

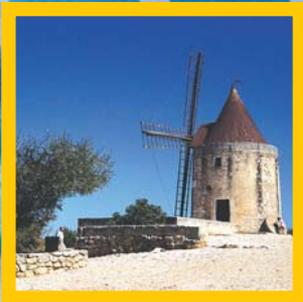


# iter

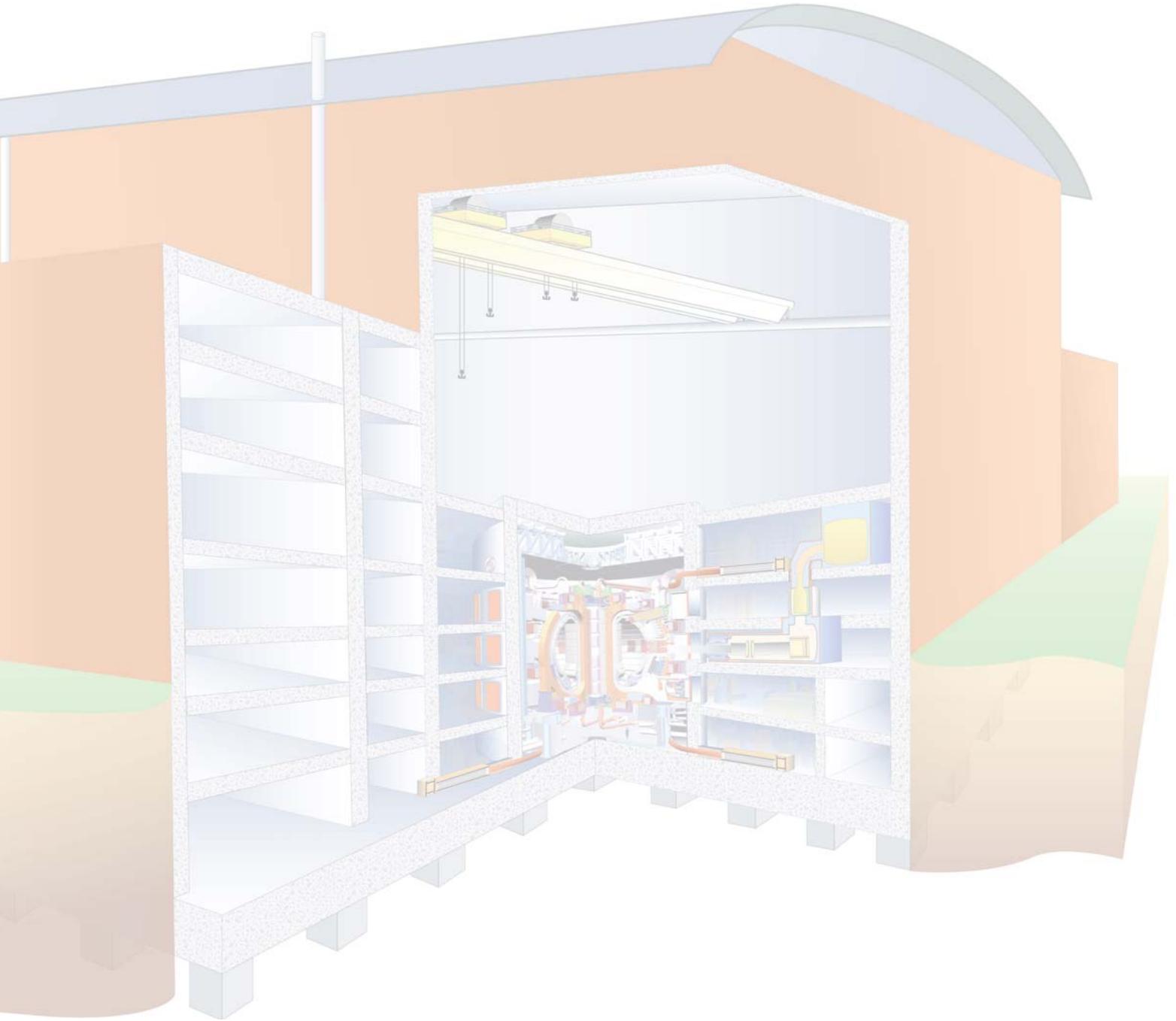
en Provence

Le dossier du débat public





**iter**  
en Provence



# S O M M A I R E

## 1<sup>ère</sup> partie : **iter** 5

### à Cadarache

1. La finalité des recherches sur la fusion .....6
2. Un projet de recherche international .....7
3. Le projet ITER : son évolution, son organisation ..... 16
4. Cadarache, d'une candidature à une décision .....20
5. La description de l'installation ITER à Cadarache.....21
6. Le coût et financement du projet ITER.....27

## 2<sup>ème</sup> partie : **analyse des risques** 32

### Impacts sanitaires et environnementaux du projet

1. Les aspects techniques et réglementaires du projet .....34
2. L'impact sur la santé et sur l'environnement .....44
3. La tenue au séisme .....48
4. L'impact sur le patrimoine, impacts visuels .....49
5. L'impact sur la faune et la flore .....51

## 3<sup>ème</sup> partie : **les enjeux du projet** 52

### dans la région

1. L'aménagement du territoire.....54
2. Les enjeux économiques.....58
3. Les enjeux technologiques, scientifiques et en termes  
d'enseignement et de formation .....60

## 4<sup>ème</sup> partie : **après** 62

### le débat public

- ANNEXES ..... 65
- GLOSSAIRE .....70

Pour les astérisques signalés par une étoile dans le texte (\*)  
veuillez consulter le glossaire en fin de document



## ITER À CADARACHE

<b>La finalité des recherches sur la fusion .....</b>	<b>6</b>
<b>Un projet de recherche international.....</b>	<b>7</b>
Une composante majeure du programme de recherche fusion .....	8
La réaction au cœur de la machine ITER : la fusion nucléaire .....	12
Les principaux dispositifs d'ITER et leur fonction ..	14
<b>Son évolution, son organisation .....</b>	<b>16</b>
Un peu d'histoire .....	16
L'organisation d'ITER .....	17
<b>Cadarache, d'une candidature à une décision .....</b>	<b>20</b>
<b>Description de l'installation ITER à Cadarache .....</b>	<b>21</b>
La localisation .....	21
Les bâtiments de l'installation ITER .....	21
Les alimentations en électricité et en eau .....	21
Le chantier.....	24
<b>Coût et financement .....</b>	<b>27</b>
L'introduction : coût global du projet ITER .....	27
Le coût et financement de la construction.....	28
Le coût et financement de l'exploitation .....	30
Le coût et financement du démantèlement .....	30

Le contexte énergétique mondial est caractérisé par des besoins croissants, une raréfaction des ressources et une prise de conscience de plus en plus partagée des risques environnementaux et climatiques associés à leur utilisation intensive. Le projet international ITER ("le chemin" en latin) représente une étape clé pour la mise au point d'une nouvelle source d'énergie : l'énergie de fusion.

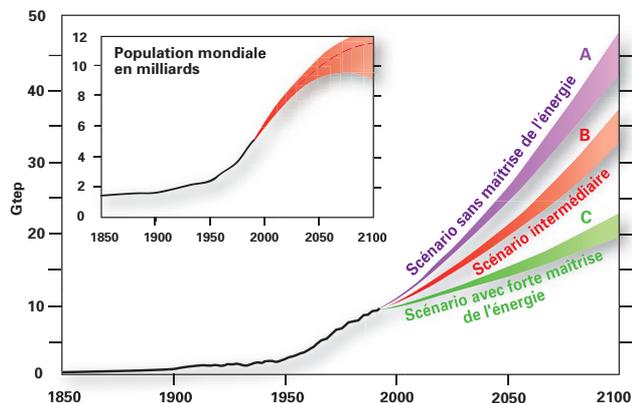
L'énergie de fusion est produite par les réactions qui, depuis des milliards d'années, permettent au Soleil et aux étoiles, de dispenser lumière et chaleur. Dans les environnements extrêmement chauds et denses, comme au cœur du Soleil, la matière atteint des températures et des densités très élevées permettant aux atomes d'hydrogène de fusionner et ainsi de libérer une énergie importante. Cette réaction de fusion se produit dans un plasma\*, le quatrième état de la matière avec les solides, les liquides et les gaz. La force gravitationnelle permet au Soleil de maintenir ces réactions de fusion en son centre à une température proche de 20 millions de degrés.

Ce sont des scientifiques russes qui ont été les premiers à produire un plasma d'une dizaine de millions de degrés dans un réacteur de recherche appelé tokamak<sup>1</sup> en 1968. Depuis, les équipes de recherche européennes et internationales ont permis de valider différents paramètres. Avec Tore Supra à Cadarache, elles ont prouvé que l'on pouvait contrôler un plasma pendant des temps records (plus de six minutes). Avec le JET à Culham (en Grande Bretagne), elles ont obtenu des réactions de fusion d'une puissance de 16 MW. Et avec le JT 60 au Japon, elles ont battu des records de température du plasma (plus de 200 millions de degrés).

S'inscrivant dans l'histoire des recherches sur la fusion, ITER succèdera à une longue lignée de machines ayant atteint, chacune indépendamment, l'une des conditions requises pour obtenir un plasma en combustion : densité, température et durée de confinement. ITER sera la première installation qui réunira simultanément toutes ces conditions. Ses performances permettront d'obtenir suffisamment de réactions de fusion pour produire de l'hélium à haute température qui participera d'une manière significative au chauffage interne du plasma.

En parallèle, d'autres recherches seront nécessaires pour disposer de toutes les briques du futur réacteur produisant de l'électricité notamment la mise au point et la caractérisation de matériaux de structure, puis l'intégration de l'ensemble des éléments dans un démonstrateur préindustriel (DEMO).

<sup>1</sup> Acronyme russe de *Toroidalnaya Kamera c Magnitnymi Katushkami* : machine avec des bobines magnétiques en forme de tore, une sorte de "chambre à air" magnétique.



Source :  
Congrès mondial  
de l'énergie

# Finalité des recherches sur la fusion

La consommation totale d'énergie dans le monde pourrait être deux à cinq fois plus importante en 2100. Toutes les projections économiques montrent que les besoins énergétiques vont continuer à augmenter, même si des économies d'énergie sont mises en œuvre dans les pays développés.

## Des besoins en énergie croissants

Cette augmentation des besoins énergétiques, dont l'amplitude varie selon le type de scénario retenu (niveau de croissance économique, prise en compte ou non des aspects environnementaux...) a deux causes principales :

- l'augmentation de la population mondiale qui pourrait atteindre 9 milliards en 2050 contre 6,4 milliards aujourd'hui.
- l'augmentation des besoins énergétiques des pays en fort développement.

Suivant les scénarios de besoins énergétiques retenus (voir figure), la consommation totale d'énergie dans le monde, de l'ordre de 10 milliards de tonnes équivalent pétrole (10 Gtep) par an aujourd'hui, pourrait être, en 2100, deux à cinq fois plus importante.

## Des réserves en énergies fossiles en baisse

Aujourd'hui, 87% de l'énergie mondiale provient des ressources d'énergie fossiles non renouvelables. En prenant en compte les niveaux de consommation actuels, les réserves prouvées<sup>2</sup> sont évaluées à 43 ans pour le pétrole, à 66 ans pour le gaz et 240 ans pour le charbon.

Les ressources en uranium connues aujourd'hui et raisonnablement accessibles, sont, quant à elles, de 50 à 75 ans sur la base de la consommation actuelle avec les centrales actuellement en fonctionnement<sup>3</sup>. L'utilisation de nouveaux réacteurs nucléaires de fission, dits de quatrième génération, devrait permettre une utilisation optimisée de l'uranium et ainsi une production d'énergie sur plusieurs dizaines de siècles.

Au problème de la diminution des ressources énergétiques s'ajoute la nécessité de lutter contre l'effet de serre, responsable du réchauffement climatique, et donc de limiter le recours aux énergies fossiles fortes productrices de gaz à effet de serre.

En France, le projet de loi d'orientation sur l'énergie, adopté en première lecture par l'assemblée nationale le 1<sup>er</sup> juin 2004, fixe plusieurs objectifs principaux dans la perspective de l'élaboration du "bouquet énergétique" du futur : contribuer à l'indépendance énergétique nationale, mieux préserver l'environnement en particulier grâce aux énergies non génératrices de gaz à effet de serre, garantir un prix compétitif de l'énergie et son accès à tous.

Les recherches sur la fusion, dont le projet international ITER représente une étape clé sur le chemin d'une nouvelle source d'énergie, s'inscrivent dans ce contexte.

Aujourd'hui 1,6 milliard d'individus n'ont toujours pas accès à l'électricité ; ils seront encore 1,4 milliard en 2030 soit 17% de la population mondiale (source AIEA).



<sup>2</sup> A noter que ces durées de vie peuvent probablement être rallongées du fait des progrès réalisés dans l'exploitation de ces ressources.  
<sup>3</sup> Comme pour les autres combustibles ces durées de vie peuvent probablement être rallongées du fait des progrès réalisés dans l'exploration de ces ressources.

# Le projet ITER : un projet de recherche international

L'état des recherches effectuées en Europe, sous l'égide d'Euratom\*, avec entre autres les installations Tore Supra et JET, ainsi que dans le monde avec l'installation JT 60 au Japon et l'installation TFTR aux USA en particulier, permet d'envisager la construction d'une nouvelle machine expérimentale intégrant la plupart des technologies nécessaires à l'échelle d'un futur réacteur à fusion produisant de l'électricité.

Les recherches effectuées jusqu'alors ont été essentielles dans le développement de l'énergie de fusion nucléaire. Elles ont permis :

- de progresser dans la connaissance et le diagnostic (systèmes de mesures) de la physique des plasmas,
- de faire progresser les performances globales des plasmas grâce aux expériences effectuées avec les installations de recherche existantes dans le monde dont le JET et le TFTR,
- de concevoir et fabriquer des composants spécifiques (bobines supraconductrices\*, matériaux capables de résister à des hauts flux thermiques\*, systèmes de chauffage du plasma...),
- de développer des matériaux à faible activation<sup>4</sup> \* et d'étudier leur comportement.

S'appuyant sur les résultats acquis, le passage à une nouvelle étape expérimentale est considéré comme opportun depuis les années 90. D'où le projet international ITER qui rassemble aujourd'hui l'Union européenne, la Fédération de Russie, le Japon, les Etats-Unis, la Chine et la République de Corée auxquels s'est joint l'Inde en décembre 2005.

En faisant la démonstration technique et scientifique qu'il est possible de générer un plasma produisant une puissance de fusion de l'ordre de 500 MW à partir d'une puissance de 50 MW, soit une puissance dix fois supérieure à celle qui aura été injectée, ITER permettra d'aller plus loin dans la validation de la fusion comme l'une des options d'un "bouquet énergétique" du futur. Le déroulement du projet comporte deux phases essentielles :

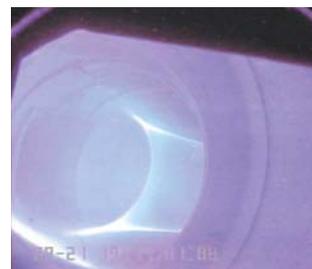
- Environ 10 ans pour la construction de la "machine" et des infrastructures associées,
- Environ 20 ans d'exploitation scientifique, de recherches, de développements technologiques, de validations expérimentales.

A l'issue de la décision de cessation définitive d'exploitation\*, la phase de démantèlement (y compris la phase d'assainissement) est envisagée sur 15/20 ans.

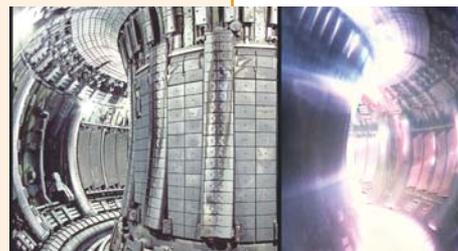
## Sur le chemin du réacteur industriel

**Le JET, à Culham,** est un tokamak destiné à étudier les plasmas de fusion à base d'un mélange de deutérium et tritium : le deutérium est présent à l'état naturel dans l'eau (33 g/m<sup>3</sup>) et le tritium peut être produit à partir du lithium, élément présent dans les roches et l'eau de mer (2 grammes par tonne dans la croûte terrestre et 0,18 g par m<sup>3</sup> dans les océans). Le JET détient le record de la puissance de fusion produite avec 16 Mégawatts (16 MW) pendant une impulsion d'environ une seconde.

**Tore Supra, à Cadarache,** est un tokamak destiné à l'étude des plasmas en régime quasi permanent. Contrairement à JET et ITER, Tore Supra qui fonctionne avec de l'hydrogène et du deutérium, n'utilise pas de tritium : c'est pour cette raison que Tore Supra ne produit pas de puissance de fusion. En revanche il détient le record d'énergie extraite d'un plasma, avec 1000 MJ pendant des durées atteignant près de 6 minutes 30 secondes en décembre 2003. Des performances qu'il doit en particulier à ses bobines supraconductrices qui peuvent fonctionner en permanence et à des composants, développés spécialement, qui résistent à de très hauts flux thermiques et préfigurent ceux dont ITER sera équipé.



Plasma à l'intérieur de Tore Supra



<sup>4</sup> Il reste à éprouver la longévité de ces matériaux en situation réelle. C'est le sens du programme expérimental qui est prévu en complément d'ITER visant à disposer, à terme, d'un équipement de recherche dédié aux études des matériaux soumis à de haut flux de neutrons\*.

## Une composante majeure du programme de recherche fusion

Le projet ITER est l'une des composantes majeures du programme de recherche fusion avec les études sur les matériaux et le projet de développement d'un démonstrateur pré-industriel (DEMO). Il contribue à structurer les recherches scientifiques et technologiques qui se développent dans un cadre international.

Les recherches sur la fusion se caractérisent par une multidisciplinarité allant de la physique des plasmas (recherche fondamentale) jusqu'aux technologies les plus avancées (objectifs technologiques).

### Objectifs scientifiques

#### La physique des plasmas

ITER permettra d'étudier la physique des plasmas. Les résultats obtenus dans ce domaine occuperont une place centrale dans le dimensionnement des installations envisagées après ITER.

Les premières années seront consacrées à l'établissement des principaux paramètres physiques de fonctionnement avec un plasma d'hydrogène et de deutérium. Ensuite, ITER permettra d'étudier un plasma de deutérium et tritium (deux isotopes\* de l'hydrogène) dans l'objectif de :

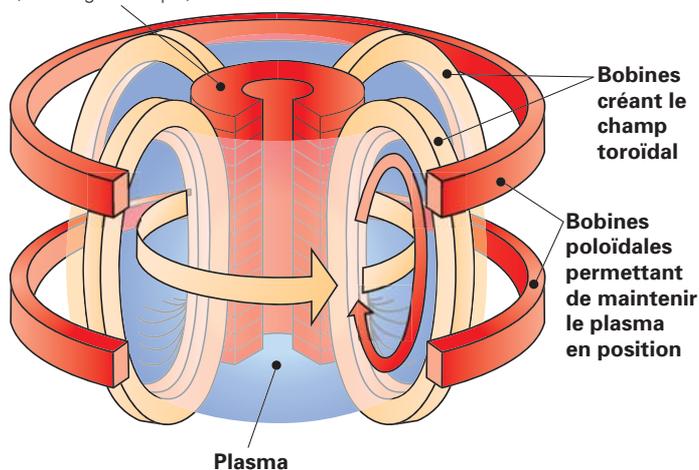
- démontrer scientifiquement et techniquement qu'il est possible de générer un plasma produisant une puissance dix fois supérieure à celle qui lui aura été fournie. Avec ITER, l'objectif est de générer une puissance de fusion de 500 Mégawatts (MW) en injectant 50 durant plus de 6 minutes, soit un coefficient d'amplification de la puissance égal à 10. A titre de comparaison, le JET est parvenu à un record de puissance de fusion de 16 MW avec 25 MW injectés, soit un coefficient d'amplification de la puissance de 0,64.
- démontrer que les réactions de fusion dans le plasma peuvent être maintenues en permanence avec une puissance de fusion réduite.



La physique des plasmas exige la description d'un grand nombre de phénomènes physiques qui couvre des processus de physique atomique et de physique des matériaux. L'objectif de ces études de modélisation est de concevoir un "simulateur" permettant d'interpréter les expériences, de les préparer et de permettre le dimensionnement physique des futures installations.

## Principes d'un tokamak

**Bobine poloïdale créant la décharge électrique**  
(chauffage ohmique)



ITER sera un tokamak. C'est avec cette machine que le principe de l'énergie de fusion par confinement magnétique a été mis au point. Le principe de base pour créer du plasma dans un tokamak consiste à introduire un mélange gazeux et à le chauffer à plus de 100 millions de degrés. Des bobines supraconductrices (bobines poloïdales\* et toroïdales\*) créent les champs magnétiques qui permettent de maintenir le plasma à distance des parois de la machine.

Dans la perspective du dimensionnement et de l'optimisation d'un réacteur pré-industriel (projet DEMO), après ITER, la puissance de calcul des supercalculateurs devrait être augmentée pour modéliser des phénomènes complexes comme les instabilités se produisant à l'intérieur d'un plasma. Pour cela, les puissances de calcul devraient aller de la centaine de Tflops par seconde (1 Tflop = mille milliards d'opérations) à 1000 voire 10 000 Tflops. De tels développements requièrent des experts de haut niveau maîtrisant à la fois des métho-

des numériques avancées et une connaissance approfondie de la physique des plasmas. Une activité qui devrait susciter l'intérêt de chercheurs universitaires et du CNRS leur permettant ainsi d'être intégrés dans les recherches les plus en amont de la fusion.

### Objectifs technologiques

Les objectifs technologiques d'ITER sont de tester des concepts pour les futurs réacteurs de fusion produisant de l'électricité, ce qui suppose le développement de composants spécifiques, de matériaux, de robots...

### L'ingénierie des plasmas

L'ingénierie des plasmas concerne l'ensemble des systèmes et composants nécessaires pour contrôler un plasma et maintenir sa combustion

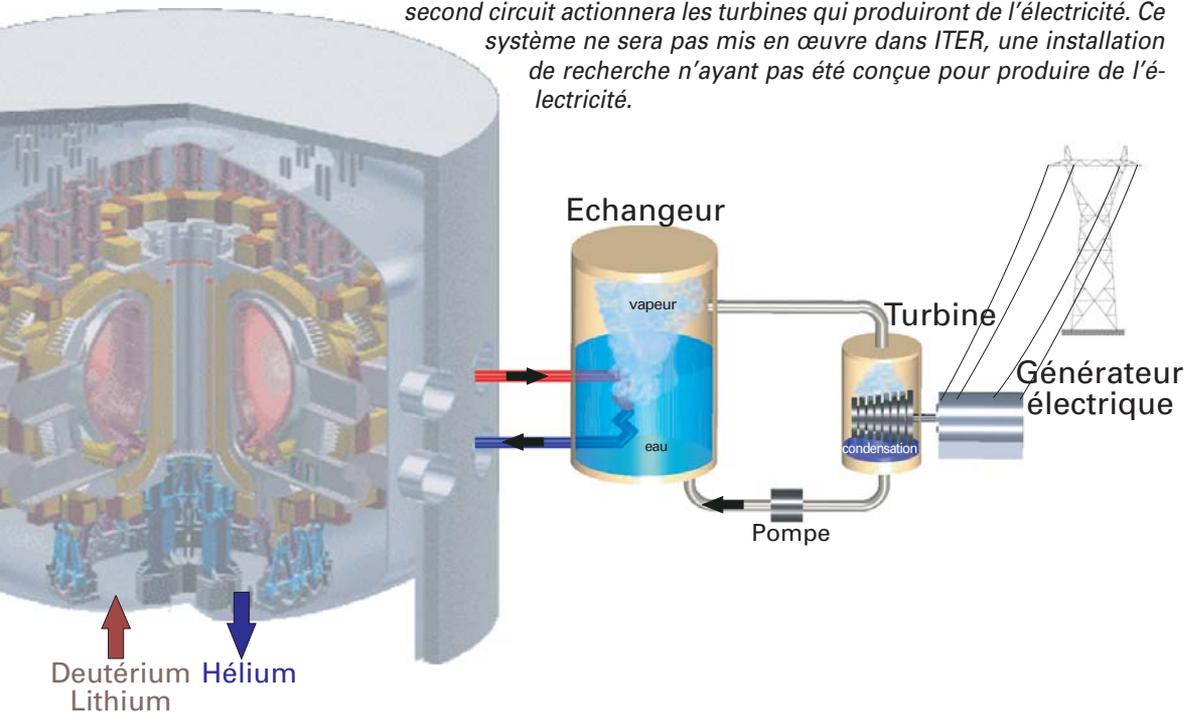
en état stationnaire. Les recherches sur les composants qui forment la première surface matérielle au contact du plasma sont à la frontière entre technologie et physique. Leur développement constitue l'un des défis majeurs pour ITER, puis pour le développement du réacteur produisant de l'électricité.

Ces composants subissent des contraintes thermiques, mécaniques et neutroniques sévères. Actuellement, ceux qui sont mis au point résistent à des températures très élevées et à de très hauts flux thermiques pouvant atteindre jusqu'à 20 MW/m<sup>2</sup> : ce sont des matériaux composites à base de carbone et de cuivre. Ceux qui équipent la première paroi d'ITER ont été testés avec succès dans Tore Supra à Cadarache. Pour ITER, le défi sera double : réaliser des centaines de composants de façon industrielle et répondre à



## Après ITER ?

Après ITER, qui représente une étape clé dans un programme s'étendant sur plusieurs décennies, un prototype industriel (DEMO) produisant de l'électricité devrait être construit à l'horizon 2040 pour démontrer que l'énergie de fusion produite pourra être transformée en électricité dans des conditions industrielles et économiques satisfaisantes. L'un des objectifs technologiques du prototype DEMO consistera notamment à valider le principe de production de tritium, à partir d'éléments en lithium, à l'intérieur de la machine. DEMO utilisera aussi des matériaux capables de résister à des flux de neutrons\* de haute énergie. Il servira également à tester l'efficacité technique et économique du système de production de l'électricité qui consiste à transmettre l'énergie libérée par les réactions de fusion à un circuit de refroidissement (eau sous pression, hélium...). La chaleur ainsi transportée vers un échangeur est alors cédée à un second circuit. Transformée en vapeur d'eau, l'eau de ce second circuit actionnera les turbines qui produiront de l'électricité. Ce système ne sera pas mis en œuvre dans ITER, une installation de recherche n'ayant pas été conçue pour produire de l'électricité.

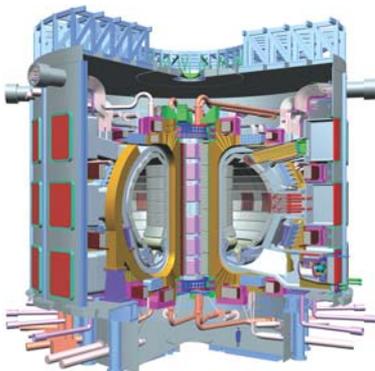


## Principales phases du programme ITER

Les dix premières années d'exploitation seront essentiellement consacrées à la montée en performance d'ITER avec plusieurs phases :

- phase de tests de fonctionnement (environ 3 ans) : cette phase devrait permettre la mise au point de l'installation sur les aspects techniques et physiques.
- mise au point des paramètres de fonctionnement (environ 1 an) : la maintenance robotisée sera nécessaire à partir de cette phase.
- phase de montée progressive des performances technologiques (environ 6 ans) : expérimentations avec un plasma formé de deutérium et tritium avec comme objectif final de générer une puissance de 500 MW durant plus de six minutes à partir d'une puissance de 50 MW ; premiers tests de matériaux et de composants dans la perspective du développement du démonstrateur pré-industriel DEMO...

Les dix années suivantes seront consacrées aux expérimentations visant la réalisation de tests technologiques d'endurance sous flux neutronique. Le programme détaillé sera établi en fonction des résultats obtenus à l'issue de la première phase expérimentale. Il sera régulièrement réajusté ensuite.



toutes les configurations expérimentales choisies. Dans l'optique du réacteur pré-industriel DEMO, il faudra satisfaire, de surcroît, des objectifs de durée de vie, de fiabilité, de sûreté mais aussi des critères économiques.

