

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 132 (2006)
Heft: 02: Fusion thermonucléaire

Artikel: Le site pour ITER à Cadarache
Autor: Garin, Pascal / Fardeau, Agnès
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99443>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le site pour ITER à Cadarache

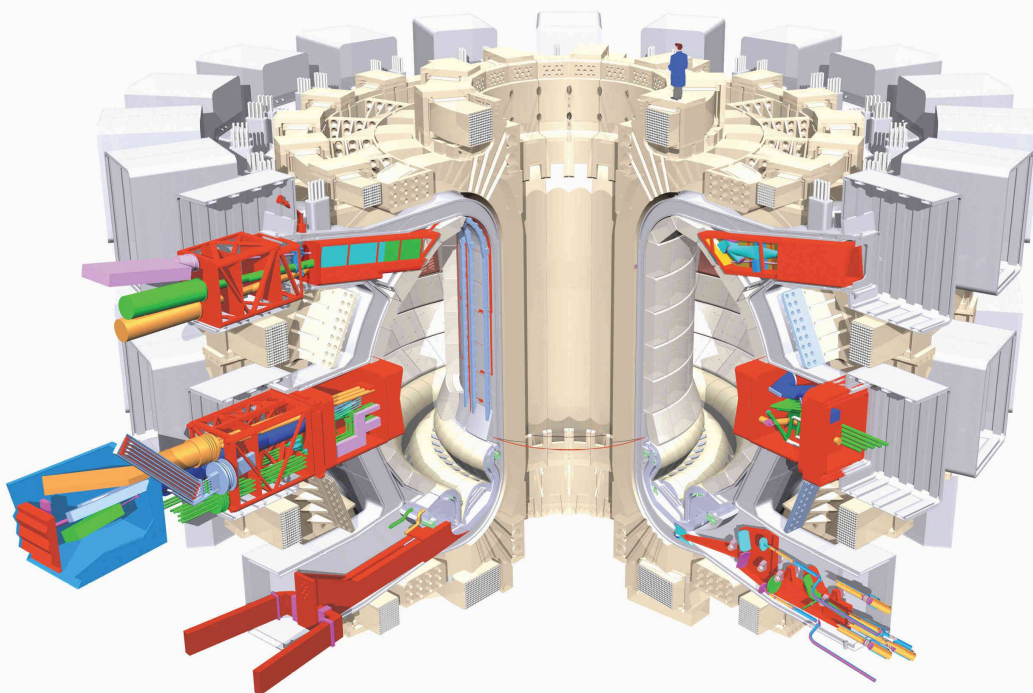
ÉNERGIE

Les négociations autour de la réalisation d'ITER - commencées en 2001 et qui se sont terminées fin 2005 - ont longtemps achoppé sur le problème du site. Ce n'est que le 28 juin 2005, après une intense négociation entre l'Union Européenne et le Japon, que ce problème fut tranché à la satisfaction des deux parties. ITER sera construit au sud-est de la France, à Cadarache, à environ 40 km au nord-est d'Aix-en-Provence. Cadarache est déjà connu pour héberger un des plus grands centres de recherche européens sur l'énergie - dont la machine de fusion *Tore Supra* (fig. 11) - du Commissariat à l'Énergie Atomique français. ITER jouxtera ce centre, profitant d'un certain nombre de services et d'infrastructures tout en demeurant totalement indépendant.

ITER vise à « faire la démonstration de la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion à des fins pacifiques »¹. Les physiciens avaient compris, dès les années 1970, la nécessité de construire une grande installation, afin que les pertes thermiques (liées en particulier à sa surface) du milieu soient inférieures à l'énergie produite par le milieu (proportionnelle à son volume). ITER est donc une installation de très grandes dimensions (fig. 1 et 2). Les principales caractéristiques de son tokamak sont récapitulées dans le [tableau A](#).

Placées sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), les études d'ingénierie furent conduites de 1992 à 1998 par l'UE, le Japon, la Fédération de Russie et les USA, puis de 1998 à 2001 par les trois premiers partenaires, après le retrait des USA. Le projet décrit ci-dessous correspond au dessin mis au point en 2001.

