# ITER
# CONSTRUCTION ET FABRICATIONS

LES ANNÉES 2013 – 2020 EN IMAGES

iter
china eu india japan korea russia usa

iter
china eu india japan korea russia usa

china eu india japan korea russia usa

# ITER
## CONSTRUCTION ET FABRICATIONS

# 2013 — 2020

# UNE ÉTOILE VA NAÎTRE

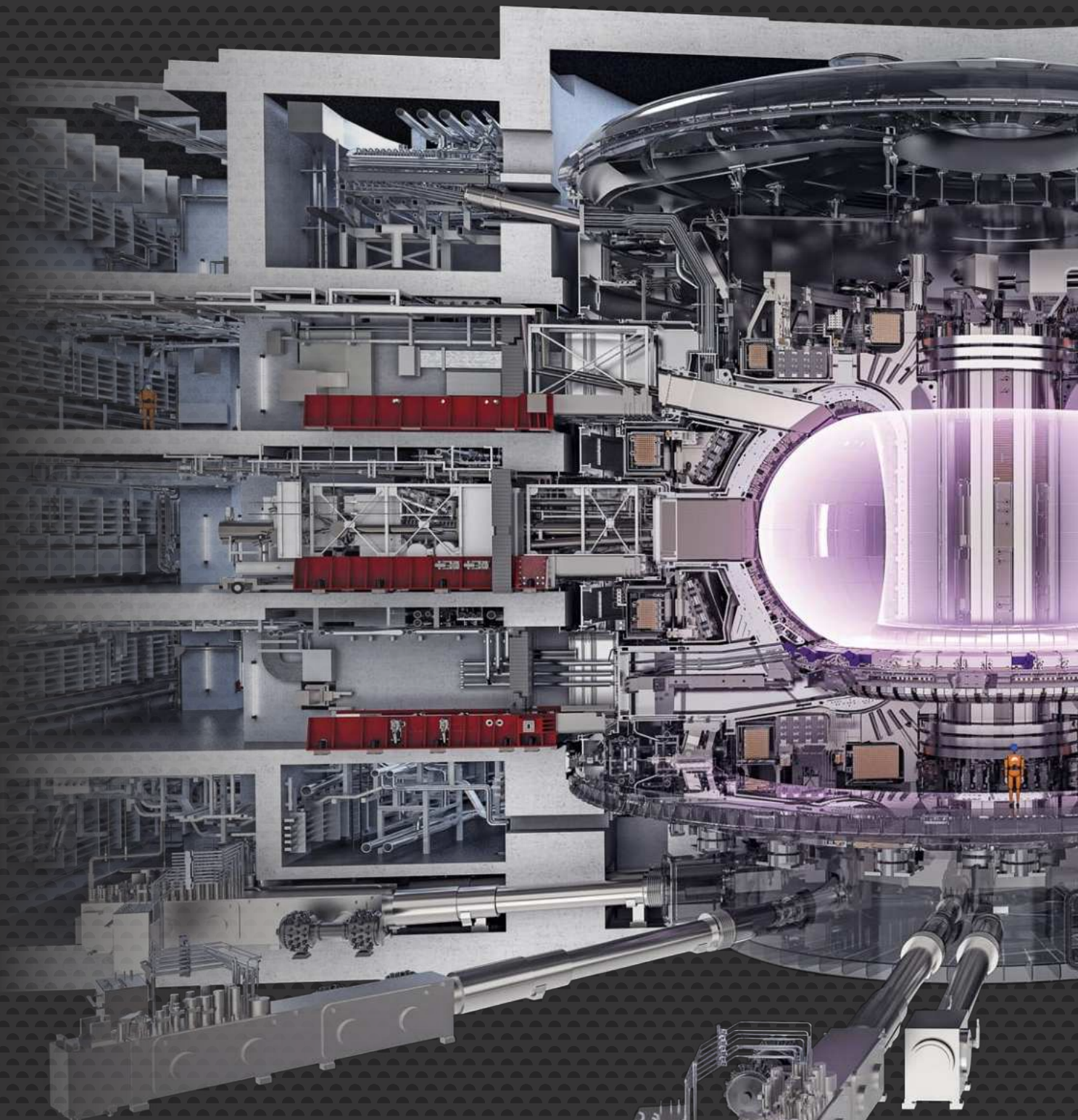
**Une étoile va naître, conçue et créée par l'intelligence, la technologie et la persévérance des hommes.**

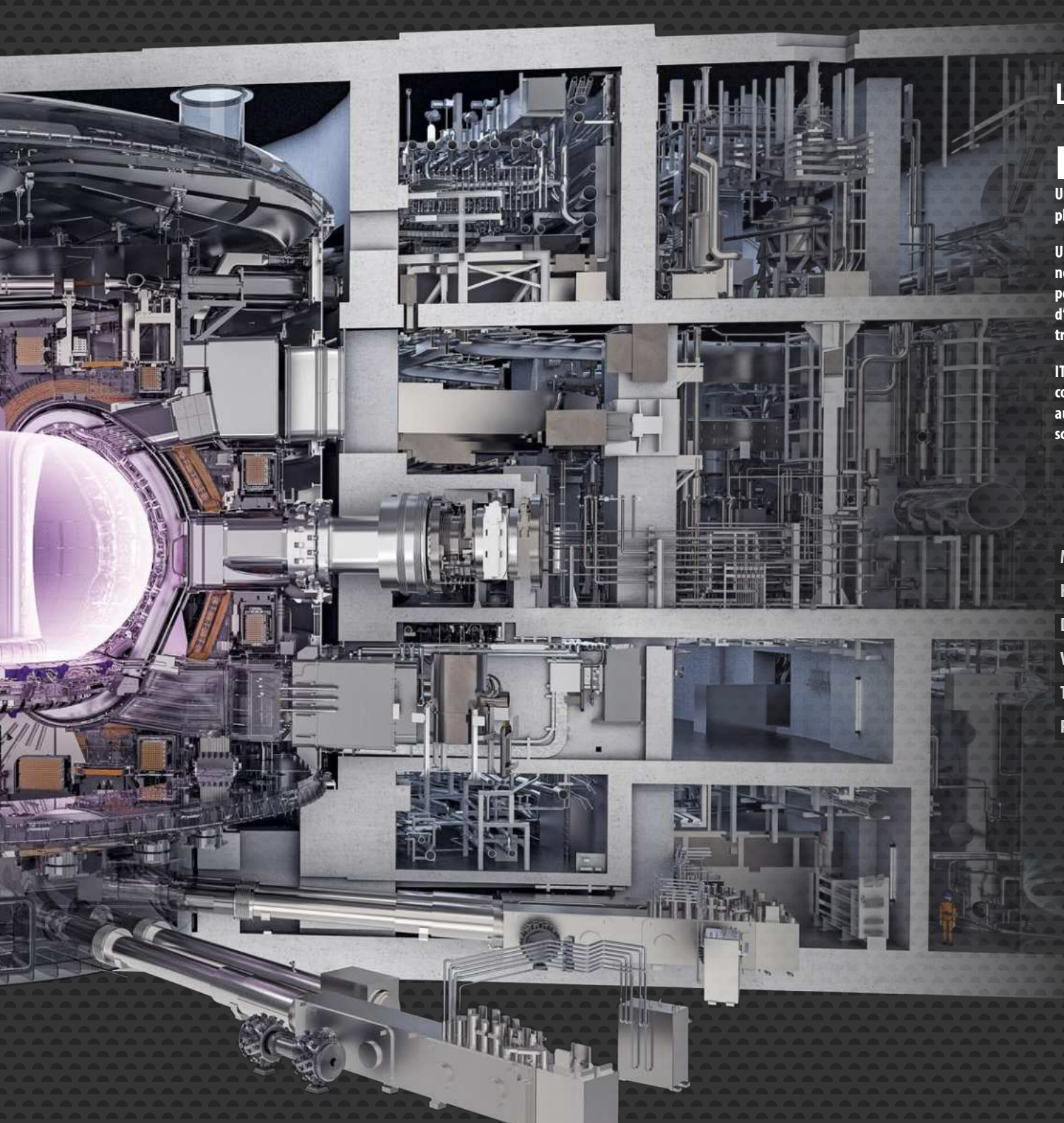
**Quand ITER (« le chemin » en latin) commencera à briller au milieu de la décennie, l'humanité entrera dans une ère nouvelle. Un premier pas, décisif et indispensable, aura été accompli vers la maîtrise d'une source d'énergie – la fusion de l'hydrogène – virtuellement inépuisable, sûre et respectueuse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

**Au cours des sept années écoulées (2013-2020) l'évolution du chantier de construction, à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône) et l'avancement des fabrications dans les usines et les laboratoires des partenaires du programme ont été spectaculaires.**

**À l'heure où ITER aborde la phase d'assemblage de la machine, ce livre vous invite à partager une entreprise scientifique, technologique, industrielle et humaine sans équivalent dans l'histoire – celle des hommes et des femmes de 35 nations qui œuvrent à s'approprier le feu des étoiles.**





# LE TOKAMAK ITER

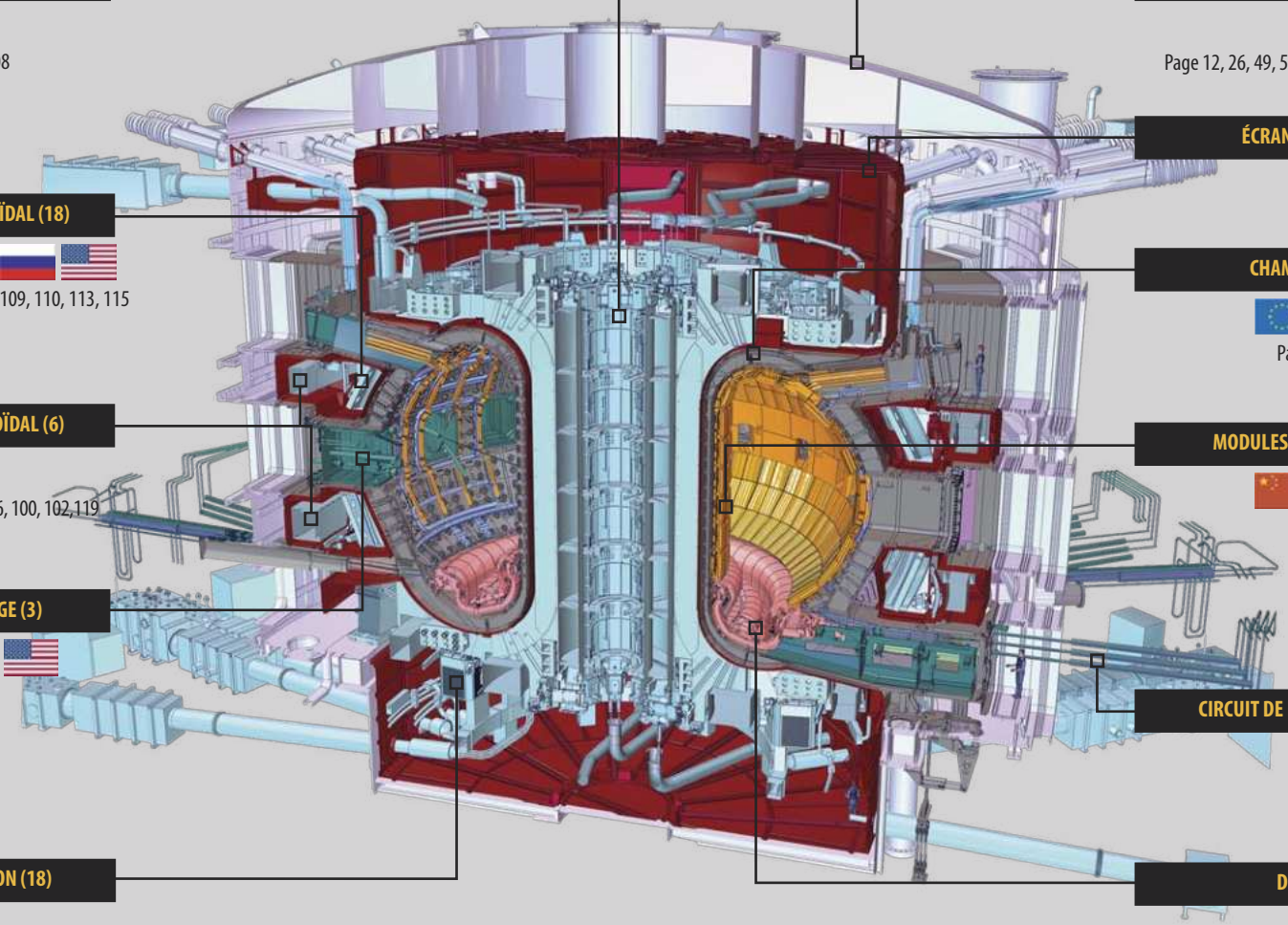
ITER est un tokamak, un acronyme russe qui signifie chambre toroïdale, bobines magnétiques. Développés au cours des années 1950-1960 en Union soviétique, les tokamaks sont aujourd'hui les machines de fusion les plus abouties et les plus performantes.

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 |

# QUI FABRIQUE QUOI ?



**SOLÉNOÏDE CENTRAL**

Page 17, 29, 43, 54, 57, 92, 101, 108

**BOBINES DE CHAMP TOROÏDAL (18)**

Page 13, 17, 27, 39, 40, 70, 97, 99, 109, 110, 113, 115

**BOBINES DE CHAMP POLOÏDAL (6)**

Page 10, 15, 34, 42, 46, 65, 72, 91, 96, 100, 102, 119

**SYSTÈMES DE CHAUFFAGE (3)**

Page 28

**BOBINES DE CORRECTION (18)**

**CRYOSTAT**

Page 12, 26, 49, 53, 88, 105, 106, 107, 115, 116

**ÉCRAN THERMIQUE**

Page 41, 90, 103

**CHAMBRE À VIDE**

Page 11, 15, 55, 67, 71, 98, 117

**MODULES DE COUVERTURE**

Page 68, 89

**CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT**

Page 79, 82

**DIVERTOR**

Page 25, 69, 87

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

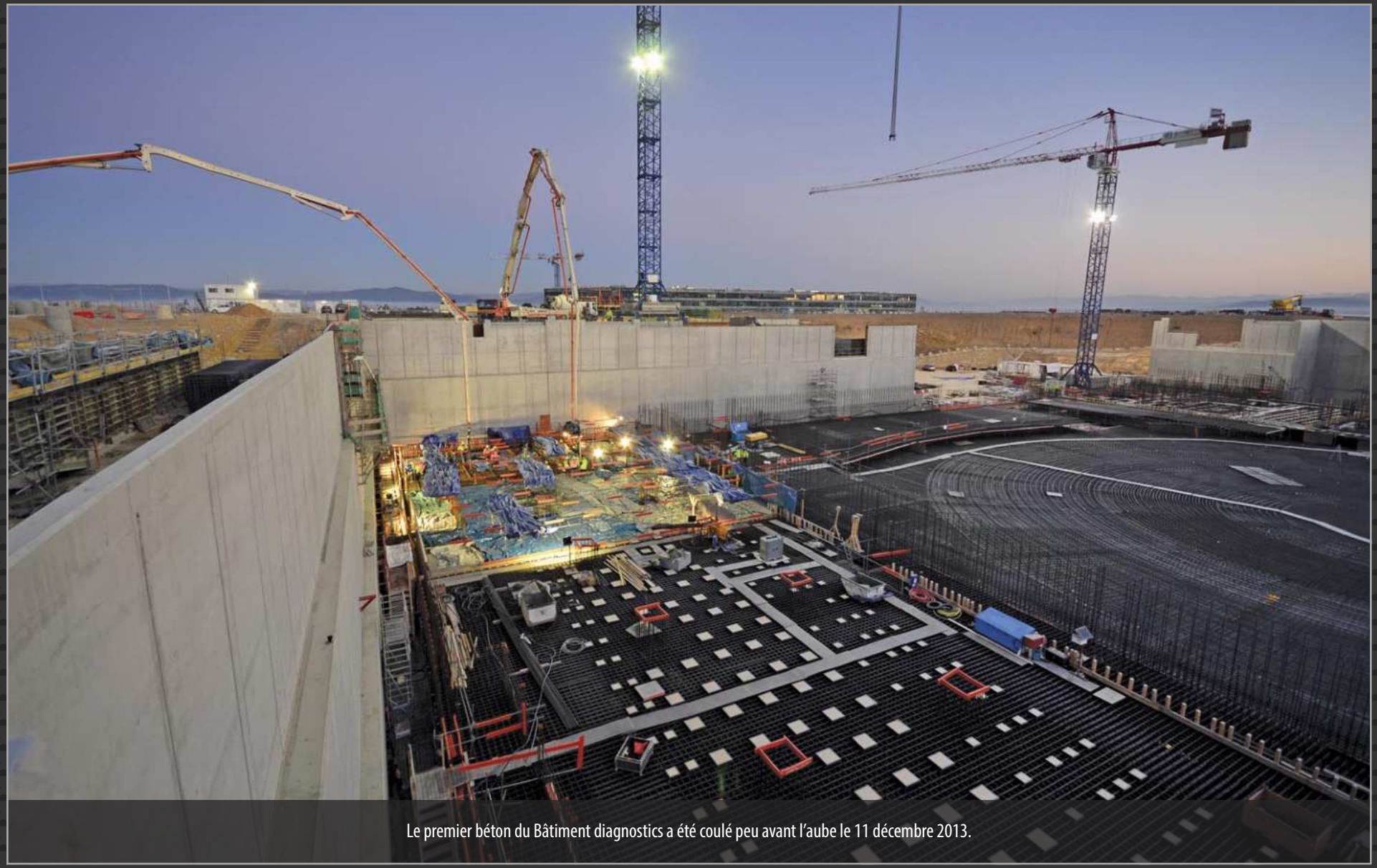
# UNE PLATEFORME DE 42 HECTARES

Le 28 juin 2005, les membres d'ITER ont unanimement choisi le site proposé par l'Europe : un espace de 180 hectares dans la vallée de la Durance, à 75 kilomètres au nord de Marseille. Les travaux d'aménagement ont débuté au mois de janvier 2007. Deux ans plus tard, une plateforme de 42 hectares était aménagée et dès le mois d'août 2010, la construction des premiers bâtiments était lancée.

# 16 BÂTIMENTS EN COURS DE CONSTRUCTION

En 2014, quatre ans après le début du chantier, 16 bâtiments étaient en cours de construction sur la plateforme.

# PREMIER BÉTON POUR LE BÂTIMENT DIAGNOSTICS

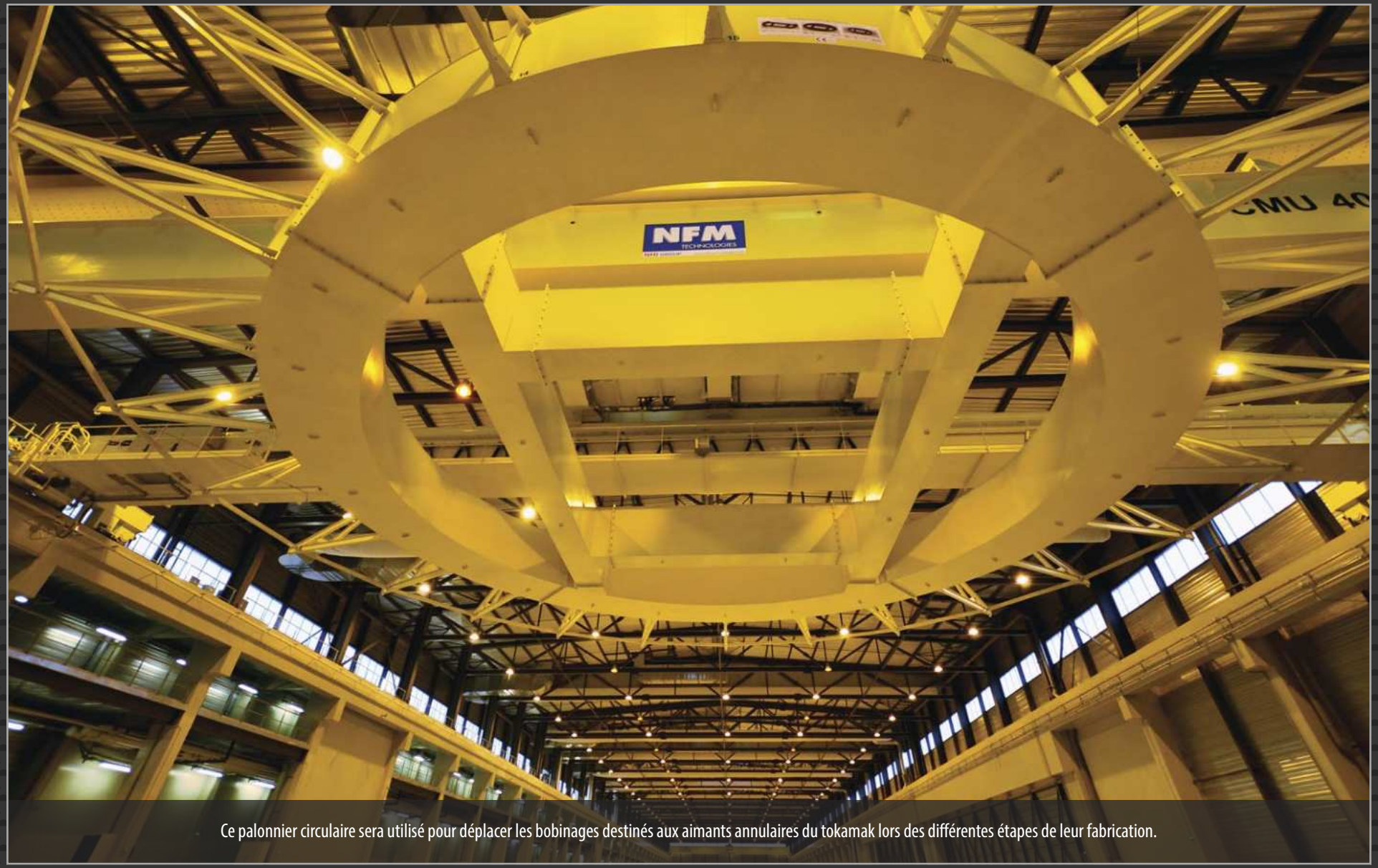


Le premier béton du Bâtiment diagnostics a été coulé peu avant l'aube le 11 décembre 2013.

# UN FERRAILLAGE PARTICULIÈREMENT COMPLEXE

Au centre du radier de la fosse sismique, sur lequel reposera le tokamak, la géométrie du ferraillage est particulièrement complexe.

# UN PALONNIER POUR LES BOBINES




Ce palonnier circulaire sera utilisé pour déplacer les bobinages destinés aux aimants annulaires du tokamak lors des différentes étapes de leur fabrication.

# DES CÂBLES-TEST POUR COMMENCER

Le système magnétique du tokamak intègre près de 2 800 tonnes de câbles supraconducteurs. Avant de lancer la fabrication, les procédés industriels doivent être testés et validés avec des câbles factices (ici, en provenance de Chine).

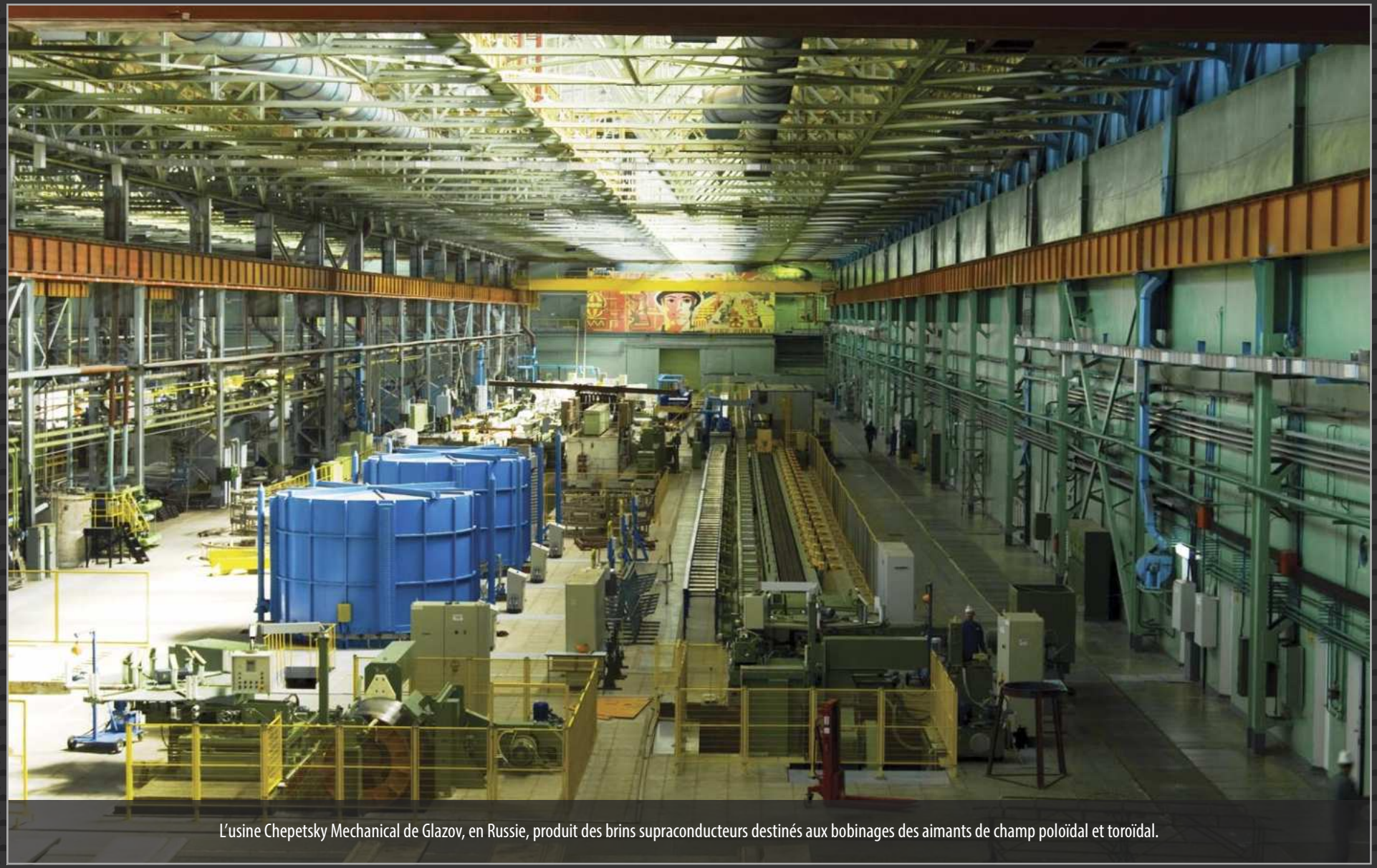
# UN PROTOTYPE POUR LA CHAMBRE À VIDE

Le prototype à échelle 1/3 d'un secteur de chambre à vide est en cours de test en Italie. L'Europe est responsable de la fabrication de cinq des neufs secteurs qui constituent la chambre à vide, au sein de laquelle se produisent les réactions de fusion.

# UN THERMOS POUR LA MACHINE

Fourni par l'Inde, le cryostat enveloppe la machine et agit comme un thermos. La fabrication des premières pièces-prototype à échelle 1/1 est en cours dans les ateliers de Larsen & Toubro Ltd.