Un autre volet des études concerne le domaine des systèmes de diagnostics, de mesures et de régulation (température, densité, pression...) qui se développera, dans le cadre d'ITER, dans la prochaine décennie. Ces systèmes sont utilisés pour comprendre les phénomènes intervenant

dans la formation des plasmas et mesurer leurs grandeurs physiques et, en fonction des paramètres obtenus, de rétroagir sur les plasmas pour maintenir leurs performances à un niveau optimal.

### Le système de confinement magnétique

Les bobines supraconductrices\* servent

à générer les champs magnétiques qui permettent de maintenir un plasma à distance des parois de la machine. Elles constituent la pierre angulaire d'ITER : de la validité des choix technologiques effectués et de la qualité de sa réalisation dépendent le succès et la durée de vie des expériences. Si la technologie utilisée pour ITER paraît adaptable ou transposable pour DEMO, les recherches devraient être poursuivies pour une simplification du système et la mise au point de nouveaux matériaux. La difficulté essentielle reste la mise en forme de ces matériaux supraconducteurs (matériaux qui n'offrent aucune résistance électrique).

### Les matériaux de structure

Certains composants internes dans ITER permettront de réaliser des expérimentations de production de tritium à l'intérieur de la machine, étape nécessaire dans la perspective d'un réacteur à fusion produisant de l'électricité.

Des études de modélisation ont permis de démontrer la faisabilité de ce type de composants depuis les années 1990. Les activités de recherche et développement se sont ensuite concentrées sur un nombre limité de concepts et se sont enrichies d'un volet expérimental. Le programme européen est actuellement centré sur la réalisation des deux concepts qui seront installés dans ITER pour valider les grandes options technologiques retenues : le concept "Helium Cooled Lithium Lead" utilisant le lithium-plomb liquide et le concept "Helium Cooled Pebble Bed" utilisant des lits de billes de céramique contenant du lithium. Ces deux concepts sont basés sur l'utilisation de l'hélium comme caloporteur (fluide utilisé pour extraire la chaleur produite par les réactions de fusion) et d'un acier spécial Eurofer comme matériau de structure.

L'enjeu à plus long terme est de disposer des technologies nécessaires à la réalisation d'une couverture complète, composant essentiel du futur réacteur à fusion produisant de l'électricité. Les recherches sur les matériaux représentent un défi technologique pour la réalisation de réacteurs industriels de fusion. Leur qualification dans des conditions représentatives de fonctionnement d'un futur réacteur à fusion produisant de l'électricité est par conséquent un enjeu majeur du développement de la fusion. Ceci nécessite :

- le développement d'un programme de modélisation et des outils expérimentaux de simulation associés.
- la construction d'un équipement de recherche dédié aux études des matériaux soumis à

Le développement de composants spécifiques avec le concours d'industriels, comme ces éléments en composite de carbone dont est équipé Tore-Supra, capables de résister à de haut flux thermiques, a débouché sur des applications pour les freins et embrayages utilisés dans l'aviation, les chemins de fer, l'automobile...



de hauts flux de neutrons\* pour leur qualification. C'est le sens du projet IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) qui pourrait être développé en complément d'ITER dans un cadre international.

- des études liées à l'élaboration des composants (assemblage, soudage, mise en forme...) voire du matériau lui-même (les concepts avancés des futurs réacteurs à fusion utilisent par exemple des composites dont les propriétés thermomécaniques demandent des améliorations constantes).

### La robotique

Actuellement, la robotique n'est pas utilisée à grande échelle dans les installations de recherche existantes à l'exception du JET. L'un des défis d'ITER consistera à devoir se passer de l'intervention humaine à l'intérieur de la machine lorsqu'elle fonctionnera avec du tritium. Pour cela plusieurs projets sont à l'étude dans le cadre de coopérations développées avec des industriels. Pour leur développement, plusieurs contraintes doivent être prises en compte : celles d'un environnement nucléaire et celles plus spécifiques à la fusion, comme des trajectoires complexes, des composants de masse importante à manipuler avec une grande précision dans des espaces réduits, la nécessité de fonctionner à des températures élevées et en présence d'un champ magnétique intense...

Certains développements actuellement effectués en laboratoire portent sur l'adaptation d'un bras télémanipulateur de 30 à 40 cm équipé de pinces à ses extrémités. Dans ITER, il sera dédié aux opérations de découpe, soudage, boulonnage de composants majeurs, comme les cassettes du divertor\*... Parallèlement, les ingénieurs



travaillent à la mise au point de robots d'inspection capables de travailler dans des conditions de vide et de température sévères. Les robots prendraient la forme d'un bras articulé à cinq segments capable de se déployer et de se faufiler à l'intérieur de la machine.

Six robots de ce type seraient nécessaires dans ITER pour inspecter la totalité des éléments internes de la première paroi de la machine, prélever des échantillons ou encore aspirer des particules de poussière. Dans le cadre des études de qualification, un prototype de démonstration est en cours d'élaboration pour être opérationnel sur Tore Supra début 2007.

Le troisième type de systèmes robotisés concerne l'installation et la maintenance des modules de couverture de l'enceinte du plasma. Les pistes explorées visent à réaliser un rail circulaire de 360° qui se déploierait à l'intérieur de la machine. Un chariot satellite, équipé d'un bras télescopique et circulant sur ce rail, devra être capable d'aller chercher l'un ou l'autre des modules.



*Intervention d'un robot dans le JET. L'un des défis d'ITER consiste à devoir se passer de l'intervention humaine à l'intérieur de la machine. Plusieurs robots sont en cours de développement pour des opérations diverses.*

### Accès aux résultats scientifiques

*Le principe du partage des résultats scientifiques reste à établir précisément dans le cadre des négociations internationales. Un point précis pourrait être fait au cours du débat en fonction de l'avancée des négociations internationales. En ce qui concerne les aspects technologiques, tout ce qui sera développé spécifiquement pour le projet ITER sera accessible à l'ensemble des partenaires. En revanche, ce qui a déjà été développé par un partenaire dans le cadre de programmes antérieurs restera sa propriété.*

## La réaction au cœur de la machine ITER : la fusion nucléaire

Deux grands types de réactions nucléaires produisant de l'énergie sont possibles :

- la **fission** de noyaux d'atomes, comme l'uranium, en plusieurs atomes plus légers. C'est la réaction mise en œuvre dans les centrales nucléaires actuellement en fonctionnement pour produire de l'électricité.
- la **fusion** de deux noyaux d'atomes légers (par exemple le deutérium et le tritium, deux isotopes\* de l'hydrogène) pour donner naissance à un noyau d'un atome plus lourd. C'est cette dernière réaction qui sera mise en œuvre dans la machine ITER.

### Principes de la fusion

Pour obtenir une réaction de fusion, il faut réussir à rapprocher suffisamment deux noyaux alors qu'étant tout deux chargés positivement ils ont une tendance naturelle à se repousser. Pour y parvenir, il faut porter et maintenir ces noyaux à des températures qui dépassent la centaine de millions de degrés. A ces températures, les atomes sont ionisés\* et constituent ce qu'on appelle un **plasma\***.

Ce type de réaction de fusion se produit naturellement et abondamment dans les étoiles : une étoile commence à briller quand la matière

en son sein atteint, sous l'effet des forces de gravitation (force de la pesanteur), certaines conditions de densité et de température pour déclencher des réactions de fusion libérant alors de grandes quantités d'énergie. Alors que, dans une étoile, la tendance du plasma à se disperser et à se refroidir est contrebalancée par la gravitation, sur terre, les forces de gravitation sont insuffisantes et la réaction dans ces conditions est impossible. Il n'est pas envisageable non plus de confiner un plasma de ce type à l'aide de parois matérielles. Aucun matériau ne résisterait à des températures de dizaines de millions de degrés.

Une solution consiste à maintenir le plasma dans une "boîte immatérielle" créée par des champs magnétiques, on parle ainsi de confinement magnétique. Le concept le plus développé, dans la voie du confinement magnétique est celui du tokamak. L'ensemble des tokamaks construits dans le monde a permis de progresser continuellement sur les performances de la combinaison des trois paramètres :

- la **température** : comme cela a été vu, une température d'une centaine de millions de degrés est nécessaire,
- le **temps de confinement** de l'énergie : capacité du plasma qui a été chauffé à conserver sa chaleur,
- la **densité du milieu** : les réactions de fusion peuvent se produire dans un milieu de faible densité.

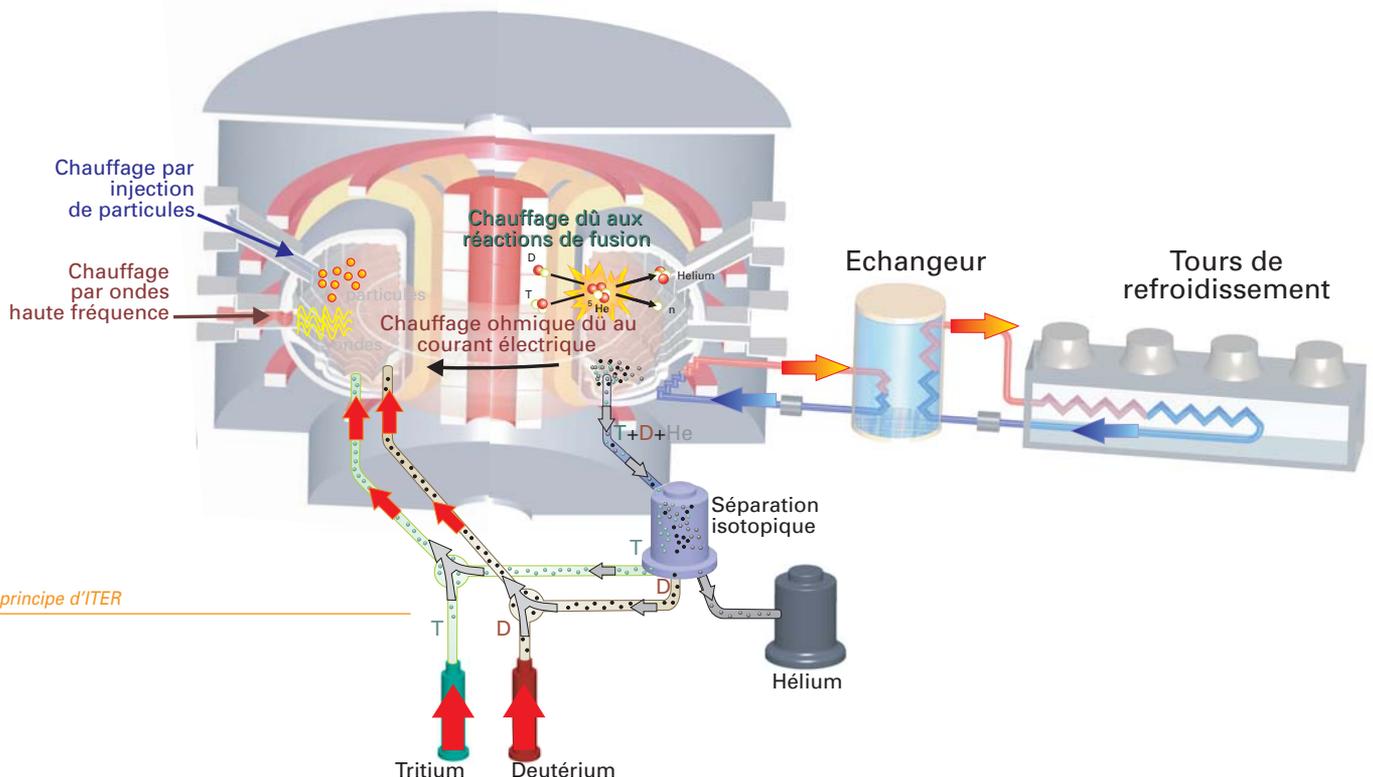


Schéma de principe d'ITER

Pour qu'une machine de fusion produise plus d'énergie qu'elle n'en consomme, il faut que ces trois paramètres dépassent simultanément un certain seuil de performance\*. Dans le cas de la fusion magnétique, les efforts portent sur les paramètres température et temps de confinement.

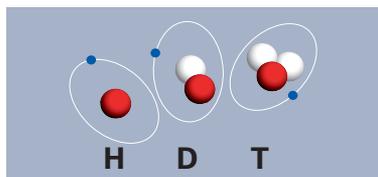
### Réaction de fusion mise en œuvre dans ITER

La réaction de fusion qui sera mise en œuvre dans ITER est la réaction entre deutérium et tritium, deux isotopes\* de l'hydrogène :



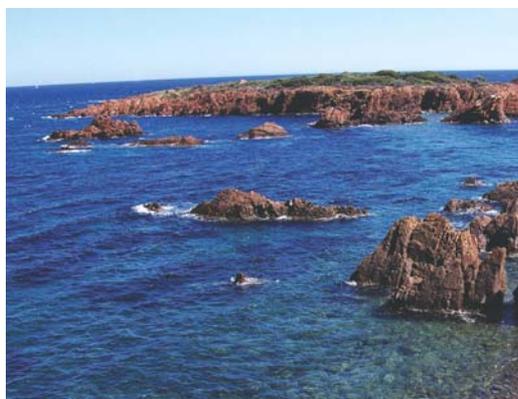
Cette réaction est celle utilisée dans le JET et TFTR. L'expérience acquise dans ce domaine est largement mise à profit pour préparer le fonctionnement d'ITER.

La fusion d'un noyau de deutérium avec un noyau de tritium produit un noyau d'hélium et un neutron et libère une grande quantité d'énergie. L'hélium qui porte environ 20% de l'énergie reste confiné, par les champs magnétiques, dans la chambre à vide, et contribue à entretenir la température du plasma. Le neutron qui porte environ 80% de l'énergie pénètre dans les parois de la chambre à vide où il est freiné et cède son énergie à un circuit d'eau de refroidissement. C'est ce dernier principe qui, dans les futurs réacteurs à fusion, servira à produire la vapeur qui entraînera les turbines pour produire de l'électricité.



celui du deutérium en contient un et celui du tritium en contient deux. Le deutérium (D) et le tritium (T), comme l'hydrogène (H), ont les mêmes propriétés chimiques. Cependant, la différence de masse de leur noyau fait que leurs propriétés physiques se différencient : en particulier le tritium est radioactif, du fait de la constitution de son noyau : il se transforme naturellement en hélium en émettant un électron avec une période\* radioactive de 12,3 ans. Le deutérium est présent naturellement dans l'environnement : l'eau contient 1 atome de deutérium pour 6000 atomes d'hydrogène, soit 30 mg/l. Il n'est pas radioactif. Sa production repose sur des procédés de filtration (par séparation isotopique) qui permettent de séparer l'hydrogène et le deutérium contenus dans l'eau.

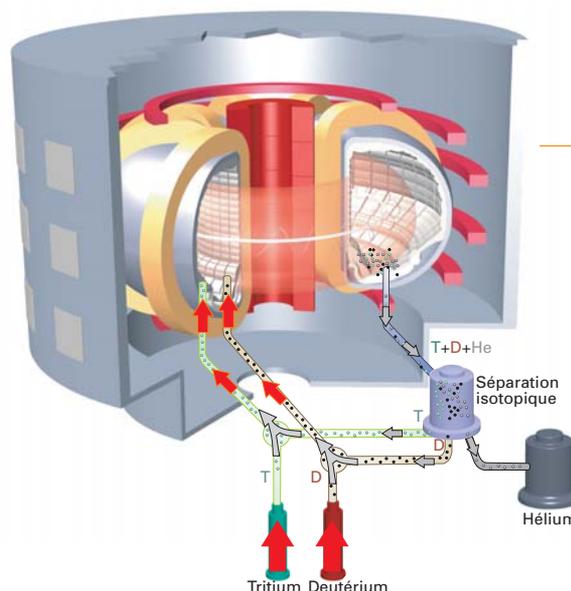
Le tritium n'est présent naturellement dans l'environnement qu'à l'état de traces (un atome de tritium pour  $10^{17}$  atomes d'hydrogène) ; il peut être produit à partir du lithium, élément présent dans les roches et l'eau de mer (2 g par tonne dans la croûte terrestre et 0,18 g par  $m^3$  dans les océans). L'approvisionnement en tritium de l'installation ITER pourrait être assuré, par exemple, selon les modalités déjà mises en place aujourd'hui en Europe pour les besoins du JET en Angleterre. Le tritium utilisé dans le JET provient du Canada qui dispose de réacteurs à eau lourde de type CANDU dont le fonctionnement produit du tritium.



### Le combustible d'ITER

Le combustible d'ITER sera un mélange de deutérium et de tritium, deux isotopes de l'hydrogène : leur noyau, autour duquel gravite un électron, possède un proton.

Le deutérium et le tritium diffèrent par le nombre de neutrons, autre constituant du noyau avec le proton : le noyau d'hydrogène ne



Système de gestion du combustible

## Principaux dispositifs d'ITER et leur fonction

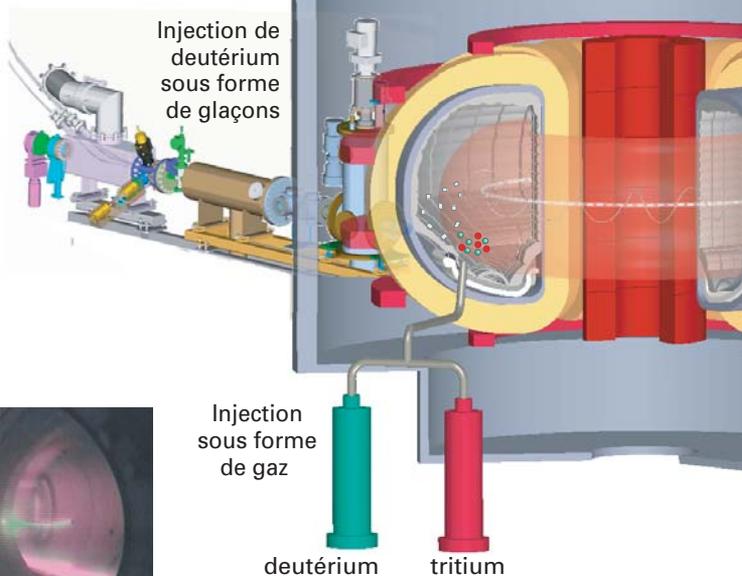
Le principe de base pour créer du plasma dans un tokamak consiste à introduire un mélange gazeux dans une chambre à vide et à le chauffer à plus de 100 millions de degrés. Le plasma créé est confiné à l'intérieur de la machine par des champs magnétiques. Ce sont ces principes maîtrisés qui seront mis en œuvre dans ITER.

### Injection du combustible

Le combustible (mélange de tritium et de deutérium) sera introduit sous forme gazeuse dans la chambre à vide d'ITER au début de chaque expérience par un système d'injection programmé. Une fois le plasma chaud, du combustible sera ajouté sous forme de "glaçons" propulsés au centre du plasma.

La quantité de tritium qui sera mise en œuvre pour les expérimentations chaque année (2 500 expériences par an environ) sera d'un kilogramme environ. A l'intérieur du plasma, la quantité de tritium sera inférieure à un gramme.

Système d'injection du combustible d'ITER

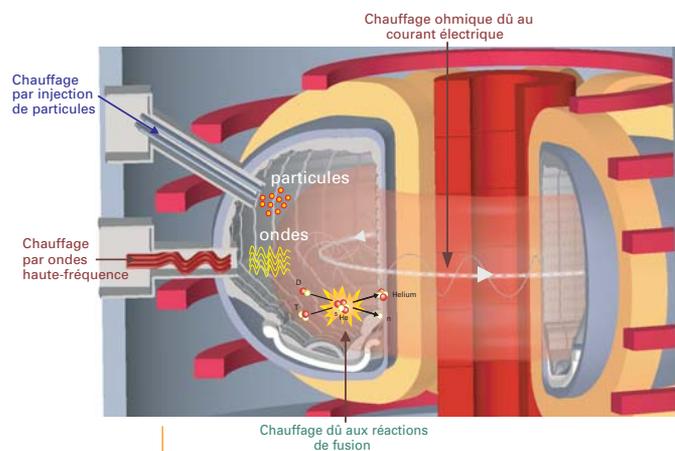


Vue d'un glaçon de deutérium injecté dans un plasma de Tore Supra

### Le chauffage du plasma

Plusieurs modes de chauffage seront mis en œuvre dans ITER pour atteindre les 100 millions de degrés nécessaires aux réactions de fusion :

- le chauffage ohmique qui est généré par le courant électrique induit par les bobines poloïdales\*. Il circule à l'intérieur du plasma et permet ainsi d'assurer le chauffage au début de l'expérience et d'atteindre une température de l'ordre de 10 millions de degrés ;



Différents modes de chauffage du plasma

- les systèmes de chauffages additionnels avec l'injection de particules de deutérium à très haute énergie et des ondes haute fréquence diffusées par des antennes (les ondes communiquent leur énergie aux ions et aux électrons du plasma) ;
- les réactions de fusion une fois déclenchées produisent de l'hélium à haute température qui participe à son tour au chauffage du plasma.

### Le confinement du plasma

Le plasma de deutérium – tritium sera confiné à l'intérieur d'ITER grâce aux champs magnétiques générés par des bobines supraconductrices\*, placées à l'extérieur de la chambre à vide, selon le principe utilisé sur Tore Supra. Les propriétés supraconductrices des bobines permettent de maintenir en permanence la circulation du courant nécessaire à la création des champs magnétiques<sup>5</sup>. Il existera deux types de bobines supraconductrices :

- des bobines toroïdales\* qui servent à confiner le plasma,
- des bobines poloïdales\* qui contrôlent le courant et la position du plasma, et en partie sa température.

La chambre à vide sera couverte de modules de couverture\*, facilement remplaçables, qui seront constitués de matériaux absorbant la

<sup>5</sup> Les bobines supraconductrices fonctionnent à une température proche du zéro absolu (-269°C).

chaleur rayonnée et les neutrons générés par les réactions de fusion. Ils protégeront ainsi les bobines supraconductrices du flux de neutrons garantissant de la sorte leur durée de vie. La chaleur qui se déposera dans les composants internes et dans la couverture sera transférée à l'extérieur de l'enceinte au moyen d'un circuit de refroidissement à eau constitué d'une boucle primaire en contact avec les équipements de la chambre à vide et d'une boucle secondaire récupérant la chaleur pour l'acheminer vers des tours de refroidissement. L'ensemble du tokamak sera enfermé dans un cryostat\* avec des écrans thermiques placés entre les composants à haute température et les bobines supraconductrices à très basse température. ITER sera ainsi la première machine intégrant les technologies essentielles au fonctionnement d'un réacteur de fusion produisant de l'électricité : composants face au plasma, circuit de gestion et de traitement du tritium (dont la détritiation\* des rejets atmosphériques), systèmes de champs magnétiques, robotique\*...

### Le dimensionnement du tokamak ITER

Plus la taille d'un tokamak est importante, plus grande est sa capacité à confiner et chauffer un plasma, ce qui permet d'accroître le coefficient d'amplification de la puissance. La taille d'ITER permettra de générer des plasmas d'un volume de 840 m<sup>3</sup> avec un coefficient d'amplification de la puissance égal à 10 (à titre de comparaison, les volumes des plasmas de Tore Supra et du JET sont respectivement de 25 m<sup>3</sup> et de 100 m<sup>3</sup> ; le JET a atteint un coefficient d'amplification de la puissance de 0,64).

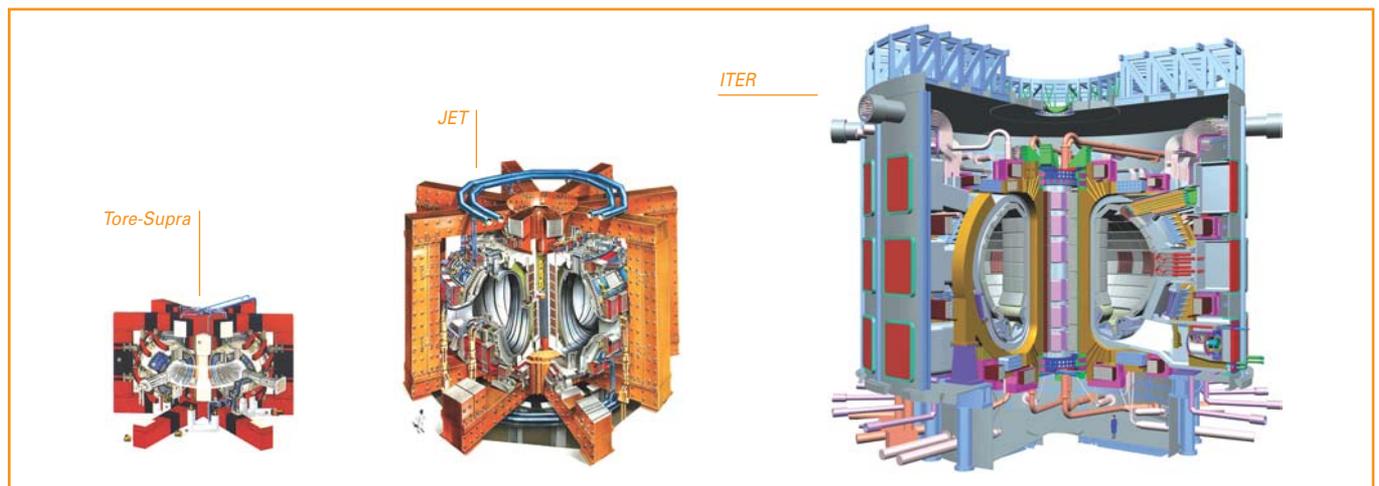
ITER sera le premier tokamak à générer et contrôler des plasmas, chauffés majoritairement par les noyaux d'hélium, produisant une puissance dix fois supérieure (500 MW) à celle

qui aura été injectée (50 MW).

Les facteurs d'amplification de la puissance mentionnés ci-dessus sont estimés au niveau du plasma lui-même. Pour l'étape suivante qui concernera la mise au point du futur réacteur de fusion (prototype DEMO) produisant de l'électricité, les études réalisées montrent que le coefficient d'amplification de la puissance devra être l'ordre de 30 pour une bonne rentabilité énergétique. Ce qui conduira à le dimensionner à une valeur un peu supérieure à celle d'ITER conduisant à une puissance comparable à celle des centrales nucléaires actuelles (environ 1 500 MW électriques).

### Comparaison des paramètres d'ITER à ceux de Tore Supra et du JET

Paramètres	Tore Supra	JET	ITER
Grand rayon du plasma	2,40 m	3 m	6,2 m
Petit rayon du plasma	0,72 m	1,25 m	2,0 m
Volume du plasma	25 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	840 m <sup>3</sup>
Courant plasma	1,7 MA*	5-7 MA*	15 MA*
Champ magnétique	4,5 Tesla	3,4 Tesla	5,3 Tesla
Type de plasma	Deutérium	Deutérium-tritium	Deutérium-tritium
Puissance thermique	Non significative	16 MW (en D-T)	500 MW
Facteur d'amplification de la puissance (Q)	~ 0	0,64	≥10
Puissance neutronique au bord	Non significative	60 kW/m <sup>2</sup>	0,6 MW/m <sup>2</sup>
Durée des impulsions	1000 secondes	10 secondes	> 400 secondes et permanent à puissance réduite

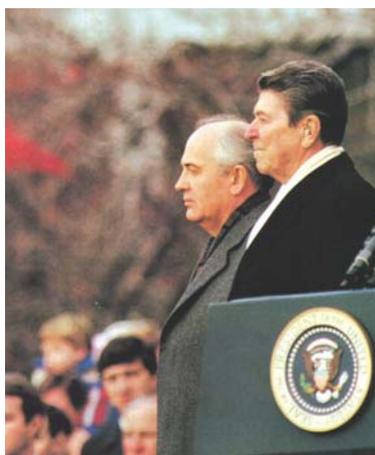


# Le projet ITER : son évolution, son organisation

*L'organisation d'ITER a évolué au cours des différentes phases du projet.  
Un rappel historique s'impose donc en préambule.*

## Un peu d'histoire...

L'initiative d'une collaboration internationale sur la fusion revient au dernier président de l'Union soviétique, Mikhaïl Gorbatchev, qui propose en novembre 1985, à son homologue américain Ronald Reagan de mettre en commun l'expérience de leurs deux pays dans le domaine de la fusion nucléaire pour construire ensemble une nouvelle installation de recherche. L'Union européenne et le Japon, eux aussi très avancés dans ce domaine, adhèrent très rapidement au projet.



