

ITER : L'enjeu d'une grande collaboration internationale

J. Jacquinot **et** G. Marbach
Direction des Sciences de la matière
Département de recherches sur la fusion contrôlée
Association EURATOM-CEA
CEA Cadarache
13108 – Saint Paul lez Durance CEDEX
dirdrfc@drfc.cad.cea.fr.

Introduction

Depuis plusieurs mois les responsables gouvernementaux de 6 grands pays ou ensembles de pays (Chine, Corée du Sud, Etats-Unis, Fédération de Russie, Japon, Union Européenne) en étroite collaboration avec la communauté scientifique concernée, recherchent les meilleures conditions pour lancer un grand programme mondial de recherche sur la fusion par confinement magnétique dont l'élément essentiel est le projet ITER. L'intérêt est de taille : avec moins de deux kilogrammes de combustible par jour, composé de deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium, on produira à terme 1000 MW d'électricité en continu.

L'enjeu stratégique est significatif pour l'avenir, avec la perspective de mettre à disposition de l'humanité une source d'énergie abondante, sûre et respectueuse de l'environnement.

Les recherches sur la fusion magnétique font l'objet en Europe d'une étroite coordination dans le cadre Euratom et préfigurent les conditions d'une Europe de la Recherche. Au niveau international, des échanges intenses ont lieu depuis le début des années soixante et les résultats sur la fusion magnétique font l'objet de publications ouvertes.

Cette collaboration ne va pas sans émulation à l'image de la compétition pour le choix du site du projet ITER entre l'Europe qui présente Cadarache (Sud Est de la France) et le Japon qui avance Rokhasho-Mura (Nord du Japon).

ITER, fruit d'une collaboration internationale exemplaire et clef du développement de la fusion

Le paramètre caractéristique qui traduit la capacité d'un réacteur de fusion à produire de l'énergie est le produit de la température, de la densité des gaz qui réagissent et du temps de refroidissement spontané de ces gaz (expression de la qualité de l'isolation thermique, fournie par le confinement magnétique). La valeur de ce paramètre a été multipliée par un facteur 100 000 depuis la fin des années 60. Cela signifie que cette performance a doublé en moyenne tous les 18 mois.

C'est dire que le rythme de progression est plus élevé que celui obtenu dans le domaine des puces électroniques avec le doublement de la densité de transistors tous les 24 mois.

Ces résultats ont été obtenus d'une part grâce aux progrès dans la compréhension des mécanismes fondamentaux qui régissent les propriétés de ces gaz très chauds (plasma) et d'autre part en construisant dans le cadre d'une collaboration européenne étroite des machines de plus en plus performantes.

A titre d'exemple citons l'installation Tore Supra à Cadarache (Figure 1) spécialisé dans l'étude du fonctionnement continu que permettent ses aimants supra-conducteurs et le JET, machine européenne installée à Culham (Grande Bretagne) qui détient, grâce à sa taille, le record mondial de performance (16 MW de puissance de fusion). JET a aussi démontré l'utilisation sûre du tritium et la possibilité de réaliser des opérations de maintenance complexes entièrement robotisées. Les progrès de la technologie ont accompagné les expériences successives : par exemple, l'augmentation de la capacité des parois internes de ces machines à supporter pendant de longues durées d'importants flux de chaleur et de particules. Des éléments activement refroidis et comportant 12 000 tuiles en composite de fibres de carbone ont ainsi été dernièrement installés dans Tore Supra avec la possibilité de résister à des flux de chaleur jusqu'à 20 MW/m².

La performance des installations de fusion augmente rapidement avec leurs dimensions : ITER sera la première machine ayant la taille minimum permettant une production de 500 MW de puissance fusion pendant 400 s (Figure 2). ITER fonctionnera avec un gain de 10 entre la puissance de fusion produite et la puissance nécessaire au chauffage du plasma. L'exploration du fonctionnement continu avec un gain plus faible est également prévue.

La taille d'ITER préfigure les dimensions de ce que pourrait être un réacteur dans le futur : le grand rayon du tore d'ITER est de 6,2 m (JET 3 m, Tore Supra 2,3 m). Le volume du plasma est de 800 m³, à comparer à 155 m³ sur le JET et 25 m³ pour Tore Supra.

Le tritium nécessaire dans ITER pour la réaction sera acheminé au fur et à mesure alors que dans les réacteurs du futur il sera produit par la réaction des neutrons sur du lithium introduit à l'intérieur de couvertures internes disposées tout autour du plasma.