¹ Extrait du projet de traité international d'ITER



1

Fig. 1 : Schéma du tokamak d'ITER (remarquer la taille humaine)

Tabl. A : Principales caractéristiques du tokamak d'ITER

Fig. 2 : Comparaison des dimensions d'ITER avec celles de tokamaks en service

Fig. 3 : Coupe géologique est-ouest du site

Fig. 4 : Plan de la répartition des bâtiments ou ensembles techniques pour ITER

Fig. 5 : Image de synthèse de l'installation ITER dans son environnement provençal

Le site et les bâtiments

Le site retenu pour construire ITER se situe au nord-est du centre de recherches du Commissariat à l'Énergie Atomique français, le CEA. L'ensemble du site mis à disposition de l'organisation internationale est de 180 ha, dont une quarantaine environ seront immédiatement requis pour le projet. Les principaux critères de choix du site étaient les suivants :

- les caractéristiques géologiques du site,
- l'accessibilité (en particulier pour les plus gros composants),
- la topographie,
- la facilité de viabilisation (en particulier amenées d'eau et d'électricité),
- les conditions météorologiques.

Le positionnement du bâtiment tokamak à l'intérieur du site a été l'objet d'un soin tout particulier, l'ensemble bâtiment + machine étant particulièrement lourd, près de 350 000 tonnes. Après diverses investigations, le choix s'est porté sur une zone à substrat calcaire sain (non karstique) et homogène, capable de supporter une charge de plus de 100 tonnes au mètre carré.

Après une visualisation de la surface du site par photogrammétrie aérienne et relevés topographiques, une campagne de forages a été entreprise pour connaître avec précision les caractéristiques du sous-sol. Certains des forages ont été équipés de capteurs piézoélectriques qui ont permis d'effectuer un suivi de la nappe phréatique et de déterminer le dimensionnement du système de drainage à mettre en place sous le radier du bâtiment principal. Une coupe géologique est-ouest du site est donnée à la figure 3.

L'ensemble technique d'ITER est constitué de 18 bâtiments ou ensembles techniques dont la répartition est donnée sur la figure 4. Les divers éléments et leurs fonctions sont décrits en suivant le cheminement de la puissance :

- La puissance électrique est acheminée via deux lignes THT de 400 kV. La proximité d'un nœud à Boutre, tout près du site d'ITER, ainsi que la densité du réseau électrique dans le sud-est de la France, le nord de l'Italie et la Suisse, conduisent à une optimisation des ressources tant externes qu'internes : ITER consommera 120 MW de puissance en continu et fera appel à 500 MW supplémentaires pendant les quelques secondes de début des décharges.
- Cette puissance sera ensuite convertie dans deux bâtiments de redresseurs, situés entre le poste électrique et le bâtiment tokamak. L'essentiel de la puissance électrique redressée servira à alimenter les aimants supraconducteurs de la machine, le solde étant utilisé pour les compresseurs de l'installation cryogénique, les auxiliaires (pompes...) et les systèmes de chauffage du plasma.

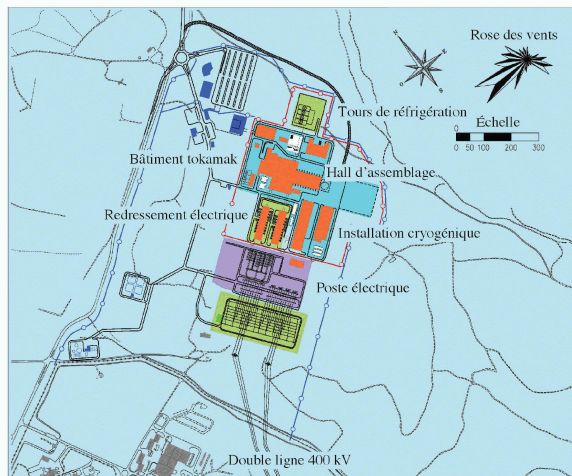
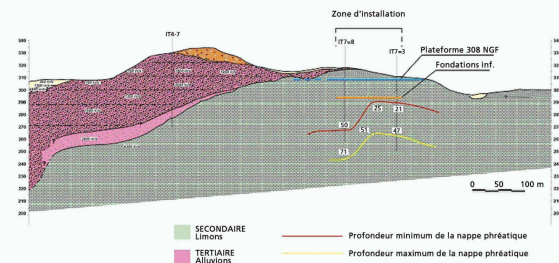
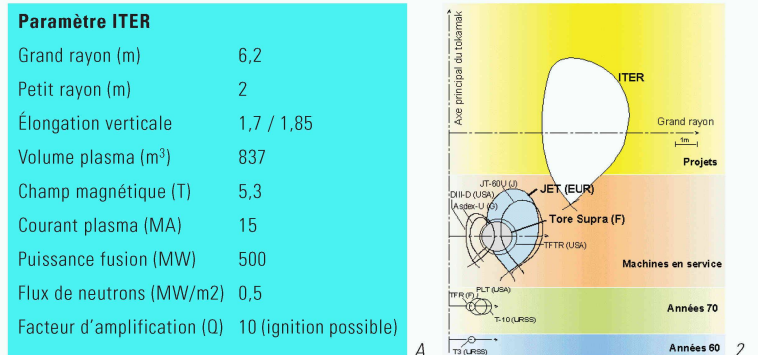