Après les premières études conceptuelles, d'avril 1988 à décembre 1990, un accord

international regroupant les quatre partenaires ci-dessus (entre temps, la Fédération de Russie s'est substituée à l'Union soviétique) est signé en juillet 1992 sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

L'objectif de cet accord, appelé ITER EDA ("Engineering Design Activities" – activités de dimensionnement d'ITER), est de réaliser la conception détaillée d'une machine avec toutes les données techniques et budgétaires correspondantes capable de démontrer en particulier qu'il est possible, scientifiquement et techniquement, de produire un plasma produisant une puissance supérieure à celle qui aura été fournie. C'est ce qu'on appelle la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion.

Lors de la remise de ce dossier (juillet 1998), les États-Unis décident de se retirer considérant le projet comme étant trop ambitieux, après avoir honoré leurs engagements.

Les trois partenaires restants se fixent pour objectif de redimensionner, d'ici juillet 2001, le projet tout en gardant ses objectifs scientifiques et moyennant une révision de certaines performances, notamment la puissance.

Un nouveau dossier de dimensionnement est remis en juillet 2001. Le budget, de l'ordre de la moitié de celui présenté en juillet 1998, est cette fois-ci accepté par les trois partenaires (Union européenne, Japon, Fédération de Russie). En parallèle, le Canada fait une offre de site près de Toronto. Les trois partenaires et le Canada décident alors d'ouvrir les négociations pour :

- définir l'organisation chargée de coordonner la construction de l'installation, son exploitation scientifique et son démantèlement ;
- choisir un site pour son accueil ;
- choisir un directeur général et son équipe ;
- partager les contributions.

Des équipes de négociateurs sont mandatées par leurs gouvernements. En Europe, c'est la Commission européenne qui reçoit mandat du Conseil des ministres européens en charge de la Recherche.

Début 2003, la Chine demande à se joindre aux négociations et les États-Unis à y revenir. Quelques mois plus tard, la République de Corée fait une demande à son tour et en décembre 2005 la candidature de l'Inde est acceptée. Les sept partenaires d'ITER (après le retrait de l'offre de site canadienne) sont :

- la Chine
- la République de Corée
- les États-Unis d'Amérique
- la Fédération de Russie
- l'Inde
- le Japon
- la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique



Analyse de candidatures de sites pour l'accueil d'ITER par des experts



L'ensemble des pays concernés, 31 pays dont les 25 pays européens, représentera plus de la moitié de la population mondiale. C'est la première fois qu'un projet de

coopération scientifique rassemble dès son lancement un partenariat international aussi large. La participation à ITER est ouverte à d'autres pays, sous réserve qu'ils en acceptent les règles de fonctionnement et que les partenaires actuels décident à l'unanimité d'accepter la nouvelle candidature.

## L'organisation d'ITER

Le projet ITER sera structuré selon trois niveaux : international, le niveau propre à chaque partenaire (Union européenne, Etats-Unis, Japon, Fédération de Russie, Chine, République de Corée et l'Inde), le niveau de la France en tant que pays d'accueil.

### Au niveau international : l'organisation internationale ITER

L'organisation internationale ITER (International Legal Entity) fera l'objet d'un traité international en cours de finalisation. Ce traité pourrait être signé à l'été 2006 pour une entrée en vigueur à la fin 2007 après ratification par chaque partenaire. En tant que maître d'ouvrage et exploitant nucléaire, l'organisation internationale ITER qui sera implantée sur le site de Cadarache aura la responsabilité de la construction, de l'exploitation et de la cessation définitive d'exploitation\* de la machine. Elle assurera également une mission de contrôle des prestations des agences domestiques.

Un directeur général<sup>6</sup>, responsable de l'organisation internationale pour ITER, rendra compte à un conseil ITER constitué de représentants des partenaires du projet. Ce conseil sera lui-même épaulé par plusieurs comités en charge de certains aspects spécifiques (programme scientifique, budget, gestion du personnel...) et des auditeurs externes. Ce type de structure existe déjà pour les grands organismes scientifiques internationaux comme le CERN\*, l'agence spatiale européenne (ESA)...

## Répartition des "contributions en nature"

Une partie des composants et équipements nécessaires à la construction d'ITER seront construits chez les partenaires (contributions en nature des partenaires), puis acheminés sur le site de Cadarache. Cela concerne, pour la plupart, des composants de haute technologie (secteurs de l'enceinte à vide, bobines supraconductrices...). Leur répartition entre les partenaires fait l'objet des négociations internationales et reste à finaliser au moment où le dossier du débat est élaboré. Le principe d'un partage équitable entre les 6 partenaires hors Europe et une contribution plus importante de l'Europe qui participera à hauteur de 50 % du coût de la construction est cependant acquis. L'Europe aura, en particulier, à sa charge la construction des bâtiments. Elle participera aussi à la fourniture de composants et de prestations de haute technologie.

### Au niveau de chaque partenaire : une agence «domestique»

Chacun des partenaires ITER disposera d'une agence "domestique".

Une spécificité d'ITER est l'importance de la notion d'*apport en nature*. Chaque partenaire créera donc sur son territoire, une «agence domestique» qui sera en charge principalement de la construction de sa part de composants d'ITER et de leur mise à disposition auprès de l'organisation internationale ITER. Chaque partenaire aura la responsabilité de fournir sur son propre budget un certain nombre de composants, selon les spécifications établies par l'équipe ITER internationale et sous son contrôle, qui seront ensuite assemblés sur site. Cette contribution «en nature» permet d'optimiser les ressources financières, dans la mesure où chaque partenaire ne finance que la partie qui lui incombe, tout en profitant des résultats scientifiques de l'ensemble du projet.

Le personnel de l'organisation internationale ITER, en interaction constante avec les agences domestiques, assurera la cohérence d'ensemble. L'agence domestique européenne pour ITER (European Legal Entity), qui devrait être constituée au cours de l'année 2006, sera implantée à Barcelone en Espagne, en raison de l'accord conclu suite à la négociation entre la France et l'Espagne en novembre 2003 qui a conduit au choix du site européen de Cadarache.



Barcelone

<sup>6</sup> Le premier directeur général de l'organisation internationale ITER, Kaname IKEDA, a été désigné le 7 novembre 2005 à Vienne par les partenaires d'ITER.



Lycée International  
de Luynes

## Au niveau de la France

L'efficacité et la qualité de la gouvernance du projet ITER, que ce soit au niveau international, au niveau européen ou au niveau national, sont des éléments déterminants de sa réussite. Au niveau national, il s'agit de la crédibilité de la France dans sa capacité à accueillir sur son sol de grands équipements scientifiques dans un cadre de coopération internationale. Pour ce qui concerne la gouvernance au niveau français, différentes missions sont identifiées :

### ■ Une mission étatique assumée au niveau gouvernemental<sup>7</sup> :

- de coordination et de suivi des actions de tous les acteurs : SGAE\*, administrations centrales des ministères concernés, Préfet de Région PACA, agence technique et financière au sein du CEA, organismes de recherche : CEA, CNRS, universités,..., pour veiller au respect des engagements pris et assurer, au niveau souhaité, une participation au projet de la communauté scientifique et industrielle nationale,
- de représentation de la France au sein des instances internationales impliquées, notamment la Commission européenne, l'Agence domestique européenne pour ITER (ELE : European Legal Entity) et l'organisation internationale pour ITER (ILE : International Legal Entity), et auprès des partenaires internationaux du projet et des pays membres de l'Union européenne, en vue de la défense des intérêts de notre pays,
- d'animation de la concertation interne au gouvernement pour préparer les discussions internationales et assurer le suivi des enjeux stratégiques pour la France tout au long du déroulement du projet,

### ■ Des missions de mise en œuvre des engagements, pris en tant que pays d'accueil, assumées par des services déconcentrés

#### ● 1. Les services de l'Etat en région

Le préfet de région a reçu du Premier ministre une lettre de mission lui donnant délégation notamment pour :

- la création d'une école internationale ;
- la maîtrise du foncier en vue de la réalisation de logements pour les personnels d'ITER ;
- l'aménagement d'un itinéraire routier d'acheminement de charges exceptionnelles
- l'aménagement portuaire.

Une équipe de projet spécifique et rassemblant les différentes compétences de l'Etat en région est mis à sa disposition pour l'aider dans sa mission.

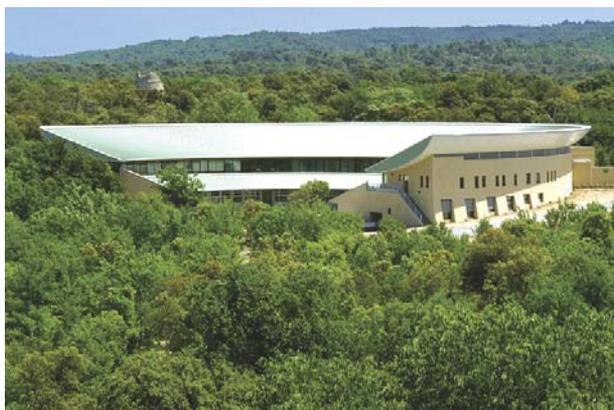
- 2. Une agence technique et financière, implantée au sein du CEA, sous forme d'un service spécialisé  
Conformément aux engagements pris par la France auprès de la Commission européenne, le comité de l'énergie atomique



<sup>7</sup> François d'Aubert a été nommé ambassadeur haut représentant pour la réalisation en France du projet ITER (décret du 21 novembre 2005).

du 5 juillet 2005 a décidé le principe de constitution d'une agence, dénommée agence ITER France, au sein du CEA, bénéficiant d'une autonomie budgétaire et administrative. En particulier, son rôle sera notamment :

- de réunir, avec le concours du responsable de la mission étatique ITER et le préfet de région, les moyens français, fonds et apports en nature, qu'ils proviennent des collectivités locales, de l'Etat, du CEA ainsi que de réaliser leur reversement à l'ELE
- de préparer le site et l'accueil du projet en liaison avec la préfecture de région, à l'exclusion des opérations à la charge directe des administrations (route, foncier, aménagement portuaire, école internationale). ITER France, via le CEA, mettra à disposition de l'ILE, à titre gratuit, un terrain viabilisé de 180 ha, dans une zone adjacente au centre du CEA
- par délégation des partenaires internationaux :
  - de présenter le projet durant le débat public
  - d'assurer la préparation et la présentation des dossiers de sûreté et de sécurité de l'installation
- d'assurer l'interface technique et opérationnelle vis-à-vis de l'ELE et de l'ILE ou des organisations qui les préfigurent.
- d'assurer la maîtrise d'ouvrage du démantèlement de l'installation sur la base des ressources financières provisionnées à cet effet, pendant l'exploitation de la machine par les partenaires du projet. La maîtrise d'ouvrage pour les phases de construction et d'exploitation sera placée sous la responsabilité de l'ILE.



Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) à Cadarache

#### ■ Une mission scientifique

En accompagnement de la construction et du fonctionnement de la future machine, la France se doit de mettre en place un programme national d'enseignement, de formation et de recherche en fusion magnétique qui comporterait notamment :

- la création d'une formation supérieure de niveau mastère et école d'ingénieur en étroite collaboration avec l'Institut national des sciences et techniques nucléaires et les écoles doctorales concernées des universités partenaires ;
- la définition d'un programme de recherche et la coordination scientifiques des équipes françaises ;
- la diffusion de la culture scientifique et technologique de la fusion nucléaire ;
- la coordination scientifique avec les équipes internationales.

#### ■ Une mission industrielle

L'Etat veillera, par ailleurs, à ce que le projet bénéficie pleinement au tissu industriel et économique national tant dans la phase de construction que par les innovations technologiques qu'il générera.





## Cadarache, site pour ITER : d'une candidature à une décision

*Le choix de construire ITER à Cadarache à proximité du CEA/Cadarache, grand pôle de recherche sur l'énergie, est le fruit d'une décision internationale prise le 28 juin 2005, lors d'une réunion inter-ministérielle qui s'est tenue à Moscou. Quatre pays (Canada<sup>8</sup>, Espagne, France, Japon) s'étaient déclarés candidats en 2002 pour accueillir la machine ITER, et de ce fait accueillir également les équipes internationales scientifiques qui exploiteront la machine et participeront aux expérimentations ; parmi ces pays, la France avec le site de Cadarache.*

La sélection du site s'est faite en deux étapes :

- Sélection du site européen entre les deux sites proposés : le site de Cadarache en France et le site de Vandellòs en Espagne. Le site de Cadarache a été retenu comme site européen le 26 novembre 2003, lors d'un vote à l'unanimité du conseil des ministres européens de la recherche (conseil "compétitivité").
- Sélection du site final : les sites de Cadarache et de Rokkasho-Mura au Japon restaient seuls en concurrence. Après différentes études comparatives, c'est le site de Cadarache qui a été sélectionné à l'unanimité par l'ensemble des partenaires le 28 juin 2005.



*Visite de Janez Potočnik commissaire Européen à la recherche (à droite) le 3 juillet 2005 à Cadarache en présence de François d'Aubert, Bernard Bigot, François Goulard et Claudie Haigneré.*

### La candidature du site de Cadarache

*En 1981, l'ensemble des équipes fusion françaises ont été regroupées sur le site du CEA/Cadarache, à court terme en vue de la construction de Tore Supra actuellement en service, mais aussi à long terme dans la perspective de la mise en place d'un grand centre international de recherche dans le domaine de la fusion. Dès 1992, alors que l'équipe internationale débutait les études d'ingénierie détaillées d'ITER, le CEA menait les premières investigations techniques concernant la capacité de Cadarache à accueillir le projet. En juillet 2000, le dimensionnement du projet ITER étant en cours d'achèvement avec une très forte mobilisation internationale, la France a proposé aux partenaires européens et internationaux d'étudier la possibilité d'accueillir ITER à Cadarache. Un des atouts du site proposé réside dans la proximité immédiate du centre de recherche CEA/Cadarache, pôle de recherche français sur l'énergie qui possède une expérience et une expertise très fortes dans le domaine de la fusion en particulier et du nucléaire en général. La candidature de Cadarache à l'accueil d'ITER a été confirmée le 30 janvier 2003 par le Premier ministre français, puis le 26 novembre 2003 par le conseil des ministres européens.*



*Vue aérienne du CEA / Cadarache*

<sup>8</sup> Site dans l'Ontario proposé officiellement en juillet 2001.

# Description de l'installation ITER à Cadarache

## Localisation

Implanté sur la commune de Saint Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), le site proposé pour la construction d'ITER est en bordure nord-est de l'actuel centre du CEA/Cadarache sur un terrain public de 180 hectares géré actuellement par l'ONF (Office National des Forêts). Cet emplacement a été retenu sur des critères techniques : accessibilité, présence d'un sous-sol calcaire particulièrement stable et proximité immédiate de la ligne 400 kV qui alimente l'installation Tore Supra.

## Les bâtiments de l'installation ITER

L'installation ITER formera un ensemble d'une vingtaine de bâtiments regroupés en deux zones principales :

- la zone nucléaire constituée de quatre ensembles distincts :
  - les bâtiments de l'installation tokamak : le bâtiment tokamak, qui abritera la machine ITER proprement dite, le hall de montage<sup>9</sup>,

le hall des diagnostics et le bâtiment de traitement du tritium ;

- les bâtiments abritant les auxiliaires nécessaires au fonctionnement du tokamak (équipements pour les alimentations électriques, pompes et tours de refroidissement, système de cryogénie, etc.) ;
  - une salle de contrôle commande ;
  - un bâtiment de gestion des composants radioactifs et d'entreposage des déchets ;
  - un bâtiment pour des bureaux et laboratoires.
- une zone de services au sein de laquelle seront regroupés les bureaux, le restaurant d'entreprise et le bâtiment d'accueil du public.

## Les alimentations en électricité et en eau

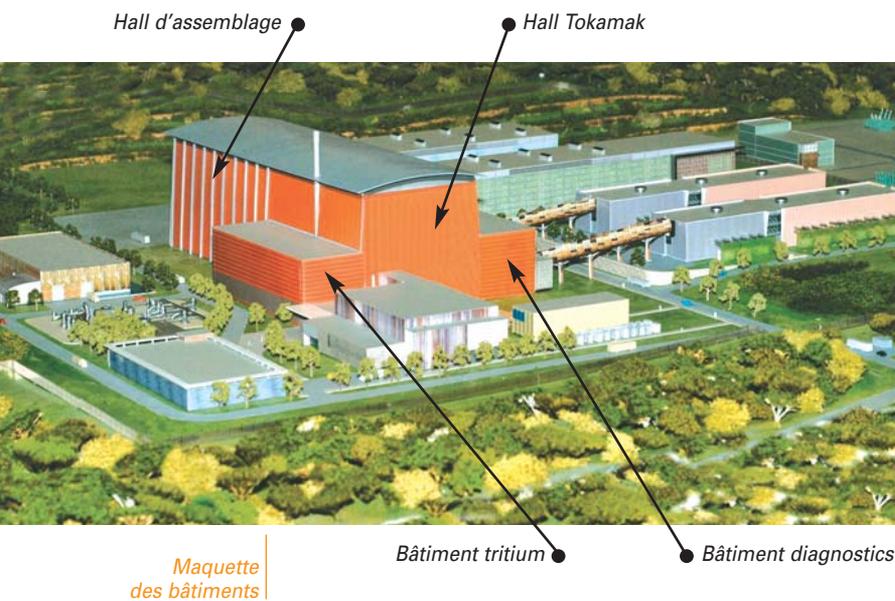
### Les besoins en puissance électrique

Du fait de son caractère expérimental, ITER ne fonctionnera pas en permanence mais selon des campagnes d'expériences de deux semaines (une quinzaine par an en moyenne) entrecoupées de périodes d'arrêt servant à des



Implantation d'ITER  
(vue d'artiste)

<sup>9</sup> Une fois le montage de la machine terminée, ce hall sera utilisé pour abriter les équipements des chauffages par ondes haute fréquence.



opérations de maintenance, de mise au point et d'amélioration des équipements. Chaque campagne expérimentale sera, elle-même, constituée d'une succession d'expériences et de périodes de veille. Ce qui représentera environ 2 500 expériences par an avec 200 jours de fonctionnement. La puissance électrique consommée sera différente selon les périodes :

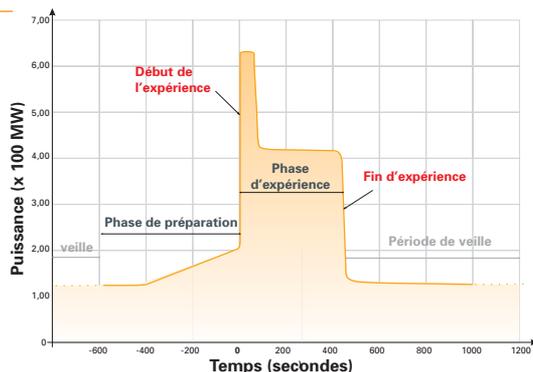
### ■ En période d'arrêt et de veille

La puissance électrique consommée sera de quelques MW en période d'arrêt pour le maintien des systèmes informatiques, de l'éclairage, de la ventilation par exemple. Elle atteindra 120 MW en période de veille durant laquelle les équipements nécessaires au fonctionnement doivent être opérationnels (systèmes de pompage, de réfrigération, cryogénie...).

### ■ Pendant une expérience

Pendant une expérience, la consommation électrique variera entre 120 MW et 620 MW.

Puissance électrique consommée au cours d'une expérience ITER

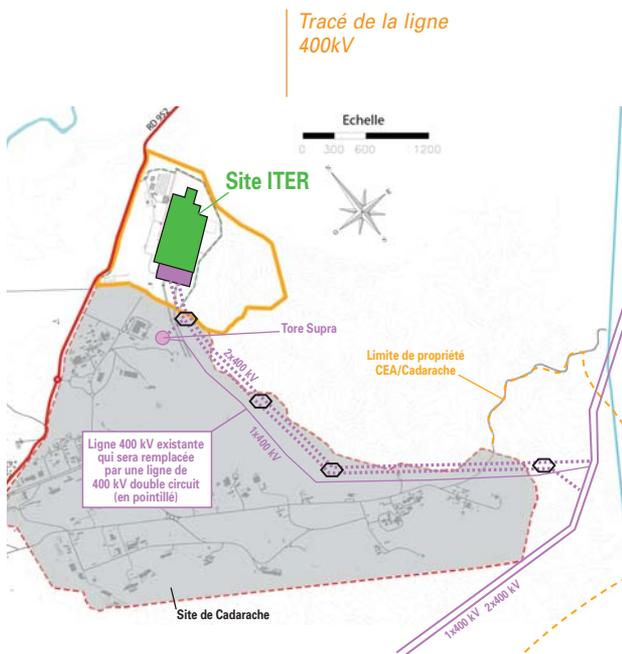


Durant la phase de préparation, qui durera environ 400 secondes, la puissance électrique consommée passera progressivement de 120 MW à 220 MW. Ensuite, elle atteindra 620 MW durant la phase de montée en température du plasma (une trentaine de secondes), avant de redescendre à 450 MW pendant la phase principale de l'expérience (370 secondes), et de revenir à 120 MW.

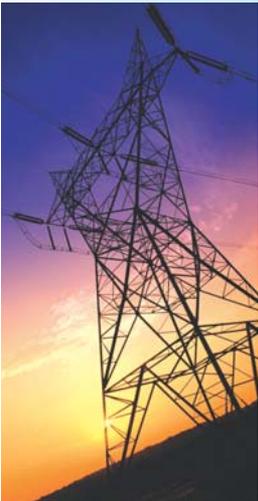
Des systèmes de compensation limiteront l'impact d'ITER sur le réseau électrique régional existant, lors du pic de puissance de 620 MW, à des valeurs inférieures aux normes européennes en vigueur fixées, notamment pour les chutes de tension sur les réseaux, par l'Union pour la coordination de la transmission de l'électricité (UCTE).

Chaque année, la consommation électrique d'ITER sera de l'ordre de 600 GWh, soit l'équivalent d'environ 7% de la production annuelle d'une tranche d'une centrale nucléaire 1300 MW (8200 GWh).

Le programme de fonctionnement d'ITER sera conduit avec un objectif permanent de limitation de la consommation énergétique.



Par ailleurs, ITER pourra être mis en veille durant les périodes de très forte consommation électrique, en particulier en hiver ou durant les périodes de canicule. Des dispositions d'économie d'énergie sont prévues pour les bâtiments : construction suivant les dernières recommandations de haute qualité environnementale, mise en place de systèmes de mise en veille...



**Alimentation en électricité**

La puissance électrique requise sera fournie par une ligne 400 kV à double circuit qui remplacera, sur le même tracé, la ligne 400 kV à simple circuit alimentant depuis 1987 Tore Supra. Cette double ligne, qui sera prolongée d'un kilomètre environ au-delà de Tore Supra, sera raccordée sur la ligne existante Tavel/Boutre appartenant au gestionnaire du Réseau de transport d'électricité (RTE\*). Aucune modification du réseau électrique régional ne sera nécessaire. En cas de défaillance du réseau 400 kV, les fonctions de sûreté de l'installation pourraient être assurées par le réseau électrique du centre de Cadarache indépendant du réseau 400 kV. Si ce réseau était à son tour défaillant, deux générateurs diesel d'une puissance électrique de 6,3 MW maintiendraient en fonctionnement tous les systèmes importants pour la sûreté de l'installation.

**Alimentation en eau**

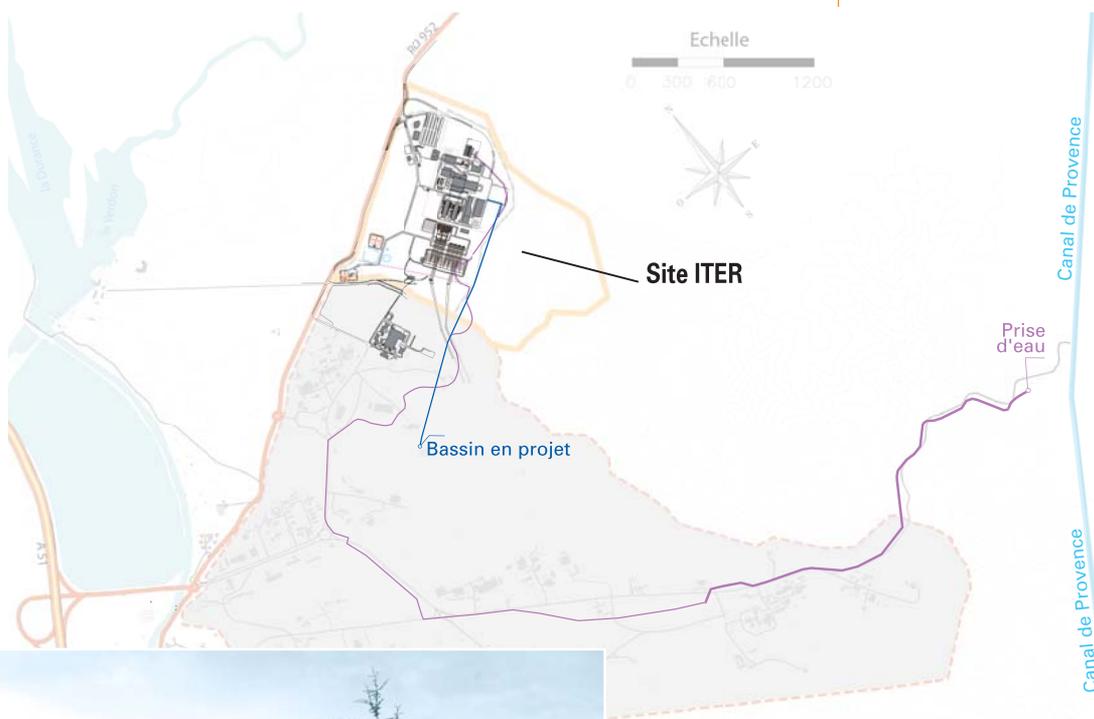
Le système de refroidissement devra évacuer la puissance thermique générée par le fonctionnement d'ITER. Au moment des expériences, une puissance thermique maximale de l'ordre de 1200 MW devra être évacuée. Cette puissance correspondant

aux pertes calorifiques dans les différents équipements d'ITER auxquels s'ajoute la puissance produite par les réactions de fusion. A cette fin, il est prévu d'utiliser des tours à tirage forcé dans lesquelles le refroidissement sera assuré par évaporation d'eau.

Ce régime de fonctionnement se traduira par un prélèvement d'environ 1,5 million de mètres cubes d'eau par an, dont les deux tiers seront évaporés dans les tours. L'eau sera prélevée dans le canal de Provence et conduite par gravité jusqu'à ITER par une canalisation. Le tiers non évaporé sera rejeté dans la Durance à une température inférieure à 30°, conformément à la réglementation en vigueur.

Ce prélèvement annuel de 1,5 million de m<sup>3</sup> représentera une très faible part (0,7 %) de la quantité d'eau véhiculée par le canal de Provence et n'aura pas d'impact pour les autres usagers du canal.

Schéma d'alimentation en eau

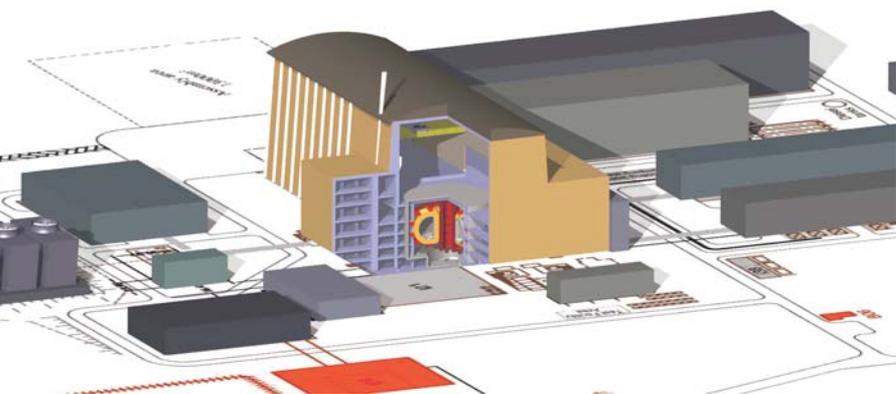


Tours de refroidissement à tirage forcé



## Le chantier ITER

Une dizaine d'années environ sont prévues pour la construction d'ITER.



