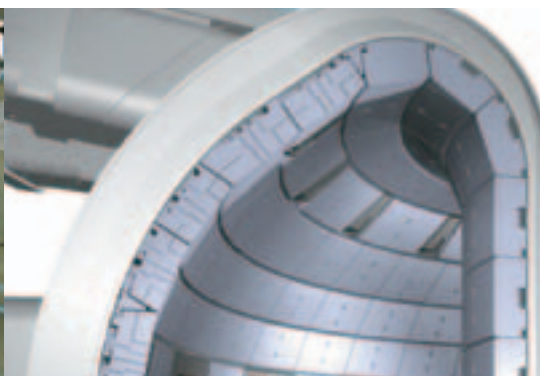




# ITER

## Demande d'Autorisation de Création

### Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques



  
china eu india japan korea russia usa

# Table des matières

<b>0</b>	<b>Introduction à la fusion</b>	<b>3</b>
0.1	De l'énergie des étoiles à ITER	3
0.2	Une coopération inédite au monde	5
0.3	Description de l'installation	6
0.4	Les enjeux scientifiques et technologiques	10
0.5	Le programme ITER : les différentes étapes du projet	11
0.6	Informations du public du projet ITER	16
<b>1</b>	<b>Identification des risques</b>	<b>18</b>
1.1	Les risques d'origine nucléaire	18
1.2	Les risques d'origine non nucléaire	19
<b>2</b>	<b>Analyse du retour d'expérience</b>	<b>21</b>
2.1	Retour d'expérience pour les bâtiments tokamak et tritium	21
2.2	Recherche et développement	22
<b>3</b>	<b>Principes généraux de sûreté</b>	<b>23</b>
3.1	Méthodologie et sûreté	23
3.2	Les objectifs généraux de sûreté	24
<b>4</b>	<b>Conséquences résiduelles des accidents</b>	<b>25</b>
4.1	Méthodologie d'identification des situations accidentelles	25
4.2	Hypothèses générales relatives à l'évaluation des conséquences radiologiques	25
4.3	Evaluation des conséquences radiologiques des situations «enveloppes»	26
<b>5</b>	<b>Maîtrise des risques</b>	<b>26</b>
5.1	Risques d'origine nucléaire	26
5.2	Risques d'origine non nucléaire	27
5.3	Moyens d'intervention	28



## 0 | Introduction à la fusion

### 0.1 De l'énergie des étoiles à ITER

*ITER, du mot latin qui signifie « le chemin », constitue une étape décisive vers la maîtrise scientifique et technologique de l'énergie de fusion. ITER ouvre la possibilité de disposer, à terme, d'une énergie fondée sur une ressource disponible à l'échelle de la planète*

Au commencement était l'hydrogène, le plus simple et le plus léger de tous éléments. Quand l'Univers a commencé à prendre forme, il y a des milliards d'années, cette matière s'est peu à peu rassemblée et condensée sous l'action de la force gravitationnelle. Des nuages d'hydrogène sont nés, qui se sont mués en masses gazeuses de plus en plus denses, de plus en plus chaudes.

Au cœur de ces énormes boules de gaz, compressées et confinées par la force gravitationnelle, la température n'a cessé de croître jusqu'à atteindre plusieurs dizaines de millions de degrés. Une longue chaîne de réactions physiques s'est alors amorcée, conduisant les atomes d'hydrogène à fusionner en libérant de considérables quantités d'énergie. C'est ainsi que les étoiles, les unes après les autres, se sont allumées.

La compréhension de ce phénomène, à la fin des années 1930, a permis de jeter les bases du programme de recherche et de développement visant à mettre au point l'énergie de fusion.

Dans l'éventail des choix énergétiques du futur, « l'énergie de fusion » représente la possibilité de disposer à terme d'une énergie fondée sur une ressource disponible à l'échelle de la planète.

**Pour en faire la démonstration, la Chine, l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis ont décidé de construire ITER à Cadarache.**

De nombreuses installations de recherche de fusion ont été construites et exploitées, depuis le début des années 1950, dans la plupart des pays développés. En même temps que progressait la connaissance théorique de la physique des plasmas – le milieu très chaud dans lequel se produisent les réactions de fusion – la technologie réalisait des progrès continus.

Il est très vite apparu que la fusion « sur Terre » serait différente de celle qui se produit au cœur des étoiles. Pour chauffer et confiner le plasma, il faudrait trouver une alternative à la force gravitationnelle dont les effets ne deviennent manifestes qu'à l'échelle des très grandes masses. Les scientifiques avaient également déterminé que deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium, se prêtaient particulièrement, de par leurs propriétés physiques, aux expériences de fusion.

A la fin des années 1960, les chercheurs soviétiques réalisèrent une percée décisive. Conçus selon une architecture nouvelle, baptisée « tokamak », l'acronyme russe de *chambre toroïdale et bobines magnétiques*, la série de machines qu'ils avaient développée obtenait des résultats permettant d'ouvrir la voie des recherches sur la fusion nucléaire.

Dix ans plus tard, une vingtaine de tokamaks étaient opérationnels ou en cours de construction dans le monde.

Deux machines allaient permettre de franchir des étapes essentielles dans les années 90 : le tokamak européen JET (Joint European Torus), au Royaume-Uni en 1991 ; la machine TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor) aux États-Unis en 1994. Dans les deux cas, la fusion de noyaux de deutérium et de tritium permettrait de produire une puissance de fusion de plusieurs mégawatts. Le bilan énergétique demeurerait toutefois négatif : la puissance que les machines avaient consommée pour obtenir les réactions de fusion demeurerait supérieure à celle qu'elles avaient restituée.

La mise en évidence des « lois d'échelle » avait montré que, plus grand serait le volume du plasma, plus efficace serait la machine. Pour obtenir un bilan énergétique positif, un changement d'échelle s'imposait. C'est ainsi que sept pays représentant plus de la moitié de la population de la planète décidèrent de s'unir pour réaliser ITER.

### Fusion, mode d'emploi

Dans une réaction de fusion, les noyaux de deux atomes légers se combinent pour former un noyau plus lourd, libérant ainsi de l'énergie.

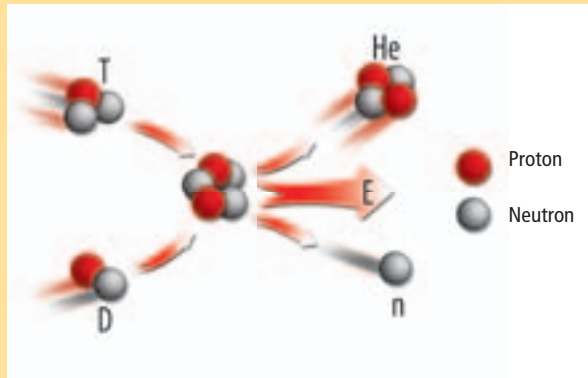
Pour que ce phénomène soit rentable en terme d'énergie il faut arriver à fusionner un très grand nombre de ces noyaux.

Pour obtenir des réactions de fusion, ITER utilisera deux isotopes de l'hydrogène :

- le deutérium, dont le noyau contient un proton et un neutron,
- le tritium qui est constitué d'un proton et de deux neutrons.

Portés et maintenus à une température de l'ordre de la centaine de millions de degrés, les noyaux de deutérium et de tritium vont acquérir suffisamment d'énergie pour fusionner : 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, 80% pour le second.

Parce qu'ils sont chargés électriquement, les noyaux d'hélium demeurent prisonniers des champs magnétiques qui, dans un tokamak, isolent le plasma des parois. Ils lui transmettent leur énergie et contribuent ainsi à maintenir sa température.



Réaction de fusion du Deutérium et du Tritium

### Organisation du projet

Créée par traité international signé et ratifié 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 membres participant au programme, forme le conseil d'administration d'ITER Organization (IO), laquelle est chargée de concevoir, de construire et d'exploiter l'installation de recherche. ITER Organization a son siège à Saint-Paul-lès-Durance (Bouches-du-Rhône).

Chacun des sept Membres du programme ITER a mis en place une « agence domestique », interface unique avec IO et principalement chargée de lui fournir les composants de l'installation. Fusion for Energy (F4E), l'agence européenne du partenaire hôte, l'Europe, est installée à Barcelone.

La France, en tant que pays hôte, est représentée au sein des instances internationales par le Haut Représentant de la France pour ITER : ce dernier assure la coordination des acteurs nationaux impliqués dans le programme ITER. Dans le cadre des engagements pris par la France quand la décision a été prise d'accueillir ITER à Cadarache, l'Agence Iter France (entité créée au sein du CEA) a réalisé les travaux de viabilisation et d'aménagement du site, qui a été mis à la disposition d'ITER Organization en juillet 2010. L'Agence Iter France (AIF) assure également la collecte de la contribution française et l'accueil des collaborateurs de l'organisation internationale ainsi que de leur famille. Lorsque le programme de recherche d'ITER sera terminé, le site sera restitué au CEA qui assurera la phase de démantèlement de l'installation.

Mise en place par l'État, une mission industrielle œuvre avec les acteurs régionaux pour développer les relations entre ITER et le tissu industriel et économique.

## 0.2 Une coopération inédite au monde

*ITER est fondé sur une forme de collaboration inédite dont l'objectif est de maîtriser l'énergie de fusion « pour le bénéfice de toute l'humanité ».*

Le président américain Ronald Reagan et le secrétaire général du parti communiste d'Union soviétique Mikhaïl Gorbatchev avaient beaucoup de choses à se dire lorsqu'ils se rencontrèrent pour la première fois à Genève, le 19 novembre 1985. Au menu de ce « sommet » : la sécurité collective, la non-prolifération et le désarmement, l'environnement ...

La discussion portera également sur un projet que nourrissaient depuis plusieurs années les scientifiques américains, européens, japonais et soviétiques : la mise en place d'une collaboration internationale dans le domaine de l'énergie de fusion, dans le but « de maîtriser cette source d'énergie quasiment inépuisable pour le bénéfice de toute l'humanité ».

Le projet ITER venait de naître. Porté par les deux hommes les plus puissants de la planète, soutenus par leurs homologues britanniques, français et japonais, il accomplissait la volonté de deux générations de physiciens et d'ingénieurs : construire une machine dont la taille et la puissance permettrait de démontrer la faisabilité de l'énergie de fusion et pourrait ouvrir la voie à son exploitation industrielle.

Au-delà de ses objectifs scientifiques et des enjeux qu'il représente pour le devenir de l'humanité, le projet reposait sur une collaboration internationale sans équivalent dans l'histoire.

Entre la rencontre de Genève et la décision de construire ITER à Cadarache, sur le site proposé par l'Union européenne, vingt ans allaient s'écouler au cours desquels les contours du projet ont connu de nombreuses modifications.

Tandis que le design de la machine prenait progressivement sa forme quasi définitive, la collaboration internationale se renforçait. Trois nouveaux partenaires – la Chine et la Corée en 2003, l'Inde en 2005 – rejoignaient le programme.

Au mois de décembre 2005, l'équipe ITER, composée de moins d'une dizaine de personnes prenait possession de ses bureaux à Cadarache.

Plus d'un millier d'hommes et de femmes, venus d'une trentaine de nations, sont aujourd'hui à pied d'œuvre, à Cadarache, concrétisant un demi-siècle de recherches sur la fusion : construire une machine qui démontrera que l'on peut produire de l'énergie à partir de la réaction de fusion et, à terme, offrir aux générations futures l'accès à une source d'énergie nouvelle.

### Les années ITER

#### 2005

Le 28 juin, les ministres représentant les partenaires du programme ITER décident, unanimement, qu'ITER serait construit sur le site proposé par l'Union européenne, à Cadarache, dans le département des Bouches-du-Rhône.

#### 2006

Dans le cadre du débat public organisé par la commission nationale du débat public (CNDP), le projet ITER est présenté aux habitants des communes des quatre départements riverains du site, ainsi qu'à Nice, à Paris. Le public est invité à s'exprimer.

