

Réaction au papier « ITER Chronique d'une faillite annoncée » de Mr Jean-Pierre Petit, paru le 12 novembre 2011 dans la revue Nexus, préparée par le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives.

Le 17 novembre 2011.

Introduction

L'argumentation développée dans son article par Mr J.P. Petit, membre de l'association anti-nucléaire française « Sortir du nucléaire », visant à contester le projet ITER en attisant des peurs irraisonnées, est construite à partir d'extraits, sortis de leur contexte, d'une thèse de doctorat récemment préparée à l'Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique du CEA et soutenue en novembre 2010 à l'Ecole doctorale de l'Ecole Polytechnique sur la question particulière des phénomènes de disruptions susceptibles de survenir lors du fonctionnement d'ITER. Une disruption, phénomène connu de longue date, est une instabilité qui peut se développer au sein d'un plasma de Tokamak. Chargée d'une forte énergie, elle conduit à la rupture du confinement magnétique et se traduit par une décharge électrique de forte intensité vers la paroi de l'enceinte à vide, induisant le risque d'endommager celle-ci. Cette thèse de grande qualité s'appuie sur 50 ans de travaux d'une communauté scientifique mondiale de plusieurs milliers de professionnels de par le monde, et qui constitue la base reconnue du débat scientifique actuellement en cours sur le sujet. Il existe une abondante littérature sur le sujet des disruptions, notamment dans les articles publiés régulièrement dans le journal « Nuclear Fusion ». Ils constituent la base physique officielle et publique de la conception d'ITER. En constatant que l'article de Mr J.P. Petit ne retient que des extraits sélectionnés à dessein de travaux qui confirment à juste titre l'attention qui doit être portée par la communauté scientifique aux phénomènes de disruption, on ne peut que conclure à la volonté manifeste de polémique politique et de malveillance de la part de Mr J.P. Petit, et certainement pas à un travail de qualité scientifique mené dans un esprit critique constructif, et destiné à faire avancer le sujet. Nous sommes affligés de constater la légèreté avec laquelle des informations scientifiques publiées dans des revues de renommée internationale, leurs auteurs, mais également les lecteurs de l'article lui-même, y sont manipulés à des fins partisans étrangères à la recherche et aux progrès des connaissances. Par un tel comportement intellectuellement malhonnête, Mr J.P. Petit se disqualifie lui-même ipso facto du débat, qu'il soit scientifique ou sociétal.

Le présent document a vocation d'une part à répondre aux points les plus grossièrement inexacts de l'analyse de Mr J.P. Petit, tant sur le plan scientifique que sur le plan de la méconnaissance du contexte général des recherches, et d'autre part à fournir au lecteur les clés principales de lecture de ce même contexte et du rôle exact qu'ITER doit jouer dans la recherche en fusion magnétique sur les décennies à venir.

Analyse des critiques de Mr J.P. Petit

L'argument principal de Mr J.P. Petit est qu'ITER ne saurait résister aux disruptions, qui correspondent à un arrêt rapide du plasma. Analysons point par point les critiques émises dans l'article (les extraits de l'article sont en italique).

p.91, « De cette lecture, on retire que la fusion par confinement magnétique et la physique des tokamaks, extrêmement complexe, ne sont nullement maîtrisées par les théoriciens. Aucune modélisation du comportement du plasma contenu dans ces machines n'est représentative, au sens où il est et restera longtemps impossible de gérer, même avec les supercalculateurs les plus puissants au monde, un problème mettant en jeu 10^{20} à 10^{22} particules électriquement chargées, interagissant toutes avec les autres ».

Ces propos sont étonnants de la part de quelqu'un qui se prétend être un « spécialiste émérite de la physique des plasmas ». Les exemples ne manquent pas de théories et modèles fonctionnant fort bien sur un grand nombre de particules. Il s'avère que la Magnétohydrodynamique (MHD) est une science permettant de décrire la dynamique d'un plasma ou d'un fluide conducteur comportant un très grand nombre de particules. Les puissances de calcul disponibles actuellement permettent même des simulations en vraie grandeur. Sauf à remettre en question les propres travaux de la communauté scientifique à laquelle il a appartenu il y a plus de 20 ans, M. J.P. Petit ne peut sérieusement soutenir une assertion suivant laquelle il est impossible de simuler un système dynamique comportant un grand nombre de particules.

