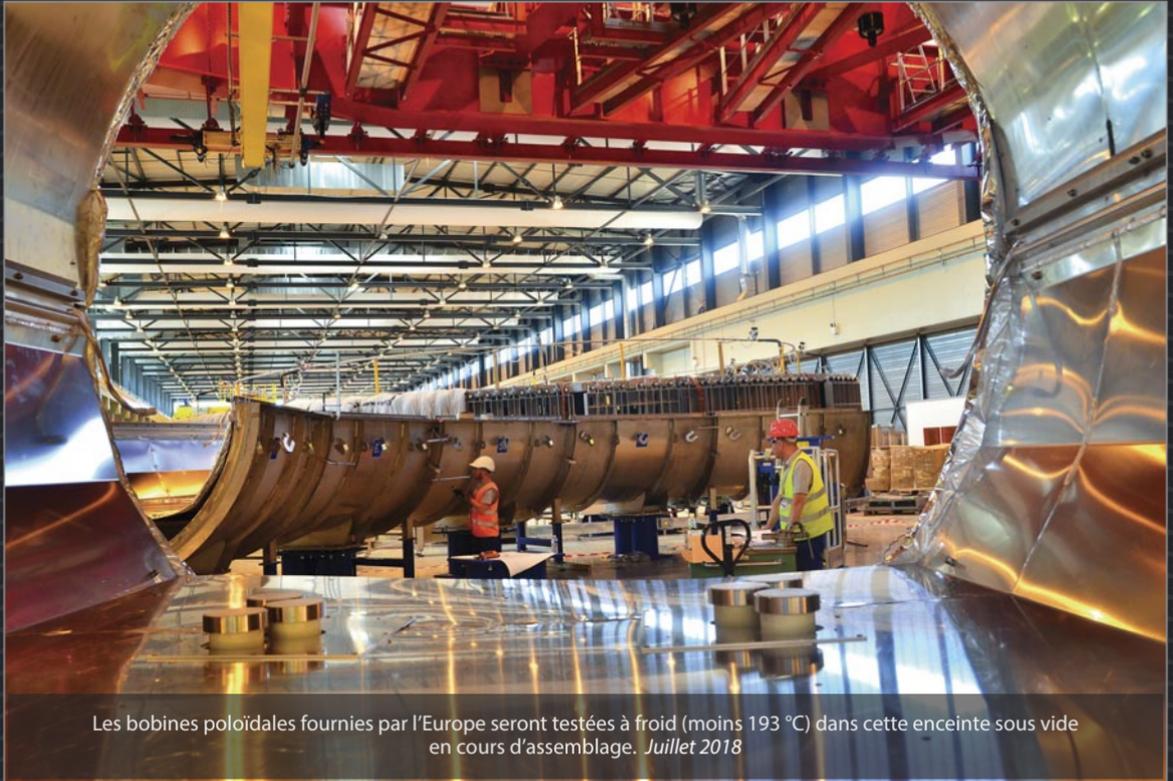
L'usine cryogénique de l'ITER sera la plus grande du monde. Ses équipements sont en cours d'installation. *Juillet 2018*



Fourni par l'Inde, le cryostat agit comme un thermos, isolant le système magnétique de l'environnement extérieur.
Ses différents éléments sont en cours d'assemblage. *Juillet 2018*



D'un poids de 1 250 tonnes, la base du cryostat est la plus lourde de toutes les pièces de la machine. *Décembre 2018*



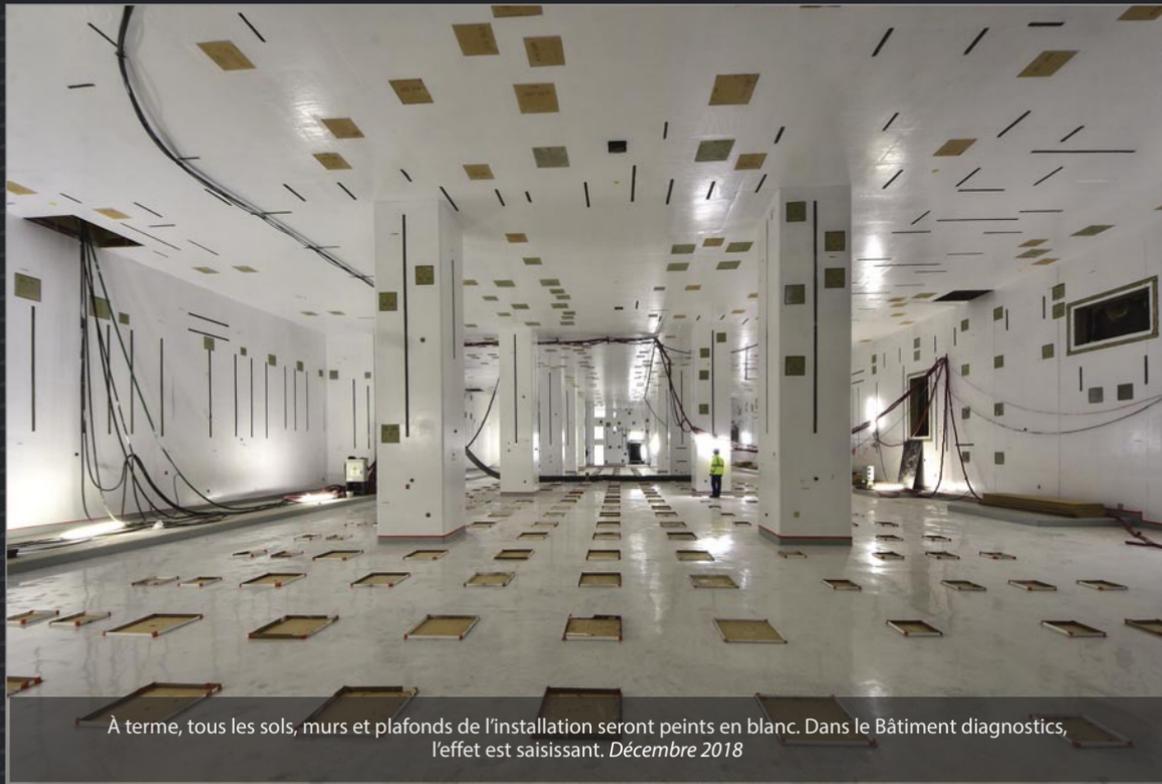
Les bobines poloïdales fournies par l'Europe seront testées à froid (moins 193 °C) dans cette enceinte sous vide en cours d'assemblage. *Juillet 2018*