#### 2007

« L'accord sur l'établissement de l'organisation internationale ITER pour l'énergie de fusion en vue de la mise en œuvre conjointe du projet ITER » entre en vigueur le 24 octobre.

#### 2008-2009

Travaux de préparation de la plateforme d'ITER menés par le pays hôte, la France.

#### 2007-2009

Consolidation de la conception de l'installation.

#### 2010

Les documents relatifs à la Demande d'Autorisation de Création (DAC) de l'Installation Nucléaire de Base (INB) ITER sont préparés, puis remis à l'autorité de sûreté nucléaire pour instruction.

#### 2011

Enquête publique et lancement des travaux de construction de l'Installation Nucléaire de Base.

#### A partir de 2019

Démarrage de la phase d'exploitation, prévue pour durer 20 ans.

### 0.3 Description de l'installation

*Le noyau de l'atome constitue un formidable gisement d'énergie. Dans un tokamak, comme ITER, les conditions physiques permettent de réaliser la fusion d'atomes légers et d'obtenir de l'énergie.*

Quand deux atomes légers fusionnent, un atome plus lourd est créé dont la masse est légèrement inférieure à la somme des noyaux dont il est issu. Où est passée cette masse manquante ? Elle s'est transformée en énergie. La formule qui rend compte de ce phénomène est le fameux «  $E = mc^2$  » d'Albert Einstein, dans lequel «  $m$  » désigne la masse et «  $c^2$  » le carré de la vitesse de la lumière.

Ce que nous dit depuis plus d'un siècle l'équation d'Einstein c'est qu'une masse, même infinitésimale, peut se muer en énergie. Les milliards de milliards de noyaux d'atomes, qui forment un gaz, constituent donc un formidable gisement d'énergie.

Fusionner des noyaux cependant, n'est pas chose facile. Il faut pour y parvenir les conditions de température et de pression que l'on rencontre au cœur des étoiles, ou celles, fondées sur des principes différents, que l'on crée dans l'enceinte d'un tokamak.

Pour permettre à deux noyaux légers de fusionner, il faut les rapprocher au plus près l'un de l'autre. La nature s'y oppose en dressant entre eux une puissante barrière électrostatique. Celle-ci, cependant, n'est pas infranchissable : en communiquant aux noyaux une énergie suffisante, on parvient à leur faire « sauter cette barrière » et la fusion devient possible.

Dans la mesure où l'énergie des noyaux dépend de leur température, tout l'enjeu de la fusion consiste donc à créer un milieu suffisamment « chaud », pendant un temps suffisamment long, de manière à permettre à un grand nombre de noyaux d'entrer en collision et de générer ainsi des réactions de fusion.

Un tokamak peut être décrit comme une enceinte dans laquelle un mélange gazeux, composé de deutérium et de tritium, est porté à très haute température – de l'ordre de la centaine de millions de degrés.

Un gaz aussi chaud est un « plasma », quatrième état de la matière après le solide, le liquide et le gaz, qui a la particularité de conduire l'électricité et d'être sensible à l'action d'un champ magnétique. Ces deux propriétés vont permettre tout à la fois de chauffer le plasma, d'en façonner la forme et de le maintenir à bonne distance des parois internes de la machine afin qu'il puisse conserver les conditions propices aux réactions de fusion.

#### Dans la famille hydrogène...



Le noyau de l'atome d'hydrogène, le plus léger de tous les éléments, est constitué d'un unique proton (en bleu). Il existe deux « isotopes » de l'hydrogène, le deutérium et le tritium, qui présentent les mêmes propriétés chimiques, mais dont les noyaux contiennent pour le premier un proton et un neutron (en vert), et pour le second, un proton et deux neutrons.

L'atome tritium est instable et se décompose en un atome d'hélium en émettant un électron sous forme « d'émission bêta » dont l'énergie moyenne est extrêmement faible – quelques millimètres d'air ; l'épaisseur de la peau, suffisent pour l'arrêter.

Le combustible d'ITER sera constitué par un mélange gazeux de deutérium et de tritium.

### La chambre à vide et les aimants supraconducteurs

L'enceinte dans laquelle le plasma est confiné forme le cœur de l'installation ITER qui s'appelle la « chambre à vide » car le plasma qu'elle contient est si ténu que sa densité est d'environ cent millions de fois plus faible que celle de l'atmosphère.

Cette chambre à vide en forme de chambre à air, d'un volume d'environ 816 mètres-cubes, est entourée d'électroaimants très puissants.

- Les bobines dites « toroïdales », placés en position verticale, qui vont créer le champ magnétique qui confine le plasma.
- les bobines « poloïdales », qui cerclent la chambre à vide, qui vont contrôler le courant électrique qui circule dans le plasma.
- Le « solénoïde central » qui se dresse au centre de la chambre à vie et qui agit comme le « primaire » d'un transformateur dont le plasma serait le « secondaire ». Le solénoïde central induit un courant électrique dans le plasma, lequel, par effet de résistance, voit sa température augmenter jusqu'à atteindre une dizaine de milliers de degrés.

Ce courant plasma, caractéristique des tokamaks, crée à son tour un champ magnétique poloïdal.

La combinaison des champs magnétiques toroïdal et poloïdal compose un champ magnétique hélicoïdal dans lequel lévite le plasma éloigné des parois de la chambre à vide.

Les bobines toroïdales et poloïdales, ainsi que le solénoïde central sont composés d'un alliage particulier qui, une fois refroidi à une température proche du zéro absolu (de l'ordre de 4 K soit -269°C), n'oppose plus de résistance au passage du courant électrique : c'est la supraconductivité.

Les parois internes de la chambre à vide sont recouvertes par des « modules de couverture » et, dans leur partie basse, par des « cassettes du divertor ». Leur fonction est essentiellement d'évacuer la chaleur rayonnée par le plasma et les neutrons générés lors de la réaction de fusion.

Ces modules et cassettes sont amovibles et pourront être remplacés au cours de la vie de l'installation.

### Techniques de chauffage

Le plasma dans ITER sera chauffé de différentes manières : le chauffage ohmique repose sur le principe de la « résistance », comme un radiateur électrique ; le chauffage par ondes de haute fréquence, comme dans un four à micro-ondes, et le chauffage par injection de particules neutres de très haute énergie, qui évoque la manière dont un liquide peut être réchauffé en lui communiquant l'énergie du jet de vapeur.

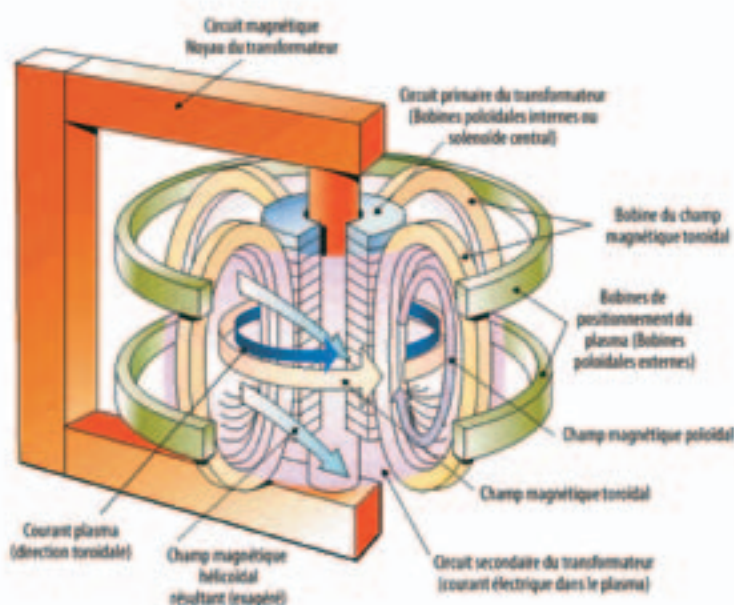


Schéma des bobines et des champs magnétiques d'un tokamak

### 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 plasma d'environ 816 m<sup>3</sup> (plus de 30 fois celui du tokamak Tore Supra à Cadarache et plus de 8 fois celui du tokamak JET en Angleterre), ITER vise une production de puissance 10 fois supérieure (500 MW) à celle qui aura été injectée dans la machine (50 MW).

Grand rayon du plasma : 6,2 m

Petit rayon du plasma : 2 m

Volume du plasma : 816 m<sup>3</sup>

Courant du plasma : 15 MA

Champ magnétique : 5,3 Teslas

Type de plasma : Deutérium-tritium

Puissance thermique : 500 MW

Durée des impulsions : plus de 400 secondes et permanent à puissance réduite.

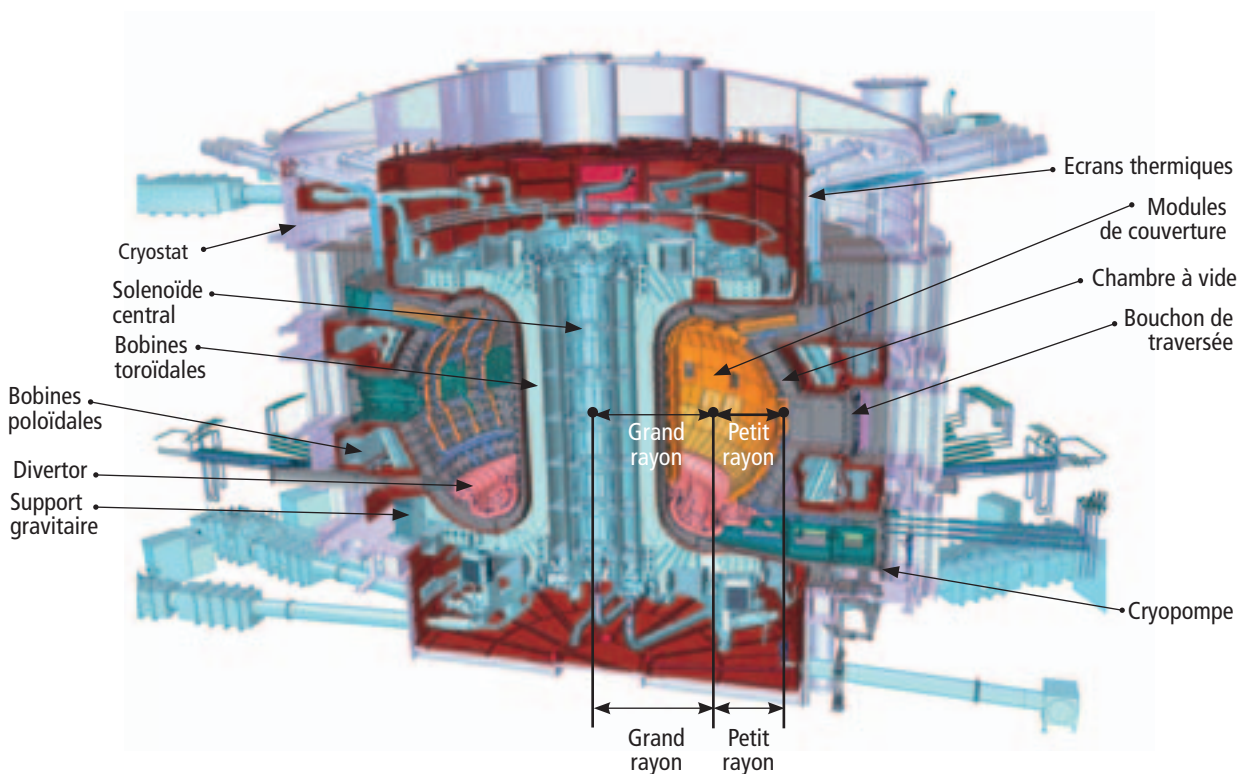


Schéma éclaté d'ITER

### Le complexe Tokamak

Le complexe tokamak est constitué de trois éléments : le bâtiment tokamak accolé au hall d'assemblage qui s'élèvera à environ 60 mètres de hauteur ; le bâtiment abritant les installations de diagnostic et le bâtiment tritium.