Fig. 6 et 7 : Exemples de projets architecturaux pour les bâtiments non nucléaires

Fig. 8 : Coupe du bâtiment tokamak, avec au centre, la machine

Fig. 9 : Positionnement des plots parasismiques sous le bâtiment

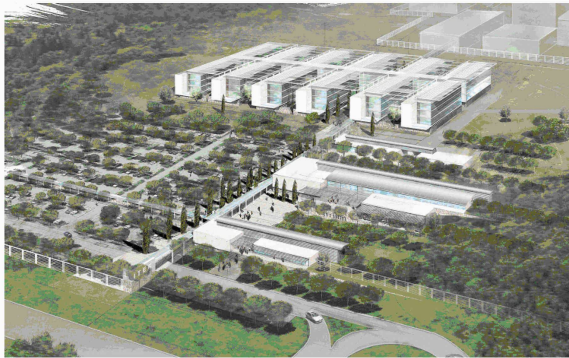
Fig. 10 : Maillage du bâtiment tokamak

Fig. 11 : Vue intérieure de Tore Supra

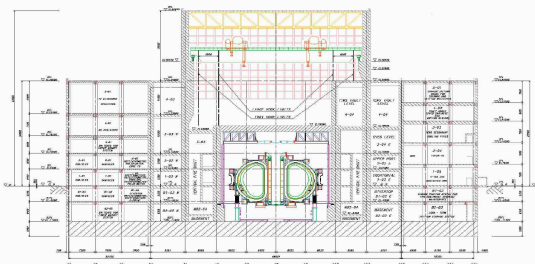
(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs)