Ceci étant dit, personne n'a jamais prétendu que les tokamaks étaient et devaient être conçus sur la base de simulations numériques. En pratique les spécifications techniques d'un tokamak concernant leur tenue aux disruptions s'appuient sur des « lois », dite « lois-ingénieur » portant sur les énergies et temps caractéristiques mis en jeu dans ce processus. Les valeurs choisies pour ITER ont été validées par des expériences réalisées sur un grand nombre de tokamaks pendant plus d'un demi-siècle. Les simulations numériques de disruptions ne sont apparues que récemment, notamment dans la thèse de M. C. Reux dont M. J.P. Petit fait grand cas. De fait, les résultats sont très encourageants, même si leur précision est encore améliorable. Il convient de souligner à nouveau que ces simulations constituent un raffinement supplémentaire dans la compréhension des plasmas de tokamaks, et non la base la base de la conception d'ITER, validée depuis longtemps par les « lois-ingénieur » évoquées précédemment.

p.91 : « Tous les tokamaks du monde, y compris Tore Supra et JET, sont devenus ingérables, sous l'effet de causes extrêmement variées ».

Cette affirmation est à l'évidence erronée et totalement mensongère: Tore Supra et JET fonctionnent de manière satisfaisante et parfaitement sûre depuis 1988 et 1983 respectivement, soit plus de 20 ans de fonctionnement pour Tore Supra et presque 30 ans pour JET. Des disruptions surviennent régulièrement dans ces deux machines (comme dans toutes les autres), mais elles n'ont jamais conduit à une destruction, ni à une perte de confinement de produits toxiques, comme en fantasme le scénario de Mr Petit. 30 ans de fonctionnement sans incident majeur n'est certainement pas ce qu'on appelle honnêtement une situation « ingérable » !

p.92 : « les disruptions ... engendrent des forces capables de déformer les structures pariétales comme des fétus de paille »

Les éléments de première paroi et de structure des Tokamak et en particulier d'ITER sont bien entendu conçus pour résister aux forces générées par les disruptions, y compris les plus puissantes envisageables. Ces éléments sont agencés de façon à minimiser les courants électriques qui y circulent lors d'une disruption, limitant ce faisant les forces de traction qu'ils pourraient subir. Par ailleurs, en cas de situations extrêmes induisant des dommages superficiels à ces éléments, ces derniers sont conçus pour être remplaçables. La photographie montrée dans l'article et extraite de la thèse (élément de Tore Supra endommagé sous l'effet d'une disruption) est à ce titre exemplaire : il correspond à une « aiguille » (élément de première paroi) tordue sur Tore Supra sous l'effet d'une disruption : elle a été remplacée, les chemins de courant ont été depuis corrigés, et Tore Supra a fonctionné tout à fait normalement par la suite! Il est certain que durant la phase de mise en service progressive d'ITER, des situations de ce type seront rencontrées et les défauts constatés seront corrigés, comme cela se produit dans toute installation industrielle ou de recherche dans sa période initiale de fonctionnement (cf. la situation du CERN en 2009). Bien évidemment, la machine sera testée avec des courants plus faibles que la valeur nominale, afin de minimiser les dégradations potentielles pendant cette phase de mise au point.

p.93 : « les coups de foudre qui s'y produisent immanquablement atteindront 15 millions d'Ampère (150 millions d'ampères sur son successeur DEMO). Des impacts d'une telle puissance perforeront l'enceinte à vide. La couche de Beryllium ... sera volatilisée et dispersera le matériau dont elle est constituée, en même temps que le tritium ; radiotoxique, contenu dans la chambre »