# UNE FABRIQUE DE BRINS SUPRACONDUCTEURS

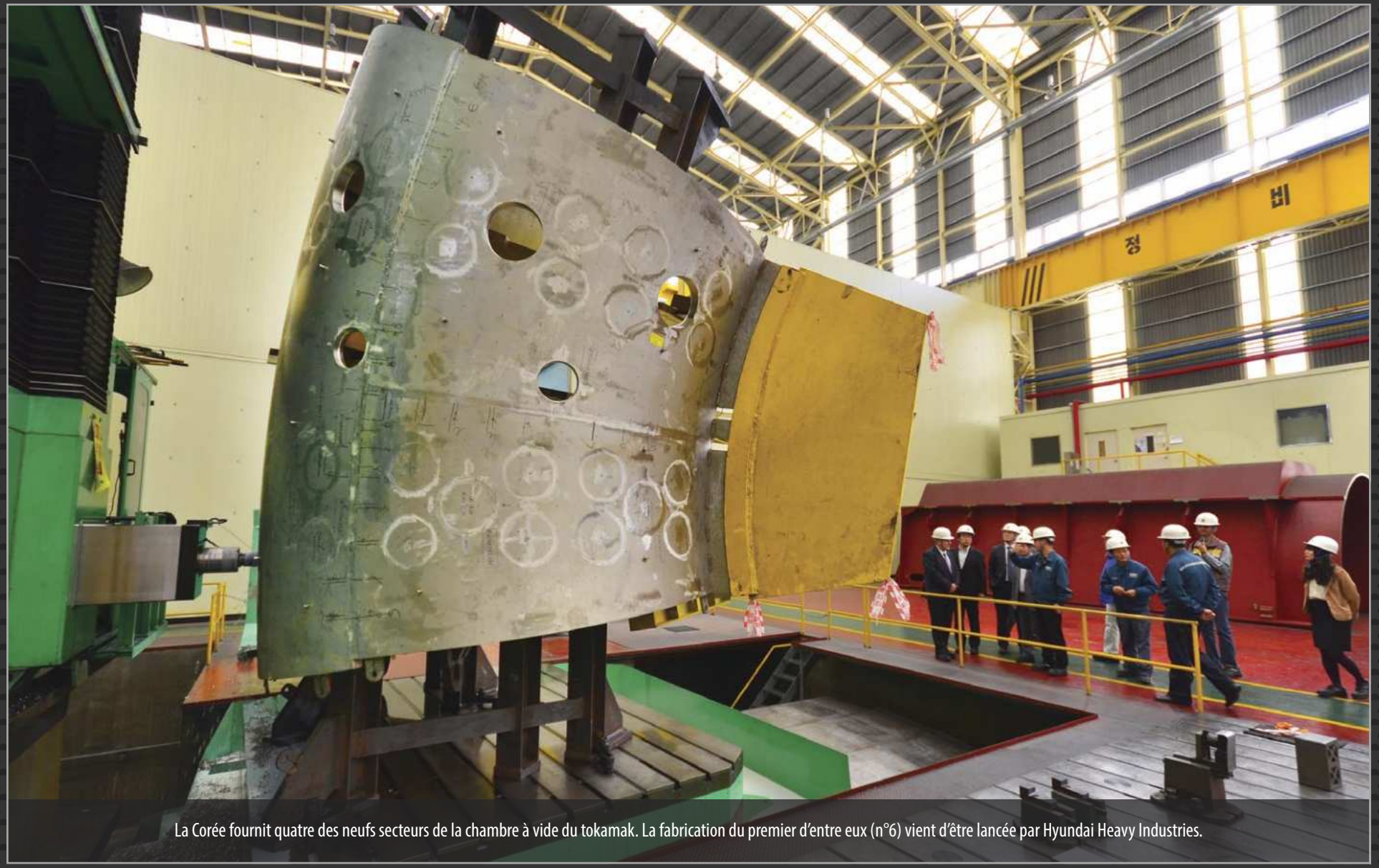


L'usine Chepetsky Mechanical de Glazov, en Russie, produit des brins supraconducteurs destinés aux bobinages des aimants de champ poloïdal et toroïdal.

# UN PREMIER TEST POUR L'ITINÉRAIRE

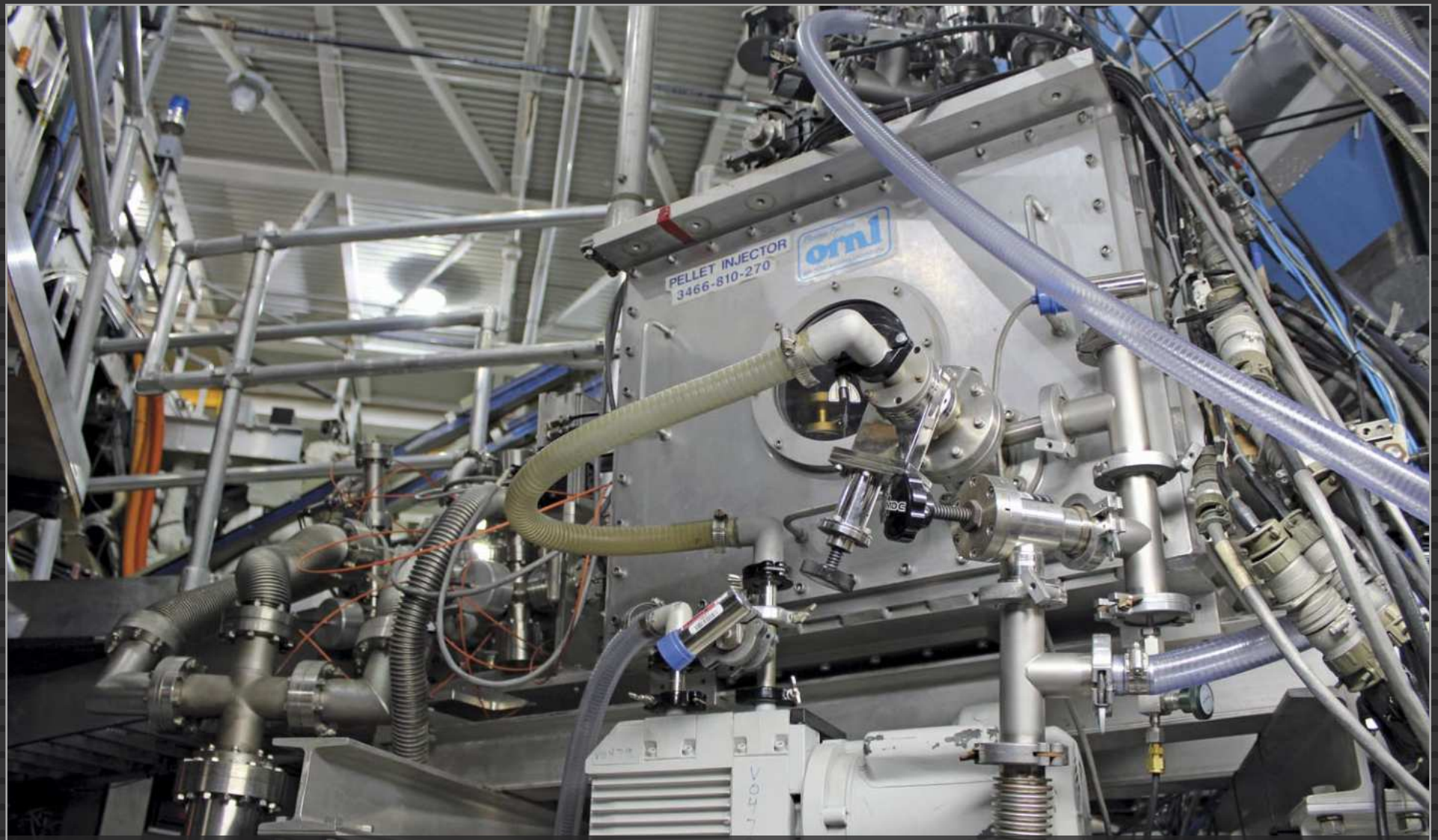
Une centaine de kilomètres séparent le site d'ITER du port de Marseille-Fos où sont déchargées les plus volumineuses des pièces de la machine. L'itinéraire dédié que la France a aménagé a été testé avec une charge de 600 tonnes.

# LA FABRICATION DE LA CHAMBRE À VIDE EST LANCÉE



La Corée fournit quatre des neufs secteurs de la chambre à vide du tokamak. La fabrication du premier d'entre eux (n°6) vient d'être lancée par Hyundai Heavy Industries.

# DES GLAÇONS POUR COMBUSTIBLE

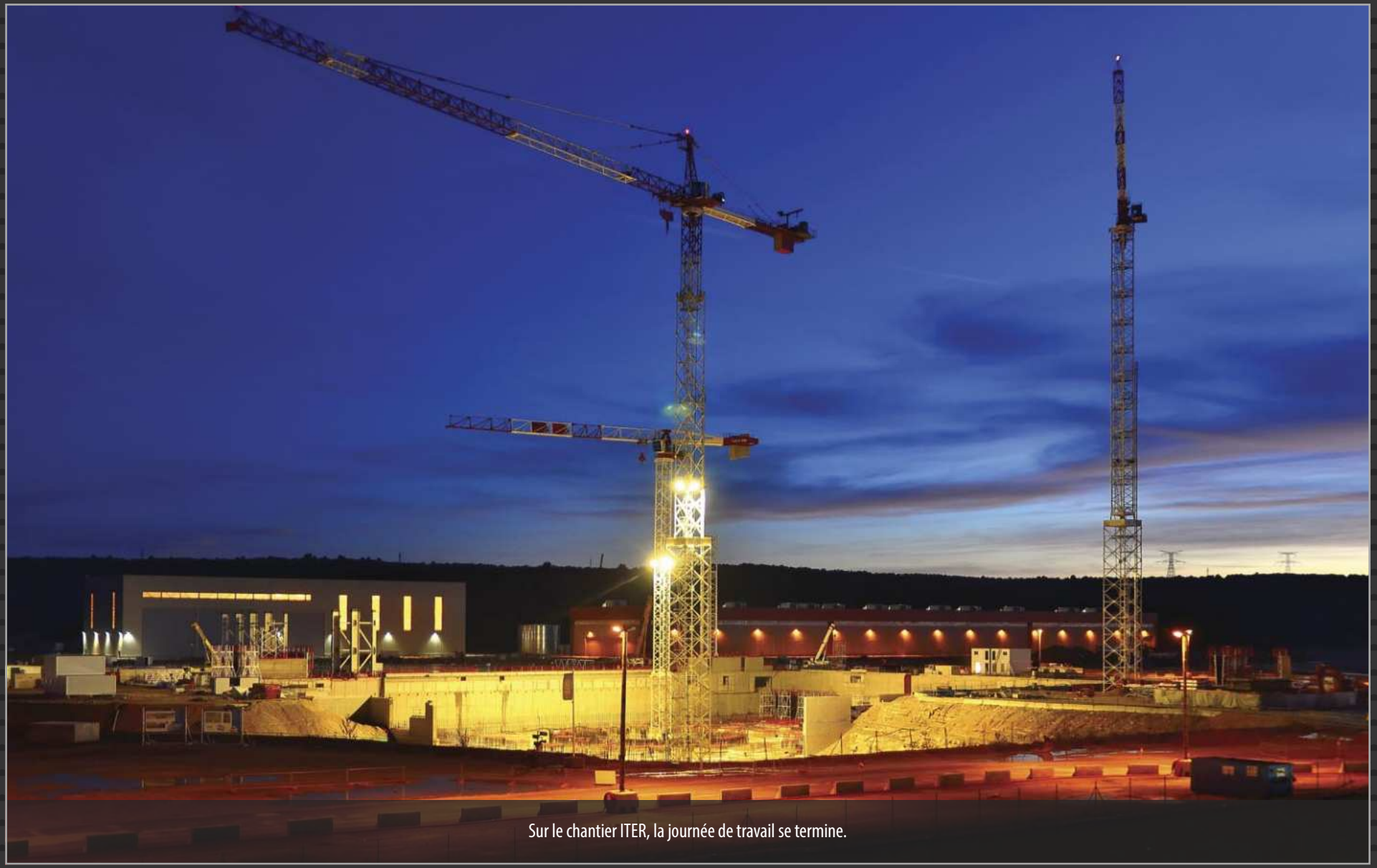



Porté à la température de 150 millions de degrés, le plasma sera alimenté en combustible par de minuscules glaçons de deutérium-tritium. Ici, un injecteur de glaçons développé par le laboratoire de Oak Ridge, aux États-Unis, est en cours de test sur le tokamak DIII-D.

# DE LA « BILLETTE » AUX BRINS

Les brins de niobium-étain destinés aux bobinages du solénoïde central et des aimants de champ toroïdal sont obtenus à partir de « billettes » de 40 à 100 kilos. (Ici dans les ateliers de JASTEC, au Japon).

# NOCTURNE

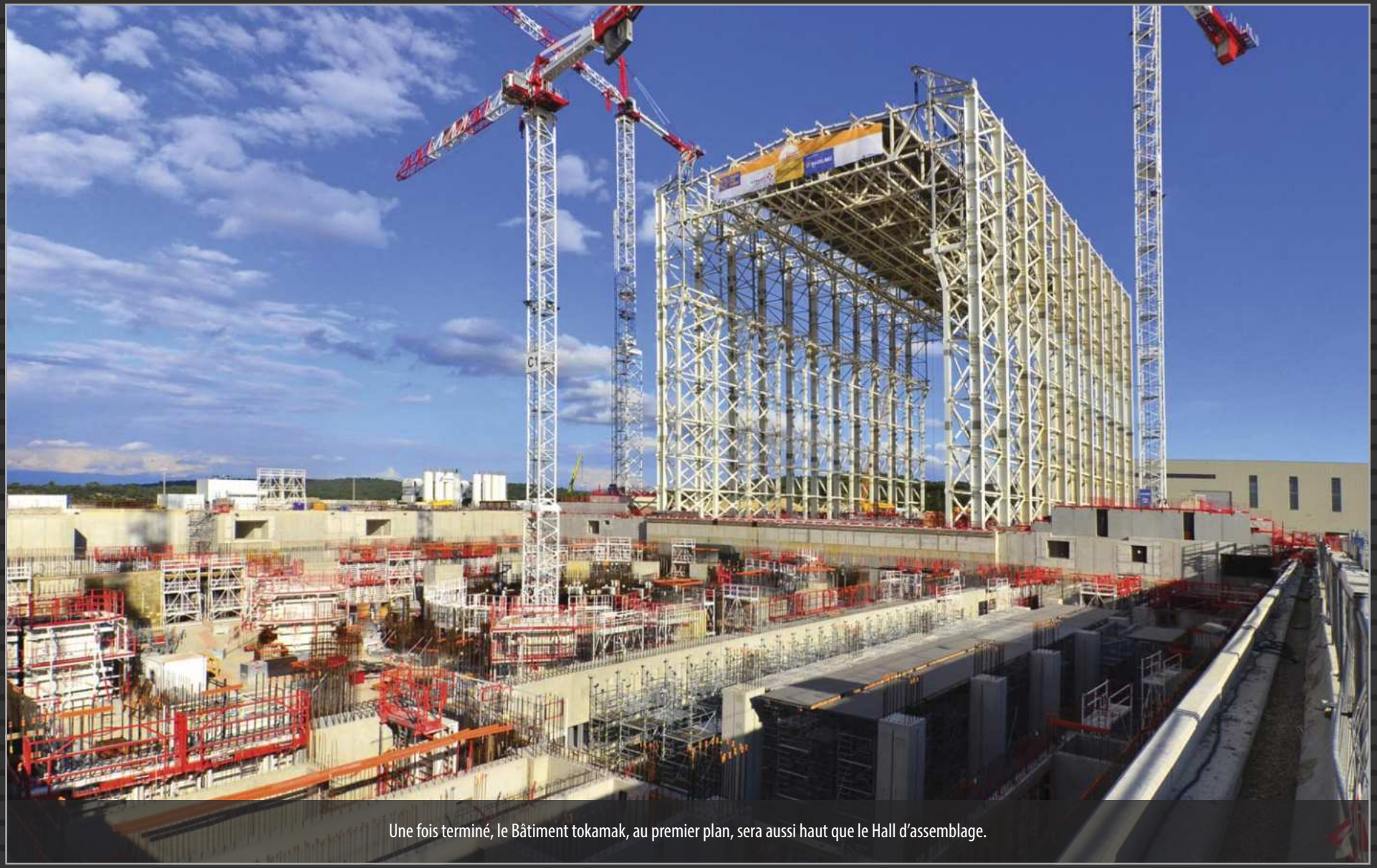


Sur le chantier ITER, la journée de travail se termine.

# LE PLUS HAUT DES BÂTIMENTS

La structure métallique du Hall d'assemblage, culminant à 60 mètres, est désormais en place. C'est ici dans ce vaste bâtiment que seront réalisées les activités de pré-assemblage des principaux éléments de la machine.

# LE CŒUR DE L'INSTALLATION



Une fois terminé, le Bâtiment tokamak, au premier plan, sera aussi haut que le Hall d'assemblage.

# CINQ CUVES MADE IN USA

Fourni par les États-Unis, un des cinq réservoirs de drainage destinés au système de refroidissement du tokamak vient d'être livré sur site.

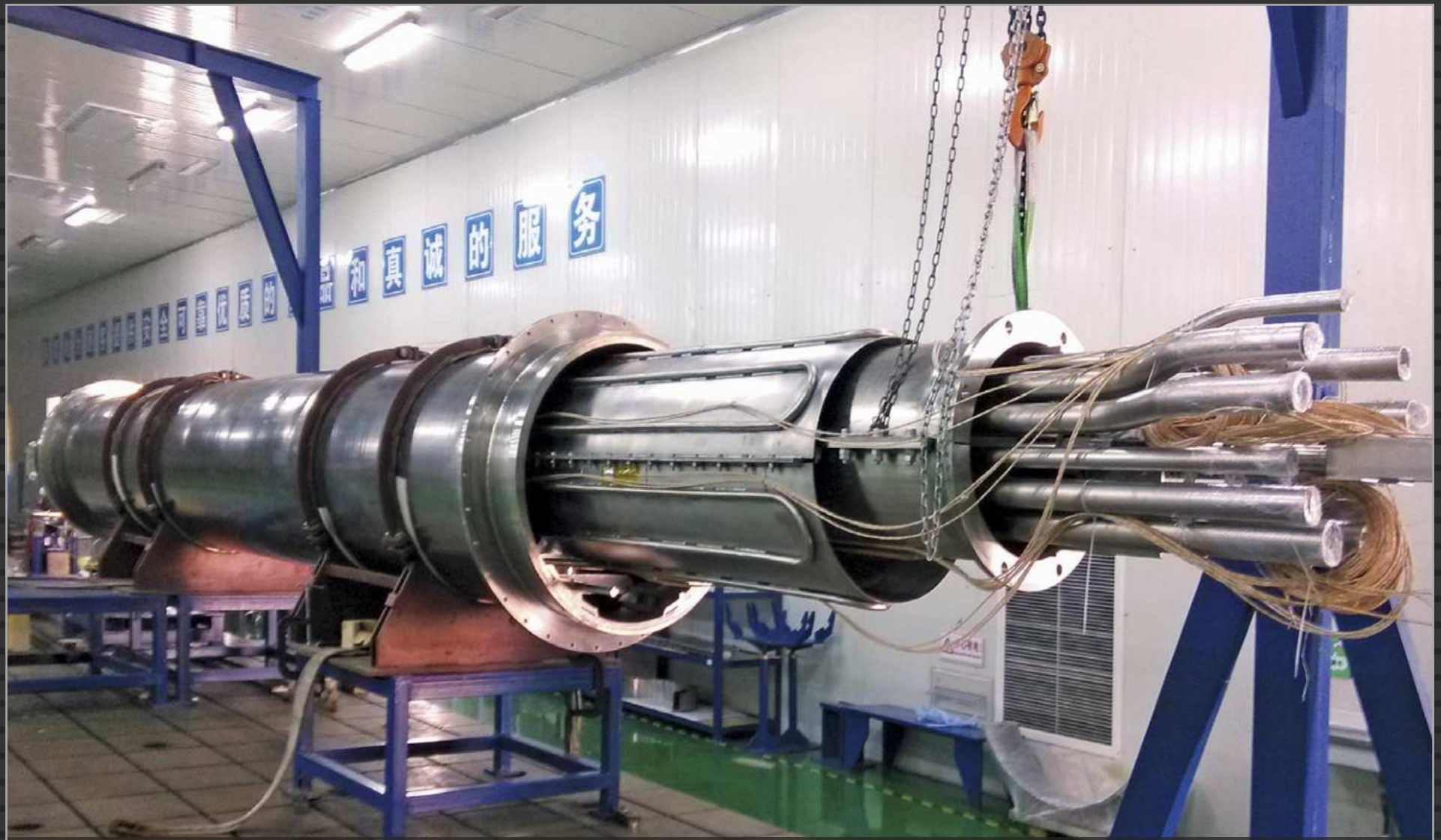
# COMMENT LES NATIONS COLLABORENT

Au mois de mars 2015, le Français Bernard Bigot (5e depuis la droite) a été nommé directeur général d'ITER. L'*Executive Project Board* qu'il a mis en place renforce la collaboration avec les Agences domestiques.

# ENTRÉE LIBRE

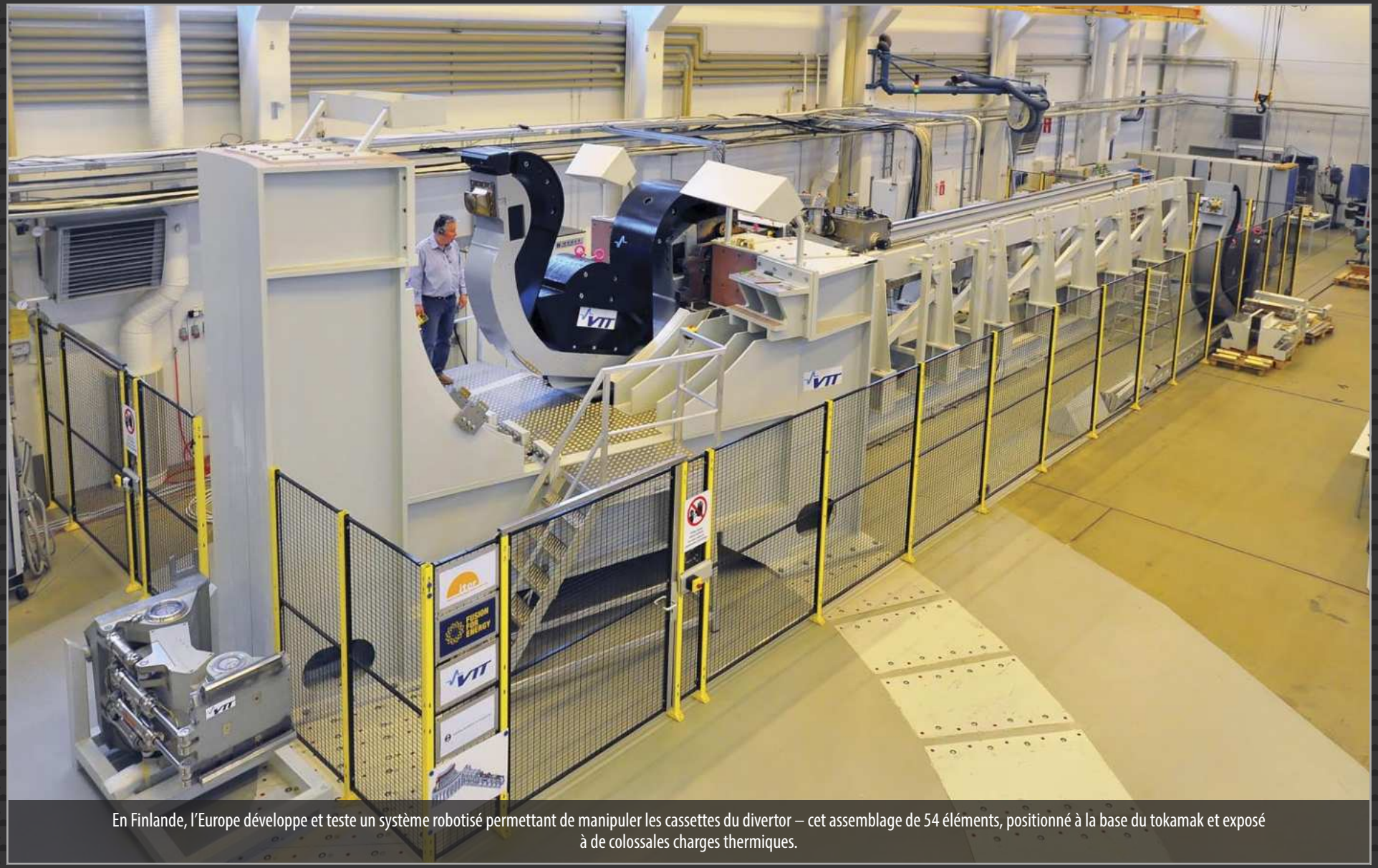
Deux fois par an, ITER ouvre grand ses portes au public – l'occasion de découvrir l'installation, de rencontrer et de questionner ceux qui l'ont conçue et la construisent.

# NOURRIR ET AUSCULTER




Refroidissement, alimentation électrique, instrumentation, tout passe par ces éléments complexes appelés *cryostat feedthroughs*. Ici, un prototype d'une longueur de 10 mètres est en cours de test à l'Institut de physique des plasmas de l'Académie des sciences chinoise (ASIPP).

# UN ROBOT POUR LES CASSETTES

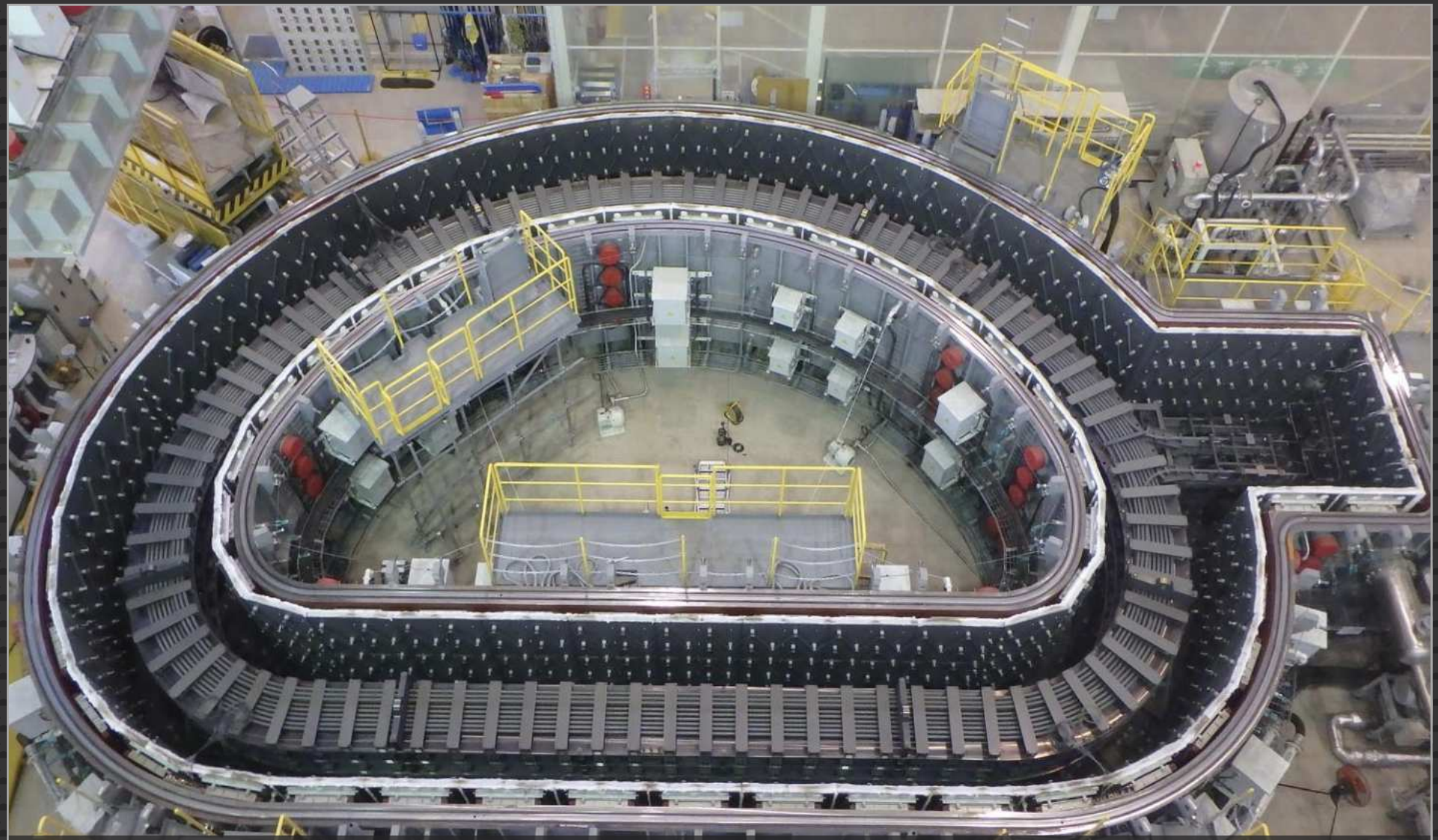



En Finlande, l'Europe développe et teste un système robotisé permettant de manipuler les cassettes du divertor – cet assemblage de 54 éléments, positionné à la base du tokamak et exposé à de colossales charges thermiques.

