

Pièce 1	Identification du pétitionnaire
Pièce 2	Description de l'installation
Pièce 3	Carte au 1/25 000
Pièce 4	Plan de situation au 1/10 000
Pièce 5	Plan détaillé au 1/2 500
Pièce 6	Etude d'impact
Pièce 7	Rapport Préliminaire de Sûreté

Pièce 8 Etude de maîtrise des risques

Pièce 9	Servitudes d'utilité publique
Pièce 10	Plan de démantèlement
Pièce 11	Arrêt définitif et surveillance de l'installation
Pièce 12	Débat public sur le projet ITER en Provence
Pièce 13	Notice complémentaire
Pièce 14	Liste des textes réglementaires et démarche générale d'insertion de l'enquête publique dans la procédure administrative

PIÈCE 8

Vue d'artiste du site ITER. Source : ENGAGE

Pièce 8 Etude de maîtrise des risques

Partie 1 Identification des risques

Partie 2 Analyse du retour d'expérience

Partie 3 Principes généraux de sûreté

Partie 4 Conséquences résiduelles des accidents

Partie 5 Maîtrise des risques

Partie 6 Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques

Vue d'artiste du site ITER. Source : ENGAGE

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	3
2.	RISQUES D'ORIGINE NUCLEAIRE.....	4
2.1	RISQUE DE DISSEMINATION DE MATIERES RADIOACTIVES	4
2.2	RISQUE D'EXPOSITION EXTERNE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS....	7
3.	RISQUES D'ORIGINE NON NUCLEAIRE SUSCEPTIBLES D'AVOIR DES IMPACTS RADIOLOGIQUES EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT.....	9
3.1	RISQUES D'ORIGINE INTERNE	9
3.2	RISQUES D'ORIGINE EXTERNE.....	20
4.	RISQUES D'ORIGINE NON NUCLEAIRE AYANT UN IMPACT POTENTIEL SUR LE PERSONNEL	25

1 INTRODUCTION

Cette partie a pour objet l'identification des risques propres à l'installation ITER, qui relève de la catégorie des Installations Nucléaires de Base. Les sources de danger au niveau de l'installation ITER peuvent être classées selon leur origine et la nature des risques qu'elles engendrent :

- les risques d'origine nucléaire susceptibles d'entraîner des conséquences radiologiques (neutrons, tritium, matériaux activés),
- les risques d'origine non nucléaire (chimique, toxique, mécanique, thermique, électrique, électromagnétique, etc.) susceptibles d'entraîner, en cas d'accident, des impacts radiologiques ; on distingue les risques suivants :
 - les dangers internes ayant pour origine les installations ITER,
 - les dangers externes ayant pour origine l'environnement d'ITER.
- les risques d'origine non nucléaire susceptibles d'entraîner des conséquences pour le personnel.

On distingue également les sources de dangers potentielles pendant le fonctionnement normal (plasma) et pendant la maintenance. De plus, les sources de dangers diffèrent également selon la partie de l'installation considérée : bâtiment Tokamak, bâtiment d'assemblage, bâtiment des cellules de maintenance, bâtiment tritium, bâtiment de traitement des déchets, installation cryogénique, circuit de refroidissement, alimentation électrique de secours, etc.).

Les sources de dangers susceptibles d'entraîner des conséquences radiologiques sont importantes pendant les périodes d'activité (fonctionnement DD et DT). Les dangers d'origine non nucléaire susceptibles d'entraîner des conséquences pour le personnel sont importants lors des périodes de mise hors service et les périodes d'activité.

2 RISQUES D'ORIGINE NUCLEAIRE

Le paragraphe suivant identifie les risques d'origine nucléaire présents dans l'installation :

- le risque de dissémination de matières radioactives (risques susceptibles d'entraîner des conséquences pour le personnel, le public et l'environnement),
- le risque d'exposition externe (principalement pour le personnel).

En ce qui concerne les risques radiologiques identifiés, les deux fonctions de sûreté suivantes ont été retenues pour l'installation ITER :

- confinement des matières radioactives,
- limitation de l'exposition externe aux rayonnements ionisants.

Il est important de noter que dans l'installation ITER, il existe des fonctions de sûreté complémentaires, telles que « la gestion de l'évacuation de la chaleur et la régulation de la température à long terme », qui sont associées à la fonction de sûreté « confinement des matières radioactives ».

2.1 RISQUE DE DISSEMINATION DE MATIERES RADIOACTIVES

2.1.1 Tritium

Description du risque

L'utilisation du tritium induit le risque de dissémination de tritium dans l'atmosphère (sous forme de fuite, diffusion ou désorption), ainsi que le risque de mise en suspension d'aérosols d'eau tritiée ou de rejet de vapeurs d'eau tritiée dans l'atmosphère.