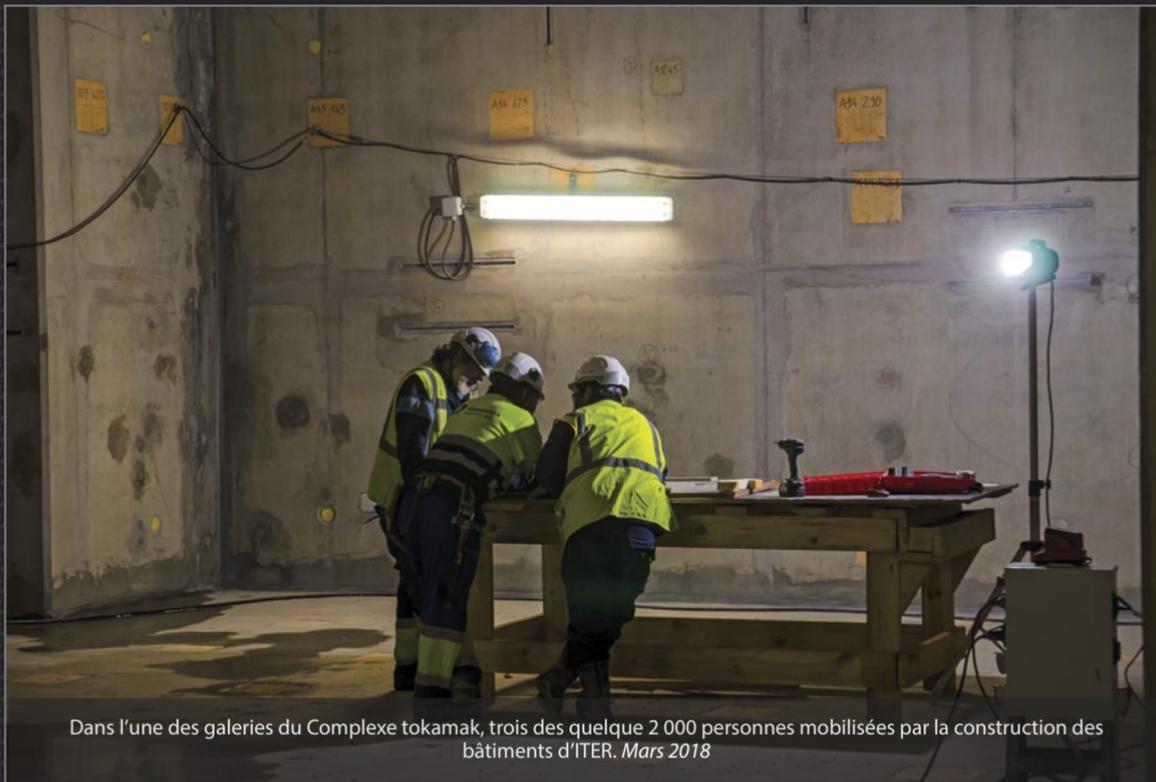


Parfaitement identiques, ces deux outils de sous-assemblage ont été livrés par la Corée. Ils sont conçus pour manipuler des charges de l'ordre de 1 500 tonnes. *Décembre 2018*

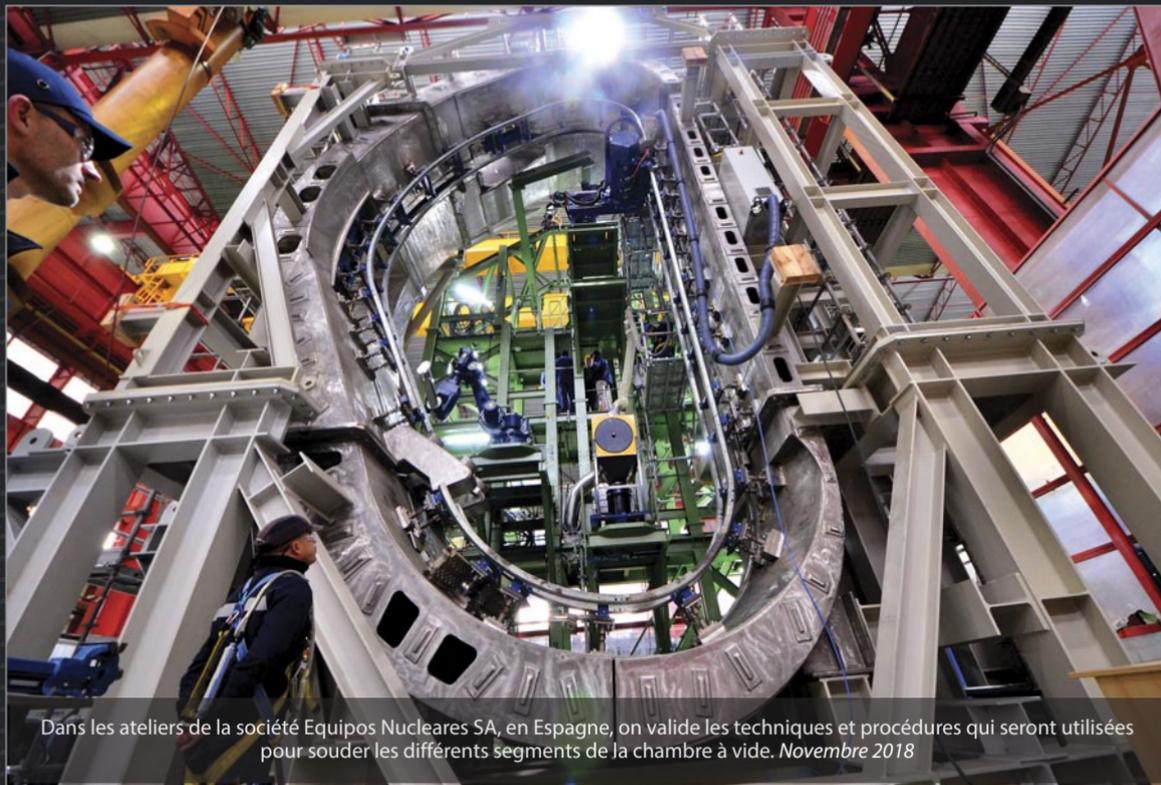


Trois cuves du système de refroidissement (fournies par les États-Unis) et quatre autres destinées au système de décharge ont été introduites dans le Bâtiment tokamak au travers de cette étroite ouverture. Août 2018





Dans l'une des galeries du Complexe tokamak, trois des quelque 2 000 personnes mobilisées par la construction des bâtiments d'ITER. Mars 2018



Dans les ateliers de la société Equipos Nucleares SA, en Espagne, on valide les techniques et procédures qui seront utilisées pour souder les différents segments de la chambre à vide. *Novembre 2018*



À Padoue, en Italie, on a lancé le programme scientifique de SPIDER, la source d'ions négatifs à laquelle ont contribué l'Europe et l'Inde. Juin 2018



ITER ORGANIZATION FABRICATIONS

L'essentiel (90%) de la contribution des membres d'ITER se fait « en nature ». Plutôt que de financer directement le programme, la Chine, l'Union européenne (Euratom), l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les Etats-Unis lui fournissent la quasi-totalité des pièces de la machine et de ses systèmes de support. L'Union européenne assume en outre la construction de l'ensemble des bâtiments indispensables au fonctionnement de l'installation.