# PARÉ POUR LE DÉCOLLAGE ?

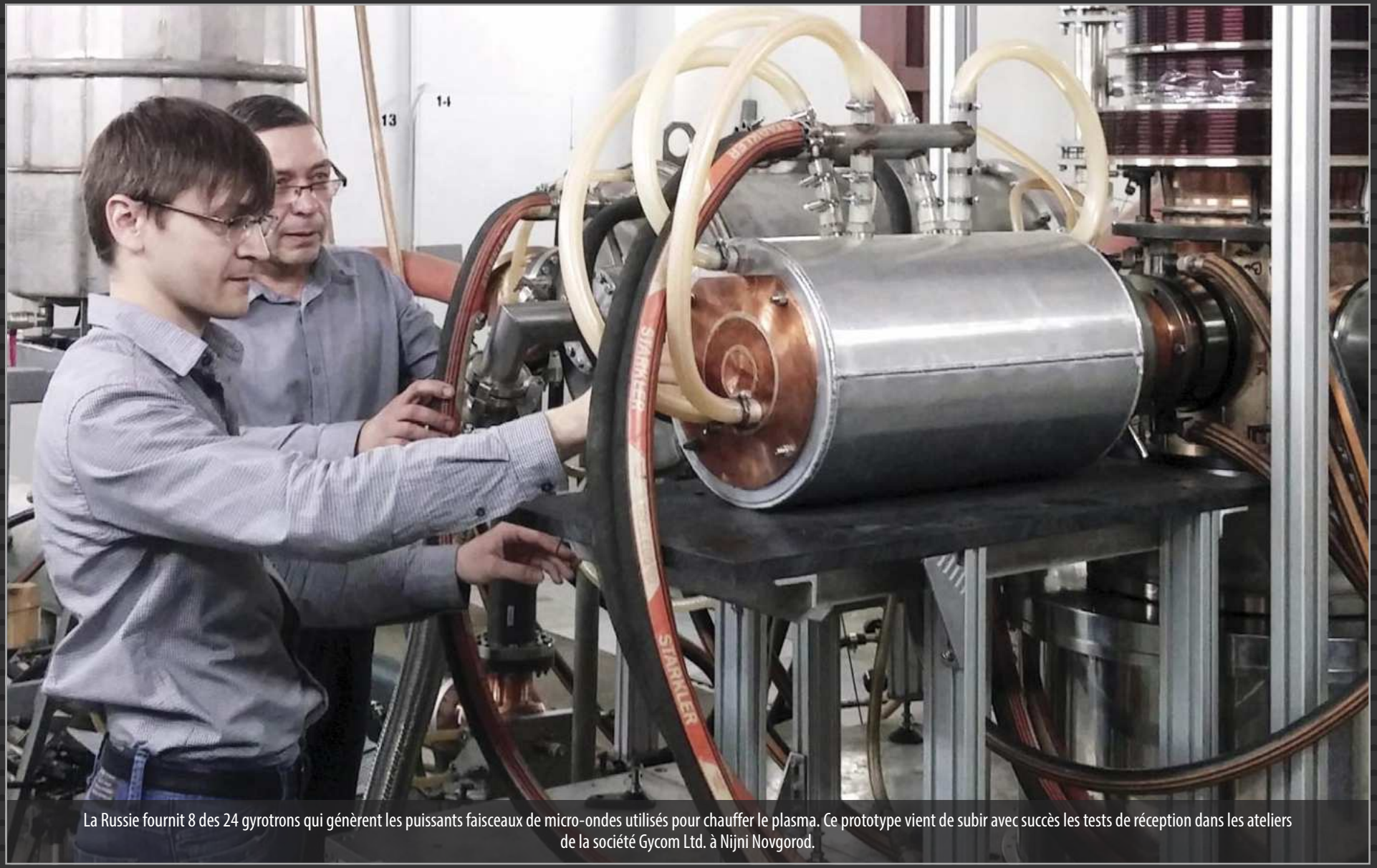
Chez Larsen & Toubro Ltd, en Inde, on a assemblé les différents segments de la base du cryostat pour en vérifier l'alignement. Une fois finalisée, la base sera le plus lourd (1 250 tonnes) de tous les éléments de la machine.

# UNE CENTAINE D'HEURES À 650 °C



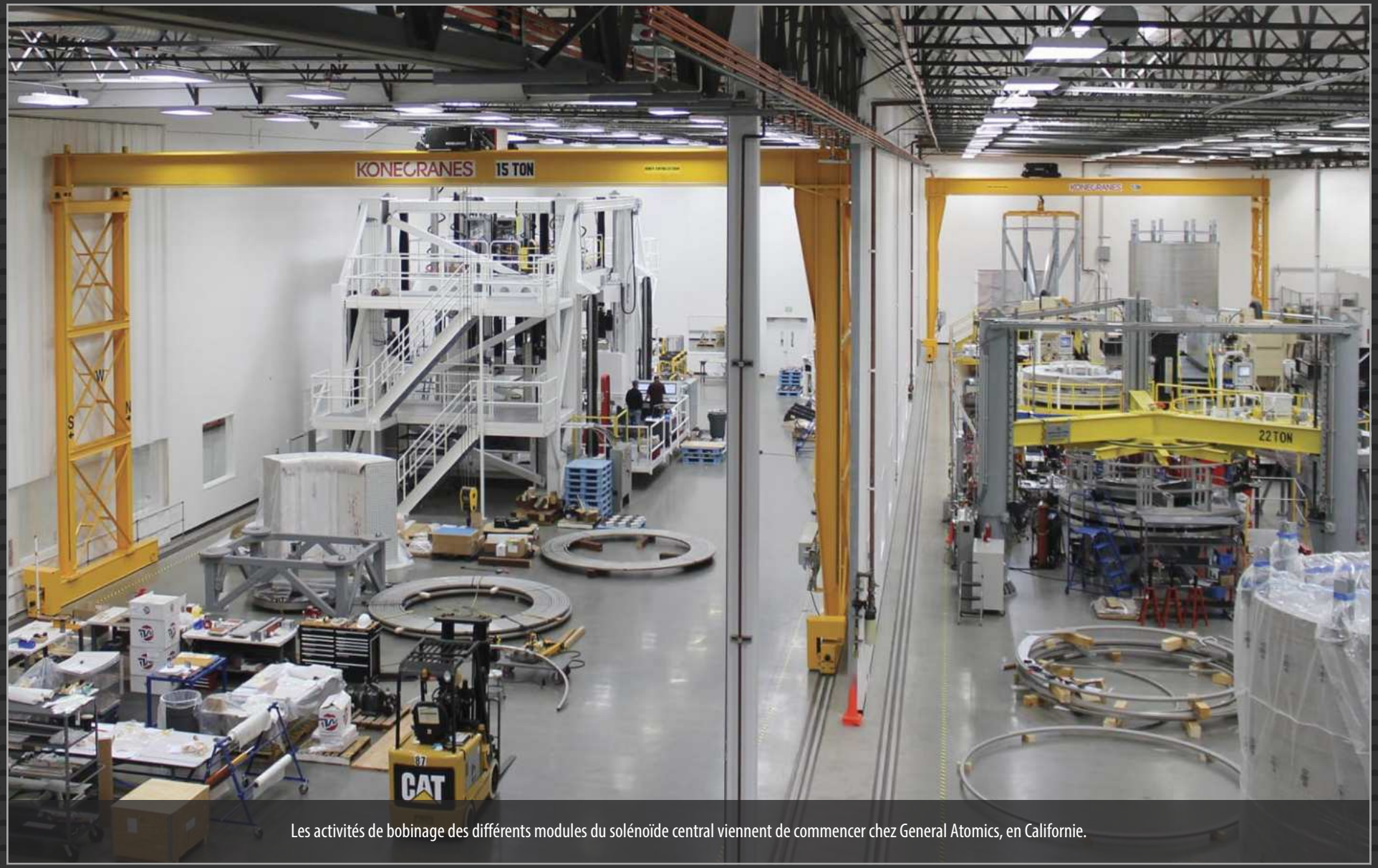
Pour former le composé supraconducteur niobium-étain, les bobinages des aimants verticaux doivent être soumis pendant une centaine d'heures (ici chez Mitsubishi Heavy Industries au Japon) à une température de 650 °C.

# TEST RÉUSSI POUR UN PROTOTYPE DE GYROTRON




La Russie fournit 8 des 24 gyrotrons qui génèrent les puissants faisceaux de micro-ondes utilisés pour chauffer le plasma. Ce prototype vient de subir avec succès les tests de réception dans les ateliers de la société Gycom Ltd. à Nijni Novgorod.

# LE BOBINAGE DU SOLÉNOÏDE CENTRAL EST LANCÉ




Les activités de bobinage des différents modules du solénoïde central viennent de commencer chez General Atomics, en Californie.

# SUR FOND DE PRÉALPES

Le Bâtiment d'assemblage, dont le bardage est en cours d'installation, se détache du paysage sur fond de montagnes enneigées. Les bâtiments visibles au premier plan sont ceux du centre de recherche CEA de Cadarache.

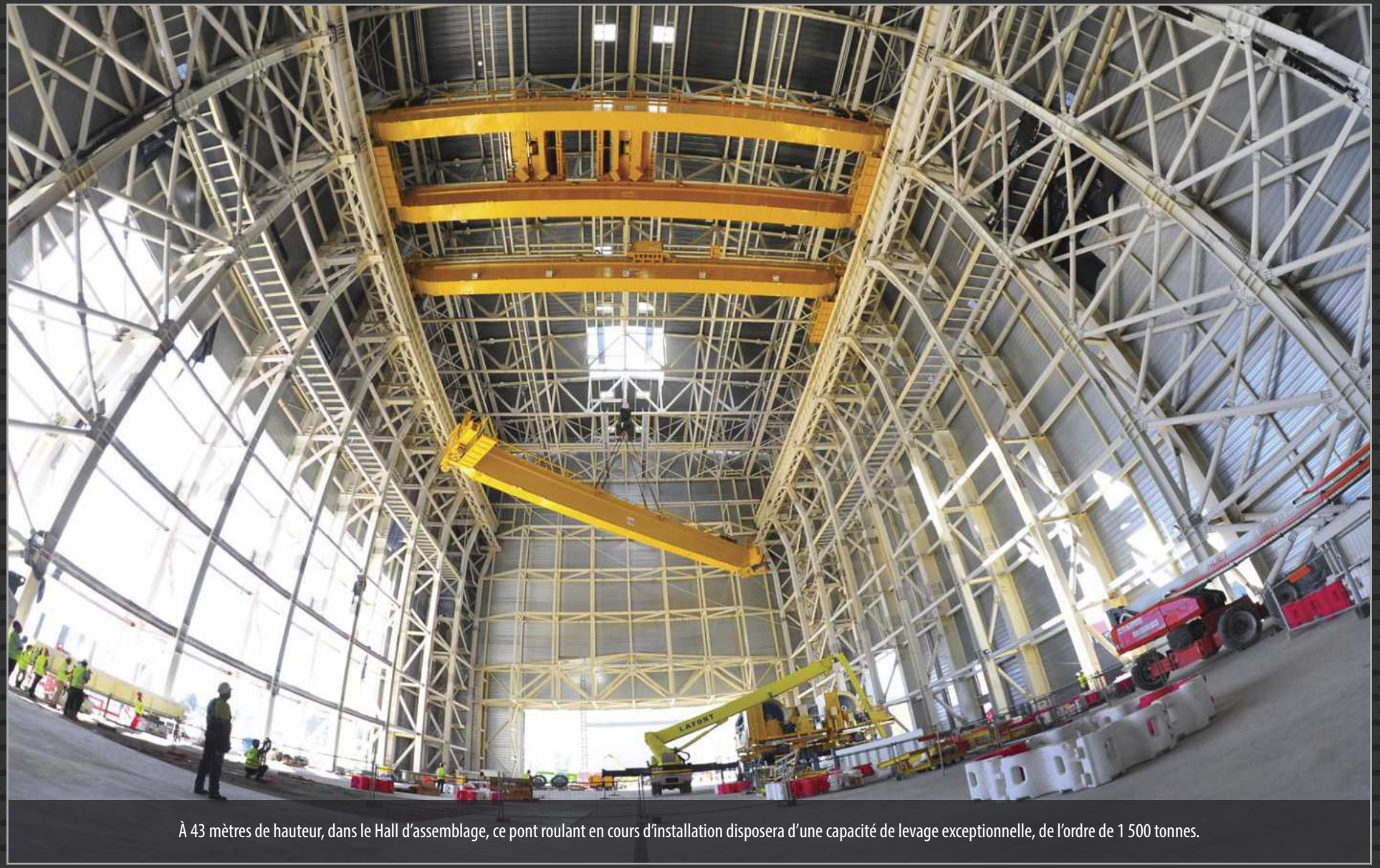
# UN MANÈGE DE BÉTON ET D'ACIER

D'une épaisseur de 3 mètres, le bouclier de protection biologique en cours de construction (au centre) isole l'environnement des radiations générées par les réactions de fusion au cœur du tokamak.

# UNE ATMOSPHÈRE DE CATHÉDRALE

Ce vaste espace dans les sous-sols du Bâtiment tokamak sera bientôt occupé par une forêt de câbles, de canalisations et de barres d'alimentation électrique. Les supports de ces équipements seront soudés aux plaques d'ancrage visibles sur le sol, aux murs et au plafond.

# LES FORTS DU HALL




À 43 mètres de hauteur, dans le Hall d'assemblage, ce pont roulant en cours d'installation disposera d'une capacité de levage exceptionnelle, de l'ordre de 1 500 tonnes.

# LE BOBINAGE EN COURS DE QUALIFICATION

Trop grandes pour être transportées par la route (17 et 24 mètres de diamètre), quatre des six bobines annulaires du tokamak sont fabriquées sur site par l'Europe. La qualification des machines et des procédés industriels est en cours.

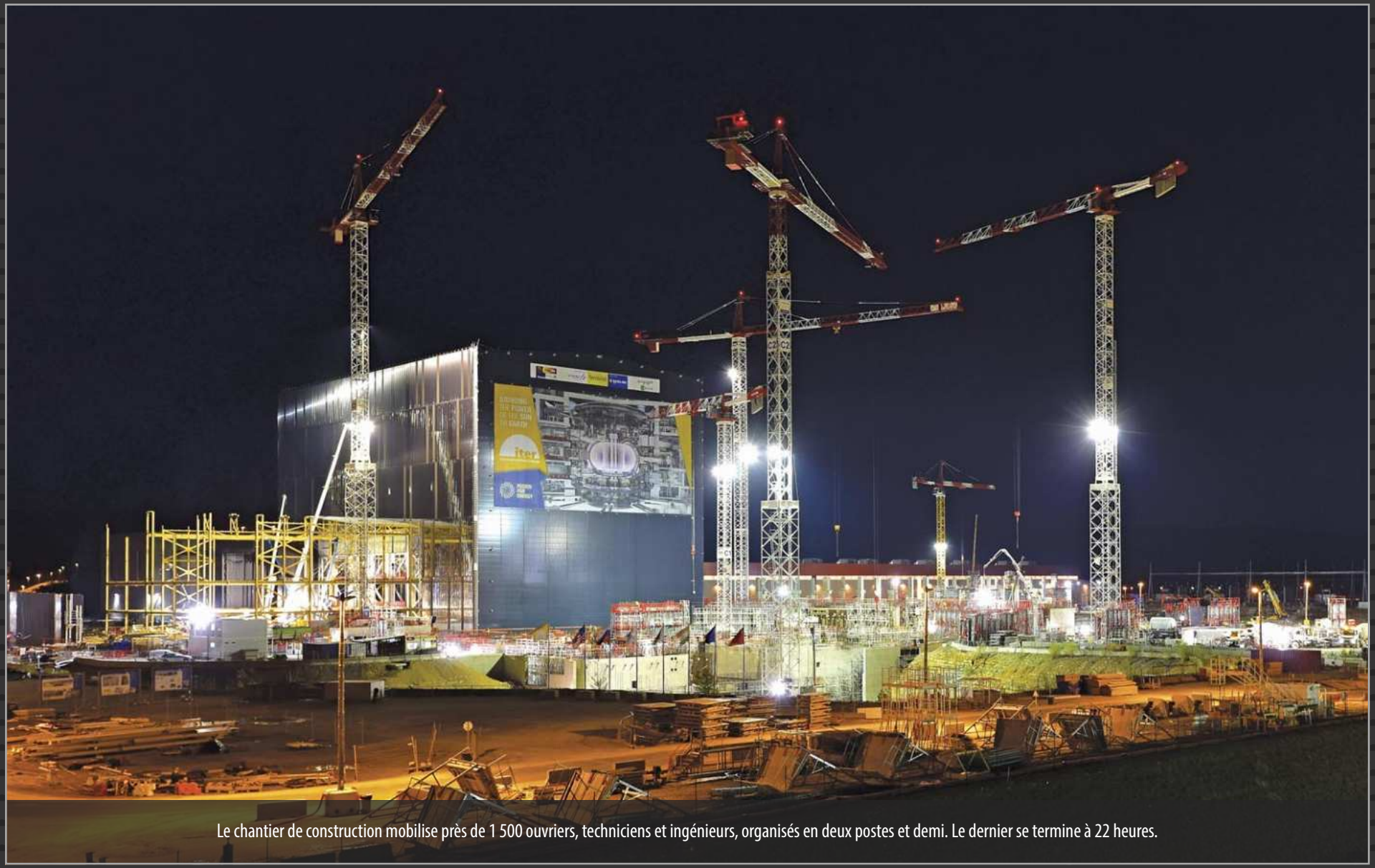
# LA PLUS GRANDE USINE À FROID AU MONDE

Pour maintenir à très basse température les aimants supraconducteurs et les systèmes de pompage sous vide, ITER recourt à un vaste éventail de technologies cryogéniques. Son « usine à froid » sera la plus puissante au monde.

# LE RYTHME DES LIVRAISONS S'ACCÉLÈRE

Les très gros éléments de l'installation, comme ce réservoir fourni par l'Europe et destiné à « l'usine à froid », sont déchargés au port de Marseille-Fos avant d'emprunter un itinéraire spécialement aménagé jusqu'au site d'ITER.

# POSTE DE NUIT



Le chantier de construction mobilise près de 1 500 ouvriers, techniciens et ingénieurs, organisés en deux postes et demi. Le dernier se termine à 22 heures.

# UN TRANSFORMATEUR GÉANT

La Chine fournit les trois transformateurs (460 tonnes, 15 mètres de haut) destinés au réseau électrique pulsé. Le premier d'entre eux vient d'être livré.

# PREMIER BOBINAGE POUR UN AIMANT VERTICAL

En forme de « D », les bobines de champ toroïdal (verticales) créent le champ magnétique qui confine le plasma. L'Europe a finalisé un premier bobinage, qui sera ultérieurement inséré dans un boîtier d'acier.

# DOUBLES GALETTES EN SÉRIE

Chez Mitsubishi Heavy Industries, au Japon, la production en série des « doubles galettes » qui forment le cœur des bobines du tokamak (ici, une bobine de champ toroïdal) est lancée.

# PLAQUÉ ARGENT

Activement refroidi et recouvert d'une mince couche d'argent, l'écran thermique protégera les aimants des radiations. Chez SFA Engineering, en Corée, les opérations de soudage d'un premier panneau sont en cours.

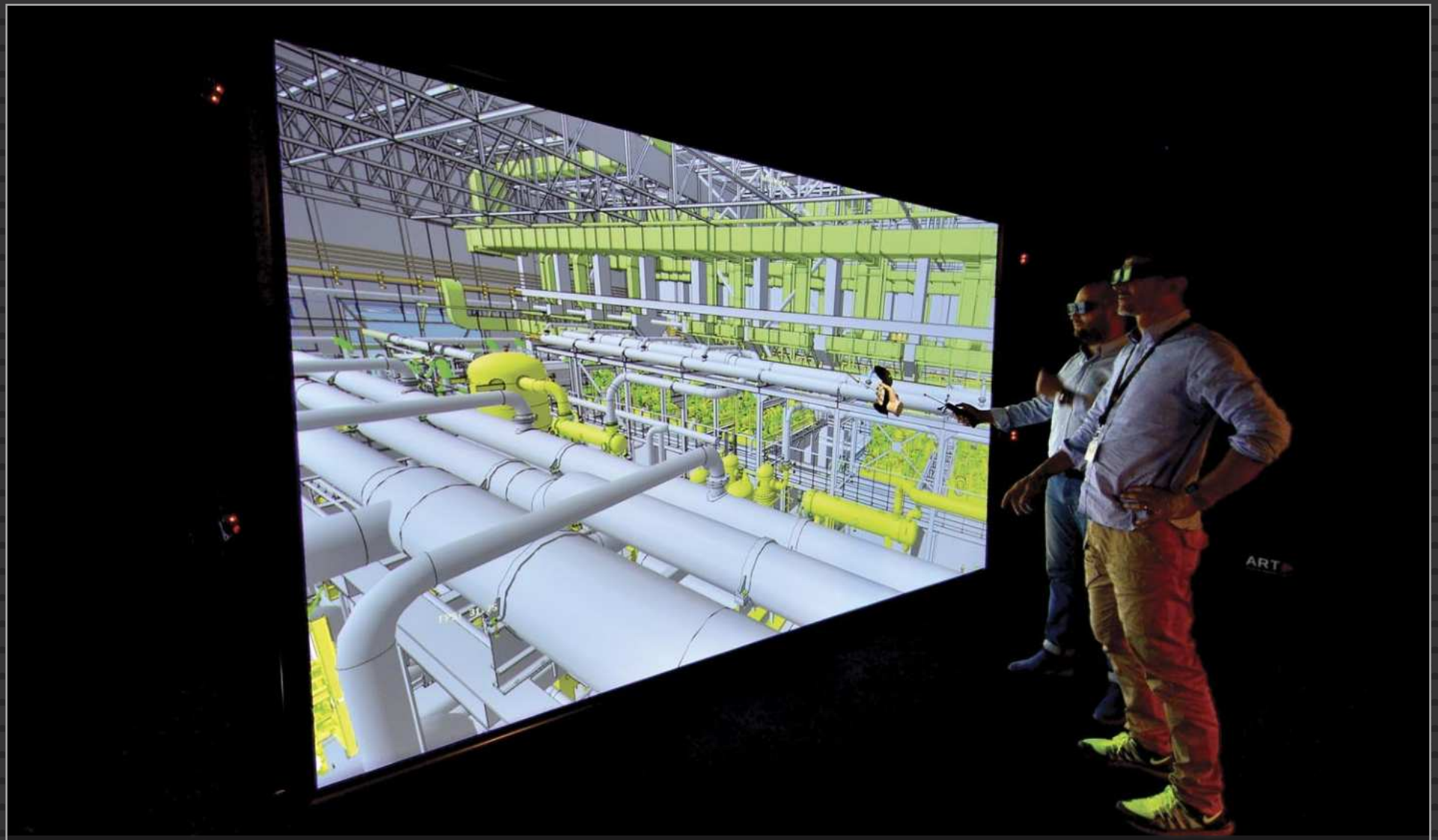
# LA PLUS PETITE DES BOBINES ANNULAIRES

La plus petite des bobines annulaires (9 mètres de diamètre) est en cours de fabrication au chantier naval Sredne-Nevsky de Saint-Pétersbourg, en Russie. La première des huit doubles galettes requises est terminée.

# UNE ÉTAPE MAJEURE POUR LE SOLÉNOÏDE CENTRAL

En Californie, General Atomics a finalisé le bobinage du premier des six modules du solénoïde central. Chaque module nécessite plus de 6 000 mètres de câbles de niobium-étain, fourni par le Japon.

# IMMERSION TOTALE



Les images tridimensionnelles projetées dans la salle de réalité virtuelle permettent de s'immerger totalement dans les entrailles de l'installation et de résoudre, le cas échéant, les problématiques liées à l'intégration des différents éléments.

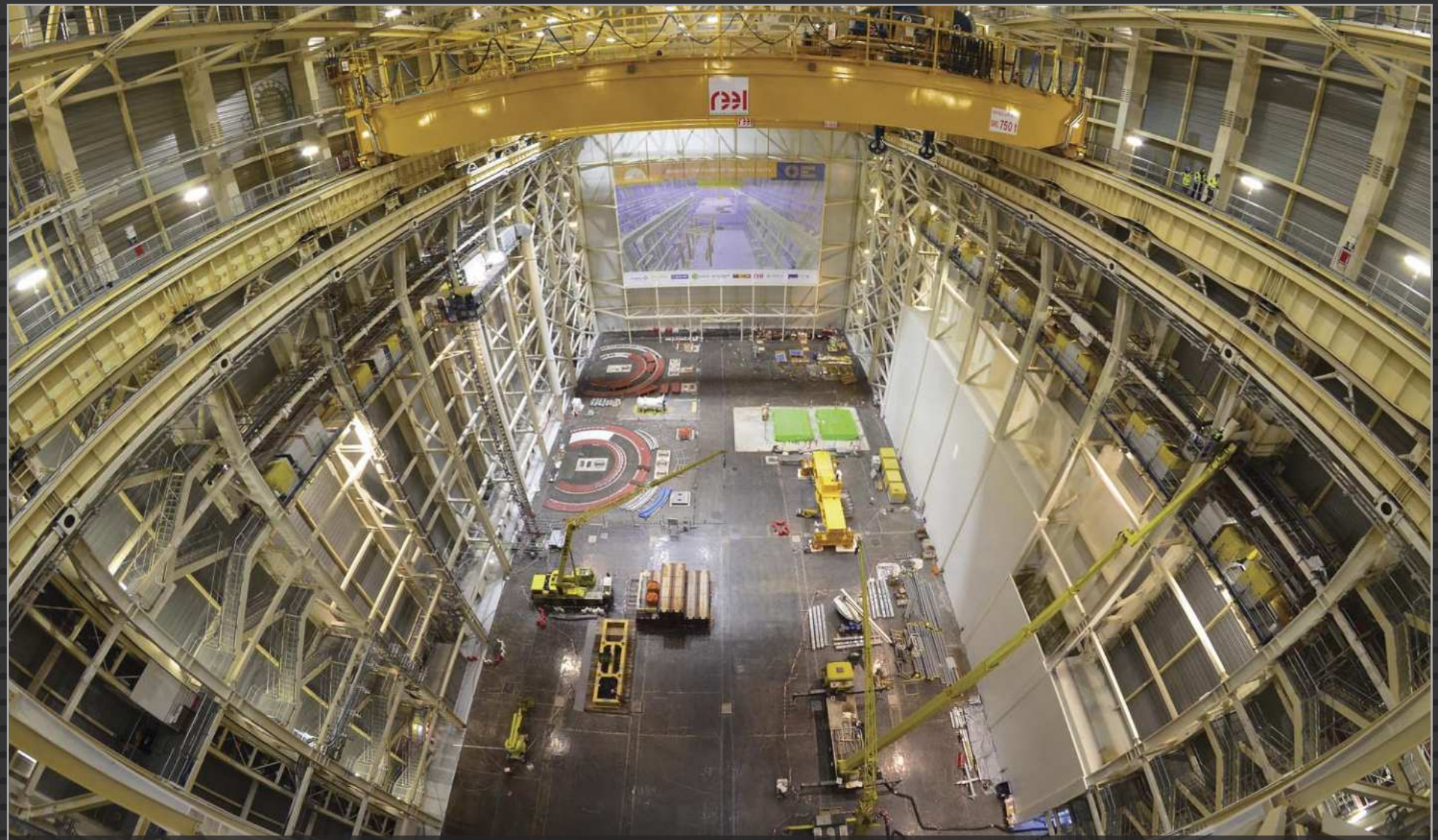
# UN ÉCRIN POUR LE TOKAMAK

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.

# LA FORGE DES ANNEAUX

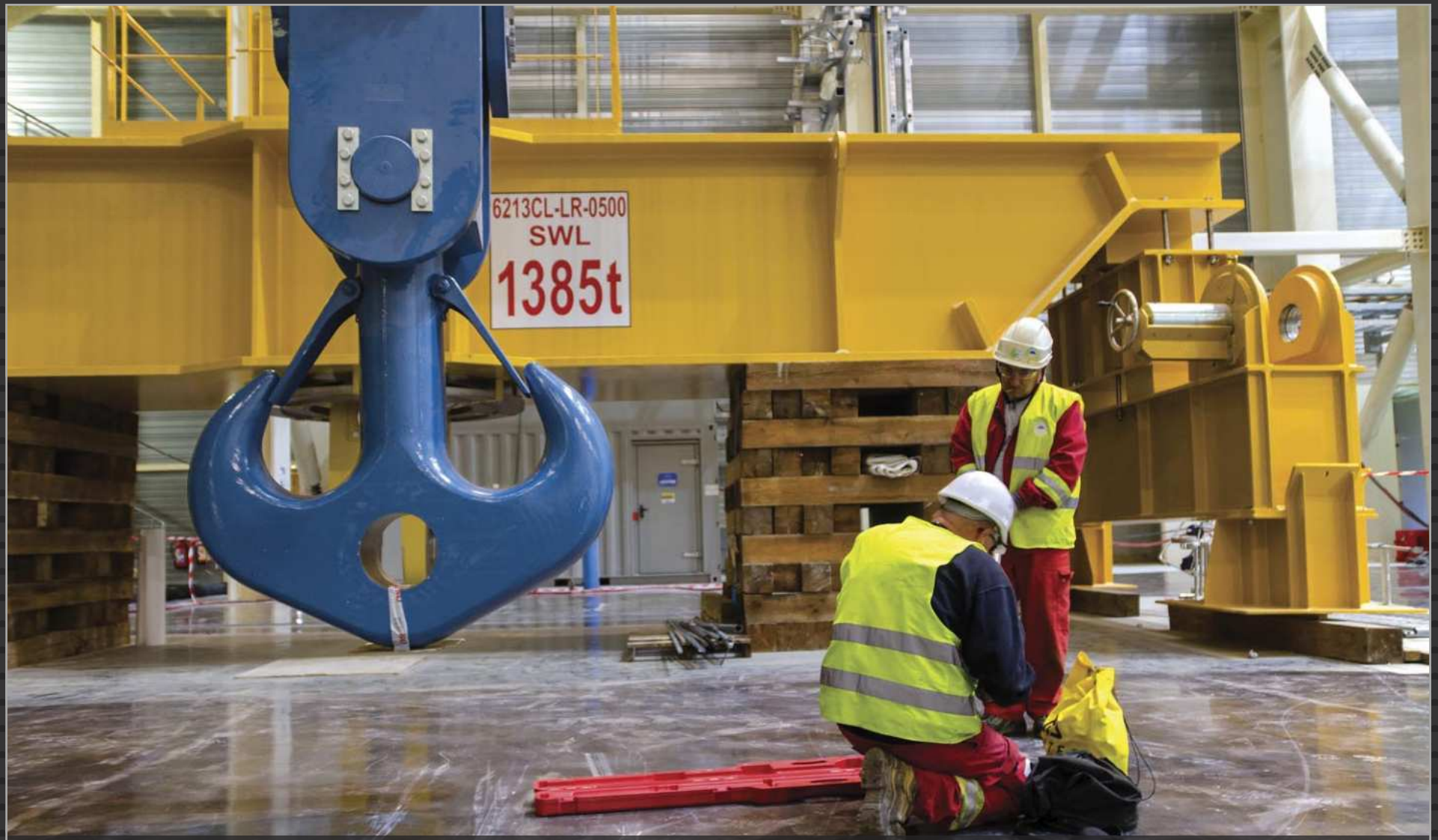
Quatre des six bobines annulaires de la machine sont fabriquées sur site. La fabrication de la première d'entre elles (17 mètres de diamètre, ~ 350 tonnes) est en cours.

