



ITER ORGANIZATION

L'année 2019 en images





ITER ORGANIZATION

L'année 2019 en images



2019



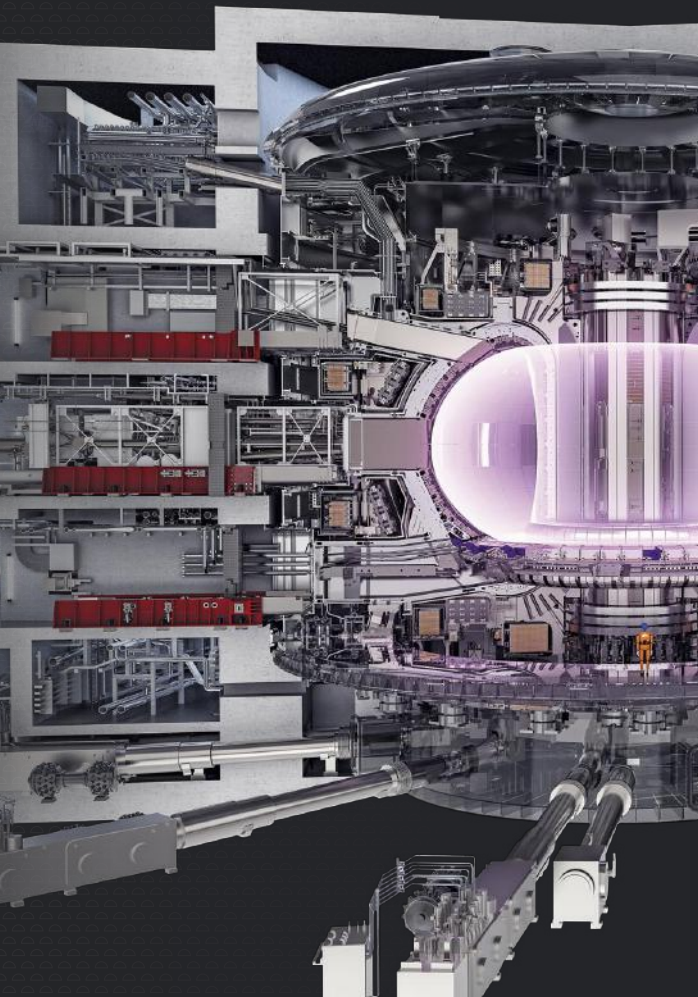
Une étoile va naître

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 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

À l'heure où se prépare la phase d'assemblage de la machine, 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 1950-1960 en Union soviétique, les tokamaks sont aujourd'hui les machines de fusion les plus abouties et les plus performantes.

Un tokamak est conçu pour fusionner les noyaux légers (hydrogène) en noyaux plus lourds (hélium). Conformément à l'équation $E=mc^2$, l'infime perte de masse qui résulte de ce processus génère une formidable quantité d'énergie – un gramme d'hydrogène, ou de ses isotopes deutérium et tritium, libère 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.

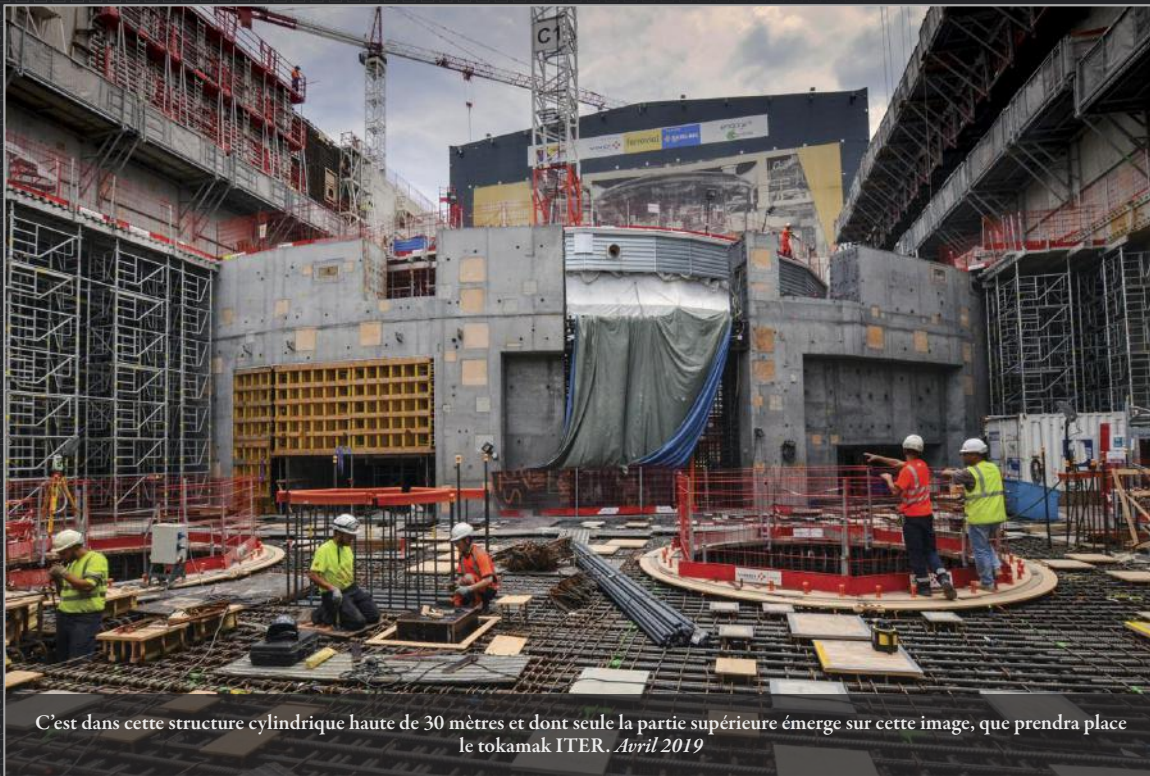
Masse du tokamak	23 000 tonnes
Hauteur	~ 30 mètres
Diamètre	~ 30 mètres
Volume de plasma	840 m ³
Température au cœur du plasma	150 000 000 °C
Puissance générée	500 MW



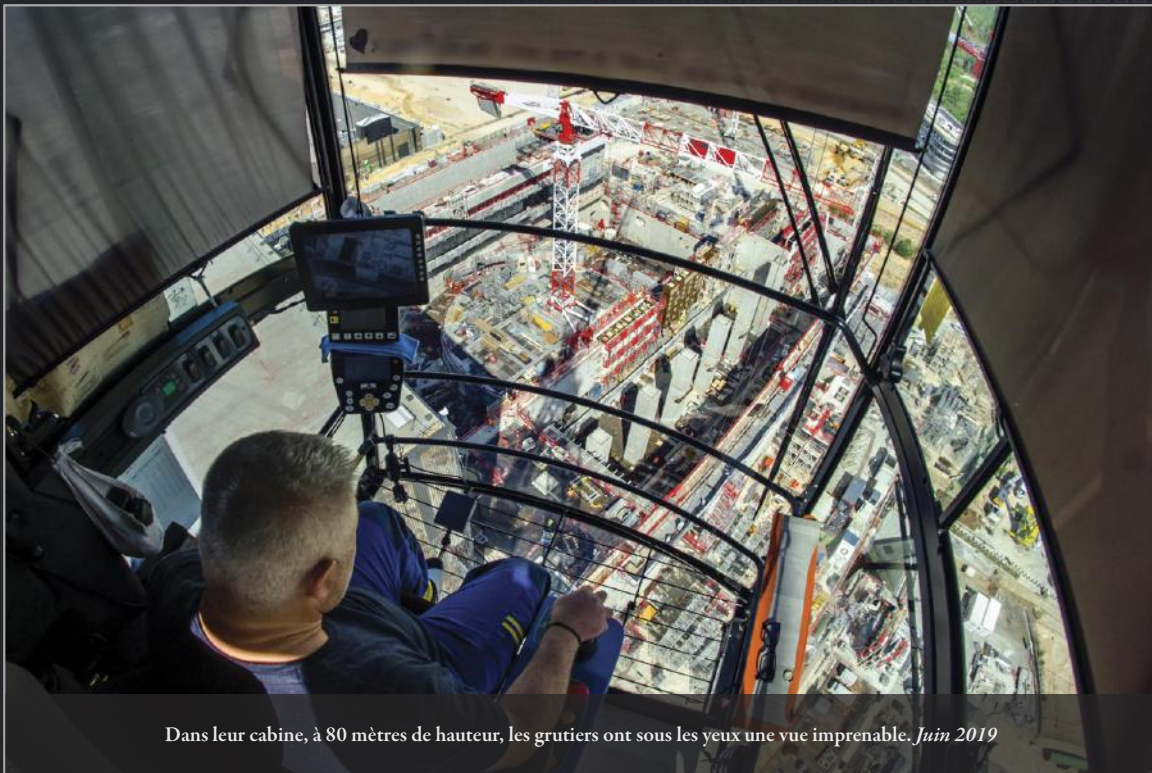
Signataires de l'Accord ITER, la Chine, l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis partagent le coût de construction, la préparation de la phase opérationnelle et la gouvernance du programme ITER. *Novembre 2019*



Concédé par la France à l'organisation internationale ITER (*ITER Organization*), un site de 180 hectares accueille le siège d'ITER, la plateforme de construction et diverses zones de stockage. *Octobre 2019*



