



ITER

Demande d'Autorisation de Création

Résumé non technique de l'étude d'impact



0	Introduction à la fusion	3
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
1	Analyse de l'état initial du site et de son environnement	18
1.1	Caractéristiques du site ITER	18
1.2	Point zéro du site d'implantation	24
2	Effets sur l'environnement et sur la santé	25
2.1	Caractéristiques des prélèvements, effluents et déchets	25
2.2	Etudes des effets sur l'environnement	28
2.3	Etudes des effets sur la santé	33
3	Études des variantes	38
3.1	Les choix qui ont déterminé l'implantation d'ITER	38
3.2	Présentations des variantes	38
3.3	Choix technologiques retenus	39
4	Mesures envisagées pour réduire, compenser et supprimer les conséquences dommageables sur l'environnement	42
4.1	Nature et ampleur des atteintes potentielles	42
4.2	Description des mesures de conception prises dans le but de minimiser les atteintes	42
4.3	Moyens de surveillance de l'environnement	42
4.4	Moyens mis en place pour réduire l'impact associé à la fourniture et au transport des matériaux	43
4.5	Moyens internes ou externes contribuant à la prévention des nuisances et à la surveillance de leur impact	43
5	Méthodes d'estimation de l'impact d'ITER	45
5.1	Démarche adoptée dans l'évaluation de l'impact des d'effluents radioactifs et chimiques	45
5.2	Conséquences potentielles des rejets d'effluents radioactifs et chimiques dans l'environnement	47
5.3	Hypothèses de calcul	47
5.4	Difficultés rencontrées lors de l'établissement du diagnostic de nature technique ou scientifique	47
5.5	Impact des très faibles doses	47

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 demeurait 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.

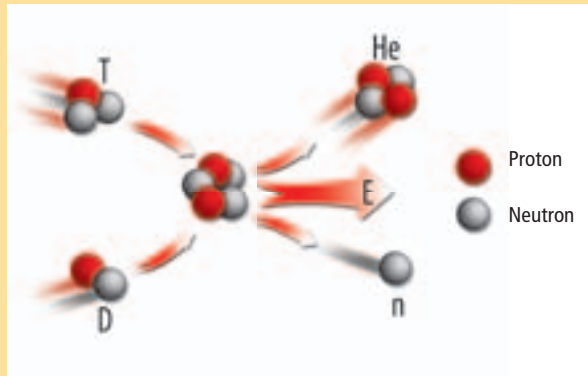
Pour que ce phénomène soit rentable en terme d'énergie il faut arriver à fusionner un très grand nombre de ces noyaux.

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 vide 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.

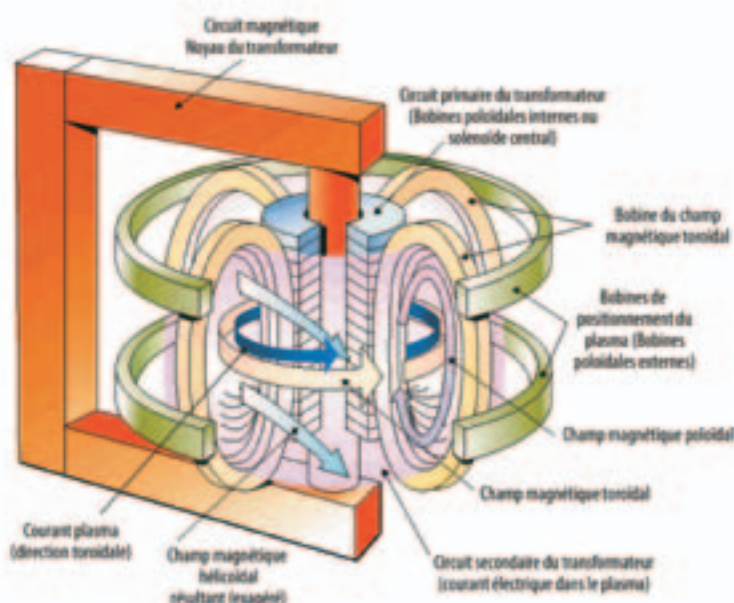


Schéma des bobines et des champs magnétiques d'un tokamak

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 m³ (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 m³

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.

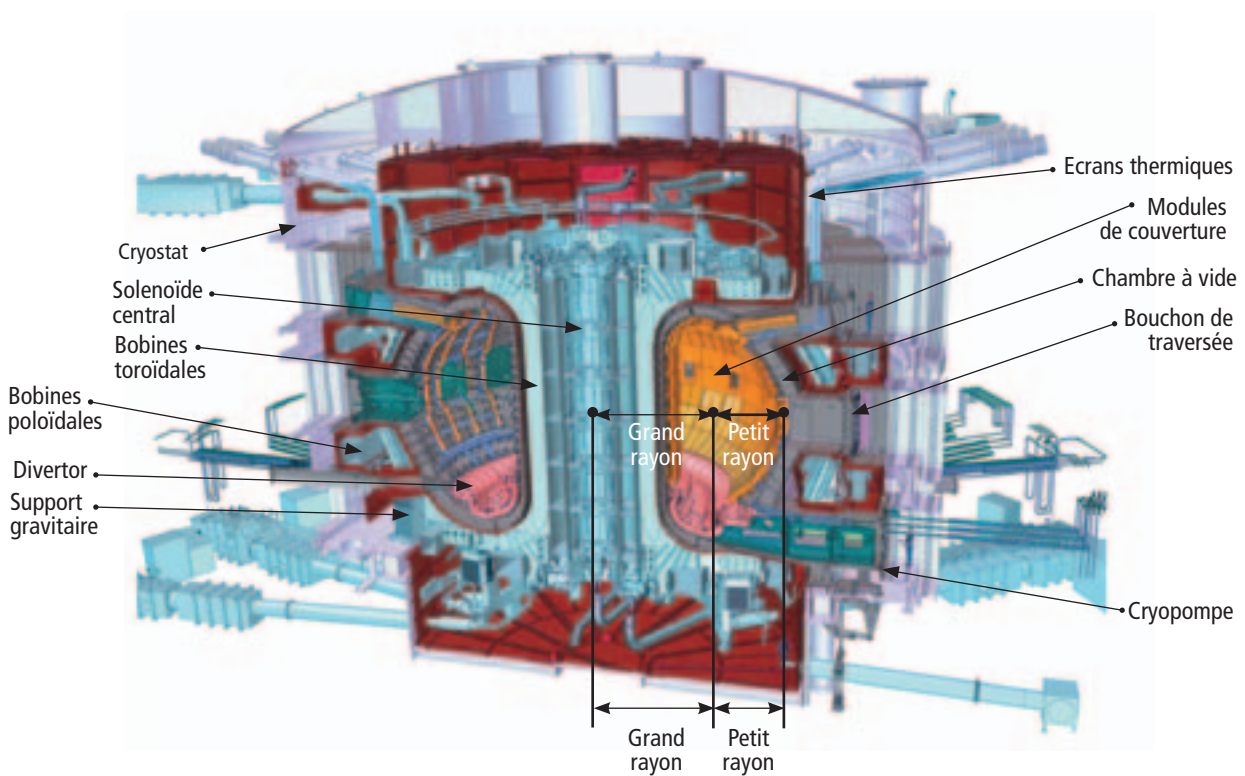


Schéma éclaté d'ITER

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

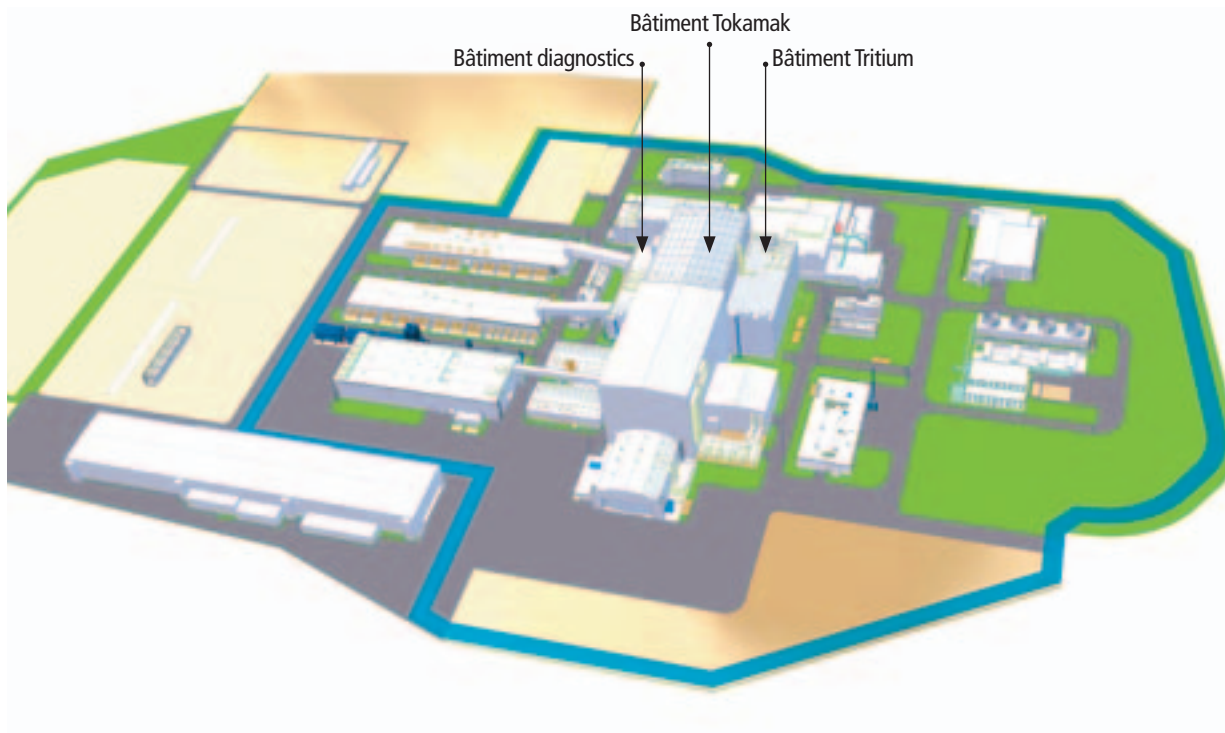
Le site accueille également les bureaux du siège d'ITER Organization et des bâtiments de service (station de traitement des eaux sanitaires usées, bassins pour contrôler l'eau issue du circuit refroidissement, bassins d'orage). Au total, ITER comprendra 39 bâtiments et installations techniques sur une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

Les opérations de défrichement 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 défrichement 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 défrichement 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 défrichement

Mesures de compensation

Les mesures de compensation des opérations de défrichement 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 m³ environ).

Deux millions et demi de m³ 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 m³ 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 m³ est dimensionné pour une pluie décennale (débit de fuite de 0,6 m³/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). 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).

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

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

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

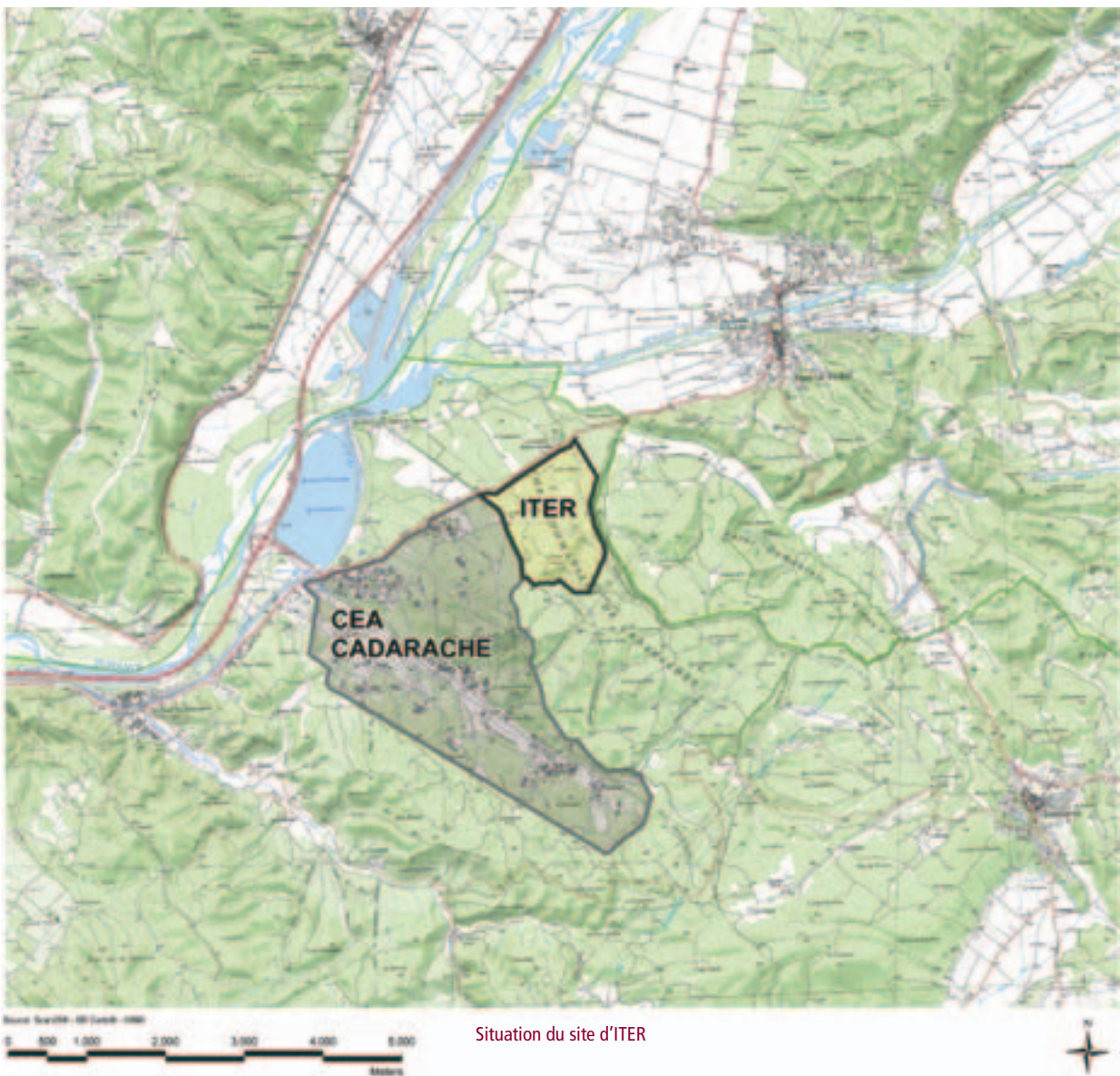
1 | Analyse de l'état initial du site et de son environnement

Le site de construction d'ITER répond à différentes exigences techniques (surface, qualité des sols, alimentation en eau et en électricité...). Plusieurs études ont permis de déterminer ses caractéristiques physiques et environnementales.

1.1 Caractéristiques du site ITER

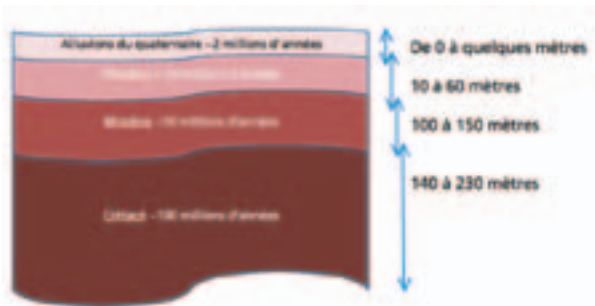
Le site d'ITER est situé à mi-chemin de Saint-Paul-lez-Durance (13) et de Vinon-sur-Verdon (83), au lieu-dit « La Verrerie ». Les études de caractérisation ont porté sur la qualité des sols, la sismicité du site, les eaux de surface et souterraines, les voies d'accès, le trafic aérien, les conditions climatiques, l'état chimique et radiologique de l'eau, des sols et de la végétation.

