

# ITER : une étape clé pour inscrire la fusion dans le mix énergétique du futur

La question énergétique est sur le devant de la scène et il est légitime qu'elle préoccupe les opinions. Une ère nouvelle a commencé dans laquelle l'énergie sera chère, en comparaison de son coût depuis le début de l'ère industrielle. Cela rend essentielles les recherches sur la mise au point d'une nouvelle source d'énergie sûre et abondante, à l'horizon au plus d'une génération.

Aux côtés des énergies renouvelables et de la fission nucléaire, la fusion pourrait au cours de ce siècle contribuer à satisfaire une part de la consommation mondiale d'électricité aujourd'hui assurée par des combustibles fossiles. Trente-quatre pays représentant plus de la moitié de la population de la planète mettent en commun leurs efforts pour franchir la dernière étape des recherches vers cette production d'énergie massive et durable dans le cadre du projet ITER.

Par **Jérôme PAMELA** et **Sylvie ANDRÉ-MITSIALIS\***

**S**i personne ne peut avoir de certitude sur la composition du panorama énergétique des prochaines décennies, tout le monde s'accorde sur un point : les besoins énergétiques augmentent, et vont continuer à le faire. Sur la base des niveaux de consommation actuelle, la consommation totale d'énergie dans le monde, aujourd'hui estimée à quelque 12 milliards de tonnes équivalent pétrole par an, pourrait être de deux à trois fois plus importante dès 2100, et ce quelles que soient les économies d'énergie que nous pourrions réaliser.

Si aujourd'hui près des trois quarts de l'énergie mondiale proviennent de ressources fossiles (gaz, charbon, pétrole), la donne va obligatoirement évoluer dans les

prochaines décennies au regard des réserves estimées et de leur coût d'accès quel que soit le résultat des recherches en cours sur les capacités offertes par de nouveaux gisements de combustibles fossiles, car la question climatique prendra le pas sur toutes les autres considérations : la poursuite de l'utilisation massive des énergies génératrices de gaz à effet de serre constitue un risque grave pour le climat de la planète. Le recours prioritaire à des énergies non productrices de gaz à effet de serre est devenu une nécessité absolue.

---

\* Commissariat à l'énergie atomique CEA.

Selon une étude publiée en 2011 par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), le solaire pourrait fournir un tiers de l'énergie dans le monde en 2060. Mais force est de constater que malgré le bond réalisé ces dernières années par de nouvelles filières énergétiques renouvelables (comme l'éolien et le solaire), leur offre est encore loin de pouvoir répondre à l'accroissement de la demande, ne serait-ce qu'en raison de leur caractère intermittent.

Ce problème est aggravé par les disparités entre les pays. La population de l'Afrique, qui représente 13 % de la population mondiale, ne consomme que 3 % de l'énergie mondiale. En revanche, l'Amérique du Nord et l'Europe, où vit 1/5<sup>ème</sup> de la population mondiale environ, consomment près des 2/3 de l'énergie mondiale.

Parmi les solutions énergétiques sûres, abondantes et non génératrices de gaz à effet de serre, la fusion pourrait contribuer au mix énergétique à l'horizon de la seconde moitié du siècle, sous réserve de démontrer qu'elle est applicable à la production industrielle d'énergie. C'est tout l'enjeu du programme de réacteur thermonucléaire expérimental international ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*).

## DES ÉTOILES À L'ÉNERGIE DE FUSION

La réaction de fusion est en quelque sorte l'inverse de la réaction de fission. Si des noyaux atomiques lourds tels ceux d'uranium ou de plutonium peuvent fissionner spontanément (ou sous l'effet d'un bombardement de neutrons), les noyaux les plus légers peuvent, au contraire, se combiner pour donner naissance à des éléments plus lourds. Des réactions de ce type se produisent dans les étoiles, permettant, après un enchaînement complexe de réactions nucléaires, la nucléosynthèse, c'est-à-dire la synthèse des éléments de la classification de Mendeleïev formant notre univers.

La compréhension du phénomène de la fusion, à la fin des années 1930, a permis de poser les bases du programme de recherche et de développement visant à domestiquer l'énergie de fusion.