La contamination en tritium de l'eau des circuits primaires de refroidissement des composants de la chambre du Tokamak est provoquée par la diffusion du tritium qui s'accumule dans les composants de la chambre à vide au cours du fonctionnement de plasma. La production de tritium par activation de l'eau est négligeable, comparée au phénomène de diffusion.

Le tritium est un radioélément qui émet des rayonnements β à faible énergie (moins de 20 keV). Son activité massique est approximativement de $3,7 \times 10^{14}$ Bq/g. Sur l'installation ITER, on peut le trouver sous différentes formes :

- forme élémentaire gazeuse (tritium sous forme gazeuse HT, DT ou T₂),
- forme oxydée (eau tritiée, HTO, DTO ou T₂O),

- hydrocarbures ($C_x T_y$),
- tritium présent dans les particules de poussière.

Localisation du risque

Du fait des caractéristiques du procédé, le risque potentiel de dissémination de tritium sous forme gazeuse est présent dans les zones suivantes :

- le bâtiment Tokamak (chambre à vide, circuits du combustible et circuits de vide).
- les cellules blindées du bâtiment des cellules de maintenance et les zones du bâtiment de traitement des déchets.
- le bâtiment Tritium ainsi que ses circuits.

Le risque de dissémination du tritium par voie liquide est principalement présent dans des conditions d'incident/d'accident, au niveau des zones et des installations abritant les circuits primaires de refroidissement des équipements suivants du Tokamak :

- première paroi/couverture,
- divertor,
- injecteurs de neutres.

Le risque est également présent dans les zones et les installations abritant le circuit primaire de refroidissement de la chambre à vide du Tokamak, mais dans une moindre mesure que dans les circuits mentionnés ci-dessus parce que la teneur en tritium y est moins importante.

Ce risque existe également dans le bâtiment Tritium et dans le bâtiment des cellules de maintenance :

- réservoirs d'eau tritiée,
- circuit de détritiation de l'eau,
- postes de travail de nettoyage, de remise en état et systèmes de stockage des composants de la chambre.

Le risque existe aussi dans le bâtiment de traitement des déchets, mais la teneur en tritium des circuits d'effluents est très faible.

Phases d'exploitation présentant le risque tritium

Le risque de dissémination par voie gazeuse de tritium est présent pendant les phases actives du plasma, ainsi que pendant les périodes de maintenance incluant l'extraction des composants de la chambre et leur transfert en cellule de maintenance. Cette dissémination ne peut se produire que par le système de ventilation, de chauffage et de

conditionnement d'air (HVAC, *Heat Ventilation and Air Conditioning*) ou le système de détritiation (DS, *Detritiation System*).

Pendant la maintenance, le risque de dissémination de tritium, lié à l'ouverture de la chambre à vide et au remplacement des composants de la chambre, et associé aux circuits du combustible et circuits à vide, est limité grâce au nettoyage préliminaire des composants de la chambre à vide afin d'en extraire la poussière, par l'étuvage, l'isolation, la vidange et la purge de ces systèmes. Le risque d'accumulation de la quantité de tritium restante dans la chambre à vide est également réduit par le fait que les composants sont à faible température ambiante au cours de la maintenance.

Le risque de dissémination par voie liquide provenant des circuits de refroidissement du Tokamak est présent dans des conditions d'incident ou d'accident, pour tous les modes d'exploitation. Toutefois, pendant les phases d'arrêt du plasma et les phases de maintenance, lorsque les apports en chaleur sur les circuits de refroidissement sont réduits de manière significative et qu'une disruption du plasma ne peut se produire, le risque de fuite de fluide de refroidissement et de dissémination de tritium est restreint.

Il y a un risque de fuites de tritium pendant le nettoyage et la remise en état des composants de la chambre à vide dans les cellules de maintenance. Les zones de cellules de maintenance correspondantes sont équipées de parois en acier inoxydable au lieu de matériaux de base, dont les propriétés d'étanchéité peuvent être affectées par la radiolyse.

2.1.2 Produits d'activation

Description du risque

Les produits d'activation susceptibles d'être disséminés (par voie gazeuse) comprennent principalement :

- les poussières activées résultant de l'érosion des matériaux des composants face au plasma,
- les produits oxydés susceptibles de se former à la suite d'entrée accidentelle d'eau/d'air dans la chambre à vide et d'être disséminés par volatilité ou spallation.
- les gaz activés par le flux neutronique sont principalement :
 - l'air entre le cryostat et la protection biologique,
 - les gaz d'impuretés introduits dans le divertor.