A ces structures s'ajoutent des installations techniques comme les cellules de maintenance, les bâtiments pour le tri et la gestion des déchets technologiques et les systèmes auxiliaires telles que l'installation cryogénique pour le refroidissement des aimants supraconducteurs ou les alimentations électriques.

### Les autres bâtiments

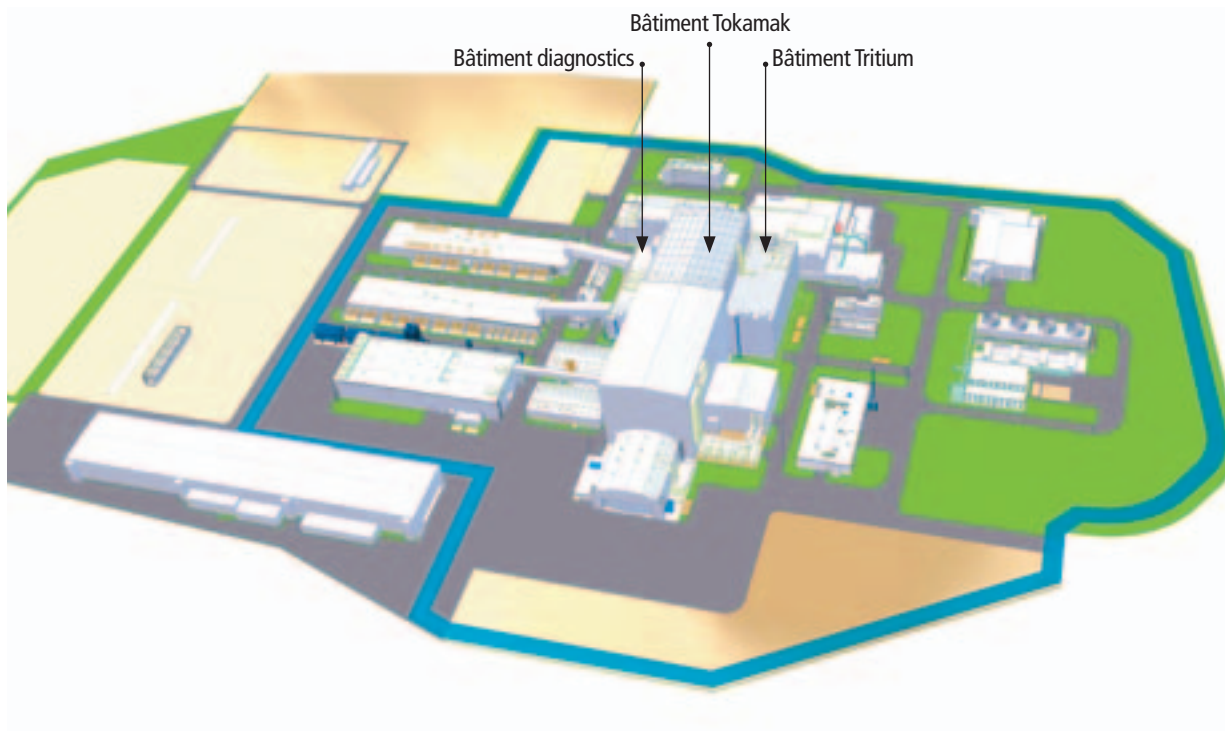
Le site accueille également les bureaux du siège d'ITER Organization et des bâtiments de service (station de traitement des eaux sanitaires usées, bassins pour contrôler l'eau issue du circuit refroidissement, bassins d'orage). Au total, ITER comprendra 39 bâtiments et installations techniques sur une surface d'une centaine d'hectares viabilisés aménagés.

ITER est classée selon la réglementation française, comme une Installation Nucléaire de Base (INB).

### La production d'électricité dans le futur

Dans les futurs réacteurs de fusion, la chaleur absorbée par les modules de couverture sera transformée en vapeur, laquelle alimentera un groupe turbo-alternateur qui générera de l'électricité – c'est le principe de toute centrale de production électrique, qu'elle soit thermique (fuel, gaz, charbon) ou nucléaire.

Dans ITER, qui n'est pas conçu pour produire de l'électricité, la chaleur absorbée sera transférée à l'extérieur de l'enceinte au moyen d'un circuit de refroidissement par eau et évacuée dans l'atmosphère par des tours de refroidissement.



Ensemble des bâtiments de l'installation ITER dont le complexe tokamak, en bleu le périmètre de l'INB.

## 0.4 Les enjeux scientifiques et technologiques

*Sur le chemin de la maîtrise de l'énergie de fusion, ITER va permettre de franchir des étapes scientifiques et technologiques majeures*

ITER succédera à plusieurs installations de recherche ayant chacune, de manière indépendante, permis de maîtriser les paramètres essentiels de la fusion : record de puissance de fusion de 16 MW avec le JET en Angleterre ; record de stabilité d'un plasma de haute température (plus de 200 millions de degrés) et de grande densité avec le JT 60 au Japon ; contrôle d'un plasma pendant plus de six minutes avec Tore Supra à Cadarache en France.

Les différentes phases expérimentales du programme sont organisées sur une vingtaine d'années au total.

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 correspondant à la phase de montée progressive des performances technologiques tout en hydrogène ou hélium d'abord puis deutérium et enfin deutérium-tritium. Les premières expériences mettant en œuvre un plasma de deutérium et de tritium sont programmées pour 2026.

Le programme détaillé des années qui suivent, sera établi en fonction des résultats obtenus à l'issue de la première phase expérimentale, et donc régulièrement réajusté tout au long de la vie de l'installation.

Au cours de ces différentes étapes, plusieurs objectifs scientifiques et techniques sont fixés.

- **Le développement des systèmes et des composants**

Les deux premières phases du programme ITER permettront de tester en fonctionnement les équipements pour les futurs réacteurs de fusion produisant de l'électricité utilisés pour contrôler un plasma et maintenir sa combustion en état stationnaire. Pour ITER le défi est double : réussir l'installation de centaines de composants produits à travers le monde et satisfaire toutes les conditions expérimentales et de sûreté afin de d'obtenir une réaction de fusion de 500 MW à partir d'une énergie de 50 MW, soit une énergie dix fois supérieure à celle qui aura été fournie.

- **Les expérimentations de production de tritium à l'intérieur de la machine.**

L'enjeu à plus long terme sera de disposer des technologies nécessaires à la réalisation d'un dispositif complet, élément essentiel du réacteur à fusion produisant de l'électricité.

- **Une maintenance totalement robotisée**

Lorsque la phase « deutérium/tritium » sera engagée, la maintenance de l'installation de recherche sera assurée par des robots pour la partie de l'installation à risques radiologiques. Plusieurs concepts de robots ont été étudiés dans le cadre de collaborations industrielles pour des opérations diverses : découpe, soudage, missions d'inspection, de prélèvement d'échantillons, d'aspiration de particules de poussière, ou encore des opérations d'installation et de maintenance de certains composants à l'intérieur de la machine...

### 0.5 Le programme ITER : les différentes étapes du projet

Au mois de juin 2005, les partenaires du projet ITER ont unanimement porté leur choix sur le site européen de Cadarache. Dans le respect des procédures et autorisations administratives, la France en tant que « pays hôte » et l'Europe en tant que « partenaire hôte » ont alors engagé les travaux préparatoires à l'accueil du projet.

#### 0.5.1 La phase préparatoire

Les travaux préparatoires de viabilisation et d'aménagement du site ITER ont été réalisés de 2007 à 2010 au titre des engagements souscrits par la France.

Ils ont consisté en : sondages et fouilles archéologiques, défrichement, nivellement, pose des réseaux hydrauliques, construction des bâtiments de bureaux modulaires et définitifs ; adaptation des routes existantes entre Berre et Cadarache pour le transport des composants exceptionnels.

#### Les études archéologiques

Les sondages du diagnostic archéologique préventif, prescrit par l'arrêté préfectoral du 5 octobre 2006 et en application d'une convention signée avec l'Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP) le 12 avril 2007 ont été réalisés par l'INRAP et se sont terminés le 16 avril 2007.

Des fouilles complémentaires ont été prescrites par arrêté préfectoral du 25 août 2008. Elles ont permis d'identifier la présence d'une ancienne verrerie médiévale. Tous les éléments nécessaires à la compréhension archéologique de cette zone ont été recensés en décembre 2007.

Un diagnostic archéologique a également été réalisé le long de la RD 952 dans le cadre des travaux d'aménagement des réseaux hydrauliques desservant le site ITER. Réalisé par l'INRAP de mai à juin 2008, ce diagnostic a été suivi par un chantier de fouilles en septembre 2008. Les résultats de ces fouilles ont permis de mettre au jour une petite nécropole abritant sept sépultures, en bordure de la RD 952, au nord du rond-point d'accès au CEA/Cadarache.



Objet	Procédures	Avis/Approbation/Arrêtés
Révision du plan d'occupation des sols de la commune de St Paul-lez-Durance	Enquête publique du 11 septembre au 11 octobre 2006 - Avis favorable	Accordé le 22 Novembre 2006 par la mairie
Archéologie	De 2007 à 2008	Arrêtés préfectoraux 5 octobre 2006, 26 décembre 2007 et 25 août 2008.
Défrichement de la plateforme	Demande d'autorisation ministérielle	Arrêté du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche du 19 Décembre 2006 en application de l'article 39 de la loi Programme 2006-450 du 18 avril 2006 pour la recherche.
Défrichement RD 952	Modalités complémentaires du défrichement RD 952	Arrêté du 5 Mars 2008
Terrassement	Demande d'autorisation d'installation et travaux divers du 27 février 2007 (Code de l'urbanisme).	Approbation le 11 mai 2007
« Loi sur l'eau » pour la gestion des eaux pluviales du site ITER	Enquête publique du 2 juillet au 3 août 2007 - Avis favorable	Arrêté préfectoral du 15 février 2008 + modification arrêté du 11 février 2011
Demande d'autorisation d'exploiter des « ICPE de chantier »	Enquête publique du 11 décembre 2007 au 11 janvier 2008 - Avis favorable	Arrêté préfectoral du 23 décembre 2008
Bâtiments de bureaux définitifs (siège ITER)	Demande d'autorisation d'exploiter ICPE (installations de chauffage et de climatisation) - Avis favorable	Permis de construire accordé en juillet 2009. Début des travaux en septembre 2010.
Bâtiment de fabrication des bobines poloïdales	Enquête publique ICPE du 23 juin au 23 juillet 2010 - Avis favorable	Permis de construction 7 juin 2010. Début des travaux en août 2010.
Adaptation de la ligne haute tension 400 kV et création du poste électrique.	Enquête publique du 3 janvier au 18 février 2011 - Avis favorable	

### Le défrichage

Les opérations de défrichage réalisées sur la plateforme qui accueillera les 39 bâtiments et installations techniques d'ITER, ainsi que sur la zone des réseaux hydrauliques (le long de la RD 952) ont été réalisées, entre 2007 et 2008, en trois phases.

Les travaux de défrichage ont concerné 90 hectares, sur les 180 que compte le site ITER. Ces travaux ont été précédés par des inventaires écologiques destinés à définir les mesures d'évitement et d'atténuation nécessaires à la protection des habitats et/ou des espèces protégés. Ces mesures ont été mises en place avant le démarrage des travaux au début de l'année 2007.

Les travaux de défrichage sur le tracé des réseaux hydrauliques (en bordure de la RD 952) ont été réalisés entre le 4 et 14 mars 2008.

Ces mesures font l'objet d'un suivi par des ingénieurs écologues. Leur bilan est présenté à un comité de biodiversité et s'accompagne de mesures de compensation.