Le contexte démographique, les habitudes alimentaires de la population, l'environnement naturel et le cadre agricole et industriel ont également été pris en considération.



Etudes géologiques

Plusieurs campagnes de forages ont permis de caractériser la qualité des sous-sols du site ITER de manière à choisir au mieux l'emplacement des bâtiments. Le bâtiment tokamak sera construit sur une zone calcaire datant du Crétacé (100 millions d'années) dont la profondeur varie d'environ 140 à 230 mètres. Au Miocène, il y a 10 millions d'années, des dépôts de sables plus ou moins argileux, et plus ou moins grésifiés, du grès, des argiles et des brèches se sont accumulés sur ces calcaires, sur 100 à 150 m par-dessus la couche du Crétacé. Au Pliocène, il y a moins d'une dizaine de millions d'années, des poudingues (galets calcaires agglomérés par une « pâte » gréseuse) se sont à leur tour déposés. Leur épaisseur (environ 10 m) peut atteindre 50 à 60 m par endroit. Enfin, des alluvions du quaternaire qui datent de deux millions d'années environ se sont accumulées sur les poudingues.



Les différentes couches géologiques du site de Cadarache. Le bâtiment tokamak sera construit sur du calcaire du crétacé.

Sismicité du site ITER

L'analyse des données historiques et géologiques permet d'évaluer l'intensité des séismes qui se sont produits dans la région sur une durée d'environ mille ans. Sur la base de ces données collectées depuis une trentaine d'années, il a été possible de déterminer le « séisme maximal historiquement vraisemblable » (SMHV) dont la magnitude est estimée à 5,8. Les caractéristiques des événements telluriques qui se sont produits il y a quelques dizaines de milliers d'années (paléo-sismicité) sont également pris en compte dans les calculs de dimensionnement des installations.

Il en résulte que les installations d'ITER ont été conçues pour résister à un « séisme majoré de sécurité » d'une magnitude évaluée à 7 ; soit un doublement en terme d'énergie de la magnitude du « séisme maximal historiquement vraisemblable », à laquelle la magnitude du paléo-séisme a été rajoutée.

Magnitude sismique

La magnitude la plus connue par les médias est la magnitude de Richter. Appelée aussi échelle de Richter. Elle n'a pas d'unité.

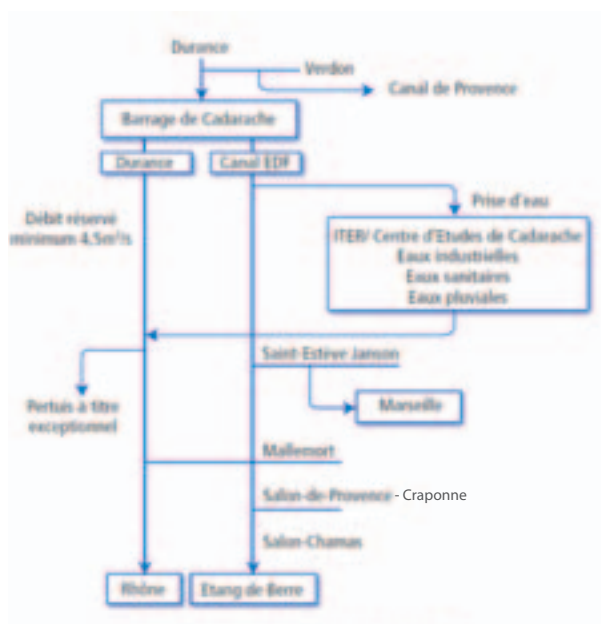
La magnitude caractérise la source : elle correspond à l'énergie libérée par le séisme le long de sa rupture, indépendamment de ses effets sur l'homme et l'environnement. Elle est déduite de l'amplitude des ondes sismiques mesurées par les sismographes, appareils enregistrant les vibrations du sol.

Cette valeur n'a pas de limite. Les séismes les plus grands détectés ont des magnitudes de l'ordre de 9.

Etudes hydrogéologiques

Le bassin hydrologique de la Durance est géré par le Syndicat mixte d'aménagement de la vallée de la Durance (SMAVD). En amont du barrage de Serre-Ponçon, la Durance se caractérise par un régime alpin et pluvionival, alors que vers l'aval, le régime est de type méditerranéen. Ceci se traduit par des hautes eaux au printemps (55 % des apports annuels), un étiage accentué en été (15 %), la reprise d'un débit moyen en automne (21 %) et un nouvel étiage en hiver (9 %). En automne et en hiver, les pluies, sporadiquement brutales, peuvent entraîner des crues violentes mais brèves. Ces épisodes exceptionnels sont pris en compte dans le dimensionnement des bâtiments.

Connectés à la Durance, le canal de Provence, le canal EDF ainsi que le canal de Craonne - Salon-de-Provence remplissent trois fonctions : l'acheminement de l'eau potable, la production d'électricité hydroélectrique et le pompage de l'eau destinée à l'irrigation.



Principale utilisation de l'eau de la Durance, Verdon et Canal EDF

L'eau de la Durance est potable, sa qualité est classée « bonne » à « très bonne » sauf pour ce qui concerne les matières organiques et les composés oxydables pour lesquels la qualité est classée « moyenne ».

L'étude des eaux souterraines du site d'ITER révèle l'existence de deux aquifères (nappes phréatiques) superposés. Trente-six piézomètres (forages souterrains) permettent de les surveiller : 30 piézomètres ont été placés sur l'aquifère des calcaires crétacés, dont une douzaine centrée sur la zone d'implantation du Tokamak ; 6 piézomètres sont situés sur l'aquifère des alluvions miocènes. Trois campagnes d'études piézométriques ont été menées entre 2004 et 2009. Les mesures effectuées en période de hautes eaux (janvier 2007) ont montré que les profondeurs minimales atteintes au droit du site ITER oscillent entre 43 et 65 m. La profondeur maximale des excavations envisagées pour la construction des bâtiments d'ITER n'excèdera pas 40 m.



La Durance

Les voies d'accès, le trafic aérien

Le trafic routier moyen aux abords du site ITER est de l'ordre de 19 000 véhicules/jour. Le site fait l'objet d'une interdiction de survol aérien dans une zone de sécurité de 6 km de diamètre étendue à 11 km pour les aéronefs. Le contournement de cette zone est obligatoire, à l'exception des appareils de l'aérodrome de Vinon-sur-Verdon autorisés à utiliser la couronne comprise entre 3 et 5 km de rayon pour les opérations de décollage et d'atterrissage. Le survol de l'aviation générale est interdit depuis le 11 septembre 2001 (zone d'interdiction temporaire (ZIT)).

L'accès au site d'ITER par hélicoptère peut être autorisé de façon exceptionnelle et concertée avec les autorités compétentes en appliquant des consignes d'approche et de survol. Ainsi, en cas de feu de forêt sur le site, le survol par les bombardiers d'eau de la Sécurité Civile peut être autorisé à titre exceptionnel après concertation avec les partenaires du Centre opérationnel départemental d'Incendie et de secours (CODIS).

Le survol d'avion est interdit sur le centre de Cadarache et sur le site d'ITER. Cependant les probabilités de chute d'un avion sur les installations d'ITER ont été évaluées et prise en compte, quand nécessaire, pour concevoir les bâtiments.

Les conditions climatiques

L'environnement climatique du site ITER est de type méditerranéen. Les températures y sont moins élevées que dans le reste du département. ITER est situé entre le Luberon et les contreforts de la Sainte Victoire, dans la vallée de la Durance, proche de son affluent le Verdon. Les mesures de température, de précipitation, de vitesse et de direction des vents et de pression atmosphérique sont enregistrées par des stations météorologiques. Ces données ont été utilisées pour les calculs de dispersion des effluents de l'installation ITER.



Rose des vents (données de stations météorologiques). La station la plus proche du lieu d'implantation de la future installation nucléaire de base ITER est celle de la Verrerie.

Les habitudes alimentaires

Les données concernant les habitudes alimentaires et les habitudes d'achat des populations locales sont issues d'études réalisées par l'INSEE. Pour chaque type d'aliment potentiellement consommé, des produits représentatifs ont été pris en compte de manière à établir les habitudes spécifiques des populations vivant dans le voisinage du site d'ITER.

Radioactivité ambiante

La radioactivité naturelle, de l'ordre de 70 nGy/h à 90 nGy/h (moyenne française 97 nGy/h), se situe à un niveau relativement bas dans la région de Cadarache. Cette situation s'explique par la géologie locale, caractérisée par des terrains d'origine récente, au contraire d'autres régions où abondent les roches granitiques. La radioactivité naturelle provient notamment des rayonnements cosmiques et d'éléments naturellement présents dans les sols qui émettent des rayonnements bêta/gamma. Les matériaux de construction, comme le potassium 40 et le radon, contribuent également à la radioactivité naturelle.

Environnement naturel

Les zones Natura 2000 forment un réseau européen représentatif et cohérent d'espaces définis par la « Directive Oiseaux » (1979) et par la Directive « Habitats » (1992). Elles constituent des Zones de Protection Spéciale (ZPS) et des Zones Spéciales de Conservation (ZSC). Le site d'ITER ne se trouve pas dans un périmètre Natura 2000 mais il en est proche. C'est la raison pour laquelle, une évaluation des incidences écologiques de l'installation sur le réseau Natura 2000 a été réalisée.

Grays et Sieverts

Tous rayonnements ionisants transfère de l'énergie, en plus ou moins grande quantité, dans la matière.

L'unité qui rend compte de ce transfert est le Gray (Gy), correspond à une énergie de 1 Joule déposée dans un kilo de matière. Pour les très faibles doses, comme celles qui procèdent de la radioactivité naturelle, on utilise le nanoGray par heure (nGy/h).

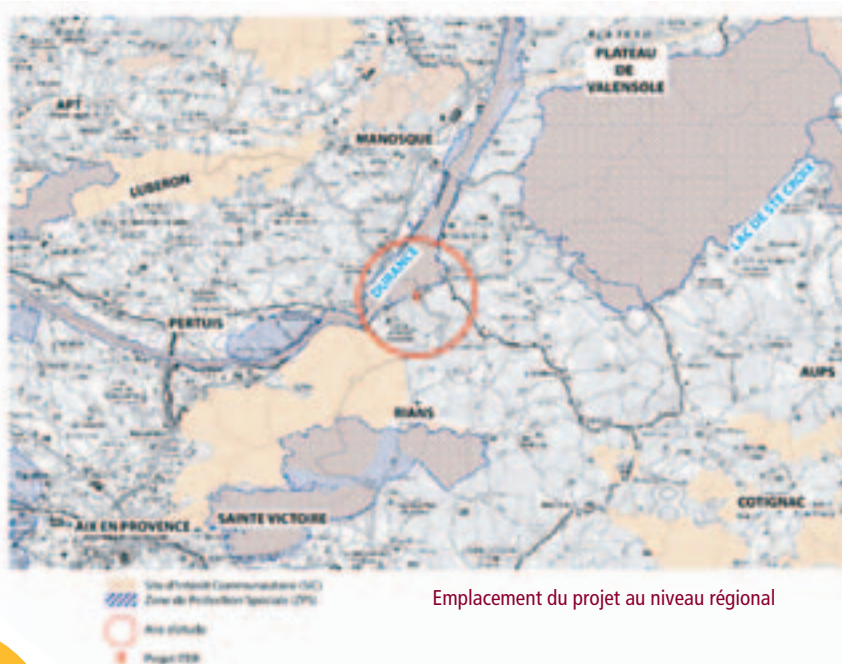
Un nGy équivaut à 0,00000001 Gy soit un milliardième de Gray.

Les effets biologiques, quant à eux, s'expriment en Sievert (Sv) qui correspond également à un dépôt d'énergie. Les doses correspondant à la radioactivité naturelle sont faibles et sont exprimées en millisievert par an (mSv/an).

L'exposition de la population à la radioactivité naturelle ambiante en France est de l'ordre de 2,4 mSv/an.

Les doses annuelles dues à l'impact du fonctionnement d'ITER en phase active sont très faibles et sont exprimée en microsieverts par an ($\mu\text{Sv}/\text{an}$), ($1 \mu\text{Sv} = 0,001 \text{ mSv}$)

* 1 Joule : énergie produite par 1 Watt pendant 1 seconde.



Emplacement du projet au niveau régional

Agriculture et tourisme.

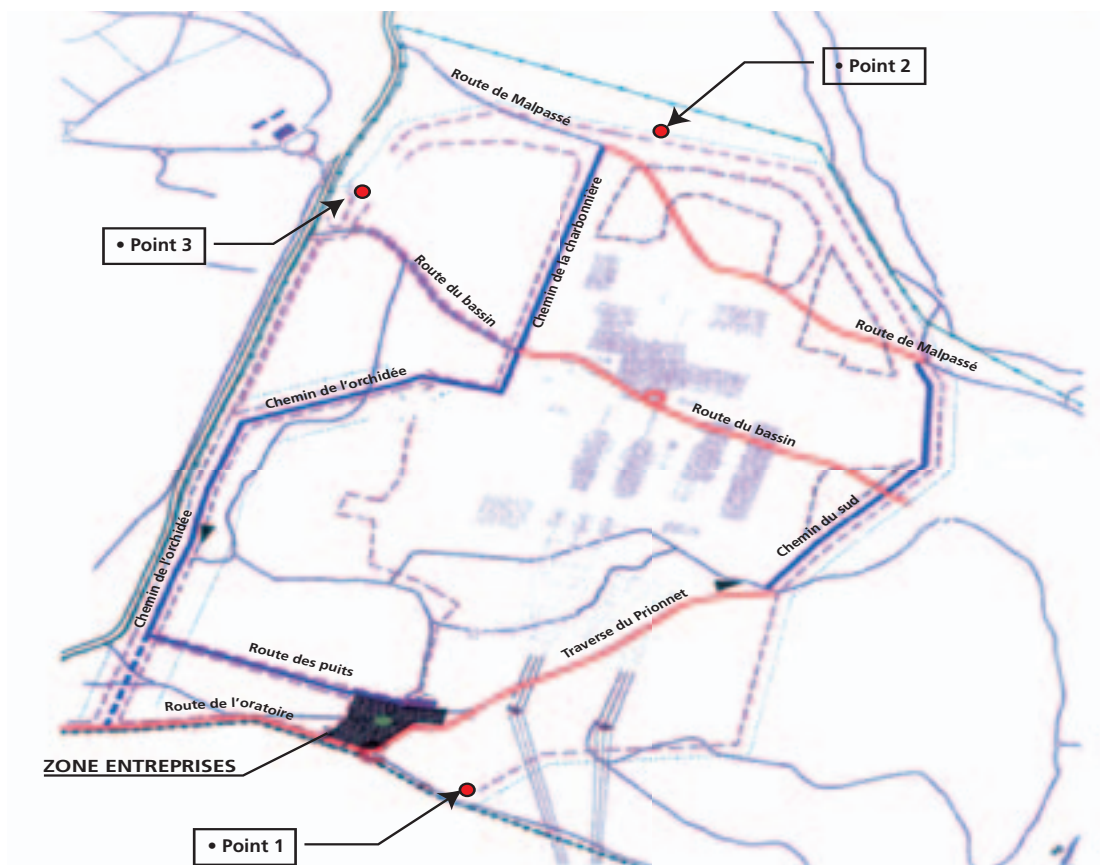
La région de Cadarache peut être considérée comme une zone à vocation agricole et touristique. L'économie agricole des zones proches du site inclut plusieurs activités. Les cultures sont localisées principalement dans la vallée de la Durance : vergers et maraîchages en aval du site ; vignes et céréales au voisinage de Cadarache et dans les collines. Aux abords du site de Cadarache, l'élevage constitue une activité peu importante et qui a tendance à régresser. L'apiculture est assez répandue.