Le coût d'investissement de l'installation ITER a fait l'objet d'évaluations par les différents partenaires : il est de l'ordre de 4,5 milliards d'Euros. Les bases de négociation actuelles sont telles que le partenaire hôte devrait prendre en charge environ la moitié de ce coût, alors que le reste serait partagé entre les autres partenaires. Les contributions seront constituées pour l'essentiel par la fourniture en nature des composants sur la base des spécifications émises par le groupe de projet international.

Les frais de fonctionnement sont de l'ordre de 250 millions d'Euros par an, y compris les provisions pour démantèlement après plus de 20 ans de fonctionnement.

Les motivations des partenaires internationaux du projet.

Le concept d'un grand projet international ayant la taille critique pour démontrer la fusion est né dans les années 80 malgré le contexte de guerre froide et dès les premiers bons résultats du JET, l'idée d'un grand projet international se précise naturellement et fait l'objet de discussions entre les chefs d'état des grandes puissances. La motivation première des promoteurs MM Gorbatchev, Reagan et Mitterand était alors de promouvoir des relations pacifiques dans le cadre d'un grand sujet scientifique en plus des collaborations dans le domaine de l'espace.

Le Japon s'est joint à l'Union Européenne, à l'URSS et aux USA pour mener ensemble des études de conception puis d'avant projet. On peut noter que déjà à ce niveau les difficultés de choix de site sont apparues ; faute d'accord sur un lieu unique, l'activité de l'équipe internationale était répartie sur trois sites : San Diego (USA), Garching (Europe, près de Munich) et Naka (Japon).

Après la chute du mur de Berlin, le projet s'est poursuivi (la Fédération de Russie remplaçant l'URSS) alors que se faisait jour une prise de conscience progressive du réchauffement de la planète lié à l'effet de serre, et de l'épuisement progressif des ressources fossiles. Les problèmes énergétiques et plus particulièrement le contrôle des marchés du pétrole et du gaz font partie des enjeux de la stratégie internationale de tous les pays.

Face à cette problématique, la recherche sur l'énergie de fusion n'est pas perçue par tous les promoteurs au même niveau. L'Europe, le Japon et les pays qui ont rejoint le projet ITER pour les négociations (Chine et Corée) placent comme motivation principale de la participation au projet les perspectives de résoudre une crise énergétique à moyen terme. Les USA ont rejoint le projet après une « éclipse » de trois ans avec une politique sous-tendue par des motivations à priori scientifiques (Programme « Fusion Science »). Il semble que pour cette grande puissance, la problématique de l'énergie est plus particulièrement liée au maintien d'une sphère d'influence sur les pays producteurs de pétrole ou de gaz.

Comme source d'approvisionnement énergétique, les perspectives de la fusion pourraient contribuer à l'apaisement de ces tensions du fait que le combustible est presque uniformément distribué ; en effet deutérium et lithium (les deux combustibles primaires de la fusion) peuvent être extraits des océans. Ce n'est cependant pas une énergie totalement égalitaire dans la mesure où elle nécessite une maîtrise scientifique et un appareil industriel élaboré.

D'autre part, la filière ne peut pas être détournée à des fins de prolifération. L'utilisation du tritium n'apparaît pas comme étant un élément important en amont dans la politique de non-prolifération. Celle-ci est gérée au niveau mondial par le contrôle et la non-prolifération des matières fissiles uranium et plutonium sous l'égide notamment de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) qui procède à des inspections des matériaux apparaissant obligatoirement en amont de toute fabrication d'une arme nucléaire. Un réacteur à fusion n'utilise ni ne produit de matière fissile.

Ceci n'empêche évidemment pas que des mesures de prévention seront mises sur l'installation ITER pour éviter toute dissémination de tritium. Le tritium introduit dans la machine pour les besoins du programme y restera confiné et ne pourra pas en être extrait sans violation de l'intégrité du système de confinement.

La compétition pour le site manifeste à l'évidence la grande marque d'intérêt des pays candidats pour cette recherche et pour ses retombées considérables dans les domaines de la science et de la technologie qui ont un effet structurant primordial pour l'économie locale.

La diplomatie et la constitution d'alliances en faveur de tel ou tel site sont corrélées avec la politique étrangère récente des différents partenaires. Néanmoins, quelques années après le choix, l'ensemble des péripéties relatives à cette prise de décision ne sera plus qu'une anecdote, ainsi que cela a été le cas pour JET. Ce qui n'enlève en rien l'intérêt majeur pour l'Europe scientifique et industrielle d'avoir le site afin de conserver un rôle leader dans ce domaine et d'y établir les capacités industrielles qui seront nécessaires pour déployer cette énergie.