# DANS L'ANTICHAMBRE DU TOKAMAK



Les pièces destinées à la machine seront préassemblées dans ce hall immense, haut de 60 mètres et équipé d'un double pont roulant dont la capacité de levage dépasse 1 500 tonnes.

# UN MÉGA-CROCHET




Quatre crochets, suspendus au pont roulant du Hall d'assemblage, peuvent soulever l'équivalent de cinq Boeing 747 à pleine charge.

# L'ITINÉRAIRE ITER

Des éléments du cylindre inférieur du cryostat passent l'étroit défilé de Mirabeau. Fabriqués dans les usines des partenaires d'ITER, la quasi-totalité des pièces de la machine empruntent un itinéraire spécialement aménagé entre le port de Fos-sur-Mer et le site d'ITER.

# DANS LA LUMIÈRE D'AUTOMNE

La lumière rasante de la fin d'après-midi révèle les détails des principaux bâtiments de l'installation.

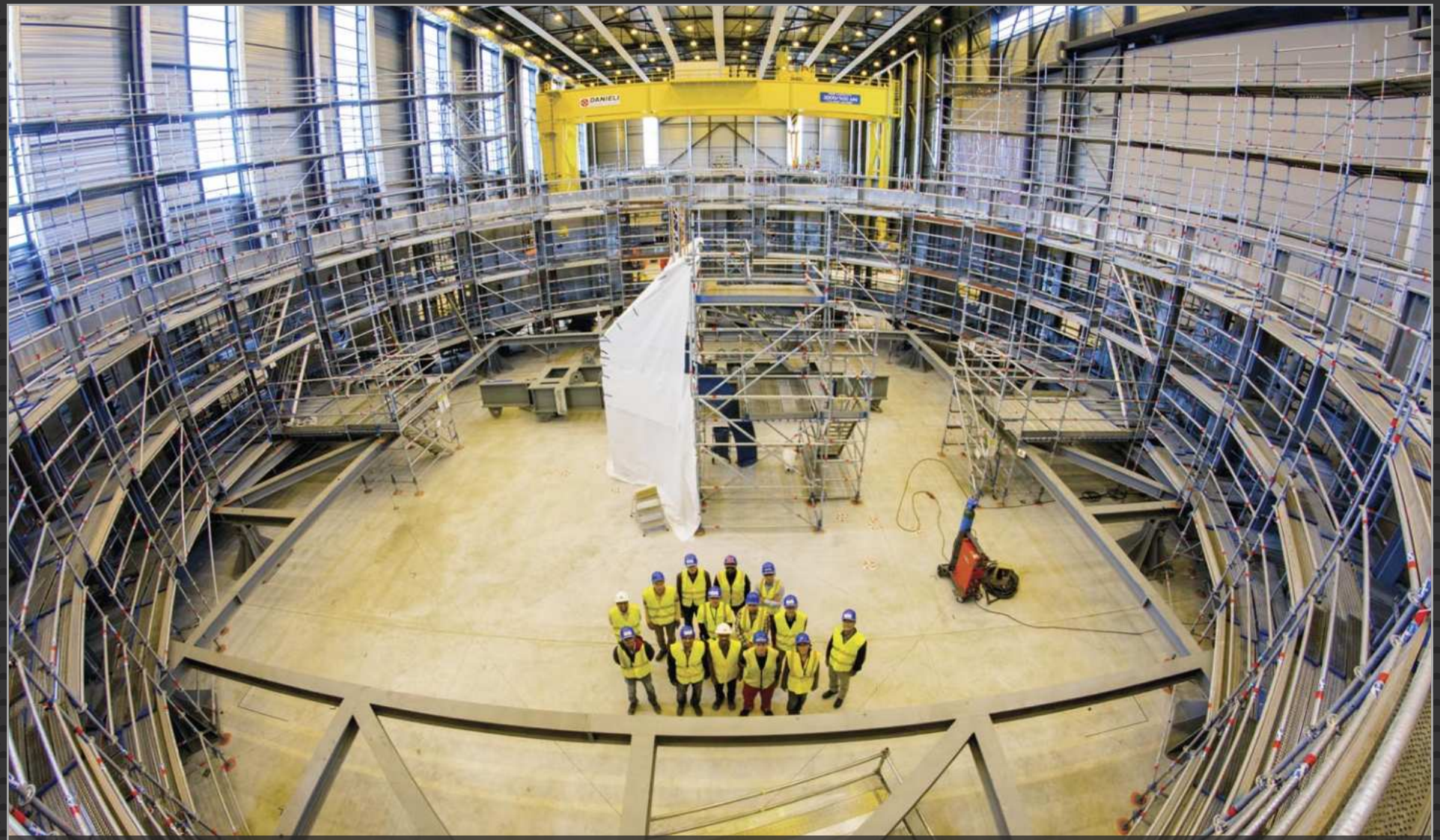
# POUR ALIMENTER LES BOBINES

Ce gros tuyau coudé abrite des éléments de très haute technologie. Il fait partie du système d'alimentation électrique et cryogénique d'une des six bobines annulaires du tokamak.

# HAUTE TENSION, SCIENCE-FICTION

Cette maquette au 1/15e du système électrique de haute-tension destiné au système d'injection de particules neutres est en cours de test au laboratoire HSP GmbH, en Allemagne.

# LE DIAMÈTRE DE STONEHENGE

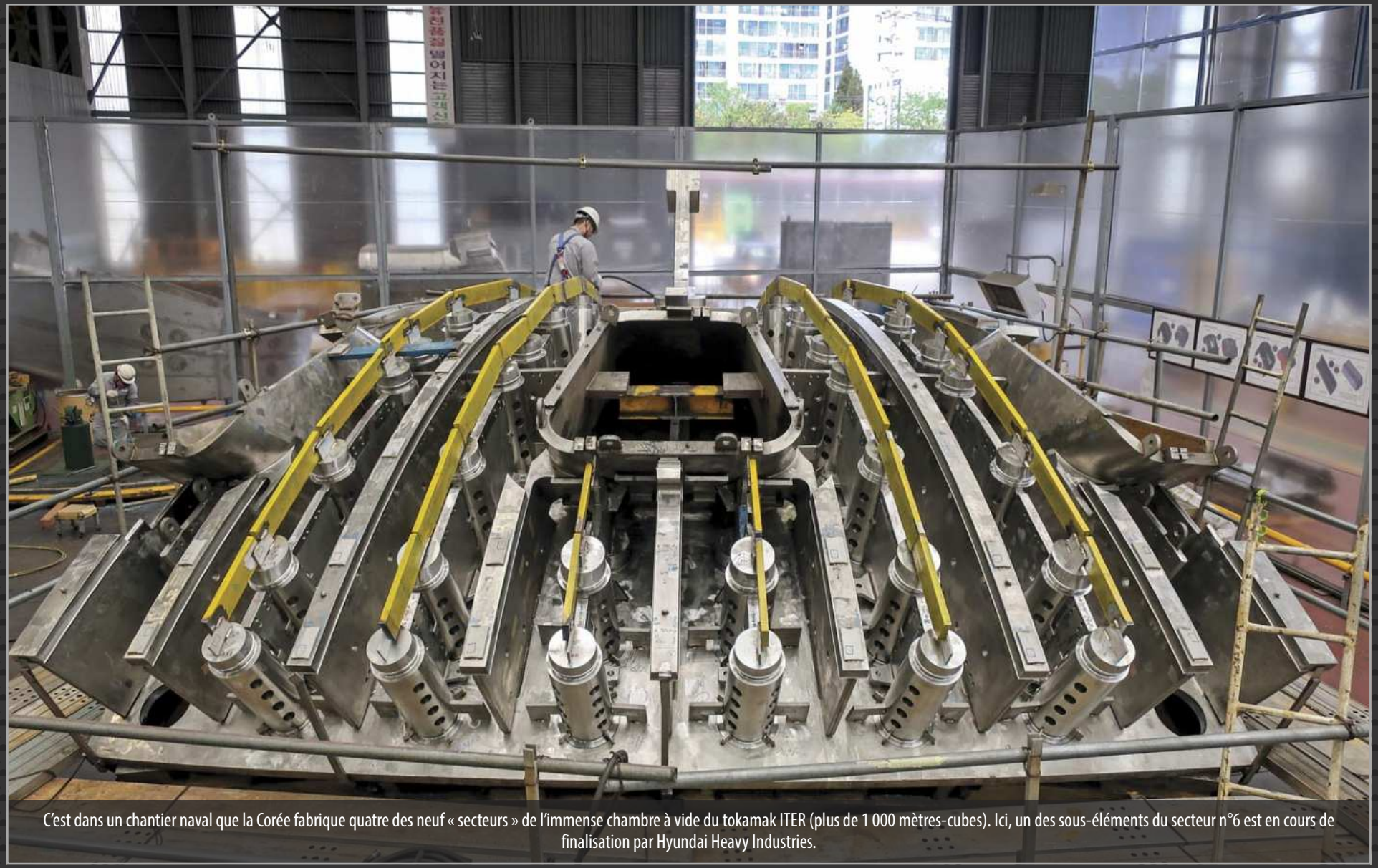


Le diamètre du cryostat (30 mètres) est le même que celui du cercle de pierre de Stonehenge. Ici, le cylindre inférieur, en cours d'assemblage sur site.

# 43 KILOMÈTRES DE CÂBLES POUR LE SOLÉNOÏDE

L'industrie japonaise vient de finaliser la production de 43 kilomètres (700 tonnes) de câbles supraconducteurs niobium-étain destinés au solénoïde central du tokamak.

# LES MOYENS D'UN CHANTIER NAVAL



C'est dans un chantier naval que la Corée fabrique quatre des neuf « secteurs » de l'immense chambre à vide du tokamak ITER (plus de 1 000 mètres-cubes). Ici, un des sous-éléments du secteur n°6 est en cours de finalisation par Hyundai Heavy Industries.

# RALLONGES ÉLECTRIQUES

Fabriquées en Russie, ces barres d'aluminium activement refroidies (*busbars*) sont aux aimants d'ITER ce qu'une rallonge électrique est à une lampe de chevet. Mais l'intensité du courant qui y circule est 7 000 fois plus élevée.

# LE « CŒUR BATTANT » DU TOKAMAK

Mille tonnes, 18 mètres de haut, 4,3 mètres de diamètre : le solénoïde central, fabriqué par General Atomics en Californie, forme le « cœur battant » du tokamak ITER.

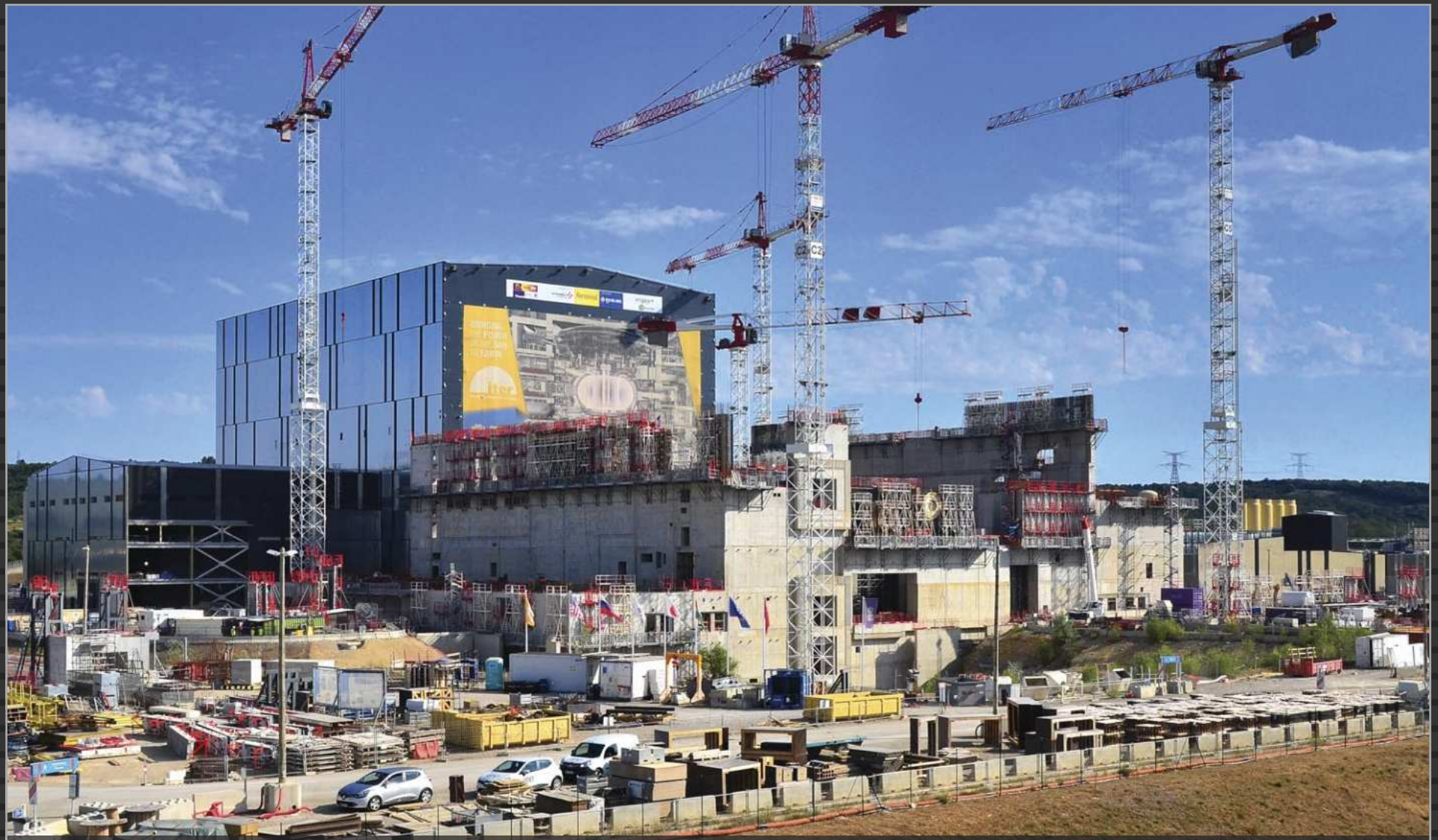
# EN CONCLAVE

Organisé tous les deux ans depuis 2009, l'ITER Business Forum réunit autour d'ITER les industriels du monde entier. En 2019, c'est le Palais des Papes d'Avignon qui accueillait la manifestation.

# ITER A DIX ANS

Au mois de novembre, autour d'une pièce montée en forme de tokamak, l'organisation internationale ITER (ITER Organization) célèbre le 10ème anniversaire de sa création.

# AU CŒUR DE L'INSTALLATION

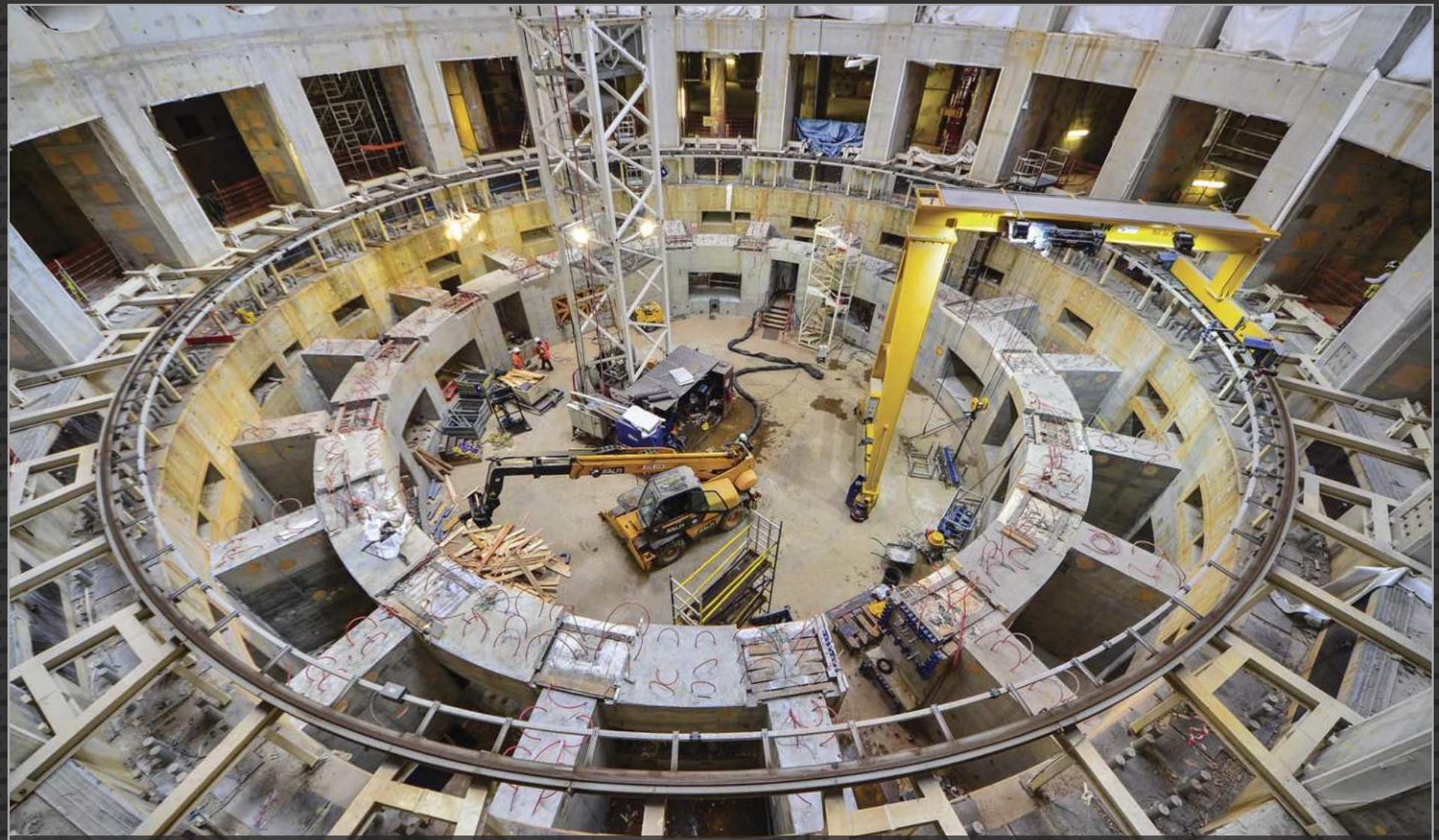


Le Complexe tokamak forme le cœur de l'installation ITER. Une fois terminé, ce bâtiment s'élèvera à plus de 60 mètres de hauteur.

# UN PUITS POUR LA MACHINE

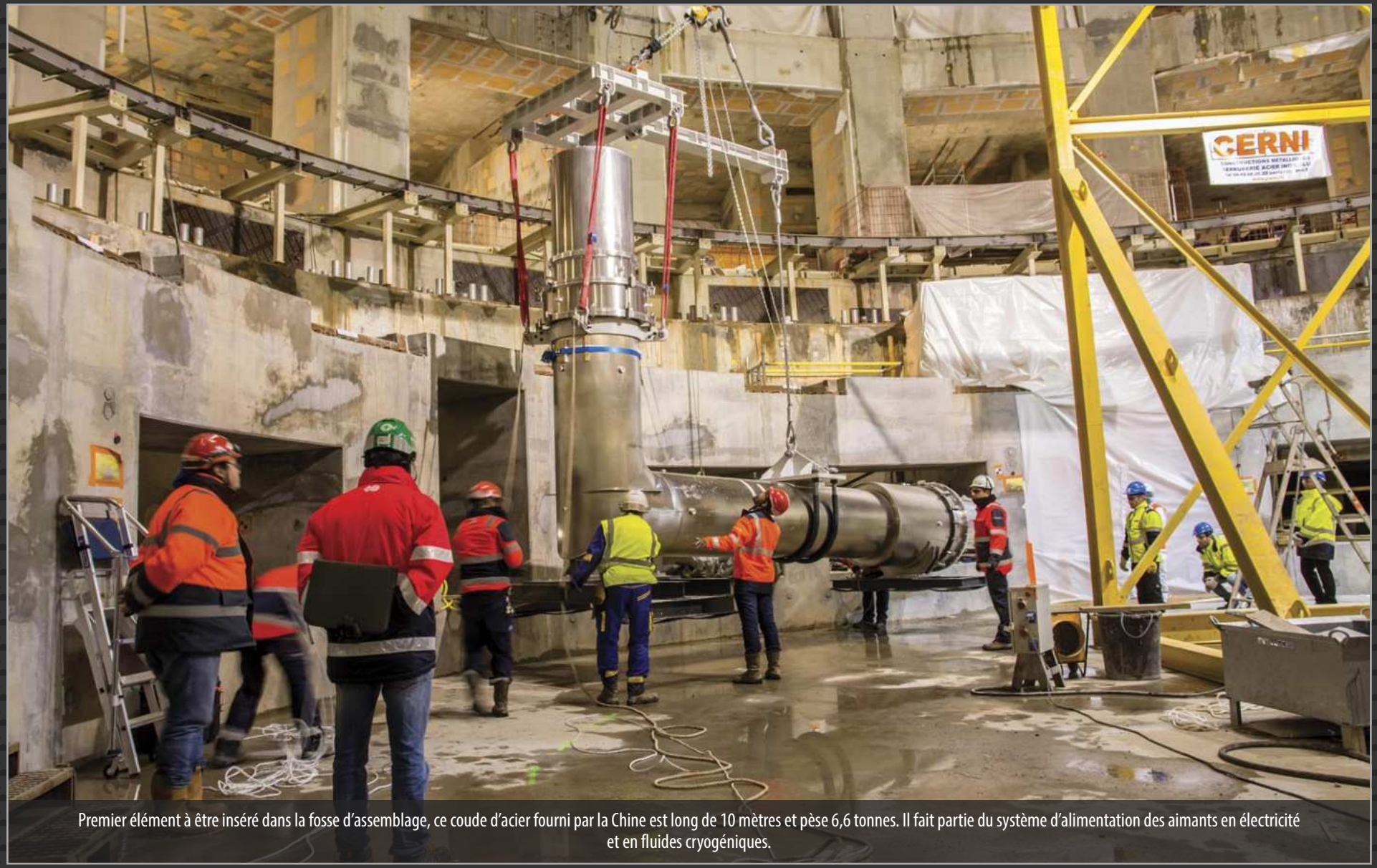
Les échafaudages ont été démontés, le plafond temporaire a été relevé : un « puits » profond de 30 mètres est prêt à accueillir la machine.

# UNE « COURONNE » DE BÉTON



C'est sur cette « couronne » de béton armé que reposera la masse combinée (23 000 tonnes) du tokamak et du cryostat qui l'enveloppe.

# UN PREMIER ÉLÉMENT

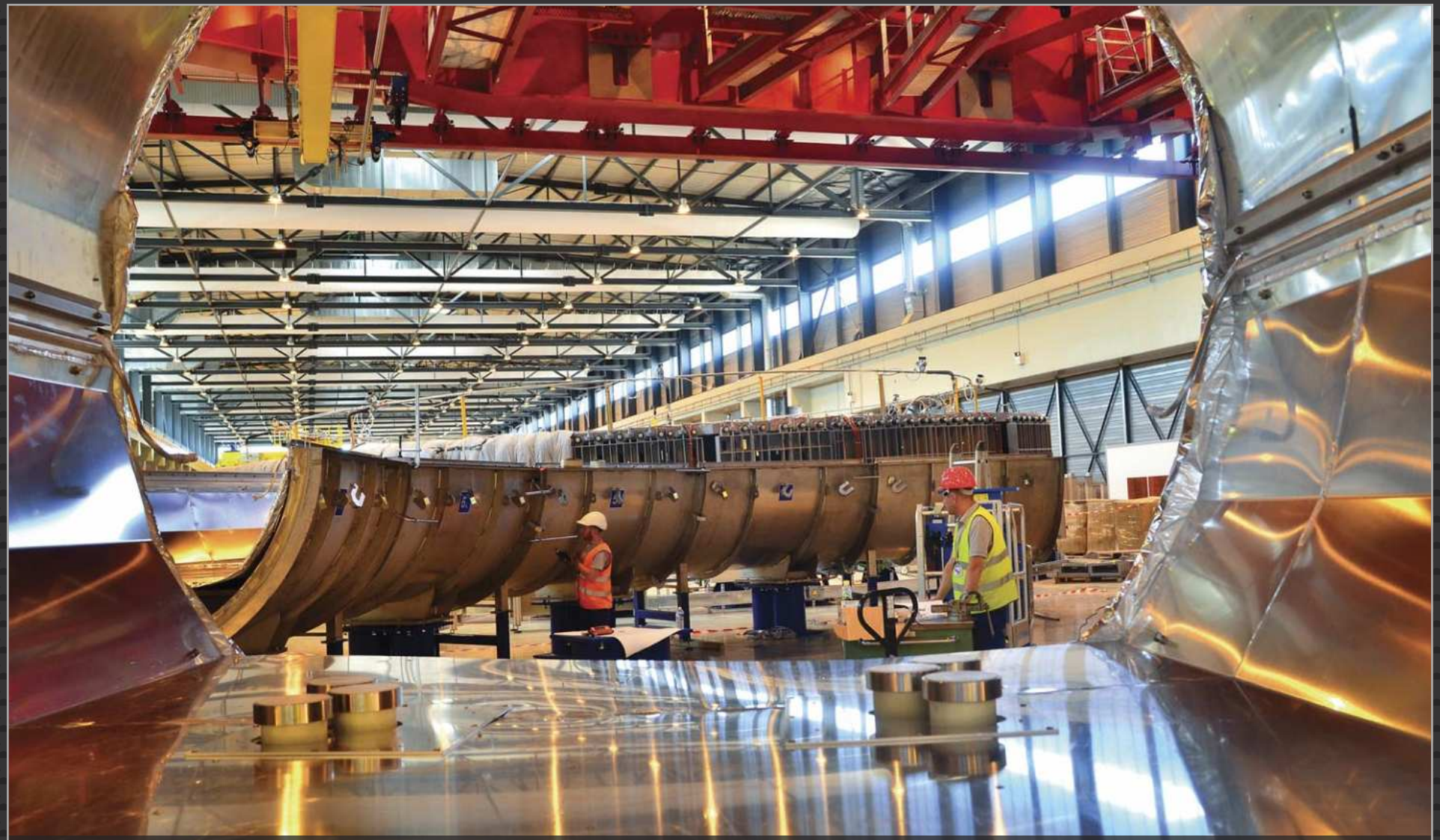



Premier élément à être inséré dans la fosse d'assemblage, ce coude d'acier fourni par la Chine est long de 10 mètres et pèse 6,6 tonnes. Il fait partie du système d'alimentation des aimants en électricité et en fluides cryogéniques.