La falaise de Saint Eucher sur la Durance

Le bruit

Les mesures de bruit réalisées en 2007 en bordure du site d'ITER montrent que les limites réglementaires sont respectées (arrêté du 23/01/97 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et arrêté du 31/12/99 relatif aux installations nucléaires de base).



Localisation des mesures sonores autour du site ITER

1.2 Point zéro du site d'implantation

L'état radiologique et chimique du site d'implantation d'ITER a été établi sur la base d'analyses des sols, des végétaux et des eaux souterraines prélevés à l'emplacement de la future installation en 2007 et en 2008. Les résultats obtenus montrent que les niveaux sont inférieurs ou équivalents à ceux qui avaient été établis lors de précédentes études réalisées pour établir le « point zéro » des futures installations du CEA/Cadarache.

Radioactivité des sols, des végétaux et des eaux souterraines

Les résultats des mesures radiologiques des sols superficiels et profonds font apparaître des valeurs de radioactivité se situant soit à la limite de détection des appareils de mesure, voire en deçà, soit au niveau des valeurs de la radioactivité naturelle.

Pour ce qui concerne les végétaux, les valeurs en tritium mesurées sur le chêne vert et le thym sont inférieures aux limites de détection des appareils. Les campagnes d'échantillonnages réalisés sur des chênes verts situés en dehors du site ITER en tenant compte de la rose des vents ont confirmé des valeurs inférieures au seuil de détection.

Le Becquerel (Bq), unité de mesure de l'activité du noyau d'un élément radioactif.

L'activité d'un élément radioactif est caractérisée par le nombre de désintégrations atomiques survenant au sein d'une quantité donnée de matière pendant un laps de temps déterminé. Ce nombre s'exprime en « becquerels ». Pour un individu pesant 70 kg, l'activité radioactive est estimée à environ 8000 Bq par seconde, compte-tenu de la présence du potassium 40 dans l'organisme.

L'activité d'un élément faiblement radioactif comme le tritium est de l'ordre de 358 TBq par gramme, soit 10^{12} ou mille milliards Becquerels.

Analyses chimiques des sols, des végétaux et des eaux souterraines

Pour ce qui concerne les végétaux, les résultats des paramètres mesurés sur le chêne vert et sur le thym sont équivalents ou supérieurs à ceux que les précédentes études « point zéro » réalisées par le CEA avaient permis d'établir. Les valeurs d'hydrocarbures mesurées sur le thym sont liées à la présence d'essences naturelles contenues dans cette plante.

Pour ce qui concerne les eaux souterraines, les concentrations sont du même ordre de grandeur que les valeurs réglementaires, sauf pour le nickel, le zinc et le chrome dont la présence a été mesurée sur l'emplacement d'une ancienne verrerie ; le zinc aurait été utilisé pour certains ornements appliqués sur le verre. En ce point précis, les valeurs mesurées restent à un niveau bien inférieur aux valeurs conseillées pour l'eau potable par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Les résultats des analyses chimiques sur les végétaux, les sols et les eaux souterraines (métaux lourds, concentrations en cyanures, hydrocarbures, dioxines, furannes, chrome...) ont permis de mettre en évidence l'absence d'anomalie.

2 | Effets sur l'environnement et sur la santé

2.1 Caractéristiques des prélèvements, effluents et déchets

Le prélèvement d'eau

L'eau qui transitera par le circuit du refroidissement de l'installation ITER proviendra du canal de Provence. La quantité utilisée sera de 3 millions de m³ par an lors de la phase nucléaire. Le débit du canal est de l'ordre de 150 millions de m³ par an. Ce prélèvement est réalisé en cohérence avec le Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) s'appliquant à Cadarache.

L'eau potable consommée sur le site ITER (60 000 m³ environ par an) est distribuée à partir du réseau d'eau potable du CEA/Cadarache. Cette eau qui provient du canal de Provence est traitée par la station de traitement des eaux de Cadarache avant d'être acheminée vers le site ITER.



Vue du Canal de Provence à Rians © Sté du Canal de Provence

Les effluents liquides

Les effluents liquides sont constitués d'une part d'effluents industriels susceptibles de contenir des traces radioactives après purification dans les systèmes de traitement, d'autre part des eaux de lavage de l'ensemble des zones contrôlées des bâtiments nucléaires).

Les différents effluents liquides (environ 2 660 m³ par an) générés par l'installation ITER seront collectés par le réseau d'effluents industriels du CEA/Cadarache pour être acheminés vers les installations de traitement et de contrôle du CEA avant d'être rejetés en Durance.

Le recyclage et/ou la réutilisation des effluents est un élément clé du processus d'optimisation des effluents liquides radioactifs. Près de 160 m³/an d'effluents radioactifs seront acheminés vers les installations de détritiation afin d'en extraire le tritium qui sera réutilisé pour les réactions de fusion.

Origine du tritium

Dans la nature, le tritium est produit par l'interaction du rayonnement solaire avec les hautes couches de l'atmosphère. Parce qu'il est chimiquement identiques à l'hydrogène, le tritium ainsi créé se combine à l'oxygène des molécules d'eau pour former ce qu'on appelle de « l'eau tritiée ». Le tritium est un élément instable : au sein d'une quantité donnée, la moitié des atomes de tritium disparaît tous les 12,35 ans – la durée de sa « demi-vie » en se transformant en atomes d'hélium et en émission bêta.



Dans ce schéma, chaque point noir représente un noyau d'un élément radioactif. Chaque « période », ou demi-vie, divise leur nombre par deux. On voit qu'au terme de 10 périodes, le nombre des noyaux initiaux a été divisé par mille.

Ainsi, un équilibre s'établit entre le tritium créé par le rayonnement solaire et celui qui disparaît du fait de son instabilité. Dans l'atmosphère de la planète, la quantité de tritium d'origine naturelle est de l'ordre de 4 kg. Entre 1945 et 1965, les essais nucléaires atmosphériques ont généré 600 kg de tritium. La règle des 12,35 ans a progressivement réduit cette masse qui est aujourd'hui de l'ordre de 40 kg. Au fil des années, tout ce tritium disparaîtra.

Une fois, le tritium récupéré, les effluents seront pris en charge par une installation de traitement dédiée, et contrôlés avant d'être rejetés en Durance.

Éléments radioactifs	TBq/an
Tritium (HTO)	0.2
Carbone 14 (aérosol)	0.0002
Autres émetteurs β et γ	0.0002

Estimation des éléments radioactifs des rejets liquides.
1 TBq = 10¹² Bq = 1000000000000 Bq

Les effluents générés par les tours de refroidissement seront collectés dans des bassins de contrôle construits sur le site ITER pour être contrôlés avant d'être rejetés en Durance.

Par ailleurs les eaux pluviales sont collectées dans des réseaux spécifiques avant rejet en Durance.

Les rejets liquides chimiques de l'installation ITER seront collectés via le réseau des effluents industriels du CEA/Cadarache. Les quantités sont évaluées à 280 m³/an pour la phase de construction, à 60 m³/jour durant la phase expérimentale non nucléaire (phase hydrogène/hélium) et à 2 940 m³/an pour la phase expérimentale nucléaire. Ces effluents contiendront des solides en suspension, des apports d'oxygène, de l'azote, du phosphore, des cyanures, du chrome, du plomb, du cuivre, du nickel, du manganèse de l'étain, du fer, de l'aluminium sous différentes formes, des composés organiques halogénés, des hydrocarbures, des fluorures, de l'hydrazine, du sodium, des sulfates, des chlorures et du bore.

Les eaux usées sanitaires, produites durant la phase de construction comme durant les phases de recherche, seront acheminées vers la station d'épuration d'ITER située au sud-ouest du site. Le volume des effluents traités par la station d'épuration d'ITER sera de 40 000 m³ par an. Il variera de 300 m³/jour durant les phases de chantier (jusqu'en 2018) à 150 m³/jour lorsqu'ITER sera en fonctionnement (à partir de 2019). Le système d'évacuation de la chaleur générera 500 kg de phosphate de zinc par an (un inhibiteur de corrosion), du tartre et du fer (produits de corrosion des tuyauteries en dépit du traitement de l'eau). Le point de rejet est situé en aval des bassins de stockage situés à l'extérieur du CEA/Cadarache.

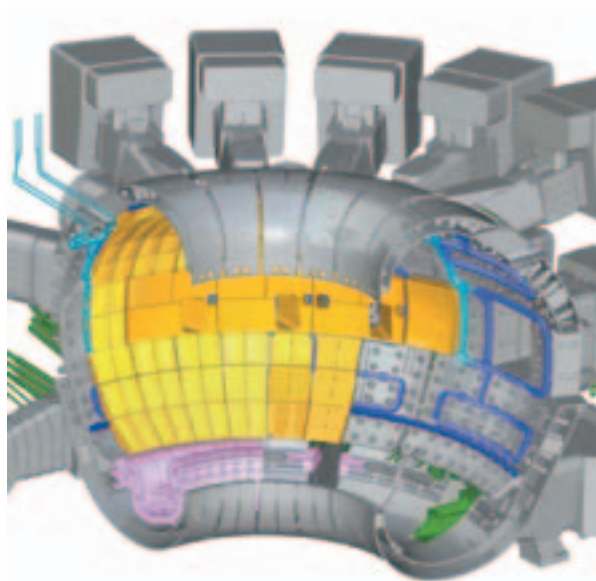
Rejets gazeux

Les effluents gazeux générés issus de l'installation ITER seront de deux natures : radioactifs et chimiques.

Les rejets radioactifs

Ils proviendront des systèmes de ventilation et/ou de

détritiation des bâtiments nucléaires (bâtiments tokamak, bâtiment tritium et bâtiment de traitement des déchets). Ils comporteront des traces de tritium sous forme vapeur (HTO), de gaz activés, de poussières et de produits de corrosion activés qui sont épurés par des filtres à très haute efficacité



Les couvertures recouvertes de béryllium à l'intérieur de la chambre à vide d'ITER

Le béryllium

Le béryllium est plus léger (faible numéro atomique, $Z = 4$) et six fois plus résistant que l'aluminium. Sa ductilité est approximativement 1/3 plus grande que celle de l'acier. Il possède une excellente conductivité thermique non magnétique. Dans la nature, on le trouve principalement sous forme d'oxydes ou d'aluminosilicates complexes dont les représentants précieux les plus connus sont l'émeraude et l'aigue-marine. On l'exploite à partir d'une trentaine de minerais, notamment aux États-Unis, en Chine et au Mozambique.

Au sein d'ITER, il sera utilisé sur les parois des modules de couverture de l'enceinte à vide.

Les rejets chimiques

Les effluents chimiques produits lors de la phase d'exploitation non nucléaire de l'installation ITER seront gérés par :

- la station de chauffage,
- Le béryllium : une très petite quantité sera émise à la cheminée :
 - Provenant des opérations d'assemblage des composants internes du tokamak, dans la composition desquels entre le béryllium. Pendant la phase de construction, les poussières de béryllium proviendront essentiellement de la découpe ou du polissage des couvertures lors de l'assemblage du tokamak.
 - Pendant la phase expérimentale non-nucléaire et nucléaire (à partir de 2026), ces poussières seront produites par l'érosion des composants internes sous l'effet du plasma. Ces poussières seront éventuellement remises en suspension pendant les phases de maintenance

Substances	Phases	Effluents
Béryllium	Assemblage non nucléaire	6g
	Expériences plasmas non nucléaires et nucléaires	1,5 g

Effluents produits par les activités liées au béryllium

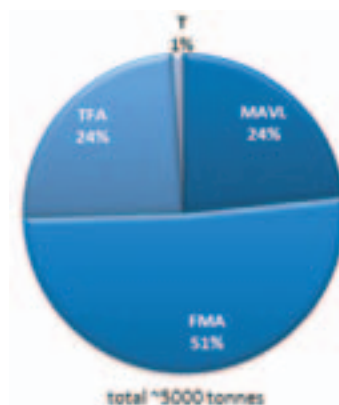
- Le matériau utilisé dans l'isolation de certaines lignes d'alimentation électrique générera de faibles rejets d'hexafluorure de soufre (SF6). Il en sera de même lors des tests de bon fonctionnement des groupes électrogènes

Les rejets de CO₂ prévus durant l'exploitation de l'installation ITER sont de l'ordre de 15 millions de kilogrammes par an. Des efforts d'optimisation sont en cours pour les diminuer.

Gestion des déchets

Les déchets générés par l'installation ITER sont constitués par :

- des déchets conventionnels (papiers, cartons, déchets métalliques, emballages, gravats,...) issus de zones de déchets non nucléaires. Ils seront collectés et triés avant leur évacuation vers une filière d'élimination adaptée.
- des déchets générés lors du remplacement des composants et lors de l'exploitation de l'installation ; déchets de très faible activité (TFA), de faible ou moyenne activité à vie courte (FMA-VC) et de moyenne activité à vie longue (MAVL). ITER ne produira pas de déchets de haute activité à vie longue.



Déchets d'exploitation issus du tokamak
T : correspond aux déchets purement tritiés

Un zonage sera mis en place pour trier les déchets à la source et assurer leur traçabilité. Les opérations de traitement en vue de réduire les quantités générées (découpe, conditionnement, caractérisation) seront effectuées dans des zones spécifiques (cellules de maintenance et bâtiment de traitement des déchets radioactifs).

Ces zones seront équipées de moyens de télémaintenance, ainsi que, de systèmes de confinement et de détritiation.

Au cours de la vie d'ITER, la quantité de déchets produite par la maintenance des composants internes de la chambre à vide est estimée à 1 200 tonnes dont environ 60 tonnes de déchets uniquement tritiés. Les déchets d'exploitation tels que les gants, tenues de protection, huiles, résines, etc... représenteront de l'ordre de 6 000 m³, soit environ 3700 tonnes. Il s'agit pour une grande majorité (67%) des déchets FMA-VC, le reste (33%) étant composé de déchets TFA.

Des discussions sont en cours avec le CEA et l'ANDRA sur la gestion des déchets spécifiques produits par ITER afin de prendre en compte ces déchets dans les modèles d'inventaires français (Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs). Ces discussions s'appuient sur l'engagement de la France à mettre en place une filière pour les déchets tritiés nécessitant un entreposage de décroissance.

Ainsi pour les déchets ne répondant pas aux critères actuels d'acceptation de l'ANDRA du fait des quantités de tritium qu'ils contiendront, la France s'est engagée, dans le cadre de l'Accord de siège signé entre la France et l'Organisation internationale ITER à réaliser des études dans le cadre du projet d'entreposage des déchets tritiés sans filières, conformément à l'article 4 de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006. Ces études visent à évaluer des solutions d'entreposage des déchets tritiés et à préparer la construction des installations nécessaires en vue de leur gestion finale.

2.2 Etude des effets sur l'environnement

L'étude d'impact s'appuie sur le bilan de l'état initial du site et de l'environnement. L'étude des impacts des rejets liquides et gazeux, comme des déchets, permet de cerner en particulier les aspects les plus sensibles des milieux exposés et de mieux limiter les éventuelles nuisances générées par la création d'ITER.