Les produits d'activation susceptibles d'être disséminés par l'eau de refroidissement (par voie liquide) comprennent principalement :

- les produits d'activation de l'eau dans les circuits de refroidissement de la chambre à vide et des composants internes à la chambre à vide,
- les produits de corrosion activés associés aux matériaux du circuit de refroidissement. Ces produits sont présents sous les formes suivantes :
 - ions en solution et dépôts insolubles en suspension,

- dépôts non fixés sur les parois du circuit de refroidissement,
- oxydes fixés, s'accumulant sur les surfaces corrodées des tuyauteries et de l'équipement du circuit de refroidissement.

Localisation du risque

Le risque de dissémination par voie gazeuse des poussières activées et de matériaux de structure activés est présent au niveau de la chambre à vide, des cellules de maintenance et du bâtiment de traitement des déchets.

En ce qui concerne les gaz activés, ce risque est présent au niveau du puits du Tokamak contenant le cryostat et la chambre à vide.

Le risque de dissémination, par voie liquide, des produits d'activation de l'eau et des produits de corrosion activés, existe principalement dans les zones et les installations abritant les circuits primaires de refroidissement des composants internes de la chambre à vide du Tokamak, et des réservoirs d'eau dans le bâtiment Tritium, le bâtiment des cellules de maintenance et le bâtiment de traitement des déchets.

Phases d'exploitation présentant le risque

Le risque de dissémination, par voie gazeuse, des produits d'activation est principalement présent au cours des phases plasma et au cours des périodes de maintenance, incluant l'extraction et le transfert des composants de la chambre à vide (pendant la maintenance, le risque de rejet lié au circuit du combustible et au circuit à vide est restreint du fait de l'isolement et de la purge de ces circuits).

Le risque de dissémination par voie liquide existe principalement dans des conditions d'incident, pendant les phases d'exploitation. Toutefois, pendant les phases d'arrêt et de maintenance du Tokamak, où les circuits de refroidissement ne sont pas pressurisés, ou sont vidangés, le risque est limité.

2.2 RISQUE D'EXPOSITION EXTERNE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Le risque d'exposition externe aux rayonnements ionisants affecte potentiellement le personnel de l'installation. Ce risque est associé aux neutrons, au rayonnement γ émis par les produits activés, au rayonnement X généré par certains dispositifs de chauffage du plasma et au rayonnement β émis par le tritium.

Les sources de rayonnement sont principalement situées dans les zones suivantes :

- la chambre à vide,
- la cellule de maintenance avec des composants de chambre à vide irradiés,
- les équipements liés au procédé tritium,
- les tuyauteries et équipements des circuits primaires de refroidissement,

- les sources de neutrons pour les diagnostics,
- certains composants des dispositifs de chauffage.

Le risque d'exposition externe du personnel est principalement présent dans les zones suivantes :

- Bâtiment Tokamak,
- Bâtiment des cellules de maintenance, bâtiment de traitement des déchets, bâtiment Tritium,
- Bâtiment d'assemblage et des chauffages par ondes hautes fréquences (rayonnement X provenant des dispositifs de chauffage),
- À l'extérieur des bâtiments, à cause des effets du rayonnement diffusé.

Le risque d'exposition externe au rayonnement γ est principalement présent lors :

- des interventions à l'intérieur de la protection biologique,
- de la maintenance sur les circuits primaires d'eau de refroidissement,
- de la maintenance/remise en état des composants internes à la chambre à vide.

Le risque d'exposition externe aux rayonnements associés aux neutrons est présent pendant les phases d'expérimentation du plasma. Normalement, au cours de ces phases, le personnel n'est pas présent dans le bâtiment Tokamak.

Le risque d'exposition aux neutrons, provenant d'une source de neutrons testée à 14 MeV, est limité aux périodes où celle-ci fonctionne.

Le risque d'exposition au rayonnement X est limité aux périodes où les dispositifs de chauffage fonctionnent.

3 RISQUES D'ORIGINE NON NUCLEAIRE SUSCEPTIBLES D'AVOIR DES IMPACTS RADIOLOGIQUES EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT

3.1 RISQUES D'ORIGINE INTERNE

Les risques internes potentiels sont les suivants :

- incendie interne,
- explosion interne,
- dégagements thermiques,
- transitoires du plasma,
- inondation interne,
- effets missiles,
- fouettement de tuyauteries,
- risques chimiques,
- risques mécaniques,
- risque magnétique et électromagnétique.