# DU SOL AU PLAFOND

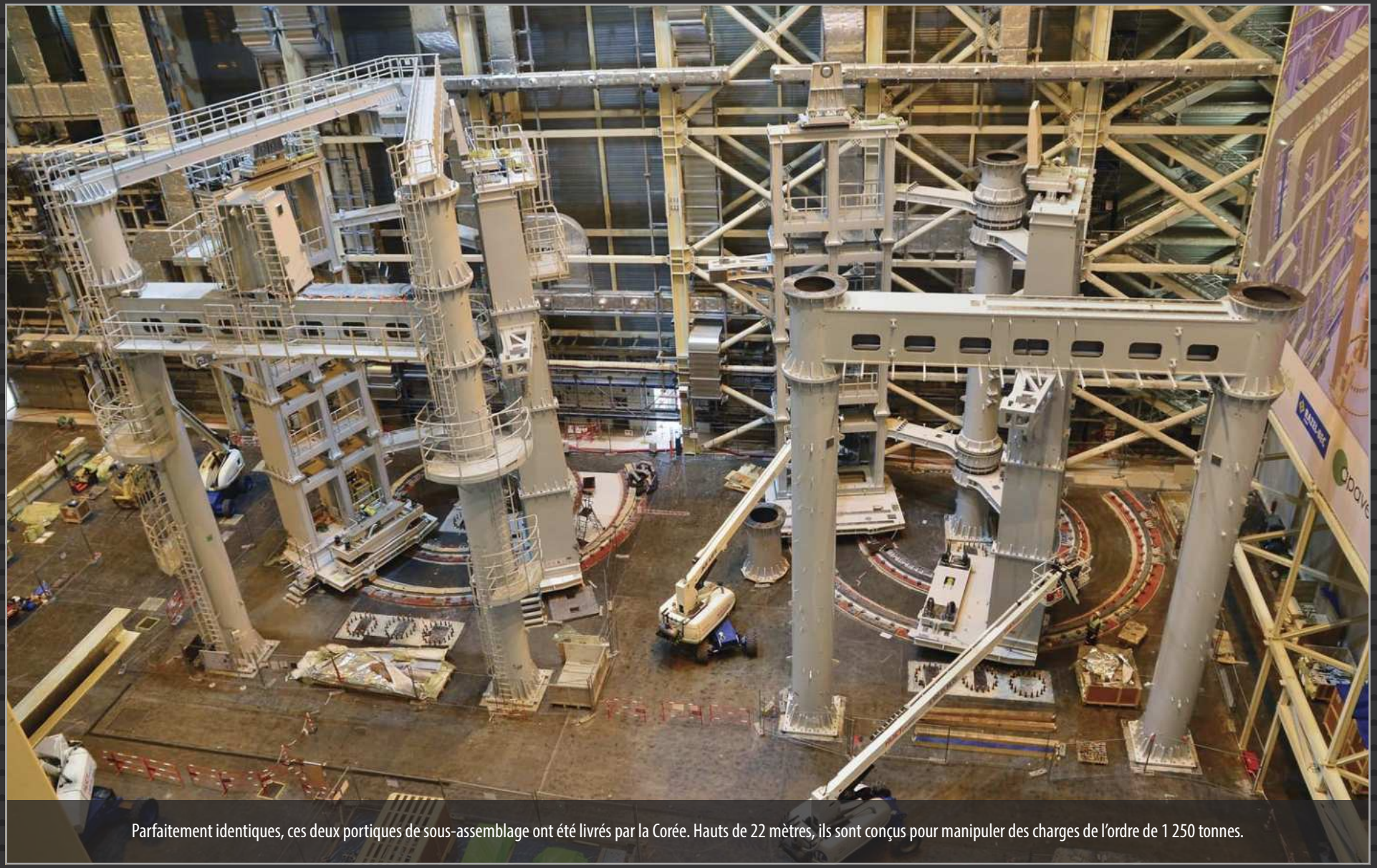
Du sol au plafond, compresseurs, vannes, pompes, « boîtes froides » et kilomètres de tuyauteries occupent l'immense espace (5 400 mètres-carrés) de l'usine cryogénique.

# FROID DEVANT



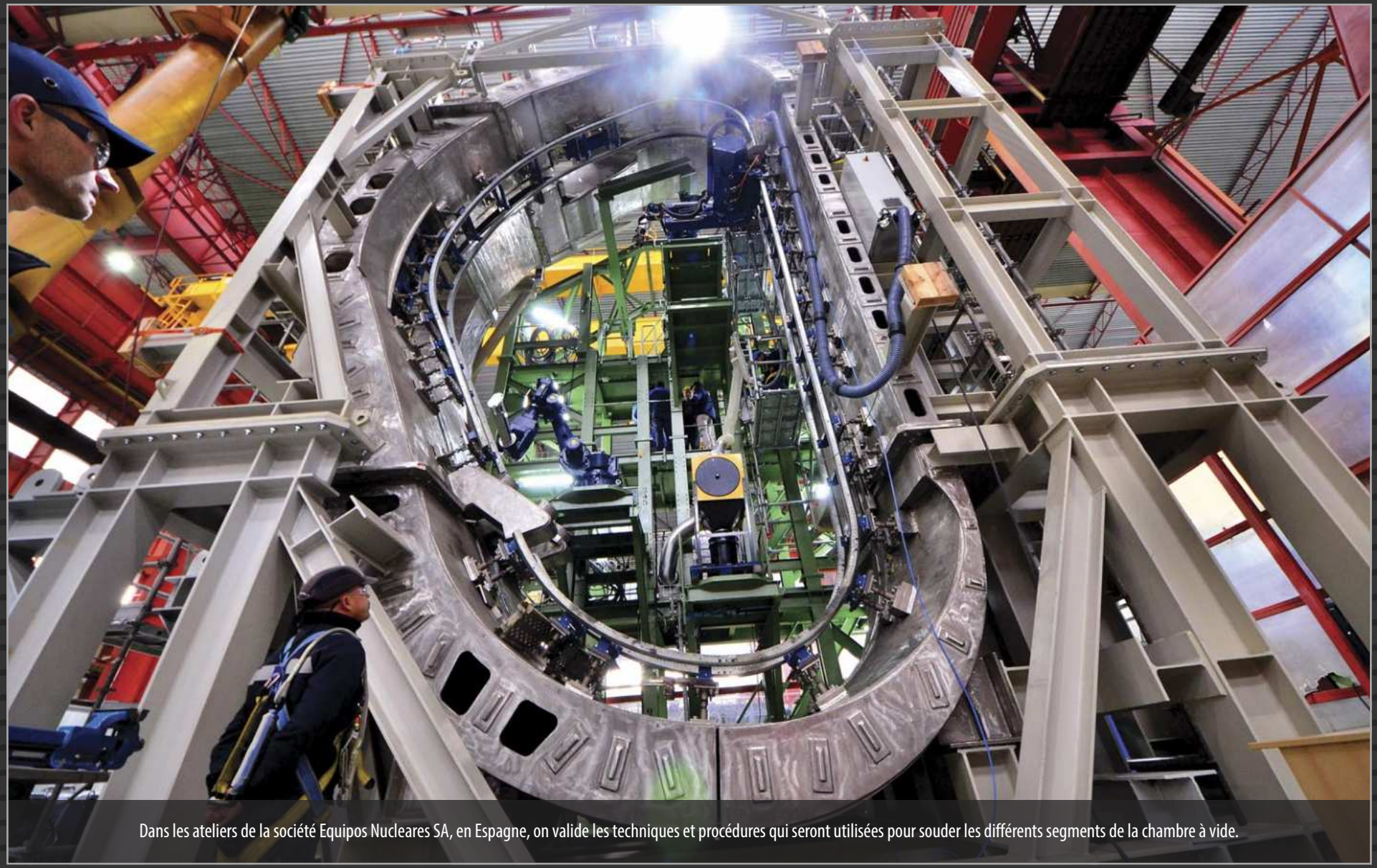
Les bobines poloïdales fournies par l'Europe seront testées à froid (*moins* 193 °C) dans des enceintes sous vide adaptées à leur dimension.

# DEUX TITANS



Parfaitement identiques, ces deux portiques de sous-assemblage ont été livrés par la Corée. Hauts de 22 mètres, ils sont conçus pour manipuler des charges de l'ordre de 1 250 tonnes.

# RÉPÉTITION GÉNÉRALE



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.

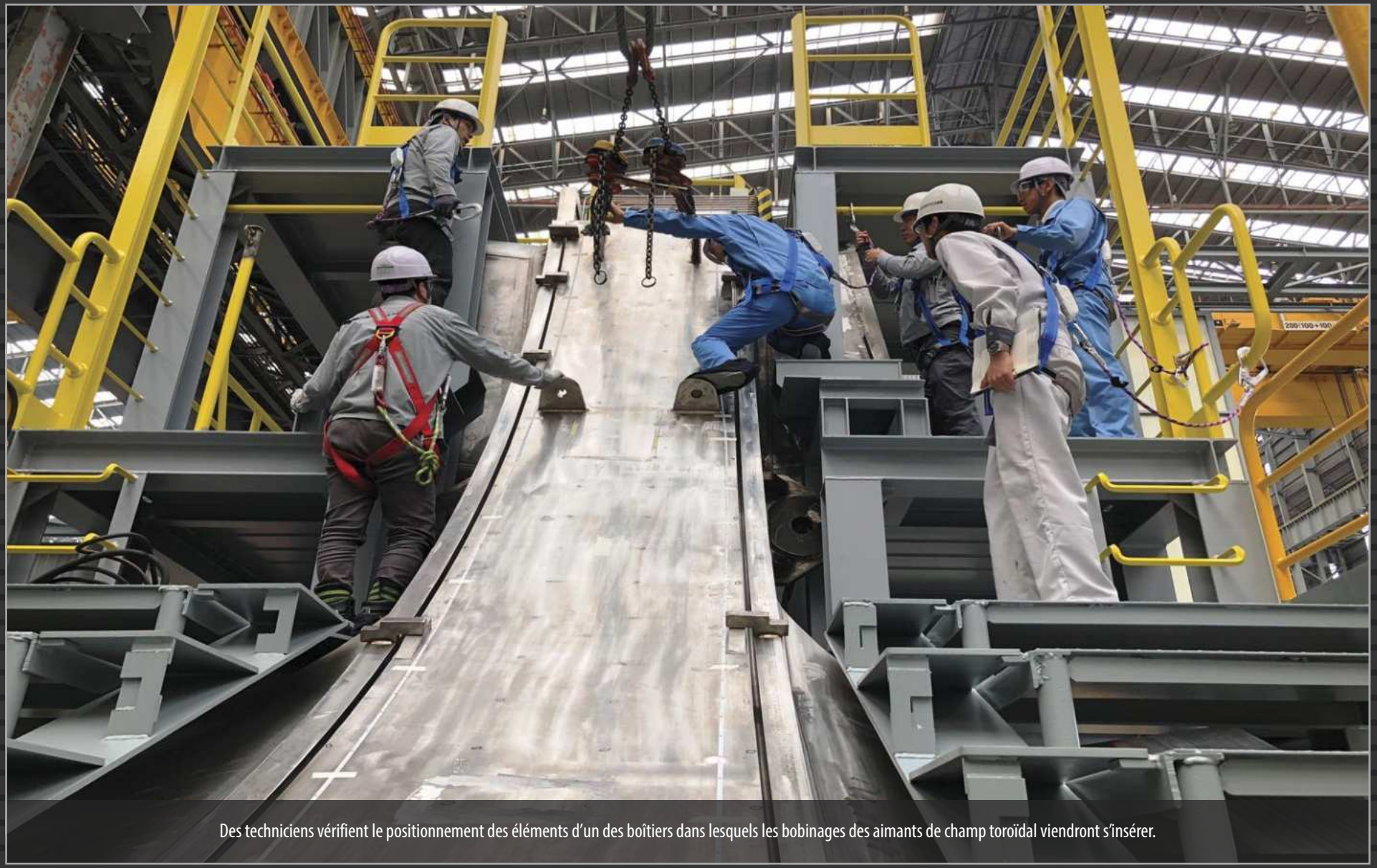
# PARFAITEMENT ÉTANCHE

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

# L'ÉPREUVE DU FEU

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-Pétersbourg (Russie).

# DANS LA BOÎTE



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

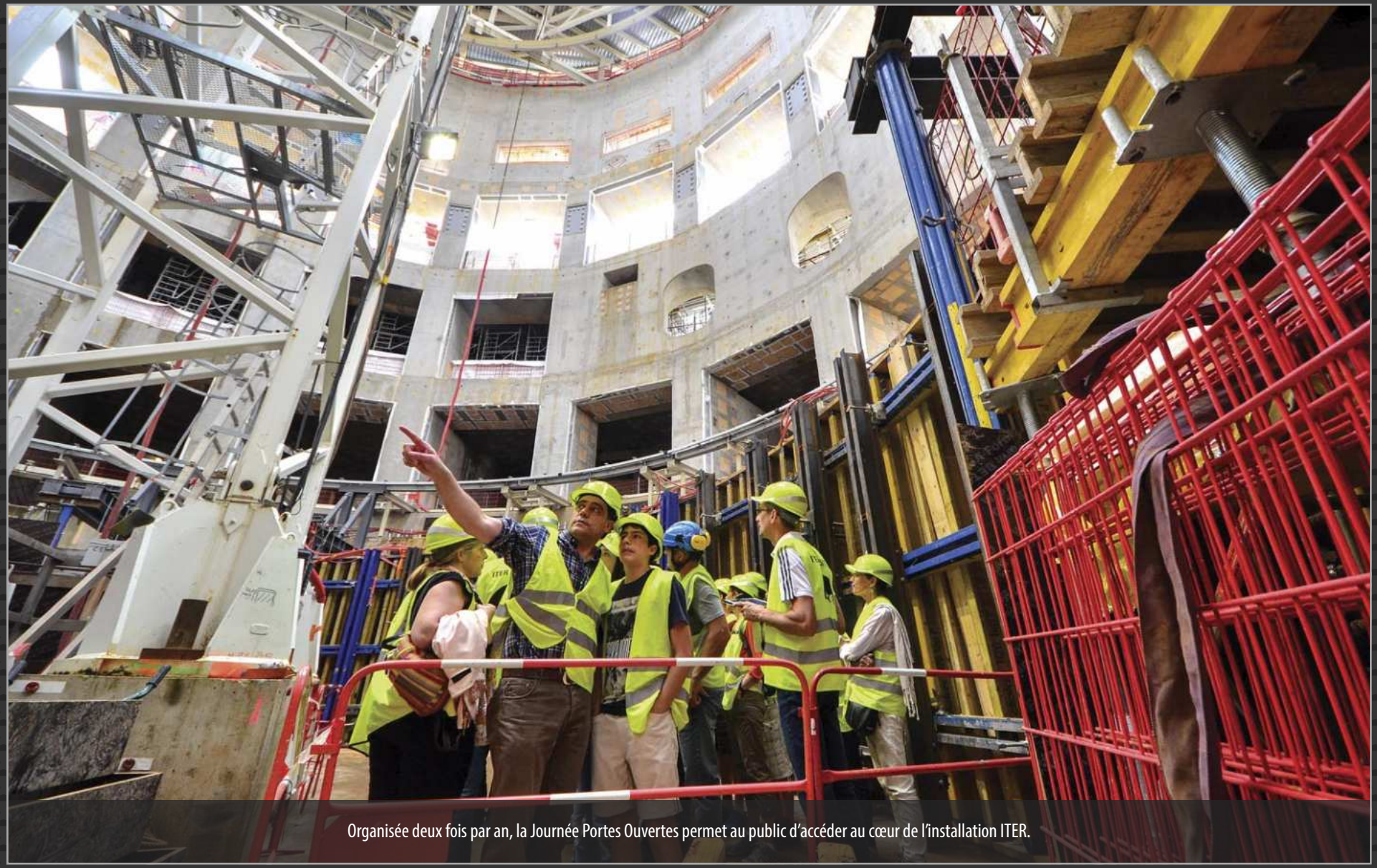
# QUATRE SUR NEUF

Les quatre secteurs de la chambre à vide (sur neuf ) dévolus à la Corée sont fabriqués aux chantiers navals de Hyundai Heavy Industries. Le secteur n°6 sera finalisé en 2020.

# DOUBLES GALETTES

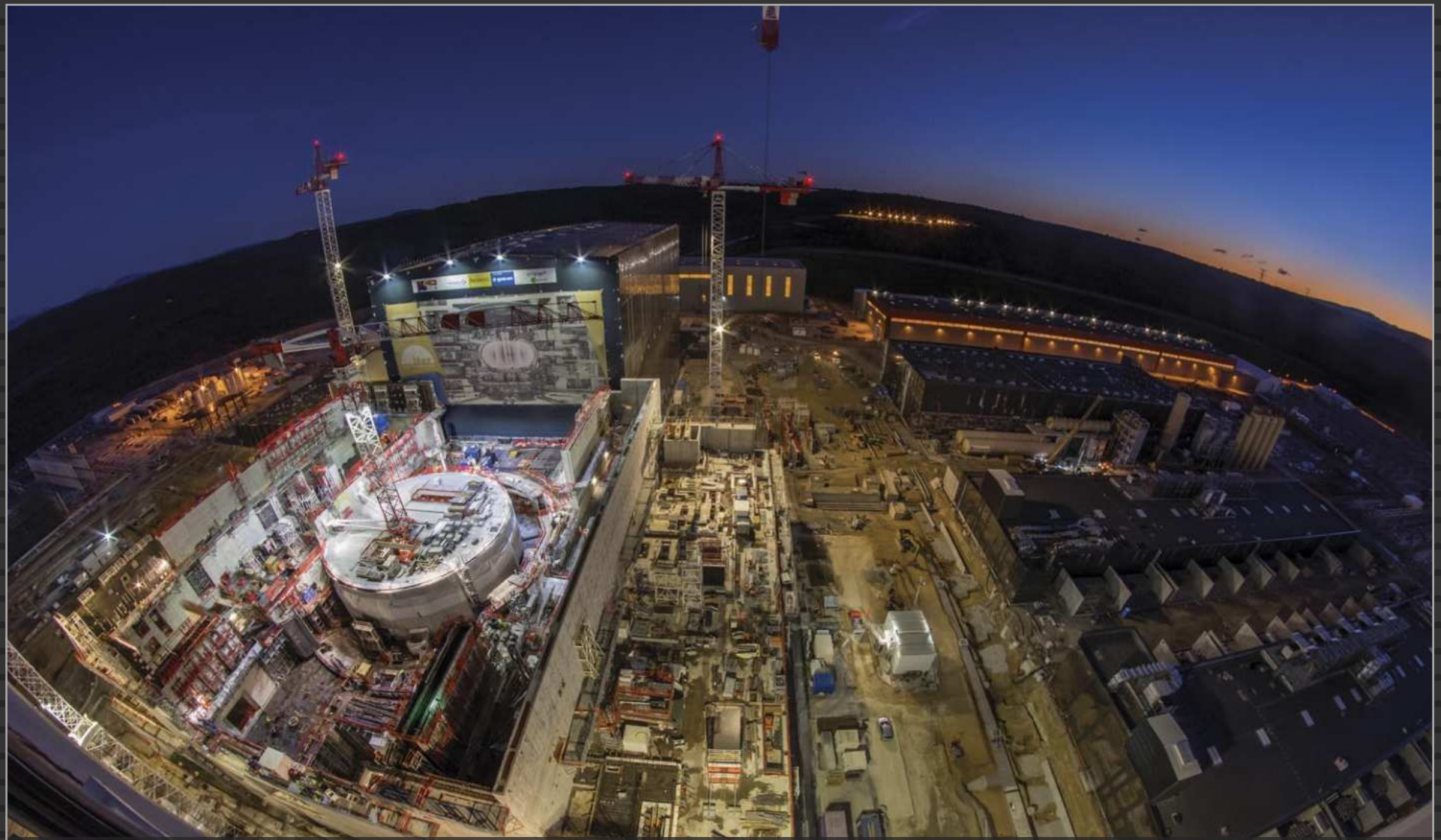
Les huit « doubles galettes » qui constituent le bobinage de l'aimant annulaire n°1 sont finalisées. La phase d'imprégnation de résine (sous vide) est en cours.

# PORTES OUVERTES



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

# LUMIÈRES DANS LA NUIT

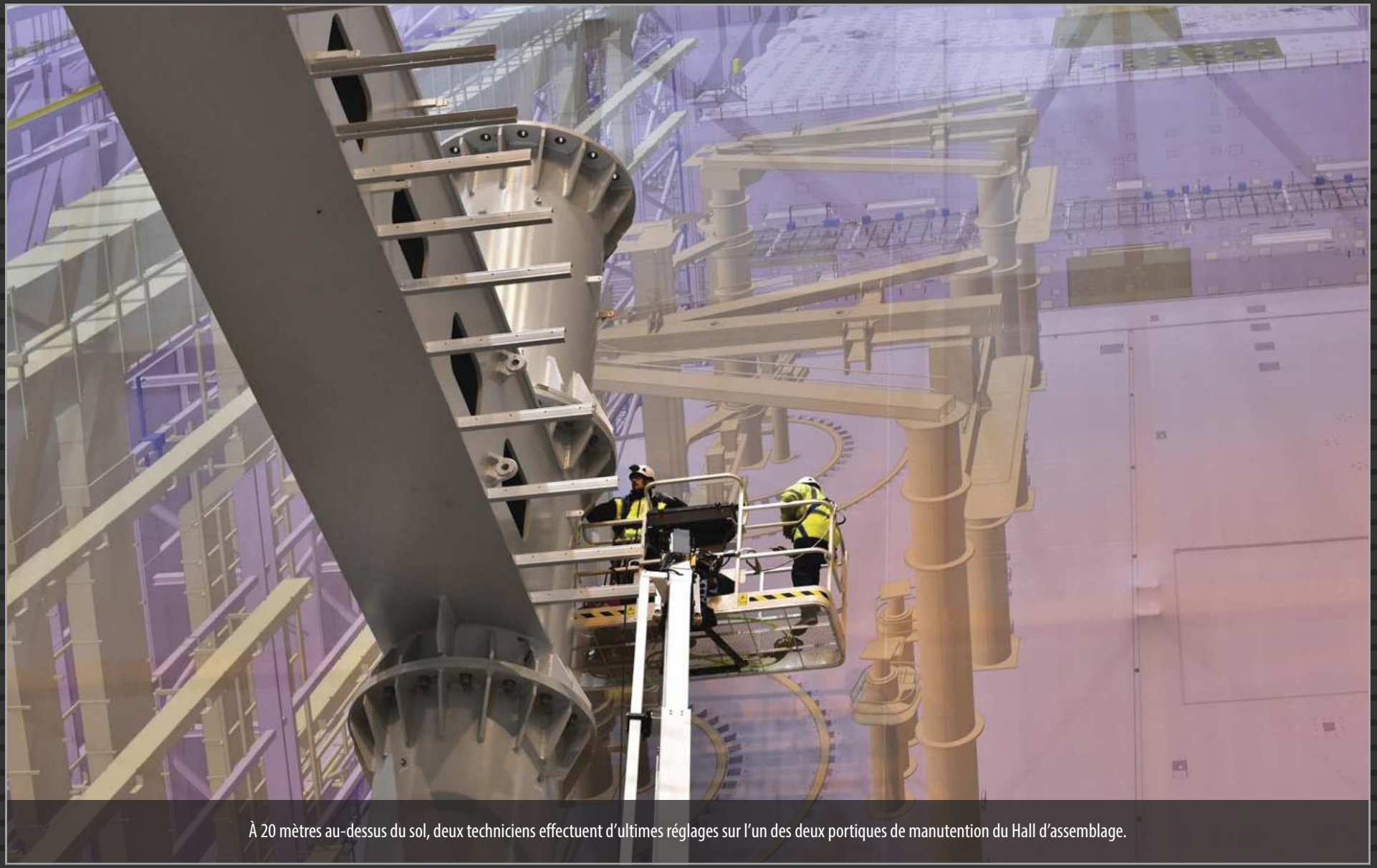


La nuit tombe sur le site d'ITER, à Saint-Paul-lez-Durance/Cadarache (13). 70% des bâtiments et des infrastructures requis pour la production du premier plasma sont désormais finalisés.

# NEUF ANS PLUS TARD

Au terme de neuf ans de travaux, la plateforme compte des dizaines de bâtiments. Au centre, au dernier niveau du Bâtiment tokamak, les piliers du futur Hall de levage sont en place.

# ULTIMES RÉGLAGES



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.

# UN BERCEAU À BASCULE

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.

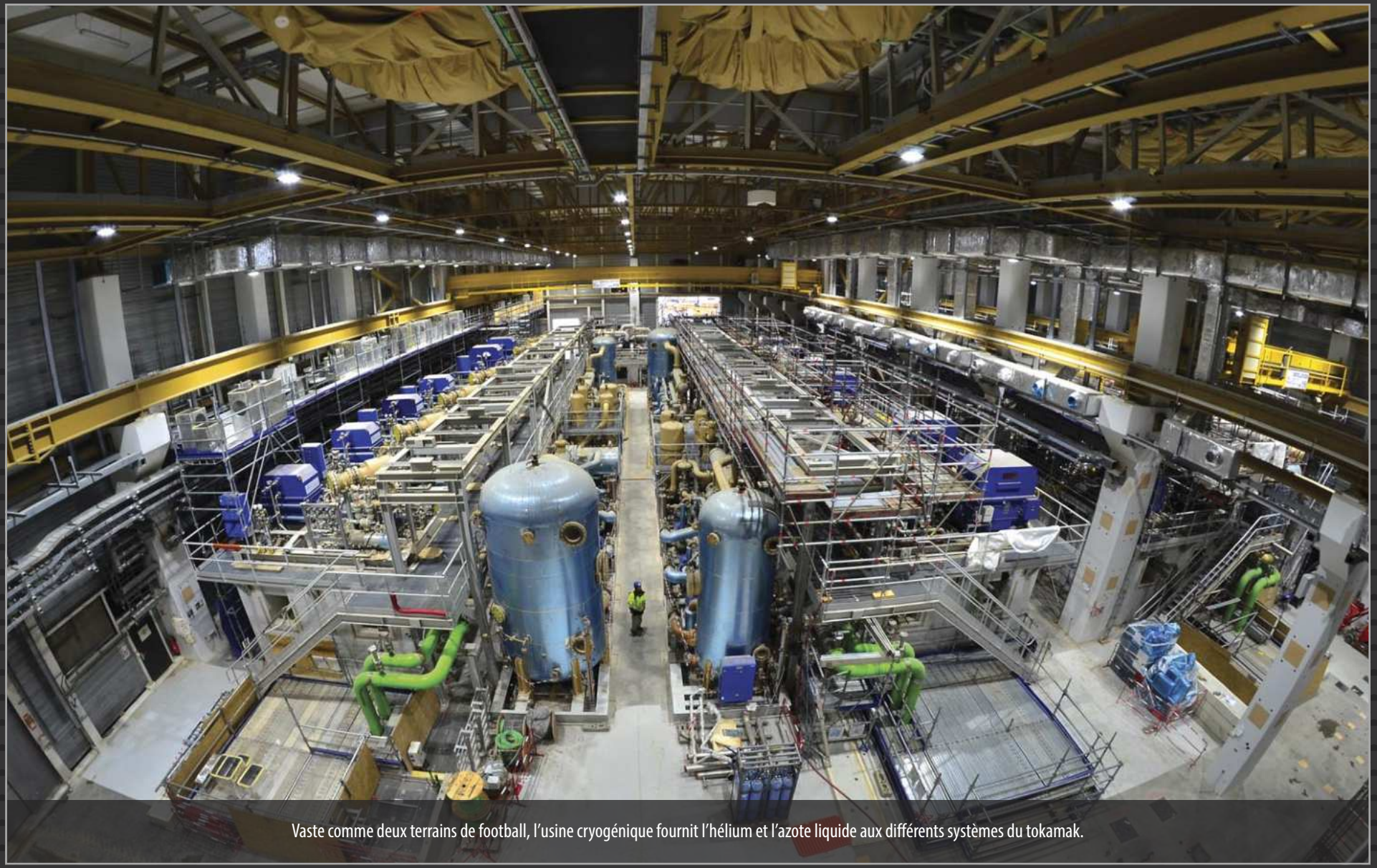
# DERNIÈRE ÉTAPE AVANT L'ASSEMBLAGE

Tout est prêt désormais pour ériger la structure métallique du Hall de levage et prolonger les rails des ponts roulants jusqu'à la verticale du puits d'assemblage.

