

COMPTE RENDU DU VOYAGE POUR LA VISITE DU CHANTIER ITER

Ce voyage a fait suite aux conférences de Jean JACQUINOT, à Chalon puis à Dijon, des 29 et 30 mars 2017. Le voyage a été co-organisé par le Groupe Régional BFC de la SFEN et l'antenne de Chalon-Sur-Saône de l'UTB. Compte tenu de l'éloignement du site, ce voyage a eu lieu sur trois journées, les 29, 30 et 31 mai 2017. 51 personnes ont pu en bénéficier.

La première journée a tout d'abord été occupée par le trajet de Dijon et Chalon jusqu'à Aix-En-Provence. Le bus Girardot nous a déposés à l'entrée du cours Mirabeau où nous avons pris le repas avant de consacrer l'après-midi à deux visites en se répartissant en deux groupes :

Un groupe a visité la fondation VASARELY : c'est un centre architectonique (création d'une structure mêlant art et architecture.... au service d'un sens qui lui est propre) situé à Aix-en-Provence, érigé entre 1971 et 1976 par l'artiste contemporain franco-hongrois Victor Vasarely. Conçu comme un centre architectonique, il abrite, dans une architecture faite d'alvéoles, des œuvres de Vasarely intégrées aux façades et à des murs internes du bâtiment. Situé en bordure sud-ouest d'Aix-en-Provence, dans le quartier du Jas-de-Bouffan, il accueille aujourd'hui également des expositions temporaires ou autres événements culturels. Il est classé comme monument historique depuis 2013. (*Extrait de l'introduction de l'article de Wikipédia*)

L'autre groupe s'en est allé sur les traces de Paul CÉZANNE. Tout d'abord, l'atelier Cézanne. Après le décès de sa mère et la vente de la propriété familiale du Jas de Bouffan, Cézanne fait construire en 1901 un atelier au chemin des Lauves. C'est là qu'il créera les chefs-d'œuvre de son ultime période dont les grandes baigneuses. Authentique lieu de mémoire, l'atelier-musée entouré d'un jardin romantique, conserve intact le souvenir du peintre. Puis le groupe s'est rendu sur le site des Lauves ; c'est de ce site qui offre un vaste panorama sur la montagne devenue célèbre grâce à lui, que Cézanne peindra et repeindra la Sainte Victoire.

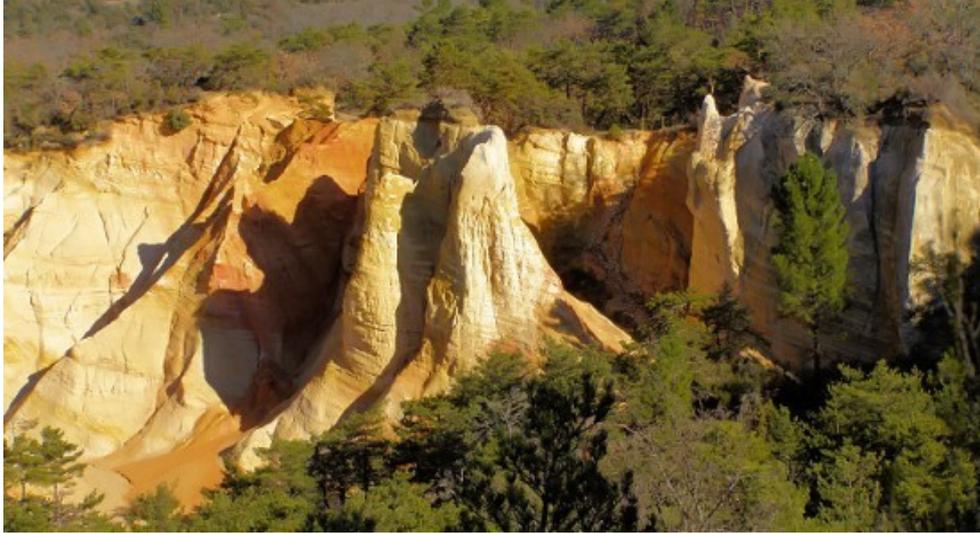
En fin d'après-midi, le bus nous a conduits au « **Château de Cadarache** », maison d'hôtes du CEA Cadarache, dont nous avons pu bénéficier pour nos deux soirées.