La valeur des contributions est répartie de manière égale (~ 9%) entre les membres, à l'exception de l'Union européenne qui, en tant que « membre-hôte », assume ~ 45% du coût du programme.

Le principe des fournitures « en nature » est au cœur de la philosophie d'ITER : il permet à chacun des membres d'acquérir une expérience irremplaçable dans la fabrication des éléments d'une installation de fusion. Chacun développe ainsi le savoir-faire et les bases technologiques indispensables à la mise en œuvre future de réacteurs industriels.

Au-delà de la fusion, l'expertise accumulée dans des domaines tels que la supraconductivité, la cryogénie, l'électronique de puissance ou la science des matériaux, bénéficie à de multiples secteurs d'activité.

SOLÉNOÏDE CENTRAL



Page 51, 53

BOBINES DE CHAMP TOROÏDAL (18)



Page 36, 42, 44

BOBINES DE CHAMP POLOÏDAL (6)



Page 23, 50

SYSTÈMES DE CHAUFFAGE (3)



Page 52

BOBINES DE CORRECTION (18)



Page 33

CRYOSTAT



Page 21, 22, 39

ÉCRAN THERMIQUE



Page 46

CHAMBRE À VIDE



Page 38, 41, 45, 49

MODULES DE COUVERTURE



Page 35

CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT



Page 25

DIVERTOR



Page 37

Tous les systèmes (ou contributions) ne sont pas représentés sur cette illustration.



À l'Institut de Physique des Plasmas de l'Académie des Sciences, en Chine, on finalise le soudage de la première des 18 bobines de correction de la machine.



Ce boîtier a pour fonction d'isoler les systèmes d'alimentation des aimants, à température cryogénique, de l'environnement extérieur. Cette unité s'apprête à subir son test de réception.



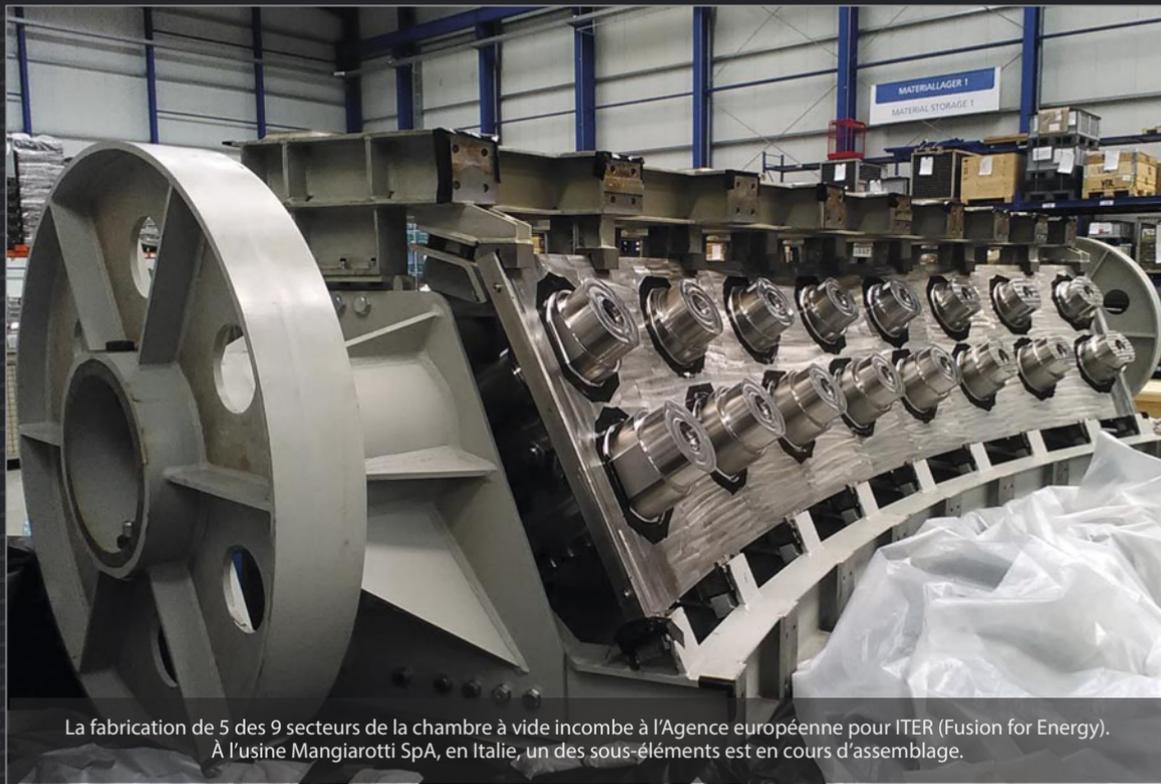
Des prototypes d'éléments de couverture (2,8 tonnes) destinés à la chambre à vide viennent de passer avec succès les tests d'étanchéité.



Le premier bobinage fabriqué par l'Europe pour le système magnétique de champ toroïdal est inséré dans une enceinte cryogénique. Il y passera 20 jours – à la température de *moins* 193 °C – pour confirmer la qualité de son isolation.



