

[Communiqué publié par l'organisation Iter lundi soir.](https://www.iter.org/newsline/-/3818)

(Traduction rapide)

<https://www.iter.org/newsline/-/3818>

21 Nov, 2022 - Machine assembly

Key components to be repaired

Principaux composants à réparer

Lors de la construction d'une machine aussi grande et aussi complexe qu'ITER, les difficultés et les contretemps ne sont pas surprenants : ils font partie intégrante de la fabrication, de l'assemblage et de l'installation de composants inédits. Des premières étapes de fabrication à l'insertion finale dans la fosse du Tokamak, les défis des composants sont un compagnon constant et familier. Parfois, cependant, au milieu de problèmes ordinaires, presque quotidiens, surgit une préoccupation d'une plus grande dimension, qui exige un examen approfondi, de la créativité dans la conception d'actions correctives, ainsi que du temps et un budget pour y remédier. Deux ans et demi après le début de sa phase d'assemblage de machines, ITER fait face à un problème de cette nature : **des défauts ont été identifiés dans deux composants clés du tokamak, les boucliers thermiques et les secteurs de la cuve à vide.**

Les écrans thermiques de la cuve à vide et les écrans thermiques du cryostat sont des éléments argentés activement refroidis, de **20 et 10 millimètres** d'épaisseur respectivement, qui contribuent à isoler thermiquement le système d'aimant supraconducteur fonctionnant à **4K, soit moins 269 °C**. Dans chacun des neuf modules de la cuve à vide, dont l'un est déjà installé dans la fosse d'assemblage de la machine, des panneaux de protection thermique sont positionnés dans l'espace étroit entre le secteur de la cuve à vide et les deux bobines de champ toroïdales associées. Un bouclier thermique circulaire, d'environ **20 mètres de diamètre**, tapisse également la paroi interne du cryostat pour compléter la barrière thermique protégeant le système magnétique supraconducteur. La partie inférieure du bouclier thermique du cryostat a été positionnée à l'intérieur de la fosse en janvier 2021.

En novembre 2021, des tests à l'hélium ont détecté **des fuites** sur un élément du bouclier thermique de la cuve à vide qui avait été livré un an et demi plus tôt. Des groupes de travail avec des experts de différents partenaires d'ITER ont été rapidement créés pour enquêter, et ils ont pu identifier la cause profonde des fuites - **le stress causé par la flexion et le soudage des tuyaux de fluide de refroidissement sur les panneaux de protection thermique**, aggravé par une **réaction chimique lente**. réaction due à la présence de résidus de chlore¹ dans certaines petites zones à proximité des soudures des tuyaux. Cette réaction avait généré ce qu'on appelle la « **fissuration par corrosion sous contrainte** » et, au fil du temps, des fissures jusqu'à 2,2 millimètres de profondeur s'étaient développées dans les conduites. Une question cruciale se posait alors : le problème était-il ponctuel, limité aux éléments examinés, ou était-il systémique, affectant tous les composants du bouclier thermique ?

"Le risque est trop élevé et les conséquences d'un panneau de protection thermique qui fuit pendant le fonctionnement sont trop graves. Nous devons supposer que le problème est étendu", a déclaré le directeur général d'ITER, Pietro Barabaschi. "Le traiter dans la fosse sur le module déjà assemblé serait extrêmement difficile. Cela signifie que

nous devons soulever le module installé et le démonter afin de procéder aux réparations. Nous explorons différentes possibilités : de la réparation sur site à la refabrication dans une installation extérieure, éventuellement avec différentes options de fixation des tuyaux. **Mais il n'y a aucun doute sur la nécessité de remplacer les tuyaux de refroidissement.** (Le problème est moins aigu pour les panneaux de protection thermique du cryostat, car leurs tuyaux de refroidissement sont plus faciles d'accès.)

Alors que l'on considère aujourd'hui que ce problème de bouclier thermique est essentiellement dû à une faiblesse dans la conception de la fixation du tuyau de refroidissement, qui rendait impossible l'élimination complète des résidus de chlorure, les problèmes du secteur des cuves à vide découlent d'une difficulté de fabrication industrielle plus courante : la distorsion qui se produit **invariablement** dans les processus de soudage, aggravée par la complexité globale des secteurs de la cuve à vide d'ITER.

Dans ITER, comme dans de nombreux objets technologiques complexes, la fabrication est basée sur des plans tridimensionnels assistés par ordinateur. Dans le monde idéal de la conception 3D, les dimensions d'un composant sont par définition nominales et les pièces s'emboîtent comme des rouages et des engrenages dans une montre-bracelet coûteuse. Dans le monde réel de l'industrie, cependant, les choses sont différentes : les écarts au cours du processus de fabrication sont inévitables et peuvent conduire à des « non-conformités » qui doivent être traitées. ITER, comme toute entreprise industrielle, traite ces sujets au quotidien.

Lorsqu'un composant finalisé est constitué de plusieurs sections individuellement usinées et soudées ensemble, et **lorsqu'il atteint la hauteur d'un bâtiment de six étages comme la cuve à vide d'ITER**, les non-conformités dimensionnelles sont à la mesure de la taille du composant.

Dans le cas des trois secteurs d'enceinte à vide déjà livrés, le soudage des quatre segments individuels du composant a provoqué des écarts par rapport aux dimensions nominales plus importants que la limite spécifiée à différents endroits sur l'enveloppe extérieure du composant. Ces non-conformités dimensionnelles ont modifié la géométrie des joints de chantier où les secteurs doivent être soudés entre eux, compromettant ainsi l'accès et le fonctionnement des outils de soudage automatisés sur mesure.

Malgré la coactivité (radio-activité ?) permanente dans l'espace restreint de la fosse d'assemblage et **les risques de contamination** aux particules, des solutions ont été initialement envisagées pour effectuer les réparations in situ, sans extraire le module de cuve à vide de sa position actuelle. "La question du bouclier thermique a maintenant changé la perspective", déclare le directeur général d'ITER. "Comme nous devons démonter le module pour fixer la tuyauterie du bouclier thermique, la question de savoir s'il faut ou non réparer le secteur de la cuve à vide dans la fosse devient sans objet. **Nous n'avons pas d'autre solution que de l'enlever.**"

Alors que les stratégies de réparation pour les deux composants sont affinées, que les scénarios de calendrier sont établis et que les coûts sont estimés, la séquence actuelle d'assemblage de la cuve à vide est maintenant en attente. **"Nous savons ce que nous devons faire, nous connaissons les moyens de le faire, et nous sommes bien sûr très conscients des conséquences en termes de calendrier et de coût, et elles ne seront pas négligeables."**

"S'il y a une **"bonne chose"** dans cette situation", ajoute le directeur général, "c'est qu'elle

se produit **à un moment où nous pouvons y remédier**. Le savoir-faire que nous acquérons dans la gestion du premier d'une des composants de ce type serviront les autres lorsqu'ils lanceront leurs propres projets de fusion. Il est dans la nature et la mission d'ITER, en tant qu'infrastructure de recherche unique et ambitieuse, de traverser toute une série de défis et d'échecs pendant la construction. **Et c'est donc notre tâche et notre devoir d'informer rapidement la communauté scientifique engagée afin qu'elle prenne ses précautions face au même type d'assemblages.**"

¹ Avant de recevoir leur argenture, les panneaux de protection thermique sont nettoyés à l'acide chlorhydrique puis recouverts de nickel. C'est au cours de ce processus que les résidus de chlore ont été piégés dans de minuscules poches près des soudures des tuyaux et ont lentement corrodé le matériau du composant.

(Le caractère en gras de certains paragraphes a été ajouté dans la traduction)