Cette affirmation est doublement fautive. A supposer qu'en situation extrême, une perforation de la chambre à vide survienne sur ITER suite à une disruption, il n'y aura pas de rejet de Beryllium ou de Tritium hors de l'installation: la chambre à vide est entourée d'une série de barrières de confinement, qui ne seront pas affectées par les disruptions. De plus, DEMO ne fonctionnera certainement pas à 150 MA, mais à des courants de l'ordre de ceux d'ITER (15-20 MA). Les extrapolations hasardeuses et péremptoires de Mr Petit démontrent sa profonde méconnaissance de la physique et de la technologie des tokamaks.

p.93 : « les forces de Laplace, se chiffrant en milliers de tonnes, pourront déformer les structures de la machine, imposant leur remplacement, voire la réfection totale de l'installation ».

Mesurer des forces en tonnes est plus que surprenant de la part d'une personne qui se revendique physicien. Une force se mesure en Newton et une masse en gramme ou tonne. Les forces de Laplace induites dans ITER sont estimées pouvoir atteindre des milliards de Newton. Les éléments de structure d'ITER sont conçus pour résister à ces forces de plusieurs milliards de Newton – il ne sera donc en aucun cas nécessaire de les remplacer. JET résiste depuis 30 ans à des disruptions induisant des forces de plusieurs milliards de Newton. L'installation est construite pour supporter sans déformation de telles forces.

p.94 : « il n'existe aucun moyen d'extrapoler et de réutiliser les données existantes ... ces incidents, inévitables lors de la mise en œuvre, pourront amener la destruction d'ITER dès les premiers tests »

Ces affirmations péremptoires sont erronées. Il existe en effet des moyens et des codes très fiables pour estimer les courants dits de « halo » liés à une disruption, le niveau d'asymétrie de ces courants dans la direction toroïdale, ainsi que les forces exercées sur la chambre à vide. Cette estimation est consolidée à partir d'une base de données (« ITER disruption database ») alimentée par les observations sur un très grand nombre de tokamaks de tailles variées. Comme déjà mentionné, il existe aussi des simulations numériques MHD sans cesse plus précises permettant d'estimer de manière indépendante la nature fine des disruptions, mais celles-ci n'ont pas été utilisées pour concevoir ITER, car les décisions prises sont antérieures au développement de ces techniques de simulation. Celles-ci sont désormais utilisées à des fins de compréhension fine, de vérification et d'aide à la définition des tests de démarrage, des expériences à venir, et à l'exploitation de leurs résultats. Mentionnons à nouveaux que les tests de démarrage d'ITER s'effectueront à courant plasma réduit (comme pour toute autre machine) avec une montée en puissance progressive, et donc dans des situations sans risque pour l'intégrité de la machine.

p.94 : « espérer faire un jour fonctionner un tokamak sans disruption est aussi déraisonnable que d'envisager un soleil sans éruptions solaires, une météo sans vents ni nuages, une cuisson dans une casserole emplie d'eau sans tourbillon »

Un tokamak peut fonctionner sans risque de disruption si le plasma est stable vis-à-vis des modes MHD. De facto, c'est le régime de fonctionnement normal de la plupart des tokamaks, et ITER n'échappera pas à la règle. Il faut se garder ici de confondre instabilité et turbulence. Une disruption est due à une instabilité parfaitement déterministe. Si un plasma est stable vis-à-vis de cette instabilité, il n'y a aucune raison qu'elle survienne en vertu de la reproductibilité d'une physique déterministe. Ce point très important a été confirmé par l'analyse de la base de données ITER déjà mentionnée : il n'y a pas de caractère aléatoire dans le déclenchement d'une disruption, même si la physique en jeu est complexe. Une turbulence (l'image de la casserole) est associée à une

multiplicité d'instabilités à petite échelle. De fait, une turbulence est chaotique. Elle est incontournable, mais ne conduit pas à une disruption. Une disruption peut entrer en régime turbulent, mais dans un deuxième temps seulement, une fois l'instabilité primaire déclenchée. A cet égard, la figure montrée en guise d'illustration par Mr J.P. Petit est hors de propos : elle correspond à une turbulence qui n'a rien à voir avec une disruption.