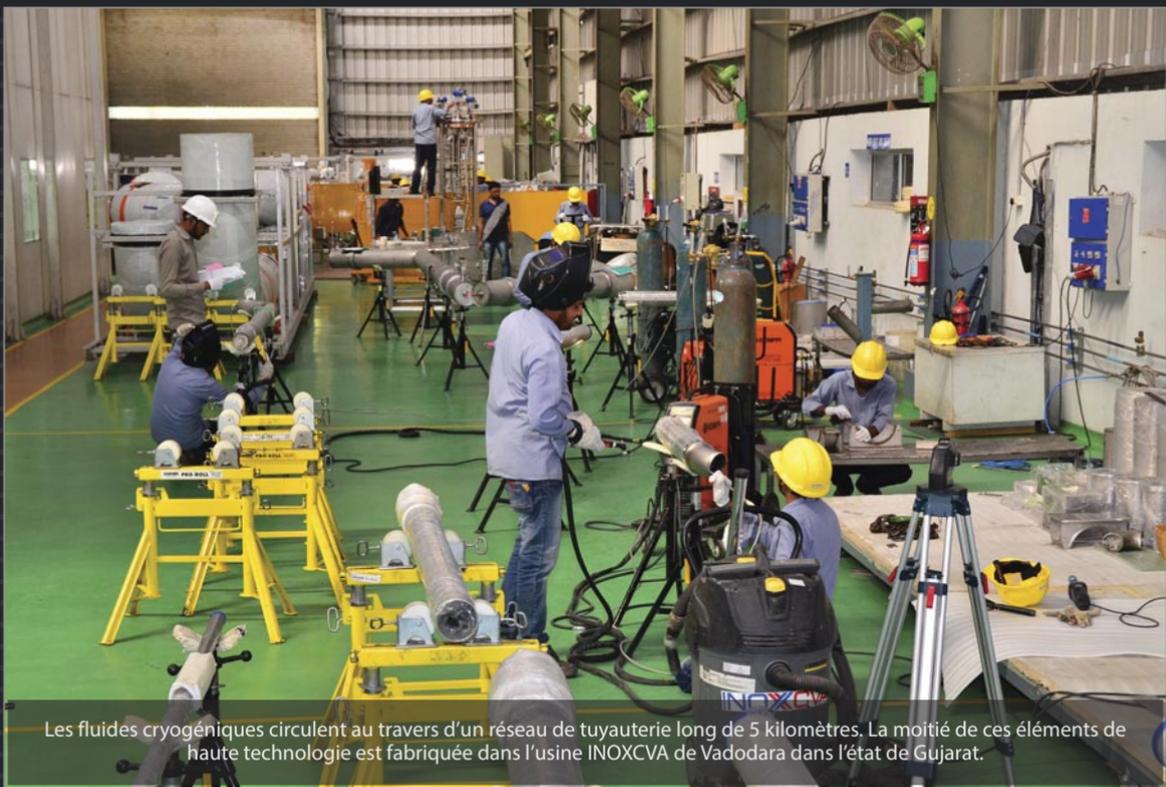
Fabriqué en Italie par Ansaldo Nucleare et ENEA, ce prototype à échelle 1:1 d'un élément du divertor sera exposé à des flux thermiques particulièrement intenses. Il est en cours de test à l'Institut Efremov de Saint-Petersbourg (Russie).



La fabrication de 5 des 9 secteurs de la chambre à vide incombe à l'Agence européenne pour ITER (Fusion for Energy).
À l'usine Mangiarotti SpA, en Italie, un des sous-éléments est en cours d'assemblage.



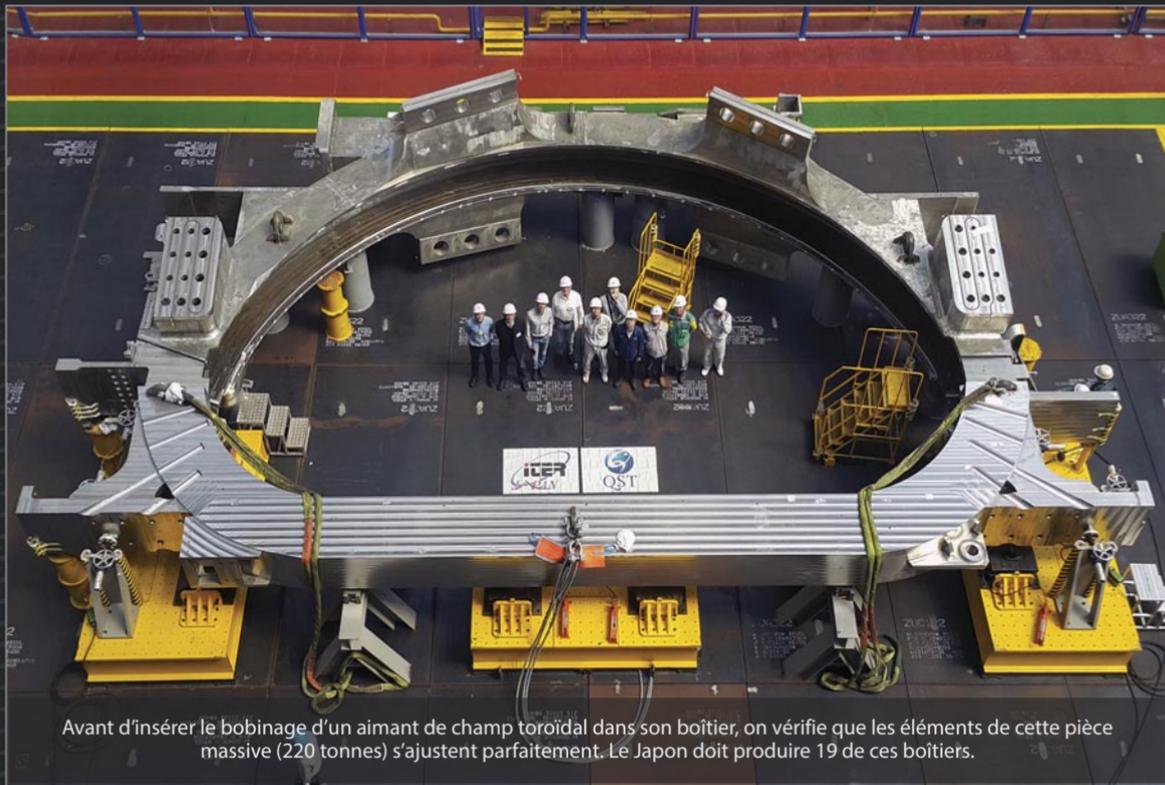
Dans les immenses ateliers de Larsen & Toubro à Hazira, les éléments du cylindre supérieur (490 tonnes) et du couvercle (665 tonnes) du cryostat sont en cours de finalisation.