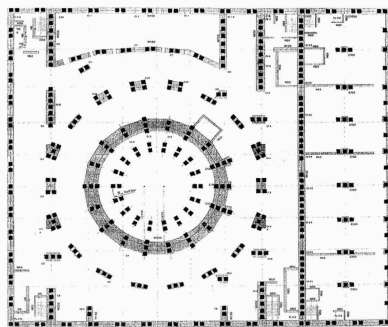
6



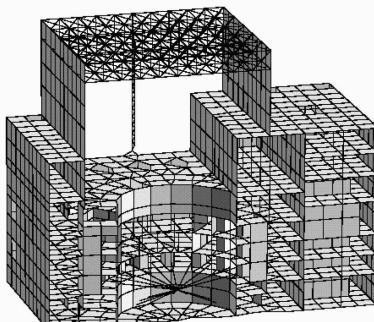
7



8



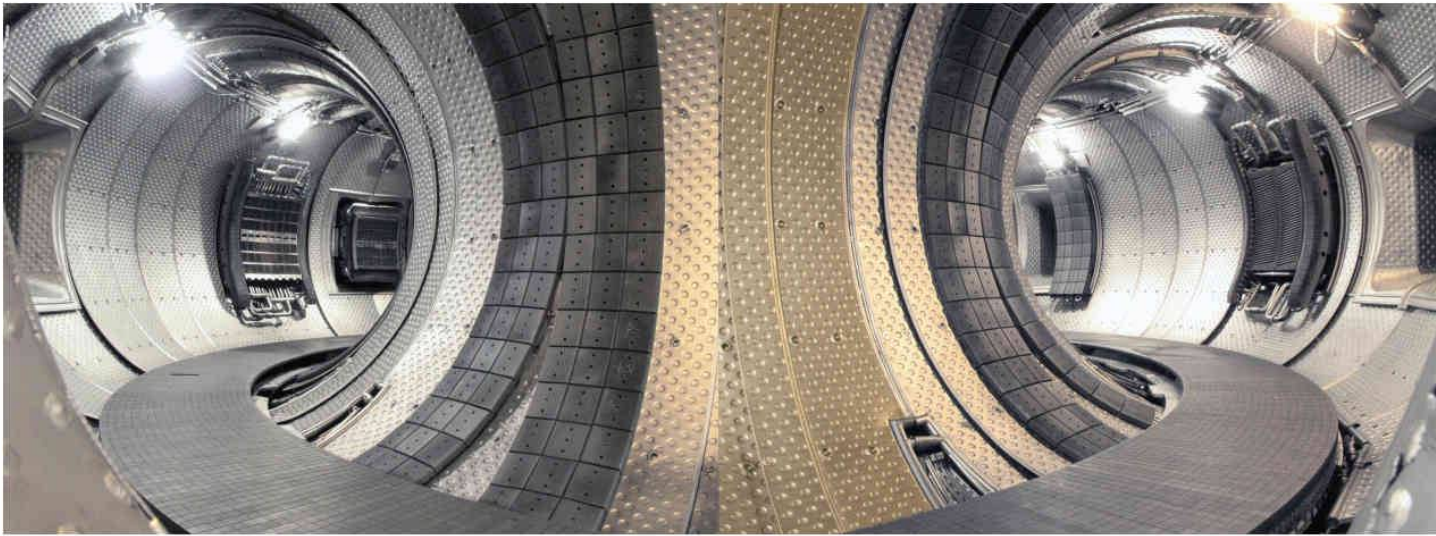
9



10

- Les bâtiments adjacents parallèles aux bâtiments électriques sont dédiés à l'installation de cryogénie : boîtes froides (hélium et azote liquide) et compresseurs.
- Le bâtiment tokamak, qui abrite la machine et sur lequel nous reviendrons ultérieurement, est flanqué d'un bâtiment « diagnostics » - accueillant les nombreux moyens de mesures des paramètres expérimentaux, ainsi que les résistances de décharge des bobines supraconductrices - et du bâtiment « tritium » dans lequel le mélange résultant de la réaction (de l'hélium, mélangé au deutérium et au tritium et à des impuretés) est purifié. Les constituants de ce mélange sont ensuite séparés, pour pouvoir réinjecter dans le tokamak le deutérium et le tritium qui servent de combustible.
- Adjacent au bâtiment tokamak se trouve un grand bâtiment métallique destiné à remplir une double fonction. Durant la phase de construction, il servira à assembler les composants de la machine, dont certains atteignent jusqu'à 12 m, 9 m et 5 m, avec une masse de 450 tonnes. Les ensembles ainsi constitués seront acheminés, via un double pont roulant d'une capacité unitaire de 750 tonnes, vers le « puits » dans lequel le tokamak sera assemblé. Pendant l'exploitation scientifique de l'installation, ce bâtiment accueillera les générateurs qui doivent créer les ondes hyperfréquences qui serviront à chauffer le plasma.
- Le circuit de refroidissement possède une double boucle : une boucle primaire, d'une pression d'environ 30 bars, refroidissant la machine jusqu'à une température d'environ 150 °C, et une boucle secondaire, reliée à un ensemble de quatre tours de réfrigération à tirage forcé. Au total, les deux tiers environ de la puissance sont ainsi évacués sous forme de vapeur d'eau, le dernier tiers étant renvoyé, après les contrôles réglementaires, vers la Durance, qui coule en contrebas de l'installation.
- L'édifice où les composants activés par les expériences seront amenés et modifiés pour ensuite être réinstallés dans le tokamak est adossé au bâtiment accueillant ce dernier. Une zone d'entreposage des éléments de très faible ou de faible activité générés par ITER est également prévue. Elle servira de tampon avant leur évacuation vers les sites de l'agence nationale de gestion des déchets radioactifs (ANDRA) au nord-est de la France.
- Enfin, quelques bâtiments techniques et un ensemble de bureaux complètent l'installation.