Les physiciens se sont d'abord appliqués à mesurer expérimentalement les sections efficaces (probabilités de réaction en fonction de la vitesse des collisions atomiques) de toutes les réactions possibles, ainsi que l'énergie libérée. Il est apparu que la réaction de fusion la plus prometteuse est celle qui implique un mélange de deutérium (D) et de tritium (T), deux isotopes de l'hydrogène. Le deutérium se trouve en abondance sur terre (dans la proportion d'un atome d'hydrogène sur 6 500). Le tritium (un élément instable à période radioactive courte, d'environ douze ans) est, quant à lui, produit à partir de lithium.

Les noyaux de deutérium et de tritium sont constitués respectivement d'un proton et d'un neutron, et d'un

proton et de deux neutrons. De leur fusion naît un élément constitué de deux protons et de deux neutrons, l'hélium, ainsi qu'un neutron. Le noyau d'hélium et le neutron emportent chacun une part de l'énergie issue de la réaction : 20 % pour le premier et 80 % pour le second. L'énergie libérée est considérable, elle atteint plus de 17 millions d'électronvolts par réaction (à comparer à des énergies libérées de l'ordre du dixième d'électronvolt dans les réactions chimiques mises en jeu dans la combustion des hydrocarbures). La capacité énergétique par unité de masse est donc supérieure d'environ huit ordres de grandeurs à celle des combustibles fossiles. Ainsi, une batterie d'ordinateur portable et quarante litres d'eau contiennent suffisamment de lithium et de deutérium pour satisfaire la consommation d'électricité d'un européen pendant trente ans (autant que ce que produirait une quarantaine de tonnes de charbon).

C'est ce formidable potentiel qui a conduit les grands pays industrialisés à lancer dans les années 1950 des activités de recherche visant à maîtriser la fusion par confinement magnétique pour tenter d'en faire une source d'énergie, un programme impliquant une approche très différente de celle adoptée par les programmes nucléaires militaires : ce qui fut reconnu dès 1958 avec la déclassification de ce domaine de recherches. Mais les conditions requises pour enclencher les réactions de fusion sont difficiles à réaliser sur Terre.

Il faut, en premier lieu, vaincre la répulsion électrostatique entre les noyaux, qui sont tous chargés positivement [Ndlr : des charges de même signe se repoussent mutuellement], afin qu'ils puissent suffisamment se rapprocher les uns des autres pour qu'entrent en jeu les forces nucléaires, qui n'agissent qu'à très petite distance. Cela est réalisé en portant et en maintenant à une température de l'ordre de la centaine de millions de degrés (100 kilo-électronvolts) les noyaux de deutérium et de tritium, qui acquièrent alors suffisamment d'énergie pour fusionner. À ces températures, les atomes sont totalement ionisés : les électrons sont séparés des noyaux. Les électrons, porteurs d'une charge électrique négative, se comportent collectivement comme un fluide couplé par les forces électromagnétiques au fluide composé des noyaux, qui eux sont chargés positivement. Ce gaz ionisé, appelé plasma, forme le quatrième état de la matière. C'est l'état le plus fréquent dans l'univers : en effet, les étoiles sont toutes formées de plasma ; sur Terre, on trouve des plasmas dans les arcs électriques, les éclairs, les lampes au néon et, bien entendu, dans les installations de recherche de fusion par confinement magnétique. La seconde difficulté a trait au confinement de ce plasma dans un grand volume (un millier de mètres-cubes, dans le cas d'un réacteur comme ITER). Il s'agit, d'une part, de confiner les particules, en particulier les noyaux d'hélium (appelés aussi particules alpha), qui doivent rester plusieurs secondes dans le

plasma afin de céder, par collision, leur énergie cinétique aux particules de deutérium et de tritium et entretenir ainsi une température élevée et, d'autre part, de confiner l'énergie du plasma afin d'éviter qu'il ne se refroidisse, ce qui mettrait fin aux réactions de fusion. Pour confiner le plasma, on utilise le fait que les particules chargées électriquement demeurent prisonnières de champs magnétiques : leurs trajectoires s'enroulent autour des lignes de champ, et plus le champ est fort, plus petit est le rayon de courbure de ces trajectoires ; de ce fait, un champ magnétique très élevé (de l'ordre de plusieurs Teslas, soit environ 10 000 fois l'intensité du champ magnétique terrestre), réalisé dans une configuration magnétique optimisée, permet d'isoler le plasma des parois qui l'entourent.