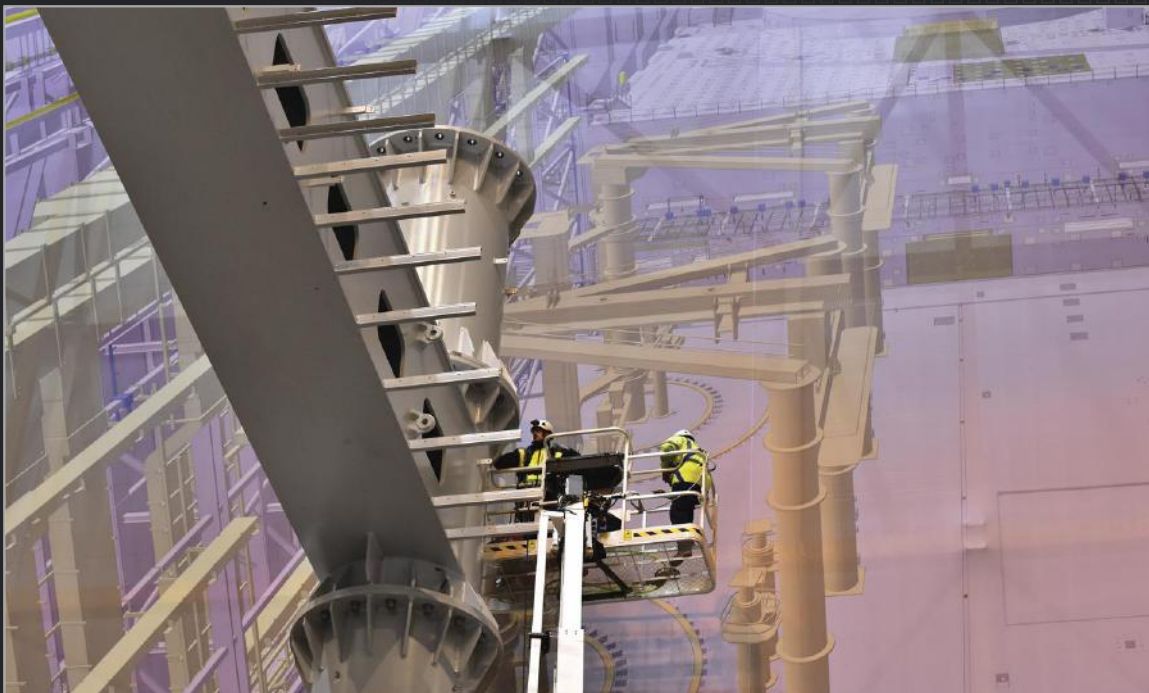
C'est dans cette structure cylindrique haute de 30 mètres et dont seule la partie supérieure émerge sur cette image, que prendra place le tokamak ITER. *Avril 2019*



Dans leur cabine, à 80 mètres de hauteur, les grutiers ont sous les yeux une vue imprenable. *Juin 2019*



La brume qui se forme dans la vallée de la Durance toute proche enveloppe le site d'ITER, ne laissant émerger que le Complexe tokamak et les plus hautes grues du chantier. *Octobre 2019*



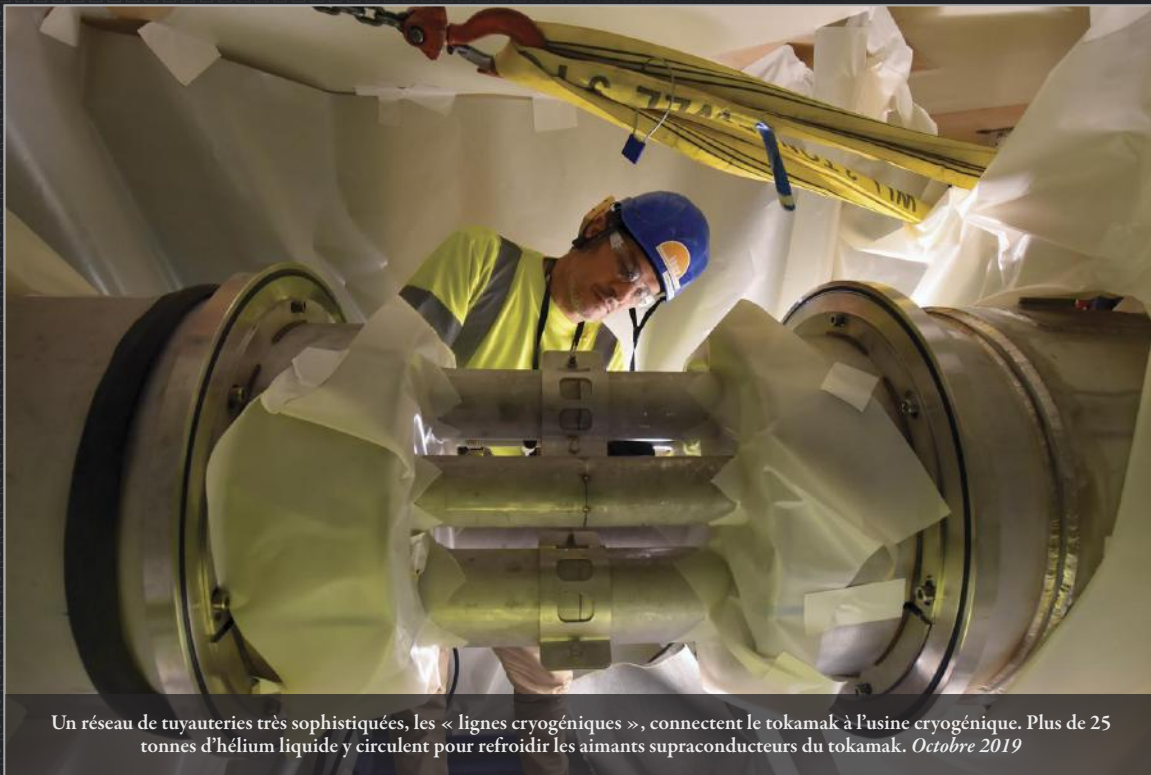
À 20 mètres au-dessus du sol, deux techniciens effectuent d'ultimes réglages sur l'un des deux portiques de manutention du Hall d'assemblage. Fournis par la Corée, ces outils peuvent manipuler des charges de l'ordre de 1 200 tonnes. *Janvier 2019*



Au premier plan, le “berceau de basculement”, également fourni par la Corée, permettra de faire passer les plus gros éléments de la machine de l’horizontale à la verticale. *Novembre 2019*



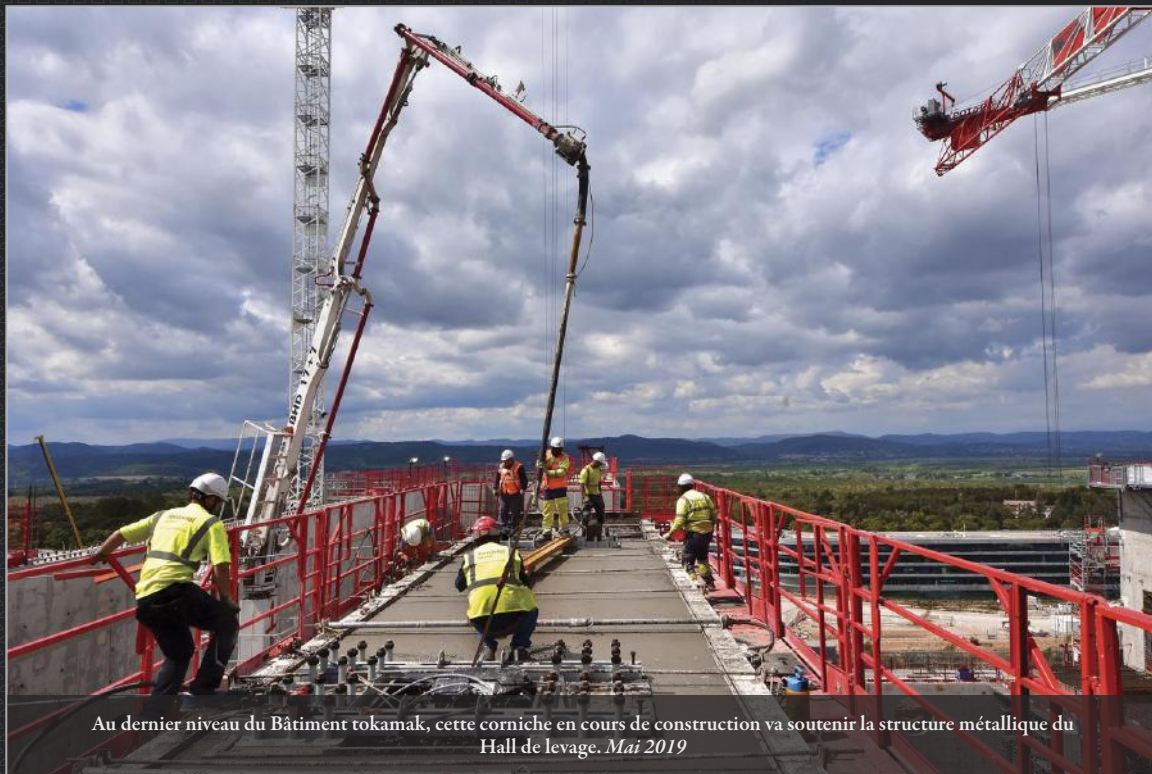
L'Europe a construit l'infrastructure et l'Inde a fourni l'équipement de cette zone de 6 000 m² dédiée à l'évacuation de la chaleur générée par le tokamak et ses systèmes auxiliaires. *Novembre 2019*



Un réseau de tuyauteries très sophistiquées, les « lignes cryogéniques », connectent le tokamak à l'usine cryogénique. Plus de 25 tonnes d'hélium liquide y circulent pour refroidir les aimants supraconducteurs du tokamak. *Octobre 2019*



L'Agence domestique européenne, Fusion for Energy, a officiellement transféré les principaux bâtiments du système de conversion électrique à ITER Organization, responsable de l'installation des équipements. *Février 2019*