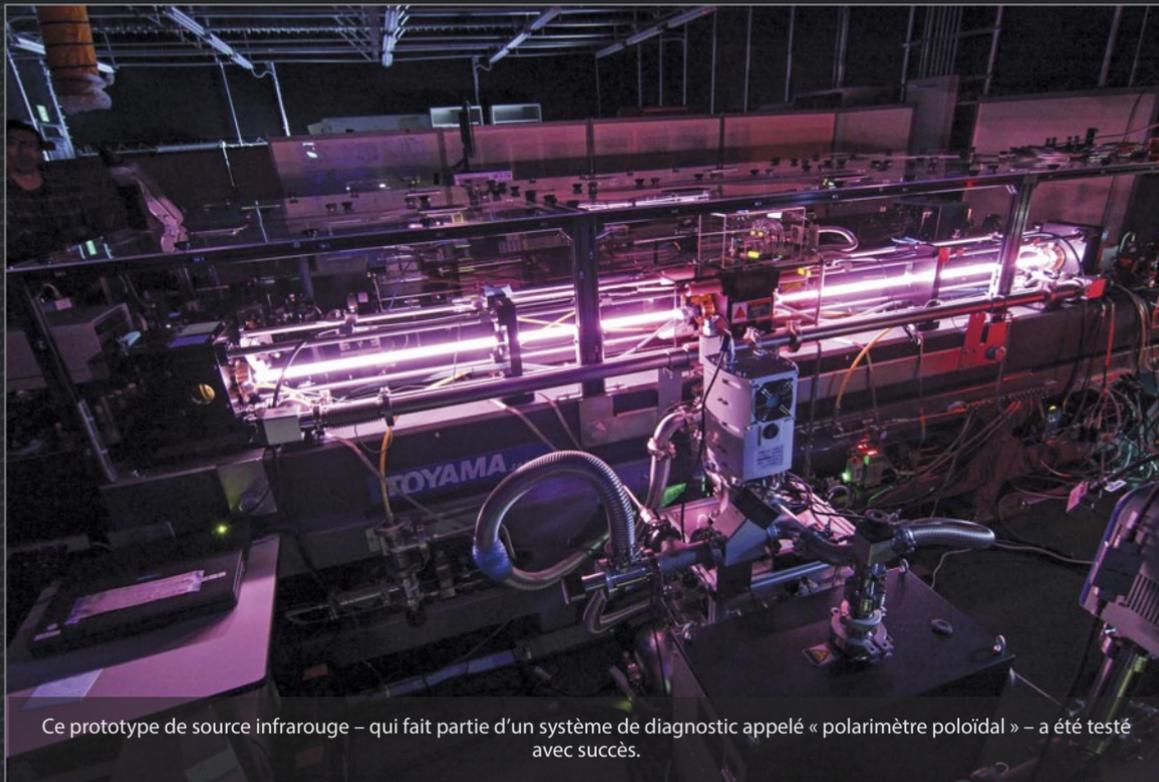


Les fluides cryogéniques circulent au travers d'un réseau de tuyauterie long de 5 kilomètres. La moitié de ces éléments de haute technologie est fabriquée dans l'usine INOXVA de Vadodara dans l'état de Gujarat.

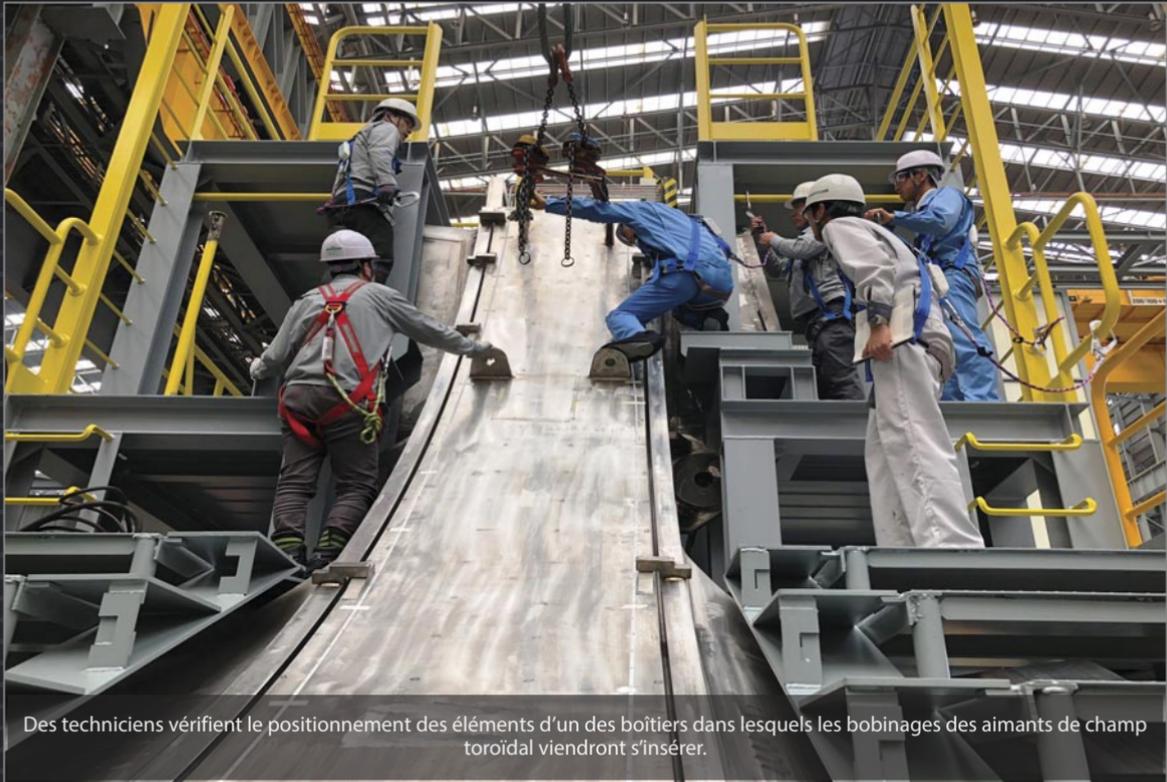


Placées dans la double paroi de la chambre à vide, quelque 50 000 plaques d'acier protégeront les aimants supraconducteurs des rayonnements issus de la réaction de fusion. En termes de forme, de taille et de poids, chacune d'entre elles est unique.