Impact des rejets en milieu atmosphérique

Pendant le chantier

La construction des bâtiments techniques pourra générer des odeurs dues aux gaz d'échappement des moteurs thermiques, aux résines, aux peintures et aux enrobés routiers ou asphaltes utilisés pour l'étanchéité, ainsi qu'aux émissions de gaz et de poussières. Les nuisances sont peu intenses et très localisées dans l'enceinte du site ; de ce fait, elles n'affecteront pas les riverains.

Durant les phases expérimentales

Les effluents chimiques produits lors de la phase non nucléaire concernent les rejets de la station de chauffage, les effluents de béryllium lors de la phase d'assemblage, les rejets diffus d'hexafluorure de soufre (SF6) et ceux qui seront produits lors d'essais de groupes électrogènes de secours. Les concentrations ajoutées dans l'air ont été comparées aux valeurs réglementaires. En moyenne annuelle, les concentrations ajoutées seront toujours très inférieures à ces limites.

En ce qui concerne les effluents de béryllium, la concentration maximale ajoutée dans l'air sera au maximum de $1.6 \cdot 10^{-11}$ mg/m³ pour la commune la plus exposée (Saint-Paul-lez-Durance). Cette valeur est plus d'un milliard de fois inférieure à la valeur moyenne recommandée pour le public par les organismes réglementaires américains et canadiens qui fournissent des limites à ce sujet.

De façon globale, les résultats montrent que les rejets chimiques par voie atmosphérique n'occasionneront pas de risque pour la population.

Le groupe de référence

Le groupe de population pris en référence dans les études d'impact est constitué par Saint-Paul-lez-Durance, la commune la plus exposée aux rejets atmosphériques du site ITER car elle se trouve sous l'influence des vents qui soufflent le long de la vallée de la Durance. Les habitants de Pertuis et la communauté religieuse de Jouques ont aussi été retenus « dans le groupe de référence » compte-tenu de leurs habitudes de consommation d'eau de la Durance (boisson et l'irrigation). L'eau de boisson de Saint-Paul-lez-Durance provient de la source de l'Abéou.

Localité	Distance par rapport à ITER	Orientation par rapport à ITER
La maison d'hôtes de Cadarache	2,5 km	Nord-Ouest
Le Hameau	3,0 km	Ouest
Saint-Paul-Lez-Durance	6,5 km	Ouest / Sud-Ouest
Vinon-Sur-Verdon	3,5 km	Nord-Est
Ginasservis	6,4 km	Sud-Est
Beaumont de Pertuis	8,5 km	Ouest / Nord-Ouest
Rians	11,5 km	Sud / Sud-Ouest
Corbières	6,8 km	Nord / Nord-Ouest
Mirabeau	10,5 km	Ouest
Gréoux Les Bains	9,8 km	Nord-Est
Jouques	15,8 km	Sud-Ouest
Manosque	14 km	Nord
Pertuis	23 km	Ouest
Aix-en-Provence	33,7 km	Sud-Ouest

Substances	Phases	Le Hameau	Saint-Paul-lez-Durance
Béryllium	non nucléaire	$2 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-11}$
	nucléaire	$4 \cdot 10^{-12}$	$3,5 \cdot 10^{-12}$

Evaluation du risque pour le béryllium qui est de l'ordre du milliardième. Ces valeurs doivent être inférieures à 10^{-5} pour garantir qu'il n'y a pas de risque sanitaire. Les valeurs mises dans ce tableau sont largement inférieures (un million de fois inférieures) à la limite de 10^{-5} . Il y a donc strictement aucun risque sur la santé.

Impact des rejets en milieu aquatique.**Impact sur les eaux souterraines et superficielles des effluents liquides****Durant le chantier et les phases expérimentales**

Les mesures mises en place pour minimiser l'impact dès la phase de viabilisation du site vis-à-vis des eaux sont les suivantes : conformité des installations provisoires de chantier à la réglementation (ICPE) ; mise en place de moyens de rétention pour l'entreposage des produits polluants ; collecte des eaux de ruissellement du chantier et leur traitement par décantation avant rejet; traitement des eaux de lavage des aires d'entretien des véhicules au moyen de dispositifs de type débourbeur/déshuileur ; maîtrise des pollutions accidentelles; gestion des rejets d'eaux pluviales avec notamment la mise en place, au niveau du sous-bassin versant de la plateforme ITER, d'un séparateur d'hydrocarbures au niveau du bassin d'orage de la plate-forme ITER ; gestion quantitative des rejets d'eaux pluviales en veillant à éviter la submersion de la plateforme ITER et des zones en aval hydraulique du site.

ITER a un impact très faible sur le régime des eaux en aval du site. L'impact des rejets dans le milieu naturel est minimisé par l'introduction d'ouvrages qui dissipent l'énergie au droit de l'émissaire des eaux pluviales.

Impact chimique des effluents liquides

Les concentrations ajoutées dans l'environnement par voie liquide sont faibles, voire très faibles par rapport aux concentrations mesurées en amont. Les concentrations ajoutées dans la Durance seront inférieures aux seuils de référence notamment ceux qui ont été fixés par les normes de qualité environnementale (NQE). L'impact environnemental des rejets par voie liquide n'engendre pas de risque pour la population. L'impact sanitaire des rejets par voie liquide est également très faible et considéré comme acceptable et non préoccupant. L'étude montre que les rejets chimiques par voie liquide d'ITER n'occasionneront pas de risque pour la population.

Ces objectifs sont en cohérence avec les prescriptions du Schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE).

Impact sur le milieu terrestre**Pendant le chantier**

Des dispositions sont prises pour limiter la pollution accidentelle des milieux terrestre et aquatique qui résulterait d'une perte accidentelle de carburant (ou de lubrifiant) par des engins de chantier. Des moyens de rétention et de collecte des eaux de ruissellement sont mis en place.

Des mesures de préservation ont également été mises en place pour préserver les espaces naturels sur le site. La campagne de débroussaillage se limitera aux dispositions réglementaires de prévention du risque d'incendie externe.



Vue de Saint-Paul-lez-Durance

Impact sur le paysage

Le site d'ITER, situé à la limite nord-est du CEA/Cadarache, est bordé par la forêt domaniale de Cadarache qui s'étend sur une partie des communes de Saint-Paul-lez-Durance, Vinon-sur-Verdon et Ginasservis. Pour limiter l'impact visuel du bâtiment tokamak qui s'élèvera à une cinquantaine de mètres environ au-dessus du niveau du sol, un soin particulier sera apporté au traitement de ses façades, tant par le choix des matériaux que par celui des textures et des couleurs.

Impact lié aux nuisances sonores

Durant la phase chantier

Du fait de l'éloignement des premières habitations (Vinson-sur-Verdon à environ 3 km), les nuisances sonores engendrées par le chantier (circulation de camions, engins de chantiers, grues, compresseurs et matériels pneumatiques, signaux sonores d'avertissement indispensables à la sécurité du chantier) n'affecteront pas les riverains.

Les installations du CEA/Cadarache seront aussi suffisamment éloignées pour ne pas être affectées par ces bruits.

Les mesures de bruit réalisées aux limites du périmètre d'ITER ont confirmé que la source principale du bruit est liée au trafic automobile.

Le niveau sonore mesuré à 7 mètres de l'engin et à 1,50 mètre du sol à charge nulle est variable selon la nature du véhicule :

- de 75 à 100 dB(A) pour les engins d'extraction,
- de 80 à 100 dB(A) pour les engins de chantiers,
- de 80 à 95 dB(A) pour les engins de transport.

Au niveau du bruit, si l'audition est en danger à partir de 85 dB(A) d'exposition quotidienne, des niveaux inférieurs peuvent être fatigants, ce qui n'est pas sans risque pour la santé. Les effets physiologiques non auditifs du bruit sont le stress, les palpitations cardiaques, l'élévation de la tension artérielle, les troubles gastro-intestinaux.

Durant les phases expérimentales

Dès la phase de conception des mesures d'atténuation du bruit sont prises en compte pour les différentes phases du projet : assemblage, essais, exploitation et démantèlement. Cette exigence projet est ainsi maintenue et s'applique à chaque phase du projet ITER : conception, construction, exploitation et démantèlement.

Impact lié aux transports

Durant la phase chantier

Durant la phase de construction de l'installation, le trafic routier sur la RD 952 sera lié à la présence d'environ 3 000 personnes sur le site en période de pointe.

Les transports des composants très exceptionnels, destinés au cœur de la machine (ponts roulants, bobines d'acier, câbles...) emprunteront l'itinéraire adapté de Fos-sur-Mer à Cadarache. Leur gestion sera organisée de manière à limiter les nuisances générées par les coupures de routes et les déviations. Les transports s'effectueront de nuit.

Durant les phases expérimentales

Le trafic routier généré par ITER sera lié aux transports du personnel (environ 1 000 personnes) et aux transports de matériels ou colis entrant et sortant de l'installation (notamment l'approvisionnement en tritium, l'évacuation des déchets).

Le nombre de transports de tritium est évalué à moins de dix par an. Les transports de matières radioactives qui empruntent la voie publique en France s'effectuent en application de la réglementation relative au transport des marchandises dangereuses par route. Les emballages de transport utilisés seront adaptés à la nature et à la quantité des matières qu'ils contiendront. Ils intégreront les dispositions de prévention des risques et de protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les effets des rayonnements ionisants.

Concernant le transport du personnel d'ITER Organization, le flux ne modifiera pas de façon significative celui de la RD 952 dont les comptages effectués en 2008 par la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) des Bouches-du-Rhône indiquent un trafic moyen d'environ 7 200 véhicules/jour au nord de l'entrée du CEA/Cadarache.

Des mesures d'incitation au covoiturage et à l'utilisation des transports en commun sont mises en place, à l'instar de celles que prévoit tout plan de déplacement d'entreprise mis en place au titre du plan de protection de l'atmosphère des Bouches-du-Rhône.

Impact sur l'écosystème et études Natura 2000

Durant la phase chantier

Plusieurs études environnementales ont été réalisées en amont des travaux de viabilisation. Elles ont conduit à mettre en place des mesures d'atténuation des impacts sur le site ITER : préservation d'espaces abritant des espèces protégées, modification de l'emplacement d'équipements techniques (rond-point d'accès au site, station d'épuration...). Des mesures compensatoires sont également mises en œuvre (cf page 12). Ces mesures seront maintenues durant toute la phase de construction des bâtiments et des installations techniques.

Compte-tenu de la proximité entre le site ITER et le site Natura 2000 de la Durance, l'étude d'incidences réalisée conformément à la réglementation européenne (directives Habitats et Oiseaux) a démontré l'absence d'incidence significative du projet ITER sur le réseau Natura 2000.

Pendant les phases expérimentales

L'impact sur l'écosystème pendant la phase d'exploitation sera le même que pendant la phase de chantier.

Impact sur le milieu atmosphérique Impact chimique des rejets d'effluents gazeux

Durant la phase chantier

Il ressort de l'ensemble des études que les installations de chantier ne sont pas de nature à présenter des risques pour la santé, du fait notamment des dispositions qui ont été prises en matière de prévention et de protection.

Pendant les phases expérimentales

A l'exception de l'injection d'ozone destiné à prévenir le risque de légionellose au niveau des tours de refroidissement, toutes les autres sources de rejets d'effluents chimiques par voie atmosphérique sont inférieures ou égales à celles qui ont été prises en compte lors de la phase non nucléaire pour laquelle l'impact a été jugé très faible.

La concentration en ozone étant près de 100 000 fois inférieure à la valeur toxicologique de référence (0,000015 mg/m³), on peut en conclure que l'impact environnemental des rejets atmosphériques d'ITER respecte les limites définies dans l'article R221-1 du code de l'environnement relatif à la qualité de l'air, et ce, pour l'ensemble des substances émises. L'impact environnemental des rejets atmosphériques d'ITER n'entraîne pas non plus d'impact sanitaire à court, moyen ou long terme.

Impact des rejets d'effluents radioactifs gazeux

Pendant les phases expérimentales

Après traitement et filtration, les effluents gazeux radioactifs générés par ITER transiteront par la cheminée du complexe Tokamak, qui est équipée de filtres très haute efficacité. Ces effluents, pris en compte dans l'évaluation de l'impact atmosphérique, contiendront du tritium, des produits de corrosion activés, des poussières et des gaz activés (carbone 14, argon 41).

Les valeurs maximales d'activité ajoutées dans l'air par ces rejets (en Bq/m³ d'air) ont été calculées en prenant comme référence les années de maintenance lourde. Elles demeurent contenues à des niveaux relativement bas : 2,8 Bq/m³ pour le tritium, 0.0016 Bq/m³ pour le carbone 14, 0.0096 Bq/m³ pour l'argon 41, et 0.000005 Bq/m³ pour les autres émetteurs.

Le niveau maximal de l'activité radiologique est estimé à 900 TBq durant les opérations qui génèrent les rejets gazeux les plus importants - maintenance lourde d'équipements et, dans un degré moindre, opérations de fonctionnement en plasma deutérium-tritium. Ces opérations de maintenance lourde, comme le changement complet du divertor, pourront durer six mois. A partir de 2030, trois interventions de cette nature sont programmées au cours de la vie de l'installation.

Terme source gazeux	TBq/an	Orientation par rapport à ITER
Tritium (HTO)	220,0	Nord-Ouest
Gaz rares - Argon 41	5,0	Ouest
Carbone14 (CO ₂)	5,4	Ouest / Sud-Ouest
Autres émetteurs β et γ	0,002	Nord-Est

Rejets gazeux d'exploitation estimés sur une période d'une année sans maintenance lourde. En phase de maintenance importante, la quantité de tritium passera de 220TBq à 900TBq.
1 TBq = 10¹² Bq = 1000000000000 Bq

Impact sur le milieu aquatique

Durant les phases de chantier et expérimentales

Les impacts des prélèvements et des rejets d'effluents liquides produits lors de la phase nucléaire sur le milieu aquatique sont identiques à ceux de la phase non nucléaire, hormis les volumes de prélèvements d'eau destinée aux systèmes de refroidissement et les rejets d'effluents chimiques via ces systèmes de refroidissement.

Impact du prélèvement d'eau

Durant les phases de chantier et expérimentales

Le prélèvement de 3 millions de m³ d'eau destiné au circuit de refroidissement n'aura pas d'impact pour les autres usagers du canal de Provence, dont la capacité est de l'ordre de 150 millions de m³ par an.

Impact thermique des rejets d'effluents

Durant les phases expérimentales

L'élévation de la température de l'eau dans la Durance, du fait du rejet des effluents générés par les tours de refroidissement, sera inférieure à 0,65°C, en hiver et à 0,12°C en été. Ces écarts sont du même ordre de grandeur que les variations saisonnières ou journalières. Dans tous les cas, la température de la Durance ne dépassera pas 30°C. L'impact sur l'écosystème est ainsi négligeable.

Impact chimique des effluents liquides

Durant les phases expérimentales

A l'exception du phosphate de zinc, ajouté aux circuits de refroidissement pour en minimiser les risques de corrosion, et du fer issu de la passivation des circuits, toutes les autres sources de rejets d'effluents liquides chimiques seront inférieures ou égales à celles qui ont été prises en compte lors de la phase non nucléaire et pour lesquelles l'impact a été jugé non préoccupant.