Protection des arbres à conserver avant défrichage

### Mesures de compensation

Les mesures de compensation des opérations de défrichage du site ITER réalisés dans le cadre des engagements pris par la France pour l'accueil d'ITER à Cadarache ont été fixées par l'arrêté préfectoral du 5 mars 2008. Dans ce cadre, le CEA (Agence Iter France) a mis en place quatre types de mesures :

- Une acquisition foncière de 480 ha en vue d'une mise en préservation des terrains. La première acquisition d'espaces naturels d'environ 110 hectares a été effectuée le 18 mars 2011 sur la commune de Ribiers (Hautes-Alpes). D'autres propositions d'achat sont en cours d'étude.
- des inventaires écologiques sur 1200 ha débouchant sur des plans de gestion conservatoire.
- Le financement d'une thèse sur la biodiversité qui a démarré en septembre 2010.
- Un programme de sensibilisation du public : accueil du public et de scolaires (plus de 30 000 visiteurs depuis 2007, aménagement d'un sentier pédagogique).

Un suivi de ces mesures est présenté à un comité de biodiversité composé d'experts écologues, de représentants institutionnels (parcs régionaux) et d'association de protection de l'environnement, des services de l'Etat, d'élus...

### Les réseaux hydrauliques

Les équipements hydrauliques ont été dimensionnés en tenant compte d'un événement d'occurrence centennale : ils consistent en un ouvrage de contournement pour gérer les eaux pluviales des versants amont (chenal en partie en béton et en partie en terre, retenue collinaire) ; un réseau de collecte des eaux de ruissellement de la plateforme ITER et du poste électrique ; un bassin d'orage.

- la voie qu'emprunteront les convois exceptionnels à l'intérieur du site sur environ 1 km,
- les ouvrages hydrauliques,
- la zone d'implantation de la clôture du site sur une longueur de 3 km environ et la zone de stockage des déblais où sont évacués les matériaux non valorisables extraits sur le site (600 000 m<sup>3</sup> environ).

Deux millions et demi de m<sup>3</sup> de matériaux ont ainsi été gérés, dont près des deux tiers ont été valorisés sous forme de remblais végétalisés.

### Demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau

La gestion globale des eaux pluviales sur le terrain du projet ITER a fait l'objet d'un dossier de demande d'autorisation au titre des articles L.214-1 à L.214-6 du code de l'Environnement relatifs aux régimes d'autorisation ou de déclaration (les ouvrages réalisés s'inscrivent dans le cadre des rubriques de la nomenclature « eau » définie aux articles R.214-1 à R. 214- 56 du code de l'Environnement). Le dossier de demande d'autorisation relatif à la loi sur l'eau a été déposé début 2007. Ce dossier a été soumis à une enquête publique (2 juillet 2007 au 3 août 2007). L'arrêté préfectoral du 15 février 2008 précise les descriptions et prescriptions des équipements créés.

### Une plateforme d'un seul niveau à 315 NGF

Le site ITER était à l'origine un site très vallonné avec des différences d'altitude pouvant atteindre 40 mètres. Avant de créer la plateforme d'une quarantaine d'hectares, aujourd'hui aplanie, et pour accueillir les installations et bâtiments techniques, il a fallu déterminer un niveau de référence. Les différentes études d'ingénierie ont conduit à retenir le niveau de 315 NGF (Nivellement Général de la France) pour des raisons d'optimisation technique, économique et environnementale. A une altitude 314 NGF, les travaux auraient engendré une augmentation, à la fois, de la quantité de matériaux à extraire et des matériaux excédentaires non valorisables. Inversement, une plateforme à une altitude de 316 NGF aurait engendré un surcoût significatif du terrassement essentiellement dû à l'importation d'un peu plus de 300 000 m<sup>3</sup> de matériaux.

### Le terrassement

Les opérations de terrassement ont consisté à préparer les différentes zones à aménager :

- une zone dédiée aux infrastructures d'accueil des personnels de chantier (appelée zone entreprises),
- la plateforme d'une quarantaine d'hectares en déblais/remblais,



Travaux de terrassement sur le site, avec au premier plan, le bassin d'orage. Ce bassin d'une capacité de 19 000 m<sup>3</sup> est dimensionné pour une pluie décennale (débit de fuite de 0,6 m<sup>3</sup>/s) évacuée via une canalisation d'un diamètre de 800 mm. Une déverse permet d'assurer l'évacuation d'une pluie centennale.

### Les bâtiments de bureaux modulaires et définitifs

Deux bâtiments de bureaux modulaires ont été construits sur le site ITER pour accueillir les équipes d'ITER Organization et de Fusion for Energy (F4E).

Les exigences environnementales et énergétiques ont été prises en compte dans la construction des bâtiments du siège définitif d'ITER Organization qui a démarré au mois de septembre 2010 : optimisation de la consommation de foncier dans l'insertion dans un site boisé ; limitation des circulations extérieures ; parking en terrasses ou encore toits végétalisés (mousse, herbes graminées, garrigue, lichens). Une gestion optimisée de l'énergie a été systématiquement recherchée : isolations thermique et acoustique, éclairage naturel, choix de l'exposition et de la forme des bâtiments, recherche d'un entretien et d'une maintenance des bâtiments aisés et économiques, préchauffage solaire de l'eau chaude du restaurant d'entreprise.

### Itinéraire ITER : une centaine de km de routes adaptées

Long d'une centaine de kilomètres, l'itinéraire qu'emprunteront les convois très exceptionnels qui transporteront les composants de la machine (ponts roulants, bobines d'acier...) relie Fos-sur-Mer à Cadarache.

L'acheminement des composants d'ITER de Fos-sur-Mer à Cadarache a fait l'objet d'études, d'une concertation organisée dans les seize communes concernées (juin-juillet 2006), de demandes d'autorisation et d'enquêtes publiques (de novembre 2006 à mars 2007) qui se sont conclues par une déclaration d'utilité publique du 16 avril 2007.

Les travaux réalisés entre 2007 et 2010 ont essentiellement concerné des aménagements de giratoires, de carrefours, de traversées d'autoroutes, des élargissements de routes. Des ponts ont été renforcés et dans certains cas reconstruits.



Aménagement de la route le long du canal à La-Roque-Anthéron



Tracé de l'itinéraire ITER qui traverse 16 communes du département des Bouches-du-Rhône: Berre-l'Étang, La Fare-les-Oliviers, Lançon-de-Provence, Péligonne, la Barben, Lambesc, Vernègues, Charleval, la Roque-d'Anthéron, Rognes, Saint-Estève-Janson, le Puy-Sainte-Réparate, Meyrargues, Peyrolles, Jouques et Saint-Paul-lez-Durance.

### 0.5.2 La phase de construction

La construction d'ITER concerne 39 installations et bâtiments techniques. Les procédures mises en œuvre permettront de réduire les nuisances et les déchets générés ainsi que de maintenir les rejets en deçà des valeurs réglementaires, tant sur le chantier de construction que lors de la phase d'assemblage du cœur de la machine.

Procédures	Avis/approbation/arrêtés
Concertation de juin à juillet 2006	Sans objet
Enquête publique du 15 novembre au 20 décembre 2006	Arrêté de déclaration d'utilité publique
Procédure d'expropriation Enquête parcellaire du 5 au 30 mars 2007 et du 2 au 16 juillet 2007.	Arrêté de déclaration d'utilité publique du 16 avril 2007
4 enquêtes publiques loi sur l'eau : Etang de Berre, Durance, Arc et Touloubre. 20 février-23 mars 2007	Arrêté de déclaration d'utilité publique du 16 avril 2007

Procédures relatives aux travaux de l'itinéraire ITER

Qu'il s'agisse de l'air, de l'eau, du milieu terrestre, de l'écosystème, du milieu aquatique, des salariés ou des riverains du site, l'incidence du chantier d'ITER sera faible durant la phase de construction. Des mesures seront mises en œuvre pour s'assurer de la conformité des installations de chantier aux normes réglementaires et de la maîtrise des impacts des opérations de construction.

### 0.5.3 La phase d'exploitation

L'installation de recherche sera classée Installation Nucléaire de Base (INB). Elle sera soumise à la réglementation française et au contrôle de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Sa conception, sa construction, son exploitation et son démantèlement sont soumis au contrôle de cette autorité indépendante. L'autorisation de création de l'installation ne sera accordée qu'au terme d'un processus au cours duquel ITER Organization doit démontrer que son projet présente les garanties de sûreté les plus élevées possibles.

L'installation de recherche sera opérationnelle en 2019 pour le démarrage de la première phase d'expériences, dite « phase non nucléaire ». Pendant sept ans environ, le programme de recherche d'ITER se consacrera à l'étude de plasmas hydrogène-hélium, puis deutérium-deutérium, trois éléments qui ne sont pas radioactifs.

La « phase nucléaire » avec mise en œuvre de deutérium et de tritium (un élément radioactif à vie courte) débutera en 2026 et durera jusqu'à l'arrêt de l'installation, à l'horizon 2040.

Conformément à la réglementation, l'impact de chacune de ces phases sur les milieux atmosphérique, aquatique et terrestre, ainsi que sur le paysage et l'écosystème, a fait l'objet d'études. Les « impacts génériques », portant sur les nuisances visuelles et sonores, sur le trafic généré par le chantier, ont également été étudiés.



Vue d'artiste du site d'ITER. Au centre le Complexe Tokamak

Phase préparatoire : l'accueil du projet	
2005-2010	Adaptation des routes entre Berre et Cadarache, viabilisation du site d'ITER, création de l'école internationale à Manosque...
Phase de construction	
A partir de 2011 jusqu'en 2019	Construction des bâtiments de bureaux définitifs et d'installations techniques, bâtiment pour la construction des bobines poloïdales, poste électrique et adaptation de la ligne haute tension. Bâtiments d'ITER.
Phase expérimentale 2011 - 2039	
Phase non nucléaire	
De 2019 à 2024	Période d'exploitation avec un plasma hydrogène/hélium
De 2020 à 2021	Assemblage en parallèle-Assemblage des modules de couverture (béryllium).
Entre 2024 et 2025	Période d'exploitation avec un plasma deutérium-deutérium
Phase nucléaire	
Entre 2025 et 2026	Période de chargement progressif en tritium de l'installation
A partir de 2026 jusqu'en 2039	Période d'exploitation avec un plasma deutérium-tritium
De 2040 à 2045	Cessation définitive d'exploitation
A partir de 2045	Démantèlement sous la responsabilité de la France

## 0.6 Information du public du projet ITER

### 0.6.1 Suivi scientifique

La mission d'ITER est de démontrer qu'un plasma de fusion peut être maintenu pendant la durée des pulses programmée (~500 secondes), que la puissance obtenue de fusion est bien 10 fois supérieure à celle qui a été utilisée pour générer les pulses ; que toutes les technologies associées : aimants, cryogénie, ultravide, préparation du mélange et injection du combustible deutérium-tritium, récupération de l'hélium produit pendant la fusion, système de recyclage du tritium, système de détritiation, modules d'essai tritigènes, les systèmes de télémanipulation, etc... fonctionnent adéquatement.

Les différentes phases expérimentales du programme sont organisées sur une vingtaine d'années au total. 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 correspondant à la phase de montée progressive des performances technologiques tout en hydrogène ou hélium d'abord puis deutérium et enfin deutérium-tritium. Les premières expériences mettant en œuvre un plasma de deutérium et de tritium sont programmées pour 2026. Le programme détaillé des années qui suivent, sera établi en fonction des résultats obtenus à l'issue de la première phase expérimentale, et donc régulièrement réajusté tout au long de la vie de l'installation.

La mise en service de l'installation se fera de façon progressive. L'avancement du programme de recherche est essentiel pour ITER. Les résultats feront l'objet de publications scientifiques et technologiques communiquées aux partenaires. Comme jusqu'à présent ITER présentera ses résultats à de nombreuses conférences et dans des journaux internationaux spécialisés. A chaque étape les résultats apporteront les éléments de démonstration nécessaires à l'objectif final de démonstration de la fusion. Une base de données alimentera la conception de DEMO.