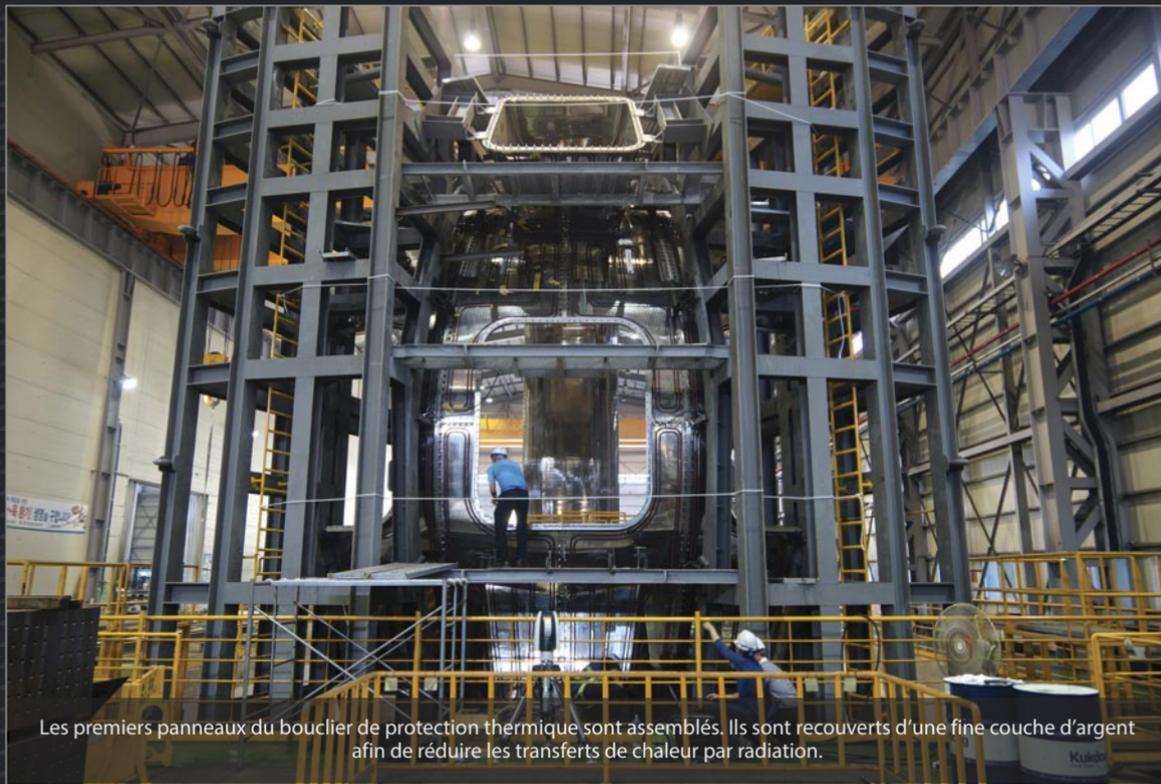
Ce prototype de source infrarouge – qui fait partie d'un système de diagnostic appelé « polarimètre poloïdal » – a été testé avec succès.



Des techniciens vérifient le positionnement des éléments d'un des boîtiers dans lesquels les bobinages des aimants de champ toroïdal viendront s'insérer.



Les quatre secteurs de la chambre à vide (sur 9) dévolus à la Corée sont fabriqués aux chantiers navals de Hyundai Heavy Industries. Le secteur n°6 sera finalisé en 2019.



Les premiers panneaux du bouclier de protection thermique sont assemblés. Ils sont recouverts d'une fine couche d'argent afin de réduire les transferts de chaleur par radiation.



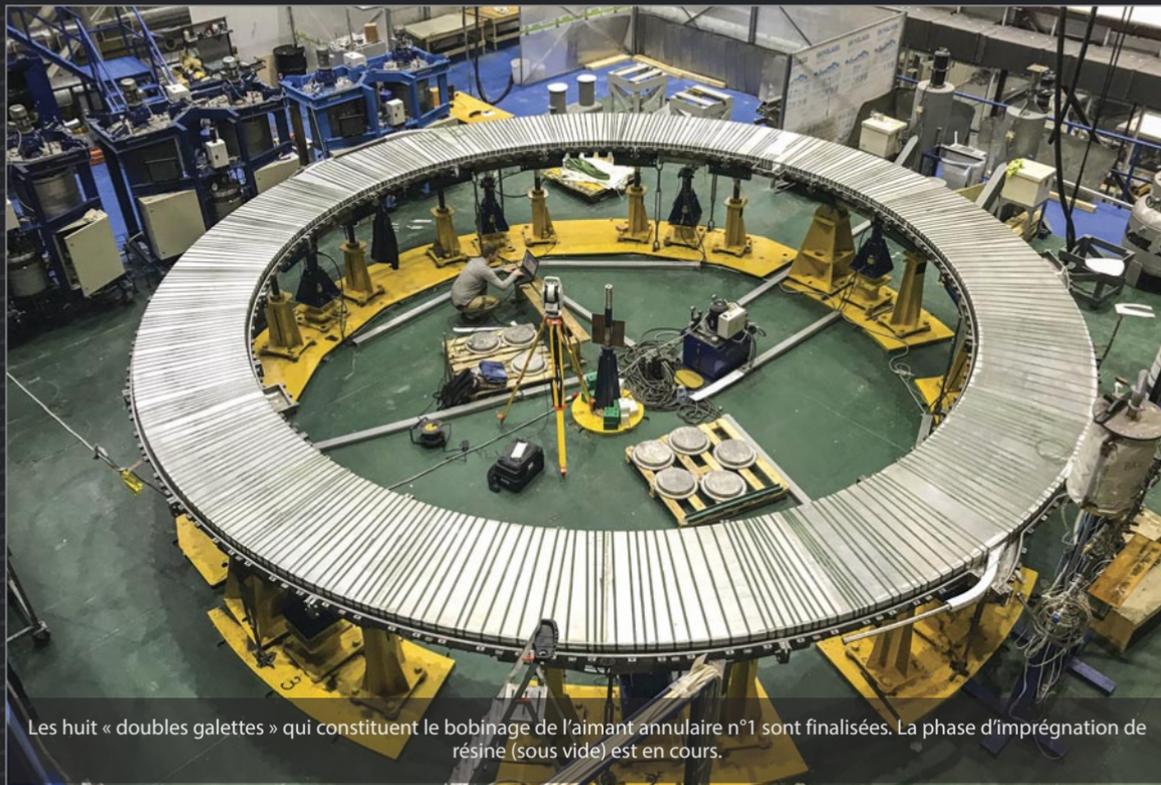
La Corée produit un très large éventail d'outils, dont les deux « Titans » présentés en page 24. Ici de simples « pieds » – mais suffisamment massifs pour soutenir les secteurs de chambre à vide pendant la phase de sous-assemblage.



La Russie fournit 5,4 kilomètres (500 tonnes) de barres d'alimentation électrique pour le système magnétique. Les plus imposantes peuvent transporter un courant de 70 000 ampères.