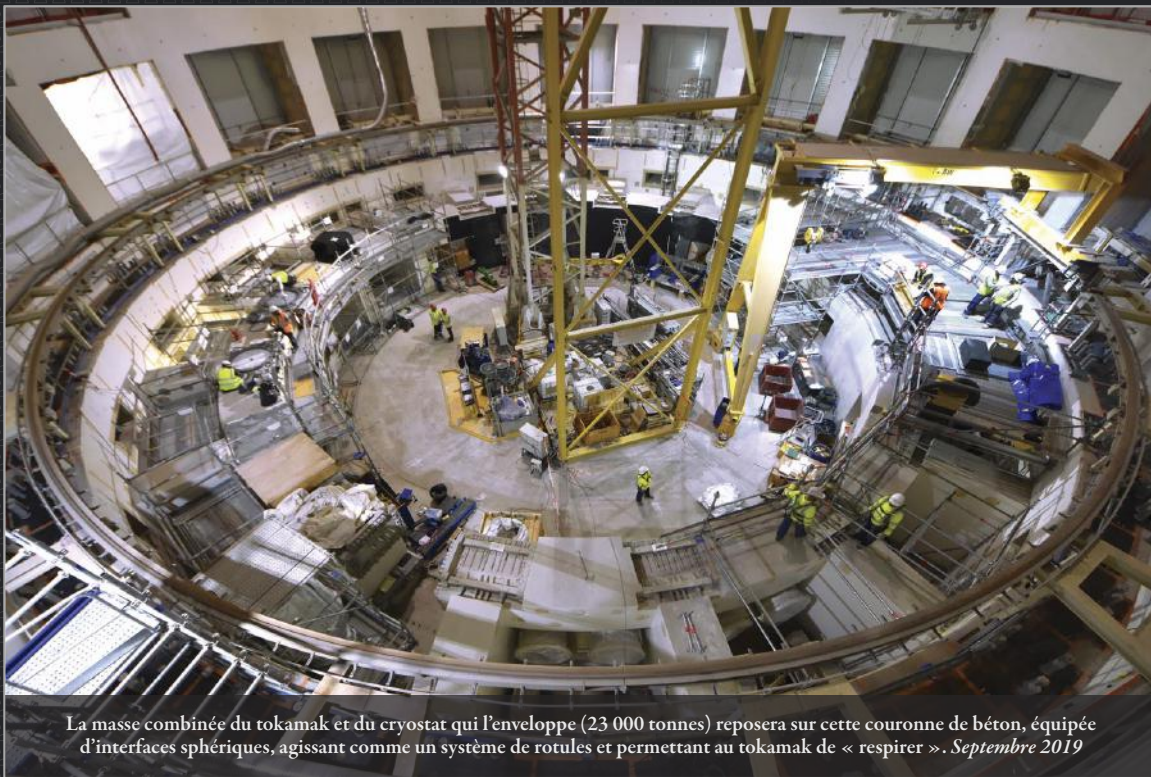
Au dernier niveau du Bâtiment tokamak, cette corniche en cours de construction va soutenir la structure métallique du Hall de levage. *Mai 2019*



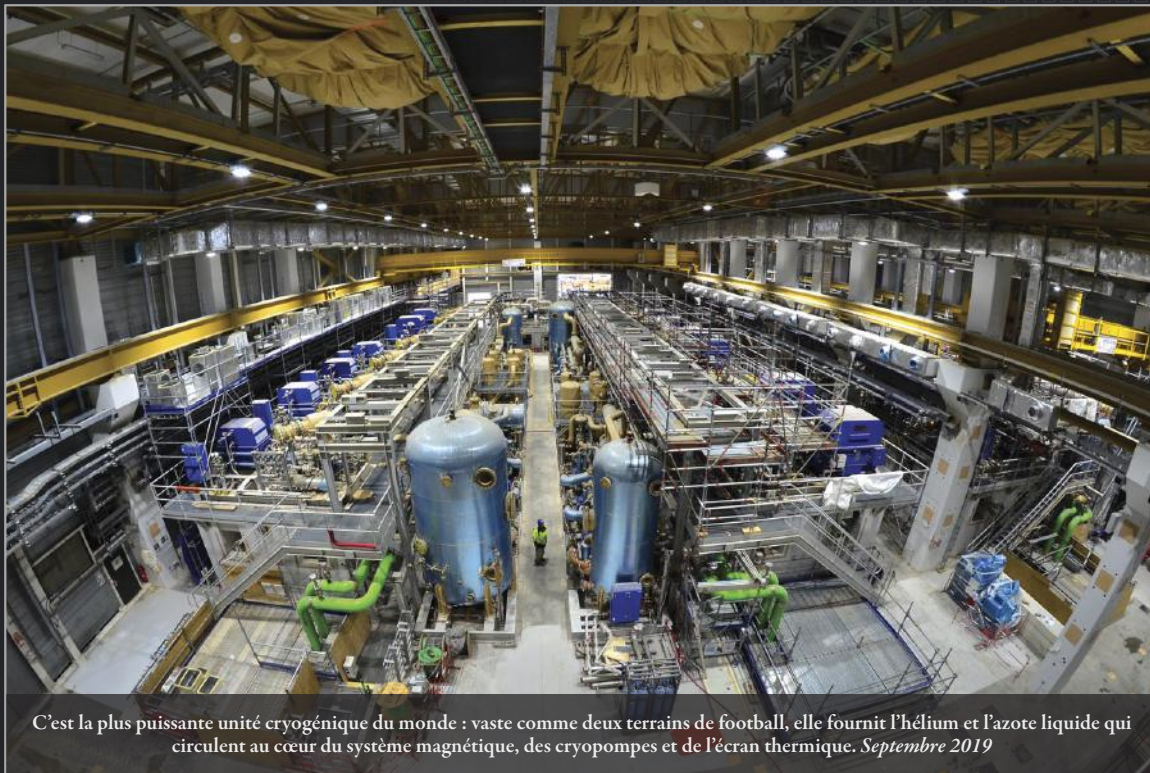




Pour atteindre le Rhône, cet élément d'une unité cryogénique fourni par l'Inde et fabriqué en Suisse, a dû emprunter le réseau des canaux à petit gabarit de l'est de la France. Et passer au travers de nombreux tunnels et écluses. *Février 2019*



La masse combinée du tokamak et du cryostat qui l'enveloppe (23 000 tonnes) reposera sur cette couronne de béton, équipée d'interfaces sphériques, agissant comme un système de rotules et permettant au tokamak de « respirer ». *Septembre 2019*

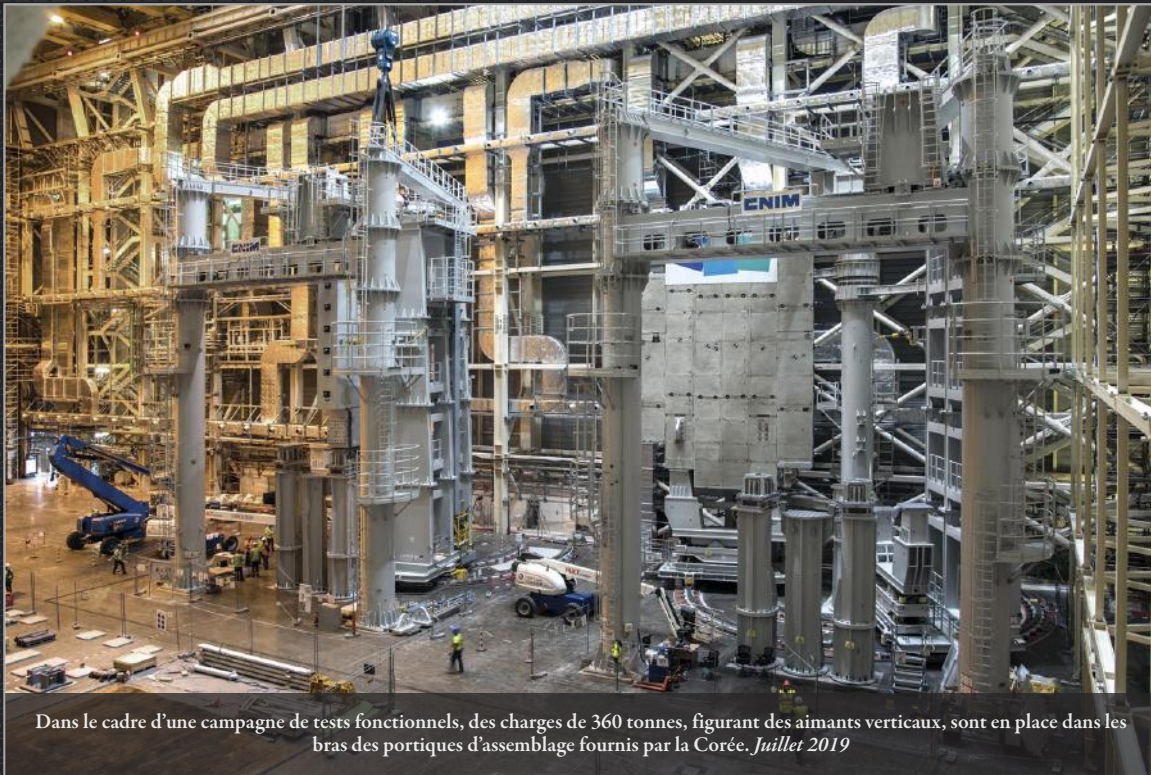


C'est la plus puissante unité cryogénique du monde : vaste comme deux terrains de football, elle fournit l'hélium et l'azote liquide qui circulent au cœur du système magnétique, des cryopompes et de l'écran thermique. *Septembre 2019*



Soigneusement emballée dans son cocon protecteur, la section inférieure du cryostat, le thermos qui enveloppe la machine, peut attendre l'heure de sa descente dans la fosse d'assemblage. *Avril 2019*





Dans le cadre d'une campagne de tests fonctionnels, des charges de 360 tonnes, figurant des aimants verticaux, sont en place dans les bras des portiques d'assemblage fournis par la Corée. *Juillet 2019*