Bien évidemment un des objectifs d'ITER est de mettre au point un scénario stable vis-à-vis des disruptions. Une fois ce scénario trouvé, il n'y a aucune raison pour qu'il devienne disruptif spontanément.

p.95 : « les disruptions peuvent endommager n'importe quels éléments d'un tokamak, y compris son système supra-conducteur de magnétisation, dont on rappelle qu'il contient l'énergie du porte-avion Charles de Gaulle lancé à 150km/h »

Cette assertion à nouveau est fautive. La chambre à vide sera protégée par une couverture prévue pour stopper les neutrons de 14MeV issus des réactions de fusion, et a fortiori les électrons rapides issus des disruptions, qui ne parviendront donc pas jusqu'à l'aimant. Répétons une nouvelle fois que les éléments de structure, dont l'aimant supraconducteur, sont conçus pour résister à une disruption. L'énergie mise en jeu lors d'une disruption n'a rien à voir avec l'énergie de l'aimant toroïdal. Il s'agit plutôt du contenu énergétique du plasma (environ 350 MégaJoules pour un plasma ITER à pleine puissance) et de l'énergie du champ magnétique dit poloïdal (à peu près 400MJ) – les deux n'étant pas libérées en même temps – donc rien de commensurable avec les 51GigaJoules mentionnés, ni avec un quelconque porte-avion lancé à 150km/h, fût-il le Charles de Gaulle.

p.95 : « si on voulait offrir une image de la mise en œuvre d'un tokamak, il faudrait se représenter un machiniste qui est face à une chaudière et à quelques instruments de mesure. Si l'aiguille de l'un deux accuse le moindre frémissement, sa seule action possible consiste à noyer le foyer à l'aide d'une lance à incendie »

Encore une fois, méconnaissance de ce qu'est un Tokamak et manipulation des faits à des fins partisans. Tore Supra est équipé de 40 instruments de mesure en continu, JET d'environ 80 et ITER en aura plus encore. Parler de « quelques instruments de mesure » est pour le moins réducteur. Pour ce qui est de la « lance à incendie », l'estimation du temps disponible pour arrêter ou freiner des électrons rapides est de l'ordre de 10 ms. On estime qu'il faudra injecter 10^{22} électrons par mètre cube pour un arrêt « en douceur » (cf. le document de référence « ITER Physics Basis » donnant les bases du dimensionnement physique d'ITER, publié dans Nuclear Fusion et co-signé par l'ensemble de la communauté mondiale). Ce n'est pas tâche impossible ! De fait, l'étude de l'injection massive de gaz comme moyen d'arrêt des électrons rapides est précisément l'objet de la thèse de C. Reux. D'autres techniques sont à l'étude par plusieurs équipes dans le monde, dont une du CEA, en vue de retenir celle qui présente les meilleures performances au meilleur coût. Les résultats actuels sont encourageants, et on peut raisonnablement penser qu'une, ou même plusieurs, de ces méthodes innovantes, au-delà de celle déjà disponible, seront au point en 2019-2020 pour le premier plasma d'hydrogène et à plus forte raison en 2026 avec le premier plasma deutérium-tritium.

p95 : « on peut s'étonner que l'autorité de sûreté nucléaire n'ait jamais fait mention de cette dangerosité ... »

C'est vraiment mal connaître ce que sont les autorités de sûreté nucléaire des 7 partenaires d'ITER (Japon, Corée du Sud, Inde, Chine, Etats Unis, Fédération de Russie, Union européenne) et de la France que de penser un seul instant qu'elles auraient pu n'en jamais faire mention, si ces disruptions étaient aussi dangereuses que Mr Petit le fantasme. Sa phrase malveillante vise à laisser à penser que les disruptions ont été cachées aux diverses instances d'évaluation. Il n'en est naturellement rien. Les disruptions sont largement commentées dans la littérature, en particulier plus de 35 pages leur sont

consacrées dans le « ITER Physics Basis », publié dans le journal Nuclear Fusion en 2007 (complétant le rapport initial de 1999). Les publications de niveau international sur ce sujet se chiffrent en centaines. Insinuer que le sujet aurait été éludé, voir caché, est à l'opposé de la réalité. Ce qui est surprenant, c'est que M. J.P. Petit, qui revendique une démarche scientifique, appuie ses affirmations péremptoires essentiellement sur la lecture superficielle des travaux de la thèse de Mr Reux, et ignore superbement les milliers de pages consacrées à ce sujet des disruptions dans les revues scientifiques unanimement reconnues. On ne peut donc que s'étonner de son étonnement.