*Le Château de Cadarache : lieu privilégié pour nos deux soirées....
(Clichés Pierre DESRUES)*

La seconde journée était le point d'orgue : la visite du chantier d'ITER.

Toutefois, pour quelques accompagnants non-scientifiques, une journée spéciale a été organisée avec **visite guidée de la ville de Manosque** le matin et une **visite du Colorado de Rustrel** l'après-midi.



Le Colorado Provençal de Rustrel est un site privé composé d'anciennes carrières d'ocre aux multiples couleurs. Ces lieux sont gérés par une association regroupant des propriétaires et des bénévoles, soucieux de préserver ce site historique.

Visite du chantier d'ITER.

ITER, c'est quoi ? (ITER en anglais: International Thermonuclear Experimental Reactor) (en français : réacteur thermonucléaire expérimental international) C'est un réacteur de recherche civil à fusion nucléaire de type tokamak. ITER (en latin le « chemin ») est l'un des projets les plus ambitieux au monde dans le domaine de l'énergie. Les participants aux études de conception préliminaires (entre 1988 et 1992) ont choisi ce nom pour exprimer leur souhait de voir le monde coopérer au développement de la maîtrise d'une nouvelle forme d'énergie. Le projet ITER a en effet été lancé dans le contexte de la perestroïka, sur proposition de l'URSS à la communauté internationale.

En France, sur une enclave du site du CEA Cadarache, 35 pays sont engagés dans la construction du plus grand tokamak jamais conçu : une machine qui doit démontrer que la fusion — l'énergie du Soleil et des étoiles — peut être utilisée comme source d'énergie à grande échelle, non émettrice de CO₂, pour produire de l'électricité. Les résultats du programme scientifique d'ITER seront décisifs pour ouvrir la voie aux centrales de fusion électrogènes de demain. ITER sera la première installation de fusion capable de produire une quantité d'énergie nette. La machine réalisera des décharges de plasma de longues durées et testera également, pour la première fois, les technologies, les matériaux, ainsi que les régimes de plasma requis pour produire de l'électricité dans une perspective commerciale.

Des milliers d'ingénieurs et de scientifiques ont contribué à la conception d'ITER depuis que l'idée d'une collaboration internationale sur l'énergie de fusion a été lancée en 1985. Les Membres d'ITER (la Chine, l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis) se sont engagés dans une collaboration de trente-cinq ans pour construire et exploiter l'installation expérimentale ITER. Un réacteur de démonstration de production d'électricité pourra être conçu sur la base de ce retour d'expérience.

Que fera ITER ? La quantité d'énergie de fusion qu'un tokamak peut produire dépend du nombre de réactions de fusion qui se produisent en son cœur. Plus l'enceinte est grande (et donc également le volume de plasma) plus grand sera le potentiel de production d'énergie de fusion. Avec un volume de plasma dix fois supérieur à celui de la plus grande machine de fusion opérationnelle aujourd'hui, le tokamak ITER sera un outil expérimental unique, capable de générer des plasmas de longue durée. La machine a été spécifiquement conçue pour :

$$Q \geq 10$$

1) Produire 500 MW de puissance de fusion. Le record de puissance de fusion produite est détenu par le tokamak européen JET. En 1997, ce tokamak a généré 16 MW de puissance de fusion pour une puissance de chauffage totale de 24 MW. Le ratio (ou « Q ») de 0,67 devrait être porté à 10 par ITER soit 500 MW de puissance de fusion pour une puissance en entrée de 50 MW. ITER étant une machine expérimentale qui ne fonctionnera pas de manière continue, l'énergie produite ne sera pas convertie en électricité. Cette étape sera réalisée par la machine qui lui succédera.

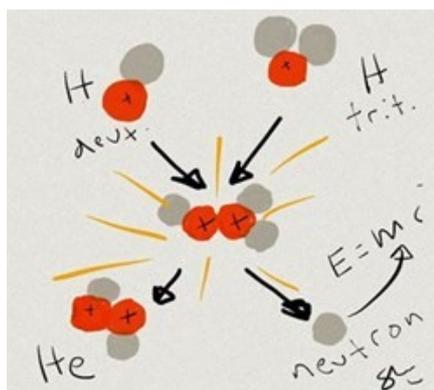
2) Démontrer le fonctionnement intégré des technologies d'une centrale de fusion électrogène. ITER marque la transition entre les dispositifs de fusion expérimentaux actuels et les démonstrateurs industriels du futur. Avec cette machine de très grande taille, les scientifiques pourront étudier les plasmas dans les conditions qui seront celles d'une centrale de fusion électrogène et tester des technologies telles que le chauffage, le contrôle, le diagnostic, la cryogénie et la télémaintenance.