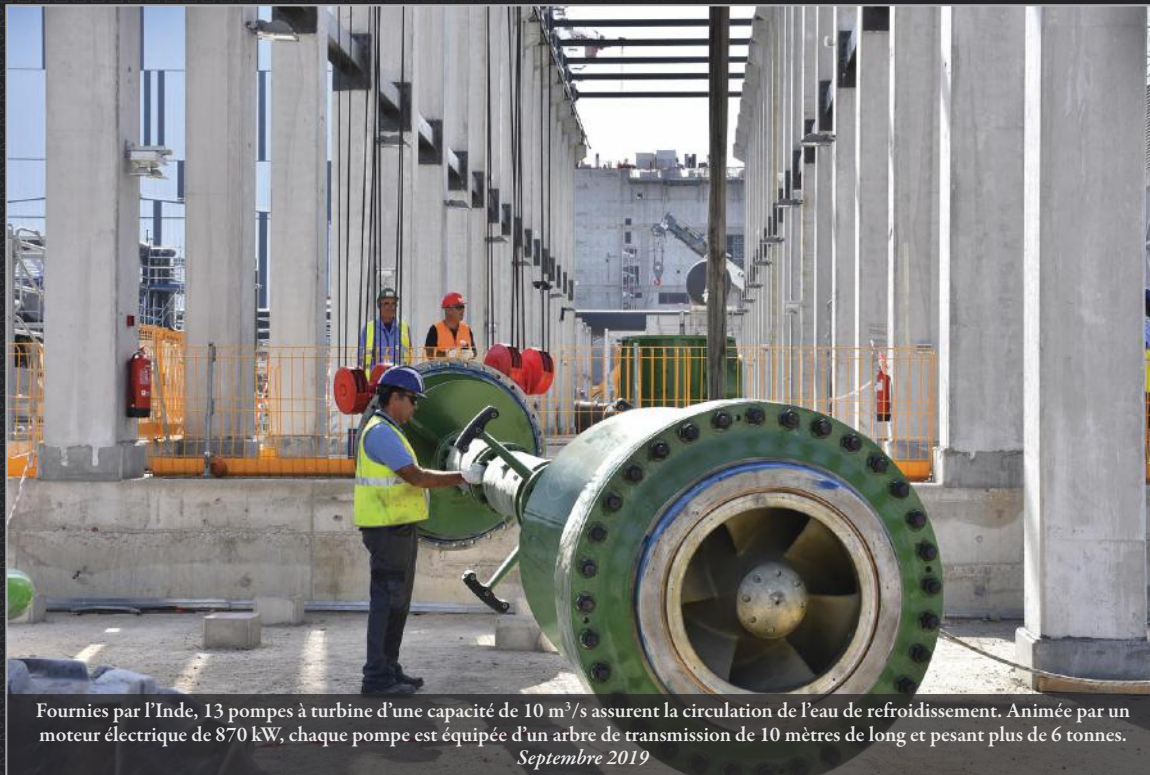
Le premier des 20 piliers de la structure métallique du Hall de levage a été ancré dans la corniche de support au mois de septembre. A la fin de l'année, la structure, ainsi que la charpente du toit, étaient en place. *Septembre 2019*



Au terme de cinq années, les travaux de génie civil du Bâtiment tokamak sont terminés. Le 13 novembre, les personnels d'ITER Organization, de l'agence européenne Fusion for Energy, et du consortium VFR ont célébré l'événement. *Novembre 2019*

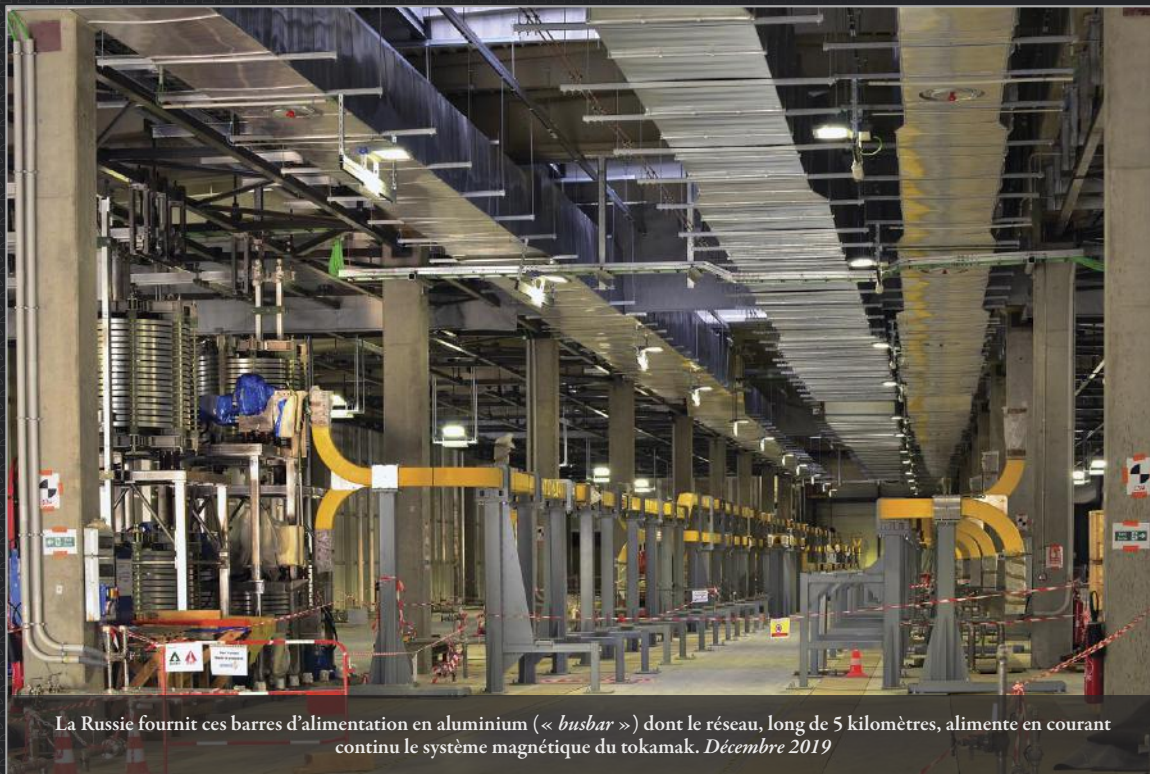


Aux premières lueurs de l'aube, le 4 décembre, une puissante grue sur chenille s'apprête à lever le premier des cinq modules de la charpente métallique. *Décembre 2019*

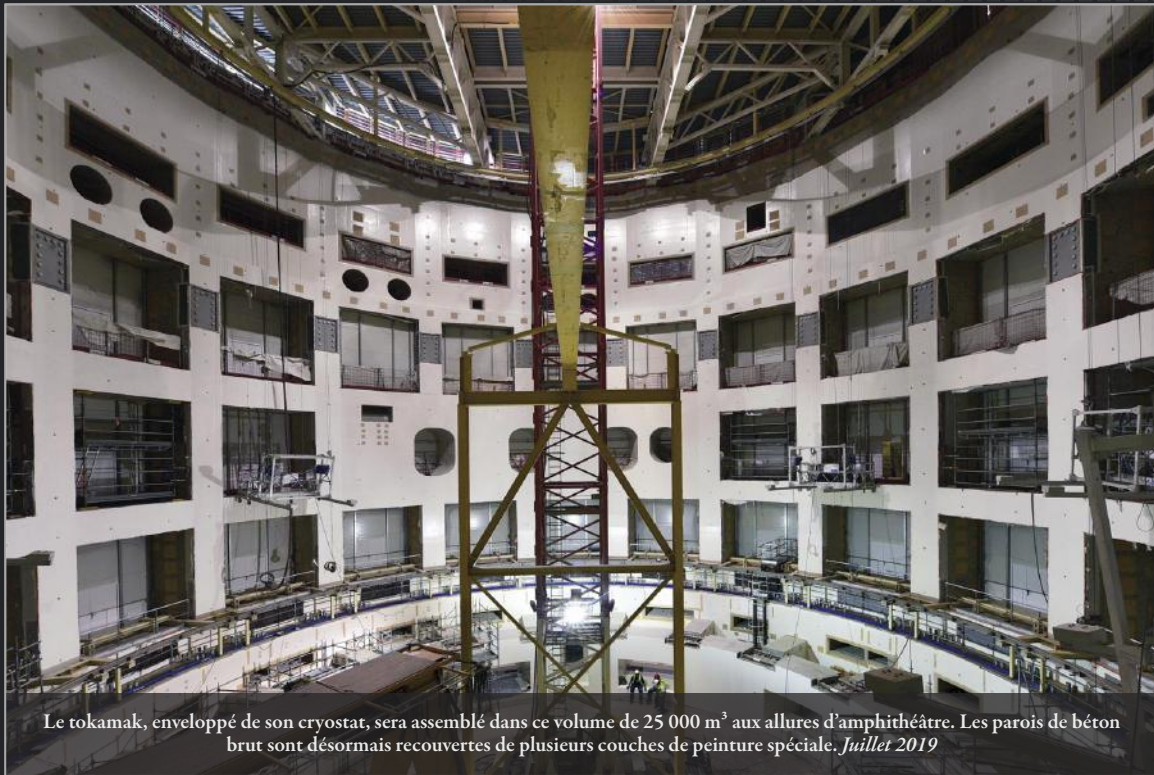




Deux fois par an, le Conseil, organe exécutif d'ITER Organization, se réunit à Saint-Paul-lez-Durance (13). Les sessions sont intenses et les pauses bienvenues. *Jun 2019*



La Russie fournit ces barres d'alimentation en aluminium (« busbar ») dont le réseau, long de 5 kilomètres, alimente en courant continu le système magnétique du tokamak. *Décembre 2019*



Le tokamak, enveloppé de son cryostat, sera assemblé dans ce volume de 25 000 m³ aux allures d'amphithéâtre. Les parois de béton brut sont désormais recouvertes de plusieurs couches de peinture spéciale. *Juillet 2019*