Principaux bâtiments de l'installation ITER

### Etudes détaillées et de définition

À l'issue du débat public, les études détaillées permettront de préciser les solutions techniques qui seront mises en œuvre pour préparer le site et ses abords immédiats. Ces études comprennent en particulier l'aménagement de l'itinéraire pour l'acheminement des composants d'ITER et la viabilisation du site (alimentations électriques, en eau, traitement des effluents, téléphonie, internet...). Ces études, puis les travaux, seront placés sous responsabilité française. L'objectif est de rendre le site prêt pour la construction du bâtiment tokamak à la fin de l'année 2008.

Le début de la construction des bâtiments conventionnels (centre de relations publiques, bureaux, bâtiment médical, de contrôle des

accès...) est prévue en 2007 afin d'accueillir dans les meilleures conditions le personnel ITER et le public.

En parallèle, les études de définition de l'installation ITER seront poursuivies par l'équipe internationale ITER tenant compte des spécificités de Cadarache : normes et pratiques en vigueur en France et en Europe, caractéristiques techniques du site... Les dossiers réglementaires détaillés seront aussi écrits (en particulier dossiers pour les enquêtes publiques devant conduire à l'autorisation de création et au permis de construire).

### Démarrage des travaux

Le chantier de l'installation de recherche ITER proprement dite est prévu à partir de 2008. Le bâtiment en béton armé qui abritera le tokamak, le hall d'assemblage et le bâtiment où seront construites les bobines supraconductrices poloïdales\* jusqu'à 26 mètres de diamètre seront les premiers bâtiments construits. C'est dans le hall d'assemblage que les éléments du tokamak seront pré-assemblés avant d'être transférés dans "l'alvéole" en béton armé qui



### Valorisation des déblais

Les opérations de génie civil proprement dites commenceront avec le terrassement nécessaire à la réalisation des différentes plateformes. Compte tenu de la topographie naturelle du site, environ 3 millions de m<sup>3</sup> de matériaux devront être retirés. Un site d'entreposage des terres et roches excavées est prévu à proximité immédiate des installations d'ITER pour éviter les évacuations de roches par camions sur les voies publiques. Une partie des déblais pourra être concassée sur place pour les usages propres au chantier ITER. Deux options sont envisagées pour la gestion des déblais qui ne seront pas concassés : un stockage sur place ou une valorisation par des entreprises spécialisées en réponse à des besoins locaux.



entourera la machine. Les composants qui auront été fabriqués par les partenaires internationaux du projet seront acheminés au fur et à mesure à Cadarache. Les premiers "gros" composants attendus sont les poutres du pont roulant (environ 47 mètres de long) en 2009. Viendront ensuite les bobines supraconductrices toroïdales, les secteurs d'enceinte à vide... Puis, seront construits les autres bâtiments servant aux installations électriques, aux équipements de cryogénie (liquéfacteurs d'hélium, d'azote), de refroidissement... Cette phase de chantier sera suivie d'une phase de test des composants installés, puis des systèmes et enfin de la totalité de l'installation afin de démarrer les expériences et obtenir "le premier plasma" à l'horizon 2016 environ.

### Transport des composants jusqu'à Cadarache

La plupart des composants de la machine seront construits sur le territoire des partenaires, puis transportés et assemblés à Cadarache. Seuls, les composants intransportables par nature, comme les bâtiments, et ceux dont la taille dépassent les capacités de transport disponibles comme les bobines poloidales seront construits sur place.

#### ■ Description des composants

Les composants d'ITER seront acheminés par voie maritime depuis leur lieu de fabrication jusqu'au port de Fos-sur-Mer. Un tiers environ des composants pourra ensuite être acheminé jusqu'à Cadarache en empruntant l'itinéraire existant des convois exceptionnels. Les autres composants nécessiteront un mode de transport spécifique et un aménagement des équipements maritimes et routiers en certains points (quai de débarquement, élargissements, renforcements, etc).

Parmi les composants qui conduisent aux contraintes de transport les plus

importantes sont compris les 9 secteurs de la chambre à vide\* et les 19 bobines du champ toroïdal\* dont une bobine de rechange. Les dimensions et la masse de ces vingt-huit composants sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

#### ■ Itinéraires d'acheminement

Au terme des premières études de faisabilité, le transport par voie fluviale ou aérienne a été écarté essentiellement pour des raisons techniques.

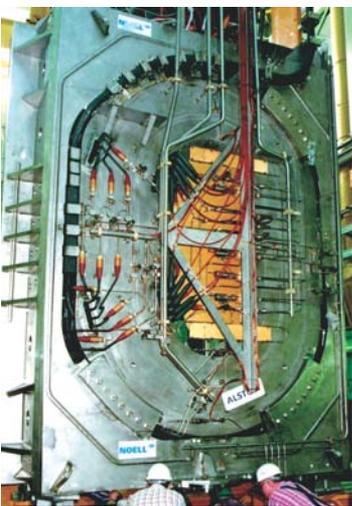
Différentes options ont été explorées pour l'acheminement des composants nécessaires à la construction d'ITER.



Exemple de convoi simulation des franchissements d'un giratoire

Au printemps 2003, des réunions ont été organisées par les sous-Préfets d'Aix-en-Provence et d'Istres avec les maires des communes concernées. Les remarques qu'ils ont formulées ont été prises en compte, des besoins se sont exprimés et des synergies possibles ont été identifiées.

Une maîtrise d'ouvrage d'État sera mise en place pour coordonner les aspects administratifs et l'ensemble des travaux nécessaires aux aménagements sur les itinéraires envisagés, en collaboration étroite avec le département des Bouches-du-Rhône. L'ensemble du transport des composants est prévu sur une période de cinq ans environ.



Dimensions des composants	Nombre	Largeur	Longueur	Hauteur	Masse
Secteurs de l'enceinte à vide (emballés)	9	8,50 m	14,10 m	7,45 m	600 t
Bobines de champ toroïdal (emballées)	19	8,50 m	17,30 m	9,10 m	530 t

## Transport des composants très exceptionnels

Le transport des composants les plus lourds s'effectuera par la route sur des plates-formes autopropulsées circulant de nuit à la vitesse maximale de 5 km/h. Ce qui représentera vingt-huit convois sur une période de deux ans. Un itinéraire d'une centaine de kilomètres au total, empruntant les voies existantes, a été défini avec les services du ministère de l'Équipement et les collectivités locales concernées pour l'acheminement de ces composants de l'étang de Berre jusqu'à Cadarache.

Le transfert de Fos-sur-Mer jusqu'à l'étang de Berre sera réalisé en barge.

estimé en 2005 pour une valeur de 65 millions d'euros<sup>10</sup> hors taxe. Certains aménagements présenteraient, de l'avis des services de l'Etat et des collectivités concernées, un intérêt général au-delà des besoins d'ITER et pourraient être pérennisés comme les élargissements de route, la rectification des virages du Garri par exemple.

Itinéraire de référence



Transport d'une bobine poloïdale de Tore Supra en 1986

D'autres aménagements auront un caractère provisoire et les sites concernés pourraient être remis à leur état initial après le passage du dernier convoi en fonction de l'intérêt que leur exploitation pourra présenter.

## Transports des autres composants

Les autres composants (environ 300), moins volumineux et moins lourds<sup>11</sup> que les vingt-huit composants détaillés ci-dessus, seront acheminés jusqu'à Cadarache sur des remorques conventionnelles tractées. Leur transport depuis le point de débarquement pourra s'effectuer dans l'espace d'une nuit ou d'une journée, à une vitesse moyenne de 30 km/h.

Les deux tiers de ces convois emprunteront l'itinéraire spécialement aménagé après un transfert par barge entre le port de Fos-sur-Mer et l'étang de Berre.

Le tiers restant, concernant le transport de composants de taille et poids plus modestes, empruntera l'itinéraire existant des "convois exceptionnels" qui part du port de Fos-sur-Mer, passe par Saint-Martin-de-Crau, le sud de Salon de Provence, le nord d'Aix en Provence puis la RN96. Il évitera l'opération de transfert par barge à travers l'étang de Berre.

Les aménagements nécessaires sur l'itinéraire envisagé concernent :

- L'aménagement d'un contournement de la commune de Berre l'Etang ;
- La création d'une piste de circulation temporaire à l'intérieur de la base aérienne de Salon de Provence pour contourner Lançon-Provence ;
- La rectification des virages du Garri sur la RD561 au niveau de la commune de Rognes ;
- L'élargissement de la RD15 puis contournement de Peyrolles-en-Provence ;
- L'élargissement de la RD952 en surplomb de la Durance à hauteur du pont de Mirabeau.

L'ensemble des travaux à réaliser, qui inclut le renforcement de certains ouvrages d'art et l'aménagement de quelques carrefours, a été

<sup>10</sup> Financement prévu sur une partie de la contribution financière du conseil général des Bouches-du-Rhône.

<sup>11</sup> Composants pesant plus de 45 tonnes et/ou mesurant plus de 20 mètres et/ou plus de 3 mètres de large, comme les quatre poutres de pont roulant de 47 mètres de long.

# Coût et financement du projet ITER

## Introduction : coût global du projet

Durant la phase d'ingénierie, l'équipe internationale ITER, sur la base du dessin\* générique de l'installation et avec l'aide des industries des différents partenaires, a réalisé une estimation du coût global du projet comprenant :

- la construction qui se déroulera sur environ 10 ans ;
- son exploitation pendant environ 20 ans ;
- son démantèlement pendant 10/15 ans environ.

Chacun des partenaires a fait sa propre estimation du coût du projet, avec le concours de ses industriels. Le coût total de la construction a été évalué en tenant compte de tous les éléments (matières premières, main d'œuvre, composants...). Le coût d'exploitation a été évalué en tenant compte en particulier du retour d'expérience des installations actuelles (JET et Tore Supra en particulier). Le coût du démantèlement a été estimé en comparant différents scénarios, tous convergents.



Sur la base de l'ensemble des estimations effectuées, le coût global est estimé à 9,9 milliards d'euros sur 40 ans (valeur 2000 HT<sup>12</sup>) dont :

- 4 570 millions d'euros pour la construction de la machine sur environ 10 années ;
- 4 800 millions d'euros pour l'exploitation sur environ 20 ans ;
- 530 millions d'euros qui seront provisionnés durant la phase d'exploitation par les partenaires internationaux pour le démantèlement.

Les coûts relatifs à l'aménagement du site non inclus ci-dessus, ont été évalués en 2001 par l'équipe européenne en charge de la candidature de Cadarache, à 155 M€ (euros 2000 HT). Ceux-ci comprennent la viabilisation du site (amenées d'eau, d'électricité, de téléphone, internet, évacuation des effluents), ainsi que l'aménagement des infrastructures pour l'acheminement des composants et la construction d'une école internationale.



<sup>12</sup> Toute indication de budget d'ITER qui suit est en euros 2000 hors taxes.

## Coût et financement de la construction d'ITER

### Détail du coût de la construction

Le coût de construction prend en compte les coûts des composants de la machine, de la construction des bâtiments et de l'ingénierie.

La construction de l'installation ITER fait appel à deux types de réalisations :

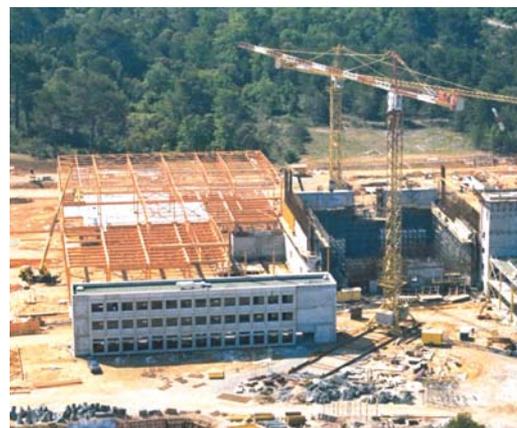
- des équipements et des travaux qui ne peuvent être réalisés que sur le site même de la future installation : la construction des bâtiments et l'assemblage par exemple ;
- des équipements et des composants qui peuvent être construits chez les partenaires puis livrés sur le site de l'installation : c'est le cas de la fabrication de la plupart des composants de l'installation, dont les composants de haute technologie.

Les coûts d'aménagement du site comprennent :

- la préparation du site (déboisement, terrassement, clôture...);
- la viabilisation du site (amenées d'eau, d'électricité, téléphone, internet, effluents) ;
- les infrastructures pour permettre l'acheminement des composants d'ITER ;
- la construction d'une école internationale.

### Financement de la construction

L'Union européenne, dont la France, financera 50 % du coût de la construction détaillé ci-dessus, les six autres parties (Chine,



République de Corée, États-Unis, Japon, Russie, Inde) prenant en charge chacune 10 %. La participation de l'Inde qui a rejoint le projet ITER en décembre 2005 a permis la constitution d'une réserve à hauteur de 10% du coût de la construction d'ITER. Cette réserve est exclusivement destinée à couvrir les risques d'aléas techniques. Elle sera constituée par une contribution des différents partenaires à due concurrence de leur engagement initial réduisant d'autant la participation effective de chacun au coût de la construction du projet tel qu'il est aujourd'hui défini tout en maintenant le volume global de son engagement en cas de nécessité. L'Union européenne<sup>13</sup> financera 38 % de la construction d'ITER via le budget EURATOM, soit 1737 M€ sur 10 ans environ ; la France financera les 12 % restants soit 548 M€. La France prendra également à sa charge la totalité des dépenses d'aménagement du site hors clôture, de la construction de l'école internationale et de l'aménagement du territoire.

La contribution directe de la France à la construction d'ITER (en euros 2000 HT) s'établit donc au total à :

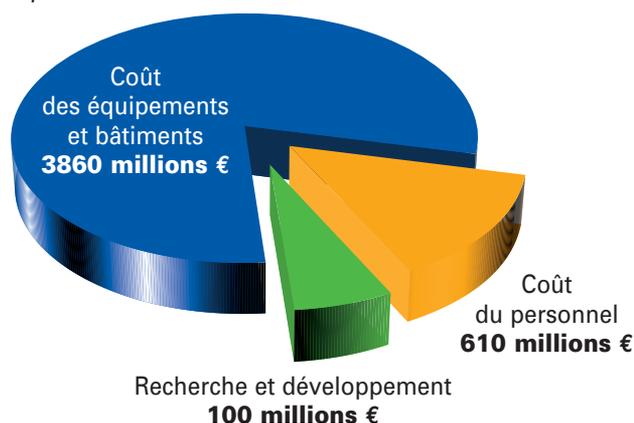
Contribution à la construction : .....548 M€  
 Aménagement du hors clôture : .....105 M€  
 Construction de l'école internationale : ..55 M€  
 Aménagement du territoire : .....27 M€  
**Total : .....735 M€**

### Financement de la part française pour la construction

Le financement de la contribution française (735 M€) pour la construction d'ITER (sur la base de 12 %) est assuré pour 467 M€ par les différentes collectivités territoriales de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et le reste par l'État.

## Répartition des coûts de construction de la machine ITER

(4570 millions d'euros (conditions économiques 2000) estimés pour un «site générique» défini par l'équipe internationale ITER répartis sur 10 ans



<sup>13</sup> Les recettes de l'Union européenne sont constituées en grande partie de ressources propres mises à disposition par les États membres de l'Union européenne. Dans ce cadre, la République Française contribue indirectement au projet ITER, par le biais de la contribution des Communautés européennes.

Les collectivités territoriales et leurs contributions sont les suivantes :



**le conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur : .....152 M€**  
*(dont 70 M€ pour la construction de la machine, 55 M€ pour l'école internationale, 15 M€ pour l'augmentation de la capacité de la ligne ferroviaire du Val de Durance, 12 M€ pour les actions régionales en faveur du foncier)*



CONSEIL GÉNÉRAL  
DES ALPES-MARITIMES

**le conseil général des Alpes-Maritimes : .....15 M€**



**le conseil général des Alpes-de-Haute-Provence : .....10 M€**



**le conseil général des Bouches-du-Rhône : .....152 M€**  
*(dont 46 M€ pour l'itinéraire d'acheminement des composants d'ITER)*



Hautes Alpes  
Conseil Général

**le conseil général des Hautes-Alpes : .....5 M€**



CONSEIL GÉNÉRAL

**le conseil général du Var : .....30 M€**



**le conseil général de Vaucluse : .....28 M€**



**la Communauté du Pays d'Aix (CPA) : .....75 M€**

Conscientes des retombées importantes de l'implantation du projet ITER à Cadarache et des enjeux en termes de développement régional, des collectivités ont, dès 2002, par des votes ou des motions prises dans les assemblées territoriales, manifesté leur soutien au projet.

Cette mobilisation s'est traduite par le financement partiel en 2003 des études préliminaires

nécessaires à l'accueil d'ITER en Provence. Le budget correspondant est de 670 000 €. Ces études préliminaires ont concerné :

- la communication,
- l'évaluation régionale du logement,
- l'éducation,
- l'impact environnemental du projet,
- la préparation du site,
- le transport des composants.



## Coût et financement de l'exploitation d'ITER

### Coût d'exploitation

Le budget total d'exploitation scientifique pendant 20 ans de l'installation ITER a été estimé par l'équipe internationale ITER à 4 800 millions d'euros, ce qui correspond à un budget annuel d'exploitation de l'ordre de 240 millions d'euros.

Le coût de la phase de cessation définitive d'exploitation\* (cf partie II, page 39), d'un montant de 430 millions d'euros, est compris dans ce budget d'exploitation.

### Financement de l'exploitation

Dans l'hypothèse d'un financement de l'exploitation d'ITER par l'Union européenne à hauteur de 34 %, dont 10 % à charge de la France, la contribution directe (hors contribution indirecte via le budget Euratom) de la France à l'exploitation d'ITER serait de 480 millions d'euros, soit 24 M€/an pendant 20 ans.

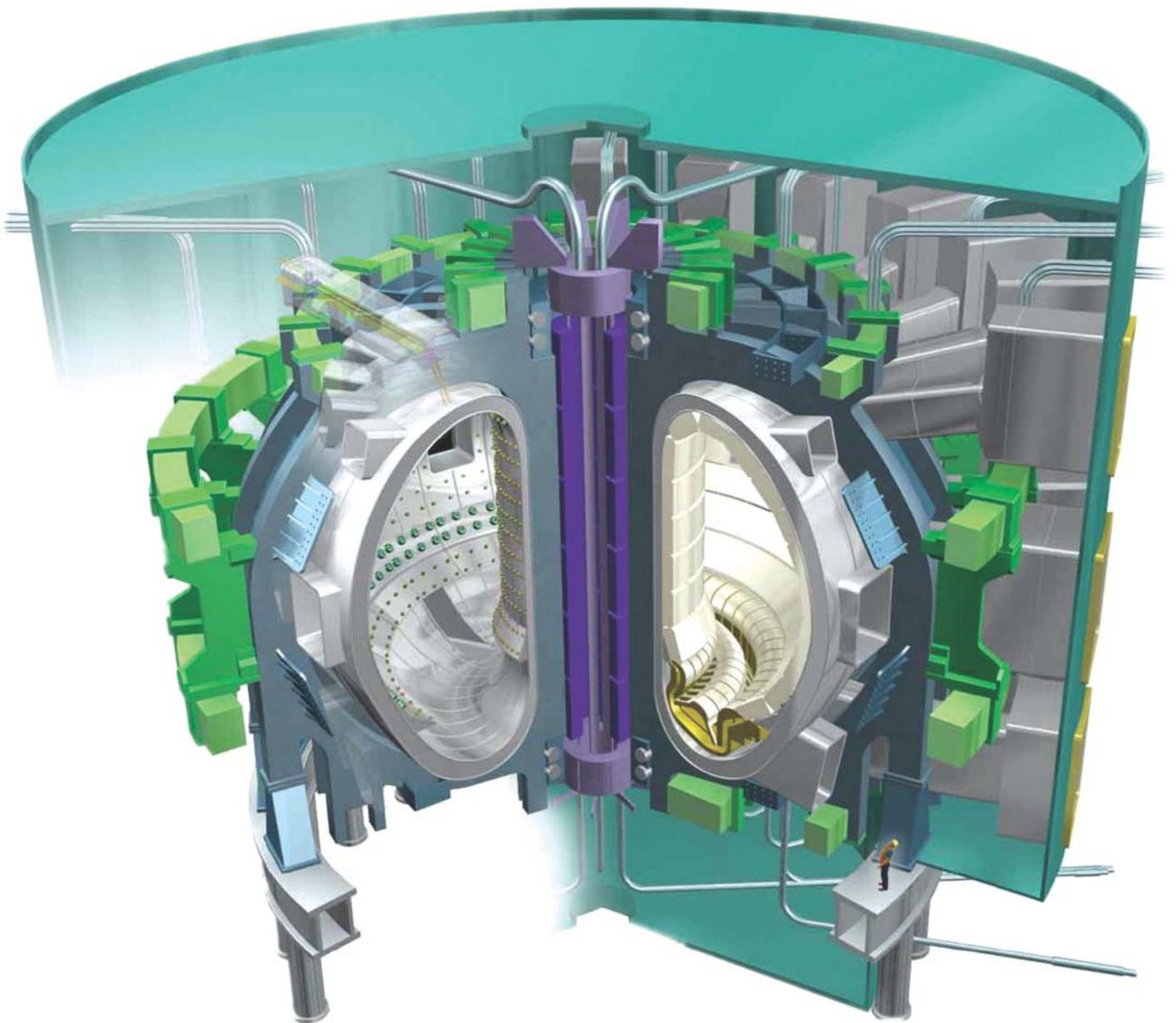


## Coût et financement du démantèlement d'ITER

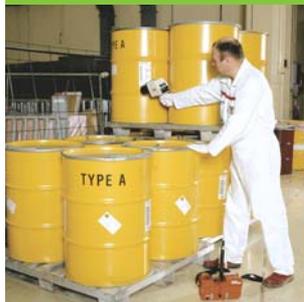
La phase de cessation définitive d'exploitation\* sera suivie de la phase de démantèlement qui sera effectuée selon la réglementation française et sous la responsabilité de l'agence ITER-France. Pour cette dernière phase, une provision d'un montant total de 530 millions d'euros sera constituée par l'ensemble des partenaires ITER tout au long des 20 ans d'exploitation de l'installation (26,5 M€/an pendant 20 ans).



Opération de maintenance dans Tore Supra



*Intérieur d'ITER  
(vue d'artiste)*



## ANALYSE DES RISQUES

### Les aspects techniques et réglementaires du projet .....34

- Les principes de base de conception de l'installation .....34
- Les principes de l'analyse de sûreté.....36
- Les rejets d'ITER .....38
- La phase de cessation définitive d'exploitation 39
- La phase de démantèlement .....40
- La gestion des déchets radioactifs produits par ITER.....41
- Le transport de produits radioactifs .....43
- La sécurité et la prévention des actes de malveillance.....43

### Les impacts sur la santé et sur l'environnement ....44

- L'impact en fonctionnement normal.....44
- L'impact en situation accidentelle.....45
- La surveillance de l'environnement .....45

### La tenue au séisme .....48

### L'impact sur le patrimoine et impact visuel .....49

### L'impact sur la faune et la flore .....51

L'installation ITER, mettant en œuvre des matières radioactives, sera une installation nucléaire de base soumise à la réglementation française correspondante.

La sûreté de l'installation ITER, comme pour celle de toutes les installations nucléaires en France, est fondée sur le principe de la "défense en profondeur" : plusieurs "lignes de défense" assurent la sûreté de l'installation et protègent le personnel, le public et l'environnement des conséquences de situations normales ou accidentelles.

La définition et la mise en œuvre de ces lignes de défense découlent des études de risques effectuées lors de la conception de l'installation et des études d'impact sur l'environnement du fonctionnement normal de l'installation et de situations accidentelles.

Sûreté de l'installation et impacts sur l'environnement sont au cœur de cette deuxième partie du dossier du débat.

## Les aspects techniques et réglementaires du projet

*La construction et l'exploitation d'ITER seront effectuées dans le cadre d'une organisation définie par un traité international entre les partenaires du projet. Cette organisation internationale sera soumise à la réglementation française pour les aspects de sécurité et de sûreté. Comme pour toute installation sur le territoire français qui met en œuvre des matières radioactives, il revient à l'autorité de sûreté nucléaire d'en autoriser la création et l'exploitation d'ITER après analyse des dossiers de sûreté. Elle est ensuite chargée du contrôle et la surveillance de l'installation.*

### Principes de base de conception de l'installation

#### ITER, une installation nucléaire de base\*

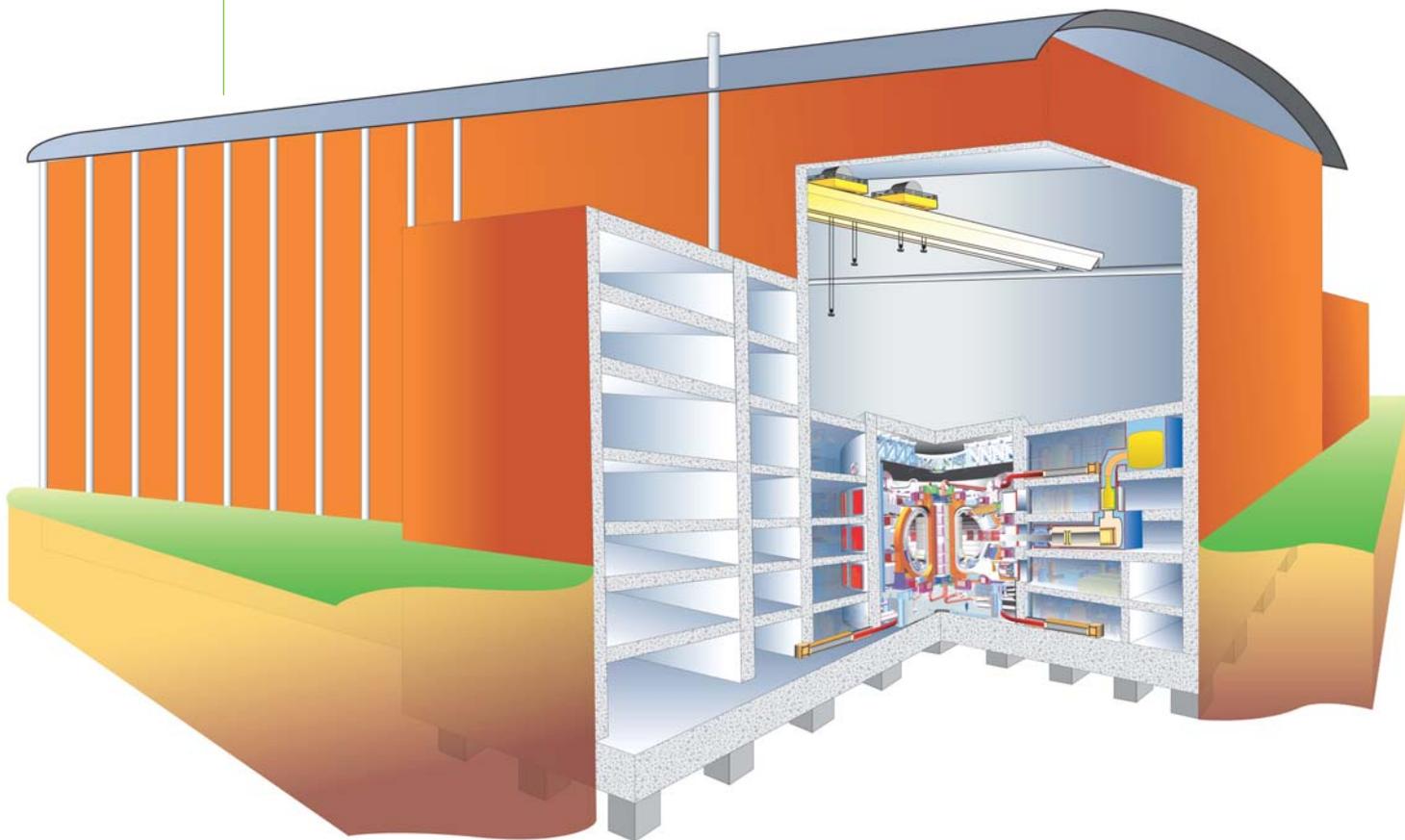
La réaction nucléaire dans ITER consistera en la fusion du deutérium (isotope stable de l'hydrogène) et du tritium (isotope radioactif de l'hydrogène). La réaction produit de l'hélium (gaz stable non radioactif) et un neutron de haute énergie qui entraînera l'activation\* des matériaux internes d'ITER.