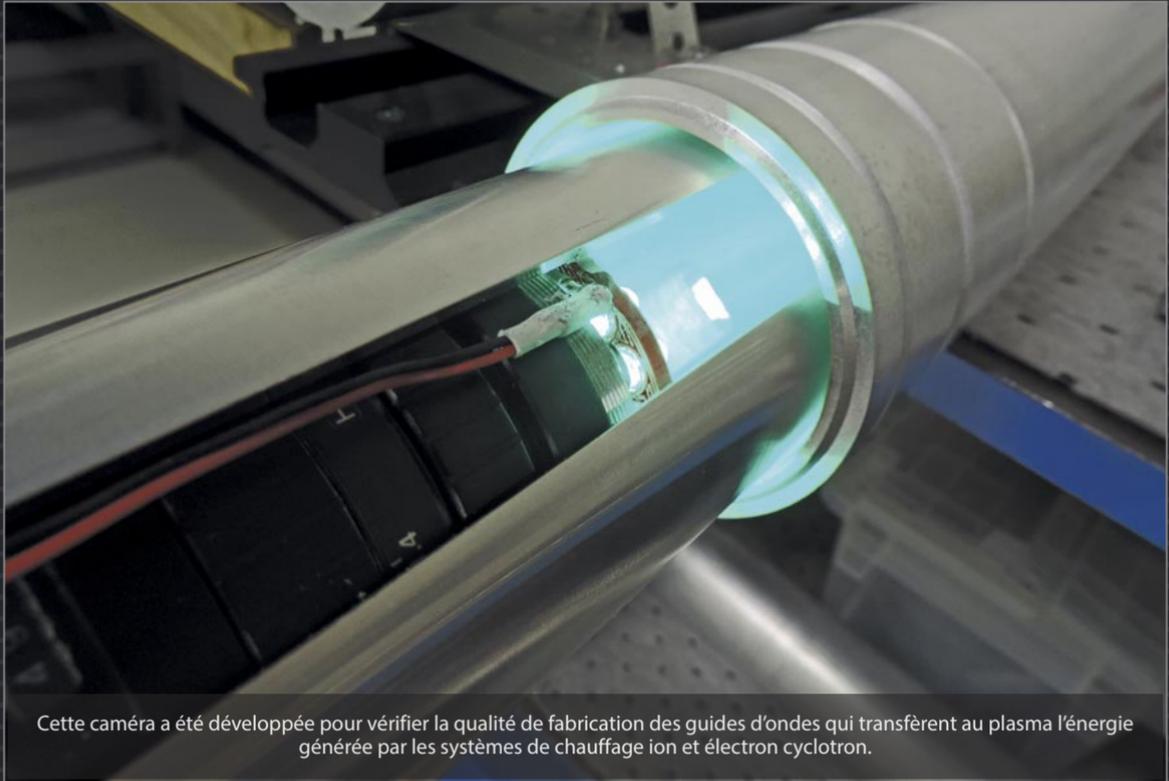
Au nombre de 44, ces pièces appelées « port stub extensions » connectent la chambre à vide au cryostat. Leur fabrication en série vient de commencer.



Les huit « doubles galettes » qui constituent le bobinage de l'aimant annulaire n°1 sont finalisées. La phase d'imprégnation de résine (sous vide) est en cours.



Dans les ateliers de General Atomics, en Californie, deux des six modules du solénoïde central à différents états d'avancement.



Cette caméra a été développée pour vérifier la qualité de fabrication des guides d'ondes qui transfèrent au plasma l'énergie générée par les systèmes de chauffage ion et électron cyclotron.



Cette « tranche » du bobinage du solénoïde central provient d'une maquette à taille réelle qui a permis de valider les procédures de fabrication. Elle sera bientôt exposée au siège d'ITER.



ITER ORGANIZATION VERS LE « PREMIER PLASMA »

Pour les femmes et les hommes d'ITER, le compte à rebours a commencé : dans moins de sept ans, la machine produira son « premier plasma » inaugurant un programme scientifique qui durera une quinzaine d'années.

Tandis que la construction des bâtiments de l'installation touche à sa fin et que les premiers éléments de la machine commencent à être livrés, l'équipe internationale et ses sous-traitants est engagée dans un nouveau défi : l'assemblage des pièces de la machine, l'intégration des différents éléments de l'installation et les tests ultimes avant la mise en service.

À la fin de l'année 2018, plus de 60% de l'ensemble des tâches indispensables à la production d'un « premier plasma » À l'horizon 2025 (design, construction, fabrication, livraisons, etc.) étaient finalisées.

Avec ce « premier plasma », ITER aura accompli un premier pas, décisif, vers son objectif ultime : démontrer que l'énergie de fusion, celle qui donne vie au Soleil et aux étoiles, peut donner lieu à une production industrielle d'électricité et répondre aux besoins sans cesse croissants de l'humanité.



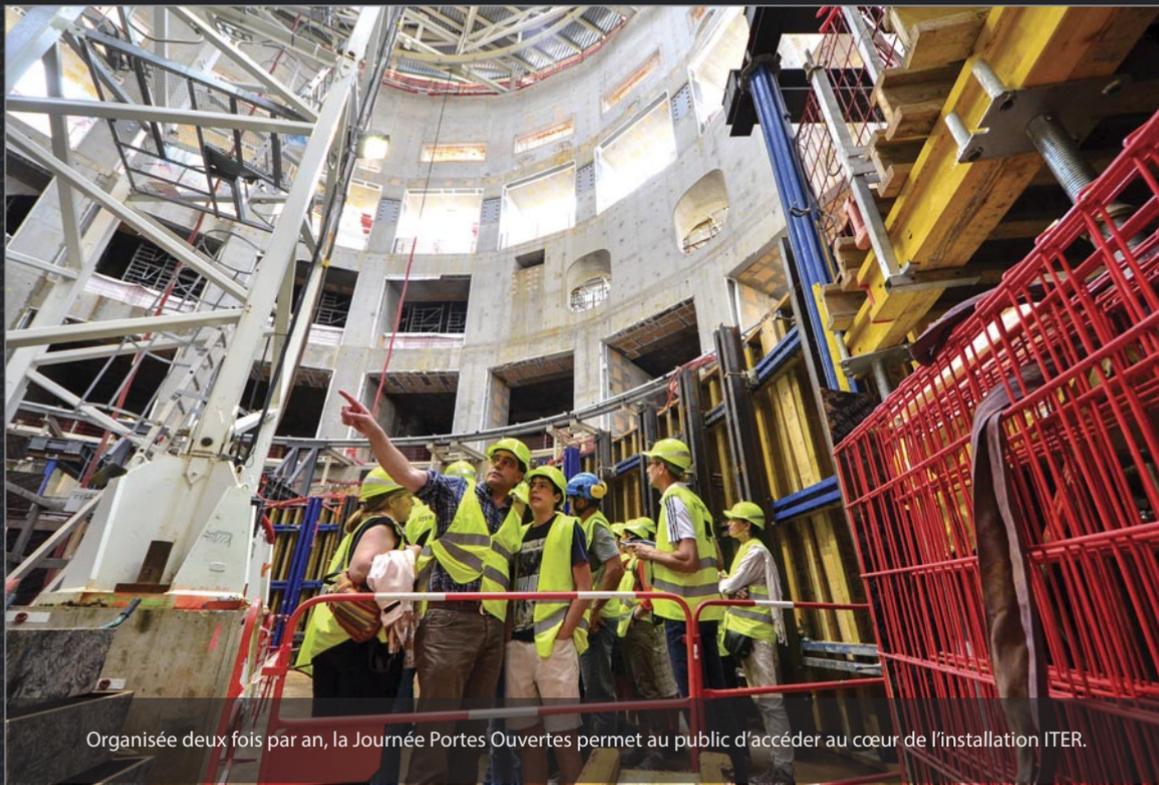
L'équipe qui suit la progression du chantier et des fabrications peut à chaque instant répondre à cette question essentielle :
« Où en sommes-nous au regard de nos objectifs ? ».