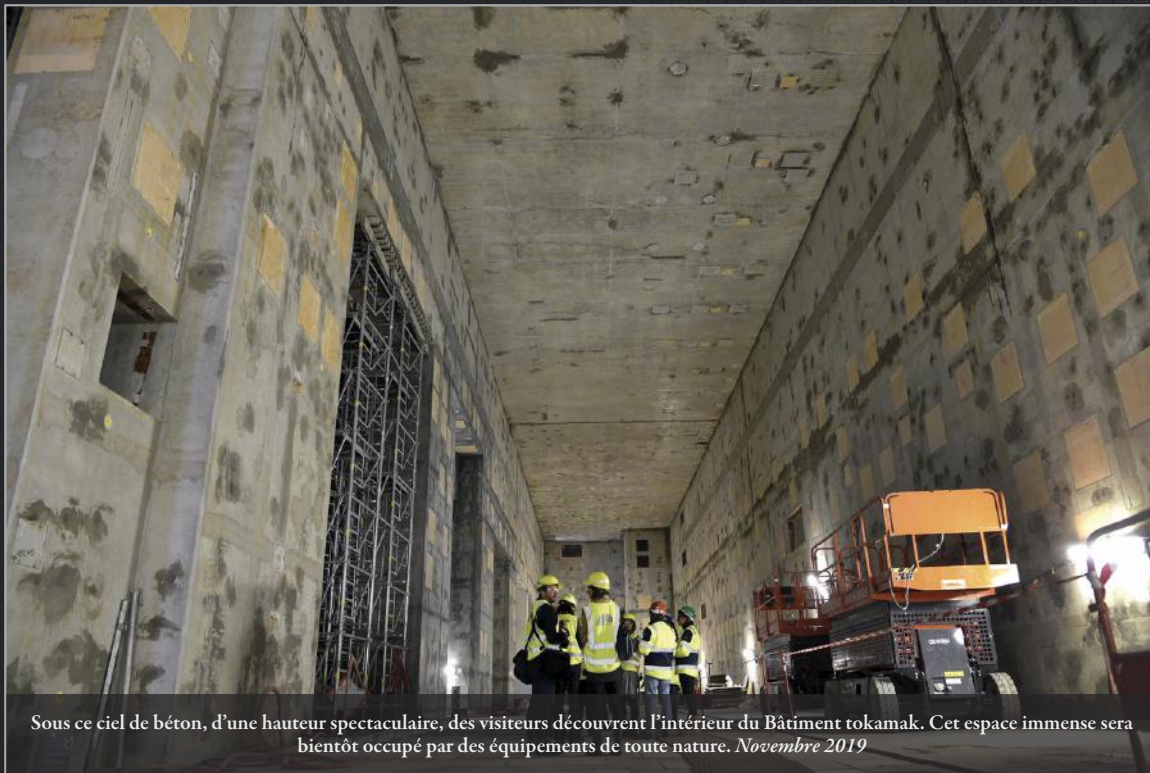
Usinés en Inde, les éléments du cryostat (le « thermos » qui enveloppe la machine) sont assemblés et soudés sur site. Ici, le cylindre supérieur, une pièce de 30 mètres de diamètre et d'un poids de 430 tonnes. *Octobre 2019*



Les pièces d'interface entre la machine et la "couronne" de béton sur laquelle elle repose sont ajustées avec une précision digne de l'horlogerie suisse. *Septembre 2019*



7 novembre 2019 : au terme de six millions d'heures de travail, c'est la dernière coulée de béton pour le Bâtiment tokamak.
Novembre 2019



Sous ce ciel de béton, d'une hauteur spectaculaire, des visiteurs découvrent l'intérieur du Bâtiment tokamak. Cet espace immense sera bientôt occupé par des équipements de toute nature. *Novembre 2019*



ITER ORGANIZATION

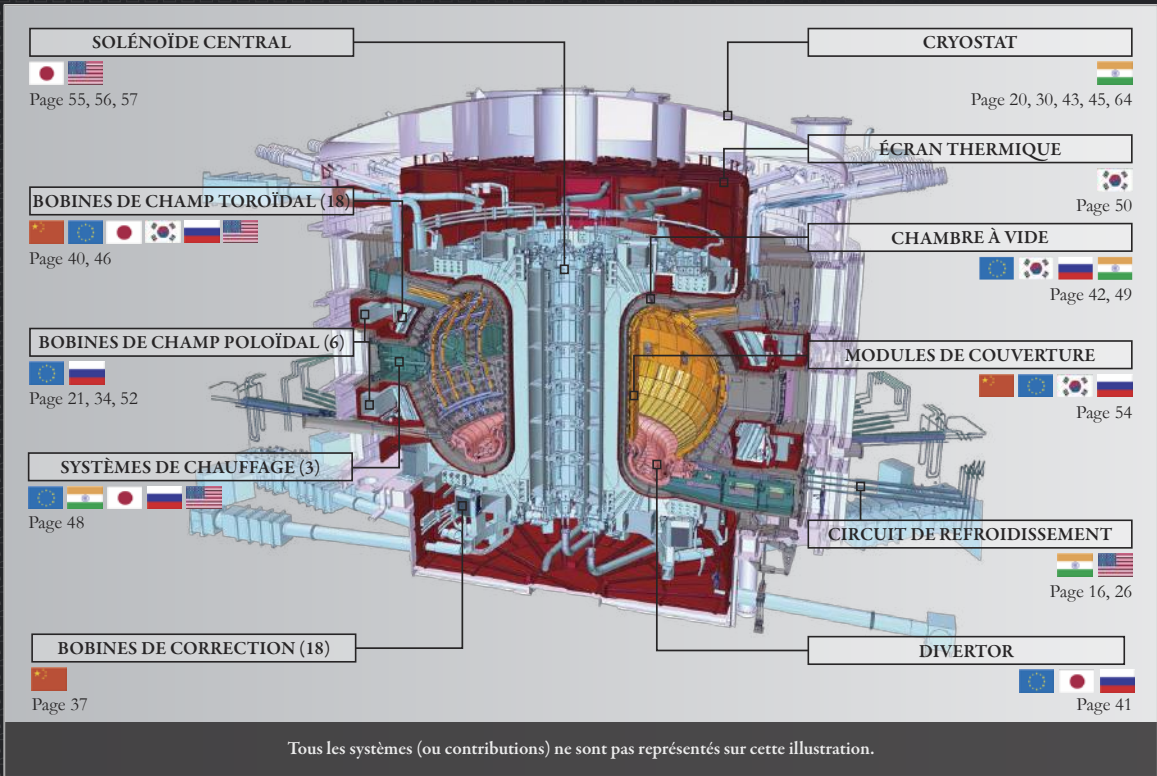
Fabrications

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 États-Unis lui fournissent la quasi-totalité des pièces de la machine et de ses systèmes auxiliaires. 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.



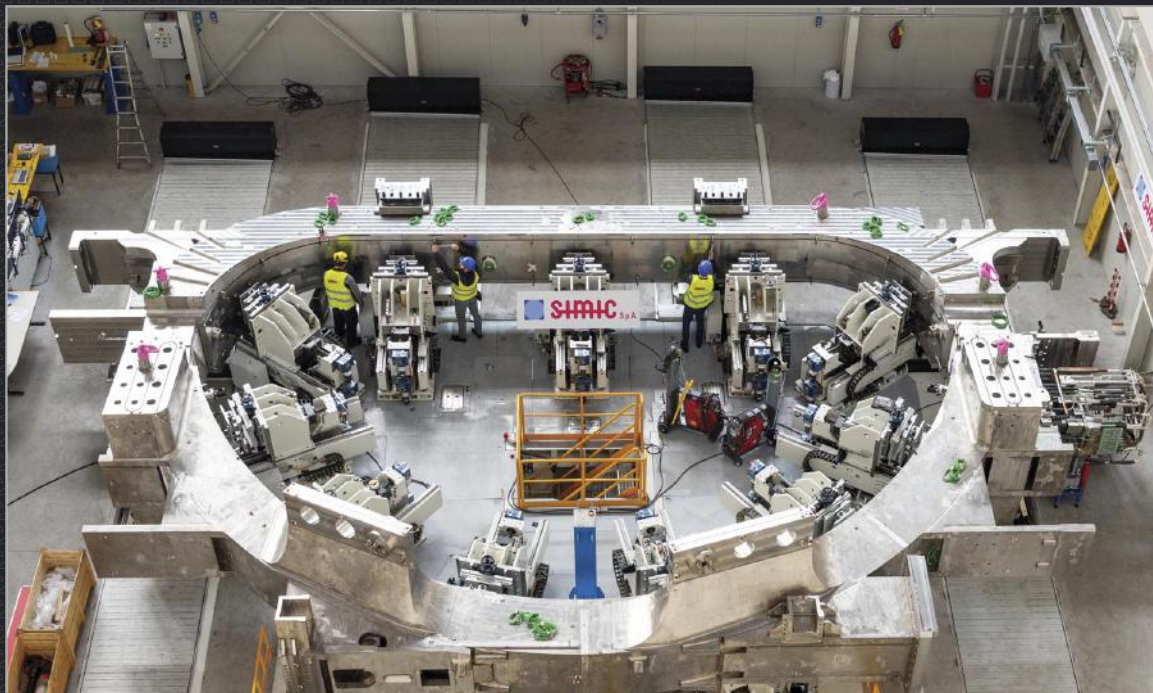


Cette bobine de correction, dont la fabrication est en cours à l'Institut de physique des plasmas de l'Académie des sciences chinoise (ASIPP), permettra d'ajuster précisément le champ magnétique qui confine le plasma.





Cet élément semi-circulaire appartient au système d'alimentation électrique et cryogénique des bobines de correction. Ce convoi est en route vers le port de Shanghai et, de là, vers le site d'ITER.