Le neutron est, quant à lui, électriquement neutre. Il peut donc s'échapper de la cage virtuelle créée par les champs magnétiques et va céder son énergie aux parois internes de la machine. Il en résulte un troisième défi : la mise au point des matériaux capables de supporter pendant des années ces bombardements neutroniques (c'est l'enjeu de la technologie des « couvertures » qui entoureront le plasma).

Dans les futures centrales à fusion, ces couvertures assureront trois fonctions : a) elles arrêteront les neutrons afin d'éviter qu'ils n'atteignent le système magnétique, b) la chaleur produite y sera récupérée par un circuit d'eau (ou de gaz) et transformée en vapeur qui permettra de générer de l'électricité, enfin, c) le tritium y sera généré par les collisions entre les neutrons et du lithium.

## L'ÈRE DES TOKAMAKS

Les premières décennies de recherche furent consacrées à explorer de nombreuses configurations expérimentales. Une percée décisive dans la maîtrise de la fusion a été réalisée par des chercheurs soviétiques, en 1968 : ils ont réussi à porter un plasma d'hydrogène à une température d'environ 10 millions de degrés Celsius grâce à une machine baptisée tokamak (l'acronyme russe de *toroidalnaïa kamas-magnitnymi катушками*, qui signifie : *chambre toroïdale et bobines magnétiques*). Dix années plus tard, une vingtaine de ces tokamaks étaient opérationnels ou en cours de construction dans le monde.

C'est véritablement durant la décennie qui a suivi que des étapes essentielles ont été franchies grâce à deux installations expérimentales : aux Etats-Unis, le tokamak TFTR a réussi à produire 10 MW de puissance de fusion et, en Europe, le tokamak européen JET (*Joint European Torus*) situé près d'Oxford, au Royaume-Uni, détient le record mondial de puissance (16 MW) depuis 1997. Son plasma, obtenu à partir d'un mélange gazeux de deutérium et de tritium, a été confiné et chauffé à 150 millions de degrés

Celsius. Le JET a également permis de démontrer qu'il était possible de chauffer un plasma par des particules alpha, condition nécessaire au fonctionnement du réacteur (comme nous l'avons indiqué plus haut). Mais à ce stade, le bilan énergétique du système reste toutefois négatif : la puissance injectée dans le plasma pour obtenir les réactions de fusion demeure supérieure à celle restituée. Pour pouvoir obtenir un bilan énergétique positif, un changement d'échelle s'impose.

## ITER

C'est ainsi que pour des raisons autant scientifiques que financières ou géopolitiques, sept pays représentant plus de la moitié de la population de la planète (la Chine, la Corée, les Etats-Unis, les pays européens, l'Inde, le Japon et la Russie) ont décidé de s'unir pour réaliser le projet ITER. L'idée de ce projet remonte au Sommet de Genève (21 novembre 1985) avec la proposition de Mikhaïl Gorbatchev et de Ronald Reagan de mettre en place un projet international de développement de la fusion nucléaire en tant « *que source d'énergie inépuisable au service de l'humanité* ». Entre la rencontre de Genève et la décision de construire ITER à Cadarache (département des Bouches-du-Rhône), sur le site proposé par l'Union européenne, vingt-et-un ans allaient s'écouler, au cours desquels les contours du projet ont connu de nombreuses modifications.

Les premières études conceptuelles (1988-1990) ont permis de déboucher sur la signature d'un premier accord international (dénommé *ITER Engineering Design Activities*) regroupant la Fédération de Russie, l'Union européenne, le Japon et les Etats-Unis. Ensemble, ces quatre partenaires conduiront des études détaillées, techniques et économiques. Mais le projet, jugé trop ambitieux par les Etats-Unis, sera revu à la baisse, débouchant sur un nouveau dossier de conception, qui sera finalisé en juillet 2001.