3) Réaliser un plasma deutérium-tritium auto-entretenu. La recherche sur la fusion se trouve aujourd'hui au seuil de l'exploration du « plasma en combustion » — un plasma au sein duquel la chaleur de la réaction de fusion demeure confinée de manière suffisamment efficace pour entretenir une réaction de longue durée. Les plasmas d'ITER, plus volumineux, produiront beaucoup plus de puissance de fusion et demeureront stables pendant des durées plus longues.

4) Expérimenter la production de tritium. Dans une phase d'exploitation ultérieure, l'une des missions d'ITER consistera à démontrer la faisabilité de la production de tritium au sein même de l'enceinte à vide. L'inventaire mondial de tritium (utilisé avec le deutérium pour alimenter la réaction de fusion) n'est en aucun cas suffisant pour couvrir les besoins des futures centrales de fusion électrogènes. ITER offrira l'opportunité unique de tester des maquettes de couvertures « tritigènes » dans l'environnement d'un réacteur de fusion.

5) Démontrer la sûreté d'un dispositif de fusion. Une étape importante dans l'histoire de la fusion a été franchie en 2012 quand ITER Organization, après un examen rigoureux de ses dossiers de sûreté, a obtenu l'autorisation de création de l'installation nucléaire ITER et en est devenu l'opérateur nucléaire. L'un des principaux objectifs d'ITER est de démontrer que les réactions de fusion qui se produisent au sein du plasma sont sans impact sur les populations et l'environnement. C'est l'ASN qui assure la surveillance d'ITER sur le plan de la sûreté.

Qu'est-ce que la fusion ?



La fusion est la source d'énergie qui alimente le Soleil et les étoiles. Dans les conditions de pression et de température extrêmes qui règnent au cœur de ces corps stellaires, les noyaux d'hydrogène entrent en collision et fusionnent pour former des atomes d'hélium et libérer de considérables quantités d'énergie au cours de ce processus. De toutes les réactions de fusion possibles, c'est la réaction entre le deutérium et le tritium (deux isotopes de l'hydrogène) qui se révèle la plus accessible en l'état actuel de notre technologie.

Dans un tokamak, trois conditions doivent être remplies pour obtenir des réactions de fusion : une température très élevée (de l'ordre de 150 millions de degrés Celsius), une densité de particules suffisante pour produire le plus grand nombre de collisions possibles, un temps de confinement de l'énergie suffisamment long pour que les collisions se produisent avec la plus grande vitesse possible. Lorsqu'un gaz est porté à très haute température, les atomes se dissocient : les électrons et les noyaux sont séparés les uns des autres et le gaz se transforme en plasma (quatrième état de la matière). C'est dans ce milieu que les noyaux légers peuvent fusionner et générer de l'énergie. Dans un tokamak, des champs magnétiques très puissants sont mis en œuvre pour confiner et contrôler le plasma.

Qu'est-ce qu'un tokamak ? Le mot « tokamak » est un acronyme russe qui signifie : « chambre toroïdale avec bobines magnétiques ». Le tokamak est une machine expérimentale conçue pour exploiter l'énergie de la fusion. Dans l'enceinte d'un tokamak, l'énergie générée par la fusion des noyaux atomiques est absorbée sous forme de chaleur par les parois de la chambre à vide. Tout comme les centrales électrogènes classiques, une centrale de fusion utilise cette chaleur pour produire de la vapeur, puis, grâce à des turbines et à des alternateurs, de l'électricité. Le cœur du tokamak est constitué d'une chambre à vide en forme d'anneau. À l'intérieur, sous l'influence d'une température et d'une pression extrêmes, le gaz d'hydrogène se mue en plasma — le milieu dans lequel les atomes d'hydrogène peuvent fusionner et générer de l'énergie. Les particules qui composent le plasma, électriquement chargées, peuvent être confinées et contrôlées par les imposantes bobines magnétiques placées autour de l'enceinte. On tire parti de cette propriété pour maintenir le plasma chaud à l'écart des parois de l'enceinte. La configuration tokamak, conçue par les chercheurs soviétique au début des années 1950, a été adoptée dans le monde entier comme la plus prometteuse. Avec un volume de plasma dix fois plus important que celui du plus grand tokamak en activité, ITER sera, de loin, la plus grande machine de fusion du monde.