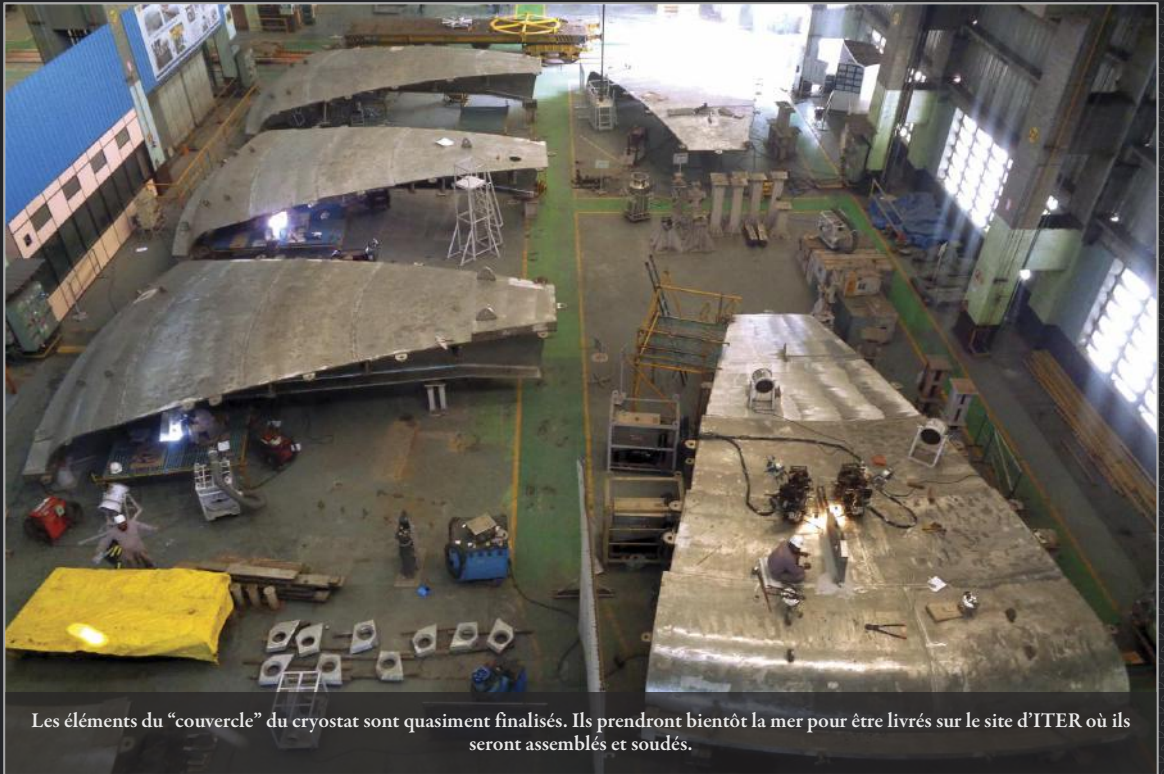
Le bobinage d'un aimant doit s'ajuster très précisément au "boîtier" qui l'enserme. Ici, la première insertion, parfaitement réussie, d'un bobinage réalisé par une société italienne dans un boîtier fourni par l'Agence domestique japonaise.



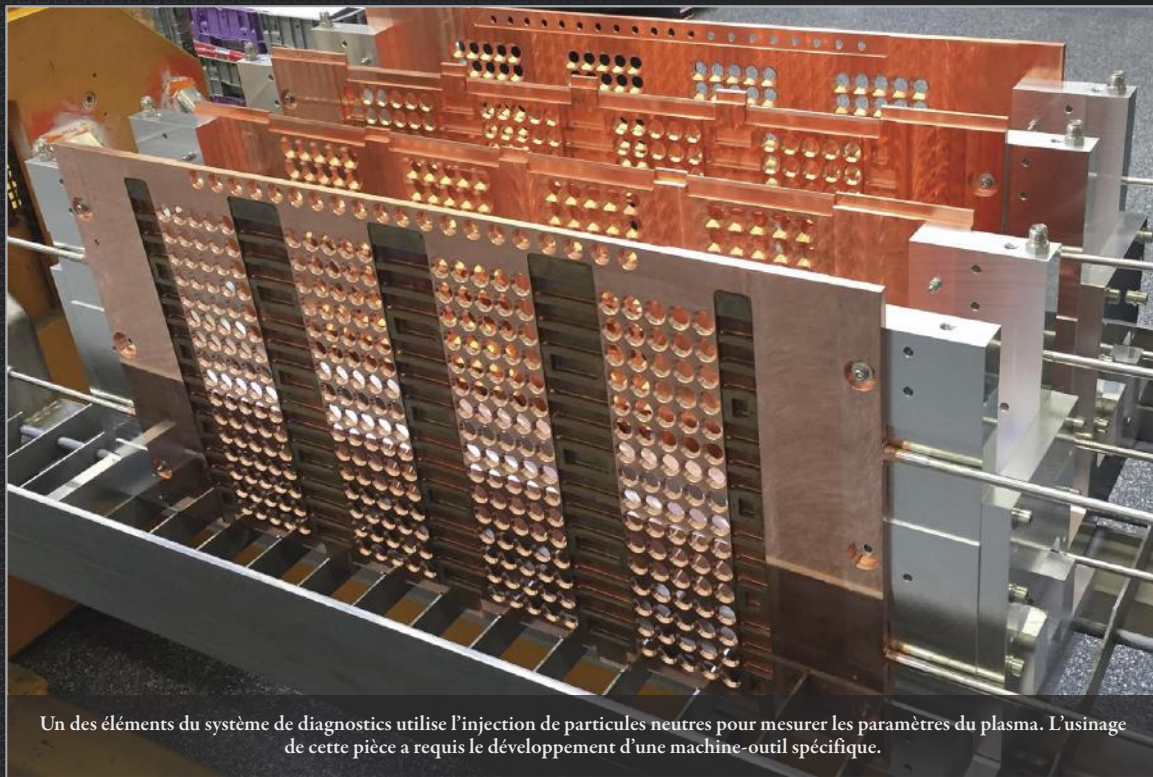
Réalisée en Italie, cette pièce aux formes complexes est un prototype de cassette destinée au divertor de la machine. Le divertor est une structure circulaire, située sur le « plancher » de la chambre à vide et exposée à un intense flux de chaleur.

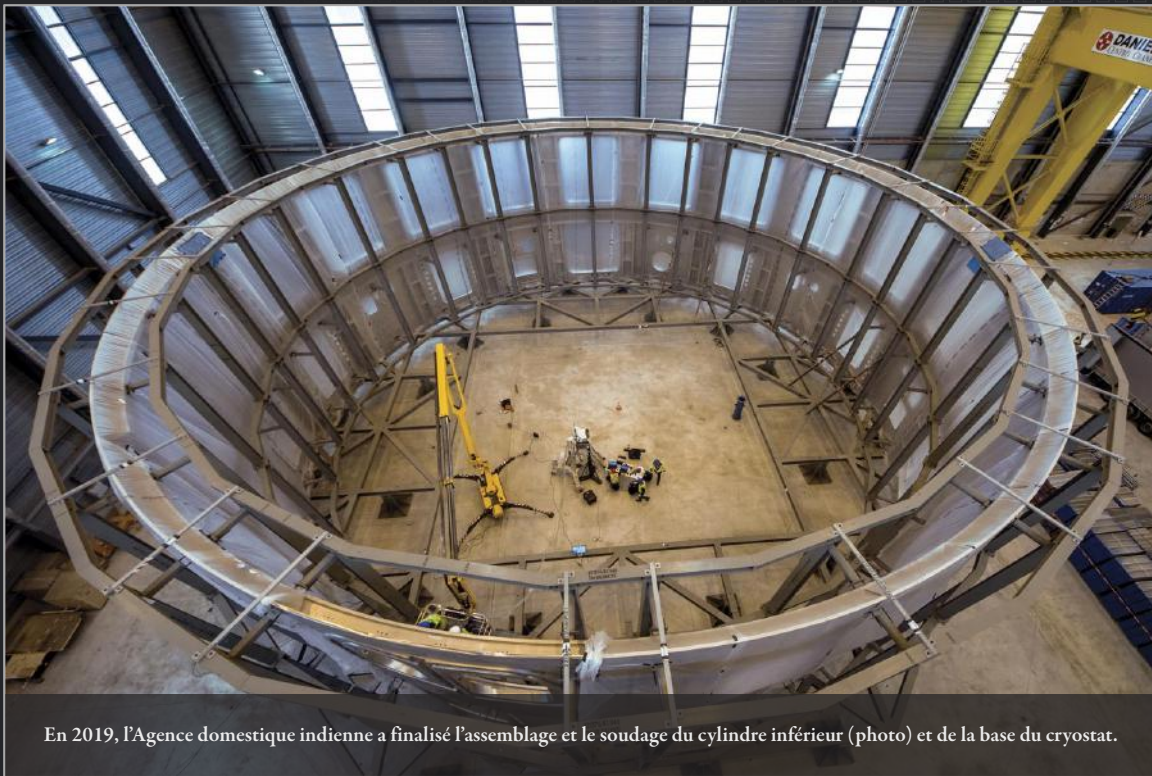


La chambre à vide, au sein de laquelle se produisent les réactions de fusion, est composée de neuf secteurs, dont 5 sont fournis par l'agence européenne Fusion for Energy. Ici, le secteur n°5, en route pour des tests radiographiques.