# RAFRAÎCHISSANT

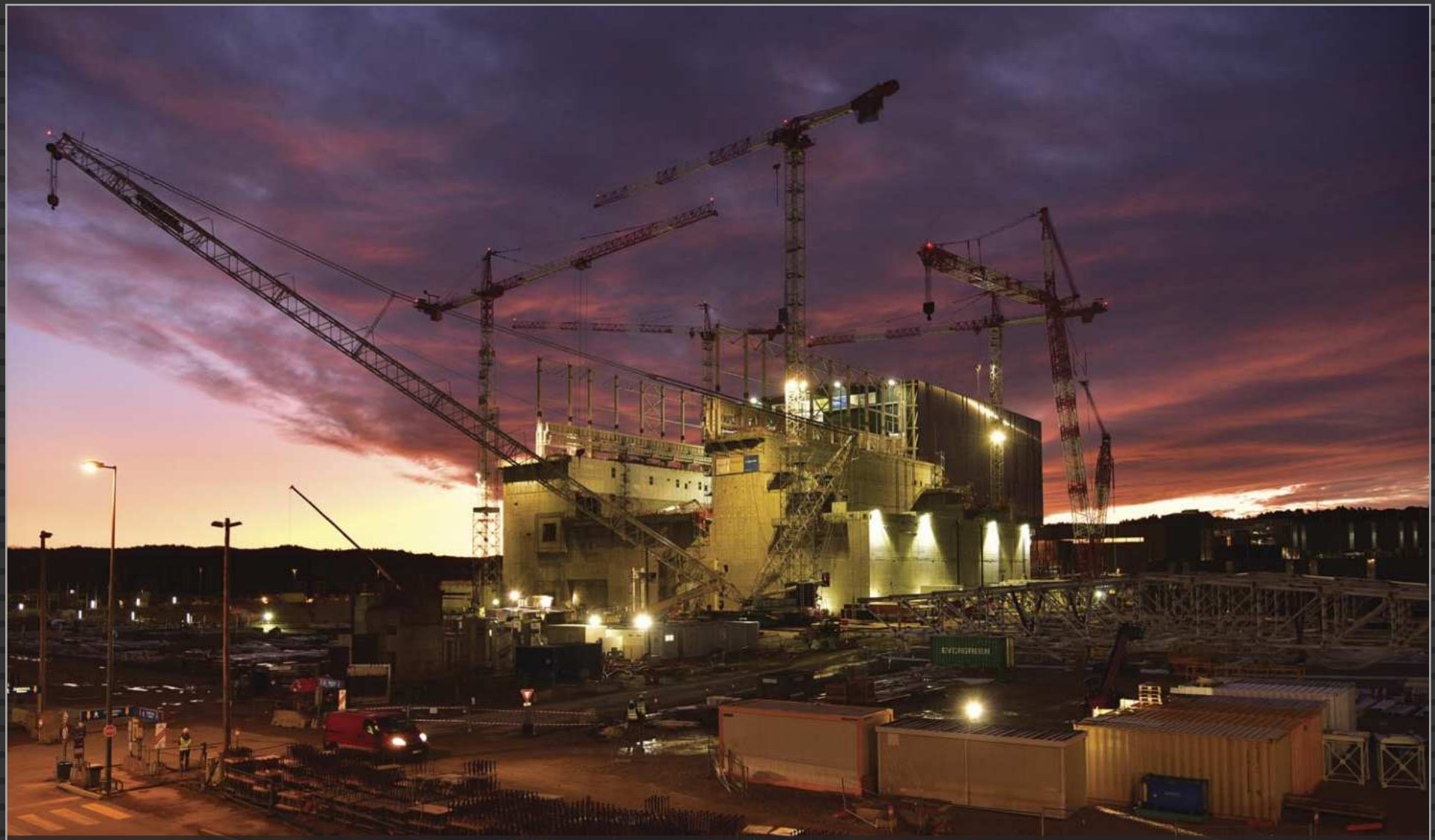
La chaleur générée par la machine et ses systèmes auxiliaires est évacuée par un circuit de refroidissement dont les plus grosses canalisations présentent un diamètre de l'ordre de 2 mètres.

# DEUX TERRAINS DE FOOT



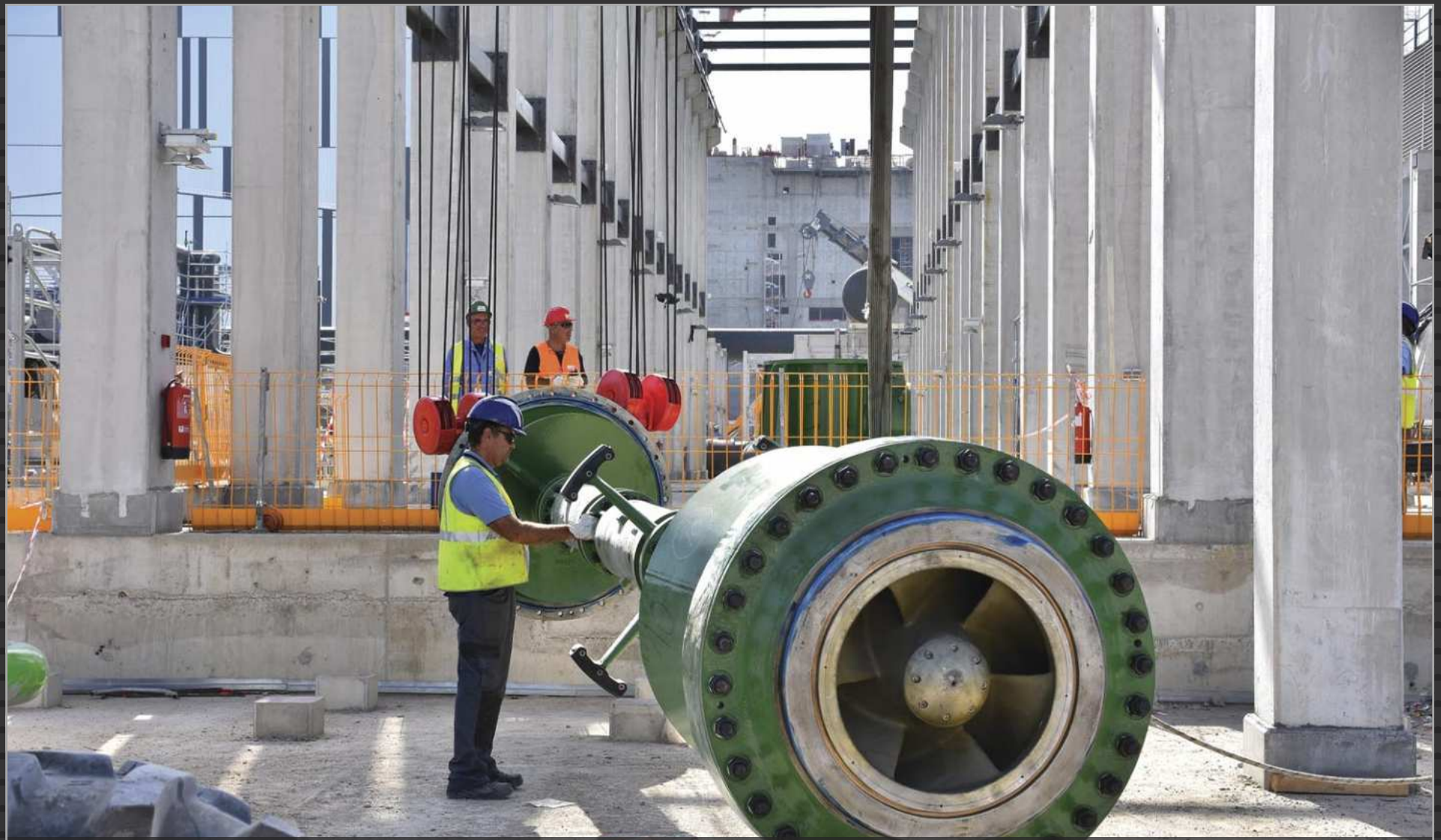
Vaste comme deux terrains de football, l'usine cryogénique fournit l'hélium et l'azote liquide aux différents systèmes du tokamak.

# DANS L'AUBE NAISSANTE



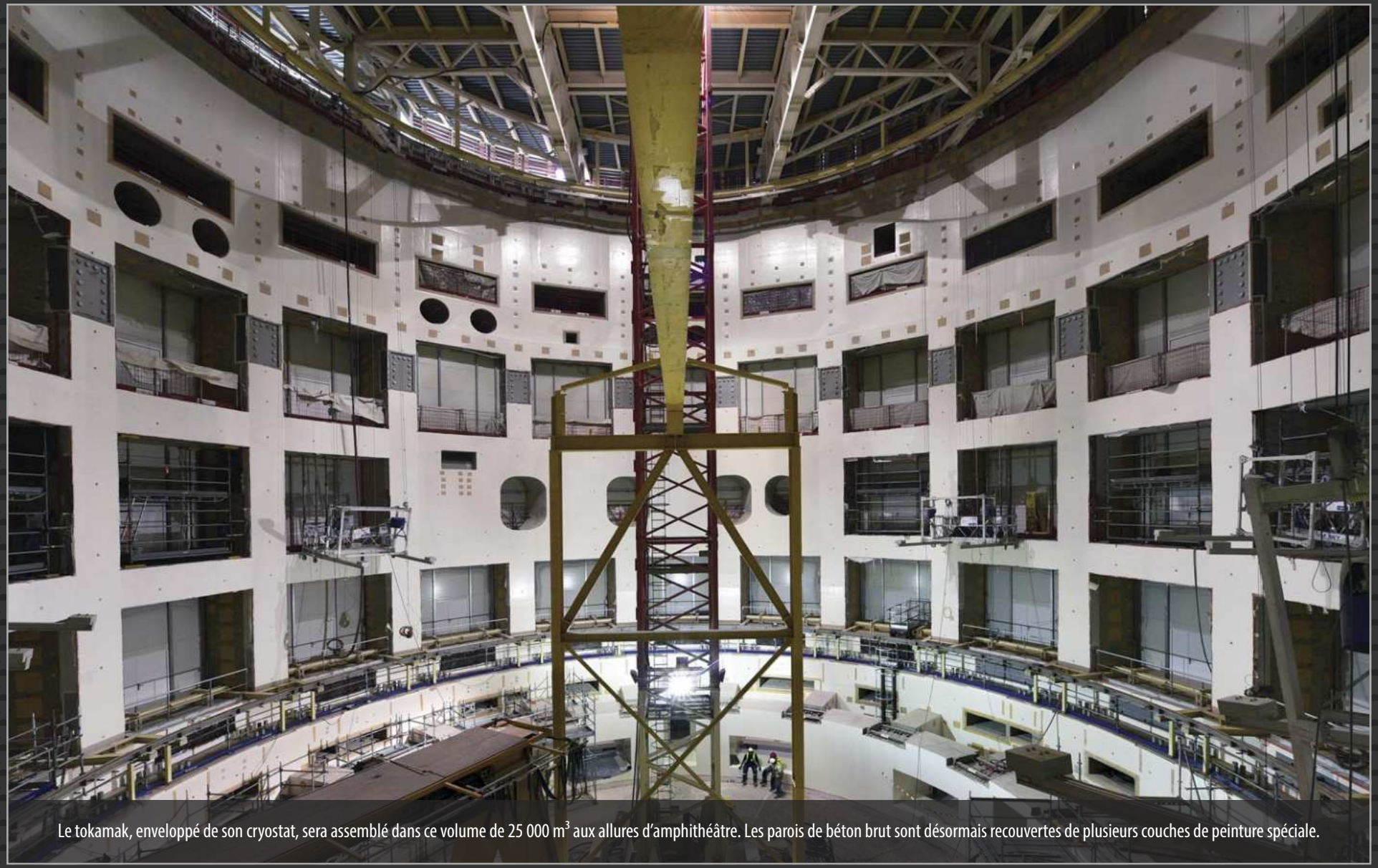
Aux premières lueurs de l'aube, le 4 décembre, une puissante grue sur chenille s'apprête à lever le premier des cinq modules de la charpente métallique du futur Hall de levage.

# DÉBIT DE L'EAU



Fournies par l'Inde, 13 pompes à turbine d'une capacité de 10 $m^3/s$ assurent la circulation de l'eau de refroidissement. Animée par un moteur électrique de 870 kW, chaque pompe est équipée d'un arbre de transmission de 10 mètres de long et pesant plus de 6 tonnes.

# LE TEMPLE DU SOLEIL

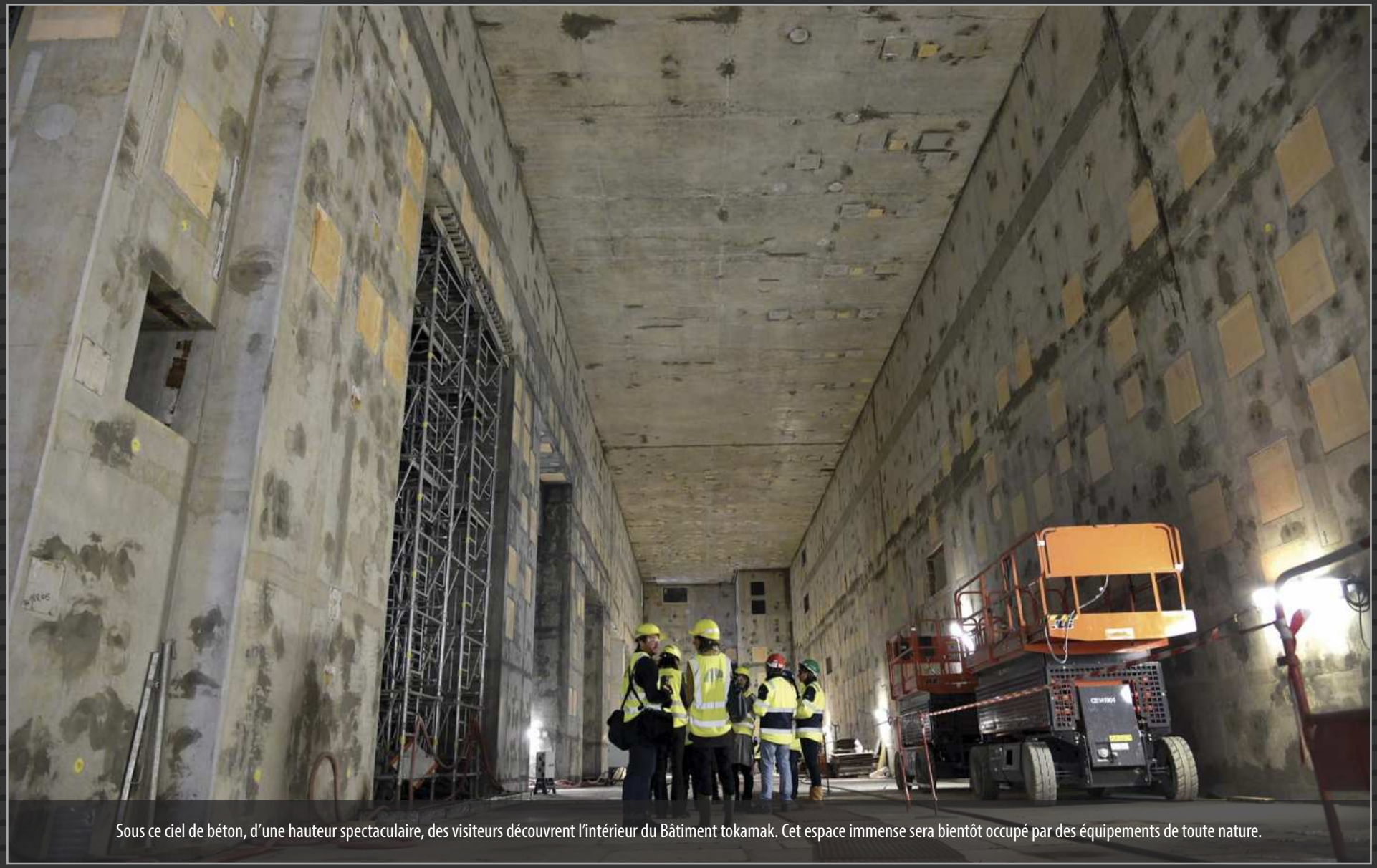


Le tokamak, enveloppé de son cryostat, sera assemblé dans ce volume de 25 000 $m^3$ aux allures d'amphithéâtre. Les parois de béton brut sont désormais recouvertes de plusieurs couches de peinture spéciale.

# UN TRAVAIL D'HORLOGER

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.

# SOUS UN CIEL DE BÉTON

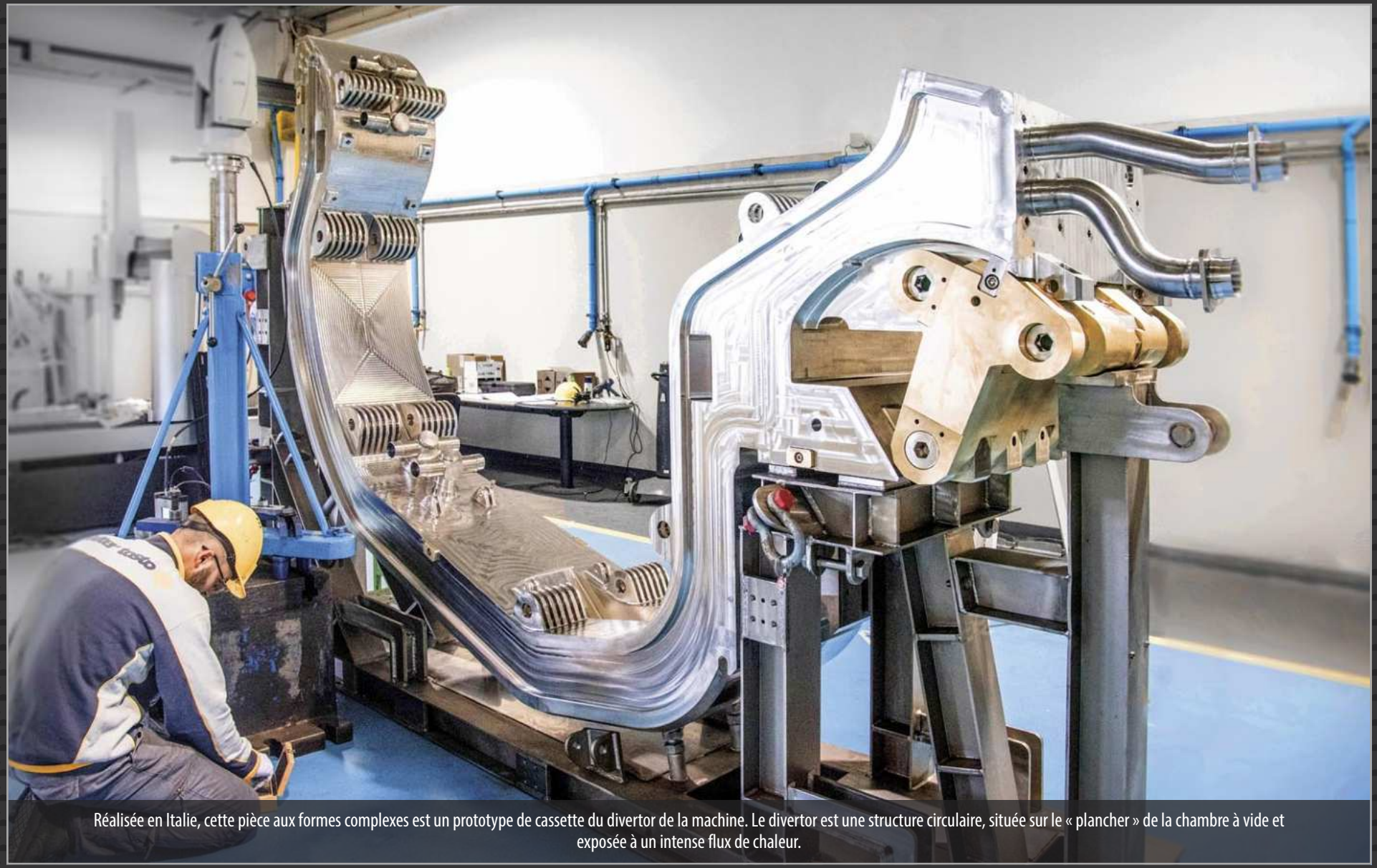


Sous ce ciel de béton, d'une hauteur spectaculaire, des visiteurs découvrent l'intérieur du Bâtiment tokamak. Cet espace immense sera bientôt occupé par des équipements de toute nature.

# LA ROUTE D'ITER PASSE PAR SHANGHAI

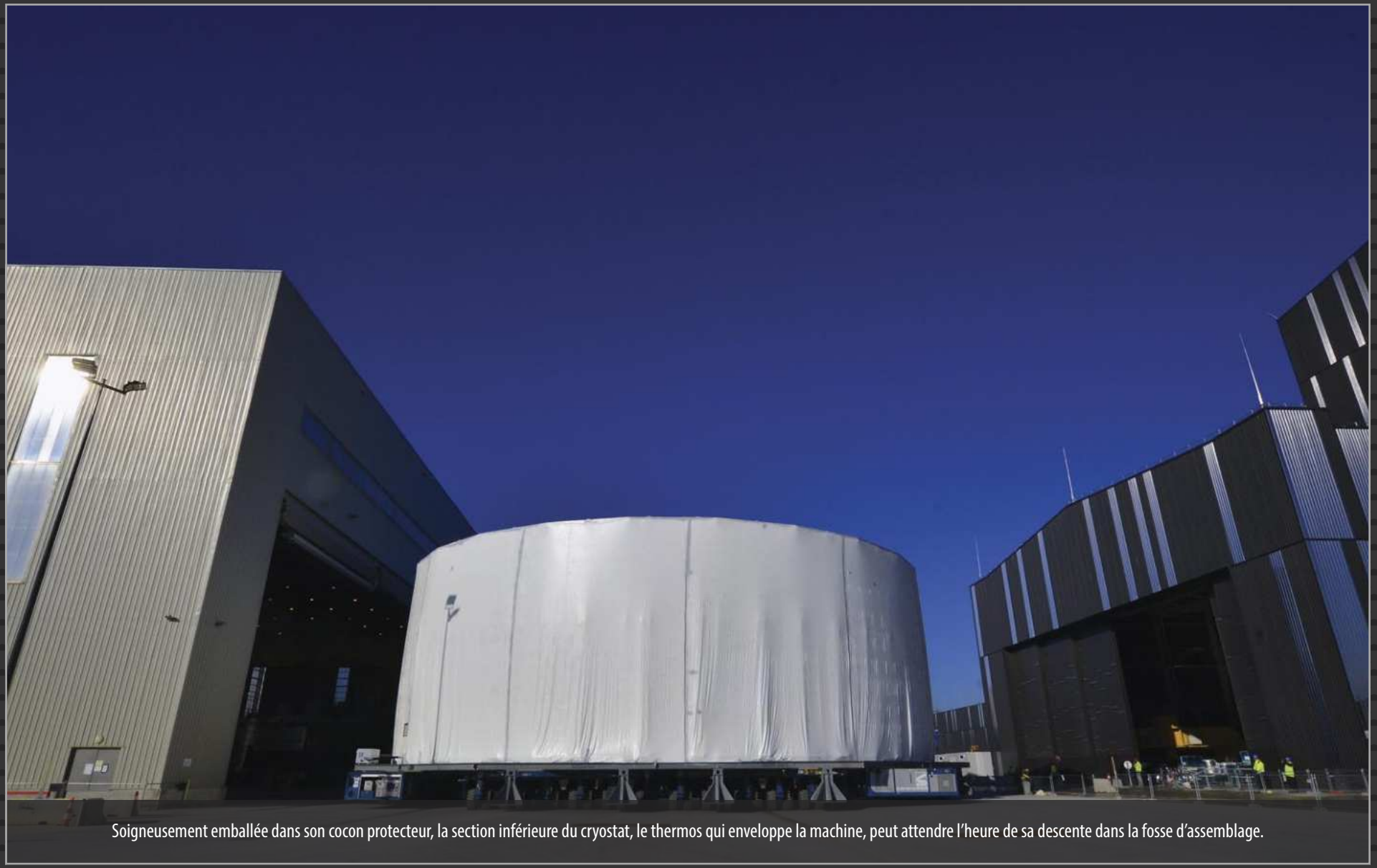
Cet élément semi-circulaire fait partie du système d'alimentation électrique et cryogénique des bobines de correction. Ce convoi est en route vers le port de Shanghai et, de là, vers le site d'ITER.

# UN PROTOTYPE TRÈS EXPOSÉ



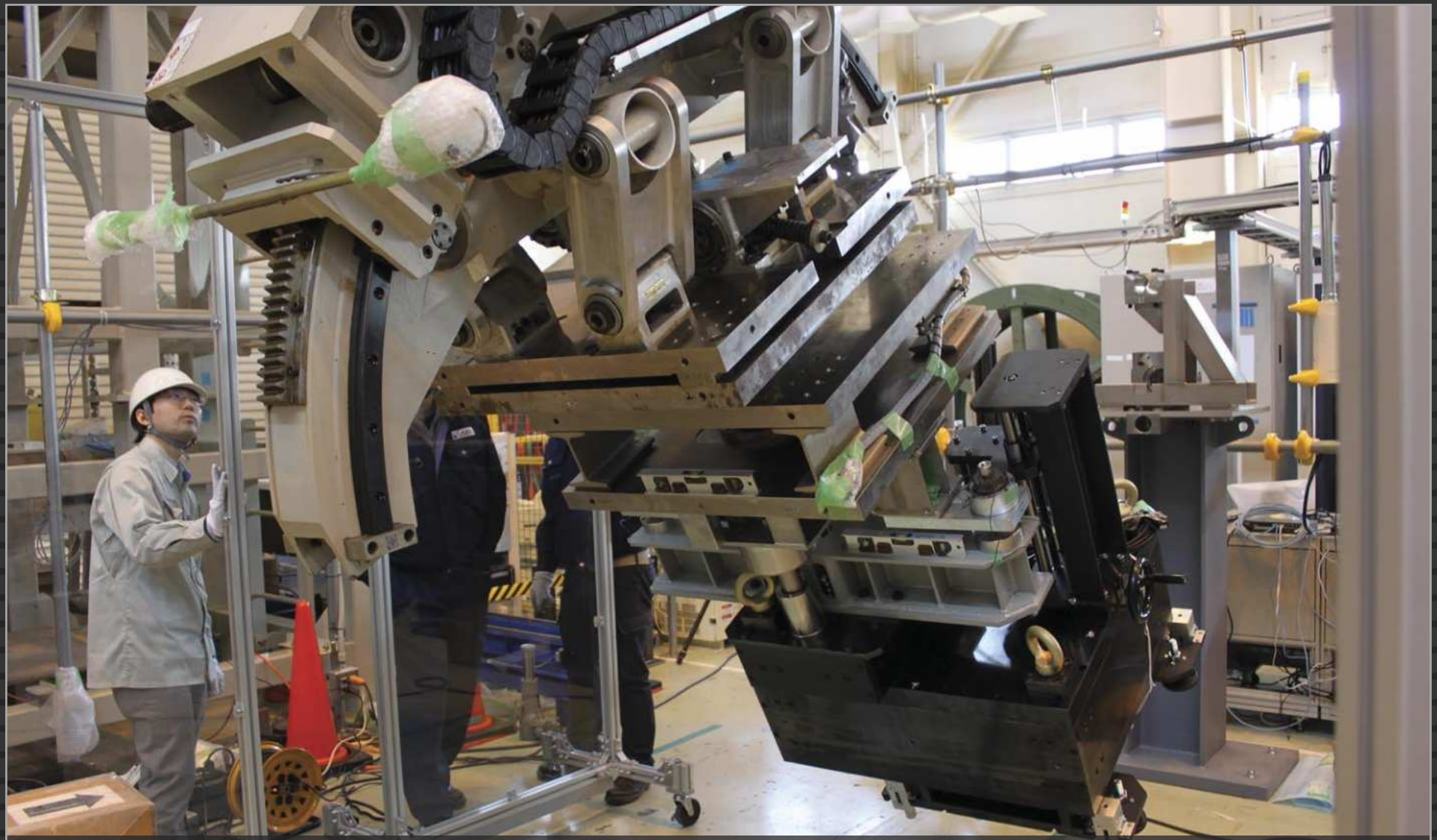
Réalisée en Italie, cette pièce aux formes complexes est un prototype de cassette du divertor de la machine. Le divertor est une structure circulaire, située sur le « plancher » de la chambre à vide et exposée à un intense flux de chaleur.

# À L'ABRI DANS SON COCON



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.

# DU MUSCLE…



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).

# ÉTINCELANT

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.

# LES COMPAGNONS DE L'ANNEAU

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

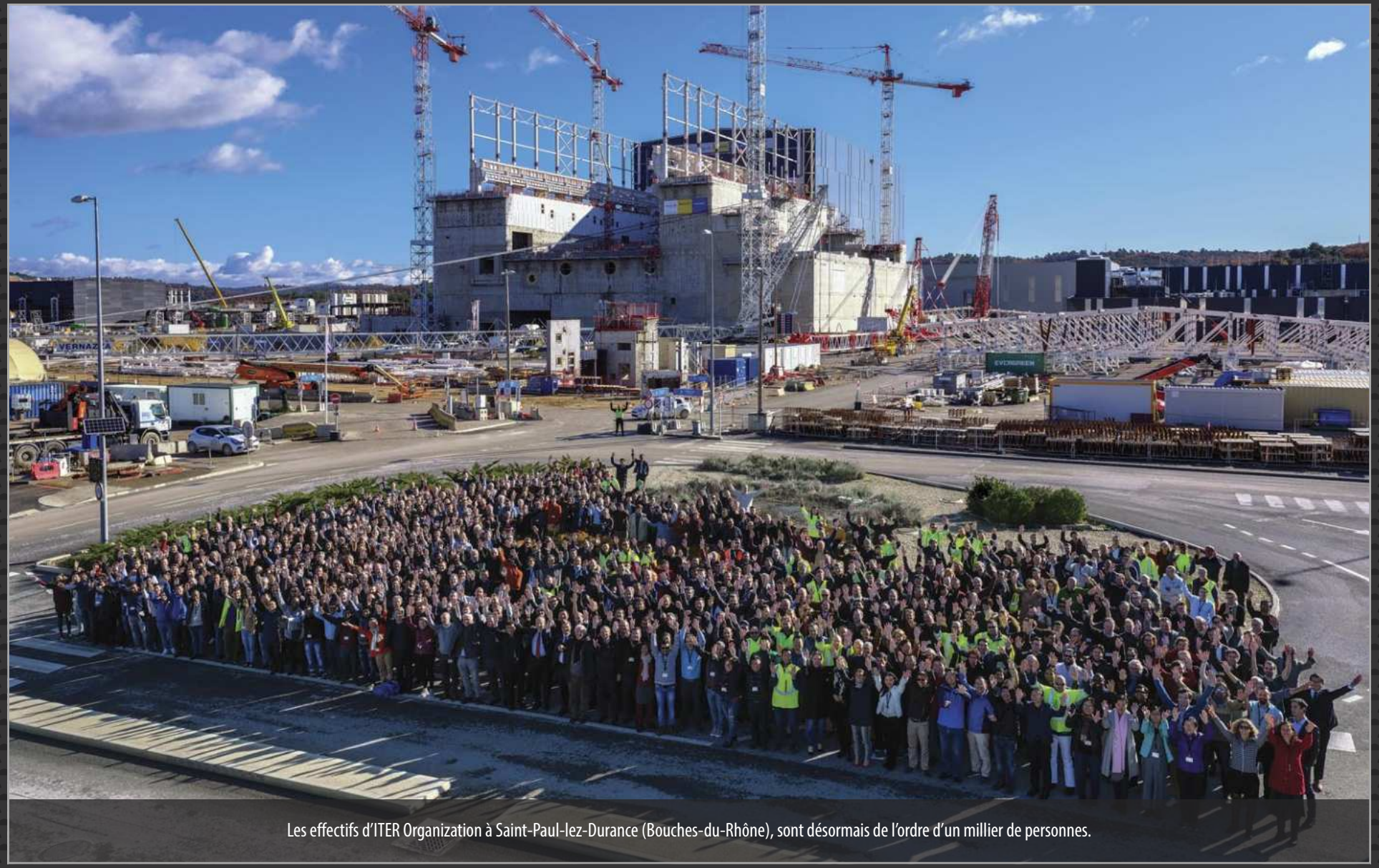
# PILE OU FACE ?