Ainsi, l'installation va, une fois mise en fonctionnement, contenir un inventaire en éléments radioactifs de deux natures :

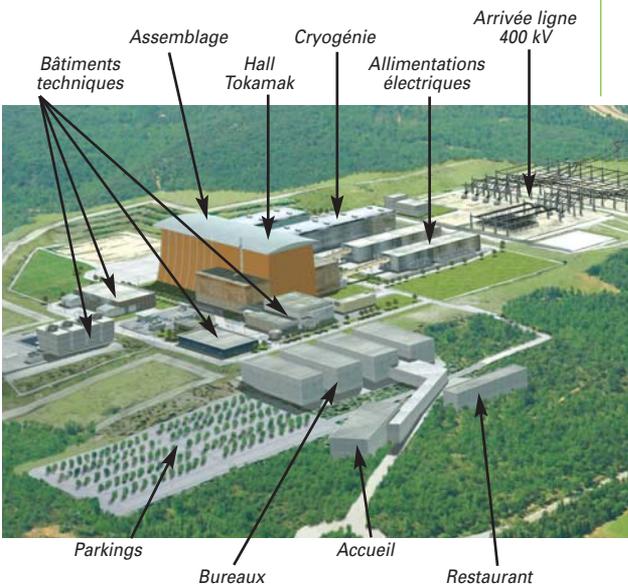
- le tritium nécessaire pour la réaction de fusion ;
- les composants face au plasma et les matériaux de structure ayant été activés.

Ce qui justifie que, conformément à la législation française, l'installation soit classée installation nucléaire de base\*.

*Vue d'artiste  
intérieure du  
hall tokamak*



Vue d'ensemble du site (vue d'artiste)



### Exploitant nucléaire et autorité de contrôle

#### L'exploitant nucléaire

L'exploitant nucléaire d'une installation nucléaire de base est l'entité officiellement reconnue comme responsable d'une installation nucléaire et autorisée à l'exploiter en application du décret 63-1228 du 11 décembre 1963, modifié le 26 février 2002. Ce décret, relatif aux installations nucléaires, régit la classification des installations nucléaires et les processus de création, construction, démarrage, fonctionnement et surveillance. A ce titre, l'exploitant nucléaire prend les mesures nécessaires à la mise en œuvre des prescriptions législatives et réglementaires applicables aux activités présentant des risques nucléaires ainsi qu'à l'organisation de la sûreté nucléaire. Il définit aussi une organisation des contrôles des activités en application de l'arrêté du 10 août 1984 relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires de base. L'organisation internationale ITER aura la responsabilité d'exploitant nucléaire.



#### L'autorité de sûreté nucléaire

ITER en tant qu'installation nucléaire de base sera placée sous le contrôle de l'autorité de sûreté nucléaire qui assure, au nom de l'État, le

contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger le public, les travailleurs et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire. Elle contribue à l'information des citoyens.

L'autorité de sûreté nucléaire est placée sous l'autorité conjointe du ministre de l'Ecologie et du Développement durable, du ministre de l'Economie, des Finances et de l'Industrie et du ministre de la Santé et des Solidarités. Elle exerce son activité dans les différents domaines que sont l'examen technique de la sûreté des installations nucléaires de base, la gestion des déchets radioactifs, la maîtrise de l'impact des installations nucléaires, le contrôle du transport des matières radioactives à usage civil et la radioprotection.

Elle recourt à l'expertise d'appuis techniques extérieurs, notamment de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et sollicite les avis et recommandations de groupes d'experts provenant d'horizons scientifiques et techniques diversifiés.

### La sûreté d'ITER, fondée sur le principe de la « défense en profondeur »

La sûreté d'ITER, comme pour toutes les installations nucléaires en France, est fondée sur le principe de la "défense en profondeur" qui organise la sûreté en plusieurs lignes de défense, relatives à la conception, la réalisation et l'exploitation de l'installation ; la surveillance et les moyens de sauvegarde et la limitation des conséquences en cas de défaillance des lignes précédentes (situation accidentelle).

La sûreté des installations nucléaires est définie comme l'ensemble des dispositions techniques prises aux stades de la conception, de la construction, puis de l'exploitation et enfin du démantèlement pour :

- **assurer le fonctionnement normal de l'installation** : la conception et la réalisation des équipements reposent sur la prise en compte de marges et la mise en place de dispositions préventives pour éviter les défaillances ;
- **envisager néanmoins la survenue de défaillances** : ce qui conduit à mettre en place des systèmes de détection et à prévoir les dispositions permettant de revenir à l'état sûr.
- **considérer des scénarios accidentels hypothétiques** : bien que toutes les dispositions pour éviter les défaillances soient prises, les actions de protection complémentaires pour limiter les conséquences d'un accident hypothétique aux niveaux les plus bas possibles sont prévues.

Dans l'installation ITER, des barrières de confinement seront interposées entre les produits radioactifs, le personnel, le public et l'environnement. Leur efficacité est évaluée et contrôlée, tant pour les scénarios de fonctionnement normal qu'accidentel. L'évacuation de la puissance thermique est également une fonction importante pour la sûreté. Elle est assurée par un système d'échangeurs thermiques redondants.

## Principes de l'analyse de sûreté

La démarche de sûreté d'ITER a été intégrée aux études depuis le début des travaux de conception. L'équipe internationale ITER, et le CEA, ont effectué une analyse de sûreté de l'installation ITER adaptée au site de Cadarache dont l'autorité de sûreté nucléaire a accepté les principes en décembre 2002. Cette analyse, complétée et prenant en compte toutes les phases de la vie de l'installation (construction, tests lors du démarrage, fonctionnement avec plasma, opérations de maintenance, opérations de cessation définitive d'exploitation et démantèlement), servira de base aux études de dangers et d'impact qui seront présentées en enquête publique.

Dans cette analyse, sont pris en compte les risques :

- d'origine interne nucléaire (dispersion de matières radioactives, exposition aux rayonnements) et non nucléaire (incendie, perte d'énergie, manutention, risques chimiques et toxiques, inondation interne, risques électriques, perte de fluides (eau, air...) ;
- d'origine externe : séisme, chute d'avion, risques d'origine climatique (vent, neige, orage, grand froid, canicule), inondation, feux de forêt, risques liés aux transports sur le site, actes de malveillance.

Les scénarios de défaillance sont établis, puis les risques sont méthodiquement identifiés, bâtiment par bâtiment, afin de prévoir les mesures à mettre en place pour les prévenir et limiter leurs conséquences. L'analyse de sûreté



consiste à s'assurer et démontrer que ces risques sont maîtrisés.

## L'identification et la maîtrise des risques

Du point de vue de la sûreté, la conception d'ITER a largement tiré profit du retour d'expérience de la construction et de l'exploitation d'installations nucléaires, notamment des machines de fusion actuelles pour tous les aspects spécifiques à la fusion et du JET en Angleterre pour tous les aspects concernant l'utilisation du tritium.

L'analyse de sûreté consiste, pour chaque risque identifié, qu'il soit d'origine nucléaire ou autre, à supposer une défaillance, à calculer le déroulement du scénario et à prévoir les dispositions permettant d'éliminer ce risque ou d'en réduire les conséquences éventuelles.

### ■ Risques nucléaires

Dans un tokamak, la réaction nucléaire ne peut se produire que dans des conditions d'équilibre pression-température particulières ; toute modification de cet équilibre conduit à un arrêt immédiat de la réaction. Par ailleurs, la quantité de matière susceptible de fusionner est limitée, une trop grande quantité de combustible conduirait à un arrêt de la réaction.

Les risques nucléaires sont liés à la présence de tritium, isotope radioactif de l'hydrogène (cf. page 13) et à l'existence d'un haut flux de neutrons énergétiques conduisant, sur la durée, à l'activation progressive des éléments de structure. Des dispositions sont prévues pour prévenir une dispersion du tritium et de poussières radioactives dans les bâtiments, puis éventuellement dans l'environnement, en cas de perte de l'étanchéité de la chambre à vide, par exemple :

- mise en œuvre d'un système de récupération du tritium dans les locaux adjacents, dont l'efficacité permet de limiter la dispersion dans l'environnement à des valeurs suffisamment faibles pour ne pas avoir à prendre des mesures de mise à l'abri des populations.
- installation de filtres conventionnels de haute efficacité au niveau de la ventilation pour retenir les poussières radioactives provenant de l'activation des matériaux de la chambre à vide et éviter leur rejet dans l'atmosphère.

### ■ Risques internes d'origine non nucléaire

Le risque **incendie** est analysé pour tous les locaux, la priorité étant d'éviter qu'un incendie entraîne la défaillance d'une fonction de sûreté comme, par exemple, le confinement des produits radioactifs.

Les principales mesures de prévention consistent à limiter les risques de son apparition et à éviter sa propagation. Sa maîtrise est assurée par différents systèmes (compartimentage feu, clapets coupe feu dans les gaines de ventilation, choix de matériaux résistant au feu). La quantité de matières inflammables sera réduite au strict nécessaire. De plus, l'installation sera équipée de nombreux moyens de détection automatique d'incendie.

Le deutérium et le tritium, isotopes de l'hydrogène, présentent le même risque d'explosion que l'hydrogène, notamment dans le bâtiment de traitement du tritium. Les dispositions prévues consistent à limiter la quantité de deutérium et tritium dans chaque procédé et à isoler tous les circuits et réservoirs contenant des quantités significatives de ces gaz au moyen de boîtes à gants ou d'enceinte contenant soit un gaz inerte, soit le vide, afin d'éviter tout contact avec l'air. De même, il est pris en compte la présence de poussières pouvant conduire à un risque d'explosion en cas de perte d'étanchéité et d'entrée d'oxygène.

En ce qui concerne l'**alimentation électrique**, des dispositions graduées sont prévues en vue d'éviter la défaillance partielle ou totale du réseau d'alimentation électrique (voir Partie 1, page 22).



Deux groupes électrogènes seront prévus afin d'assurer, en cas de nécessité, certaines fonctions de sûreté de l'installation notamment le maintien de la dépressurisation et de la ventilation des bâtiments.

La maîtrise du risque **d'inondation** interne lié à la présence d'eau dans l'installation (boucles de refroidissement notamment) reposera sur :

- le choix des matériaux adaptés et la qualité de fabrication ;
- l'instrumentation permettant de détecter une présence d'eau anormale ;
- la mise en place de dispositifs de récupération en cas de fuite.



### ■ Risques externes

Le risque sismique est spécifiquement traité au chapitre 3.

Un entretien périodique des forêts voisines et le débroussaillage ou déboisement autour des bâtiments nucléaires de manière à constituer une barrière coupe-feu participeront à maîtriser le risque de propagation d'un **incendie de forêt** vers l'installation. Par ailleurs, l'installation ITER pourra bénéficier des dispositions prises par le CEA/Cadarache (moyens de surveillance et d'intervention).

La topologie des lieux à flanc de colline permet d'écartier tout risque **d'inondation externe**, notamment en cas de forte crue de la Durance. Les conséquences de la chute d'un avion sur l'installation ont été étudiées et prises en compte dans la conception de l'installation : les bâtiments contenant les quantités les plus significatives de produits radioactifs seront placés dans les parties enterrées ou semi enterrées. Tous les bâtiments contenant des matières radioactives seront dimensionnés en suivant les exigences des règles fondamentales de sûreté françaises comme celle relative à la résistance de la chute d'un avion de tourisme (Learjet et Cessna).

### ■ Risques chimiques

Le béryllium est utilisé comme matériau de première paroi pour les composants internes de la chambre à vide. Ce métal, spécialement choisi pour sa faible masse atomique, affectera peu le comportement des plasmas. Le béryllium est un toxique chimique qui sous forme pulvérulente peut entraîner des affections pulmonaires

*Moyens de prévention  
et de secours du  
CEA / Cadarache*

(pneumopathies, suspicion de cancer). Des systèmes de filtration et de contrôle seront mis en place dans l'installation pour réduire le plus possible la quantité de particules dans les rejets gazeux et garantir, dans tous les cas, des teneurs en béryllium dans l'air conformes aux exigences réglementaires (inférieur à  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ces précautions sont identiques à celles déjà mises en œuvre dans l'industrie du béryllium qui est utilisé, notamment, dans les domaines aéronautique et automobile.

### ■ Autres risques

Comme pour toute installation, des dispositions seront prises pour réduire les risques "classiques" pour le personnel : risques liés à la manutention, risques électriques, risques liés à l'existence de champs magnétiques et électromagnétiques, risques liés à l'emploi de procédés cryogéniques (très basse température)... L'usage de gaz inertes (hélium, argon) dans certains procédés conduit à prendre des dispositions en vue de prévenir le risque d'anoxie.

### La principale fonction de sûreté : le confinement

Pour éviter tout risque de dispersion des produits radioactifs ou toxiques, on interpose plusieurs systèmes, étanches et indépendants, entre ces produits et l'environnement. La prévention des risques de dispersion de matières radioactives dans l'atmosphère et les lieux de travail est un élément majeur de la sûreté d'ITER. Elle repose sur deux systèmes de confinement successifs, comprenant chacun un ou plusieurs dispositifs de confinement :

- Le premier système de confinement est destiné, en fonctionnement normal, à empêcher la dispersion de matières radioactives mises en œuvre dans un procédé vers les zones accessibles au personnel. Il comprend essentiellement le procédé et souvent un moyen supplémentaire (boîtes à gants par exemple) ;
- Le deuxième système de confinement, disposé autour du premier, vise à limiter les quantités de matières radioactives qui pourraient être relâchées à l'extérieur des locaux de l'installation, en cas de défaillance du premier système de confinement ; il est constitué par les parois des locaux, des bâtiments et les systèmes de ventilation associés.

Les réseaux de ventilation, la filtration de l'air évacué et les systèmes de piégeage du tritium, qui se trouverait dans les locaux, participeront également au confinement.

### La surveillance des locaux

L'exploitation de l'installation se fera selon des procédures soumises à l'agrément de l'autorité de sûreté nucléaire (règles générales d'exploitation).

Ces procédures prévoient notamment la définition de mesures de surveillance de l'atmosphère des locaux et de contrôles d'efficacité des systèmes de sûreté.

Ces mesures comportent en particulier :

- Le contrôle de la mise en dépression des locaux entre eux et vis-à-vis de l'extérieur (contrôle de la « cascade » de dépression) ;
- Le contrôle périodique des filtres (efficacité, colmatage) ;
- Le contrôle radiologique des personnels, des matériels et colis à leur entrée et à leur sortie des locaux de l'installation.

### Les rejets d'ITER

Ce paragraphe présente la nature et les quantités des différents rejets en fonctionnement normal. Leur impact est traité dans la suite du document.

#### Nature des rejets

On distingue pour ITER deux types de rejets : les rejets radioactifs (gazeux et liquides) et les rejets non radioactifs qui ne se présentent que sous forme gazeuse.

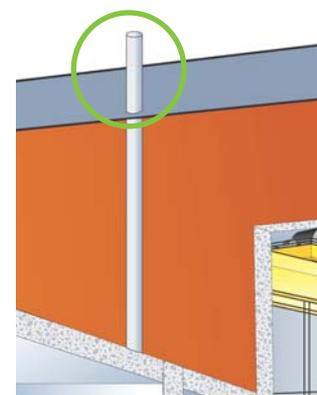
La minimisation des rejets a été, dès l'origine, l'un des objectifs principaux de la conception de l'installation ITER. Les dispositions prises viseront notamment à réduire au maximum tous les risques de fuite (étanchéité des procédés et des locaux, systèmes de ventilation et de piégeage du tritium dans les locaux, opérations de maintenance...).

#### Les rejets radioactifs

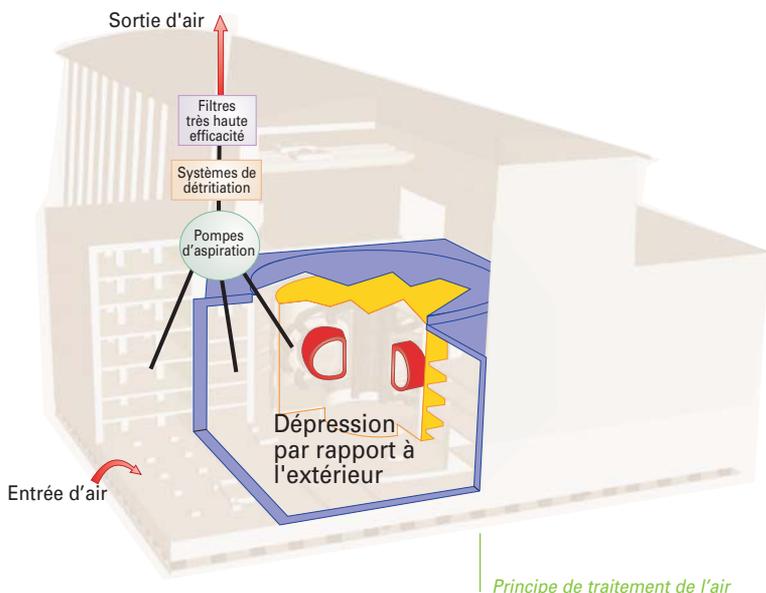
##### Les rejets radioactifs gazeux

Les rejets radioactifs gazeux auront principalement pour origine :

- le système de purification du tritium et de nettoyage des matériaux ayant été en contact avec lui ;
- les poussières issues de l'activation des composants ayant été en interface avec le plasma.



Evacuation de l'air filtré



Avant leur rejet à la cheminée, les gaz seront traités en tant que de besoin par détritiation et par filtration des poussières.

Le tritium sera récupéré et ensuite recyclé dans l'installation. L'utilisation de filtres conventionnels à très haute efficacité (filtres THE), en retenant les poussières activées, permettra de réduire l'activité radiologique des effluents d'un facteur au moins égal à 1000. Les effluents gazeux épurés seront ensuite rejetés par la cheminée de l'installation.

Les prévisions d'exploitation pour une année d'essai en phase deutérium - tritium permet d'estimer les rejets à la cheminée à une valeur maximum de :

- 0,25 g de tritium (correspondant à une activité radiologique de 90 TBq\*),
- 0,25 g de poussières activées ayant une activité de 0,5 TBq ; ce niveau d'activité ne sera atteint qu'au cours des dernières années d'exploitation de la machine, pour lesquelles l'activation des matériaux sera la plus forte.

### Les rejets radioactifs liquides

Les rejets radioactifs liquides seront générés par le fonctionnement et la maintenance de différents systèmes comme ceux du refroidissement.

Ils contiendront du tritium, ayant diffusé de la chambre à vide vers le circuit de refroidissement, et des produits de corrosion activés par le flux neutronique.

L'ensemble des effluents liquides radioactifs seront collectés dans des cuves spécifiques, puis transférés à la station de traitement des

effluents liquides du centre de Cadarache après détritiation, filtration et mesures.

Les rejets liquides radioactifs annuels, évalués à partir du retour d'expérience d'installations similaires du point de vue des procédés mis en œuvre, seront environ de l'ordre du mg pour le tritium et de l'ordre du gramme pour les produits de corrosion activés (particules métalliques...).

### Les rejets d'effluents gazeux non radioactifs

ITER utilisera des produits chimiques non radioactifs sous forme gazeuse ou volatile. Les quantités gérées seront faibles et ces produits, après gestion par les systèmes de ventilation, se retrouveront à la cheminée à des concentrations très inférieures aux seuils réglementaires.

Les opérations susceptibles de conduire à des rejets de béryllium concerneront essentiellement les phases de montage initial, de maintenance et de remplacement des couvertures internes. Compte tenu des dispositifs de ventilation et de filtration mis en œuvre dans l'installation, la quantité de béryllium rejetée annuellement est estimée entre 0,1 gramme et 1 gramme environ.



### Phase de cessation définitive d'exploitation

Placée sous la responsabilité de l'organisation internationale ITER, la phase de cessation définitive d'exploitation, qui précédera la phase de démantèlement, est prévue sur une durée de cinq ans.

Robot de manipulation à distance



Cette phase recouvrira des opérations :

- de retrait des composants internes (modules de couverture et divertor) par des moyens robotisés,
- de démontage et de décontamination de plusieurs systèmes périphériques, comme par exemple le circuit primaire de refroidissement de la machine et l'installation de traitement du tritium.

## Phase de démantèlement

Le démantèlement de l'installation sera réalisé sous la responsabilité de la France. Son financement sera provisionné par l'ensemble des partenaires pendant les 20 ans de la phase d'exploitation à raison de 26,5 M€ par an.

La conception de la machine ITER a intégré des dispositions de construction de manière à faciliter les opérations de démantèlement. Pour chaque composant interne de la machine, en particulier, la faisabilité du démantèlement a été vérifiée.

Le scénario de démantèlement de référence a fait l'objet, dès la conception de la machine, d'une attention particulière sur les aspects suivants :

## Principaux repères

Phase de construction : .....	10 ans
Phase d'exploitation : .....	20 ans
Cessation définitive d'exploitation : .....	5 ans
Phase de démantèlement : .....	10/15 ans

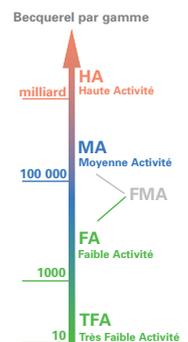
- Le maintien du confinement ;
- La minimisation de l'exposition des travailleurs en utilisant des moyens robotisés (téléopération...) ;
- La simplicité des opérations à effectuer ;
- L'utilisation des moyens internes à l'installation (robots).

## La gestion des déchets radioactifs en France

La France a adopté une classification des déchets radioactifs basée sur le niveau d'activité et sur la période des éléments radioactifs présents dans les déchets (sous les appellations vie courte, vie longue). L'activité traduit l'intensité de la radioactivité et conditionne les protections à mettre en place pour bien les gérer. La période traduit la durée de vie de la plupart des radioéléments contenus. On distingue ainsi :

- **Les déchets de très faible activité** qui sont stockés sur le site géré par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) sur la commune de Morvilliers (dans l'Aube) ouvert en août 2003 ;
- **Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte** (période inférieure ou égale à 30 ans) qui sont stockés sur le centre de stockage sur la commune de Soullaines (dans l'Aube) exploité depuis 1992 par l'Andra ;
- **Les déchets de haute activité et à vie longue avec les déchets de haute activité** qui génèrent de la chaleur et les déchets de moyenne activité qui contiennent des éléments radioactifs à vie longue (période supérieure à 30 ans). Pour les déchets de moyenne ou haute activité contenant des éléments à vie longue, des études sont en cours pour déterminer le mode de gestion le mieux adapté. Ces déchets sont actuellement entreposés, dans des installations appropriées, et en toute sécurité, sur leur lieu de production.

Les déchets radifères et les déchets graphites forment une classe à part du fait de leurs particularités



Ordres de grandeur des niveaux d'activité des différents types de déchets. Pour les déchets de faible activité (FA) et de moyenne activité (MA) stockés au centre de stockage de l'Aube, on emploie souvent la terminologie FMA (faible et moyenne activité).

### Classification des déchets radioactifs en France et leur filière

	Vie Courte Période < 30 ans	Vie Longue Période > 30 ans
Très faible activité (TFA)	Centre de stockage TFA de Morvilliers	
Faible activité (FA)	Centre de stockage de Soulaines	Études en cours pour les déchets graphites et les déchets radifères
Moyenne activité (MA)	Études en cours pour les déchets tritiés	Études en cours pour l'ensemble des déchets MAVL
Haute activité (HA)	Études en cours pour l'ensemble de déchets HA (loi du 30-12-1991)	



Centre de Soulaines géré par l'Andra

La séparation vie courte / vie longue se situe à la période de 30 ans : les déchets de faible et moyenne activité à vie courte ont une période\* inférieure ou égale à 30 ans. Leur niveau d'activité sera devenu comparable à celui de la radioactivité naturelle dans moins de 300 ans.

Le scénario proposé, sur la base des technologies existantes, concerne plusieurs tâches principales sur une période d'environ 10/15 ans :

- découpage de la paroi interne de la chambre à vide tout en conservant l'intégrité de l'alvéole en béton qui contient l'ensemble de la machine. Cette opération se déroulera pendant la première année ;
- démontage du couvercle de l'alvéole en béton et préparation des installations de traitement des déchets les deuxième et troisième années ;
- démontage de l'ensemble de la machine à l'intérieur de l'alvéole pendant les trois années suivantes ;
- démantèlement des équipements annexes (tuyauteries, circuits électriques...) et démolition des bâtiments les quatre dernières années.

### La gestion des déchets radioactifs produits par ITER

L'exploitation d'ITER, puis son démantèlement, produiront des déchets :

- déchets conventionnels, comme pour toute installation industrielle ;
- déchets radioactifs, provenant de l'action des neutrons produits par la réaction de fusion sur les matériaux du tokamak<sup>14</sup> et de l'utilisation du tritium.

Les filières d'évacuation pour chacune de ces deux classes de déchets sont organisées en fonction de la réglementation française (cf. en particulier le code de l'environnement, chapitre 5, articles L 541, 542).

Les déchets tritiés engendrés par ITER seront évacués dans des filières en cours de développement identifiées dans le plan national de gestion des déchets radioactifs.

### Les déchets produits par ITER en cours d'exploitation

Les déchets produits en cours d'exploitation comprennent, en premier lieu, tous les déchets dits technologiques : filtres remplacés, poussières collectées, vêtements et vinyles de protection, etc. Les études basées, d'une part, sur l'inventaire des fonctions et des procédés utilisés dans ITER et, d'autre part, sur le retour d'expérience d'autres installations ont permis d'estimer la quantité de l'ordre de 100 m<sup>3</sup> par an avec une répartition en masse dans les catégories précédemment citées :

- Très faible activité (TFA) : .....20 %
- Faible et moyenne activité à vie courte (FMA) : .....75 %
- Moyenne activité à vie longue (MAVL) : .....5 %

Par ailleurs, il est prévu de remplacer certains composants internes, en particulier les éléments de couverture et du divertor\* qui font partie du programme expérimental, une ou plusieurs fois au cours de la vie de la machine. Dans ITER seront également testés quelques modules permettant de générer du tritium (couvertures tritigènes) à l'intérieur de la machine. Ces modules seront composés d'un nouvel alliage dont les propriétés de résistance aux neu-



Contrôle de colis de déchets

<sup>14</sup> Activation des matériaux qui deviennent ainsi radioactifs

trons sont proches de celles qui seront nécessaires pour le futur réacteur industriel. Ces composants, ayant été proches du plasma, seront classés dans la catégorie moyenne activité à vie longue ; leur quantité pour l'ensemble de la vie d'ITER est estimée à 750 tonnes.

### Les déchets issus du démantèlement

Les prévisions de l'activation des composants en fin de vie ont permis une prévision de classification pour l'ensemble des déchets produits. Les opérations de démantèlement vont générer au cours des opérations environ 30 000 tonnes de déchets qui se répartissent en 60 % de type TFA, 30 % de type FMA et 10 % de type MAVL.

### En résumé

La répartition de l'estimation des déchets produits par l'installation pendant son exploitation puis à l'issue du démantèlement est donnée dans le tableau suivant :

Type de déchets radioactifs pour ITER	TFA	FMA	MAVL	HAVL
Déchets technologiques	320-760 t	1200-2850 t	80-190 t	0
Déchets issus du remplacement des composants	0	0	750 t	0
Démantèlement	18000 t	9000 t	3000 t	0

A noter qu'ITER ne produit aucun déchet de haute activité.