En parallèle des moyens de communication multiples seront également mis à la portée du public. Dès à présent ITER échange avec la CLI d'ITER ; l'Agence ITER France publie périodiquement la gazette « Interface » et ITER diffuse l'actualité de la construction sur le chantier et la fabrication des composants dans les pays membres d'ITER à travers la sortie hebdomadaire de son « ITER newsline » en ligne sur internet en français et en anglais, auquel le public peut s'abonner ([www.iter.org/newsline](http://www.iter.org/newsline)). Les publications dans la presse locale et des journaux de divulgation scientifiques sont aussi des éléments d'information importants pour le public.

L'agence ITER France collabore avec ITER à l'organisation de visite du site pour le public et les écoles de la région. Des journées de portes ouvertes seront organisées périodiquement. Une exposition itinérante - fusion-expo - organisée par l'Union Européenne sera reçue périodiquement sous l'égide d'ITER dans les villes et villages proches du site. Cette exposition existant depuis une vingtaine d'année met à jour son contenu en tenant compte des avancées scientifiques dans le monde de la fusion pour une large diffusion au public dans les langues de chaque pays européen ([www.fusion-expo.si](http://www.fusion-expo.si)).

### 0.6.2 Suivi réglementaire

En parallèle ITER et en tant qu'Installation Nucléaire de Base devra remettre de façon périodique les rapports annuels demandés à l'article 21 de la loi 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (TSN).

*Tout exploitant d'une installation nucléaire de base établit chaque année un rapport qui expose :*

- *les dispositions prises en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection ;*
- *les incidents et accidents en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection, soumis à obligation de déclaration en application de l'article 54, survenus dans le périmètre de l'installation, ainsi que les mesures prises pour en limiter le développement et les conséquences sur la santé des personnes et l'environnement ;*
- *la nature et les résultats des mesures des rejets radioactifs et non radioactifs de l'installation dans l'environnement ;*
- *la nature et la quantité de déchets radioactifs entreposés sur le site de l'installation, ainsi que les mesures prises pour en limiter le volume et les effets sur la santé et sur l'environnement, en particulier sur les sols et les eaux.*

*Ce rapport est soumis au comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail de l'installation nucléaire de base, qui peut formuler des recommandations. Celles-ci sont annexées au document aux fins de publication et de transmission.*

*Ce rapport est rendu public et il est transmis à la commission locale d'information et au Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.*

*Un décret précise la nature des informations contenues dans le rapport.*

ITER s'attache dès à présent à informer le Comité d'Hygiène et Sécurité mis en place en place sur le modèle d'un CHSCT français, conformément aux règles applicables en la matière.

Par ailleurs et également au titre de la loi TSN, le conseil général des Bouches-du-Rhône a constitué une commission locale d'information CLI ITER (arrêté du 17 novembre 2008). La CLI sera informée des résultats du programme de surveillance de l'environnement et de l'avancement du projet.

Les représentants d'ITER Organization, de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), et du Préfet et de l'Agence Régionale de Santé assistent à ses travaux.

#### La commission locale d'information (CLI)

Compte-tenu de son caractère international, ITER dispose d'une commission locale d'information (CLI) indépendante de celle qui a été créée auprès du CEA/Cadarache. Créée en 2008 (arrêté du conseil général des Bouches-du-Rhône du 17 novembre 2008), cette structure a pour objectif de suivre le déroulement du projet et d'en informer le public. Présidée par Roger Pizot, maire de Saint-Paul-lez-Durance, elle comprend quarante deux membres qui ont été nommés pour six ans par leur instance (22 élus, 7 représentants d'associations de protection de l'environnement, 6 représentants d'organisations syndicales, 7 personnes qualifiées dont 2 personnalités internationales issues du domaine de la fusion nucléaire).



[www.cli-cadarache.fr/www/fr/accueil/la\\_cli\\_iter.aspx](http://www.cli-cadarache.fr/www/fr/accueil/la_cli_iter.aspx)

ITER Organization participe aux réunions de la CLI ITER et maintient un dialogue ouvert avec cette institution.

La CLI sera donc l'instrument de communication principal avec les communes voisines d'ITER. Des réunions seront mise en place dans la continuité des échanges et la concertation à travers la CLI et d'autres instances publiques qui le souhaiteront.

La CLI ITER a publié début 2011 sa première « Lettre de la CLI » tiré en 10000 exemplaires qui est élément essentiel d'information du Public.

### 0.6.3 Suivi sur le site internet d'ITER

ITER étant une organisation internationale dont la langue officielle est l'anglais, son site internet d'information est en premier lieu en cette langue pour une large communication parmi tous les pays membres : [www.iter.org](http://www.iter.org)

L'information au public français est privilégiée par l'existence du site en français : [www.iter.org/fr/accueil](http://www.iter.org/fr/accueil)

## 1 | Identification des risques

La maîtrise des risques consiste à identifier les risques potentiels liés à l'installation ITER, qu'ils soient d'origine nucléaire ou non nucléaire. Ces derniers, qui peuvent être d'origine interne ou externe, sont étudiés pour déterminer les mesures destinées à les maîtriser et à en évaluer les éventuelles conséquences en cas de défaillance ou d'accident.

### 1.1 Les risques d'origine nucléaire

Le risque d'origine nucléaire concerne le risque de **dissémination de matières radioactives** liées au tritium et aux produits d'activation.

#### Activation

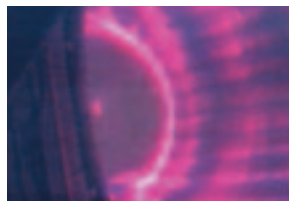
En physique nucléaire, l'activation décrit le phénomène physique de transmutation des atomes d'un équipement ou d'un matériau soumis au bombardement de particules nucléaires (neutrons, électrons, particules accélérées). Le terme d'activation est plus particulièrement utilisé lorsque ce bombardement donne lieu à la production (par transmutation) d'atomes instables ou radioactifs.

Le tritium est l'un des combustibles utilisés dans le cadre des campagnes expérimentales du programme ITER. Au sein d'ITER, il est présent sous forme gazeuse, sous forme d'eau ou encore de particules de poussière.

Le tritium présent dans les matériaux solides peut se libérer par le biais de différents mécanismes : phénomènes de diffusion, de désorption ou via de la vapeur d'eau.

Quant aux produits d'activation, ils résultent :

- de l'activation des gaz (air entre le cryostat<sup>1</sup> et la protection biologique en béton du tokamak),
- de l'eau des circuits de refroidissement,
- des poussières résultant de l'érosion des matériaux des composants face au plasma,
- les ions, dépôts ou particules non solubles présents dans les circuits de refroidissement.



Plasma dans le tokamak Tore Supra à Cadarache

Le risque de dissémination peut apparaître dans différentes situations : durant les phases expérimentales quand le plasma est produit ; quand l'installation est à l'arrêt pour des phases de maintenance ou en cas d'incident ou d'accident. Ce risque est susceptible d'entraîner des conséquences pour le personnel, le public et l'environnement. Pour s'en prémunir ITER met en place le **confinement des matières radioactives**.

Le second risque concerne l'**exposition externe** aux rayonnements ionisants. Le risque d'exposition externe est limité aux périodes durant lesquelles les dispositifs produisant les rayonnements fonctionnent.

On parle d'exposition par voie externe lorsque le corps humain est soumis aux rayonnements émis par une source radioactive qui lui est externe. Ce rayonnement est susceptible d'affecter le personnel de l'installation. Ce risque est associé aux neutrons, au rayonnement  $\gamma$  (gamma) émis par les produits activés, au rayonnement X généré par certains dispositifs de chauffage du plasma et au rayonnement  $\beta$  (beta) émis par le tritium.

La conception d'ITER (conception des locaux, conditions de travail, ...) permettra de maîtriser le risque d'exposition externe.

#### Rayonnement Alpha

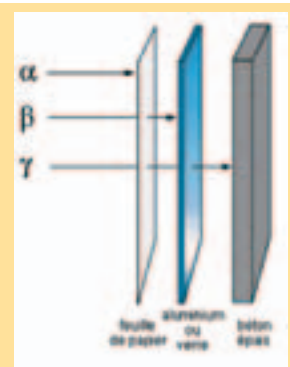
Les particules composant le rayonnement alpha sont des noyaux d'hélium 4, fortement ionisants mais très peu pénétrants. Une feuille de papier est suffisante pour arrêter leur propagation (symbole « $\alpha$ »).

#### Rayonnement Bêta

Les particules composant le rayonnement bêta sont des électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une feuille d'aluminium suffit à les arrêter (symbole « $\beta$ »).

#### Rayonnement Gamma

Rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger (symbole « $\gamma$ »).



<sup>1</sup> Cylindre métallique entourant l'ensemble de la machine à l'intérieur duquel la température est maintenue à -260 degrés.

## 1.2 Les risques d'origine non nucléaire

Les risques d'origine non nucléaire sont liés à l'installation elle-même ou son environnement. Ils sont susceptibles d'avoir des impacts radiologiques en cas d'incident ou d'accident

Les **risques internes potentiels** pris en compte pour l'installation ITER concernent l'incendie interne, l'explosion interne, les dégagements thermiques, les transitoires plasma, l'inondation interne, les impacts de projectiles sur les équipements qui l'environnent (dits « effets missiles »), les tuyauteries sous pression qui peuvent interagir entre elles (c'est le « fouettement de tuyauteries »), les risques chimiques, mécaniques, magnétiques et électromagnétiques.

Le déclenchement d'un **incendie** au sein de l'installation pourrait être lié à la présence concomitante des quatre éléments suivants :

- le combustible : les principales matières combustibles de l'installation sont les peintures, les calorifugeages, les gaz (hydrogène, deutérium et tritium), liquides (comme les huiles et les solvants) et poussières inflammables, résines échangeuses d'ions utilisées pour la purification des eaux de refroidissement...
- l'oxygène : le comburant qui favorise l'inflammation et la combustion des matières combustibles.
- Source d'ignition : cette énergie est principalement d'origine thermique ou électrique.
- Présence d'une réaction chimique exothermique en chaîne.

De par les matières mises en œuvre dans l'installation de recherche, les risques potentiels d'**explosion** vont concerner l'hydrogène, le deutérium et le tritium, en cas de mise en présence simultanée et anormale avec de l'oxygène. Ils concernent aussi les poussières quand le mélange avec l'air devient explosif c'est-à-dire en présence d'une certaine teneur en poussières en suspension et d'une source d'ignition. Enfin il existe un risque d'explosion lié à la décomposition de l'ozone qui peut se former par l'irradiation de l'oxygène.

### La formation de poussières au sein d'un tokamak

Dans les installations de recherche de fusion, les matériaux s'érodent sous l'effet des particules très énergétiques issues du plasma, ce qui génère des impuretés. Ces impuretés peuvent s'accumuler au centre du plasma et réduire ses performances en diluant le mélange combustible ou en le refroidissant. Une fois redéposées sur les parois, ces impuretés peuvent être à l'origine de la formation de couches mal adhérentes au substrat qui ne demandent qu'à se transformer en poussières. Un dispositif (le divertor) placé sur la partie basse de l'installation permet de les récupérer

Les **dégagements thermiques** sont associés à une perte de refroidissement. Ils sont liés à la défaillance du circuit d'eau de refroidissement ou d'un circuit de refroidissement de l'air ou de la ventilation dans certains locaux.

### Les fonctions de sûreté au sein d'une installation nucléaire

Les fonctions de sûreté sont définies comme un groupe d'actions spécifiques permettant d'empêcher ou de réduire les agressions radiologiques et, par voie de conséquence, les doses reçues par le personnel travaillant dans l'installation ou par le public.