Pour ce qui concerne le zinc et le fer, les concentrations ajoutées des rejets en Durance sont inférieures aux seuils de référence, notamment les normes de qualité environnementale. L'impact environnemental des rejets par voie liquide est donc non préoccupant. Le effluents de béryllium sont inférieurs à ceux de la phase de construction (cf page 27). Comme pour la phase de construction, l'impact sanitaire des rejets de substances chimiques émises par ITER et qui présenteraient un risque toxique, est donc négligeable, tant pendant la phase non nucléaire que pendant la phase nucléaire.

Impact radiologique des effluents liquides

Durant les phases expérimentales

Pour une année sans activité de maintenance lourde, l'impact des effluents liquides radiologiques a été estimé aux valeurs annuelles suivantes :

- 5 Bq/l pour le tritium,
- 0,0014 Bq/l pour le carbone 14,
- 0,0015 Bq/l pour les autres émetteurs $\beta\gamma$.

Pour les années au cours desquelles des opérations de maintenance lourde seront effectuées la concentration en tritium serait 4 fois plus élevée.

La quantité estimée de radioéléments de tritium apportés par l'eau de pluie à la Durance et récupérée dans l'atmosphère, est déjà prise en compte dans les calculs d'impact des effluents gazeux.

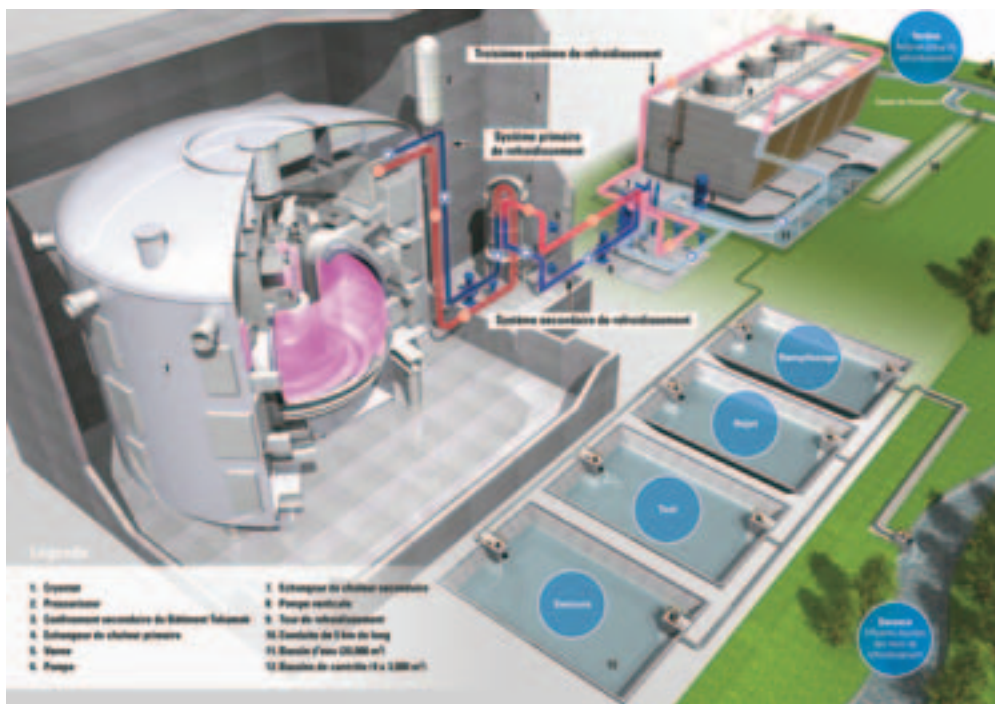


Illustration du système d'évacuation de la chaleur d'ITER

Impact sur le milieu terrestre

Durant les phases expérimentales

Les estimations des concentrations dans le sol de radioéléments issus des rejets d'effluents liquides et gazeux d'ITER, montrent que les valeurs maximales sont obtenues au Hameau de Cadarache. Après la cinquième année de fonctionnement pour les années sans activité de maintenance lourde, ils s'établissent aux niveaux suivants :

- 32 Bq/kg en tritium,
- 1,144 Bq/kg en carbone 14,
- < 0,001 Bq/kg pour les autres émetteurs βγ.

La concentration en tritium serait 4 fois plus élevée pour les rares années avec maintenance lourde (3 interventions d'une durée de six mois, 3 fois dans la vie d'ITER). La quasi-totalité de l'activité ajoutée dans le sol sera due au tritium.

Impact sur la chaîne alimentaire

Durant les phases expérimentales

L'évaluation de l'impact sur la chaîne alimentaire des rejets d'effluents gazeux et liquides issus de l'installation ITER conduit, pour les années sans activité de maintenance lourde, aux valeurs ci-dessous.

	Activité annuelle ajoutée dans les aliments (Bq/kg ou Bq/l) (Rejets gazeux et liquides)						
	Légumes	Fruits	Céréales	Lait	Œufs	Viande	Poisson
HTO	49	46	37	197	6	1	11
C14	0,7	0,68	1,3	0.37	1,1	1,1	7,1
Autres émetteurs βγ	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,42

Activités annuelles ajoutées dans les aliments à Saint-Paul-lez-Durance

2.3 Etudes des effets sur la santé

Les études des effets sur l'environnement ont conclu à l'absence de risques sanitaires liés aux effluents chimiques gazeux et liquides et de risques sanitaires liés aux nuisances sonores.

L'étude des effets potentiels sur la santé concerne les effets radiologiques des rejets gazeux et liquides. Les populations prises en compte pour déterminer cet impact sont celles de Saint-Paul-lez-Durance, de Vinon-sur-Verdon, de la Maison d'hôtes de Cadarache, du Hameau, des communes de Mirabeau, Corbières, Beaumont-de-Pertuis, Rians, Ginasservis, Jouques, Gréoux-les-Bains, Manosque, Pertuis et Aix-en-Provence. Pour les communes de Saint-Paul-lez-Durance, Jouques (communauté religieuse cultivant son sol et puisant l'eau des puits connectés à la Durance) et Pertuis, les impacts des rejets d'effluents liquides et gazeux radioactifs sur le milieu terrestre sont cumulés ; pour les autres communes, seul l'impact des rejets d'effluents gazeux est pris en compte.

Pour estimer les impacts sur la santé, des hypothèses majorantes ont été retenues. On considère, pour l'ensemble des populations concernées, qu'elles passent 100% de leur temps à l'extérieur de leur habitation.

On considère également que la totalité de leur alimentation (légumes, fruits, lait, viande, poisson...) est issue de productions d'origine locale, sauf pour les populations du Hameau (résidence étudiants du CEA/Cadarache) et de la Maison d'Hôtes de Cadarache (ces deux dernières ne cultivent pas leur sol). On considère enfin que l'eau qu'elles consomment est prélevée dans la Durance.

Les effets sur la santé sont quantifiés par la valeur de la dose efficace, laquelle s'exprime en sievert (Sv). La dose efficace totale correspond à la somme des doses efficaces résultant de l'exposition externe (irradiation) pendant une période donnée et de l'exposition interne pendant cette même période.

Les effets sur la santé sont évalués pour l'adulte, l'enfant âgé de 10 ans et l'enfant âgé de 1 à 2 ans.



Marché provençal

Rejets d'effluents liquides radioactifs

Durant les phases expérimentales

Le tableau ci-dessous présente les résultats du calcul de la dose efficace totale due aux rejets liquides de l'installation après 1 an et après 50 ans de fonctionnement.

Les résultats les plus élevés correspondent à une dose de 0,7 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, soit environ 1 000 fois moins que la limite réglementaire de 1000 μSv pour le public. Ce maximum est atteint pour un enfant de 10 ans vivant à Pertuis.

		Dose efficace annuelle ($\mu\text{Sv}/\text{an}$) (rejets liquides)		
		Enfant âgé de 1 an	Enfant âgé de 10 ans	Adulte
Après 1 an de fonctionnement	Saint Paul Lez Durance	0,06	0,1	0,1
	Pertuis	0,6	0,7	0,6
	Jouques (communauté religieuse)			< 0,01
Après 50 ans de fonctionnement	Saint Paul-lez- Durance	0,06	0,1	0,1
	Pertuis	0,6	0,7	0,6
	Jouques (communauté religieuse)			< 0,01

Doses efficaces annuelles dues aux rejets liquides d'ITER ($\mu\text{Sv}/\text{an}$)

Rejets d'effluents gazeux radioactifs

Le tableau ci-contre présente les résultats du calcul de la dose efficace totale due aux rejets gazeux de l'installation, après 50 ans pour les deux populations les plus exposées ainsi que pour la Maison d'hôtes de Cadarache, qui abrite la population la plus proche du site d'ITER.

La dose maximale annuelle liée aux rejets d'effluents gazeux est estimée à 0,0021 mSv, une valeur nettement inférieure à la limite réglementaire fixée à 1 mSv pour la population. Le tritium sous forme de vapeur d'eau tritiée (HTO) apporte la principale contribution à cette dose (96 %). Les autres contributions sont le carbone 14 (moins de 3 %), l'argon 41 (moins de 1 %).

Cette étude montre également qu'après 50 ans de fonctionnement les résultats sont les mêmes qu'après 70 ans de fonctionnement, et très similaires à ceux que l'on anticipe après 1 an de fonctionnement.

L'ingestion constitue la principale voie d'exposition pour le groupe de référence le plus exposé (Saint-Paul-lez-Durance) (70 % environ de la dose totale). L'inhalation représente moins de 20 % de la dose et le transfert cutané moins de 10 %.

Pour les années sans activité de maintenance lourde, les doses seraient environ 4 fois inférieures (0,6 mSv, pour le groupe de référence le plus exposé (Saint-Paul-lez-Durance).

Les doses reçues par voie liquide sont principalement dues au tritium (90 % environ pour Pertuis et Jouques, 60 % environ pour Saint-Paul-lez-Durance). Le carbone 14 représente 35 % environ des doses liquides à Saint-Paul-lez-Durance et moins de 5 % à Pertuis et Jouques. La dose due aux rejets liquides procède essentiellement de la consommation d'eau (90 % environ de la dose liquide à Pertuis, 65 % à Jouques). À Saint-Paul-lez-Durance, elle procède majoritairement de la consommation de légumes en raison de l'irrigation des champs par la Durance (60 % environ).

	Dose efficace annuelle ($\mu\text{Sv}/\text{an}$) après 50 ou 70 ans (rejets gazeux) pour une année avec activité de maintenance lourde		
	Enfant âgé de 1 an	Enfant âgé de 10 ans	Adulte
Saint-Paul-lez-Durance	0,7	1,5	2,1
Jouques	0,4	0,9	1,2
Mirabeau	0,4	0,9	1,2
Vinon-sur-Verdon	0,4	0,8	1,0
Corbières	0,4	0,8	1,0
Ginasservis	0,3	0,7	0,9
Beaumont de Pertuis	0,3	0,7	0,9
Hameau	0,4	0,6	0,7
Pertuis	0,2	0,4	0,5
Château de Cadarache	0,3	0,4	0,5
Gréoux les Bains	0,2	0,4	0,5
Aix-en-Provence	0,2	0,3	0,5
Manosque	0,1	0,2	0,3
Rians	0,1	0,1	0,2

Doses efficaces annuelles dues aux rejets gazeux d'ITER ($\mu\text{Sv}/\text{an}$) pour les rares années avec maintenance lourde



Rejets d'effluents liquides et gazeux radioactifs

Ce récapitulatif présente l'ensemble des estimations, tous modes de transfert confondus, pour les situations de fonctionnement normal, pour les rares années avec maintenance lourde, en considérant les conditions météorologiques annuelles moyennes mesurées sur le site, et ce pour les populations retenues.

Les calculs ont été effectués en posant comme hypothèse que les populations vivent dans leur commune d'habitation 24 heures sur 24 et 365 jours par an. De plus, il a été considéré que le taux d'autoconsommation (consommation des produits locaux par les populations résidentes) était de 100 % (en dehors du Hameau et de la maison d'Hôtes de Cadarache qui ne se nourrissent pas de produits cultivés sur leur sol) et que les animaux étaient entièrement nourris avec des produits d'origine locale. Le tableau suivant présente les rejets cumulés après 50 ans de fonctionnement.

	Dose efficace totale (μSv) pour les rejets gazeux et liquides après 50 ans de fonctionnement		
	Enfant âgé de 1 an	Enfant âgé de 10 ans	Adulte
Saint-Paul-lez-Durance	0,8	1,6	2,2
Jouques	0,4	0,9	1,2
Mirabeau	0,4	0,9	1,2
Vinon-sur-Verdon	0,4	0,8	1,0
Corbières	0,4	0,8	1,0
Ginasservis	0,3	0,7	0,9
Beaumont de Pertuis	0,3	0,7	0,9
Hameau	0,4	0,6	0,7
Pertuis	0,8	1,1	1,1
Château de Cadarache	0,3	0,4	0,5
Gréoux les Bains	0,2	0,4	0,5
Aix-en-Provence	0,2	0,3	0,5
Manosque	0,1	0,2	0,3
Rians	0,1	0,1	0,2

Doses efficaces annuelles dues aux rejets liquides et gazeux d'ITER ($\mu\text{Sv}/\text{an}$)
pour les rares années avec maintenance lourde

La dose efficace

La dose efficace exprimée en sievert (Sv) mesure l'impact sur les tissus biologiques d'une exposition à un rayonnement ionisant, notamment à une source de radioactivité. Il se définit comme la dose absorbée, à savoir l'énergie reçue par unité de masse, corrigée d'un facteur prenant en compte la dangerosité relative du rayonnement considéré et la sensibilité du tissu.

Pour ITER, la dose efficace calculée (environ 2,3 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ pour un adulte) reçue par les groupes de personnes les plus exposées, lors d'une année enveloppe en terme de rejets, serait environ 100 fois plus faible qu'une radiographie des poumons. Ceci montre que, même en considérant les années avec des activités de maintenance lourde, les rejets de l'installation ITER ne présentent pas de risque sanitaire pour les populations les plus exposées. ITER appliquera une démarche d'optimisation pendant l'exploitation afin de réduire les doses reçues par les personnes du public à des niveaux aussi bas que raisonnablement possible.

Il convient de noter en outre qu'ITER génèrera des effluents liquides radioactifs nécessitant un traitement (jusqu'à 160 m³ par an). Leur impact additionnel serait de 0.1 μSv à Saint-Paul-lez-Durance.

Les rejets liquides et gazeux d'ITER, après 50 années de fonctionnement avec maintenance lourde, conduiront à une dose efficace totale de l'ordre de 2,2 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ pour un adulte à Saint-Paul-lez-Durance, une valeur qui appartient au domaine des très faibles doses.

Le niveau moyen de la dose efficace due à la radioactivité naturelle en France est de 2400 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ (source UNSCEAR) ; la limite de dose annuelle ajoutée admissible pour le public est de 1000 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, hors radioactivité naturelle. (Décret 2002-460 du 04 avril 2002).

Impacts cumulés des rejets du site ITER et des installations du CEA/Cadarache

Une étude a été réalisée pour évaluer les impacts cumulés des rejets d'ITER (liquides et gazeux, radioactifs et chimiques) et de ceux du centre CEA/Cadarache. Cette étude a été réalisée sur la base des données communiquées par le CEA/Cadarache dont ITER Organization n'a pas la maîtrise.

Rejets d'effluents radioactifs

Les calculs de doses efficaces totales ont été effectués pour le groupe de référence (St Paul-Lez-Durance). Le tableau ci-après présente l'impact des rejets radioactifs liquides et gazeux émis par l'ensemble des installations nucléaires de base du CEA/Cadarache auxquels on a ajouté ceux des installations qui ne sont pas encore totalement en exploitation (données fournies par le centre CEA/Cadarache) ainsi que les rejets futurs d'ITER en phase d'exploitation deutérium-tritium pendant cinquante ans et sans maintenance lourde.