Qui participe ? Le programme ITER est issu d'une collaboration à l'échelle mondiale dans laquelle 35 pays sont engagés. Les membres d'ITER (*la Chine, l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis*) ont mis en commun leurs ressources pour réaliser une grande ambition : reproduire sur Terre l'énergie illimitée qui alimente le Soleil et les étoiles.

L'Accord ITER, conclu par les signataires en 2006, stipule que les sept membres partagent le coût de la construction, de l'exploitation et du démantèlement de l'installation. Ils partageront également les résultats expérimentaux ainsi que toute propriété intellectuelle générée par la phase d'exploitation, prévue de 2022 à 2042. L'Europe assume la plus grande partie du coût de construction (45,6 %) de l'installation; la part restante est assumée de manière égale par la Chine, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis (9,1 % chacun). La contribution des Membres se fait essentiellement « en nature », sous forme de fourniture de bâtiments, pièces et systèmes à ITER Organization. Les Membres d'ITER représentent trois continents, plus de 40 langues, la moitié de la population de la planète et 85 % de la production de richesse mondiale. Dans les bureaux d'ITER Organization à Saint-Paul-lez-Durance, dans les agences domestiques créées par les Membres d'ITER, dans des laboratoires et dans l'industrie, des milliers de personnes sont engagées dans le programme ITER.

Quand commenceront les expériences ? L'installation scientifique ITER est actuellement en cours de construction. Le chantier s'est ouvert au cours de l'été 2010 sur une plateforme de 42 hectares préalablement défrichée et nivelée. Les fondations parasismiques ainsi que le radier sur lequel reposera le cœur de l'installation sont désormais en place et la construction du Complexe tokamak a commencé. C'est dans cet édifice, constitué de trois bâtiments, que se dérouleront les expériences de fusion. Des bâtiments auxiliaires (usine cryogénique, bâtiment de contrôle, installations pour l'eau de refroidissement, alimentation et transformation électrique, etc.) sont également en cours de construction.



*Le bâtiment Tokamak sort de terre ; à l'arrière, le hall d'assemblage est achevé....
(Cliché Pierre DESRUES)*

De manière progressive, à partir de 2018, scientifiques et ingénieurs procéderont à l'intégration et à l'assemblage des différents éléments de l'installation ITER. Une phase d'essais, destinée à vérifier que l'ensemble des systèmes fonctionne de manière satisfaisante, préparera la machine en vue de son exploitation.

La réussite de l'intégration et de l'assemblage de plus d'un million de composants (dix millions de pièces) fabriqués dans les usines des Membres d'ITER dans le monde entier et acheminés vers le site d'ITER représente un défi logistique et d'ingénierie extraordinaire. La main d'œuvre chargée de l'assemblage, à la fois sur le site d'ITER et au sein des agences domestiques, atteindra 2 000 personnes lors des pics d'activité. La séquence précise des opérations d'assemblage a été définie et coordonnée avec soin dans les différents bureaux d'ITER à travers le monde. Celle-ci a débuté par l'arrivée des premiers composants de grande taille sur le site d'ITER en 2015.

Le Conseil ITER a adopté le calendrier actualisé qui fixe au mois de décembre 2025 la date du Premier Plasma et à 2035 le début des opérations en deutérium-tritium.