Un processus de négociation s'est alors engagé pour choisir le pays d'accueil du projet sur la base de quatre propositions initiées par le Canada, l'Espagne, la France et le Japon. Au terme de près de trois années de négociations internationales, le choix de construire ITER à Cadarache, en France, est entériné lors d'une réunion ministérielle internationale organisée à Moscou, le 28 juin 2005. Quelques mois plus tard, une dizaine de personnes s'installaient à Cadarache aux côtés du premier directeur général d'*ITER Organization*, M. Kaname Ikeda (nommé en novembre 2005). Un an plus tard, ITER comptait un effectif de près de deux cents personnes.

Créée par un traité international signé ou ratifié, en 2007, par les sept partenaires du programme, ITER repose sur une organisation scientifique internationale sans précédent dans l'histoire. Le Conseil ITER,

composé de représentants de chacun des pays participant au programme, constitue le conseil d'administration d'*ITER Organization* que dirige, depuis le 28 juillet 2010, le Professeur Osamu Motojima et qui est chargée de concevoir, de construire et d'exploiter l'installation de recherche. Chacun des sept pays membres du programme ITER a mis en place une « agence domestique », unique interface chargée de fournir à *ITER Organization* les composants de l'installation dont la construction lui a été confiée. Au titre des engagements pris lors de la phase de candidature en tant que pays hôte, la France s'est organisée, dès 2005, pour accueillir les équipes scientifiques, avec leurs familles, et a engagé toutes les procédures préalables au démarrage des premiers travaux de viabilisation et d'aménagement du site de construction d'ITER.

La France est représentée au sein des instances internationales par Bernard Bigot, administrateur général du CEA et Haut Représentant pour la réalisation en France d'ITER ; il assure la coordination des acteurs nationaux impliqués dans le programme ITER. Le soutien et l'engagement du gouvernement français et de huit collectivités locales sont essentiels dans l'ancrage du projet dans le sol provençal.

Au total, la contribution française à la construction du projet sera de l'ordre de 1,2 milliard d'euros. La participation financière des collectivités s'est déjà concrétisée par le versement de 78,5 millions d'euros, à la fin 2011, soit 28 % de leur contribution prévue (de 280 millions d'euros) au titre d'une participation échelonnée durant la phase de construction de la machine qui se poursuivra jusqu'en 2018. À cela s'ajoutent les investissements qui ont permis d'aménager les routes existantes pour permettre le passage des convois nécessaires au transport des composants d'ITER (110 millions d'euros sur les contributions du Conseil général du département des Bouches-du-Rhône et de l'Etat) et la construction d'une école internationale (55 millions d'euros prélevés sur la contribution versée par le Conseil régional PACA), qui a été inaugurée le 24 janvier 2011. Unique en son genre, cette école accueille actuellement plus de cinq cents élèves, de la maternelle jusqu'au baccalauréat, représentant vingt-sept nationalités et répartis dans six sections bilingues différentes.

Sur le site de construction, la première phase de travaux de viabilisation a été lancée en janvier 2007. Elle concernait le défrichage et les sondages archéologiques sur un espace d'environ 90 hectares ; elle a impliqué de trouver des équilibres entre les besoins d'aménagement et la préservation de la faune et de la flore. La seconde phase de travaux a été réalisée entre 2008 et 2009 : une centaine d'engins aplanissent alors une immense plateforme d'une quarantaine d'hectares. Plus de 2,5 millions de m<sup>3</sup> de matériaux seront ainsi traités, dont les deux tiers ont été réutilisés comme remblais. En parallèle, plus de 20 km de

réseaux nécessaires à la gestion des eaux industrielles, pluviales et sanitaires sont installés. Dans la foulée de ces travaux d'aménagement, un espace viabilisé et aménagé de 110 ha est mis à la disposition d'*ITER Organization* : à ce titre, un bail emphytéotique entre le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) et *ITER Organization* a été signé en juillet 2010, transférant la responsabilité du site à *ITER Organization* pour la durée de l'Accord ITER (qui court jusqu'au 24 octobre 2042).

Les travaux de construction d'ITER ont démarré dans la foulée, avec trois grandes opérations engagées au cours de l'été 2010 : la construction du siège d'ITER (dont les trois bâtiments émergent en l'espace d'à peine une année) ; les fondations parasismiques du bâtiment tokamak qui nécessitent la pose de 493 plots parasismiques dans une cavité de 100 m sur 80 m de côté et 20 m de profondeur et, enfin, la construction du bâtiment technique dans lequel seront assemblés les plus gros aimants de la machine, dont la construction s'est achevée en janvier 2012. Dès que les câbles seront livrés, d'ici à la fin de l'année 2012, les opérations de bobinage pourront commencer ; elles dureront cinq ans.