	Enfant âgé de 1 an	Enfant âgé de 10 ans	Enfant de 1-2 ans
Rejets atmosphériques	1,7 μ Sv	1,6 μ Sv	1,2 μ Sv
Rejets liquides	3,2 μ Sv	3,4 μ Sv	2,1 μ Sv
Dose efficace totale	4,9 μ Sv	4,8 μ Sv	3,1 μ Sv

Doses efficaces pour les rejets cumulés atmosphériques et liquides des installations nucléaires civiles du CEA de Cadarache et d'ITER
 $1 \mu\text{Sv} = 0.000001 \text{ Sv}$

Pour les rares années avec activité de maintenance lourde à ITER, les valeurs de doses efficaces totales cumulées avec celles des installations nucléaires du CEA/Cadarache seraient inférieures à respectivement 6,5 μ Sv, 5,9 μ Sv et 3,5 μ Sv pour les adultes, les enfants de 10 ans et les enfants de 1-2 ans

Impact chimique cumulé avec les installations du CEA/Cadarache

Des éléments d'information sur l'impact environnemental et sanitaire des rejets chimiques cumulés des installations du centre CEA/Cadarache et d'ITER sont exposés ci-après, en particulier :

- la comparaison avec les seuils environnementaux,
- les indices de risques pour les voies inhalation et ingestion,
- les excès de risques individuels pour les voies inhalation et ingestion.

L'impact des rejets chimiques émis lors du fonctionnement normal par voie liquide et gazeuse a été fourni par le CEA/Cadarache pour l'ensemble de ses installations nucléaires de base.

La comparaison des concentrations annuelles ajoutées par rapport aux limites environnementales (protection des végétaux ou des écosystèmes article R221-1 du code de l'environnement, limites de qualité) montre que les seuils environnementaux sont respectés pour les émissions par voie gazeuse et liquide pour toutes les substances hormis le zinc. La valeur de concentration absolue de ce métal dans l'environnement est toutefois inférieure de plus d'un facteur 100 aux valeurs limites de qualité des eaux brutes. En outre, le CEA/Cadarache et ITER Organization étudient les possibilités de réduction des émissions de zinc.

Les concentrations cumulées ajoutées dans l'environnement et en aval du CEA/Cadarache dans les sédiments respectent également les seuils environnementaux.

Pour ce qui concerne l'impact sanitaire des substances chimiques rejetées par voie atmosphérique et par voie liquide, l'indice de risque cumulé pour l'ensemble des substances chimiques rejetées est inférieur à 1. Le risque est donc considéré comme non préoccupant. L'excès de risque par voie inhalation et ingestion étant inférieur à 10^{-5} , ce risque est lui aussi considéré comme non préoccupant.

Les autres impacts environnementaux cumulés demeureront très faibles (prélèvement total total inférieur à 4,7% du débit des rivières, rejets thermiques n'augmentant pas la température des rivières de plus de 0,50°C en été et de 1,50°C en hiver).

Impact socio-économique

Par les emplois qu'il crée de manière directe ou indirecte autant que par ceux qu'il induit dans le tissu économique local, un très grand équipement scientifique comme ITER favorise le développement du territoire qui l'accueille.

En 2011, près de 500 personnes sont salariées par ITER Organization. A leur côté, quelque 400 personnes, salariés d'entreprises sous-traitantes travaillent également de manière directe pour le projet ITER. A ces emplois directs et indirects s'ajoutent les emplois induits qui ont pu être créés par les entreprises de services, les bureaux d'études, les prestataires avec lesquels ITER a passé un contrat.

Depuis 2007, plus de 1 200 de personnes ont travaillé sur l'ensemble des chantiers liés au projet ITER (construction de l'École internationale Provence-Alpes-Côte d'Azur à Manosque, adaptation des routes entre Berre et Cadarache, viabilisation du site, contrats de services et/ou de travaux conclus par ITER ou l'agence européenne Fusion For Energy). Depuis le démarrage des travaux préparatoires, ces travaux et contrats ont généré une enveloppe de plus de 640 millions d'euros à fin décembre 2010. On estime qu'au plus fort de l'activité de construction des installations et d'assemblage de la machine, de 2015 à 2017, 5 000 personnes environ pourraient être employées sur le site.

Un grand équipement de recherche agit également par effet de synergie sur le développement de l'activité locale : il attire des entreprises de haute technologie, des laboratoires, des structures de formation, etc.

Basé à Cadarache, le pôle de compétitivité Capenergies, dédié aux « énergies non génératrices de gaz à effet de serre » fédère aujourd'hui 450 membres, dont 110 entreprises basées dans la région PACA. En termes d'éducation, une école publique internationale a été créée à Manosque et a ouvert ses portes à la rentrée 2009. À terme, l'École internationale Provence-Alpes-Côte d'Azur rassemblera un millier d'élèves environ depuis la maternelle jusqu'au bac. Ouverte aux enfants des résidents locaux et étrangers, qu'ils soient employés par ITER ou non, elle offrira au moins six sections linguistiques (allemand, anglais, chinois, français, italien et japonais).



Personnel sur le chantier des travaux d'aménagement du réseau hydrauliques

3 | Etude des variantes

3.1 Les choix qui ont déterminé l'implantation d'ITER

En 2000, le site de Cadarache a été proposé par le gouvernement français comme site Européen, candidat à l'accueil du projet international ITER. Plusieurs études ont alors été lancées, dont une analyse des terrains situés à l'intérieur ou à proximité du Centre CEA de Cadarache. La candidature européenne a été formalisée en 2002, puis a fait l'objet d'une évaluation par un groupe d'experts internationaux. La décision de construire ITER à Cadarache, à proximité du Centre CEA, a été prise par l'ensemble des partenaires d'ITER en juin 2005.

Les éléments techniques qui ont prévalu dans la sélection finale sont une surface suffisante pour accueillir l'installation ITER avec 180 hectares disponibles, une bonne qualité du sous-sol, la proximité de la route départementale 952 qui facilite l'accès au site et permet l'acheminement des gros composants, la proximité d'une ligne d'alimentation de 400 kV qui alimente actuellement Tore Supra, la disponibilité de l'eau de refroidissement grâce au canal de Provence et les conditions sismiques et climatologiques au regard de Rokkasho-Mura. Du point de vue scientifique et technologique la proximité du centre de Cadarache présentait un clair avantage de support grâce à la proximité de Tore-Supra et le savoir-faire du CEA dans le domaine nucléaire. Du point de vue socio-économique, la candidature du site décrivait la disponibilité pour les employés d'ITER et leurs familles d'infrastructures scolaires, de services médicaux, ainsi qu'un large spectre d'activités culturelles et de loisirs et une disponibilité de logements pouvant couvrir des besoins très différents.

3.2 Présentation des variantes

Au milieu des années 80, en Union Soviétique, un nouveau projet d'installation de type Tokamak a été lancé, afin de créer des conditions de fusion nucléaire. Il a ainsi été proposé de construire une génération de Tokamaks au sein d'un projet réunissant les plus grandes puissances de l'époque: l'Europe, les États-Unis, le Japon et bien sûr l'Union Soviétique. En 1986, tous ont adhéré au projet piloté l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique).

En Avril 1988, a débuté la phase de pré-conception appelée CDA (Conceptual Design Activities). Cette phase avait pour but de faire la synthèse des résultats des différents programmes existants alors dans les différents pays pour les intégrer dans un projet commun. Cette phase se termina en décembre 1990.

Une nouvelle phase d'ingénierie a eu lieu de 1992 à 1998 (phase d'ingénierie EDA - Engineering Design Activities) afin d'aboutir à une conception plus précise du Tokamak et des risques associés à l'installation. A la fin de six années de travail commun prévues dans l'accord ITER EDA, une conception pour le projet ITER a été développée afin de remplir les objectifs d'ensemble du programme, conformes aux objectifs techniques détaillés, aux approches techniques et au coût cible adoptée par les parties prenantes d'ITER en 1992. Ces parties prenantes ont également reconnu qu'elles pourraient être incapables, pour des raisons financières, de procéder à la construction de l'appareil alors prévu. Un groupe de travail a alors été mis en place afin de proposer des orientations techniques pour d'éventuelles modifications aux objectifs techniques détaillées et l'ensemble des marges techniques, en vue d'établir les options de coût minimum en répondant à l'objectif d'ensemble du programme de l'accord ITER EDA .



Dessin d'intégration du site ITER dans le paysage d'ITER.

En parallèle, suite au départ des États-Unis pour des raisons internes, les trois autres « contributeurs » ont orienté leurs efforts vers la conception d'une installation ayant un coût et des objectifs plus réduits. Une nouvelle EDA s'établit pour le projet et se termine en 2001. Une étude présentant des options de réduction des objectifs techniques et des coûts fut réalisée en considérant différentes variantes qui permettraient de conserver les performances de physique de la machine. Cette phase de redimensionnement a permis, tout en gardant les objectifs scientifiques, de réviser certaines performances, notamment la puissance de fusion et d'aboutir au projet actuel ITER, « le chemin » en latin.



Réunion du conseil de gestion d'ITER en Mai 1999 au Château de Cadarache pendant la phase de redimensionnement d'ITER

Une phase de coordination des activités techniques a ensuite été lancée afin de maintenir l'intégrité du projet, de préparer les procédures nécessaires à la construction et à l'exploitation en commun d'ITER, et de fournir un support technique aux représentants des partenaires chargés des négociations sur le site. L'ensemble de ces activités représente alors le projet ITER tel qu'il est à l'heure actuelle.

Un an plus tard les États-Unis et la Chine rejoignent les négociations qui aboutissent sur le choix d'un site (Cadarache) mais aussi sur la définition des conditions de financement de la construction et sur les contours juridiques de la future entité légale qui est en charge de la réalisation et de l'exploitation d'ITER.

3.3 Choix technologiques retenus

Les performances Evolution technologique

Les choix pour le tokamak

Le résumé de l'évolution des différentes machines vers ITER est représenté sur la figure ci-dessous. Les meilleurs résultats ont été obtenus dans les machines dont la section avait une forme de fève (représentées sur la figure) : Les ions du plasma sont ainsi maintenus plus longtemps et peuvent donc atteindre l'énergie qui va leur permettre de fusionner (temps de confinement des particules et de l'énergie) plus facilement. Les variantes techniques qui ont été écartées pour ITER sont les tokamaks à sections circulaires (cercles sur la figure) qui se sont avérés moins performants par rapport aux résultats de physique des plasmas et les tokamaks sphériques dont la difficulté essentielle consiste à devoir contenir le solénoïde central à l'intérieur de la chambre à vide.

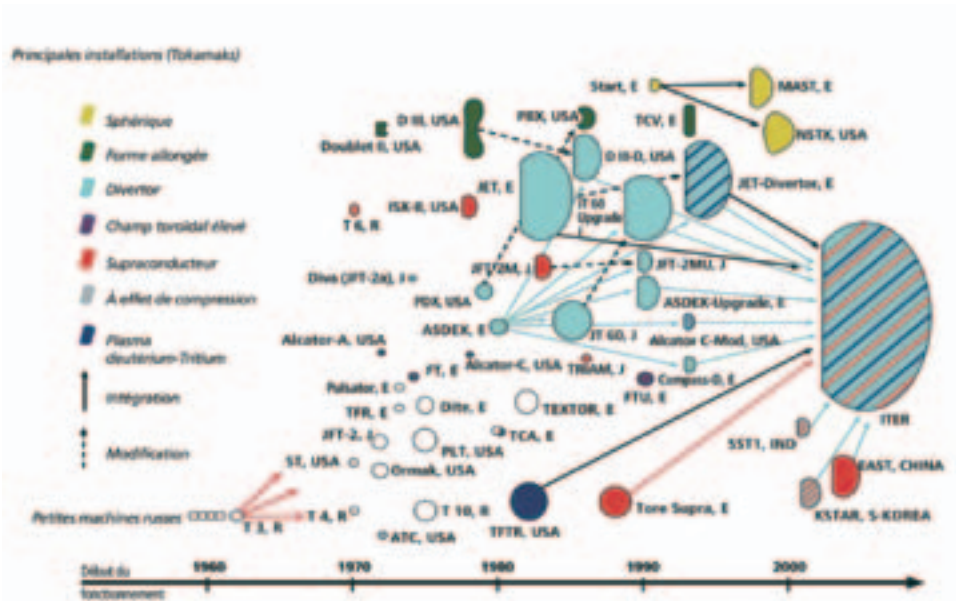
Une modification révolutionnaire dans les tokamaks fut l'installation d'un divertor (bleu clair) suite aux excellents résultats du tokamak ASDEX vers 1980. La solution à l'extraction des produits de fusion fut ainsi fournie par l'introduction du divertor. Le divertor a deux rôles fondamentaux : il est une sorte de cendrier placé sur la partie basse de l'enceinte à l'intérieur de laquelle se produisent les réactions de fusion et récupère les « cendres » produites lors de ces réactions (hélium et autres impuretés) ; il supporte les flux de chaleur les plus élevés (température de surface pouvant monter jusqu'à 2 000 °C) et est constitué de plusieurs milliers d'éléments. Pour cette raison il a été équipé d'un système de refroidissement actif, de l'eau sous pression circule au sein des composants, pour évacuer en continu la chaleur apportée par le plasma. D'autres systèmes comme les limiteurs tel que celui installé sur Tore-Supra, ont été écartés car ils ne fournissent pas de solution d'extraction des impuretés quoique utiles pour l'extraction de la chaleur.

Les aimants supraconducteurs (en rouge sur la figure) permettent d'atteindre la valeur du champ magnétique calculé pour le confinement des particules au centre de la chambre à vide (5,3 Teslas) et un meilleur contrôle de l'ensemble de la configuration magnétique. Le type de conducteur a été choisi pour maintenir les propriétés supraconductrices en présence du champ généré par l'aimant lui-même. Ainsi le matériel supraconducteur Nb3Sn (niobium-étain) doit fonctionner à 13 Teslas sur le solénoïde central et 11,8 Teslas pour la bobine toroïdale. Les bobines poloidales qui produisent des champs magnétiques plus faibles (entre 5 et 6 Teslas) utilisent du NbTi (niobium-titane), plus ductile et moins coûteux. L'intensité du courant dans les 18 bobines toroïdales est de 68 000 ampères par tour (134 tours par bobine). Pour produire le même champ magnétique, un seul tour de câble en cuivre par bobine nécessiterait 9 millions d'ampères avec une dissipation de chaleur proportionnelle au carré de cette valeur. Ceci est technologiquement inconcevable.

Différents matériaux de couvertures des composants internes ont été testés sur ces machines et notamment sur JET. Ces matériaux par érosion du plasma deviennent des impuretés qui peuvent s'accumuler au centre du plasma et réduire ses performances en diluant le mélange combustible ou en le refroidissant. Le choix du béryllium face au bore ou au carbone/graphite pour recouvrir les couvertures internes a été fait sur la base des résultats obtenus : Il protège les couvertures des interactions avec le plasma tout en modifiant au minimum les propriétés du plasma.

Par ailleurs la tenue aux flux thermiques et neutroniques des matériaux de la chambre à vide et des composants internes a été largement investiguée. L'acier choisi, appelé SS 316 L(N) désigné comme la nuance ITER (IG) a été développé pour être le matériau structural principal pour la chambre à vide avec un niveau de cobalt (Co) bas (0,05% comparé à 0,25% pour l'acier standard). Il a l'avantage de produire moins de produits d'activation à vie longue qu'un acier standard et donc un impact positif sur les déchets et leur catégorisation.