Ayant démontré l'outrance des propos de Mr Petit, il convient maintenant de répondre de manière synthétique aux légitimes questionnements de l'opinion sur le projet de recherche ITER : qu'en est-il précisément du fonctionnement du Tokamak ITER et de sa situation face aux disruptions?

Les recherches en fusion magnétique et le rôle d'ITER

La recherche en fusion nucléaire, par voie de confinement magnétique, est une recherche dite « sociétale », dans le sens où elle mobilise un ensemble aussi cohérent que possible de compétences scientifiques et techniques pour aboutir à un but unique, à savoir développer, dans des conditions aussi sûres que souhaitées, une source d'énergie basée sur le principe de la fusion de deux noyaux légers. Monsieur Petit dans son introduction rappelle à juste titre que, sous forme d'un résumé très rapide, on peut parler de la domestication sur Terre de l'énergie de fusion, cette énergie produite dans les étoiles, et en particulier dans le Soleil.

Une tâche de grande ampleur en effet à laquelle on veut s'atteler ! Ce défi, car c'en est bien un, consiste donc tout d'abord à vérifier que de telles réactions sont réalisables sur Terre, et qui plus est, qu'elles le sont à « taille humaine ». La bonne nouvelle, le résultat tangible et remarquable apporté par la communauté scientifique, est qu'en effet il est possible de trouver un point de fonctionnement pour cette réaction de fusion nucléaire compatible avec une réalisation « humaine ». En clair, le dimensionnement de la physique à laquelle il est fait appel indique qu'un réacteur de cette nature est envisageable dans des installations industrielles comparables à celles que l'on connaît pour la production massive d'électricité actuellement. Ceci représente une étape décisive dans la poursuite de cette recherche. Cette étape a été franchie à la fin des années 1990, notamment par une démonstration expérimentale sur le tokamak européen JET, saluée universellement et clôturant ainsi une phase longue, mais décisive de l'histoire de la fusion : la « phase des pionniers ».

Plusieurs livres spécialisés ont déjà été écrits sur cette phase de l'histoire de la fusion, mais il est important d'en souligner les conclusions majeures en des termes accessibles au grand public, et aux personnes intéressées par nos choix de sociétés. Cette phase des pionniers est typiquement scindée en deux époques, la première époque couvrant deux décennies entre la « déclassification » des recherches (1958) et la décision de construction du JET (1980); la seconde époque couvrant les deux décennies suivantes marquées par l'exploitation des grands tokamaks, dont le plus grand est encore aujourd'hui JET, et aboutissant à la décision collective de construction d'ITER (2005). Dans la première époque, de très nombreuses voies ont été explorées de par le monde, cherchant de manière fortement compétitive à développer ce que nous appelons la configuration magnétique, c'est-à-dire cette « boîte » immatérielle chargée de confiner ce plasma extrêmement chaud, et dont tout le monde comprend qu'aucun mur matériel ne peut le contenir. La configuration arrivée en tête de très loin dans cette compétition est la configuration tokamak, proposée par les chercheurs russes, et non détrônée jusqu'ici. D'autres configurations ont été purement et simplement écartées, mais certaines voies alternatives ont été conservées et sont encore d'actualité. Si la configuration tokamak est arrivée en tête, cela ne signifie pas qu'elle est parfaite, ou idéale. La seconde époque a consisté à