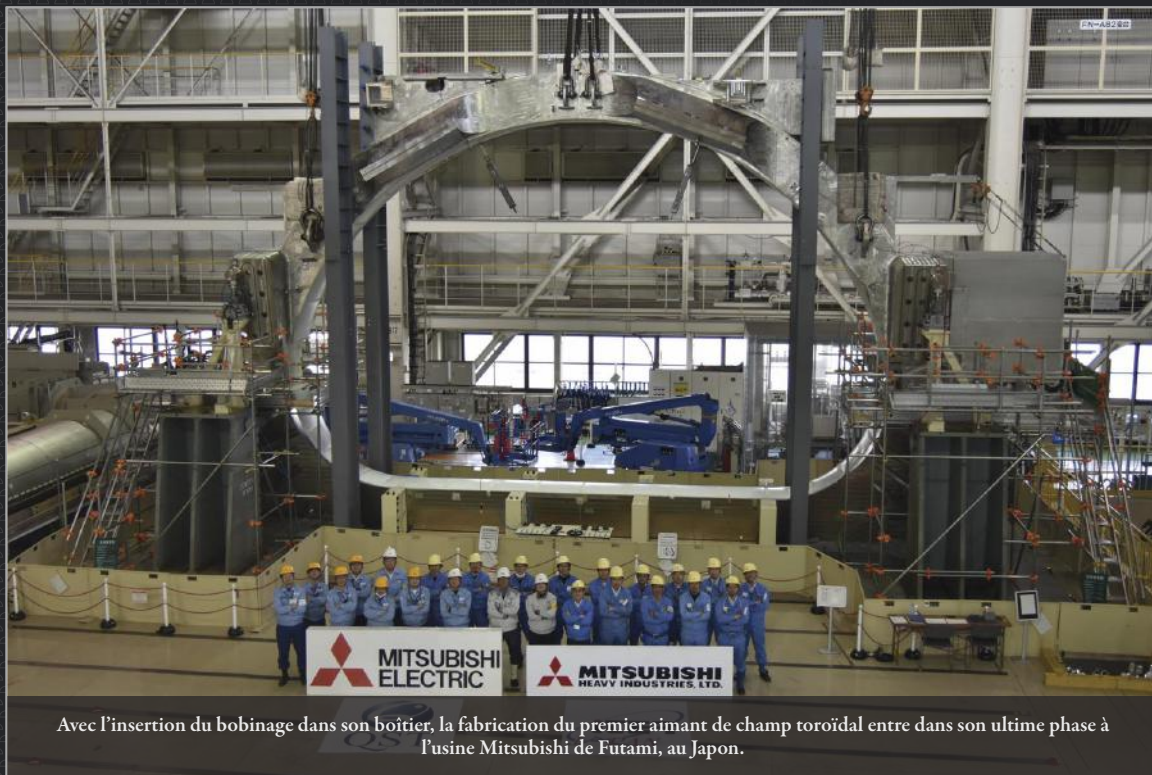


Les éléments du “couvrele” du cryostat sont quasiment finalisés. Ils prendront bientôt la mer pour être livrés sur le site d’ITER où ils seront assemblés et soudés.





En 2019, l'Agence domestique indienne a finalisé l'assemblage et le soudage du cylindre inférieur (photo) et de la base du cryostat.



Avec l'insertion du bobinage dans son boîtier, la fabrication du premier aimant de champ toroïdal entre dans son ultime phase à l'usine Mitsubishi de Futami, au Japon.



Ce bras articulé a été conçu pour serrer les boulons qui attachent les modules de couverture à la paroi interne de la chambre à vide.
Il délivre un couple de 10 kilonewton/mètre (k-Nm).



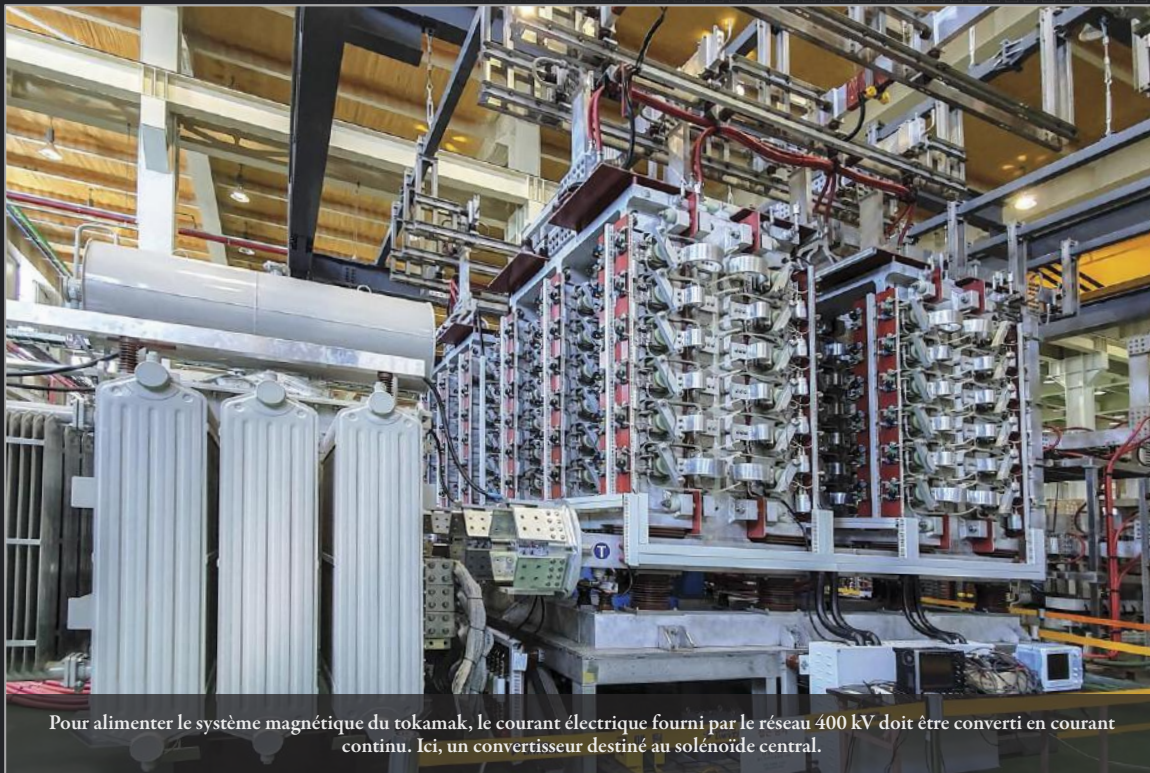
Le chauffage du plasma par résonance électronique cyclotronique est assuré par 24 « gyrotrons », dont 8 sont fournis par le Japon. Quatre sont d'ores et déjà finalisés.



La Corée fournit 4 des 9 secteurs de la chambre à vide du tokamak. La fabrication du secteur n°6 (le premier) approche de son terme au chantier naval de Hyundai Heavy Industries à Ulsan.



Cette pièce aux reflets étincelants est un panneau de bouclier thermique, recouvert d'une fine couche d'argent, destiné au secteur de chambre à vide n°6.



Pour alimenter le système magnétique du tokamak, le courant électrique fourni par le réseau 400 kV doit être converti en courant continu. Ici, un convertisseur destiné au solénoïde central.



Six bobines annulaires ceinturent la chambre à vide du tokamak. Au chantier naval Sredne-Nevisky de Saint-Petersbourg, deux des huit « doubles galettes » qui seront empilées pour former la bobine n°1, la plus petite des six (9 mètres de diamètre).



ITER est une machine expérimentale dans laquelle les systèmes de diagnostics jouent un rôle primordial. Ici, on teste les technologies de fabrication des modules qui, agissant comme un bouclier, protègent les systèmes de diagnostics des rayonnements de la machine.

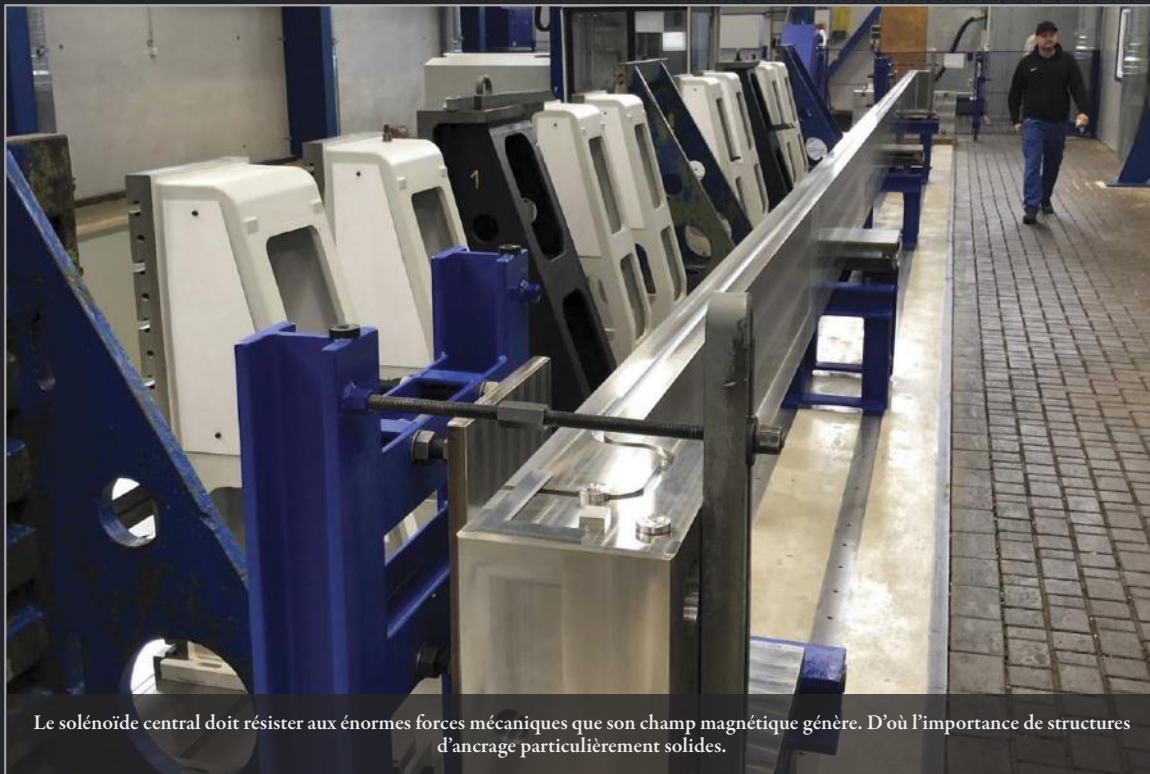


En cas d'incident, les courants électriques générés par le plasma doivent pouvoir être évacués sans endommager l'installation. Ces petites pièces bimétalliques (cuivre et acier) contribuent à créer un « pont électrique » entre les modules de couverture et la chambre à vide.