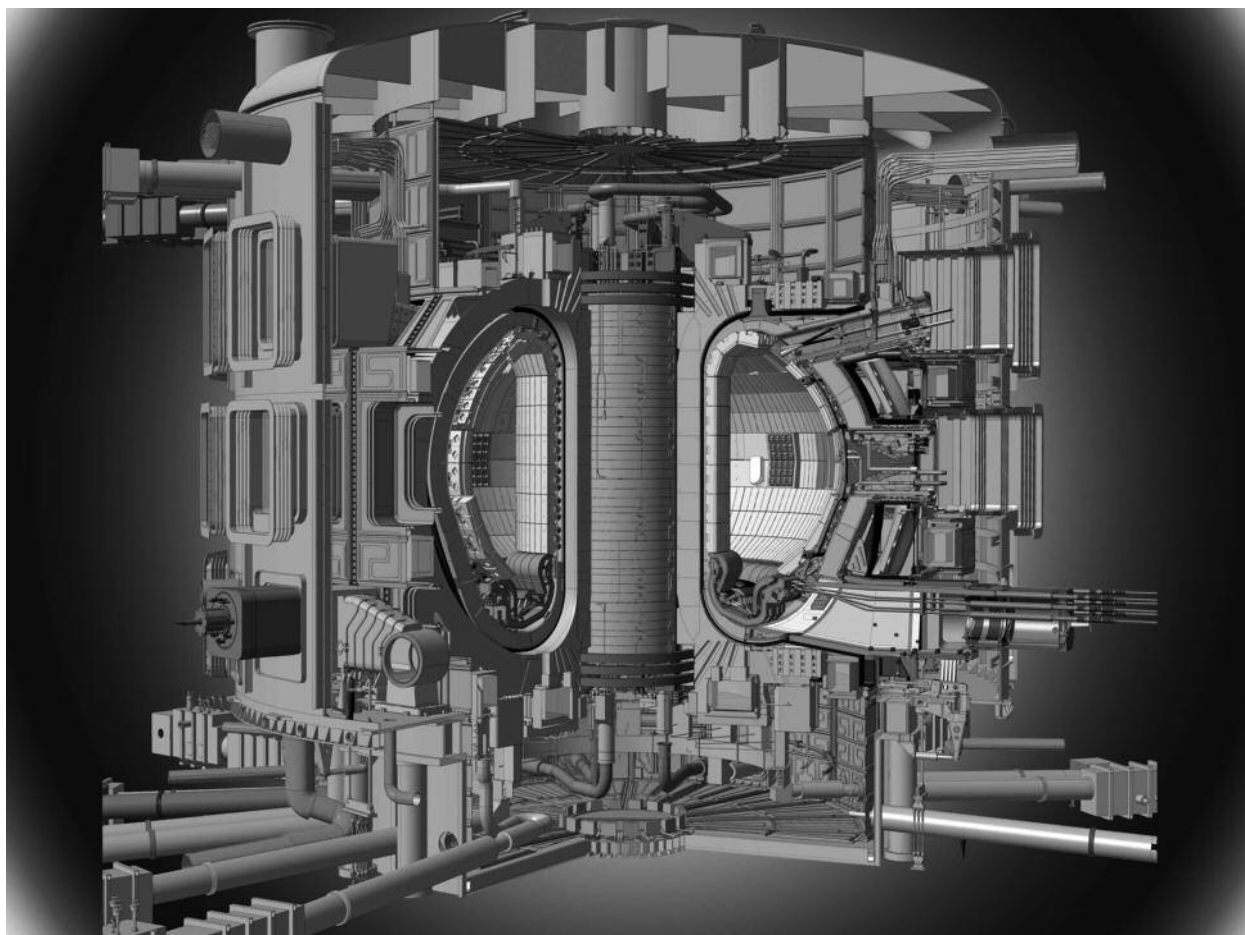
En parallèle, la fabrication des composants se poursuit à travers le monde. Depuis 2007, soixante-cinq « accords de fournitures », sur un total de cent vingt-six, ont été signés par les sept membres d'ITER pour la fourniture en nature des éléments de la machine (ce qui représente 75 % de la valeur totale – également en nature – du projet).