définir les performances de la configuration tokamak, c'est-à-dire à établir les « lois-ingénieur » permettant d'extrapoler les résultats acquis en vue de la conception d'un réacteur. Il est fondamental de comprendre ici, comme dans tout processus industriel, qu'établir des « lois ingénieur » ne nécessite pas la compréhension complète de la physique sous-jacente à un phénomène. C'est ce qui s'est passé par exemple pour l'aéronautique : nos avions volent depuis plus de 100 ans, nos fusées vont sur la Lune depuis plus de 40 ans, mais la physique de la turbulence autour d'une aile d'avion, si elle est comprise dans ses grandes lignes, n'est toujours pas « résolue » complètement et fait encore l'objet de recherches. Les premières voitures ont été développées et commercialisées par des gens qui ne maîtrisaient pas la thermodynamique du moteur à explosions dans toute sa complexité. Le processus normal dans une recherche de ce type, dont on rappelle que la vocation n'est pas simplement la connaissance pour la connaissance, mais la connaissance pour répondre à un besoin et qui requiert le développement d'un équipement ou d'un procédé innovant intégrant de nombreux savoirs et savoir-faire, est toujours de combiner des informations expérimentales (on construit des prototypes, on les fait marcher, on mesure les paramètres d'études et on analyse les résultats pour modéliser le système en fonctionnement et donc le maîtriser), des informations théoriques (on s'interroge sur les processus physiques qui régissent le phénomène, on pose des équations, on les résout, et on les confronte aux résultats de l'expérience), mais également des « modèles ingénieurs », qui reproduisent les comportements de manière ad-hoc, et qui sont en général des lois simples avec des paramètres ajustés sur l'expérience. C'est l'itération constante entre ces activités qui permet une progression régulière vers le résultat. Monsieur Petit fait un amalgame à ce niveau dans l'ensemble de son analyse, et s'il est vrai que la physique des plasmas est encore loin d'être comprise dans ses aspects les plus fondamentaux, il est totalement faux d'affirmer que cette connaissance est un prérequis au bon fonctionnement d'ITER. C'est un peu trop vite ignorer, ou envisager de manière bien naïve, le processus complet qui sous-tend toute recherche appliquée. Par contre, évidemment, la communauté scientifique de la fusion ne relâche pas ses efforts de compréhension de fond, car elle est la clé ultime de l'optimisation d'un tel processus. Les développements de la simulation au meilleur niveau mondial, l'utilisation massive des moyens de calculs les plus avancés témoignent de cela s'il en était besoin. La France elle-même peut s'enorgueillir de mener cette recherche dans le peloton de tête mondial sur certains des fronts, dont celui des processus turbulents qui régissent le confinement du plasma, clé des performances, et la magnéto-hydro-dynamique (MHD) non linéaire, qui régit la stabilité du même plasma. Monsieur Petit, qui se revendique ancien spécialiste de MHD lui-même, ne peut pas ne pas être au courant des progrès considérables des simulations MHD des plasmas de tokamak, dont certaines ont été conduites par Mr Cédric Reux dans la thèse si généreusement citée par Mr Petit lui-même.

Alors qu'en-est-il d'ITER et quel est son rôle exact ?

S'il y a une idée qui a la vie dure quand on parle d'ITER, c'est bien celle qui consiste à amalgamer ce projet complexe et de taille imposante à la fin de l'histoire. Avant de se poser la question de ce qu'est ITER, il faut bien comprendre ce qu'il n'est pas. ITER n'est pas un réacteur de fusion, pas plus à vocation commerciale qu'à vocation de prototype. ITER est par contre une machine de recherche aboutie, fruit de la synthèse collective et complète des résultats de l'époque des pionniers qui, rappelons-le encore une fois, a validé la faisabilité scientifique de la fusion magnétique. Ces travaux auraient pu conclure par exemple que la physique demandait une « machine » de 100 mètres de diamètre, ou un champ magnétique incompatible avec ce qui est physiquement envisageable. Ce n'est pas le cas, et ce sont bien les lois d'échelles développées et testées avec la rigueur scientifique adéquate qui nous permettent de l'affirmer. Les résultats de JET à la fin des années 1990 ont en fait confirmé qu'en utilisant le mélange réel de deutérium et de tritium, on obtenait bien ce qu'on avait extrapolé à partir des résultats en deutérium pur. Mr Petit a raison quand il dit que la présence de tritium est indispensable à la production de la réaction de fusion, mais il a tort quand il insinue qu'on