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.

# BIENTÔT L'ASSEMBLAGE

L'année 2019 touche à sa fin; la charpente métallique du Hall de levage est partiellement en place. L'année 2020 sera celle du lancement de la phase d'assemblage.

# UN PETIT MILLIER

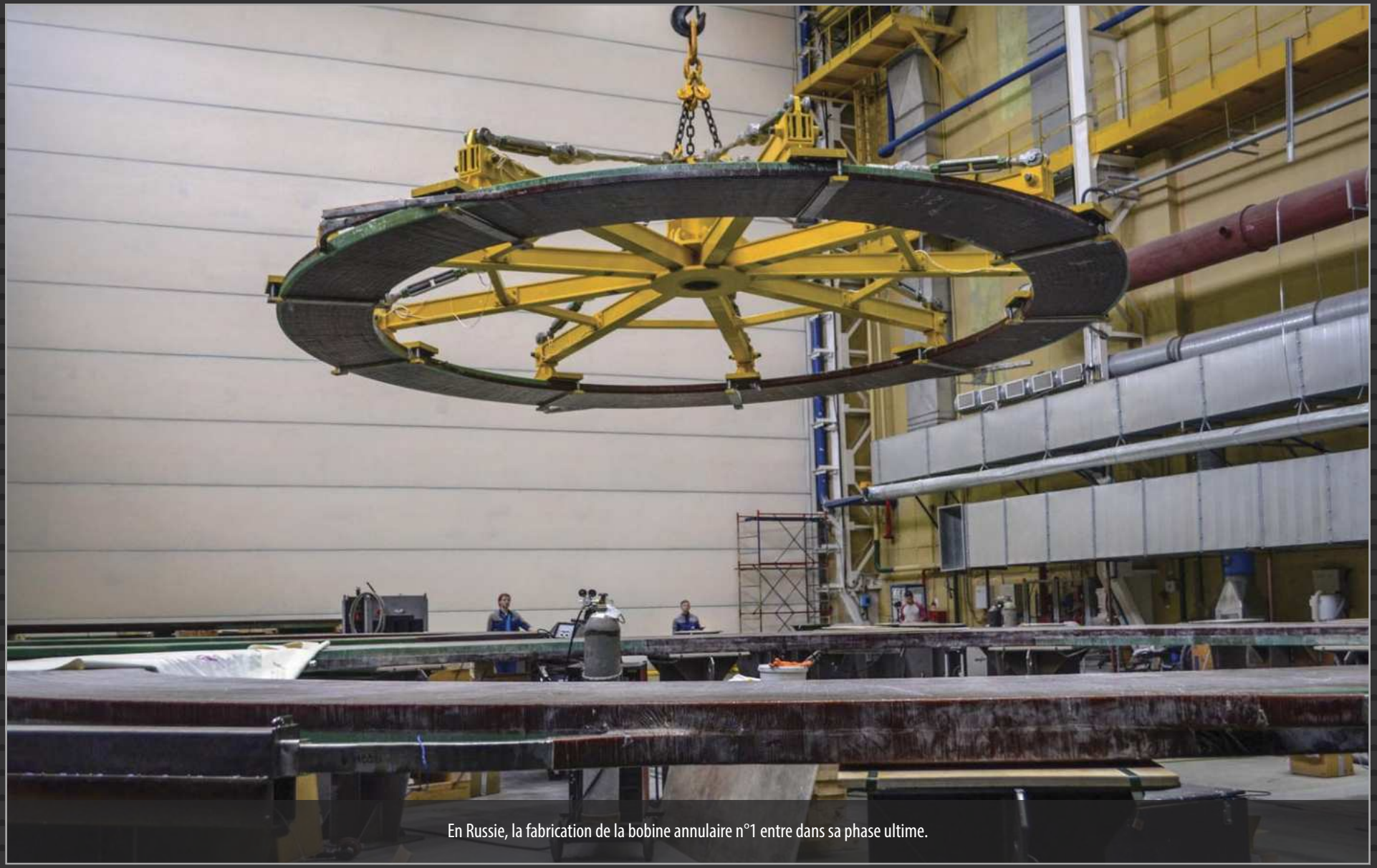


Les effectifs d'ITER Organization à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), sont désormais de l'ordre d'un millier de personnes.

# CHRONOLOGIE DE LA FUSION

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.

# UN EMPILEMENT DE GALETTES



En Russie, la fabrication de la bobine annulaire n°1 entre dans sa phase ultime.

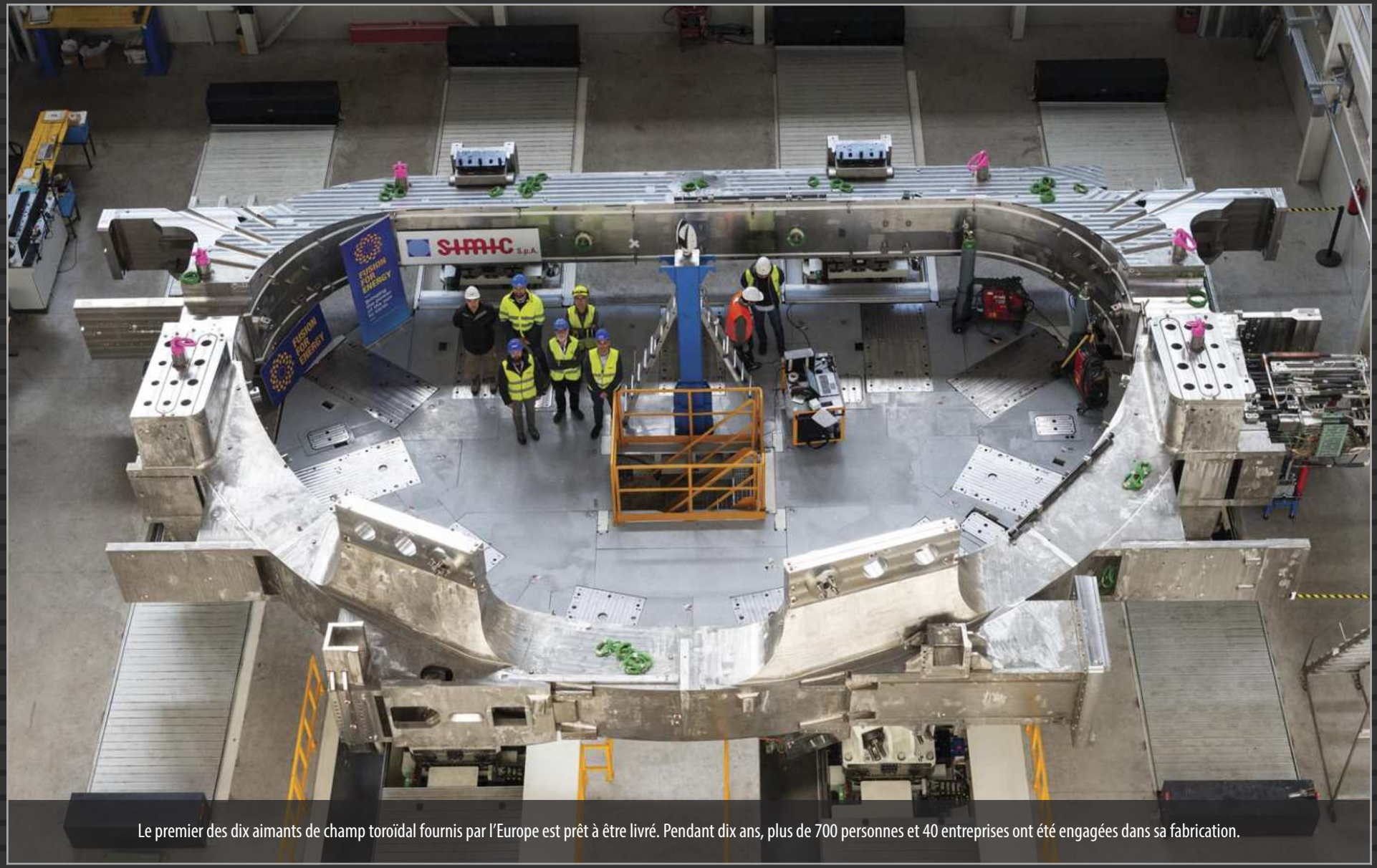
# 1 SUR 9

Au mois de janvier, le Japon a finalisé la première des neuf bobines de champ toroïdal (verticale) qu'il doit livrer à ITER.

# DIX ANS DE TRAVAIL

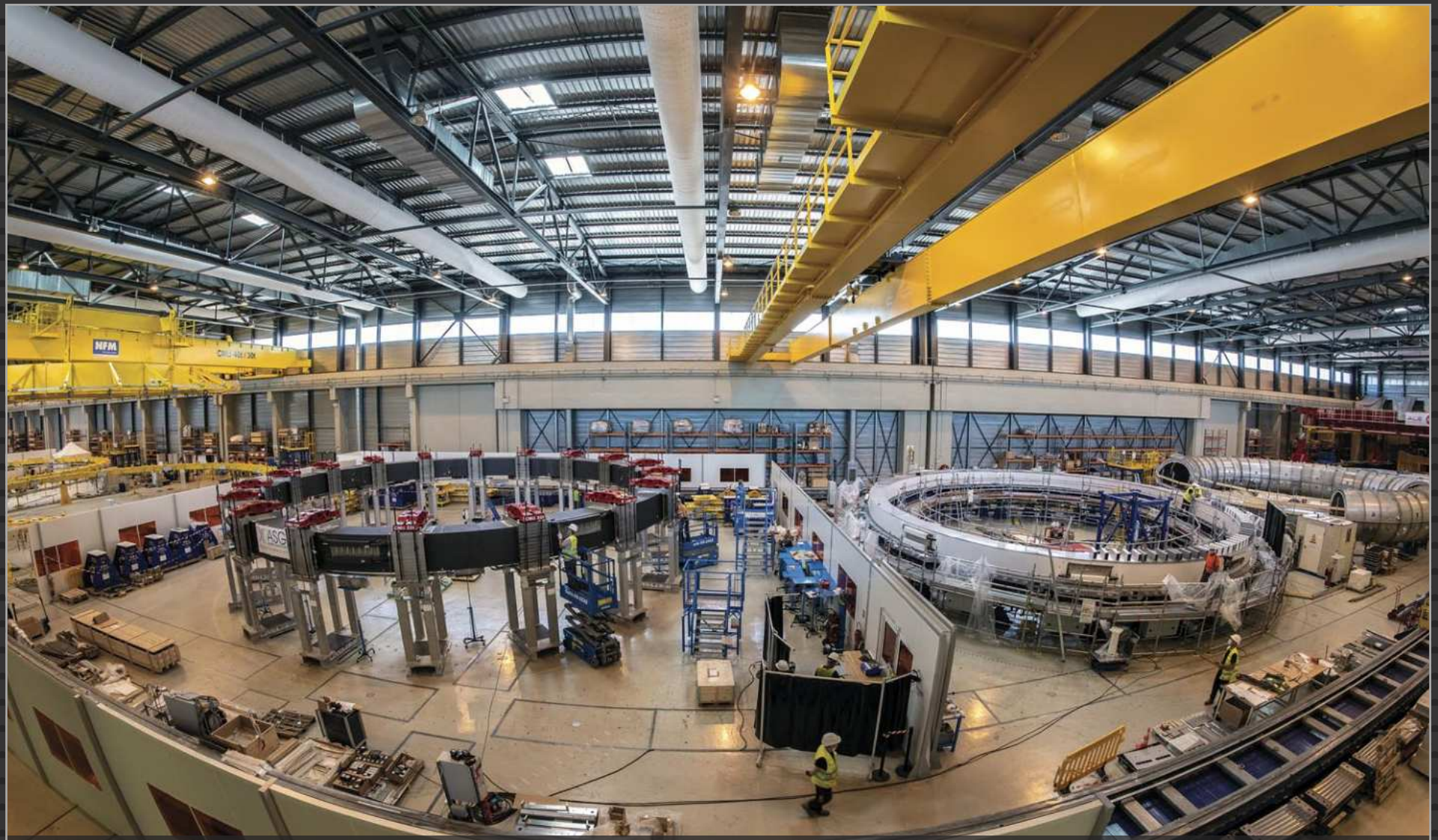
Finalisée au mois d'avril, la fabrication de ce secteur de chambre à vide, l'un des quatre que doit fournir la Corée, aura nécessité dix années de travail.

# UN PREMIER AIMANT VERTICAL POUR L'EUROPE



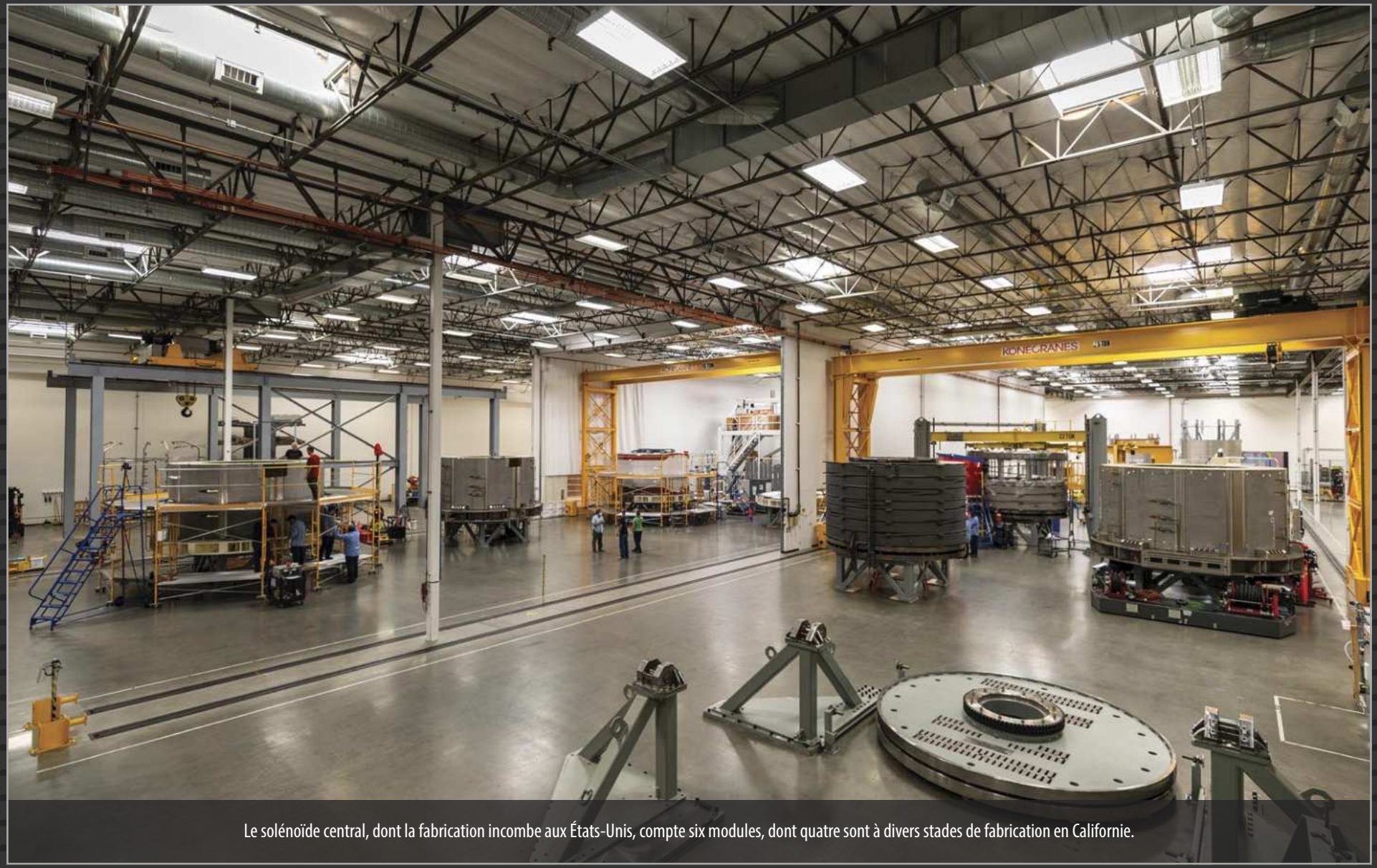

Le premier des dix aimants de champ toroïdal fournis par l'Europe est prêt à être livré. Pendant dix ans, plus de 700 personnes et 40 entreprises ont été engagées dans sa fabrication.

# TROIS BOBINES DANS L'ATELIER




Au mois de juillet, dans l'usine de bobinage, l'Europe finalise la fabrication de deux aimants annulaires tandis qu'un troisième (à demi-masqué par le pont roulant à droite) est préparé pour les tests à froid.

# QUATRE MODULES À DIVERS STADES DE FABRICATION




Le solénoïde central, dont la fabrication incombe aux États-Unis, compte six modules, dont quatre sont à divers stades de fabrication en Californie.

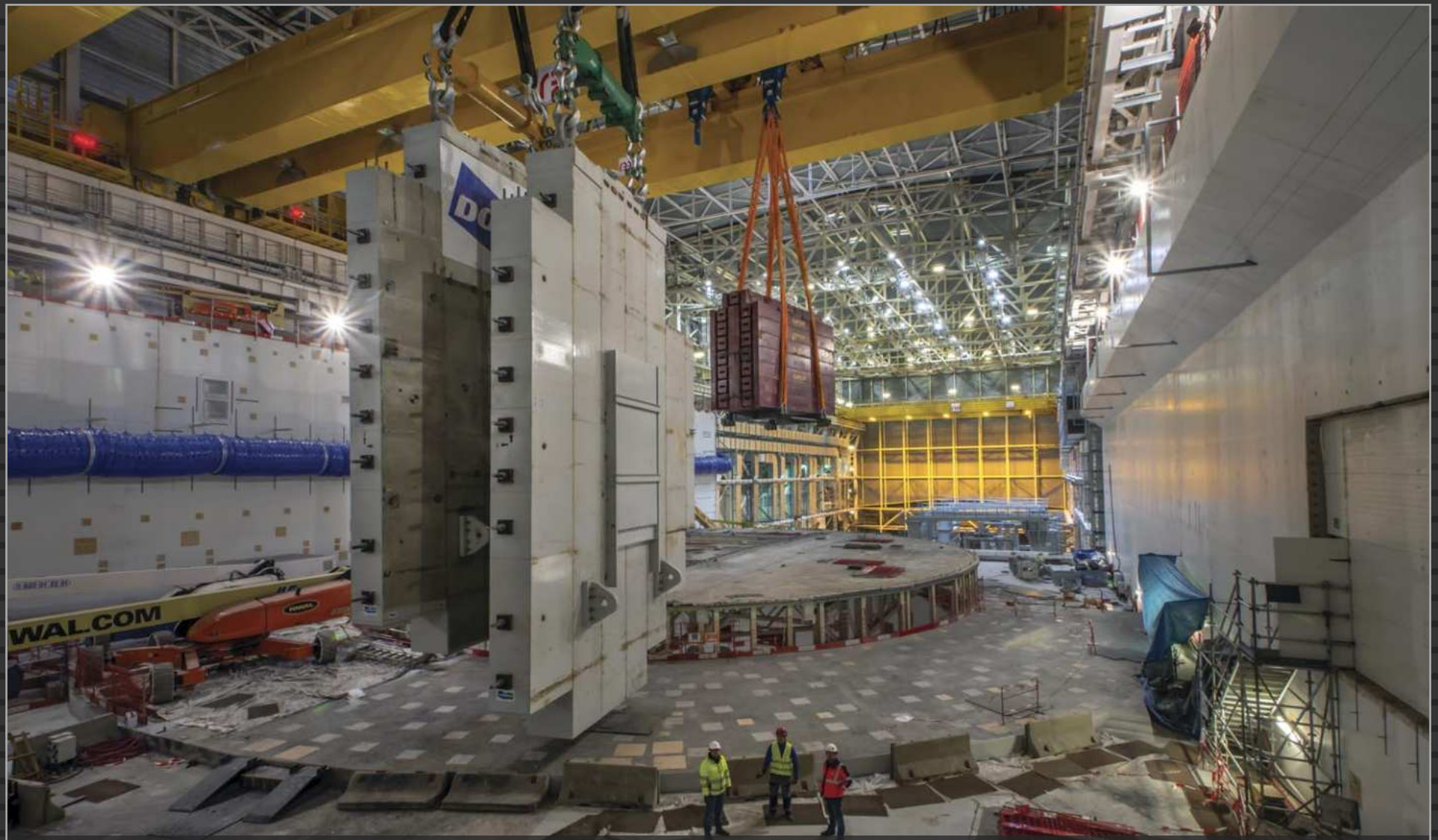
# UN AIMANT DE 400 TONNES

Au mois de juin, au terme d'un voyage de 10 000 kilomètres, la bobine annulaire n°6, fournie par l'Europe et fabriquée en Chine, vient de s'engager sur « l'Itinéraire ITER ». C'est le plus lourd des six aimants annulaires de la machine.

# SIX ANS DE FABRICATION

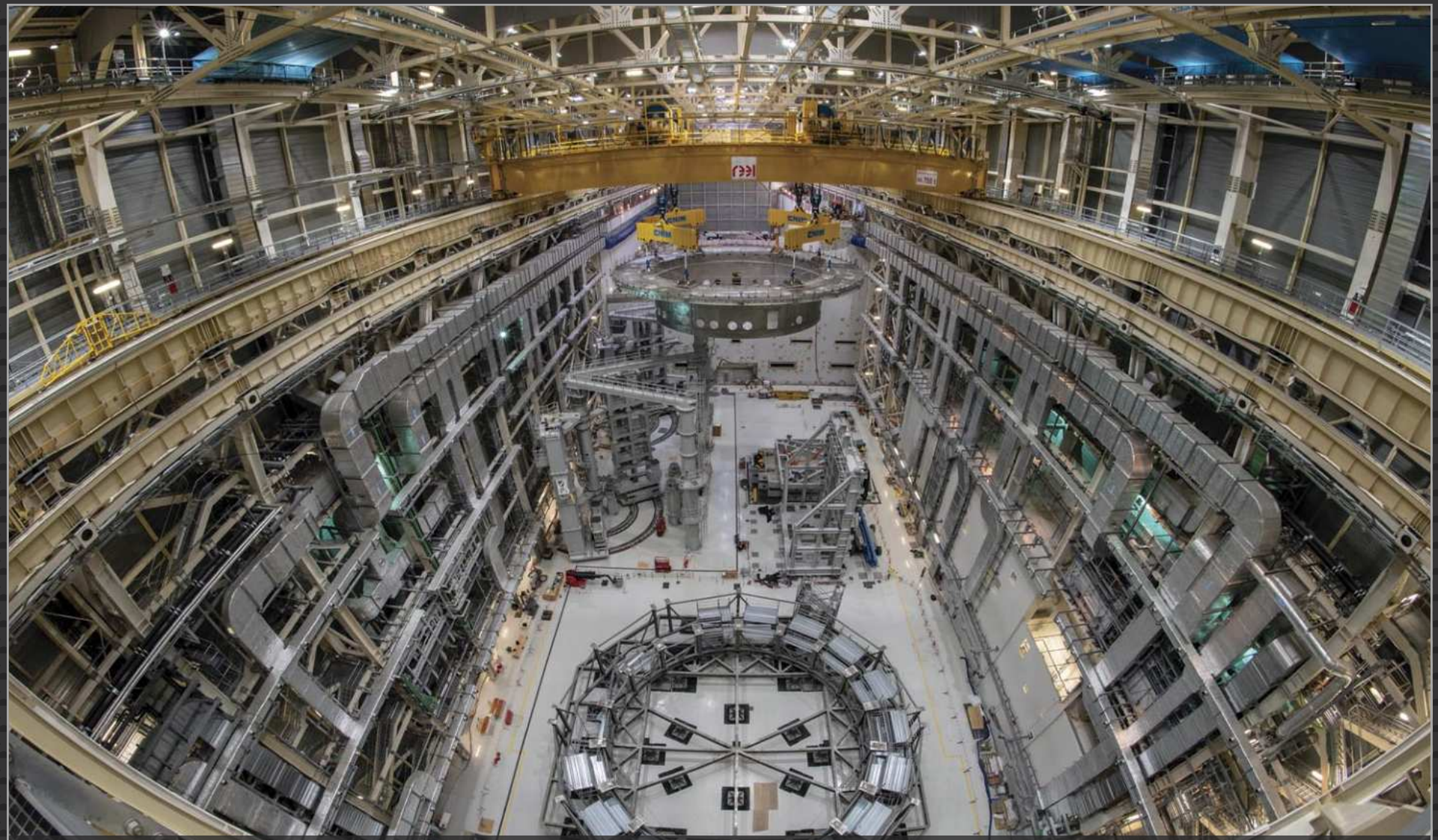
En Corée, la fabrication des 4 000 mètres-carrés d'écran thermique (900 tonnes) est terminée – elle aura duré six ans.

# UNE IMAGE, TROIS JALONS




Trois jalons majeurs sont illustrés par cette image : la finalisation du Hall de levage, la suppression de la cloison temporaire qui séparait le Hall d'assemblage du Bâtiment tokamak, et la validation du pont roulant avec des charges de 1 000 tonnes.

# L'ASSEMBLAGE COMMENCE

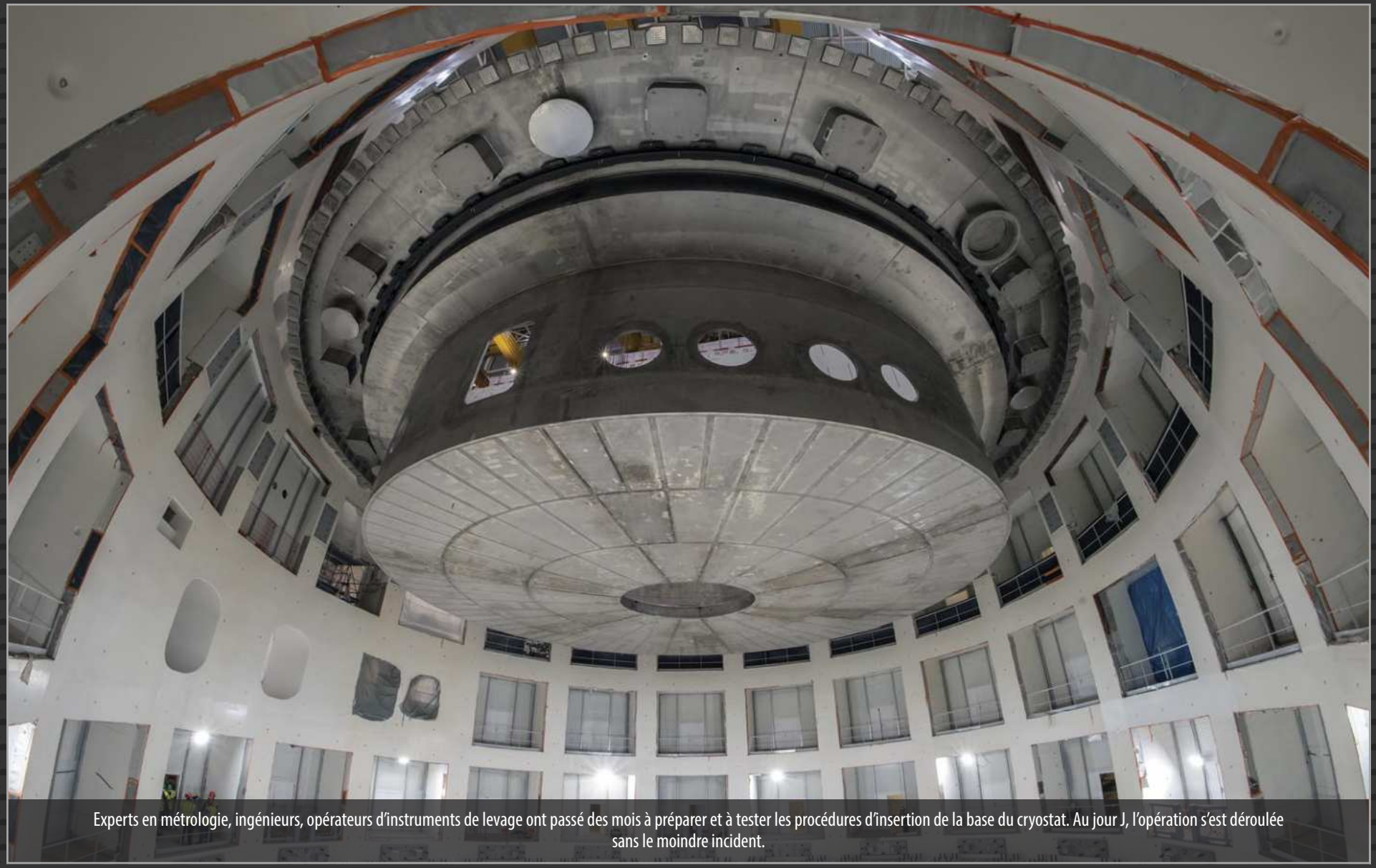


Le 26 mai 2020, une opération spectaculaire et symbolique se déroule : l'insertion de la base du cryostat (1 250 tonnes) dans le puits du tokamak, véritable commencement de la phase d'assemblage.