La proposition finale pour le tokamak d'ITER aboutit en 2001. La puissance de fusion devrait atteindre 500 Mégawatt. Pour cela le champ magnétique toroïdal devait avoir 5,3 Teslas au centre du plasma et atteindre un courant plasma de 15 Méga-ampères. Ces paramètres conditionnaient à leur tour les dimensions de la chambre à vide. Le rapport final des activités de l'EDA fût publié par l'AIEA, en août 2001.



Evolution des machines de fusion pour apporter les solutions technologiques pour ITER

Les choix pour la détritiation

Les choix technologiques pour les systèmes de détritiation sont intégrés dans la conception d'ITER. Les actions de Recherche et de Développement en cours conforteront les choix établis et finaliseront en 2012.

La détritiation fait partie du cycle du combustible d'ITER. Le tritium et le deutérium sont injectés dans la chambre à vide pour fusionner. Le mélange (quelque dizaine de grammes) remplit la chambre à vide mais la réaction se produit essentiellement au centre du plasma. Le reste du mélange est donc évacué avec les produits de fusion et les impuretés à travers le divertor. Le tritium est récupéré pour être réutilisé. Un système de traitement de combustible entièrement intégré, représentatif du cycle complet du procédé a été testé avec succès avec environ 100 g de combustible aux Etats-Unis, au laboratoire de Los Alamos. D'autres tests et actions de R&D sont en cours au Japon et en Europe.

Le système de manipulation des gaz actifs de JET utilise de nombreuses technologies pertinentes pour ITER et a été utilisé avec succès pour des tirs de tritium sur le Tokamak de JET. Il s'agit d'un système conventionnel de suppression de tritium avec deux sections distinctes : les recombineurs et les sécheurs. La détritiation est réalisée par vaporisation de l'eau d'abord qui est ensuite piégée dans des tamis moléculaires secs qui filtrent l'eau selon que la molécule soit de l'hydrogène, du deutérium ou du tritium et permet de récupérer chaque gaz séparément. Au cours des dernières années, ce système a été utilisé de façon intensive dans l'installation JET, démontrant la faisabilité d'atteindre des facteurs de détritiation d'environ 100.

Sur ITER, en ce qui concerne le système de détritiation de l'air d'ITER, des actions de Recherche et de Développement ont conduit à la validation des systèmes de détritiation de l'atmosphère; elles comprennent un essai à l'échelle réduite sur des colonnes d'épuration utilisées. Le système fournit de très bonnes performances. D'autres solutions technologiques sont également envisagées afin d'optimiser le procédé pour atteindre une efficacité et une fiabilité accrues. Les recherches portent sur l'optimisation du fonctionnement du système dans les conditions normales et en cas d'anomalies de façon à ce que la disponibilité du système soit garantie en toutes circonstances.

L'expérience du JET a également permis de mettre au point les solutions techniques pour la détritiation de l'eau qui a été largement testée et validée grâce à des essais et des expériences conduites dans les laboratoires de Chalk River et Savannah River aux Etats-Unis, à JAEA au Japon, et à Karlsruhe en Allemagne. L'ensemble de ces essais ont permis de valider la possibilité d'adapter le processus du JET aux spécifications d'ITER.

Les infrastructures hydrauliques

Les infrastructures hydrauliques d'ITER ont été conçues dans le but de bénéficier des infrastructures existantes ou de les mutualiser avec celles du CEA/Cadarache, tout en intégrant les composantes économique, technique et environnementale. Par exemple, l'extension du réseau existant du CEA permet de limiter les opérations de maintenance, et assure la disponibilité de l'eau potable en tout point. La séparation des réseaux d'effluents sanitaires et des réseaux d'effluents industriels assure une optimisation de leur traitement chimique en fonction de leur origine et permet de garantir un rejet conforme tant sur les aspects chimiques que radiologiques. Enfin, la réalisation d'un réseau d'alimentation en eaux de refroidissement provenant du Verdon via le canal de Provence mutualisé avec les réseaux des réacteurs de recherche RES et Jules-Horowitz du CEA, présente entre autres avantages celui de réduire les impacts.

Le démantèlement

Dès la phase de conception d'ITER, des dispositions ont été prises pour faciliter la mise à l'arrêt définitif de l'installation et son démantèlement. S'appuyant sur l'expérience du démantèlement de l'installation de fusion TFTR aux Etats-Unis, tout a été conçu, dans la mesure du possible, pour rendre accessibles et démontables les composants d'ITER. De même, les matériaux ont été choisis de manière à minimiser l'activation des composants.

La démarche de sûreté

ITER est la première installation de fusion soumise à la réglementation de sûreté nucléaire des Installations Nucléaires de Base (INB). La démarche de sûreté d'ITER a été intégrée dès la phase de conception. De plus, l'installation ITER bénéficie du retour d'expérience de la construction et de l'exploitation de nombreuses installations nucléaires : machines de fusion actuelles pour tout ce qui concerne les aspects spécifiques à la fusion et installation du JET en Angleterre pour tous les aspects concernant l'utilisation du tritium.

4 | Mesures envisagées pour réduire, compenser et supprimer les conséquences dommageables sur l'environnement

4.1 Nature et ampleur des atteintes potentielles

Les sources d'impacts ont été analysées dans les différentes phases de l'installation : construction, phase d'exploitation non-nucléaire et phase d'exploitation nucléaire. Les sources d'impacts comprennent les rejets liquides et gazeux aussi bien chimiques que radioactifs mais également l'eau de pluie, les odeurs, les bruits et vibrations ; l'impact sur l'environnement, le paysage, la consommation d'eau, l'impact thermique, sur les sols, les nappes phréatiques ; enfin l'impact dû aux déchets générés (conventionnels, radioactifs).

Le fonctionnement des installations existantes et l'analyse des incidents et accidents ont également été considérés. Les risques chimiques principalement liés à la présence de béryllium dans certaines zones de l'installation 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 d'éviter tout risque de dissémination éventuelle de béryllium et ainsi assurer la protection du personnel.

De façon générale les dispositions de prévention, de détection et de limitation mises en œuvre par l'installation ITER permettront de garantir que les rejets liquides et gazeux auront un impact environnemental négligeable.

4.2 Description des mesures de conception prises dans le but de minimiser les atteintes

Les mesures de réduction des effets d'ITER sur la santé et l'environnement ont été intégrées dans la conception de l'installation : mesures de confinement, systèmes de récupération de tritium tels que la détritiation des gaz et de l'eau ; recyclage, tri, collecte et conditionnement des déchets ou encore mesures compensatoires pour les écosystèmes et efforts architecturaux d'intégration dans le paysage.

Pour ce qui concerne le béryllium, diverses dispositions seront mises en œuvre qui sont également applicables, dans certains cas, à d'autres particules radioactives. En effet, les dispositions de confinement vis-à-vis du risque de dispersion de matière radioactives permettent de protéger le personnel d'une exposition

au béryllium, lors des phases de fonctionnement aussi bien avec un plasma formé à partir d'hydrogène (phase non nucléaire) qu'avec un mélange de deutérium et de tritium (phase nucléaire).

Un « zonage béryllium » est défini dès le début de la phase de construction/montage d'ITER. Là où ces opérations présentent un risque important de relâchement de béryllium, des systèmes de confinement spécifiques seront mis en œuvre au sein de zones ou de locaux spécifiques, isolés du reste de l'installation. Des moyens de surveillance seront mis en place : moyens de contrôle atmosphérique fixes ou portatifs et contrôles surfaciques périodiques. Des systèmes de filtration seront également mis en place dans l'installation de manière à réduire le plus possible la quantité de particules dans les rejets gazeux. Ces précautions sont identiques à celles qui sont déjà mises en œuvre dans l'industrie du béryllium, lequel est utilisé, notamment dans les domaines de la construction aéronautique et automobile.

L'installation ITER disposera d'un programme global de surveillance de l'environnement conforme aux prescriptions réglementaires françaises.

4.3 Moyens de surveillance de l'environnement

A l'intérieur de l'installation ITER

Des prélèvements et des mesures de radioactivité sont effectués dans le périmètre de l'installation ITER par l'exploitant. L'eau de pluie sera recueillie et analysée et des échantillons de terre, ainsi que de végétaux seront prélevés. Les rejets gazeux seront contrôlés en continu par des dispositifs de mesure équipés d'alarmes. Les rejets gazeux feront également l'objet de prélèvements en continu mesurés en différé. La surveillance des eaux souterraines sera assurée par des prélèvements effectués avec des piézomètres situés tout autour de la zone d'implantation de l'installation.

Les résultats de ces mesures seront communiqués à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et à l'Institut de radioprotection et de sûreté Nucléaire (IRSN) qui les examineront et en vérifieront la cohérence. Si une anomalie était détectée, ces organismes de contrôle indépendants effectueraient des investigations supplémentaires.

A l'extérieur de l'installation ITER

Un plan de contrôle et de surveillance du site et de l'environnement de l'installation ITER présentera les mesures et les modalités de contrôle mises en œuvre pour la surveillance atmosphérique et la surveillance du milieu aquatique. Les limites de détection associées aux appareils de mesure utilisés pour les mesures de surveillance sont celles des meilleures technologies disponibles.

La surveillance atmosphérique des communes avoisinantes s'effectuera à partir de plusieurs stations fixes, implantées à l'intérieur ainsi qu'à l'extérieur du périmètre du site d'ITER. Elles mesureront en continu la radioactivité de l'air, aussi bien pour le compte de l'exploitant ITER que pour d'autres organismes. En outre, la qualité de l'air est également surveillée en continu (station ATMOPACA sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance). La surveillance du milieu aquatique porte sur les paramètres radioactifs, chimiques et biologiques des eaux de surface, des eaux souterraines, des sédiments et de la faune et de la flore. L'exploitant ITER assurera la surveillance de ces différents paramètres.

Dans tous les cas, les résultats de ces analyses seront mis à la disposition du public et notamment de la commission locale d'information (CLI).



Moyens de surveillance atmosphérique

4.4 Moyens mis en place pour réduire l'impact associé à la fourniture et au transport des matériaux

Afin de réduire son impact, ITER a mis en place une gestion des flux visant à minimiser les transports routiers, tant pour les matériaux que pour les énergies.

4.5 Moyens internes ou externes contribuant à la prévention des nuisances et à la surveillance de leur impact

Afin de limiter les conséquences d'un accident dans l'installation ITER, des moyens d'action seront mis en place en coordination avec des unités comme le service local de sécurité, chargé de la surveillance du site et du contrôle de l'accès ; le service local d'urgence, chargé des interventions d'urgence (par exemple intervention incendie) ; le service de radioprotection, qui assure la radioprotection de l'installation, les analyses radiologiques et la surveillance environnementale ; le service médical, chargé essentiellement de l'assistance médicale d'urgence classique, de la décontamination du personnel et des actions thérapeutiques spécifiques nécessaires en cas de contamination interne ; le laboratoire d'analyses de biologie médicale, équipé d'instruments de mesure pour suivre les effets de l'accident ; le service technique qui gère l'organisation du transport et de l'évacuation du personnel de l'installation.

Les unités concernées par ces actions peuvent être internes à ITER ou externalisées. Des conventions spécifiques peuvent être signées comme celle qui a été mise en place avec le CEA/Cadarache. La convention de site, signée avec le CEA Cadarache mise à jour chaque année, définit les prestations fournies à ITER par les unités d'urgence, le service médical et les unités logistiques et techniques du CEA.

De plus, un Plan d'Urgence Interne (PUI) et un Plan Particulier d'Intervention (PPI), déclenchés en cas d'accident, seront mis en place. L'organisation de la sécurité en cas d'accident sera détaillée dans le Plan d'Urgence Interne (PUI) spécifique à l'installation ITER. Les principales mesures destinées à prévenir, détecter ou limiter les conséquences de situations accidentelles sont décrites dans le rapport préliminaire de sûreté d'ITER.

4.6 Estimation des dépenses correspondantes

Le financement d'ITER est assuré dans le cadre d'un accord international qui prévoit une participation de chacun des sept partenaires du projet. Les coûts de la phase de construction d'ITER sont imputables d'une part à l'activité propre d'ITER Organization et d'autre part, à celle de chacune des agences domestiques des 7 partenaires de l'accord international ITER.

Environ 12,8 milliards d'euros vont être investis pour la construction d'ITER (équipements et bâtiments, recherche et développement, personnel).



Drapeaux des 7 partenaires d'ITER devant le siège d'ITER Organization

Les coûts d'ITER Organization sont estimés à 2,3 milliards d'euros (conditions économiques 2008) ; les coûts qui sont supportés directement par chacun des sept partenaires ne sont pas connus d'ITER Organization dans la mesure où, si l'on excepte les subventions financières que les sept partenaires verseront directement à ITER Organization pour couvrir ses charges (2,3 milliards d'euros), l'essentiel de leur contribution se fera sous la forme d'apports en nature à la construction de l'équipement. La répartition des différents composants à fournir a été établie lors de la signature de l'accord international ITER au mois de novembre 2006. La valeur estimée de la contribution de chacun des 6 partenaires autre de l'Europe, représentait alors 9,1% du coût total de la construction et environ 5 fois plus pour l'Europe (45,4%).

La contribution directe de la France à la construction d'ITER s'établit à 1,1 milliard d'euros (conditions économiques 2008) dont 467 millions d'euros seront assurés par huit collectivités territoriales de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur et le reste par l'État.

Dans la mesure où, dans le domaine nucléaire, les notions de « sûreté nucléaire », « sécurité », « radioprotection » et « protection de l'environnement » sont intimement liées et prises en compte dès les premières études de conception et jusqu'à la mise en exploitation de l'installation, il est difficile de faire la part des dépenses réalisées pour limiter l'impact du projet sur l'environnement et sur la santé. En phase de conception, une dizaine d'ingénieurs a été affectée à plein temps aux études de sûreté et à la production des rapports associés à chacune des phases de conception du projet. L'ensemble des concepteurs (un millier de personnes dans le monde) intègre ces aspects dans les calculs de dimensionnement et de fonctionnement de l'installation.

Il est également difficile de faire la part des montants spécifiques affectés aux équipements directement liés à la sûreté, à la sécurité et à la protection de l'environnement tels que le confinement et les exigences d'étanchéité des différents locaux, la ventilation nucléaire, l'épuration du tritium et des aérosols, la redondance des alimentations électriques, la protection radiologique (épaisseurs des murs, écrans de protection biologique) ou encore la construction parasismique (notamment la mise sur plots parasismiques de l'îlot nucléaire central, etc.)

Des modules test de couvertures tritigènes (ayant la capacité de produire du tritium) seront installés au sein du tokamak. Le financement de ces expériences sera directement assuré par les partenaires demandeurs qui payeront une quote-part des frais d'investissement et d'exploitation et prendront à leur charge la phase ultime de démantèlement et de gestion des déchets associés à leurs expérimentations. Chacune de ces expérimentations fera l'objet d'une analyse de sûreté dont ils assureront le financement.

La phase de cessation définitive d'exploitation sera suivie de la phase de démantèlement, laquelle sera réalisée dans le respect de la réglementation française et sous la responsabilité du pays-hôte, la France. En cohérence avec la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006, relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs ; en cohérence également avec les obligations d'ITER Organization, un fond financier sera mis en place et approvisionné pendant la phase d'exploitation, pour prendre en charge les opérations de démantèlement, la gestion des déchets et la surveillance de l'installation après l'arrêt des expérimentations.