Les déchets radioactifs d'ITER seront traités conformément à la réglementation, en vue de leur entreposage dans l'installation, puis de leur expédition sur les sites de stockage appropriés. Ces opérations de traitement (tri, découpes, détritiation pour certains d'entre eux, conditionnement...) pourront dans certains cas être précédées d'une phase d'entreposage de décroissance, permettant une réduction du débit de dose des déchets (par suite de la disparition des éléments radioactifs de périodes courtes) et un traitement ultérieur facilité.

Des efforts importants, suivant le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ont été effectués au niveau de la conception d'ITER pour minimiser les déchets et faciliter le démantèlement. Ainsi, les éléments de couverture de l'enceinte à

Entreposage de déchets de faible activité



vide ont été à plusieurs reprises optimisés ; les modules du divertor\* ont été redessinés pour pouvoir réutiliser toute leur partie structurelle lors de leur remplacement, seule la couverture à haut flux thermique étant changée.

Il est à noter, également, que pour le réacteur de fusion électrogène du futur, des recherches sont actuellement menées en vue de définir des matériaux à faible activation sous irradiation (comme l'eurofer), afin de réduire de manière significative la quantité de déchets MAVL.

### Plan particulier d'intervention

*En cas d'accident dans une installation nucléaire de base, le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et du département des Bouches-du-Rhône, peut déclencher le plan particulier d'intervention (PPI) qui fait partie de la gamme des dispositifs d'urgence prévus par la réglementation française (instruction ministérielle du 5 février 1952 créant le plan d'organisation des secours Orsec et la loi relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs du 22 juillet 1987). Parmi les mesures d'un PPI sont prévus la mise à l'abri, l'écoute de la radio, les coupures des routes, l'arrêt du trafic ferroviaire, la fermeture des entrées et sorties d'autoroute...*



Poste de commande pour le PPI



### Transport de produits radioactifs

Les transports de matières radioactives qui empruntent la voie publique en France s'effectuent en application de l'arrêté du 1<sup>er</sup> juin 2001

Emballages tritium



Container pour transporter les emballages



relatif au transport des marchandises dangereuses par route. Les emballages de transport utilisés sont adaptés à la nature et à la quantité des matières qu'ils contiennent. Ils intègrent les dispositions de prévention des risques et de protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les effets des rayonnements, tant en conditions normales qu'accidentelles de transport. Les colis - emballage et contenu - utilisés doivent être homologués par l'autorité de sûreté nucléaire selon les recommandations internationales de l'AIEA\*.

L'installation ITER va nécessiter, durant toute la période de fonctionnement, deux types de transport de produits radioactifs :

- Les transports de tritium : selon les études en cours, le nombre de transports est évalué à moins de dix transports par an environ.
- Les transports de déchets : les déchets générés par l'installation ITER seront évacués vers les centres d'entreposage ou de stockage en fonction de la réglementation. Ces transports

de déchets sont similaires à ceux réalisés actuellement vers le centre de l'Aube de l'Andra pour les déchets de faible ou moyenne activité, à vie courte, ou les déchets de très faible activité (déchets de type de faible et moyenne activité ou très faible activité).

### Sécurité et prévention des actes de malveillance

L'organisation internationale ITER appliquera la réglementation française pour ce qui concerne la sécurité de l'installation. Ces dispositions visent pour l'essentiel à prévenir le risque de vol de matière radioactive ou sa dispersion résultant d'un acte de malveillance.

Dans l'installation nucléaire de base et plus particulièrement dans les locaux contenant des matières radioactives, un ensemble de dispositions de protection physique, définies en liaison avec les autorités françaises, seront mises en place. Il s'agit de dispositions matérielles ou à caractère organisationnel. Ces dispositions, qui sont confidentielles, sont placées sous le contrôle du Haut Fonctionnaire de Défense.

L'accès des bâtiments nucléaires sera limité au personnel habilité ou à des visiteurs accompagnés. L'accès des véhicules sera également contrôlé.

Des procédures particulières seront également mises en place pour la réception des transports de tritium dans l'installation. Une fois réceptionné, le tritium sera ensuite stocké de manière fractionnée dans des locaux fortement protégés.

Seules les personnes autorisées et munies d'un badge peuvent entrer dans une installation nucléaire de base





taux soit une valeur comparable à celles mesurées à proximité d'installation existante comme le JET en Grande Bretagne. Ce qui représente un impact très inférieur au niveau maximal admissible, pour les denrées alimentaires, fixé à 1250 Bq/kg, par la directive européenne n°2218 du 18 juillet 1989.

L'activité ajoutée par les rejets liquides d'ITER dans l'eau de la Durance sera de l'ordre du Bq/l c'est à dire comparable aux valeurs mesurées dans les eaux de surface en France qui sont de l'ordre de 2 à 3 Bq/litre. Cette valeur est 100 fois inférieure au seuil fixé par la direction générale de la Santé qui stipule que, pour des eaux potables, des investigations complémentaires doivent être entreprises dès lors que la teneur en tritium dans l'eau dépasse 100 Bq/l. Les doses annuelles, induites par l'ensemble des rejets gazeux et liquides, pour ce groupe d'habitants résidant à la maison d'hôtes, sont estimées à environ 0,01 mSv, soit une valeur très nettement inférieure à la valeur maximale réglementaire de 1 mSv par an pour le public (cf décret n°2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants, transposant en France la directive européenne 96/29/EURATOM).

**Impact des rejets non radioactifs**

La quantité de béryllium rejetée annuellement est estimée entre 0,1 gramme et 1 g environ ce qui conduit à une valeur de l'ordre de 0,01 microgramme/m<sup>3</sup> dans l'environnement au voisinage de l'installation. Cette valeur est très inférieure à la valeur de 2 microgrammes/m<sup>3</sup> considérée en France par le ministère du Travail comme la limite admise dans l'air des locaux de travail. A l'intérieur de l'installation, des mesures de protection respiratoires seront imposées pour des concentrations supérieures à 0,2 microgramme/m<sup>3</sup>.

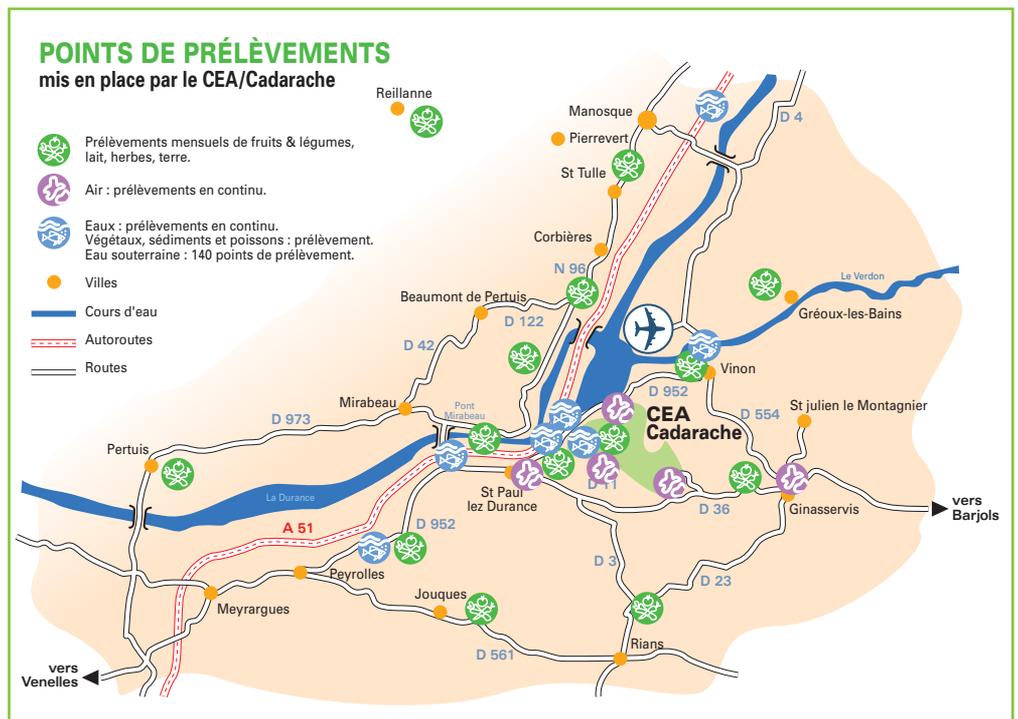
**Impact en situation accidentelle**

La démarche de sûreté pour ce type d'installation prévoit d'analyser les conséquences de divers types de défaillance supposés. L'accident hypothétique, considéré comme le plus pénalisant pour

l'installation ITER, serait la formation d'une brèche importante dans une canalisation du circuit de refroidissement au niveau du local des échangeurs thermiques. Cette brèche entraînerait une perte du circuit de refroidissement et conduirait à la formation d'une nouvelle brèche sur le circuit de refroidissement d'un composant interne de la chambre à vide (enceinte où est produit le plasma). Cette double brèche mettrait ainsi en communication l'intérieur de la machine et les locaux environnants internes à l'installation. Dans cette situation et compte tenu des systèmes de détritiation\*, cela conduirait à un rejet dans l'environnement de 1,5 gramme de tritium. Pour le groupe de population de référence le plus proche, la dose radiologique consécutive serait de 0,2 mSv dans les conditions météorologiques les plus défavorables. Cette valeur est inférieure à la valeur de 10 mSv pour laquelle des mesures spécifiques de protection doivent être prises pour les populations environnantes en vertu de l'arrêté ministériel du 13 octobre 2003.

**La surveillance de l'environnement**

Le CEA/Cadarache et son environnement font l'objet, depuis la création du centre, d'une surveillance radiologique et chimique régulière, réalisée à la fois par le laboratoire d'analyse et



de surveillance de l'environnement du service de protection contre les rayonnements du CEA/Cadarache et par des laboratoires agréés, externes au CEA, pour le compte des services de l'Etat (DRIRE\*, IRSN\*).

Chaque année, plus de 4900 prélèvements sont effectués sur le centre de Cadarache et dans les communes environnantes permettant d'obtenir environ 7000 analyses.

En tant qu'exploitant nucléaire, l'organisation internationale ITER devra disposer d'un programme global de surveillance de l'environnement conforme aux prescriptions réglementaires françaises. Pour cela, l'une des options possibles consistera à s'inscrire dans le réseau de mesures et de surveillance déjà dense et opérationnel mis en place par le CEA/Cadarache, incluant des contrôles spécifiques à ITER. De plus, des contrôles pourront être effectués par les services de l'Etat à l'instar des procédures existantes pour le centre du CEA/Cadarache.



Surveillance des eaux souterraines



### La surveillance du site

A l'instar des installations du CEA/Cadarache, des prélèvements et des mesures de radioactivité seront effectués dans le périmètre de l'installation ITER. L'eau de pluie sera recueillie et analysée, des échantillons de terre et de végétaux seront prélevés.

Les rejets gazeux ou d'aérosols seront contrôlés soit en continu par un système de capteurs au niveau de la cheminée de l'installation, soit en différé par des prélèvements sur les filtres du réseau de ventilation.

La surveillance des eaux souterraines sera assurée par des prélèvements effectués avec des piézomètres (forages dans le sol) situés tout autour de la zone d'implantation de



Prélèvement dans la Durance

Prélèvement pour analyse autour du site de Cadarache



l'installation. Ces piézomètres, déjà en place, permettront aussi de mesurer en permanence le niveau des nappes phréatiques.

### Surveillance dans les communes avoisinantes

Dans le cadre du plan de surveillance de l'environnement mis en place par le CEA/Cadarache, la surveillance atmosphérique est réalisée au moyen de stations fixes. Deux stations sont implantées dans les communes environnantes (Saint Paul-lez-Durance et Ginasservis). Elles sont équipées de capteurs donnant en continu la radioactivité de l'air ainsi que de capteurs météorologiques déterminant à tout moment les conditions de dispersion des effluents gazeux.

En application du décret 98-360, la qualité de l'air est également surveillée en continu ; l'association AIRMARAIX dispose, pour ce faire, d'une station fixe sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance et d'une station mobile qui réalise des mesures en différents lieux de la région.

De même, pour la surveillance du réseau hydrographique, des prélèvements sont réalisés dans la Durance, de manière périodique ou

en continu, et leur activité radiologique est mesurée. Les mesures sont effectuées à la fois sur l'eau, les sédiments, les poissons et les végétaux.

Les eaux souterraines sont également prélevées en certains points pour être analysées.

Enfin, une surveillance des sols, de la flore et de la faune, est réalisée au moyen de prélèvements périodiques d'échantillons. Les végétaux analysés sont représentatifs des habitudes alimentaires des habitants de la région.

### Publication des résultats

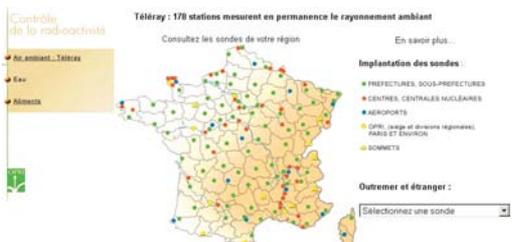
Des données relatives à la surveillance de l'environnement sont mises à la disposition du public par différents organismes :

- le service minitel 3614 MAGNUC : magazine thématique MAGNUC édité par l'autorité de sûreté nucléaire qui comporte notamment des mesures de radioactivité par site actualisées tous les mois ;
- le site internet <http://www.asn.gov.fr> de l'autorité de sûreté nucléaire ;
- le site internet <http://www.paca.drirc.gouv.fr> qui publie les résultats de mesures disponibles à la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement ;
- le site internet <http://www.irs.fr/opera/> qui comporte les données de la surveillance effectuée dans le cadre des Observatoires permanents de la radioactivité de l'environnement (programme Opera) comprenant un réseau de plus de 30 stations implantées sur tout le territoire français pour le domaine atmosphérique (aérosols, précipitations), le milieu terrestre (sols, végétaux, animaux) et le domaine fluvial (eaux, matières en suspension) ;
- le site internet <http://www.irs.org> qui publie les résultats de 178 stations de mesure de la radioactivité (réseau Téléray). Une station située à Cadarache permet de connaître la radioactivité ambiante journalière avec visualisation graphique de la radioactivité sur plusieurs mois.

- le site internet <http://www-cadarache.cea.fr> qui publie les résultats des mesures effectuées par le CEA/Cadarache sur différents milieux : végétation, produits alimentaires, eaux (superficielles en amont et en aval du centre de Cadarache, souterraines), poussières atmosphériques (aérosols), exposition ambiante (irradiation) dans le cadre du plan de surveillance de l'environnement.



Par ailleurs, la commission locale d'information de Cadarache (CLI), créée en 1993 par le conseil général des Bouches-du-Rhône, assure une mission d'information du public. Cette instance d'information est composée de représentants des collectivités territoriales, de personnes qualifiées (experts...) et de représentants des organisations syndicales et d'associations. Les travaux de la CLI portent sur différents domaines : communication, environnement, socio-économique. Dans ce cadre, la CLI a diffusé un dossier d'information sur le projet ITER en janvier 2004 disponible sur le site <http://www.asn.gov.fr/cli>.





Tête d'un des 60 forages réalisés pour ITER

# Tenue au séisme

Depuis 1981, les installations nucléaires en France sont soumises à des règles qui fixent, d'une part, le risque sismique à considérer et, d'autre part, les règles de construction correspondantes.

La définition du risque sismique dépend du lieu considéré. Elle est fondée sur :

- Les mesures expérimentales des séismes observés. Ces données existent depuis environ une trentaine d'années tant pour la magnitude que pour l'intensité.
- La sismicité historique qui, d'après l'étude des textes anciens sur une échelle de temps d'environ mille ans, a permis d'évaluer l'intensité des séismes qui se sont produits.
- La paléo-sismicité basée sur l'étude des défauts géologiques qui permet de remonter à des événements qui se sont produits il y a plusieurs dizaines de milliers d'années.

La règle fondamentale de sûreté révisée en 2001 prend en compte, pour le site de Cadarache, l'activité sismique historique de la faille de la moyenne Durance (notamment le séisme de Manosque en 1708) et de la faille de la Trévarresse (notamment le séisme de Lambesc en 1909). Le séisme de Manosque est l'événement historique le plus pénalisant pour le calcul de l'aléa sismique, du fait de sa proximité, et correspond au séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV).

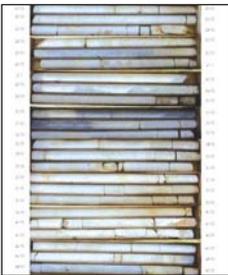
Sur cette base et en majorant la magnitude du SMHV de 0,5, cela conduit à retenir, pour le dimensionnement des installations nucléaires, un séisme dit séisme majoré de sécurité (SMS). Il s'agit d'un séisme de magnitude 5,8 sur l'échelle de Richter. D'autre part et en complément, on définit un séisme enveloppe de la potentialité de la faille de la moyenne Durance et de magnitude égale aux observations paléo-sismiques (magnitude 7).

Des études détaillées, conduites en 2001 et 2002 par le CEA, ont permis de vérifier que les bâtiments tels que définis dans le dessin générique d'ITER résisteraient au séisme SMS : la quantité d'armatures métalliques dans le béton armé est telle que les bâtiments, qui se déformeraient légèrement pendant le séisme, reprendraient leur position initiale dès la fin du séisme. La fonction de confinement serait toujours assurée. Ces études ont aussi permis de valider une autre option de génie civil qui consis-

te à faire reposer les bâtiments sur un radier isolé du sol par des plots para-sismiques.

D'autre part, la soixantaine de carottages réalisés sur l'ensemble de la zone, jusqu'à une profondeur de 60 mètres, ont confirmé l'excellente qualité du sous-sol calcaire sur la zone prévue pour la construction d'ITER.

Carottes extraites d'un forage de 60m



## Intensité d'un séisme (ECHELLE MSK)

Afin de mesurer l'importance des séismes, les sismologues ont commencé par établir des échelles dites d'intensité macrosismique, fondées sur les observations des effets des séismes en un lieu donné. L'échelle d'intensité utilisée actuellement en France et dans la plupart des pays européens est celle mise au point en 1964 par Medvedev, Sponheuer et Karnik, dite échelle MSK. Les degrés d'intensité qui caractérisent le niveau de la secousse sismique et les effets associés sont numérotés de I à XII.

- I secousse non ressentie, mais enregistrée par les instruments
- II secousse partiellement ressentie, notamment par des personnes au repos et aux étages
- III secousse faiblement ressentie ; balancement des objets suspendus
- IV secousse largement ressentie dans les habitations ; tremblement des objets
- V secousse forte ; réveil des dormeurs ; chute d'objets ; parfois légères fissures des plâtres
- VI légers dommages ; parfois fissures dans les murs ; frayeur de nombreuses personnes
- VII dégâts ; larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations ; chute de cheminées
- VIII dégâts massifs ; les habitations les plus vulnérables sont détruites ; presque toutes subissent des dégâts importants
- IX destruction de nombreuses constructions ; chute de monuments et de colonnes
- X destruction générale des constructions, même les moins vulnérables
- XI catastrophe ; toutes les constructions sont détruites
- XII changement de paysage ; énormes crevasses dans le sol, vallées barrées, rivières déplacées...

## Magnitude d'un séisme (Echelle de Richter)

La magnitude est une mesure de l'énergie totale d'un séisme et non pas de ses effets en un lieu donné (intensité). Cette notion a été introduite en 1935 par Charles F. Richter pour estimer l'importance des séismes locaux californiens. Elle est calculée à partir de l'enregistrement des amplitudes maximales des ondes sismiques en une ou plusieurs stations d'observation. La magnitude est une mesure physique continue qui n'est pas, comme l'intensité, une échelle de valeurs avec des limites inférieure ou supérieure. C'est ainsi que l'on a pu détecter des séismes de magnitude négative, tandis que la magnitude du plus gros séisme enregistré à ce jour (Chili en 1960) est de 9.

Source : [www.irsng.org](http://www.irsng.org) <<http://www.irsng.org>>

## La règle fondamentale de sûreté

(RFS) 2001-01 édictée par l'autorité de sûreté nucléaire française donne la procédure à suivre pour :

- évaluer le séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) relatif au site concerné,
- définir pour le site le séisme majoré de sécurité (SMS)
- calculer les mouvements sismiques correspondant au SMS
- prendre en compte les mouvements sismiques ainsi définis pour la conception des installations (ou parties d'installations) à dimensionner aux séismes.

# Impact sur le patrimoine, impacts visuels

*Le site de la future implantation d'ITER, en bordure nord-est du CEA/Cadarache, fait partie de la forêt domaniale de Cadarache. Cette forêt, gérée actuellement par l'ONF, appartient à un espace boisé et vallonné beaucoup plus vaste, qui s'étend sur une partie du territoire des communes de Saint-Paul-lez-Durance, Vinon-sur-Verdon et Ginasservis.*

Les installations d'ITER occuperont une superficie de 180 hectares :

- environ 40 hectares pour l'implantation de la machine ;
- environ 50 hectares pour les bâtiments annexes, le poste électrique RTE\*, les bassins d'épuration et de contrôle des effluents,
- une vingtaine d'hectares pour la gestion des matériaux issus des opérations de terrassement (entreposage ou stockage suivant l'option choisie),
- environ 70 hectares où seront implantés les bâtiments nécessaires à la fabrication des composants non transportables pendant la construction d'ITER (bobines de champ poloidal, éventuelle station d'essai cryogénique...).

À titre de comparaison, le centre de Cadarache occupe actuellement 1600 hectares, dont 900 sont clôturés.

Comme les installations du centre de Cadarache, celles d'ITER seront conçues pour s'intégrer le mieux possible dans le paysage.

Seuls, les espaces strictement nécessaires à la construction des bâtiments, à la manutention des équipements et à la protection contre l'incendie seront déboisés.

Haut de 75 mètres, dont environ 25 mètres enterrés et 50 mètres au-dessus du niveau du sol, le bâtiment qui abritera le tokamak sera partiellement visible depuis certains quartiers de la commune de Vinon-sur-Verdon.

Pour limiter son impact visuel, un soin particulier sera apporté au traitement de ses façades, tant par le choix des matériaux que par celui des textures et des couleurs utilisées.

En 2003, le CEA a lancé un concours d'architectes pour les bâtiments annexes, à savoir principalement le bâtiment de bureaux, le centre de relations publiques, le restaurant d'entreprise et le bâtiment médical et de secours. Après un appel public à candidature, quatre architectes ou groupements d'architectes ont été retenus et ont pu concourir. Le jury du concours, composé d'un architecte indépendant, de

*Vue d'ITER  
depuis l'entrée  
de Vinon en  
venant de  
Manosque*



représentants du CEA et d'un représentant de la Commission européenne, s'est réuni le 07/02/2003, mais n'a pas définitivement statué. Les quatre projets sont présentés succinctement sur les quatre figures ; le concours étant anonyme, les projets sont repérés A, B, C et D.

Il est prévu, à l'issue du débat public, de relancer un nouveau concours d'architectes. Les modalités du concours et la composition du jury sont à définir, de même que les critères de comparaison des différents projets. Le jury

devra, en particulier, considérer avec attention les incidences des projets en termes de coût d'exploitation et d'impact sur l'environnement, notamment en ce qui concerne le chauffage et la climatisation des locaux. Une fois le projet choisi, une clause particulière du contrat de maîtrise d'œuvre prévoira d'étudier les différentes possibilités pour s'inscrire dans le cadre de la démarche haute qualité environnementale (HQE).

Concours  
d'architecte  
pour bâtiments annexes  
: bureaux,  
restaurant d'entreprise,  
bâtiment de relations  
publiques, bâtiment  
médical



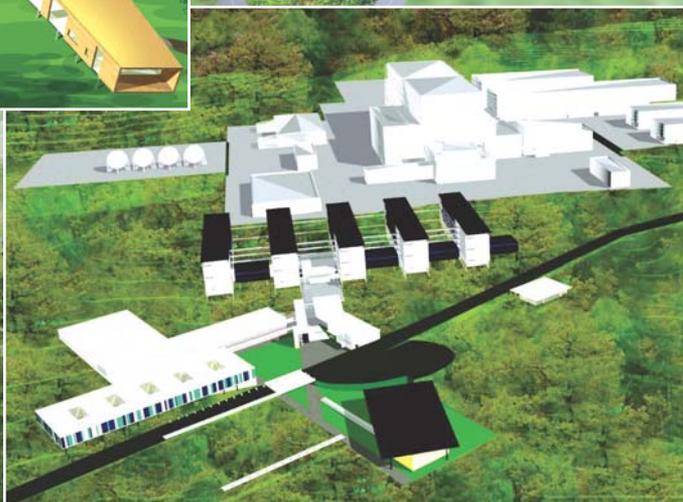
Projet A



Projet C



Projet B



Projet D

# Impact sur la faune, et la flore

Le site de Cadarache se trouve à proximité de la vallée de la Durance, du Parc naturel régional du Luberon au nord-ouest et du Parc naturel régional du Verdon à l'est. De nombreux périmètres d'inventaire, accompagnés de mesures de protection, y ont été définis. Aucun d'eux n'inclut la zone sur laquelle ITER doit être édifié.

Un inventaire écologique de l'ensemble de la zone concernée par l'implantation d'ITER a été réalisé par un cabinet spécialisé en 2002/2003<sup>15</sup>. Son objectif a été d'identifier les espèces végétales et animales pour lesquelles des mesures de protection spécifiques seront prises avant le début de la construction d'ITER.

Éléments les plus significatifs de l'inventaire :

- Le couvert végétal est très diversifié : feuillus – essentiellement constitué de chênes blancs et de conifères – pins d'Alep et pins sylvestres, taillis de chênes verts et de chênes pubescents, buissons de genévriers, garrigues à romarin, landes à buis et à genêt. Hormis le genévrier, aucune de ces essences n'est répertoriée dans les listes des espèces végétales d'intérêt communautaire. Les zones découvertes sont caractérisées par des pelouses plus ou moins sèches poussant sur les marnes et rocailles.
- La flore est riche en espèces à bulbes notamment de très nombreuses orchidées dont deux, *Ophrys provincialis* et *Ophrys drumana* sont des espèces protégées. Ces dernières ont été identifiées sur une zone limitée. La faune vertébrée ne diffère pas de celle que l'on rencontre dans l'ensemble de la zone environnante. Elle ne présente donc pas d'enjeu significatif lié à l'implantation d'ITER. Plusieurs espèces d'intérêt patrimonial ont été identifiées, notamment des oiseaux, mais en nombre généralement moins élevé que dans d'autres lieux de la région où elles pourront vraisemblablement se relier.
- La faune invertébrée est également très riche, particulièrement pour ce qui concerne les insectes. Quatre espèces protégées ou d'un grand intérêt patrimonial y ont été identifiées :
  - le grand capricorne, un coléoptère protégé au niveau européen, très commun dans la région ;

- la Proserpine, un papillon protégé au niveau national, commun dans la région et dont la présence sert de guide à l'élaboration des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF\*) en région PACA ;
- l'Échiquier d'Occitanie, un papillon rare en France, commun en région PACA où il est également utilisé dans l'élaboration des ZNIEFF ;
- le Criquet Occitan, assez commun en Espagne, n'avait jusqu'ici jamais été identifié aux environs de Cadarache. Quelques individus ont été recensés en limite sud-ouest de la zone ITER.

Les espèces protégées feront l'objet d'une attention particulière conformément à la réglementation. Les mesures de protection appropriées seront élaborées en concertation avec la direction régionale de l'environnement (DIREN). En particulier, une étude d'incidence sera réalisée. Elle comportera une analyse des effets notables, permanents et temporaires du projet, et présentera les mesures compensatoires éventuelles pour maintenir la cohérence du réseau Natura 2000. Cette étude d'incidence sera étendue à l'ensemble de la zone concernée par le transport des composants d'ITER.



Orchidée  
*Ophrys provincialis*

Grand capricorne



Principales  
essences  
présentes sur  
le site :  
chênes et pins



<sup>15</sup> Cabinet médiaterre



## LES ENJEUX DU PROJET

- L'aménagement du territoire .....54**
  - Pour l'accueil d'ITER, la région s'organise ....54
  - L'offre éducative .....55
  - L'offre de logement.....56
- Les enjeux économiques .....58**
  - Les aspects directement liés à ITER .....58
  - Le développement économique induit.....59
- Les enjeux technologiques, scientifiques et en termes d'enseignement et de formation .....60**

# les enjeux du projet

dans la région

Le choix de Cadarache le 28 juin 2005, par les six partenaires ITER d'alors, représente des enjeux importants pour la région d'accueil : enjeux d'aménagement et d'équipement du territoire, enjeux économiques et scientifiques. Ils sont exposés dans cette troisième partie.