Les deux principales fonctions de sûreté de l'installation ITER sont :

- le confinement des matières radioactives qui permet de protéger l'environnement contre les rejets de matières radioactives. Cette fonction de sûreté est assurée grâce à l'efficacité des barrières et des systèmes de confinement associés,
- la limitation des expositions internes et externes aux rayonnements ionisants.

Ces fonctions résultent de l'analyse systématique de la sûreté de la conception d'ITER. L'analyse a été réalisée sur tous les systèmes présents dans l'installation.

Les risques de **transitoires de plasma** sont spécifiques aux installations de fusion. Ils sont liés à une disruption de plasma non contrôlée et, par voie de conséquence, à l'augmentation de la puissance de fusion qui peut en résulter. Ces transitoires de plasma sont susceptibles de provoquer une rupture et une fuite dans la tuyauterie de la chambre à vide qui contient le plasma.

Le principal risque d'**inondation** interne au sein de l'installation est dû à une rupture de tuyauteries pouvant résulter de contraintes qu'elles subissent (thermomécaniques, cycles thermiques,...), des causes mécaniques (comme une collision), des causes chimiques (corrosion par exemple).

Les **effets missiles** concernent l'impact de projectiles sur les équipements qui l'environnent. On considère comme projectiles potentiels, tous les composants susceptibles d'être éjectés dans l'espace, suite à une défaillance, sous l'effet de la pression du fluide qu'ils contiennent ou véhiculé par les équipements (capacités sous pression par exemple) ou sous l'effet de l'énergie cinétique emmagasinée dans ces équipements (partie mobile d'un équipement tournant par exemple).

Les émissions de projectiles sont également prises en compte dans les études de sûreté en cas de séisme.

Les tuyauteries véhiculant des fluides à haute énergie (haute pression (environ 20 bars et plus) et haute température (environ 100 °C et plus) sont exposées aux **risques de fouettement** ou d'éjection de fluide en cas de rupture. Les circuits de refroidissement sont particulièrement exposés au risque de fouettement de tuyauteries.

Le béryllium, qui recouvre les parois de la chambre à vide, présente un risque de toxicité **chimique**. De plus, certains modules de couverture expérimentaux<sup>2</sup> peuvent contenir des substances telles que des alliages au lithium-plomb, du lithium liquide, etc. Ces substances ont un potentiel de réaction avec l'air, l'eau, le béton pour émettre de la chaleur, de l'hydrogène et d'autres produits de réaction ; il en résulte un risque chimique potentiel.

Les risques **mécaniques** peuvent être liés aux forces anormales induites par le plasma, aux opérations de manutention/levage et de transfert de composants, et aux défaillances des circuits sous vide ou sous pression ou à basse température (cryogénie).

Il existe enfin des risques dus aux champs et aux ondes magnétiques liés au fonctionnement des aimants supraconducteurs et aux systèmes de chauffage du plasma.

Pour l'installation ITER différents **risques externes** potentiels ont également été pris en compte. Ils concernent l'incendie externe, l'inondation externe, les conditions climatiques extrêmes (pluie, neige, orage...), les dangers liés aux installations environnantes et aux voies de communication, la chute d'avion et le séisme.

Le risque **d'incendie externe**, à proximité de l'installation ITER, peut provenir d'un feu de forêt, d'un incendie lié la présence éventuelle de véhicules et de matières inflammables et de feux de postes électriques.

Le risque **d'inondation externe** est associé à la Durance, aux ouvrages hydrauliques tels que les bassins des tours de refroidissement ou le bassin d'orage<sup>3</sup>, à une remontée de la nappe phréatique et à la pluie et aux orages.

Les **conditions climatiques extrêmes** telles que les fortes chaleurs ou les grands froids, la foudre, la neige et le vent sont également prises en compte.

Certaines **installations environnantes** du CEA/Cadarache ou certaines voies de communication, pourraient présenter des risques d'agressions externes



Bâtiments sous la neige sur le site ITER

pour l'installation ITER. Ces risques (explosion de camion-citerne, rejets de substances toxiques, corrosives ou radioactives...) sont pris en considération.

La probabilité de **chute d'avion** susceptible d'affecter les bâtiments de l'installation ITER qui abritent des équipements ou systèmes participant à des fonctions de sûreté est calculée et prise en compte dans la conception des bâtiments.

Le **séisme** est une agression externe, susceptible d'entraîner des dommages internes (incendie, inondation...) et externes (incendie de forêt, glissement de terrain, ...) dans l'installation. ITER est dimensionné pour résister à un séisme dont les caractéristiques ont été calculées à partir de données historiques.

Les risques internes et externes sont pris en compte dans la conception d'ITER. Les principales conséquences potentielles de ces risques sont la détérioration d'un ou plusieurs systèmes de confinement de matières radioactives ou dangereuses et la dégradation d'un ou plusieurs composants d'un système accomplissant une fonction de sûreté.

Les mesures mises en place pour la maîtrise de ces risques sont décrites dans le chapitre 5 du présent document.

D'autres risques d'origine non nucléaire sont également pris en compte dans le dimensionnement des installations techniques et dans la définition des règles de maîtrise des risques. Il s'agit des risques chimiques ; des risques liés aux champs magnétiques et électromagnétiques ; de l'incendie (voir plus haut) mais également des risques liés au travail en espaces confinés et notamment le risque d'anoxie (dans les ambiances où il y a absence ou diminution importante de la quantité d'oxygène). Les risques liés aux hautes tensions, aux fluides à basse température (cryogénie) ou au travail en hauteur sont également pris en compte.

<sup>2</sup> Module de couverture permettant d'expérimenter la production de tritium à l'intérieur de l'installation (chambre à vide) comme devront le faire les futures centrales de fusion qui produiront de l'électricité.

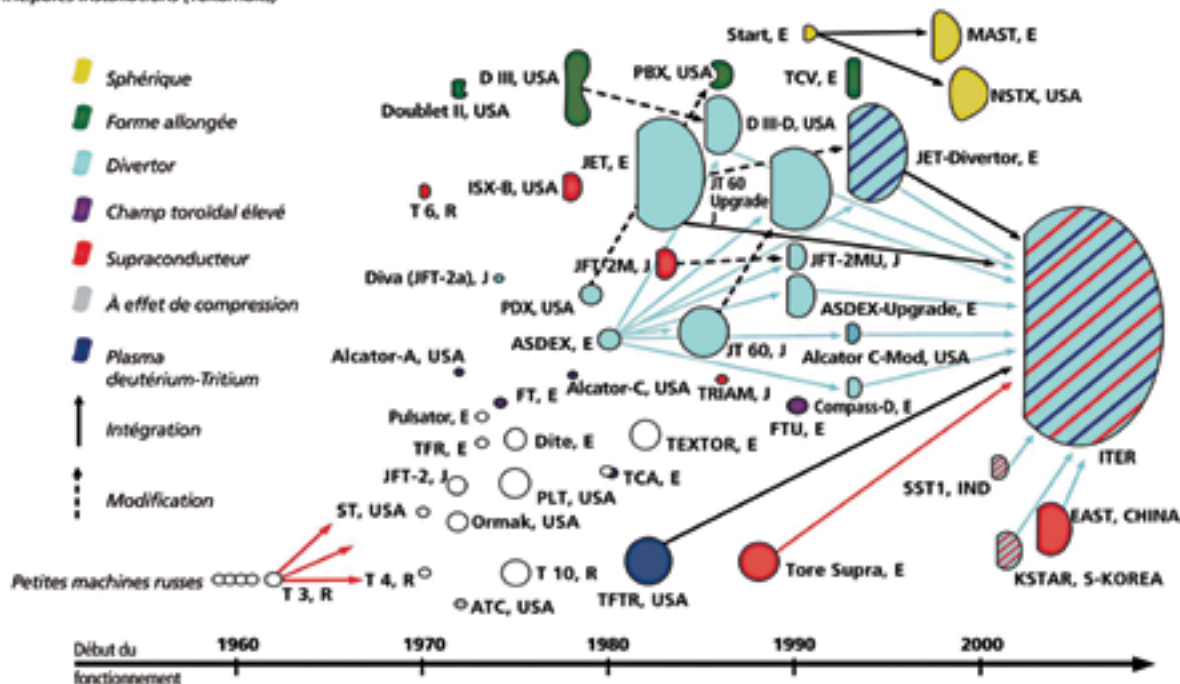
<sup>3</sup> Les eaux provenant du ruissellement des eaux pluviales sur les toitures, les voies de circulation, les aires de stationnement et autres surfaces imperméables de l'installation seront collectées dans un réseau dédié dans un bassin d'orage. Le bassin d'orage est équipé d'une membrane d'étanchéité et d'un système de fermeture qui peut être mis en œuvre en cas de pollution accidentelle

## 2 | Analyse du retour d'expérience

### 2.1 Retour d'expérience pour les bâtiments tokamak et tritium

La fusion de noyaux légers, comme ceux des isotopes de l'hydrogène, a été obtenue à plusieurs reprises dans des machines de fusion.

Principales installations (Tokamaks)



Différentes générations de machines se sont succédé. La première génération a permis de fixer le concept des machines de fusion. Les premiers tokamaks, de petite taille, étaient des installations assez simples, sans système de contrôle complexe ni technologie évoluée. Ils ont démontré que des plasmas à haute température pouvaient être générés et que l'énergie pouvait être confinée c'est-à-dire maintenue au cœur du plasma.

La deuxième génération, au début des années 80, a permis de développer des techniques de chauffage auxiliaire et des méthodes de contrôle des impuretés dans la chambre à vide (ce qu'on appelle le « conditionnement ») et d'obtenir de meilleurs résultats quant au confinement du plasma.

Enfin les machines suivantes ont développé des performances accrues. La recherche sur les machines de fusion de taille moyenne a conduit à la génération des tokamaks de grande taille : on a construit JET en Europe, JT-60 au Japon, TFTR aux États-Unis et T-15 en Union soviétique. Les machines ont évolué techniquement avec, par exemple, l'amélioration de la maîtrise de fonctionnement en deutérium/tritium, l'amélioration



Le tokamak JET en Angleterre

de l'utilisation des bobines supraconductrices, l'amélioration du confinement magnétique, l'utilisation de la maintenance robotisée...

Ainsi la conception d'ITER bénéficie du retour d'expérience des machines

de fusion développées dans le monde entier. ITER bénéficie également du retour d'expérience des installations mettant en œuvre un combustible composé à partir d'un mélange deutérium-tritium. Le tritium est un élément radioactif à vie courte produit par des réacteurs à fission et mis en œuvre dans des centres de recherche comme le laboratoire tritium de Karlsruhe en Allemagne.

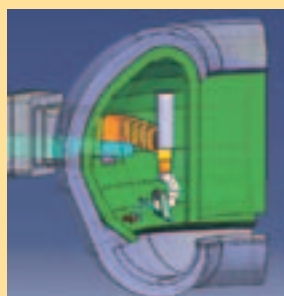
La conception d'ITER bénéficie également du retour d'expérience des réacteurs de fission et des usines de traitement des déchets. Cet apport concerne principalement les mesures adoptées contre les risques internes et externes (protection anti-incendie, systèmes de ventilation, systèmes anti sismiques). Le retour d'expérience de systèmes similaires comme les circuits de refroidissement ou les alimentations électriques de grande puissance a également été pris en considération....

Lors de la conception d'ITER, le retour d'expérience a été pris en compte pour l'analyse de sûreté et notamment pour définir les problématiques de sûreté dans une installation de fusion. Le fonctionnement des installations existantes et l'analyse des incidents et accidents ont également été considérés.

### Téléopération

Opération commandée à distance permettant d'étendre à un site éloigné, inaccessible ou dangereux les facultés sensorielles d'un opérateur humain.