Les enjeux pour l'Europe et la France

Les retombées attendues de l'installation d'ITER en Provence-Alpes-Côte d'Azur seront très significatives. Une étude exploratoire menée par l'IDEP (Institut d'Economie Publique, Aix en Provence) a estimé que le projet va générer de l'ordre de 1500 emplois induits pendant la phase de construction et 2500 pendant la période d'exploitation. L'organisme ITER et son personnel vont dépenser plus de 100 millions d'Euros par an dans la région.

Pour la France, en plus des intérêts cités ci-dessus, le choix du site en Provence sera l'occasion de donner une impulsion nouvelle au développement régional.

Selon l'Agence d'Urbanisme du pays d'Aix, le programme ITER peut être le catalyseur d'une évolution profonde et durable du territoire au sein duquel ce projet sera implanté. La présence de cette grande installation scientifique en Provence va stimuler les réseaux de recherche à l'échelle de la région et même plus vraisemblablement dans le grand Sud Est, particulièrement entre Lyon, Grenoble, Marseille et Montpellier. Elle va susciter le développement de pôles d'excellence liés aux processus scientifiques et techniques induits par les besoins du programme.

L'arrivée du projet va nécessiter le développement d'infrastructures (dans le domaine de l'éducation, de l'habitat et des communications) qui vont impulser une dynamique régionale tout en permettant un meilleur équilibre de l'intérieur des terres provençales par rapport au littoral dominé par le développement du tourisme

Par exemple, l'implantation d'une école internationale multilingue, qui ne sera pas uniquement disponible pour les enfants du personnel employé par ITER, associée à une politique maîtrisée de l'urbanisme va constituer un pôle d'attraction pour des industries françaises et étrangères ainsi que leurs cadres.

La candidature pour le site d'ITER constitue donc un challenge pour les différentes collectivités territoriales. C'est un défi qu'elles ont relevé dès l'origine, d'une part en attribuant un budget équivalent à 10% du coût de la construction d'ITER et d'autre part en coordonnant les travaux préparatoires à l'implantation avec les services de l'Etat en région dans le cadre d'un Comité de pilotage présidé par le Préfet de Région.

L'installation d'un projet faisant appel à des technologies avancées va contribuer à renforcer le dynamisme des industries concernées. Sur Tore Supra, à bien plus petite échelle, une enquête auprès des industriels qui ont contribué à la construction a montré combien les progrès technologiques engendrés par la réalisation des composants de cette machine ont été fructueux en terme de réponse dans d'autres secteurs. (Enquête réalisée par l'IDEFI : Institut fédératif de droit d'économie et de finance, Sophia-Antipolis)

Par ailleurs, les contributions à ces recherches et la maîtrise des hautes technologies mises en jeu vont engendrer des retombées indirectes. Déjà dans le cadre de la recherche sur les plasmas, des progrès significatifs ont pu être réalisés dans le développement de processus industriels du fait de la meilleure connaissance de cet état de la matière. Les technologies plasma sont par exemple utilisées dans la fabrication des semi-conducteurs et dans d'autres procédés d'élaboration de matériaux.

Conclusion

Une machine comme ITER, prélude à la maîtrise d'une nouvelle source d'énergie, est incontournable dans le contexte énergétique qui deviendra très difficile à court ou moyen terme. La tension sur les énergies fossiles pourrait déclencher une nouvelle crise majeure sur l'énergie à fortes répercussions internationales : il y aura bien toujours du pétrole et du gaz à l'échelle de 40 ans mais certainement pas pour tout le monde et à quel prix ?

Le développement d'ITER dans un contexte de collaboration internationale est le signe d'une prise de conscience globale du problème énergétique qui concerne l'ensemble des habitants de la planète ; c'est aussi une chance que l'Europe doit saisir en valorisant un investissement de plus de 40 ans. Elle l'a bien compris et soutient avec résolution le projet et l'implantation sur son sol.

La science et le savoir ont été de tout temps un vecteur de rapprochement entre les peuples. Le projet ITER est de ce point de vue une opportunité historique à l'échelle mondiale.