# AU PLUS JUSTE

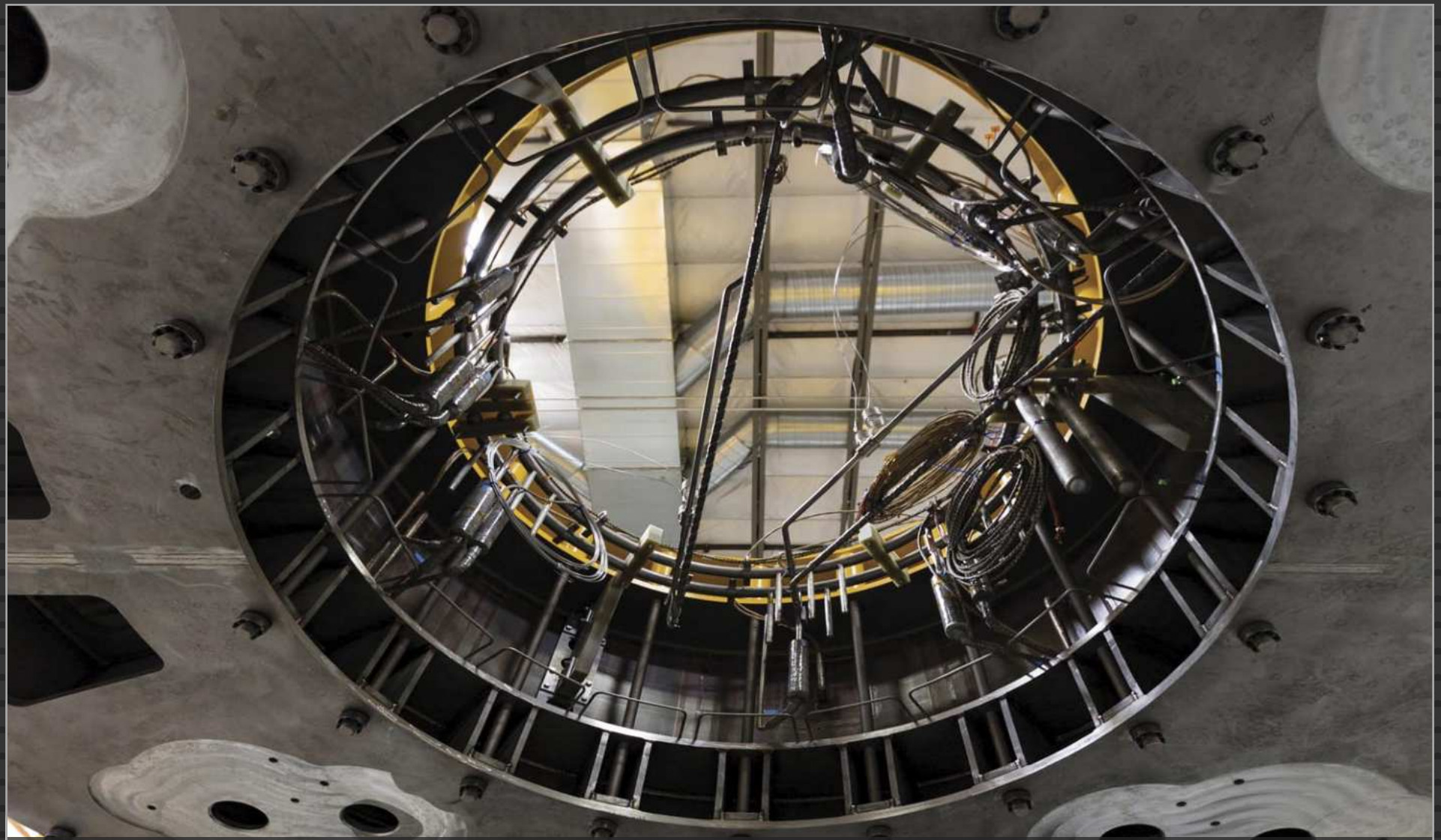
Le diamètre du puits d'assemblage est à peine supérieur (50 cm à l'entrée, 5 cm à la base) à celui de la pièce qui doit s'y insérer. L'installation de la base du cryostat est une opération de haute précision.

# DES MOIS DE PRÉPARATION ET DE TESTS



Experts en métrologie, ingénieurs, opérateurs d'instruments de levage ont passé des mois à préparer et à tester les procédures d'insertion de la base du cryostat. Au jour J, l'opération s'est déroulée sans le moindre incident.

# VANNES ET CONDUITS POUR L'HÉLIUM LIQUIDE



Les modules du solénoïde central, fabriqués aux États-Unis, sont équipés d'un système de vannes et de conduits dans lesquels circule l'hélium liquide qui les refroidira à la température de *moins* 193 °C.

# ET D'UNE !

Cette bobine de champ toroïdal (n°9), fournie par l'Europe, est la première à être livrée à ITER le 17 avril. Dix-huit autres (dont une rechange) sont attendues, en provenance d'Europe et du Japon.

# ET DE DEUX !

Le 25 avril, une semaine tout juste après la livraison de la bobine n°9, c'est la bobine n°12 qui arrive du Japon.

# 75% DES BÂTIMENTS ET INFRASTRUCTURES FINALISÉS

Au mois de mai, les bâtiments et les infrastructures indispensables à la production du premier plasma sont finalisés à plus de 75%. Emballées dans leur cocon protecteur, deux pièces majeures, les cylindres inférieur et supérieur du cryostat, sont visibles tout en haut de l'image.

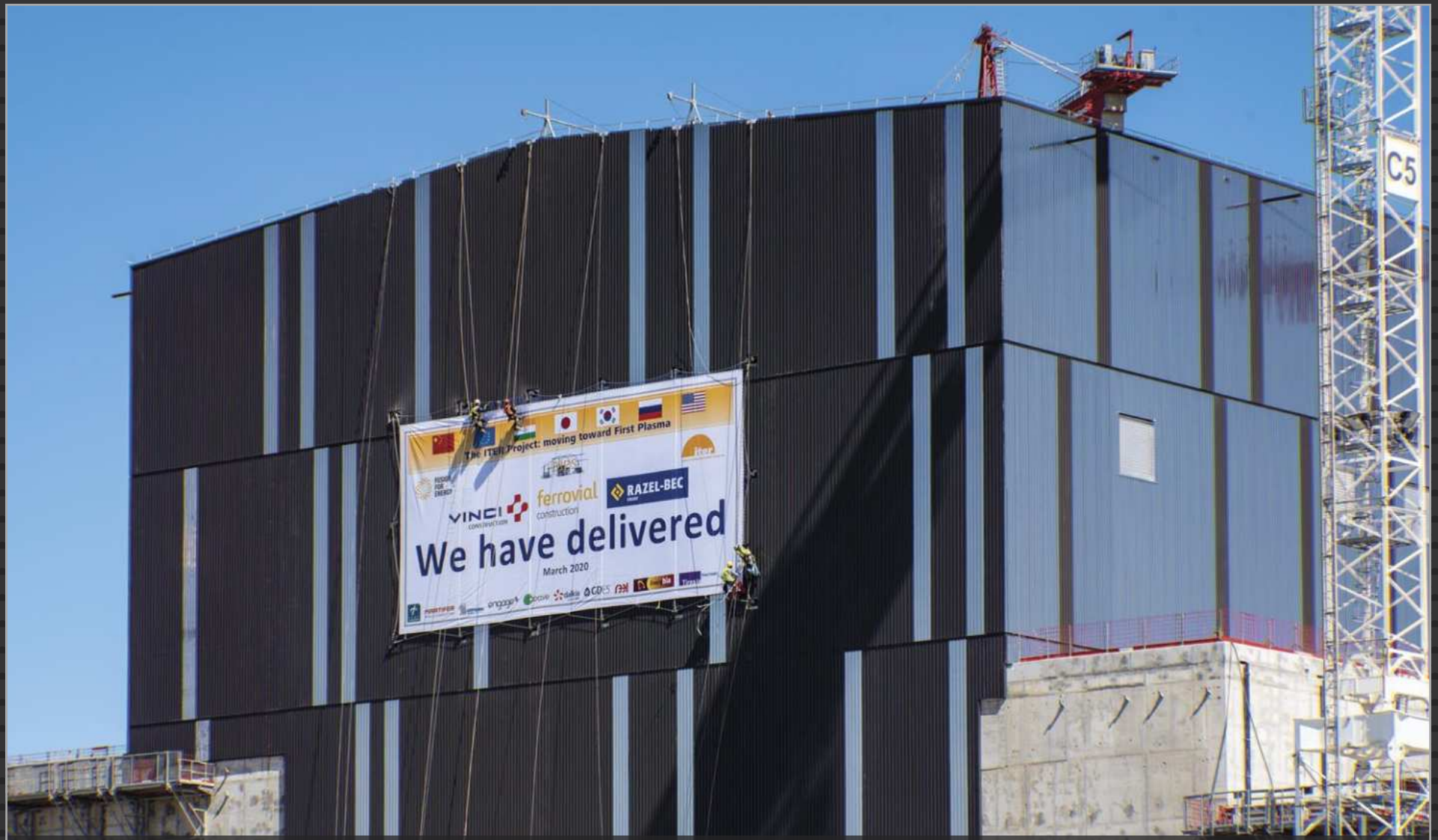
# ITER AU TEMPS DU COVID

Au mois de juin, dans un contexte de pandémie, le 26e Conseil ITER s'est tenu en vidéo-conférence. À gauche, Bernard Bigot, directeur général d'ITER Organization.

# ET DE TROIS !

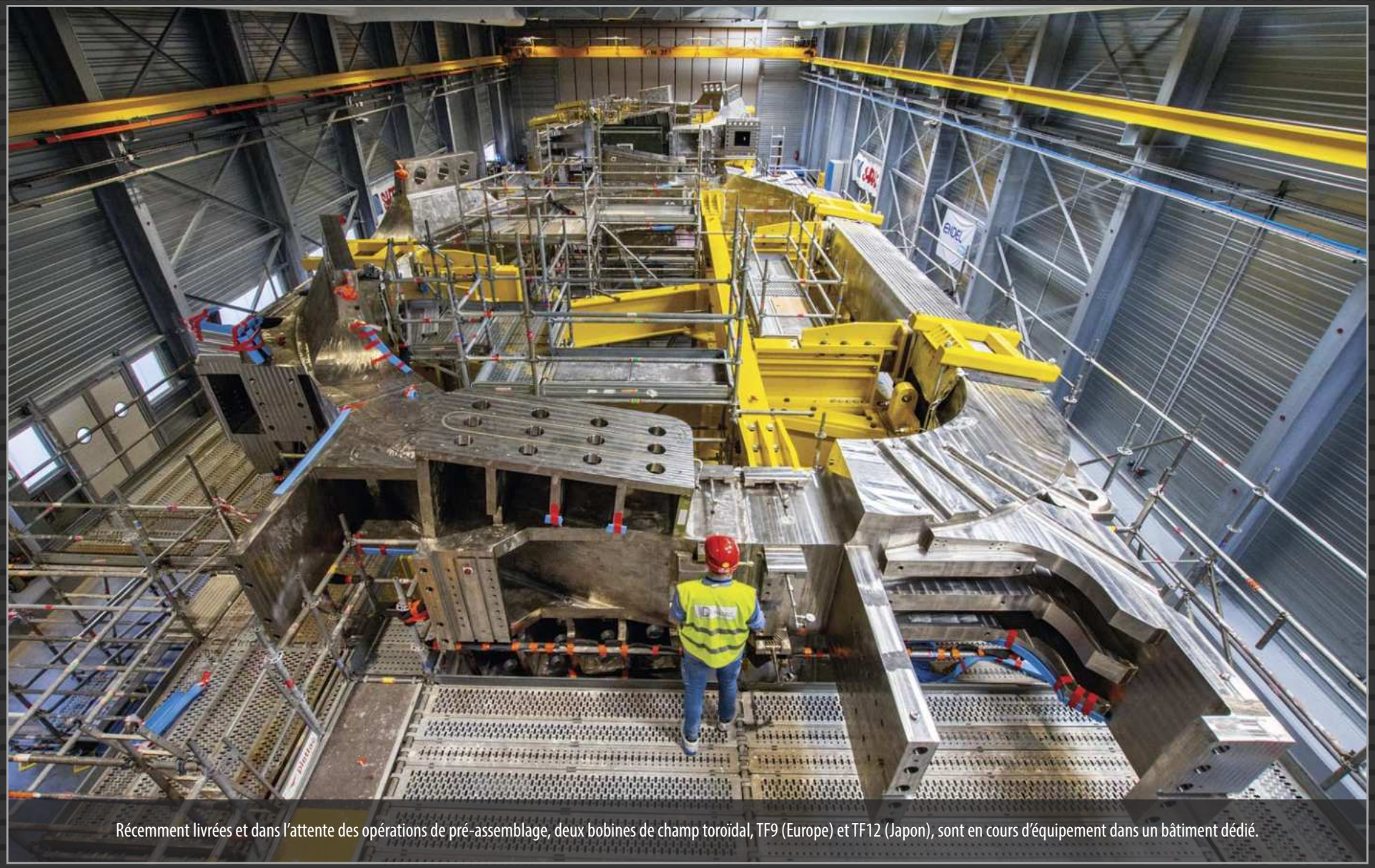
Dans la foulée des bobines n°9 et 12, la bobine de champ toroïdal n°13, partie du Japon, arrive à son tour sur le site d'ITER le 3 juillet. Elle sera associée à la bobine n°12 et au secteur de chambre à vide n°6 pour former le premier « sous-assemblage » de la machine.

# LE BÂTIMENT TOKAMAK EST PRÊT




La livraison du Bâtiment tokamak couronne huit années d'efforts coordonnés entre l'Europe, responsable de la construction des bâtiments, son sous-traitant le consortium Vinci-Ferrovial-Razel Bec (VFR) et ITER Organization.

# EN COURS D'ÉQUIPEMENT



Récemment livrées et dans l'attente des opérations de pré-assemblage, deux bobines de champ toroïdal, TF9 (Europe) et TF12 (Japon), sont en cours d'équipement dans un bâtiment dédié.

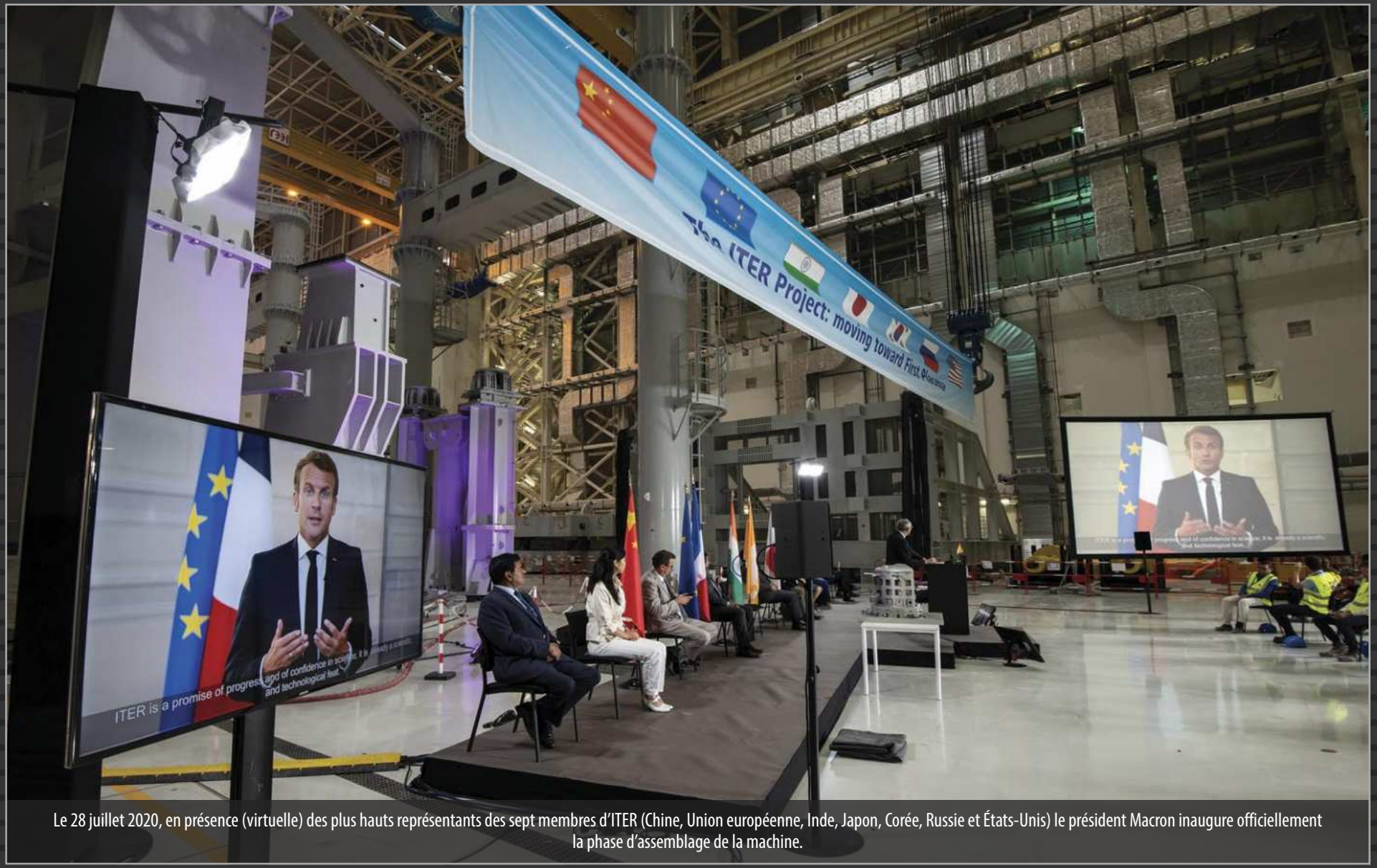
# CLAP DE FIN

Le 30 juin, les représentants de l'Agence domestique indienne et les employés de Larsen & Toubro Heavy Engineering célèbrent la finalisation du dernier élément du cryostat – une aventure industrielle qui aura duré près de huit ans.

# UNE ARRIVÉE REMARQUÉE

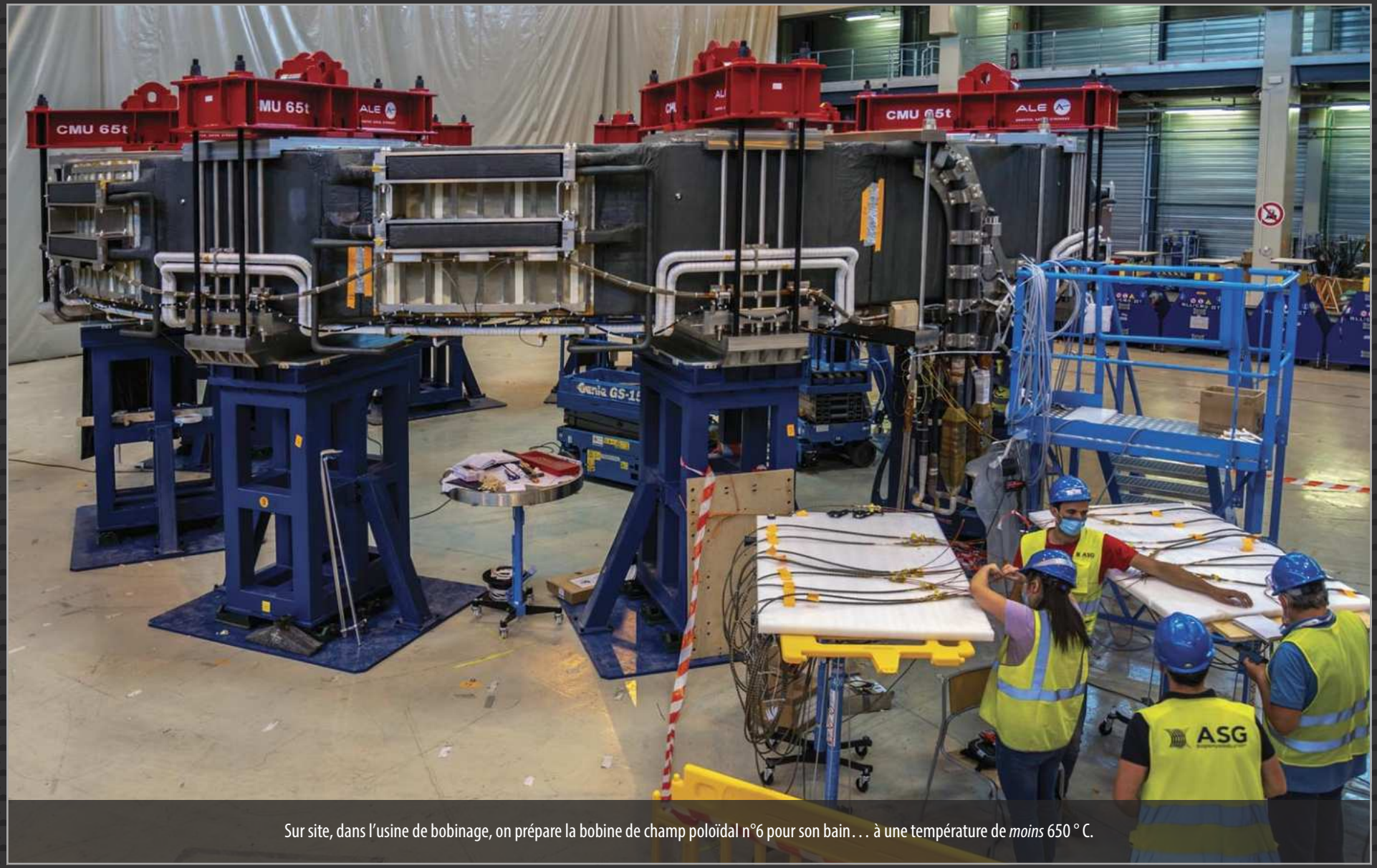
Le 22 juillet, au terme d'un voyage d'une trentaine de jours, le premier secteur de chambre à vide (n°6, en provenance de Corée) est déchargé au port de Marseille-Fos.

# LE PRÉSIDENT MACRON LANCE LA PHASE D'ASSEMBLAGE




Le 28 juillet 2020, en présence (virtuelle) des plus hauts représentants des sept membres d'ITER (Chine, Union européenne, Inde, Japon, Corée, Russie et États-Unis) le président Macron inaugure officiellement la phase d'assemblage de la machine.

# PRÊTE POUR UN BAIN GLACÉ ?




Sur site, dans l'usine de bobinage, on prépare la bobine de champ poloïdal n°6 pour son bain… à une température de *moins* 650 ° C.

iter
china eu india japan korea russia usa


Crédits photo

| | |
|---|---|
| Page 0, 6, 19, 75, 78, 111, 121 | ITER Organization/EJF Riche |
| Page 29, 43, 57, 101, 108 | General Atomics |
| Page 11, 87 | Walter Tosto |
| Page 94 | Gérard Lesénéchal |
| Page 117 | Emmanuel Bonici |
| Page 118 | Pierre Genevier |



Toutes les autres photos et illustrations
© ITER Organization et Agences domestiques ITER

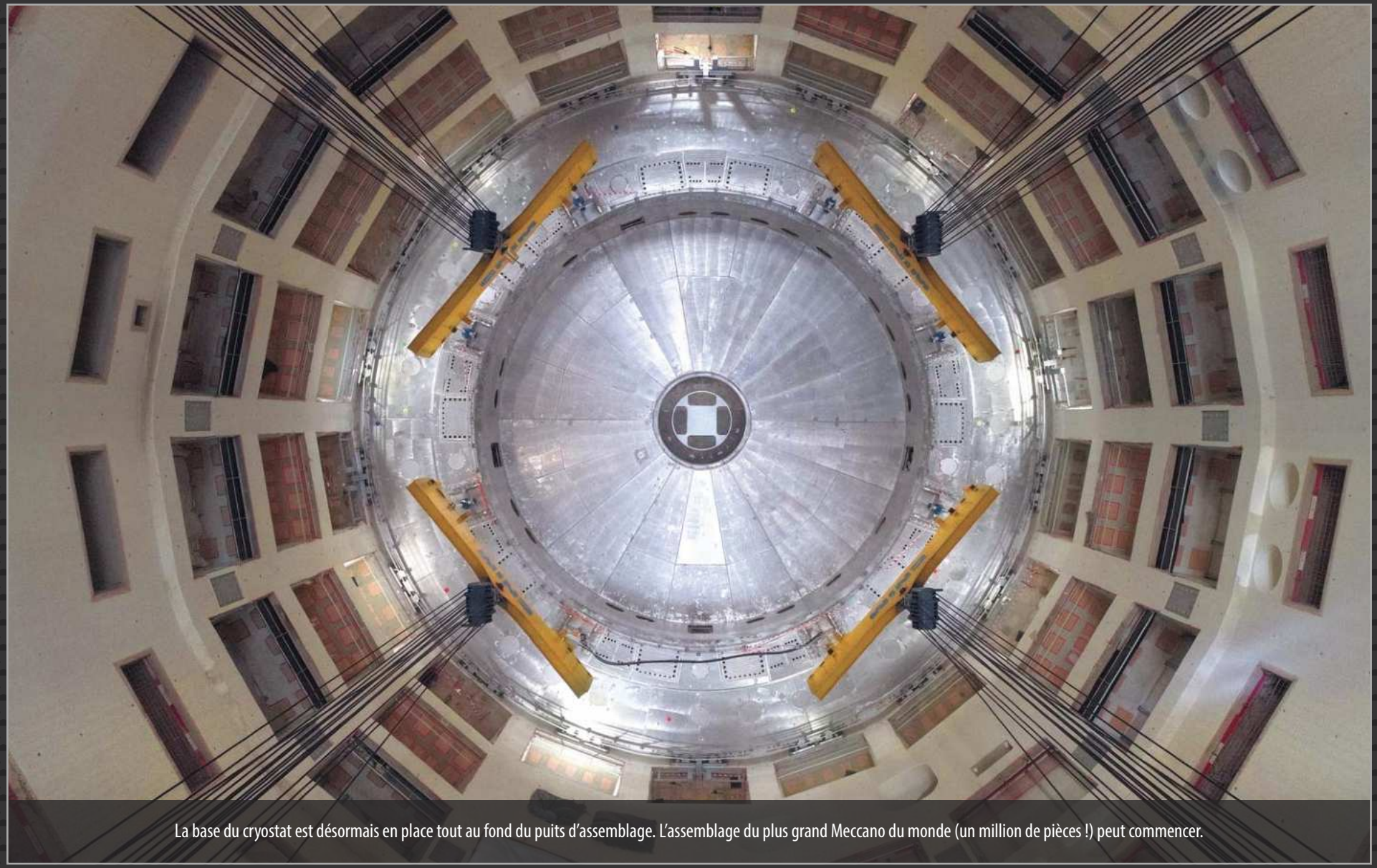


Directeur de la publication
Laban Coblentz
laban.coblentz@iter.org

Responsables éditoriaux
Robert Arnoux
robert.arnoux@iter.org
Krista Dulon
krista.dulon@iter.org

www.iter.org/fr

# ACTE I, SCÈNE 1



La base du cryostat est désormais en place tout au fond du puits d'assemblage. L'assemblage du plus grand Meccano du monde (un million de pièces !) peut commencer.

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

© ITER Organization, juillet 2020

www.iter.org/fr

iter
china eu india japan korea russia usa