La qualité du vide dans le tokamak est essentielle à la performance du plasma. Les spécialistes organisent régulièrement des ateliers pour rappeler cette exigence.



ITER accueille régulièrement les médias du monde entier. Une occasion unique de faire le point sur l'avancement du programme.



Organisée deux fois par an, la Journée Portes Ouvertes permet au public d'accéder au cœur de l'installation ITER.



Accompagné de Jamie McCourt, l'ambassadeur des États-Unis en France, le Secrétaire américain à l'énergie Rick Perry a visité ITER au mois de juillet.



Fille et sœur de roi, la princesse Maha Chakri Sirindhorn de Thaïlande voue une authentique passion à la science. Lors de sa visite au mois de novembre, ITER a signé un accord de coopération avec le Thailand Institute of Nuclear Technology.



Paul Allen, co-fondateur de Microsoft, voulait voir comment la communauté internationale se prépare à la « naissance d'une étoile ». Il était à ITER le 16 mai 2018.



Plus de 600 élèves ont participé à l'édition 2018 du concours « ITER Robots ». L'enjeu consiste à réaliser des opérations de télémanipulation avec des robots conçus sur une base de moteurs et de modules Lego.



CRÉDITS PHOTO

Page 5 EJF Riche/ITER Organization

Pages 33, 34, 35 ITER China

Page 36 SIMIC

Pages 37, 38 Fusion for Energy

Pages 42, 43, 44 ITER Japan

Pages 45, 46, 47 ITER Korea

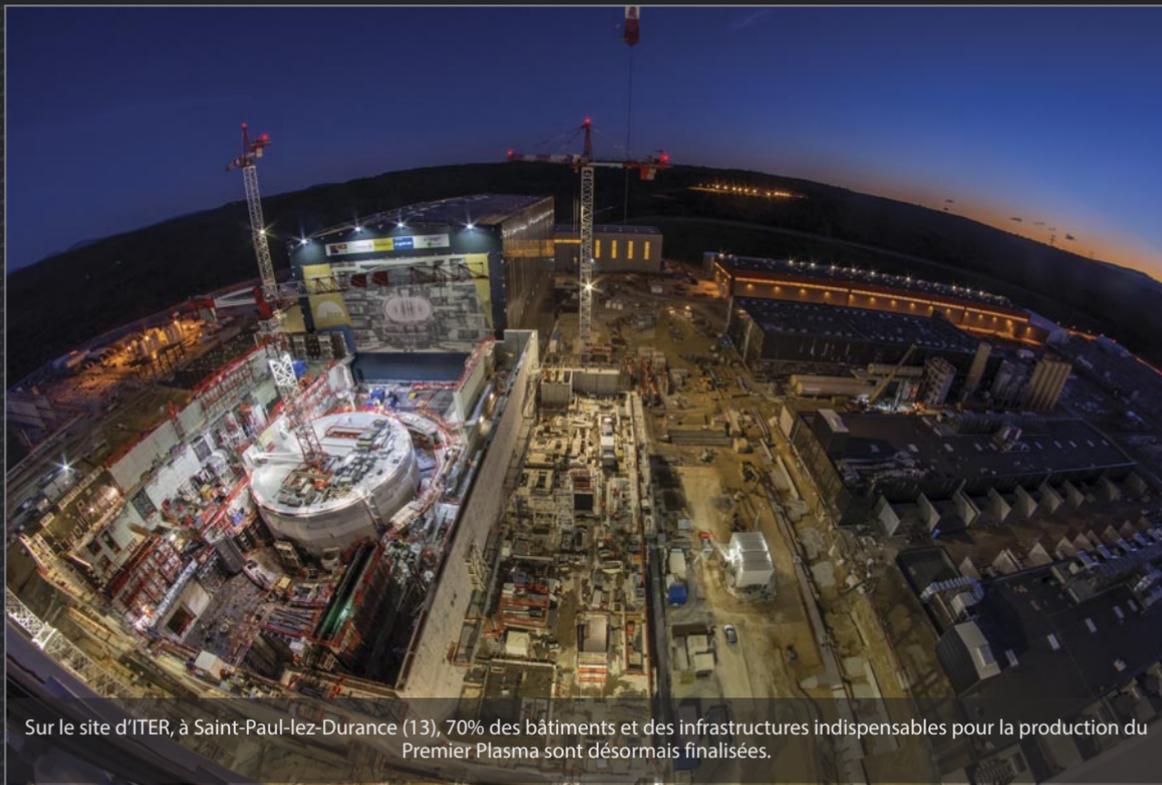
Pages 48, 49, 50 ITER Russia

Pages 51, 53 General Atomics

Page 52 US ITER

Toutes les autres photos ou illustrations

ITER Organization



Sur le site d'ITER, à Saint-Paul-lez-Durance (13), 70% des bâtiments et des infrastructures indispensables pour la production du Premier Plasma sont désormais finalisées.



ITER Organization Headquarters
Route de Vinon-sur-Verdon
CS 90 046
13067 St. Paul-lez-Durance Cedex
France

Publications Director **Editors**
Laban Coblentz Robert Arnoux
laban.coblentz@iter.org robert.arnoux@iter.org
Krista Dulon
krista.dulon@iter.org

© ITER Organization, Janvier 2019

www.iter.org