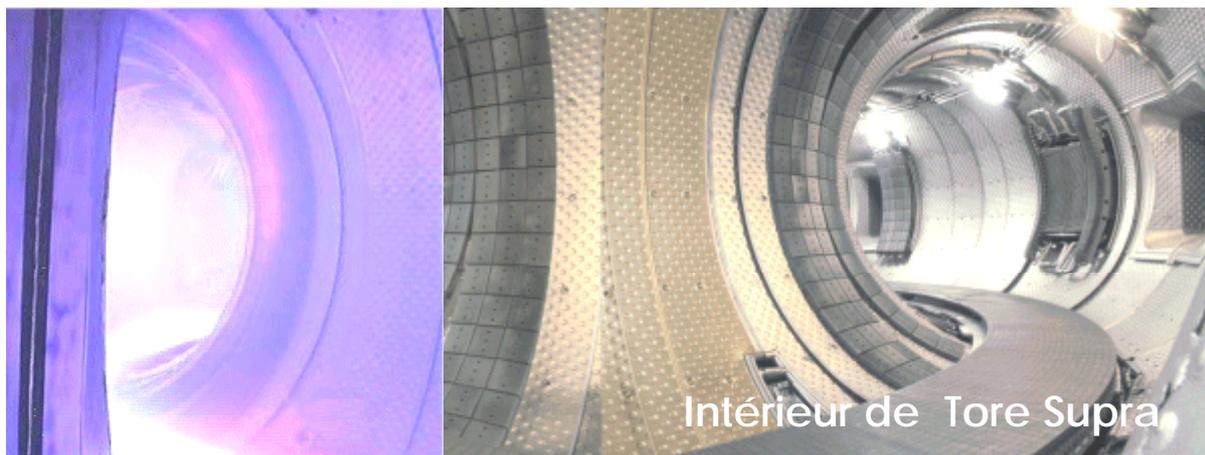


Figure 1
 Vue de la chambre à vide de Tore Supra avec plasma (gauche) et sans plasma (droite). Grâce à ses aimants supraconducteurs et ses composants face au plasma refroidis en continu, l'installation Tore Supra à Cadarache est spécialisée dans l'étude des plasmas de longue durée. Le 05 décembre 2003, 1.1 GJ ont été injectés et extraits pendant 6mn30s (record du monde).

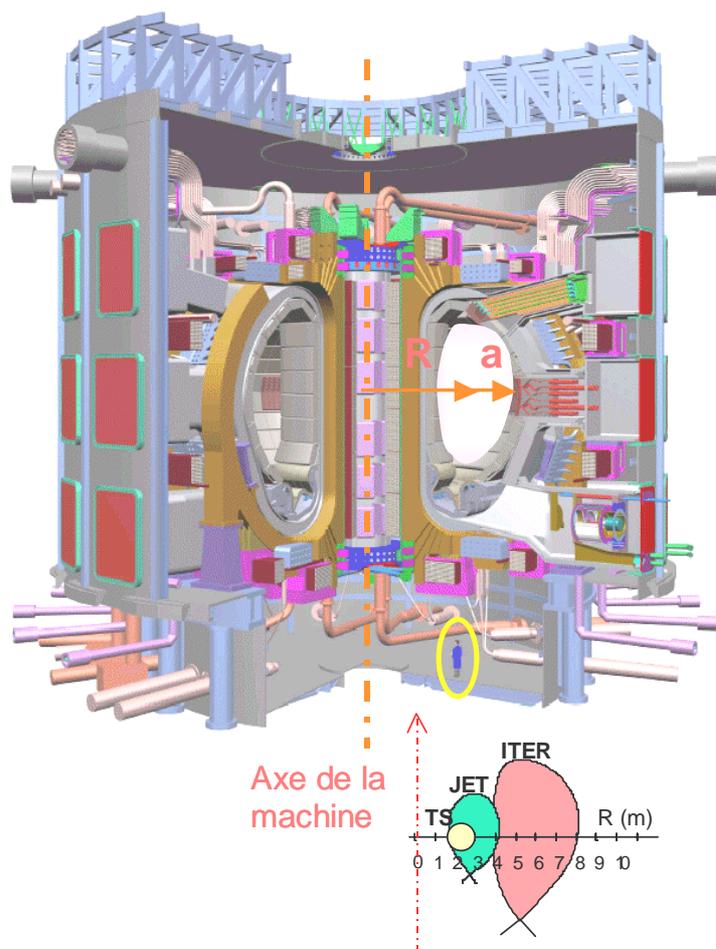


Figure 2
 Vue d'artiste du projet ITER et coupe des plasmas de Tore Supra (TS), JET et ITER.