Les premiers composants sont attendus à Cadarache à partir de 2014. Un itinéraire d'une centaine de kilomètres (de Fos-sur-Mer jusqu'au site de construction) a été spécialement aménagé pour recevoir ces convois très exceptionnels qui, pour les plus lourds, pèseront 900 tonnes ; les plus hauts auront un tirant d'air d'environ 10 mètres, soit la hauteur d'un immeuble de trois étages, et les plus longs mesureront une soixantaine de mètres. Dans la perspective de ces transports très exceptionnels, deux étapes sont en cours de préparation. La première concerne des opérations tests organisées en 2012 sur les ponts pour mesurer et valider, notamment, l'impact des vibrations liées au passage des convois ; la deuxième étape consistant en l'organisation d'un convoi test, en 2013.

---

## UN INVESTISSEMENT D'AVENIR

À présent, ITER s'apprête à entrer dans sa troisième année de construction. Des travaux qui mobiliseront près de 3 000 personnes lors du pic des opérations, à partir de 2014 et pour une durée d'environ trois ans. Outre l'ampleur de ces travaux, qui dureront une dizaine d'années au total, ITER représente un investissement d'avenir offrant des opportunités multiples d'ouverture et de développement. Le projet crée des



Vue du réacteur ITER.

emplois directs et indirects, accueille des entreprises, développe de nouveaux secteurs économiques. À fin 2011, les retombées économiques enregistrées au niveau français étaient estimées à environ 800 millions d'euros de contrats, auxquels il faut ajouter les salaires des personnes impliquées dans ce projet.

L'expérience du CERN et d'autres organisations montre qu'un emploi dans une installation de recherche entraîne la création d'au moins un autre emploi dans sa zone d'implantation. Ainsi, dans le sillage d'ITER, plusieurs implantations d'entreprises sont déjà intervenues dans la région, sans compter les nombreuses entreprises locales qui travaillent directement aux côtés d'*ITER Organization* (environ 500 personnes au titre de la sous-traitance). L'entreprise d'ingénierie SNC-Lavallin est l'une d'entre elles. Elle dispose de sérieuses références dans le domaine de l'ingénierie nucléaire, en particulier dans le domaine de la filière des réacteurs nucléaires canadiens et indiens Candu. Après avoir été sélectionnée par l'Agence ITER France aux côtés de la société Léon Grosse, dans le cadre de la construction du siège d'ITER à Cadarache, elle vient de renforcer sa présence dans le Sud-Est de la France en rachetant la

société aixoise Setor, une entreprise d'ingénierie générale du bâtiment. La montée en puissance des nombreuses constructions sur le site ITER n'est sans doute pas étrangère à cette stratégie de développement économique. D'autres sociétés ont fait le choix de s'implanter à Pertuis afin de se rapprocher d'ITER, comme, par exemple, le bureau d'études et d'ingénierie mécanique Latecis, filiale du groupe Latécoère (bien connu dans le domaine de l'aéronautique). Preuve de ses ambitions, Latecis entend quasiment multiplier par cinq ses effectifs d'ici à trois ans. Quant au groupe d'ingénierie mécanique et électronique Soditech, il a ouvert une antenne à Pertuis qui compte déjà une trentaine de personnes impliquées sur le site ITER. Venue de l'autre côté du Rhin, la société allemande Kraftanlagen (KAH) a ouvert une antenne, il y a de cela trois ans, à Manosque. Celle-ci emploie une dizaine de personnes. Une autre entreprise d'ingénierie et de bureaux d'études allemande, C-CON, a fait le choix de s'implanter sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance pour pouvoir travailler aux côtés des équipes d'ITER dans le cadre d'études de conception, de génie mécanique, d'assemblage et de gestion de projet.

### Caractéristiques techniques d'ITER

Plus la taille d'un tokamak est importante, plus grande est sa capacité à confiner et à chauffer un plasma. Avec un volume de plus de 800 m<sup>3</sup> (plus de 30 fois celui de l'installation Tore Supra de Cadarache et plus de 8 fois celui du JET, la plus grande machine existant au monde à ce jour), ITER vise une production de puissance 10 fois supérieure (500 MW) à la puissance qui aura été injectée dans la machine (50 MW).