Les grandes étapes d'ITER

2005 Choix du site de Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône)

2006 Signature de l'Accord ITER

2007 Création d'ITER Organization

2007-2007 Préparation de la plateforme (déboisement, nivellement)

2010-2014 Fondations du Complexe tokamak

2012 Un décret officiel autorise ITER Organization à créer l'Installation nucléaire de base (INB) ITER

2014-2021* Construction du Bâtiment tokamak (accès dès 2019 pour les premières opérations d'assemblage)

2010-2021* Construction de l'installation ITER et des bâtiments auxiliaires nécessaires au Premier Plasma

2008-2021* Fabrication des principaux éléments et systèmes pour le Premier Plasma

2015-2021* Transport (via l'itinéraire ITER) et livraison sur site des éléments

2018-2025* Assemblage phase I

2024-2025* Tests intégrés et mise en exploitation

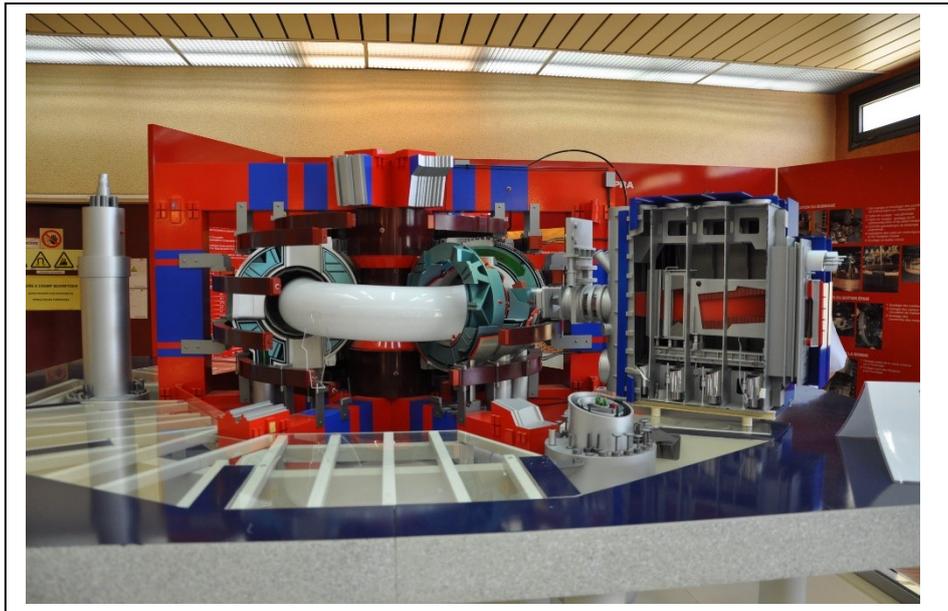
Déc 2025* Premier Plasma

2035* Opération en deutérium-tritium



*Le groupe A devant le hall d'assemblage
(Cliché Pierre DESRUES)*

Visite de la machine « Tore Supra ». En France, notre expérience sur la fusion contrôlée a été en partie acquise grâce à la machine « Tore Supra ». Celle-ci se trouve sur le site, tout proche, du CEA Cadarache. Nous avons obtenu d'en faire également la visite.



*Maquette montrant l'anneau de Tore-Supra....
(Cliché Pierre DESRUES)*

Son nom est dérivé de tore et de supraconducteur, car Tore Supra est le seul parmi les grands tokamaks à disposer de bobines (aimants) supraconductrices, permettant de générer un champ magnétique important et sur une longue durée. Il est également le seul tokamak à pouvoir extraire en continu la puissance injectée dans le plasma grâce à des composants face au plasma refroidis par une boucle d'eau pressurisée. Il a commencé son activité en 1988 et a eu pour objectif de produire des plasmas de longue durée ; il détient à ce jour le record de durée de fonctionnement pour un tokamak (6 minutes 30 secondes et plus de 1 000 MJ d'énergie injectés puis extraits en 2003), et a permis de tester de nombreux équipements (paroi intérieure refroidie activement, bobines supraconductrices) qui seront utilisés dans son successeur : ITER.

A partir de 2013, Tore Supra a subi un programme d'amélioration et de réaménagement pour transformer le tokamak en une nouvelle machine nommée **West**. West a produit son premier plasma en décembre 2016.

Notre visite de Tore-Supra a été suivie d'un tour général commenté, en bus, de tous les principaux bâtiments du CEA Cadarache.

La troisième journée a été consacrée au retour. Toutefois, nous avons organisé une étape à Avignon, avec une visite guidée de la vieille ville le matin et du palais des papes l'après-midi.

Article réalisé par Jean-Claude NIEPCE