# Aménagement du territoire

## *Pour l'accueil d'ITER, la région s'organise*

Les retombées de l'implantation d'ITER à Cadarache pour la région PACA sont multiples : économique, social, culturel, scientifique... Les acteurs régionaux se sont mobilisés pour bâtir une offre régionale en termes d'accueil, de logements, d'offre éducative, de développement de zones d'activité économique et d'aménagement.

Lors du démarrage des travaux de l'installation de recherche à partir de l'année 2008, ITER nécessitera les compétences de nombreux techniciens : mécaniciens, cryogénistes, thermiciens, électrotechniciens, électroniciens, informaticiens... En phase d'exploitation, il est prévu qu'ITER emploie environ 1000 personnes, dont 600 ingénieurs et techniciens pour le fonctionnement et la maintenance de l'installation et 400 scientifiques.

Région Provence  
Alpes Côte-d'Azur,  
(vue satellite)



© IGN.

L'expérience acquise dans le cadre d'autres collaborations internationales, scientifiques ou non (Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN\*), European Synchrotron Radiation Facility (ESRF\*)...), montre que le personnel, surtout lorsqu'il s'installe avec sa famille, est soucieux de la qualité des équipements de santé, des logements et de l'offre éducative. Les équipements médicaux et hospitaliers de la région, habituée à accueillir de nombreux touristes, répondent à la première de ces préoccupations. Les aspects logement et éducation justifient la mise en place de mesures d'accompagnement spécifiques.

Au-delà des aspects techniques et réglementaires, le dossier de candidature de Cadarache a, dès le départ, mis l'accent sur l'interaction nécessaire entre ITER et son environnement humain et économique. Pour réussir l'implantation d'un équipement scientifique de cette taille :

- l'environnement doit être attractif pour la communauté scientifique qui lui est associée ;
- l'équipement doit s'intégrer de la manière la plus harmonieuse possible dans l'environnement qui l'accueille ;
- une fois opérationnel, il doit jouer le rôle d'un catalyseur pour le développement universitaire, scientifique et économique régional.

Conscientes de ces enjeux, les collectivités territoriales les plus concernées par le projet (Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, conseils généraux des Alpes Maritimes, Alpes-de-Haute-Provence, des Bouches-du-Rhône, des Hautes Alpes, du Var et du Vaucluse, Communauté du Pays d'Aix) se sont engagées à faciliter cet accueil et à y contribuer financièrement.

De son côté, dès avril 2002, le préfet de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur a mis en place un comité régional de pilotage ITER auquel il a confié les missions suivantes :

- préparer le financement du projet par les collectivités territoriales ;
- lancer les études les plus urgentes, notamment celles qui portent sur l'aménagement de l'infrastructure routière ;
- proposer une politique d'aménagement du territoire cohérente dans le domaine de l'offre éducative et du logement ;

- préparer les conditions d'accueil et d'insertion économiques, scientifiques, technologiques, industrielles et territoriales d'ITER et de ses retombées.

Dans le cadre de la mission qui lui a été confiée par le Premier ministre en juin 2005, le préfet de la région PACA veillera au traitement des mesures d'accompagnement en se consacrant notamment à la création d'une école internationale, la maîtrise du foncier, l'aménagement d'un itinéraire routier d'acheminement de charges exceptionnelles. Une « commission de haut niveau »<sup>16</sup> placée auprès du préfet a pour mission de coordonner le suivi des différentes actions liées à l'implantation d'ITER (cf missions des services de l'Etat en région page 18).

## L'offre éducative

Une communauté scientifique internationale s'intègre d'autant mieux dans son environnement d'accueil qu'elle dispose, pour ses enfants, d'une offre éducative adaptée et de qualité. Dans la mesure où le statut de ces personnels, ainsi que la durée de leurs missions et de leurs contrats seront très divers, l'offre éducative devra viser deux objectifs principaux :

- Pour les enfants des personnels en mission de courte et moyenne durée, une offre d'enseignement dans la langue du pays d'origine et conforme aux programmes scolaires de celui-ci. L'objectif, dans ce cas, est d'éviter aux enfants scolarisés de prendre du retard dans leur cursus.
- Pour les enfants des personnels en poste pour des durées relativement longues, une coordination progressive avec le cursus français et européen, sans perte de contact avec la culture du pays d'origine.

Au mois de décembre 2002, lors de la visite d'un groupe d'experts internationaux chargés d'évaluer les sites candidats à l'accueil d'ITER, le recteur de l'Académie d'Aix-Marseille, qui préside le groupe de travail "éducation", a proposé la création d'une école internationale spécifique. Un tel établissement, qui intégrera l'ensemble des sections, depuis les classes maternelles jusqu'à celles de terminale pourra être conçu sur le modèle des écoles destinées aux enfants des fonctionnaires internationaux.



En lien étroit avec les pays d'origine, il proposera une éducation internationale largement ouverte sur la culture du pays d'accueil.

Au cours de l'automne 2003, le conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur a financé une étude de programmation visant à préciser les caractéristiques pédagogiques, ainsi que le dimensionnement technique et financier d'une école publique internationale. L'étude a été coordonnée par le directeur des lycées du Conseil Régional. Les principaux enseignements de cette étude sont résumés ci-dessous : Au sein d'une structure unique rassemblant les élèves depuis la maternelle jusqu'au lycée :

- L'école accueillera environ 1 400 élèves de la maternelle jusqu'à la terminale.
- Elle offrira huit sections linguistiques<sup>17</sup> : Allemand, Anglais, Chinois, Coréen, Français, Italien, Japonais, Russe.
- L'école sera organisée en différentes sections en fonction de l'âge et du niveau de ses élèves. Elle disposerait toutefois d'une administration et d'un espace de restauration communs à l'ensemble des sections.
- Un pôle culturel, ainsi qu'un plateau sportif, y favorisera les échanges linguistiques et culturels.
- L'école sera accessible aux enfants des résidents locaux et aux enfants des résidents étrangers, qu'ils soient personnels d'ITER ou non.



<sup>16</sup> Yannick Imbert, directeur de projet est chargé d'organiser l'activité de cette équipe sous l'autorité du préfet de région.

<sup>17</sup> L'enseignement pour les enfants des Indiens pourrait se faire en anglais.

- Les équipements sportifs et culturels seront accessibles aux associations locales.

L'étude financée par le Conseil Régional a conduit au dimensionnement technique et budgétaire suivant :

- Emprise foncière de 5 à 6 hectares
- Surface hors oeuvre nette de l'ordre de 26 000 m<sup>2</sup>
- Budget de construction équivalent à celui d'un lycée accueillant le même nombre d'élèves.

Le Conseil régional Provence-Alpes-Côte-d'Azur assurera le financement de l'intégralité de la construction dans le cadre d'un concours d'architecte international.

Localisée à Manosque (Alpes de Haute Provence) l'école pourrait ouvrir ses portes, au moins partiellement à la rentrée 2007. D'ici là, des solutions provisoires seront mises en œuvre.



Vue aérienne de la ville de Manosque

## L'offre de logement

Pendant la phase d'évaluation technique du site de Cadarache, au mois de décembre 2002, comme au moment des visites des diverses délégations, les experts se sont particulièrement intéressés à la disponibilité de logements et à leur prix.

L'installation d'ITER va générer deux sortes de besoins :

- A court terme, pendant la phase chantier, et pour des durées assez courtes, un besoin de 2 000 logements en pointe.

- A moyen terme (2010 – 2015), un besoin de l'ordre de 1 000 logements destinés aux familles des personnels d'ITER.

### Logements et hébergements pendant la phase chantier

Pendant la durée du chantier, la demande portera principalement sur des logements proches du site, susceptibles d'accueillir des personnes seules ou des familles peu nombreuses. Compte tenu de la durée moyenne des contrats de sous-traitance, le taux de renouvellement de leurs occupants sera élevé.

### Logements pour les familles des personnels étrangers d'ITER

Les caractéristiques des logements destinés aux familles des personnels étrangers seront plus diversifiées en termes de taille, de prestations et de coût. Les familles pourront choisir d'en être locataires ou propriétaires. La localisation de l'école internationale sera en grande partie déterminante quant au choix des familles sur le lieu d'installation.

Dans le cadre des travaux du groupe "logement" du comité régional de pilotage ITER, la direction régionale de l'Équipement a procédé au milieu de l'année 2003, à un diagnostic de la situation du logement sur l'ensemble du "territoire ITER". Ce diagnostic, centré sur 18 communes des Alpes-de-Haute-Provence, des Bouches-du-Rhône, du Var et du Vaucluse, s'est appuyé sur les quatre directions départementales de l'Équipement et sur l'Agence d'Urbanisme du Pays d'Aix (AUPA). Il est apparu que sur la zone concernée :

- 400 logements en moyenne ont été créés chaque année dans la période 1990/1999 et 700 en 2003 ;
- 2500 logements sont vacants, la plupart nécessitant une réhabilitation ;
- les réserves foncières pourraient permettre de construire plus de 100 000 logements supplémentaires, bien au-delà des besoins spécifiques à ITER.

Dans ce contexte, la demande supplémentaire liée à l'implantation d'ITER peut sembler relativement modeste et facile à absorber. Le contexte foncier, toutefois, connaît dans tout ce territoire de grandes tensions. En l'absence d'un mécanisme régulateur, l'augmentation, même minime de la demande voire son anticipation, génère une spéculation foncière, elle-même génératrice d'une raréfaction de l'offre.

En concertation avec les élus des communes concernées, le groupe "logement" a préconisé

la mise en œuvre de plusieurs mesures d'accompagnement, dont certaines sont déjà opérationnelles et qui profiteront aussi aux populations locales :

- la création de zones de ZAD (zone d'aménagement différé), sur lesquelles l'établissement public foncier régional (EPFR) pourra faire jouer son droit de préemption en cas de tentative de vente de terrain à un prix anormalement élevé ;
- la réhabilitation, avec le soutien de l'agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (ANAH) de logements vacants ;
- la mise en chantier rapide de programmes immobiliers à vocation locative dans les communes proches ;
- l'accès aux infrastructures touristiques sous-utilisées hors de la période estivale.

En complément, le CEA a décidé de doubler la capacité de la structure d'hébergement du "Hameau" qui accueille à proximité immédiate de Cadarache des stagiaires, doctorants et collaborateurs temporaires.

L'ensemble de ces mesures devrait permettre ainsi :

- d'offrir aux personnels directement employés par ITER des conditions de logement répondant à leur attente ;
- de contrôler la spéculation foncière ;
- d'améliorer la situation du logement pour l'ensemble de la population du périmètre, à la fois sur la disponibilité et sur le coût.



*La capacité de la structure d'hébergement du "Hameau" à proximité de Cadarache sera doublée (environ 240 logements au total pour stagiaires, doctorants, collaborateurs temporaires...)*





## Enjeux économiques

### Aspects directement liés à ITER

La machine ITER est principalement constituée de composants de haute technologie, mais elle intègre également des équipements d'infrastructure plus conventionnels.

Les composants de haute technologie seront pour la plupart fournis par les différents partenaires et assemblés sur le site ITER ; le pays d'accueil prendra, en outre, à sa charge la réalisation des équipements d'infrastructure. La France assumera donc l'adaptation du site et de ses accès routiers (voir 1<sup>ère</sup> partie, détail du coût de construction, page 28), dont le coût est estimé à 105 millions d'euros.

Les retombées pour la région seront multiples et sous des formes diverses :

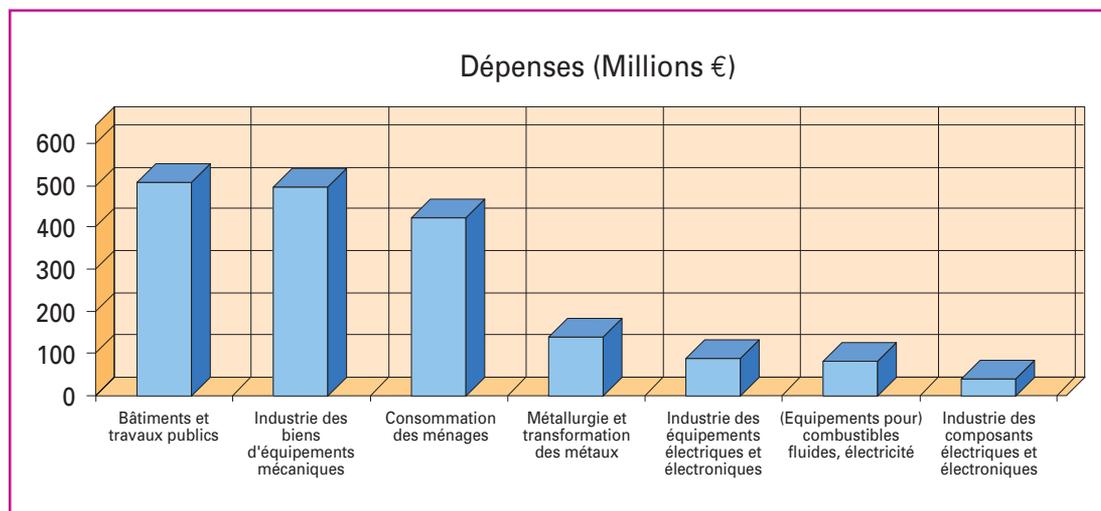
- marchés directs d'ITER par le biais d'appels d'offres européens auxquels les entreprises locales pourront accéder ;

- marchés passés par les partenaires et fournisseurs nationaux et étrangers d'ITER, nécessitant une sous-traitance auprès d'entreprises locales, par exemple pour les travaux d'installation, les essais et les mises en service pour des équipements fournis en nature ;
- impacts induits sur l'économie locale liés à la dépense des salaires des personnels affectés au site, des personnels relevant directement d'ITER, des fournisseurs et des sous-traitants. En outre, ITER pourra contribuer à la promotion du territoire, de ses pôles d'excellence et de compétitivité, de son système d'enseignement-formation et de son tissu industriel et économique.

La capacité du tissu économique régional à contribuer au projet ITER a été analysée par deux études réalisées par la mission d'expertise économique et financière du département des Bouches-du-Rhône et par l'Institut d'économie publique de Marseille.

Elles conduisent aux estimations suivantes :

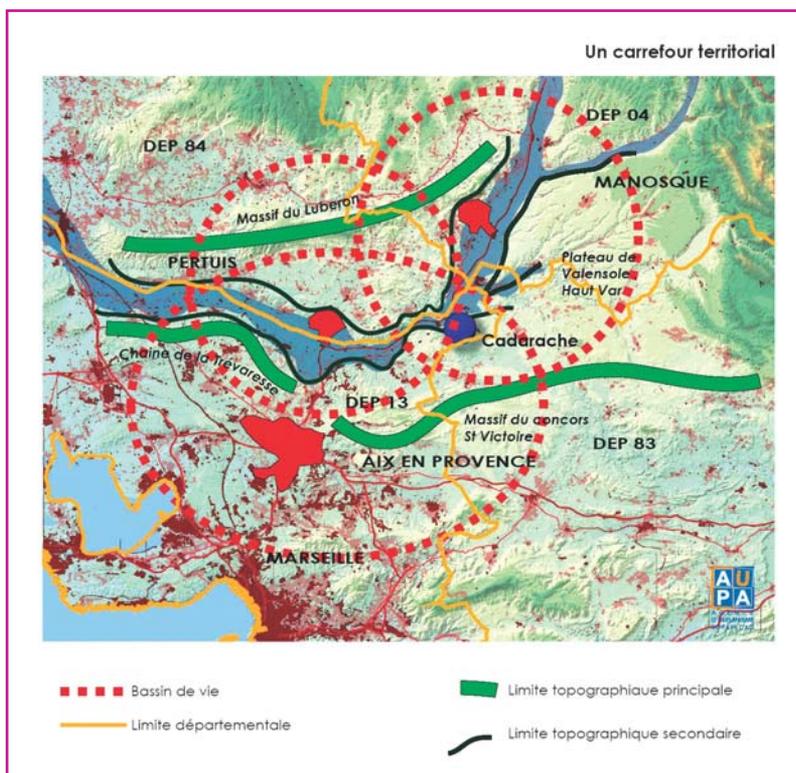
- 1 400 emplois indirects devraient être créés dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur pendant la phase de construction et 2 400 pendant la phase d'exploitation ;
- ITER et son personnel devraient dépenser dans la région 100 millions d'euros par an pendant les 10 ans de construction et 135 millions d'euros par an pendant les deux décennies d'exploitation.



## Le développement économique induit

Les chiffres indiqués au paragraphe précédent ne prennent pas en compte les éventuelles synergies que la présence d'ITER pourrait induire. Elles n'intègrent pas les effets qui pourraient résulter de l'installation dans la région d'autres équipements ou d'autres entreprises pour lesquels ITER aurait joué un rôle décisif. Si tel devait être le cas, les retombées s'en trouveraient significativement amplifiées.

ITER est aussi l'un des projets du pôle de compétitivité «énergies non génératrices de gaz à effet de serre» de la région PACA, labellisé par le Gouvernement le 12 juillet 2005. Ce pôle de compétitivité, qui regroupe les acteurs régionaux de la formation, de la recherche et de l'industrie dans les domaines du solaire, de l'éolien, de la fission nucléaire, de la fusion, de la biomasse, de l'hydrogène, de l'hydraulique et de la maîtrise de la demande en énergie, est potentiellement porteur d'un développement économique évalué à environ 20 000 emplois à l'horizon 2015. Cette reconnaissance nationale et internationale de la région PACA dans le domaine de l'énergie constitue un levier de développement important dont les conséquences pourraient concerner d'autres domaines d'activité (tourisme, bâtiment, ...) et être génératrices de nouvelles synergies.



L'ensemble des pôles de compétitivité labellisés en région PACA présente une grande transversalité des technologies et pourra contribuer à l'essor de l'économie régionale.

*Bassins de vie autour d'ITER qui sera situé dans les Bouches du Rhône à proximité des départements des Alpes-de-Haute-Provence, du Var et du Vaucluse.*



*La zone industrielle de Rousset, accueille plus de 80 entreprises.*

## Enjeux technologiques, scientifiques et en termes d'enseignement et de formation

*En accueillant le plus grand centre mondial de fusion pour les 30 prochaines années, avec un millier de scientifiques, d'ingénieurs et techniciens, venus du monde entier, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur confortera sa position dans le domaine des pôles de recherche à l'instar du pôle existant de Sophia-Antipolis.*

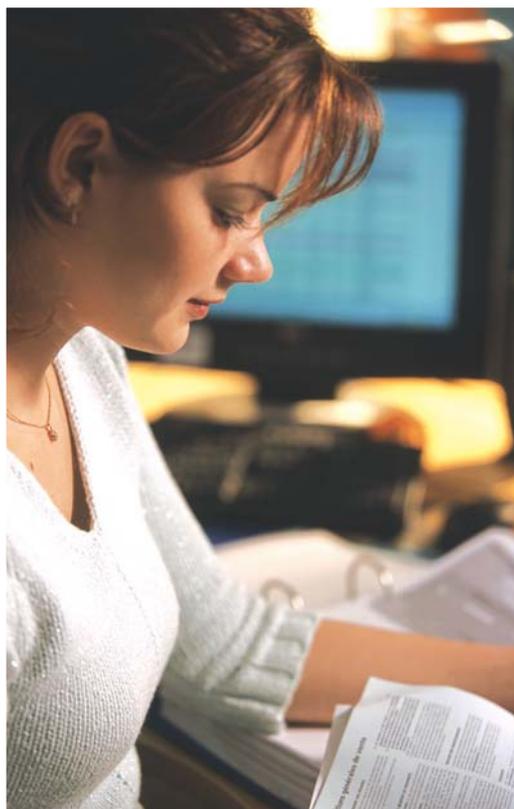
Des exemples, tels le CERN, montrent qu'un grand projet scientifique est susceptible d'attirer d'autres activités qui s'implantent dans son voisinage immédiat.

L'implantation d'ITER offre un potentiel d'attraction par l'accueil de nouvelles compétences ou la mise en valeur de compétences régionales. Le travail d'identification de ces compétences et des synergies qui peuvent se développer entre elles passe par la mobilisation des acteurs régionaux, notamment les universités. Il passe aussi par l'analyse des capacités de R&D des

entreprises régionales. Il montre qu'un effet d'entraînement est prévisible, après une phase de démarrage, et qu'il sera favorisé par la mise en place d'une structure permettant d'informer et d'anticiper la demande.

ITER devrait conforter les collaborations établies dans le domaine scientifique et technologique (programmes de recherche et développement sur la physique du plasma, matériaux, tests de concepts scientifiques et techniques, développement de capteurs...) et en développera d'autres. Les technologies directement liées au projet, pour sa construction comme pour son exploitation, sont également nombreuses (cryogénie, technique du vide, technique de réfrigération, métallurgie spécialisée, électrotechnique, électronique de puissance, robotique, ...).

L'association Euratom-CEA\* a déjà noué de nombreux liens, soit d'enseignement, soit de collaboration scientifique avec des universités ou des laboratoires internationaux, européens ou nationaux. L'Université de Provence, l'école Polytechnique à Palaiseau, l'Université de Nancy, les laboratoires du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) sont des exemples de laboratoires déjà associés aux recherches sur la fusion. ITER devrait renforcer et





multiplier ces collaborations, non seulement au plan régional ou national, mais international. Une réflexion, amorcée sous l'impulsion du ministère de la Recherche, vise à intensifier les collaborations (recherches sur la physique des plasmas, matériaux...) engagées en particulier avec le CNRS.

Le programme scientifique d'accompagnement à ITER, coordonné par le groupe de recherche de l'Association Euratom-CEA\* à Cadarache contribuera à pérenniser l'existence d'une communauté scientifique de haut niveau tout au long de la période de construction d'ITER. C'est une condition fondamentale pour permettre à la France et aussi à l'Europe de tirer tous les fruits de l'exploitation d'ITER.

La diffusion de la culture scientifique et technique en région devrait bénéficier de la présence d'ITER en permettant là encore de jouer un rôle attractif.

Le projet ITER devrait jouer aussi un rôle d'entraînement pour raviver l'intérêt des jeunes

pour la recherche et la technologie. Des conférences dans les écoles doctorales aideront ce processus. Les liens avec les écoles d'ingénieurs seront resserrés, en tenant compte des caractéristiques du projet ITER et de la fusion en général. Dès à présent, un Master de recherche à vocation nationale et internationale sur les sciences de la fusion, enseignement dont ITER sera l'une des installations phares, est en cours de création.





## APRÈS LE DÉBAT PUBLIC

Les suites du débat public .....63

Les étapes réglementaires et de consultations .....64

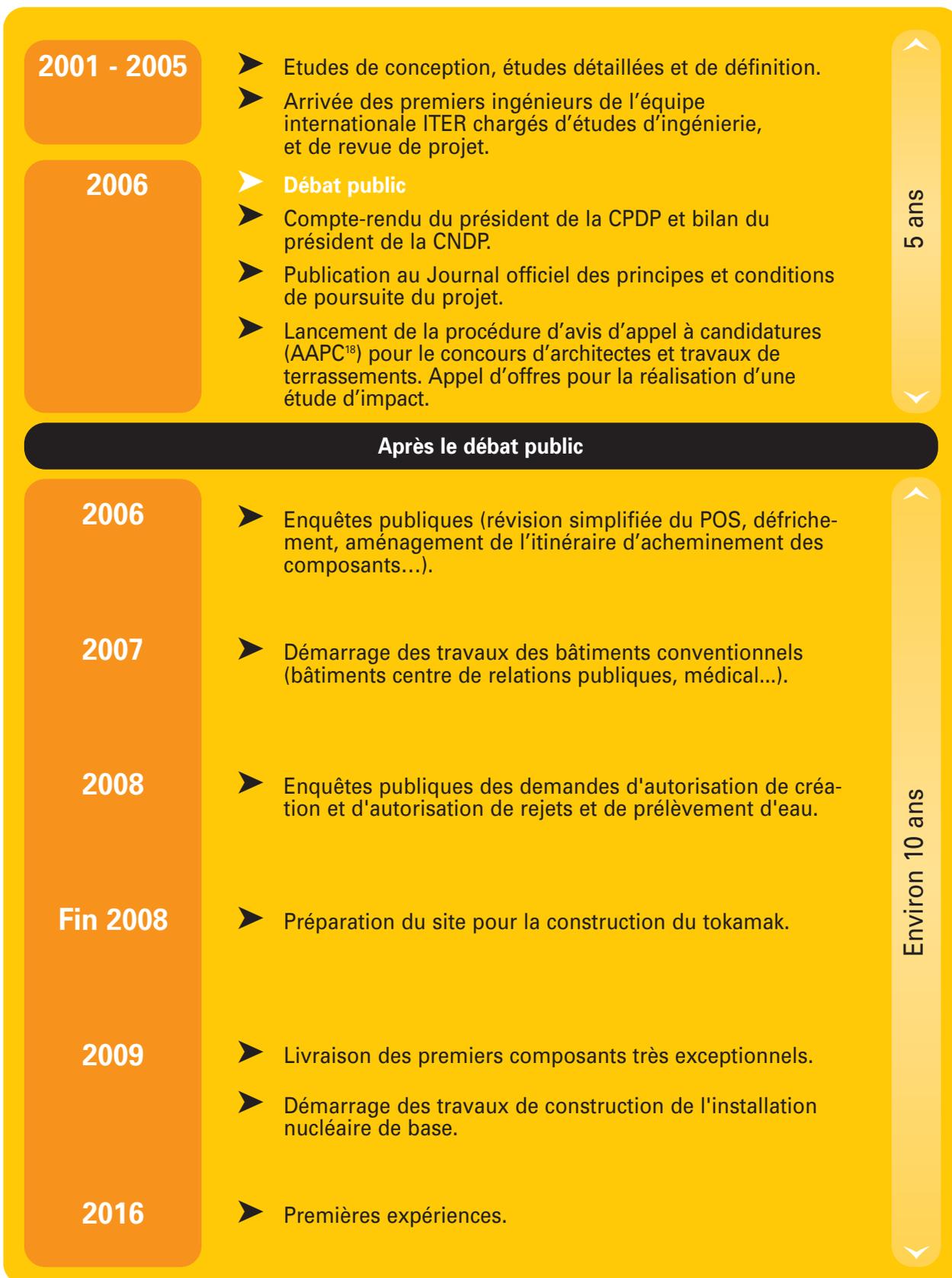
Cette dernière partie décrit succinctement les suites du débat public, les étapes réglementaires ultérieures, de consultation et les modalités d'information et de concertation du public pendant la construction et l'exploitation d'ITER.

Le débat public permet à toutes les personnes qui le souhaitent de s'informer, s'exprimer sur les objectifs et caractéristiques du projet. A l'issue du débat public, dans un délai de deux mois, un compte-rendu du débat est établi par la commission particulière du débat public et le président de la Commission nationale du débat public en dresse le bilan. Les bilan et compte-rendu portent sur le déroulement du débat, les remarques et questionnements du public, sans donner un avis sur le projet.

Après la publication du bilan du débat public, le CEA mandaté par les partenaires ITER le 14 septembre 2005 pour représenter et agir au nom de l'organisation internationale pour ITER durant le débat public disposera de trois mois pour indiquer ses conclusions.

Puis, plusieurs dossiers dont ceux pour la révision simplifiée du POS, le défrichement, l'aménagement de l'itinéraire d'acheminement des composants,..., ainsi que les demandes d'autorisation de création (DAC) et d'autorisation de rejets et de prélèvement d'eau (DARPE) seront soumis à enquête publique.

Une enquête publique est une étape d'un processus réglementaire concernant la création et la mise en œuvre d'une installation nucléaire de base qui vise à émettre un avis sur le projet. Cette démarche d'information et de consultation du public s'inscrit dans le cadre de la loi relative à la démocratisation des enquêtes publiques du 12 juillet 1983 (loi Bouchardeau). C'est une procédure placée sous la responsabilité d'un commissaire enquêteur ou d'une commission d'enquête nommé par le tribunal administratif, qui vise à informer le public et à recueillir ses appréciations et suggestions préalablement à toute décision d'autorisation.