- Grand rayon du plasma : 6,2 mètres
- Petit rayon du plasma : 2 mètres
- Intensité du courant du plasma : 15 méga-ampères
- Champ magnétique : 5,3 Teslas
- Type de plasma : Deutérium-Tritium
- Puissance thermique : 500 mégawatts
- Durée des impulsions : plus de 400 secondes
- Fonctionnement sur de longues durées (à puissance réduite).

### VINGT ANNÉES D'EXPÉRIMENTATION

La construction des trente-neuf bâtiments et installations techniques a pour point de mire le démarrage des premières expérimentations en 2020. Les quatre premières années seront consacrées aux tests de fonctionnement et à la mise au point des paramètres techniques et physiques de l'installation de recherche, ainsi qu'au réglage des paramètres de fonctionnement. Les six années suivantes correspondent à la phase de montée en puissance progressive des performances technologiques, avant d'aborder la phase nucléaire avec le combustible deutérium-tritium, à partir de 2026-2027.

À l'issue de ces phases expérimentales, dans moins d'une vingtaine d'années, ITER aura démontré la viabilité scientifique de la fusion avec l'obtention et le contrôle de plasma de deutérium-tritium en combustion et un gain d'énergie d'un facteur dix ou plus (500 MW de puissance thermique). Plusieurs démonstrations de composants applicables à un prototype préindustriel auront aussi été apportées : grands aimants supraconducteurs (pour produire le champ magnétique de confinement), chambre de confinement, télémanipulateurs, etc.

La maintenance des futures installations de fusion constitue l'un des défis technologiques du développement de la filière. Le fonctionnement d'ITER, dont la maintenance sera totalement télé-opérée, sera à cet égard essentiel. Ses robots de maintenance sont conçus pour répondre aux contraintes spécifiques d'une installation de fusion. Outre des interventions dans un environnement nucléaire, il leur faut opérer sans laisser d'impuretés dans la chambre d'expérimentation, car celles-ci risqueraient de diminuer les performances du plasma. Les composants à déplacer sont nombreux : parmi eux, plusieurs centaines de composants internes à la chambre pesant de 4,5 tonnes à 45 tonnes, avec des géométries variables. Aux téléma-

nipulateurs puissants chargés de déplacer puis de replacer des composants massifs s'ajoutent d'autres systèmes qui devront, quant à eux, réaliser des missions d'inspection interne.

ITER testera aussi un équipement essentiel, le divertor, qui sert à collecter les flux de particules et d'énergie les plus forts.

Un autre des éléments clefs de la réalisation d'un réacteur électrogène est la couverture tritigène (que nous avons évoquée plus haut). Ce composant entourant le plasma sera destiné à absorber les neutrons résultant des réactions de fusion afin de produire du tritium à partir de lithium et de chauffer un caloporteur. Le programme de R&D qui a été lancé depuis plus de vingt ans pour sélectionner les matériaux nécessaires a déjà identifié des solutions techniques pour y arriver : des aciers ferritiques, avec ou sans dispersoïdes, qui seront sans doute testés sur une installation d'irradiation internationale, IFMIF, qui, complémentaire d'ITER, ouvre avec celui-ci la voie vers un futur réacteur de fusion. Cette installation consistera en deux faisceaux de deutons [Ndlr : particule composée d'un neutron et d'un proton] qui frapperont une cible de lithium liquide, produisant des neutrons ayant un spectre très proche de celui produit par les réactions de fusion. Le projet IFMIF est entré dans sa phase de validation technique, avec la construction (dans le cadre d'une collaboration nippo-européenne) d'un prototype de l'accélérateur, sur le site de Rokkasho, au Japon. IFMIF permettra de qualifier des échantillons de matériaux avant leur utilisation dans le réacteur de démonstration, DEMO, qui devrait succéder à ITER et produire les premiers mégawatts électriques issus de la fusion nucléaire.

Ces installations expérimentales utilisées dans le cadre d'un programme coopératif international devraient nous permettre de franchir une nouvelle étape et de relever le formidable défi que représente le développement de la fusion pour assurer un avenir énergétique durable.