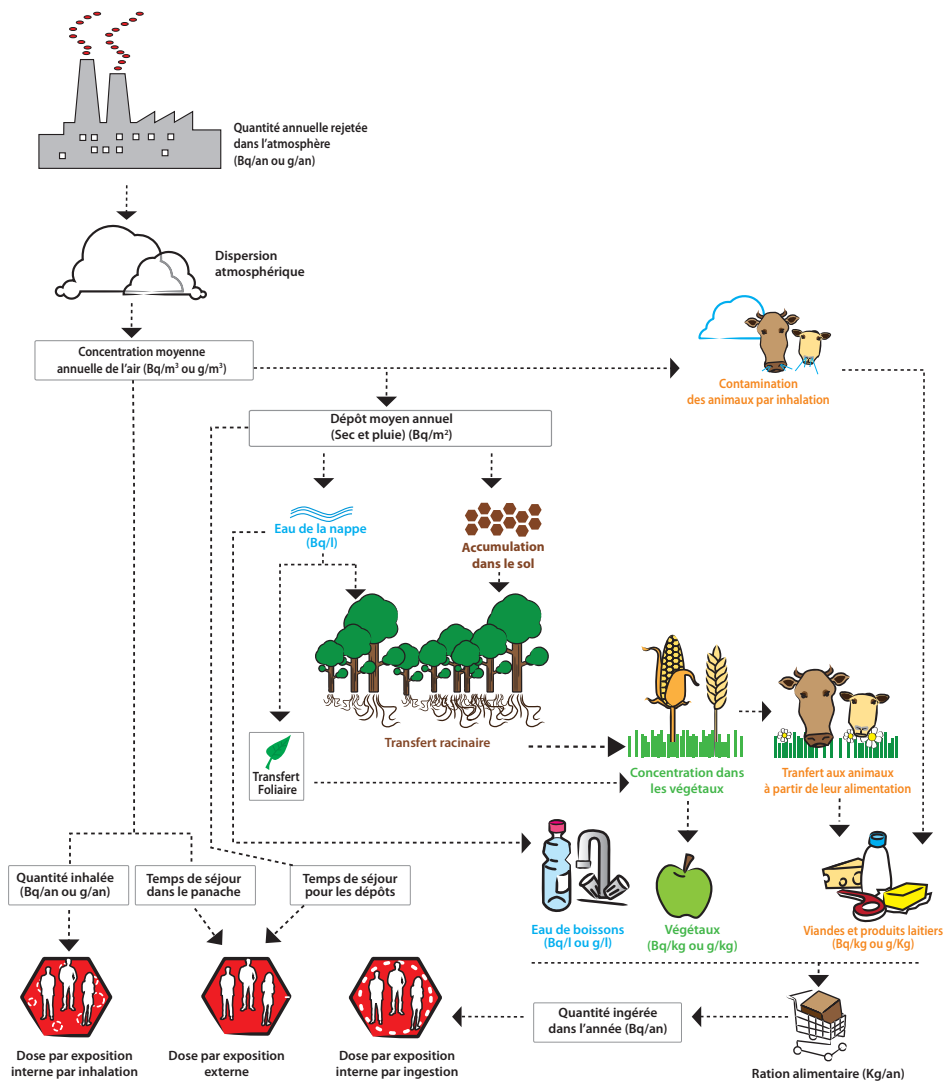
Cette provision, d'un montant total de 530 millions d'euros (valeur en euros année 2001 hors taxe), sera constituée par l'ensemble des partenaires d'ITER (29.4 millions d'euros par an pendant 18 ans). Elle sera transférée aux autorités françaises compétentes au-delà d'une phase de cessation définitive d'exploitation de 5 ans. Cette valeur sera actualisée pendant la phase d'exploitation.

5 Méthodes d'estimation de l'impact d'ITER

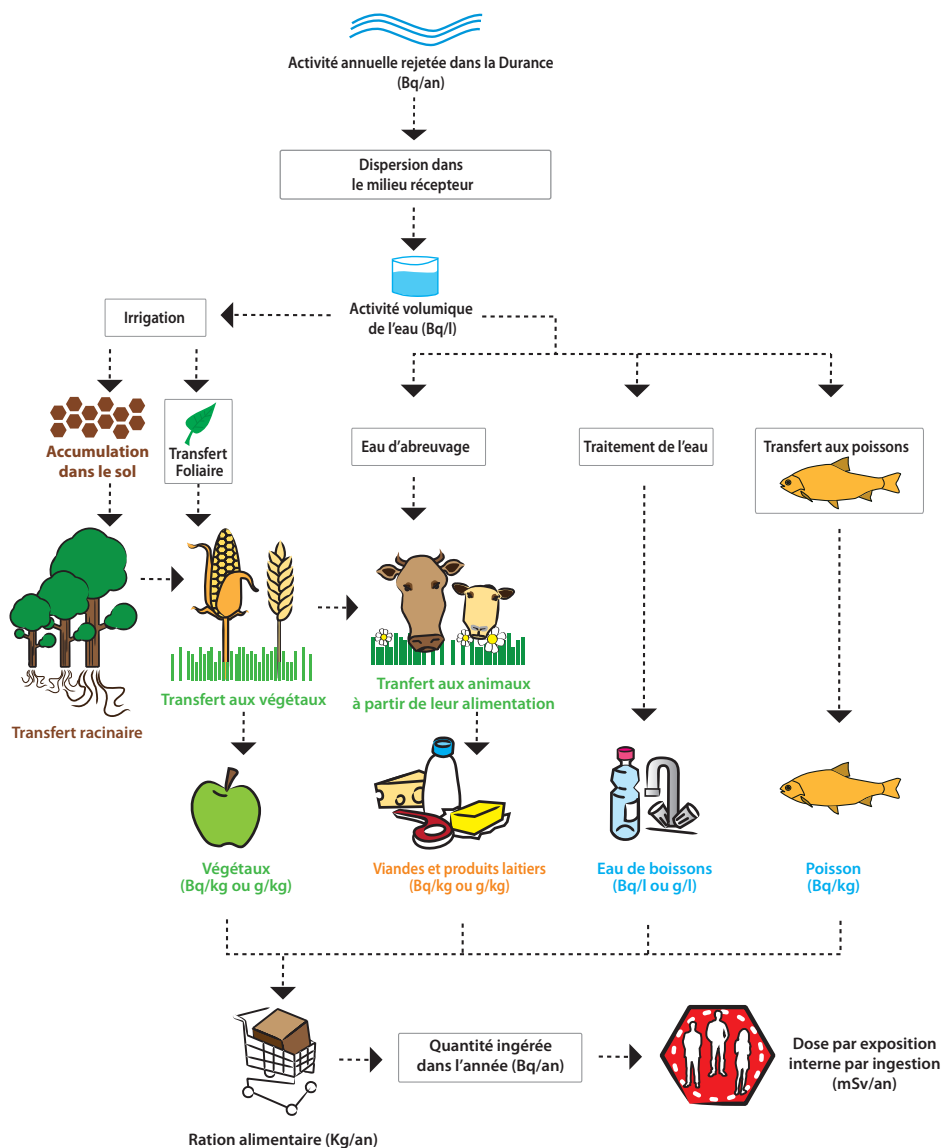
5.1 Démarche adoptée dans l'évaluation de l'impact des effluents radioactifs et chimiques

Des calculs ont été effectués pour déterminer s'il existait un risque potentiel pour la santé des habitants les plus proches de l'installation ITER. Le code de calcul utilisé, appelé CERES, simule l'effet des rejets depuis la source jusqu'à l'homme en passant par toutes les voies de dispersion dans l'atmosphère et dans l'eau, l'ingestion des aliments, les assimilations par voie transcutanée et l'inhalation de la matière en suspension dans l'air ou présente sous forme de gaz.

La figure suivante illustre les différentes voies de transfert des éléments chimiques ou radioactifs rejetés dans l'atmosphère et montrent comment ils arrivent à l'homme. Les différentes voies de transfert d'éléments sont présentées pour les rejets radioactifs liquides et pour les rejets chimiques sur les figures en page suivante.



Les différentes voies de transfert des éléments rejetés dans l'atmosphère.



Présentation des différentes voies de transfert d'éléments pour les rejets d'effluents radioactifs liquides



Présentation des différentes voies de transfert d'éléments pour les rejets d'effluents chimiques liquides

5.2 Conséquences potentielles des rejets d'effluents radioactifs et chimiques dans l'environnement

La méthode d'étude des conséquences potentielles des rejets tient compte du milieu, des conditions climatiques telles que le vent, la pluie, la hauteur des rejets. Sur la figure en page 45, la contamination directe vers l'homme à travers l'air respiré représente l'exposition externe. Les émanations du sol ou de dépôts sur les vêtements produisent une contamination externe. La chaîne alimentaire est également illustrée : elle conduit à une exposition interne par ingestion. Les trois formes d'exposition sont prises en compte pour le calcul des doses sur le long terme, lorsque la population consomme les produits cultivés sur place et l'eau des sources ou rivières voisines. Le cas particulier du tritium est considéré en prenant pour hypothèse que tout le tritium relâché est immédiatement transformé en eau (HTO), une forme chimique plus toxique que l'hydrogène tritié sous forme de gaz (HT), bien que les 2 formes se présentent simultanément. L'hydrogène étant présent dans tous les produits organiques, il peut être remplacé par le tritium donnant ainsi naissance à des molécules où le tritium est organiquement lié. Aucun rejet d'ITER ne contiendra des molécules de ce type.

5.3 Hypothèse de calcul

Des calculs ont été effectués pour déterminer s'il existait un risque potentiel pour la santé des habitants les plus proches. Les études ont porté sur trois sujets-type : un enfant âgé de 1 an, un autre âgé de dix ans et un adulte, habitant les communes voisines, depuis Saint-Paul-lez-Durance jusqu'à Manosque à 20 kilomètres au nord, Pertuis, à 27 kilomètres à l'ouest et Aix-en-Provence à 45 kilomètres au sud.

Pour calculer l'impact de la « dose efficace », un ensemble d'hypothèses « majorantes », c'est-à-dire de situations peu vraisemblables qui créent les conditions d'une exposition maximale, ont été prises en compte.

Dans ce cas, on a considéré que les populations passent 100% de leur temps à l'extérieur de leur maison, qu'elles s'alimentent exclusivement de produits d'origine locale (légumes, fruits, lait, viande, poisson...) et que l'eau qu'elles consomment provient exclusivement de la Durance. Sur la base d'un modèle mathématique, la dose efficace reçue par l'enfant de 1 an, celui de 10 et l'adulte est calculée sur une période d'un an, de 50 et de 70 ans.

5.4 Difficultés rencontrées lors de l'établissement du diagnostic de nature technique ou scientifique

Aucune difficulté particulière n'a été rencontrée. L'étude de l'impact environnemental et sanitaire des rejets d'effluents chimiques gazeux et liquides de l'installation ITER a été réalisée à partir du retour d'expérience de installations similaires à ITER (comme JET), d'installations possédant certaines similarités (comme les systèmes de traitement des déchets) situées dans le Centre Cadarache et également d'installations ayant également réalisé une telle étude récemment (RJH, AGATE, RES...).

5.5 Impact des très faibles doses

Les calculs présentés démontrent que l'impact total dû à l'installation ITER au cours des années de plus forte exposition, et qui prend en compte toutes les voies potentielles, est inférieur à 0,003 mSv/an pour les populations les plus exposées (Saint-Paul-lez-Durance).

Selon le Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des radiations atomiques (UNSCEAR), la dose reçue par le public due à la radioactivité naturelle est de 2,4 mSv/an (1 mSv = 0,001 Sv), comme l'indique le tableau ci-dessous.

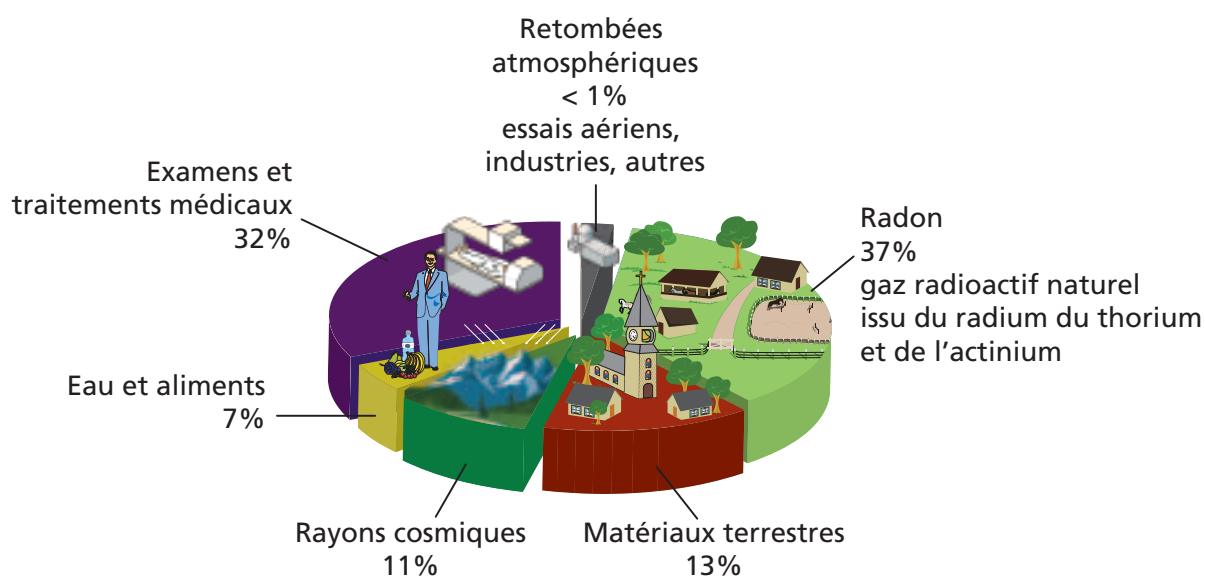
Source	Dose efficace annuelle moyenne mondiale (mSv)
Exposition externe	
Rayonnement cosmique	0,4
Rayons gamma terrestres	0,5
Exposition interne	
Inhalation (principalement radon)	1,2
Ingestion	0,3
Total	2,4

L'estimation de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) pour la France donne les mêmes doses de 2,4 mSv/an en moyenne pour le territoire français. Les doses émises par l'installation ITER pour les populations les plus exposées sont donc environ 1 000 fois inférieures aux doses normales reçues par le public du fait de la radioactivité naturelle.

La réglementation française fixe à 1 mSv/an la dose maximale due à des rejets radioactifs. Cette valeur est considérée comme appartenant au domaine des doses faibles. Pour les groupes de référence les plus exposés, et en tenant compte d'hypothèses pénalisantes, la dose maximale provenant de l'installation ITER est 300 fois inférieure à cette limite réglementaire, ce qui place l'impact d'ITER dans le domaine des très faibles doses.

A titre de comparaison, la dose annuelle provenant d'examens médicaux est de l'ordre de 0,8 mSv/an (source IRSN-2008). La dose provenant de l'installation ITER reçue par une personne appartenant au groupe de référence le plus exposé serait ainsi environ 200 fois inférieure à la dose reçue par la moyenne des Français au titre de leurs examens médicaux.

Ces données montrent que, même en considérant les années avec des activités de maintenance lourde, les rejets de l'installation ITER ne présentent pas de risque sanitaire pour les populations les plus exposées.



Répartition de la dose due aux rayonnements ionisants naturels et artificiels à laquelle la population française est exposée. (4 milliSieverts)



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