Il convient de signaler que, lors de la phase de candidature, la France a proposé de compléter cet ensemble par des bâtiments d'accompagnement, comprenant notamment un centre de relations publiques, un restaurant, une infirmerie



77

de première urgence, ainsi que des bâtiments de contrôle d'entrée du personnel sur le site. Les images de synthèse disponibles actuellement (fig. 5 à 7) sont le résultat d'une étude préliminaire. Ce projet fera l'objet d'un concours d'architecture européen début 2006.

Conception du bâtiment tokamak

Le bâtiment tokamak (fig. 8) sera le plus important du site, que ce soit par ses dimensions - 89 m de long, 79 m de large, et 68 m de haut, dont 50 m hors sol (masse supérieure à 300 000 tonnes) - ou par l'importance des équipements qu'il contiendra.

Les efforts à reprendre dans les voiles et les poutres dépendront des chargements statiques (le tokamak a une masse d'environ 24 000 tonnes), mais aussi dynamiques : efforts transitoires liés à la machine, double pont roulant permettant de déplacer un ensemble de 1 500 tonnes, et aléa sismique.

Le bâtiment sera très probablement isolé des mouvements du sol par un ensemble de patins parasismiques (fig. 9). Cette solution présente en effet les avantages de considérablement réduire les accélérations, en particulier dans les parties hautes du bâtiment, et donc de réduire les contraintes de qualification des systèmes (composants, armoires électriques, etc.) qui y seront localisés. La sismicité de Cadarache, modérée, est bien connue et les installations nucléaires font l'objet de recommandations de l'autorité de sûreté nucléaire française, prenant en compte un séisme majoré historiquement vraisemblable, ainsi qu'un paléo-séisme. Des calculs par éléments finis (fig. 10) ont montré que les accélérations induites, ainsi que les efforts dans les voiles ou les structures, étaient parfaitement compatibles avec les normes de dimensionnement du bâtiment et de ses équipements.

Une attention toute particulière a été apportée à l'amortissement du tokamak, en raison du risque de résonance existant entre la machine et le bâtiment, leurs fréquences propres étant très voisines. Un modèle classique de pendules couplés a été développé pour trouver un amortissement approprié et les pieds de la machine ont été adaptés à cette contrainte.

Principales étapes à venir

L'équipe internationale en charge de la définition d'ITER est actuellement répartie sur deux sites, en Allemagne et au Japon. Elle a commencé à s'étoffer et à migrer vers Cadarache, lieu d'implantation du projet.

Depuis le choix du site en juin 2005, cette équipe s'emploie à adapter aux spécificités de Cadarache le dessin « générique » qui avait été conçu sur un site « virtuel » pendant la phase d'ingénierie de 1992 à 2001. Cette phase d'adaptation, combinée à une revue de projet, aboutira à une nouvelle version du projet courant 2006.

Organisé du 16 janvier au 6 mai 2006 par la Commission Nationale du Débat Public (autorité administrative française indépendante), un débat public permettra de présenter le projet et de débattre des impacts du projet en Provence. Ce n'est qu'à l'issue de ce débat que les enquêtes publiques liées aux autorisations administratives pourront commencer. Parmi celles-ci, la plus importante est l'« autorisation de création », un décret gouvernemental permettant le début de la construction des bâtiments nucléaires. Les dossiers réglementaires - pour l'instruction par l'autorité de sûreté nucléaire française d'une part et pour le grand public d'autre part - seront achevés environ un an après la revue de projet, ce qui devrait aboutir à une autorisation de création (incluant le permis de construire) pour fin 2008.

La phase de construction s'étalera sur environ dix ans, dont deux ans de vérification et de mise en œuvre complète du système. Les premières expériences sont donc attendues vers 2016, pour une période d'exploitation de vingt ans.

Pascal Garin, ing. de l'Ecole Centrale de Paris
Directeur adjoint de l'Agence ITER France

Agnès Fardeau, ing. de l'Ecole Spéciale des Travaux Publics
Cheffe de projet infrastructures et sécurité ITER

CEA Cadarache, Association EURATOM-CEA
F - 13108 St-Paul-lez-Durance