Tout au long du processus de fabrication, les parties haute et basse des modules du solénoïde central doivent demeurer accessibles. Cet outil de bascule y pourvoit.





Le solénoïde central doit résister aux énormes forces mécaniques que son champ magnétique génère. D'où l'importance de structures d'ancrage particulièrement solides.



ITER ORGANIZATION

L'assemblage, prélude au « premier plasma »

Pour les femmes et les hommes d'ITER, le compte à rebours a commencé : à la fin de l'année 2025, 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 sont engagés dans un nouveau défi : l'assemblage du tokamak, l'intégration des différents éléments de l'installation et les tests ultimes avant la mise en service.

À la fin de l'année 2019, plus de 67% de l'ensemble des tâches indispensables à la production du « premier plasma » (design, construction, fabrication, livraisons, etc.) étaient finalisées.

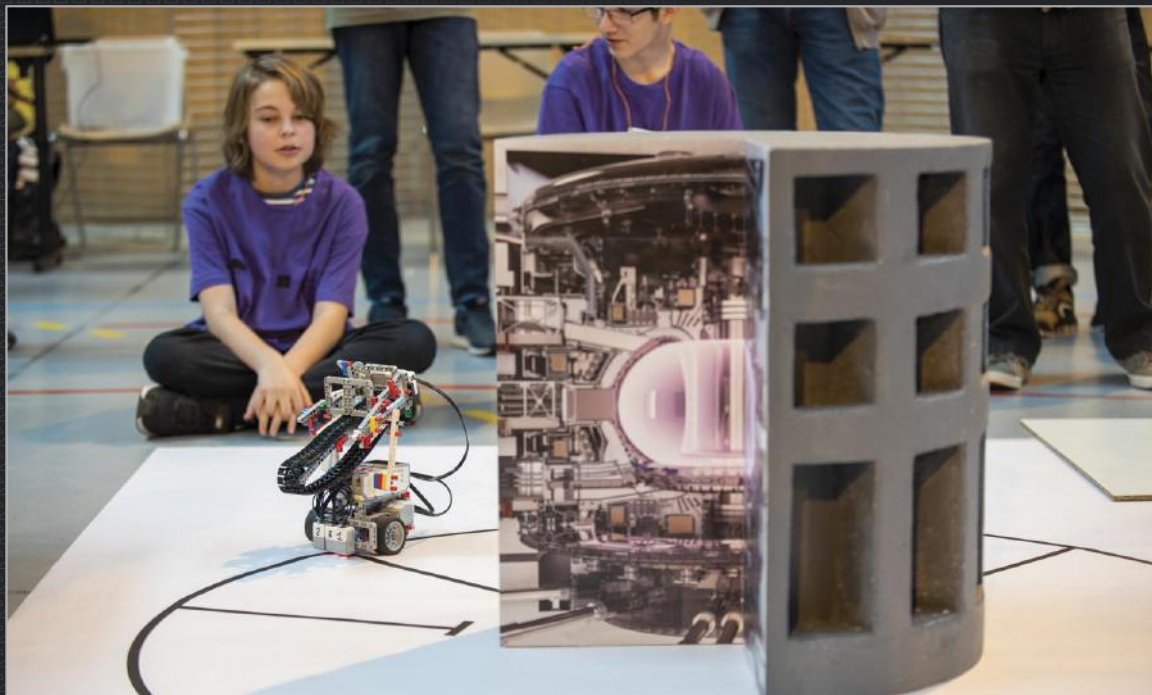
Avec ce « premier plasma », ITER aura accompli un premier pas, décisif, vers son objectif ultime : démontrer que l'énergie de fusion, celle qui alimente le Soleil et les étoiles, peut donner lieu à une production industrielle d'électricité et répondre aux besoins sans cesse croissants de l'humanité.



Le 15 avril, ITER a célébré le 500^e anniversaire de la naissance de Léonard de Vinci, soulignant la continuité entre le génie universel d'un individu et l'exigence d'innovation sur laquelle ITER est fondé.



Deux fois par an, les portes d'ITER s'ouvrent au public ainsi qu'aux familles de ses collaborateurs. Une occasion pour découvrir l'avancée des travaux et rencontrer scientifiques, ingénieurs et techniciens engagés dans le programme.



Désormais labellisé par le ministère de l'Éducation nationale, le concours de robots ITER a rassemblé lors de sa 8^e édition plus de 700 élèves issus d'une cinquantaine d'établissements de la région Sud-Paca.



En marge du Conseil ITER, entouré des chefs de délégation représentant les sept membres du programme, Bernard Bigot s'est engagé pour un deuxième mandat (2020-2025) à la tête d'ITER Organization.



Avec la finalisation de la base et du cylindre inférieur, la fabrication du cryostat est désormais réalisée à 60%. Au mois de juillet, ITER et ses partenaires indiens ont célébré cette étape importante.



Les effectifs d'ITER Organization à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), sont de l'ordre d'un millier de personnes.



Dans le cadre des animations scientifiques organisées dans la région, ces enfants ont découvert les aspects surprenants – et instructifs – des technologies mises en œuvre dans un tokamak.



Au siège d'ITER Organization, la chronologie de la fusion se déploie sur les murs du rez-de-chaussée. Au mois de juin, le directeur général (à droite) a offert aux membres du Conseil une visite guidée.



CRÉDITS PHOTO

Page 0, 5, 8, 13, 15	ITER Organization/EJF Riche
Page 37, 38, 39	ITER China
Page 40	Manuela Schiara and Fabrizio Giraldi
Page 41	Walter Tosto
Page 42	Fusion for Energy
Page 43, 44	ITER India
Page 46, 47, 48	ITER Japan
Page 49, 50, 51	ITER Korea
Page 52, 53, 54	ITER Russia
Page 55	General Atomics
Page 56, 57	US ITER
Page 65	Gérard Lesénéchal

Toutes les autres photos ou illustrations

ITER Organization

Publications Director

Laban Coblentz

laban.coblentz@iter.org

Editors

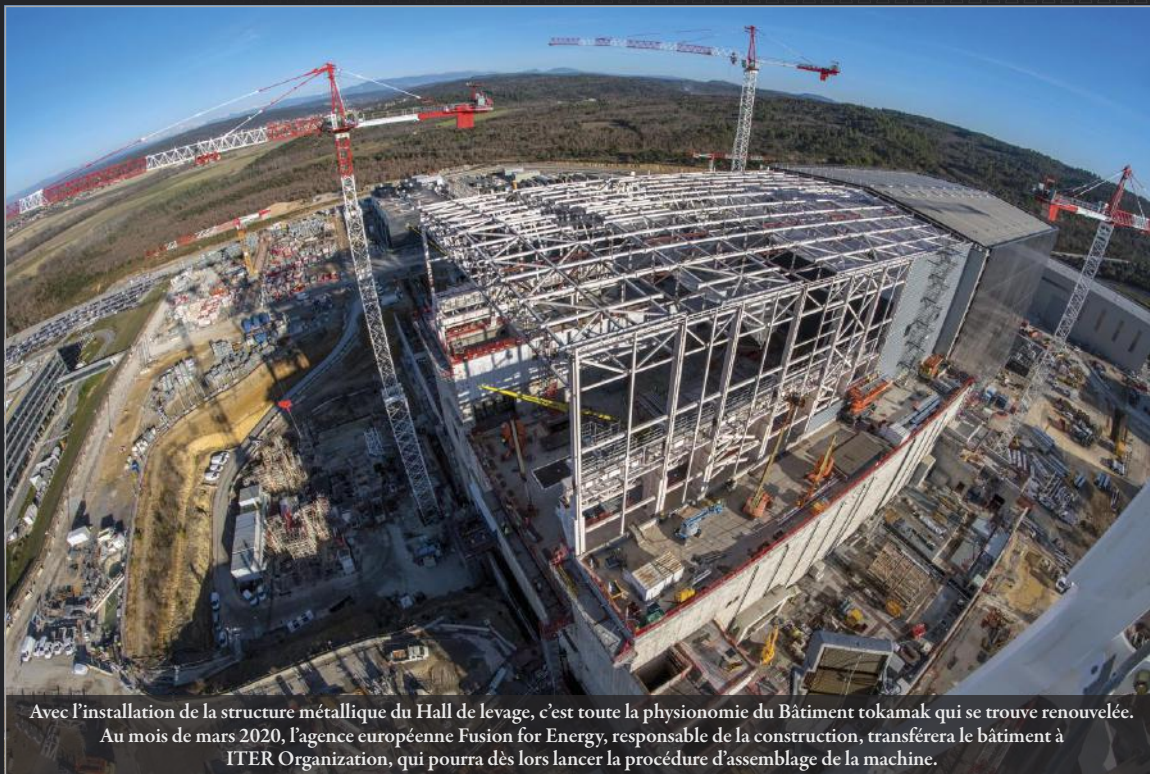
Robert Arnoux

robert.arnoux@iter.org

Krista Dulon

krista.dulon@iter.org

www.iter.org



Avec l'installation de la structure métallique du Hall de levage, c'est toute la physionomie du Bâtiment tokamak qui se trouve renouvelée. Au mois de mars 2020, l'agence européenne Fusion for Energy, responsable de la construction, transférera le bâtiment à ITER Organization, qui pourra dès lors lancer la procédure d'assemblage de la machine.

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

© ITER Organization, Février 2020

www.iter.org