Exemple de téléopération utilisée pour la maintenance dans la chambre à vide



Il en est allé de même pour la conception des systèmes du tokamak. Ainsi la conception de la chambre à vide et de ses composants internes, des systèmes magnétiques, des moyens de maintenance par téléopération dans certains bâtiments et de l'installation tritium ont bénéficié du retour d'expérience des machines de fusion existantes et des installations utilisant du tritium. Le retour d'expérience sur la gestion des déchets et effluents et le démantèlement a également été pris en compte dès la conception de l'installation.

## 2.2 Recherche et développement

Pour répondre aux principaux enjeux techniques du fonctionnement d'ITER, des actions de recherche et développement (R&D) sont en cours et concernent des tâches de conception, d'étude, de fabrication ou d'essais. En particulier, des composants prototypes sont en cours de développement pour permettre de valider la conception des plus grands éléments de l'installation ITER, tels que les aimants supraconducteurs, la chambre à vide et les composants qu'elle contient comme les modules de couverture, les cassettes du divertor et les moyens de téléopération.

### Sûreté Nucléaire

Ensemble des dispositions techniques à prendre à tous les stades de la conception, de la construction, de l'exploitation et de l'arrêt définitif d'une installation pour en assurer le fonctionnement normal, en maîtrisant les risques pour le personnel, le public, les équipements et l'environnement, et pour prévenir les accidents et en limiter les effets.

Dans le domaine de la sûreté, les actions de recherche et développement couvrent en particulier les domaines suivants :

- Comportement de l'hydrogène, du deutérium et du tritium dans les matériaux des composants en interface avec le plasma,
- Erosion des composants en interface avec le plasma,
- Gestion du tritium (transfert, stockage et traitement, etc.),
- Interaction chimique entre le béryllium en interface avec le plasma, la vapeur et l'air,
- Production et transfert des produits liés à la corrosion des tuyauteries dans les circuits de refroidissement,
- Gestion des déchets et des effluents (caractérisation des colis de déchets, développement d'installations d'entreposage, rejets par l'installation, ...),
- Codes de calculs utilisés pour la sûreté d'ITER correctement validés.

La conception d'ITER bénéficie du retour d'expérience des machines de fusion, des installations mettant en œuvre du tritium, des réacteurs de fission et des usines de traitement des déchets. Elle bénéficie également d'un programme international de recherche et de développement.

### 3 | Principes généraux de sûreté

Les principes généraux de sûreté appliqués à l'installation ITER :

- **protéger les personnes et l'environnement** du risque nucléaire,
- **se prémunir vis-à-vis des incidents et accidents**, en mettant en œuvre les moyens et actions nécessaires pour les éviter. Limiter les conséquences des incidents et accidents susceptibles de survenir dans l'installation,
- organiser et prendre les dispositions nécessaires pour **gérer des situations d'urgence** radiologique.

Cette approche est basée sur les pratiques et l'expérience française et internationale dans le domaine.

Le respect de ces principes peut être appliqué en suivant notamment :

- l'application du principe de défense en profondeur,
- la démarche de radioprotection en application du principe d'optimisation dénommé démarche ALARA «As Low As Reasonably Achievable» (aussi bas que possible).

#### 3.1 Méthodologie de sûreté

La démarche de **défense en profondeur** conduit à mettre en œuvre une succession de barrières et de systèmes de confinement entre les produits radioactifs et l'environnement extérieur de l'installation. Elle conduit à développer une conception et une réalisation des équipements, telles qu'elles confèrent à l'installation une résistance intrinsèque à ses propres défaillances ainsi qu'à des risques externes.

##### Incident

Événement fortuit ou provoqué non intentionnellement qui modifie l'état de fonctionnement d'une installation sans augmentation notable du danger et sans dommage important.

##### Accident

Événement fortuit ou provoqué non intentionnellement qui arrête le déroulement d'une opération et entraîne une augmentation brutale du risque de dispersion de substances radioactives ou de propagation de rayonnements ionisants dans l'environnement.

Dans un deuxième temps, la surveillance pendant phase d'exploitation est conçue pour détecter les défauts et activer les systèmes de régulation du fonctionnement, ainsi que les systèmes de contrôle chargés de maintenir les équipements dans leur domaine normal de fonctionnement.

Si, en dépit des dispositions prises pour éviter les situations incidentelles et accidentelles, une défaillance se produit, le troisième niveau prévoit l'élaboration et

la mise en place de dispositions de sûreté nécessaires. Des procédures spécifiques sont prévues dans le but de maintenir une efficacité suffisante des barrières et des systèmes de confinement de manière à ramener et à maintenir l'installation de recherche dans un état sûr. Outre les dispositions prises pour traiter les trois premiers niveaux explicités ci-dessus, on envisage toutefois des accidents très improbables (correspondant aux situations dites « situations enveloppes »). On définit, si nécessaire, des moyens et/ou des procédures complémentaires permettant la maîtrise de telles situations.

Le dernier niveau conduit à postuler un accident dont les conséquences déborderaient le périmètre du site en dépit de toutes les dispositions prises dans les niveaux précédents. Dans cette situation, les dispositions à adopter vis-à-vis de la population présente à l'extérieur du site doivent être définies. Il peut s'agir, par exemple, de la mise en place des plans particuliers d'intervention afin que les autorités compétentes puissent mettre en place des contremesures nécessaires à la protection de la population.

D'autre part, la protection des personnels contre les rayonnements ionisants conduit à optimiser les mesures et les équipements de manière à limiter les doses collectives et individuelles. On prend ainsi en compte, dès la conception, les interventions qui impliquent les plus fortes doses pour le personnel en s'appuyant sur le retour d'expérience acquis dans des installations existantes. Cette démarche conduit à analyser et à définir une gestion prévisionnelle des doses qui seront reçues lors des opérations à venir.

##### Dose

Dose absorbée : quantité d'énergie absorbée par la matière vivante ou inerte (Gray).

Dose équivalente : les effets produits diffèrent selon le type de rayonnements (alpha, bêta, gamma) ; pour en tenir compte, il est donc nécessaire d'utiliser un facteur multiplicatif de la dose (facteur de qualité) pour calculer la dose équivalente.

Dose efficace : somme des doses équivalentes délivrées aux différents tissus et organes du corps par l'irradiation interne et externe mesurée en sievert (Sv).

La démarche de sûreté pour la conception et l'exploitation de l'installation ITER consiste à étudier de façon méthodique toutes les situations de fonctionnement : normales, incidentelles, accidentelles, hypothétiques (ou « enveloppes »). On prend alors en compte l'ensemble des phénomènes physiques d'origine interne et externe qui affectent l'installation.

Objectifs généraux de sûreté		
	Pour le personnel	Pour le public et l'environnement
<b>Situations de dimensionnement</b>		
<b>Situations normales</b>	Aussi faible que possible et dans tous les cas inférieur à : Dose maximale individuelle $\leq 10$ mSv/an Dose moyenne individuelle pour les personnels habilités à l'exposition aux radiations : $\leq 2,5$ mSv/an	Rejets inférieurs aux limites autorisées pour l'installation. Impact aussi faible que possible et dans tous les cas inférieur à : $\leq 0,1$ mSv/an
<b>Situations incidentelles</b>	Aussi faible que possible, et dans tous les cas inférieur à : 10 mSv par incident	Rejet par incident inférieur aux limites annuelles autorisées pour l'installation. $\leq 0,1$ mSv
<b>Situations accidentelles</b>	Prend en compte les contraintes liées à la gestion de la situation accidentelle et post-accidentelle	Pas de contre-mesures immédiates ou différées (confinement, évacuation) $< 10$ mSv Pas de restriction alimentaire (animale ou végétale)
<b>Situations enveloppes</b>		
<b>Accidents hypothétiques</b>	Pas d'effet de falaise <sup>4</sup> ; contre-mesures éventuelles limitées dans le temps et l'espace	

1 mSv = 0,001 Sv

Enfin, l'évaluation des conséquences radiologiques des différentes situations de fonctionnement permet de vérifier, en particulier, le respect des objectifs fondamentaux de sûreté définis lors de la conception.

### 3.2 Les objectifs généraux de sûreté

Les objectifs généraux de sûreté sont définis pour l'ensemble des situations de fonctionnement, du dimensionnement et des situations enveloppes. Ces objectifs de sûreté sont établis systématiquement pour le personnel, le public et l'environnement.

Le choix des situations incidentelles et accidentelles s'effectue de manière déterministe.

#### Approche déterministe

L'approche déterministe suppose que l'incident ou l'accident se produit et qu'il faut ramener l'installation à un niveau acceptable de risque. Il convient alors d'évaluer si les actions, les équipements ou les procédures caractérisant la défense en profondeur de l'installation remplissent bien leurs objectifs de préservation des niveaux de protection.

A l'inverse, l'étude probabiliste consiste à quantifier la probabilité d'occurrence d'un événement redouté selon des éléments du système.

Les séquences hypothétiques, dites « enveloppes », sont élaborées en imaginant des défaillances supplémentaires ou des défaillances de fonctions de sûreté ou à partir d'événements ayant peu de probabilité de survenir. Elles correspondent aux accidents qui génèrent les conséquences radiologiques les plus importantes, et également celles que l'on considère comme hautement improbables et très rares. Leur étude permet de s'assurer d'une marge de sûreté suffisante au niveau de la conception, et de vérifier l'absence d'effet falaise<sup>4</sup>.

L'objectif de l'analyse est d'évaluer les performances des systèmes de sûreté, de montrer le bon dimensionnement de ces systèmes et de vérifier que les objectifs généraux de sûreté sont respectés. Et afin de vérifier les marges prises à la conception, les analyses sont effectuées en utilisant des règles d'étude pénalisantes et le cumul de situations peu probables.

## 4 | Conséquences résiduelles des accidents

Les conséquences radiologiques pour le personnel, le public et l'environnement, sont évaluées pour les situations accidentelles retenues pour le site ITER.

### 4.1 Méthodologie d'identification des situations accidentelles

L'analyse de sûreté a pour but de prouver la robustesse de la conception de l'installation par rapport aux objectifs de doses aux personnels et à l'environnement tels qu'ils sont définis dans les objectifs généraux de sûreté. Cette évaluation prend en compte, pour la conception, le mode de fonctionnement générant les conséquences radiologiques potentielles les plus importantes, à savoir la phase d'exploitation avec plasma de deutérium et tritium.

Parmi les situations accidentelles hypothétiques et considérées comme « hautement improbables », aucune n'entraînerait, pour les populations les plus exposées et dans les conditions météorologiques les plus défavorables, une dose supérieure à 0,1 mSv – une valeur qui est très sensiblement inférieure aux objectifs généraux de sûreté et à la dose réglementaire annuelle en fonctionnement normal (< 1mSv).

Les situations qui génèrent les conséquences les plus importantes, jugées très rares et hautement improbables, sont présentées dans ce chapitre.

### 4.2 Hypothèses générales relatives à l'évaluation des conséquences radiologiques

L'évaluation globale des conséquences radiologiques pour les populations analyse l'ensemble des voies d'atteintes (milieu atmosphérique, liquide et terrestre, chaîne alimentaire). Les paramètres pris en compte dans cette évaluation, à court terme et à long terme, sont détaillés dans le tableau suivant :

	A court terme	A long terme
<b>Durée d'exposition</b>	48 heures	50 ans pour un adulte et de 70 ans pour un enfant et un bébé
<b>Type d'exposition</b>	Interne (ex. inhalation des radio-éléments <sup>5</sup> ) Externe (ex. dépôts au sol)	Interne (ex. inhalation des radio-éléments) Externe (ex. dépôts au sol) Interne (ingestion de produits végétaux et animaux contaminés) Interne (inhalation des particules remises en suspension)
<b>Distances prises en compte</b>	Clôture la plus proche (200m), Distance de 1,2 km, Château de Cadarache (2,5 km), Vinson-sur-Verdon (3,5 km), St-Paul-lez-Durance (5 km)	Château de Cadarache (2,5 km), Vinson-sur-Verdon (3,5 km), St Paul-lez-Durance (5 km), Ginasservis (7 km), Manosque (15 km)

L'évaluation quantitative des conséquences radiologiques pour le public et l'environnement est basée sur un modèle mathématique. Elle prend en compte la distance qui sépare du point de rejet, la hauteur du rejet et les conditions météorologiques. Elle considère différents groupes de population (adultes, enfant de 10 ans ou bébé d'un an).