5 ans

Environ 10 ans

<sup>18</sup> la procédure d'AAPC est une procédure préalable à une consultation des entreprises imposée par les règles applicables aux achats définies par le code de passation des marchés du CEA

# Décisions de la CNDP relatives au projet ITER

Commission Nationale du Débat Public

SÉANCE DU 2 JUILLET 2003

DÉCISION N° 2003 / 26 / ITER / 1

PROJET ITER en Provence

## La Commission nationale du débat public,

- vu la loi n° 2002-276 du 27 Février 2002,
- vu le décret n° 2002-1275 du 22 Octobre 2002 pris pour l'application de celle-ci,
- vu la lettre de saisine de la Ministre déléguée à la recherche et aux nouvelles technologies du 28 Avril 2003 reçue le 5 Mai 2003 et le dossier reçu le 6 Juin 2003,
- considérant que le projet est présenté par la personne publique qui en est responsable comme la mise en œuvre d'une politique de recherche majeure dans le domaine de l'énergie, impliquant une large coopération internationale ;
- considérant qu'il est susceptible d'induire des impacts territoriaux significatifs tant au plan environnemental – risques et paysages notamment -, qu'au plan socio-économique – emploi, effets induits, urbanisme - ;
- considérant que ces impacts concerneront selon toute vraisemblance une zone intéressant au moins quatre départements et une population de plusieurs millions d'habitants ;
- considérant qu'enfin les résultats attendus de la recherche elle-même constituent une nouvelle source d'énergie dont il est souhaitable que les avantages annoncés, en termes d'environnement notamment, soient confrontés aux réactions du public ;
- sur proposition de son président,
- après en avoir délibéré,
- à l'unanimité de ses membres présents ou représentés,

## DÉCIDE :

### Article 1

Il y a lieu d'organiser un débat public sur le projet ITER en Provence.

### Article 2

La Commission nationale du débat public organisera elle-même ce débat et en confiera l'animation à une commission particulière.

Le Président

Yves MANSILLON

Commission Nationale du Débat Public

SÉANCE DU 6 JUILLET 2005

DÉCISION N° 2005 / 39 / ITER / 6

PROJET ITER en Provence

**La Commission nationale du débat public,**

- vu le code de l'environnement en ses articles L.121-1 et suivants,
- vu le décret n° 2002-1275 du 22 Octobre 2002 relatif à l'organisation du débat public et à la Commission nationale du débat public, et notamment son article 7 II,
- vu la décision n° 2004/05/ITER/4 du 4 Février 2004 prolongeant le délai prévu à l'article 8-1 du décret du 22 Octobre 2004 jusqu'au 2 Juillet 2004,
- vu la décision n° 2004/27/ITER/5 suspendant l'activité de la commission particulière du débat public,
- vu la lettre du Ministre délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche en date du 4 Juillet 2005,
  
- considérant que l'accord international conclu le 28 Juin 2005 comporte à la fois la décision de réaliser ITER et celle de l'implanter sur le site de Cadarache,
- considérant qu'ainsi les choix essentiels sont acquis, que cela n'exclut pas la nécessité pour la personne publique responsable du projet de répondre aux questions du public sur les justifications du projet,
- considérant en outre que les enjeux économiques et sociaux du projet, son insertion dans l'environnement et ses impacts, les équipements d'accompagnement prévus offrent matière à débat,
- considérant qu'ainsi il convient de reprendre la préparation de ce débat public décidé le 2 Juillet 2003,
  
- après en avoir délibéré,
- à l'unanimité de ses membres présents ou représentés,

**DÉCIDE :**

**Article 1 :**

L'activité de la commission particulière du débat public sur le projet ITER en Provence reprend à compter de ce jour.

Le Président

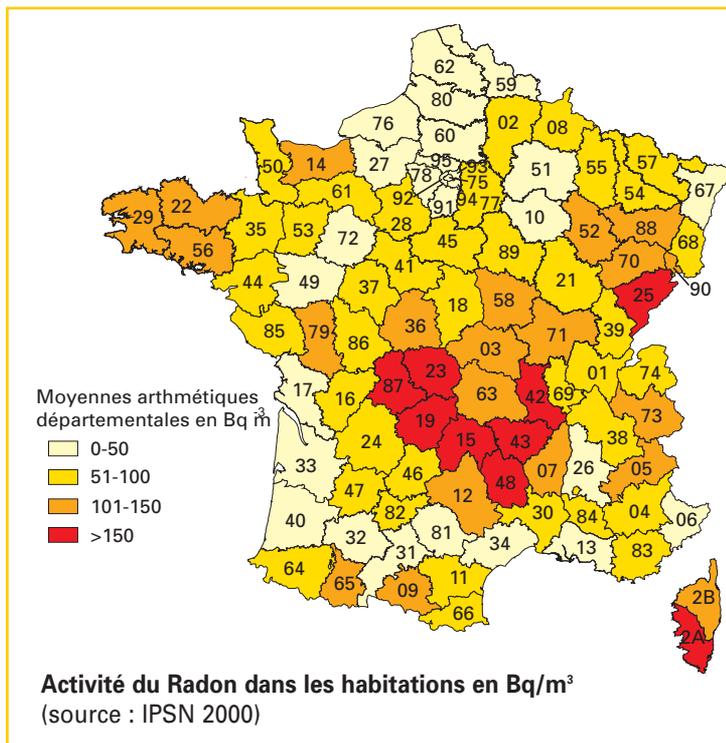
Yves MANSILLON

## La radioactivité ambiante et la santé

Notre environnement est naturellement radioactif. La moitié de l'irradiation naturelle provient du radon, gaz radioactif provenant des roches (comme le granit) contenant de l'uranium qui est à l'origine d'une exposition par inhalation. La concentration de radon dans l'air est très variable selon la nature du sous-sol. Ce gaz, qui tend à s'accumuler dans les bâtiments, est à l'origine d'une exposition annuelle moyenne en France de 1,3 millisievert (soit à une radioactivité d'environ 65 Bq/m<sup>3</sup>).

de 0,4 millisievert ; cette exposition est d'autant plus élevée qu'on est en altitude, l'atmosphère étant alors moins épaisse.

Enfin, des éléments radioactifs comme le potassium 40 et le carbone 14 sont présents dans les organismes vivants. Ils sont à l'origine d'une dose d'irradiation naturelle par ingestion de 0,3 millisievert par an en moyenne.



### Quelques chiffres en radiodiagnostic

Type d'examen	millisieverts*
Rachis dorsal	0,7
Rachis lombaire	1,3
Bassin, hanche	0,3 à 0,7
Abdomen, sans préparation	1
poumon, face	0,02
Urographie intraveineuse	2,5
Lavement baryté	7
Scanner tête	2,3
Scanner thoracique	8
Scanner abdominal ou pelvien	10
Scintigraphie cardiaque Tc 99m	6
Scintigraphie thyroïdienne Tc 99m	1

\*Il s'agit de dose efficace moyenne pour l'adulte.  
source : radiation and your patient : a guide for medical practitioners, CIPR 2002

La présence de thorium 233 et d'uranium 238 et 235 dans le sous-sol est à l'origine d'une irradiation tellurique, par exposition externe, qui est de l'ordre de 0,4 millisievert par an en France. Mais cette valeur moyenne recouvre des variations selon les régions, la dose annuelle provenant de la radioactivité tellurique est ainsi de 1,31 millisievert en Bretagne, 1,74 millisievert en Corse et 0,74 millisievert en Provence.

La radioactivité naturelle est également issue des réactions nucléaires produites dans les hautes couches de l'atmosphère par les rayons cosmiques. Ceux-ci sont à l'origine, en France, d'une exposition annuelle moyenne de l'ordre

de la radioactivité provenant des activités médicales et industrielles et des retombées des essais nucléaires effectués dans les années 1950-60, vient s'ajouter à la radioactivité naturelle. Cette radioactivité est souvent appelée "radioactivité artificielle". Le phénomène et ses conséquences sont les mêmes que pour la radioactivité naturelle.

La plus importante source de radioactivité "artificielle" est de loin d'origine médicale : elle est à l'origine d'une irradiation moyenne d'1 millisievert par an. Mais cette moyenne est peu significative, puisque seul un nombre réduit de patients est concerné par rapport à

l'ensemble de la population. Les essais nucléaires atmosphériques effectués dans les années 50 et 60, les activités industrielles, nucléaires (centrales nucléaires, cycle du combustible) et non nucléaires (combustion du charbon, utilisation d'engrais phosphatés, télévision...), quant à eux, entraînent au total une irradiation annuelle d'environ 0,05 millisievert, soit 1,5% de la radioactivité totale qui nous entoure (voir tableau ci dessous).

### Réglementation concernant l'exposition aux rayonnements ionisants

Les autorités publiques qui ont à fixer les seuils réglementaires d'exposition aux radiations pour la population et pour les travailleurs exposés professionnellement s'appuient sur les recommandations de la Commission Internationale pour la Protection contre les Rayonnements (CIPR), organisme scientifique indépendant des gouvernements.

Les réglementations et mesures de protection, qui découlent de ces recommandations, ont pour objet de limiter la dose de radioactivité liée aux activités humaines (hors examens médicaux) à 1 millisievert pour les personnes du public. Cette limite a été adoptée par l'Union européenne.

Enfin, les limites des rejets autorisés de gaz et de liquides radioactifs par les installations nucléaires sont calculées de manière à ce que la dose reçue par les personnes résidant à proximité du site ne soit pas supérieure à cette limite.

### **La radioactivité qui nous entoure : ordres de grandeurs moyens pour la France** (source : OCDE-AEN et Conseil scientifique de Nations Unies)

(en millisieverts/an)

<b>Exposition annuelle moyenne d'origine naturelle*</b>	<b>2,4</b>
Radon (inhalation)	1,3
Tellurique (externe)	0,4
Cosmique (externe)	0,4
Alimentation (ingestion)	0,3
<b>Exposition annuelle résultant d'activités humaines</b>	<b>1,2</b>
Médical	1,0-1,2
Industrie nucléaire, **	0,002-0,005
Tchernobyl (chiffre donné pour l'année 2000 hémisphère nord)	0,002
Autres industries	0,035
Retombées des essais nucléaires	0,010
<b>Total annuel</b>	<b>3,6</b>

\* Compte tenu des variations en France, la précision à une décimale est suffisante.

\*\* Selon les valeurs de UNSCEAR 2000 ; à noter que l'exposition annuelle due au fonctionnement des centrales nucléaires concerne le voisinage des centrales.

Source : <http://isnwww.in2p3.fr/reacteurs-hybrides/french/RadioOrdre/radioGrandeur/radioGrandeur.html>

## Le tritium

### Origine du tritium

Le tritium (T) est un isotope\* radioactif de l'hydrogène, de 12,3 ans de période de décroissance\*. C'est un radionucléide à vie courte et il en disparaît chaque année naturellement 5,6 % en formant de l'hélium.

Le tritium a une double origine :

- d'origine naturelle, il est produit par une réaction des rayonnements cosmiques sur les atomes d'hydrogène de l'atmosphère ou à l'intérieur même de la couche terrestre par réaction de neutrons sur certaines roches ; le tritium est présent naturellement dans l'atmosphère, dans les eaux et même dans les espèces vivantes et cela en l'absence de toute production résultant des activités humaines. Selon le Comité scientifique des Nations-Unies pour l'étude des effets des radiations (UNSCEAR), le tritium naturel représenterait, pour l'ensemble de la planète, de 2,8 à 3,7 kg, ce qui correspondrait, compte tenu de sa décroissance naturelle, à une production annuelle de 0,15 à 0,20 kg par an, soit de 50 000 à 70 000 TBq par an.
- les activités humaines : le tritium présent dans l'environnement provient surtout des activités humaines et principalement des essais d'armes nucléaires atmosphériques. Toujours selon l'UNSCEAR, ces essais auraient relâché environ 650 kg de tritium dont plus de 90% ont disparu aujourd'hui par décroissance radioactive spontanée, les derniers essais importants, à l'air libre, ayant eu lieu en 1963 (en 1995, il restait 65 kg de tritium répartis dans l'atmosphère et les océans).

Depuis l'arrêt des essais nucléaires, les rejets de tritium proviennent essentiellement des réacteurs nucléaires (produit au cours des réactions de fission), de l'industrie horlogère (exemple du Doubs), ou de la préparation de molécules tritiées pour les applications biologiques et médicales.

Le tritium peut se présenter dans les déchets et les rejets sous trois formes différentes :

- solide inclus dans des métaux, des produits organiques ou minéraux,
- liquide essentiellement sous forme d'eau tritiée,
- gazeux sous forme de tritium gazeux ou encore de vapeur d'eau tritiée.

### Le tritium dans l'environnement

Il est présent sous forme d'eau tritiée (HTO) qui suit toutes les voies métaboliques de l'eau et

sous forme de gaz (HT) qui se transforme rapidement en HTO. Au cours des transferts dans la biosphère, le tritium peut s'intégrer dans des molécules organiques, sous forme de tritium organiquement lié, il suit alors le devenir de ces molécules organiques.

Les trois modes d'exposition sont l'inhalation, l'ingestion d'eau et d'aliments contenant du tritium ou l'exposition cutanée (essentiellement en milieu professionnel par le contact avec des pièces contaminées en tritium).

L'absorption d'eau tritiée, qu'elle soit par ingestion ou inhalation, est quasi complète. L'élimination s'effectue par les voies naturelles avec une période biologique d'environ 10 jours. A noter que 3% de la quantité absorbée est transformée en tritium organique dont le temps de résidence dans l'organisme est plus long que celui de l'eau tritiée (40 jours). C'est l'ensemble des comportements biologiques du tritium qui est pris en compte dans les études d'impact.

### Réglementation

La Commission internationale de protection contre les rayonnements (CIPR) a, dans ses recommandations, pris en compte les risques de cancers que pouvaient présenter l'ingestion, l'inhalation ou l'absorption de tritium par la peau. Au fur et à mesure que les connaissances sur les effets potentiels du tritium s'affinaient, ces recommandations ont été ajustées ; de même sont pris en compte les comportements biologiques différents (cf ci-dessus) de l'eau tritiée, du tritium organique et du gaz tritié.

On peut également noter :

- les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) sur les teneurs en tritium de l'eau potable : pour être potable, la teneur ne doit pas dépasser 7800 Bq/l. La consommation régulière d'une eau contenant 7800 Bq/l de tritium conduit à une dose annuelle de 0,1 millisievert.
- la directive européenne 98/83/CEE sur l'eau potable, transposée en France décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles, stipule que des investigations soient entreprises si les teneurs en tritium dans l'eau potable dépasse 100 Bq/l. Cette valeur, qui n'est pas une limite, est destinée à vérifier la nature des sources de tritium et surtout à rechercher si d'autres radionucléides ne sont pas associés.

# Glossaire

**Activation :** voir matériaux à faible activation.

---

**AIEA :** Agence internationale pour l'énergie atomique. Organisation intergouvernementale (180 pays signataires) reliée à l'ONU et créée en 1956, l'AIEA siège à Vienne. Elle a deux objectifs : favoriser l'utilisation sûre du nucléaire civil et veiller à ce qu'il ne soit pas détourné à des fins militaires grâce à un traité de non prolifération.

---

**Atome ionisé :** Un atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent des électrons. Le noyau est lui même constitué de protons et de neutrons. Un atome stable contient autant d'électrons que de protons. Un atome est dit ionisé lorsqu'il a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons.

---

**Becquerel (Bq) :** unité de mesure. Certains atomes instables se transforment spontanément pour devenir stables en émettant des particules ou des rayonnements. L'activité mesurée correspond au nombre d'atomes qui se désintègrent en une seconde. Cette activité se mesure en Becquerel (Bq). Voir Térabecquerel

---

**Bobines supraconductrices :** Systèmes de câbles enroulés dont le matériau n'offre aucune résistance électrique. Les bobines supraconductrices permettent de créer des champs électromagnétiques intenses fonctionnant en permanence. Elles sont, soit de type toroïdal (pour confiner le plasma), soit de type poloïdal (contrôle du courant de la position du plasma et, en partie, sa température).

**CERN :** *c'est l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire, le plus grand centre de physique des particules du monde implanté à Genève. Ici, les physiciens viennent explorer ce dont la matière est faite et quelles forces assurent sa cohésion. Fondé en 1954, le laboratoire a été l'une des premières entreprises communes à l'échelle européenne et il comprend maintenant 20 états membres.*

**Cessation définitive d'exploitation :** *opérations d'évacuation des matières nucléaires et de nettoyage des équipements.*

**Chambre à vide :** *paroi métallique étanche (en forme d'anneau) au sein de laquelle se forme le plasma.*

**Champ poloïdal :** *le champ poloïdal est produit par les bobines supraconductrices poloïdales qui permettent de contrôler le courant dans le plasma ainsi que sa position dans la chambre à vide.*

**Champ toroïdal :** *le champ toroïdal est produit par les bobines supraconductrices toroïdales. C'est le champ de confinement principal.*

**Couverture :** *Placés à l'intérieur de la chambre à vide, les modules qui constituent la couverture ont un double rôle : récupérer l'énergie thermique des neutrons et protéger la chambre à vide et les bobines supraconductrices du flux neutronique. Ces modules sont constitués d'un assemblage en acier de 45 cm d'épaisseur refroidi par un circuit d'eau sous pression. Ils peuvent être changés à l'aide de systèmes robotiques..*

**Cryostat :** *cylindre métallique entourant l'ensemble de la machine à l'intérieur duquel la température est maintenue à -269 degrés.*

**Dessin générique de l'installation :** *conception détaillée d'ITER avec toutes les données techniques et budgétaires indépendamment des caractéristiques d'un site d'implantation particulier.*

---

**Détritiation :** *procédé de traitement qui consiste à séparer le tritium des éléments (matériaux, gaz, liquide..) dans lesquels il est contenu.*

---

**Divertor :** *dispositif magnétique situé sur le plancher de la machine pour récupérer les impuretés du plasma.*

---

## DOSE

**Débit de dose :** *quantité d'énergie par unité de temps cédée à la matière par les rayonnements mesurée en Gray par seconde (Gy/s).*

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

**Dose équivalente :** *les effets produits diffèrent selon le type de rayonnement (alpha, bêta, gamma). Pour en tenir compte, un facteur multiplicatif de la dose est utilisé pour calculer la dose équivalente mesurée en Sievert (Sv).*

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

---

**DRIRE :** *Direction régionale de l'industrie, recherche et environnement assure de multiples missions (énergie, métrologie, environnement, sûreté nucléaire...). La mission de sûreté nucléaire et de radioprotection est assurée par la division de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (inspections, traitement des incidents...).*

**Euratom :** *Le traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom) est né en 1957 à Rome. Initialement créé pour coordonner les programmes de recherche des États en vue d'une utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, le traité Euratom contribue de nos jours à la mise en commun des connaissances, des infrastructures et du financement de l'énergie nucléaire. Fondée avec la signature du traité Euratom, l'association française Euratom-CEA a apporté une contribution importante à la recherche communautaire dans le domaine de la fusion.*

**ESA :** *European Space Agency. Agence spatiale européenne.*

**ESRF :** *European Synchrotron Radiation Facility. Il s'agit d'un centre de recherche européen associant dix-huit pays implanté à Grenoble abritant le synchrotron le plus puissant d'Europe. Chaque année, plusieurs milliers de chercheurs y réalisent des expériences : observation d'échantillons de matière microscopique, recherche d'éléments ultra dilués ou encore suivi de réactions chimiques ou biologiques sur des échelles de temps extrêmement courtes. Les applications industrielles se multiplient également, notamment dans les domaines de la pharmacie, de la pétrochimie, de la microélectronique ou des cosmétiques.*

**Flux de neutrons (ou flux neutronique) :** *nombre de neutrons émis par seconde et par  $\text{cm}^2$ . Les études des matériaux sous haut flux neutronique permettent de prévoir l'influence des neutrons sur les changements des propriétés mécaniques des matériaux.*

**Haut flux thermique :** *chaleur dont la densité peut être 1000 à 10 000 fois supérieure au rayonnement solaire*  
**Hélium :** *gaz non radioactif présent à l'état naturel notamment dans les gisements pétrolifères.*

**Installation Nucléaire de Base :** *une installation est classée installation nucléaire de base en fonction de la quantité et l'activité des radioéléments qu'elle contient et de l'usage qui en est fait.*

---

**Ionisé :** *voir atome ionisé.*

---

**IRSN :** *institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), créé par le décret n°2002-254 du 22 février 2002, est un établissement public industriel et commercial (EPIC), placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de la Défense, de l'Environnement, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé. Il rassemble plus de 1 500 experts et chercheurs issus de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) et de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI), et compétents en sûreté nucléaire et radioprotection ainsi que dans le domaine du contrôle des matières nucléaires.*

---

**Isotope :** *noyaux comportant le même nombre de protons mais des nombres différents de neutrons.*

---

**ITER :** *sur "le chemin" en latin*

---

**MA :** *méga ampères soit un million d'ampères*

---

**Matériau à faible activation :** *L'activation est un processus par lequel le noyau d'un atome stable devient énergétiquement instable (radioactif). Un matériau à faible activation est un matériau qui ne s'active que faiblement sous l'impact des neutrons émis au cours des réactions de fusion.*

---

**Millisievert :** *unité de mesure (voir dose)*

---

**Période :** *la période radioactive est le temps nécessaire pour que la quantité d'atomes d'un élément radioactif se soit désintégrée de moitié. La période varie avec les*

*caractéristiques de chaque radioélément : 110 minutes pour l'argon, 8 jours pour l'iode, 12,3 ans pour le tritium, 4,5 milliards années pour l'uranium...*

---

**Période de décroissance :** *voir période*

---

**Plasma :** *quatrième état de la matière avec les solides, les liquides et les gaz. Dans un plasma, les atomes sont ionisés positivement (ils perdent leurs électrons) sous l'effet de la température. La température d'un plasma peut varier de quelques degrés à plusieurs milliards de degrés. Sa densité peut être un million de fois plus faible à un million de fois plus forte que celle de l'air. L'univers est composé à plus de 99 % de plasma : le Soleil, comme les étoiles, sont des boules de plasma chaud et dense. Il y en a aussi dans la très haute atmosphère (l'ionosphère) où sous l'action des ultraviolets solaires et des rayons cosmiques, l'air devient plasma. C'est aussi ce que l'on trouve dans les tubes néon, les torches à plasma qui servent à souder ou encore dans les écrans à plasma.*

---

**Robotique :** *systèmes qui permettront de pouvoir se passer de l'intervention humaine à l'intérieur d'ITER : bras télémanipulateur pour des opérations de découpe, soudage, boulonnage ; bras articulés pour des missions d'inspection, de prélèvement d'échantillons ou pour aspirer des particules de poussières.*

---

**RTE :** *organisme gestionnaire du réseau de transport d'électricité. RTE assume des missions de service public définies juridiquement (lois de février 2000 et d'août 2004), précisées par un contrat de service public avec l'Etat, et exercées sous le contrôle de la Commission de régulation de l'énergie qui établit les tarifs d'utilisation des réseaux publics de transport et de distribution.*

**Seuil de performance :** *Pour une température de fonctionnement donnée, il faut une certaine valeur du produit de la densité et du temps de confinement (connu sous le terme de "critère de Lawson") pour que la réaction de fusion se fasse avec un coefficient d'amplification donné. Dans le cas de la fusion magnétique, c'est essentiellement en progressant sur le temps de confinement qu'on augmente le critère de Lawson.*

---

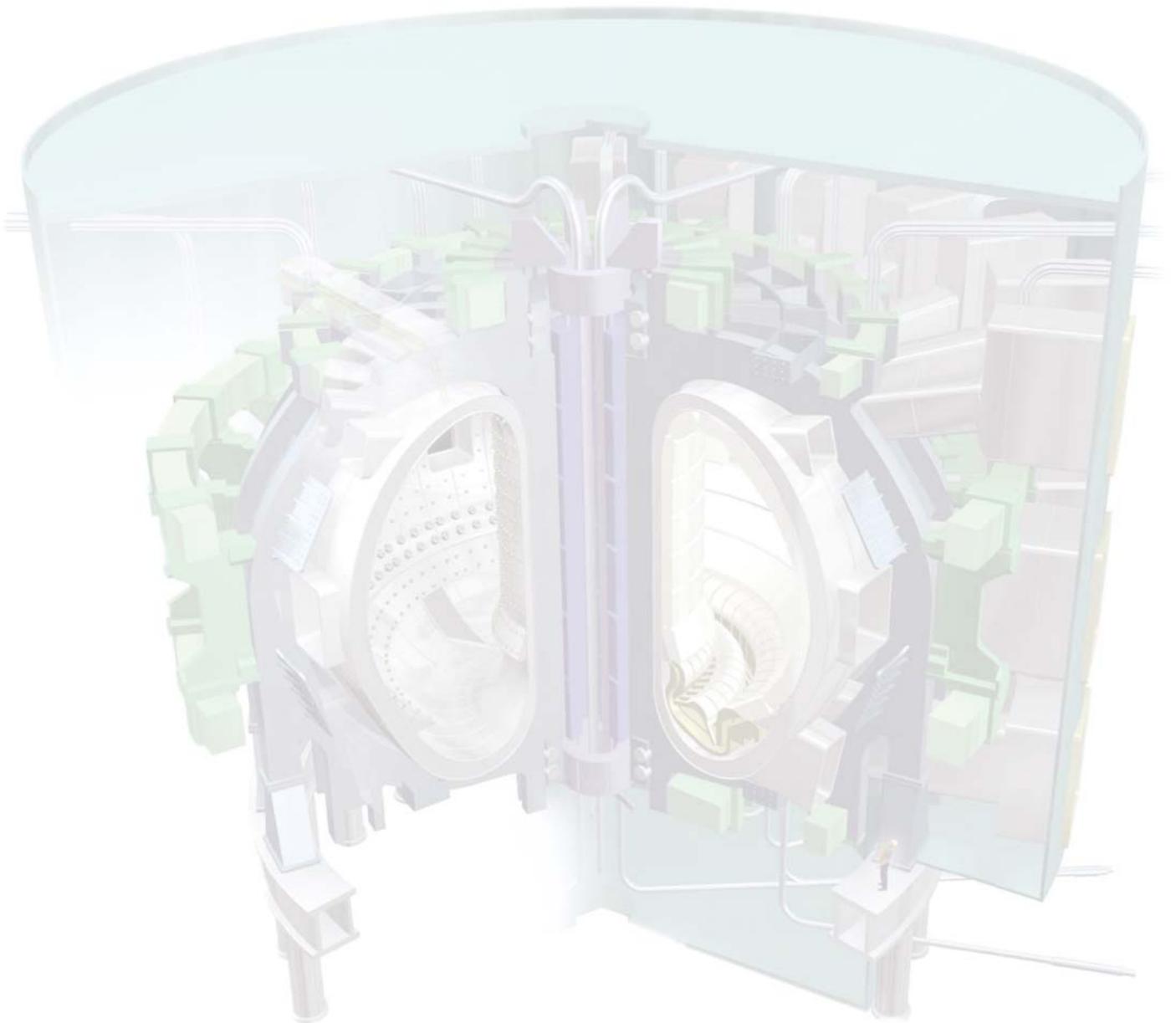
**SGAE :** *Secrétariat général pour les affaires européennes assure la coordination de l'action du gouvernement dans le domaine communautaire. Il harmonise les positions des différents ministères sur toutes les matières européennes. La politique étrangère et de sécurité commune (PESC) demeure pour l'essentiel de la responsabilité du ministère des Affaires étrangères. Le SGAE, créé en octobre 2005, dépend du Premier ministre. Il remplace le Secrétariat général du comité interministériel pour les questions de coopération économique européenne (SGCI) créé en 1948.*

---

**Térabecquerel :** *mille milliard de Becquerel (voir Becquerel)*

---

**ZNIEFF :** *zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique*



## Notes

---

A series of horizontal dotted lines for writing notes.







Le dossier du débat public