n'utilise pas le tritium parce qu'il est cher ou « dangereux ». Il n'y avait aucune raison valable de faire l'ensemble des développements et tests avec du tritium sur JET, alors qu'on sait extrapoler le comportement des plasmas de fusion (et dans ce cas à partir des grands principes de la mécanique quantique) à partir des plasmas de deutérium. La question du tritium est essentiellement séparable du reste de la question de physique, et sa présence ne devient nécessaire que lorsqu'on passe à la « vraie grandeur », c'est justement un des premiers rôles d'ITER. On a assigné à ITER, et depuis les années 1990, des missions scientifiques précises, en lien avec des questions auxquelles il est prévu qu'il puisse répondre, ou des extrapolations qu'il est prévu qu'il puisse confirmer parce qu'il sera le premier à pouvoir les obtenir en vraie grandeur. Ces missions scientifiques sont essentiellement de trois types :

- Produire des plasmas de deutérium et de tritium pour lesquels l'énergie que dégage la réaction domine l'énergie nécessaire pour l'entretien du processus. On a fixé à environ 10 le facteur d'amplification souhaitée entre la puissance injectée pour déclencher la réaction et la puissance recueillie au sein du plasma. Pour obtenir ce résultat majeur, ITER devra non seulement confirmer que les extrapolations sont correctes, mais il contribuera également à fournir des résultats majeurs sur le comportement de tels plasmas, en matière de confinement et de stabilité.
- Produire des plasmas de deutérium et de tritium pour lesquels l'énergie que dégage la réaction contribue de manière significative à l'entretien du processus, et de surcroît dans des conditions de durée préfigurant le fonctionnement du réacteur, c'est-à-dire approchant ce que nous appelons la stationnarité. Cette seconde condition impose des contraintes supplémentaires sur le soutien du courant plasma lui-même par des systèmes de puissance additionnelle.
- Enfin, tester des régimes proches de ce qu'on appelle l'ignition, c'est-à-dire des régimes où l'on cherche à minimiser la puissance injectée totale, en vue de mieux cerner le point de fonctionnement d'un futur réacteur.

En lien avec les missions scientifiques ci-dessus assignées à ITER, ITER marque également le début d'une nouvelle époque pour la fusion dans le sens où il doit également faire la démonstration de la faisabilité technologique du processus. Cela veut dire en clair qu'ITER doit démontrer à terme que la fusion magnétique est ou n'est pas un procédé qui peut conduire à une filière de réacteurs nucléaires totalement différents de ceux existant actuellement. Cet enjeu est pris avec le plus grand sérieux par tous les acteurs, qui jouent tous leur rôle respectif. L'équipe ITER est responsable de proposer une machine qui doit à terme remplir cette mission, ainsi que de proposer les protocoles expérimentaux qui, un à un, devront être validés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire, avant toute mise en service et toute introduction de Tritium dans la machine. Comme évoqué ci-dessus, ITER peut fonctionner, et de fait il fonctionnera, sans Tritium jusqu'à ce que toutes les étapes aient été validées. C'est la raison majeure pour laquelle le plan expérimental d'ITER prévoit à l'heure actuelle entre 5 et 7 ans d'opération avant l'introduction de Tritium. Ensuite ITER procédera par étapes avec du Tritium jusqu'aux performances qui lui sont fixées. Lors de ce processus, l'ensemble des composants et des processus physiques seront à nouveaux testés, modélisés, et comparés aux prédictions, continuant ainsi la progression du processus, mais cette fois-ci de manière intégrée.

Les résultats, s'ils sont ceux qui sont prévus aujourd'hui, permettront de valider la fusion magnétique comme un processus suffisamment mûr pour envisager la phase suivante de prototypage de réacteur (souvent appelé DEMO) avec en particulier des dimensions d'industrialisation et de rentabilité, qui sont absentes des missions d'ITER.