L'évaluation des conséquences radiologiques prend en compte le tritium, les produits de corrosion activés, les poussières et les gaz activés.

<sup>5</sup>Elément chimique naturellement ou artificiellement radioactif.

### 4.3 Evaluation des conséquences radiologiques des situations « enveloppes »

L'impact radiologique dans l'environnement a été quantifié pour les situations accidentelles dites enveloppes (en prenant en compte les situations les plus improbables) qui ont été retenues suite à l'analyse de sûreté. L'impact est présenté dans le tableau suivant :

Pour les quatre situations enveloppes, les doses efficaces maximales sont inférieures à celles que définissent les objectifs généraux de sûreté. Les conséquences radiologiques restent acceptables puisque qu'aucune contre-mesure ne serait requise pour protéger les populations. Aucun effet faïaise n'est observé.

	Dose efficace maximale	
	A court terme - 48h (obtenue à 200 m)	A long terme - 50 ans (obtenue à 2.5 km)
Feu dans le bâtiment Tritium se propageant à une boîte à gants <sup>7</sup>	1,07 mSv	0,17 mSv
Explosion de poussières et d'hydrogène dans la chambre à vide	0,33 mSv	0,21 mSv
Dommages à la chambre à vide et au cryostat entraînant de grands trous	3,0 mSv	0,14 mSv
Ruptures multiples de circuits à l'intérieur de la chambre à vide avec défaillance des traversées d'une conduite de chauffage par ondes hautes fréquences	4,0 mSv	0,13 mSv

## 5 | Maîtrise des risques

Cette partie a pour objectif de décrire les dispositions retenues lors de la conception de l'installation ITER pour faire face aux différentes situations accidentelles d'origine nucléaire ou non nucléaire. Il s'agit des dispositions de prévention, de détection et de limitation des conséquences.

### 5.1 Risques d'origine nucléaire

La maîtrise du risque de dissémination repose sur le principe de confinement des matières radioactives permettant de garantir le respect des objectifs généraux de sûreté dans toutes les situations normales, incidentelles et accidentelles retenues. Il consiste à interposer entre les matières radioactives et l'environnement des équipements appelés « barrières statiques » comme des circuits ou des bâtiments, ...) complétées par des barrières dites dynamiques (systèmes de filtration, de détritiation...).

La non-dissémination des matières radioactives sera assurée, si nécessaire, par deux systèmes de confinement. Le système statique placé au plus près du procédé comprend la chambre à vide du tokamak, les procédés utilisés pour le tritium ou les cellules de maintenance. Le système dynamique mis en place est le plus souvent assuré par les systèmes de filtration et

de détritiation. Ils assurent une cascade de dépressions c'est-à-dire que les écoulements d'air entre les locaux iront des locaux à faible risque de contamination vers les locaux à fort risque de contamination. Dans toutes les situations de fonctionnement y compris accidentelles, la ventilation permettra de contenir le tritium dans l'air des locaux et de le récupérer avant rejet en cheminée.

A chaque barrière de confinement seront associées des dispositions de surveillance de leur efficacité.

La maîtrise de l'exposition aux rayonnements ionisants du personnel de l'installation de recherche en fonctionnement normal reposera sur l'application et le respect du référentiel réglementaire. Celui-ci concerne la protection contre les rayonnements ionisants et l'optimisation de la conception des opérations de conduite et de maintenance basée sur le principe d'optimisation (ALARA), de manière à réduire les doses individuelles et collectives.

La prévention vis-à-vis du risque d'exposition externe commence par l'identification, l'analyse et l'aménagement des postes de travail afin de réduire à un niveau aussi bas que possible les nuisances radiologiques associées. En outre, un zonage de radioprotection sera mis en place dans l'installation.

<sup>7</sup> Enceinte de confinement, généralement de petites dimensions, dans laquelle du matériel ou des produits peuvent être manipulés tout en restant isolés de l'opérateur dans la mesure où la manipulation s'effectue au moyen de gants fixés de façon étanche à des ouvertures (ronds de gants) ménagées dans l'enceinte.

**Démarche ALARA**

Acronyme anglais « ALARA » (« As Low As Reasonably Achievable ») qui signifie « aussi bas que possible ». Cette démarche concerne la mise en œuvre de toutes les actions et dispositifs possibles pour réduire à son plus bas niveau la dose individuelle et collective à laquelle les opérateurs pourraient être exposés. L'identification et l'analyse des postes de travail, la mise en place d'un zonage de radioprotection, la formation du personnel, l'utilisation de robots télé-manipulés et la mise en place de moyens de surveillance et de suivi sont partie intégrante de la démarche ALARA.

Ce zonage correspond à la hiérarchisation des niveaux d'exposition qui peuvent être observés au sein de l'installation. Il consiste en l'attribution à chaque zone de travail d'une classe en fonction du risque qu'elle représente. Enfin, les intervenants seront formés à la sécurité des postes de travail.

La surveillance de l'exposition externe dans l'installation sera effectuée par des mesures permanentes du débit de dose ambiant.

La surveillance radiologique du personnel sera également assurée par des moyens de mesure individuelle des doses reçues (dosimétrie) adaptés aux rayonnements présents et permettra une analyse suivie des postes de travail.

**5.2 Risques d'origine non nucléaire**

Pour l'ensemble des risques non nucléaires qui peuvent être présents dans l'installation, la maîtrise des risques passe par la mise en place des moyens de prévention, de détection et de limitation des conséquences.

Plusieurs dispositions sont prises pour maîtriser le **risque incendie**. Elles concernent la prévention



Système d'extinction dans les locaux du siège ITER.

destinée à éviter ou à limiter l'occurrence du cumul des quatre composantes indispensables au démarrage d'un feu (combustible, comburant, source d'ignition et réaction chimique exothermique). Il s'agit aussi de mettre en place des moyens de détection incendie. En cas d'incendie, plusieurs dispositions seront mises en œuvre pour en limiter les conséquences : limitation des quantités de matières combustibles dans chaque local, équipements (transformateurs, réservoirs diesel, etc. implantés à l'écart des bâtiments nucléaires), postes de découpe et station de récupération de tritium des cellules de maintenance seront maintenues sous une atmosphère inerte par un gaz neutre...

Ces exemples permettront d'éviter et de limiter la propagation d'un incendie, la détérioration et l'altération de l'intégrité des équipements importants pour la sûreté, et permettront d'assurer l'évacuation du personnel.

Pour les risques d'**explosion**, la prévention consiste à réduire les quantités de matières explosives, à éviter leur contact avec l'air et à concevoir de façon robuste les équipements soumis à ce risque. Les fuites d'hydrogène ou d'air sont détectées. La limitation des conséquences d'une explosion consiste à s'assurer qu'une explosion n'entraîne aucun rejet radiologique ou dommage à un quelconque système ou composant importants pour la sûreté, et à limiter les conséquences des dommages.

Dans le cadre des programmes de recherche, des **transitoires de plasma** se produiront pendant le fonctionnement normal de la machine. Les transitoires de plasma contribuent à l'érosion des composants de l'enceinte à vide, et devront par conséquent être évités, détectés et atténués.

L'installation de recherche est conçue de manière à ce qu'aucun transitoire de plasma n'entraîne d'éventuelles conséquences sur les composants importants pour la sûreté comme la chambre à vide.

Pour ce qui concerne le risque d'**inondation (interne ou externe)**, l'objectif est d'éviter la dispersion de liquide dans l'installation et de mettre en place des systèmes de surveillance et de récupération autant que de besoin. La prise en compte des risques d'infiltration d'eaux externes (pouvant provenir de la nappe phréatique par exemple) dans l'installation a conduit à dimensionner le réseau d'eau pluviale en fonction d'une hauteur de pluie maximale observée sur une période de cent ans (« pluie centennale »). Outre de nombreux moyens de détection, plusieurs dispositifs sont prévus pour limiter les conséquences d'une éventuelle inondation interne (construction d'un radier sous le bâtiment tokamak), surélévation des équipements, pompes de relevage, installation de bacs de rétention...).

Les risques **chimiques** sont principalement liés à la présence de béryllium dans certaines zones de l'installation qui ont été identifiées dès la phase de construction et de montage. Ces zones sont équipées de moyens de contrôle atmosphérique fixes ou portatifs. En phase d'exploitation, le double système de confinement (statique et dynamique) permettra de limiter le risque de dissémination éventuelle du béryllium.

Les dispositions retenues pour les risques **magnétiques et électromagnétiques** consistent à prendre des mesures afin que, d'une part les employés soient protégés par un zonage approprié (c'est-à-dire que les locaux soient repérés en fonction du niveau de risque qu'ils présentent), et que, d'autre part, les équipements utilisés sur l'installation ne soient pas impactés par les champs magnétiques (dispositions techniques et/ou organisationnelles, choix des équipements...).

Pour ce qui est de la tenue aux **conditions extrêmes** (fortes chaleurs ou grands froids, foudre, neige et vent), à la **chute d'avions** de l'aviation générale (type CESSNA ou LEAR JET), au **séisme maximal**, ou aux événements se produisant sur les **installations industrielles environnantes** ou sur les voies de communication, la maîtrise des risques porte essentiellement sur le dimensionnement des équipements et du génie civil. Par exemple, le dimensionnement au séisme (magnitude 7) conduit à faire reposer le bâtiment tokamak sur un support constitué de plus de 500 patins parasismiques.



Patins parasismiques du réacteur Jules Horowitz au CEA Cadarache

### 5.3 Moyens d'intervention

Afin de limiter les conséquences en cas d'accident, des moyens d'actions et d'intervention seront mis en place. Le service de radioprotection gère, en situation normale, les mesures et dispositifs destinés à protéger les personnes des rayonnements émis par les sources radioactives dans le respect des dispositions légales.

Il assure également les analyses radiologiques et la surveillance de l'environnement.

Ce service joue un rôle déterminant dans le cadre des interventions en cas d'incident ou d'accident à caractère radiologique : participation aux plans d'intervention internes et externes, moyens mobiles d'intervention (véhicule d'intervention et de surveillance atmosphérique, stations mobiles de prélèvement, remorque de décontamination), évaluation d'impact (codes de calcul, ...).

Le service local de sécurité est chargé de la protection des personnes et des biens. Ses équipes assurent principalement la lutte contre l'incendie (le site dispose de ses propres moyens de lutte contre l'incendie), les secours, le gardiennage ainsi que la gestion opérationnelle du PC de sécurité.

Dès la connaissance d'une anomalie dont les conséquences peuvent concerner le site d'ITER, le Directeur Général peut déclencher le **plan d'urgence interne (PUI)** : les moyens d'intervention propres à l'installation et ceux du Site seront sollicités.

Si les conséquences envisagées venaient à dépasser les limites du site d'ITER, le préfet des Bouches-du-Rhône serait conduit à mettre en œuvre les moyens prévus dans le cadre d'un **plan particulier d'intervention (PPI)**. Dans ce cas, les pouvoirs publics préviendraient aussitôt les populations de la zone concernée par des communiqués diffusés par les stations de radio locales et leur demanderaient d'appliquer le cas échéant les consignes de sécurité.

La maîtrise des risques, d'origine nucléaire ou non, consiste à mettre en place, dès la conception et pendant toute la durée de vie de l'installation, des dispositions de prévention, de détection et de limitation des conséquences. Afin de limiter les conséquences en cas d'accident et d'assurer la protection de la population et de l'environnement, des moyens d'actions et d'intervention sont mis en place.



ITER Organization, Route de Vinon sur Verdon 🌅 13115 St-Paul-Lez-Durance 🌅 France