3.1.1 Risque d'incendie interne

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

- **Combustible** : les principales matières combustibles de l'installation sont les suivantes :
 - peintures et revêtements en matériaux combustibles des locaux et des structures des bâtiments (tous les bâtiments sont concernés),
 - calorifugeages et gainages des tuyauteries et des câbles (tous les bâtiments sont concernés),
 - équipements structurels des boîtes à gants (principalement dans l'usine tritium),
 - gaz inflammables : hydrogène, deutérium, tritium (principalement dans l'usine tritium et le bâtiment Tokamak lors des phases plasma),
 - poussières solides inflammables : poussières métalliques et de carbone (principalement dans les composants internes de la chambre à vide du Tokamak),

- liquides inflammables : huile des pompes et des équipements électriques, solvants organiques (tous les bâtiments sont concernés),
- résines échangeuses d'ions des circuits d'eau de refroidissement,
- Comburant : oxygène gazeux présent dans des zones, locaux et équipements non soumis au vide ou non inertés. L'oxygène peut également être présent sous forme liquide ou solide (dans le cas de fuite du cryostat du Tokamak entraînant une condensation de l'oxygène entrant),
- Source d'ignition : cette énergie est principalement d'origine thermique ou électrique :
 - Origine thermique : équipements fonctionnant à température élevée, travaux par points chauds (cela concerne tous les bâtiments),
 - Origine électrique (cela concerne plus particulièrement les installations électriques haute tension du bâtiment Tokamak et des bâtiments électriques associés).
- Présence d'une réaction chimique exothermique en chaîne.



Figure 1 : test de comportement au feu

Un incendie est une réaction chimique qui consomme du combustible et de l'oxygène et qui produit de la chaleur et de la lumière. Si l'on stoppe cette réaction chimique, le tétraèdre de l'incendie est interrompu.

Les principales conséquences potentielles et dangereuses d'un incendie non évité et non maîtrisé sont la détérioration d'un ou plusieurs systèmes de confinement de matières radioactives ou dangereuses et la dégradation d'un ou plusieurs composants d'un système accomplissant une fonction de sûreté, à cause des effets suivants :

- la propagation de l'incendie,
- les effets thermiques associés : conduction thermique, rayonnement des flammes,
- la pressurisation associée à la chaleur ambiante ou à l'utilisation de produits pour maîtriser l'incendie,
- les impacts chimiques potentiels de la combustion sont : l'émission de gaz toxiques, les mélanges détonants et les produits corrosifs actifs,
- la perte d'alimentation électrique pour certains équipements.

En outre, la détérioration d'un ou plusieurs systèmes de confinement de matières radioactives ou dangereuses peut entraîner la mise en suspension de ces matières et leur dissémination.

3.1.2 Risque d'explosion interne

Les risques potentiels d'explosion sont les suivants :

- risque d'explosion de gaz inflammables, principalement ceux associés à la mise en œuvre de l'hydrogène et de ses isotopes (deutérium, tritium) et à la formation accidentelle d'hydrogène,
- risque d'explosion de poussières métalliques et combustibles dans la chambre à vide et dans les cellules de maintenance,
- risque d'explosion liée à la soudaine décomposition de l'ozone dans l'oxygène.

Les principales conséquences potentielles d'une explosion interne sont la détérioration d'un ou plusieurs systèmes de confinement de matières radioactives ou dangereuses et la détérioration d'un ou plusieurs composants d'un système accomplissant une fonction de sûreté, à cause des effets thermiques et mécaniques.

De plus, la détérioration d'un ou plusieurs systèmes de confinement de matières radioactives ou dangereuses peut entraîner la mise en suspension de ces matières.

Explosion d'hydrogène/de deutérium/de tritium

L'hydrogène (et ses isotopes : le protium, le deutérium et le tritium) est un gaz explosif et hautement inflammable lorsqu'il est mélangé à l'air (les limites minimales et maximales d'inflammabilité dans l'air, à température et pression normales sont respectivement de 4 % et 75 % en volume). Ce risque d'explosion est identifié dans les trois cas suivants :

- Entrée anormale d'isotopes d'hydrogène, présents dans le volume du procédé, dans l'équipement contenant de l'air :

L'introduction anormale d'isotopes d'hydrogène (protium, deutérium, tritium) présents dans le volume du procédé, dans les locaux où règne une atmosphère chargée d'air, peut entraîner un risque d'explosion.

Le risque est principalement présent dans le bâtiment Tritium et dans le bâtiment Tokamak (circuits contenant de l'hydrogène, du deutérium et du tritium, comme le système de séparation isotopique, les lits de stockage, le circuit de détritiation de l'eau dans le bâtiment Tritium, et le circuit d'alimentation en combustible dans le bâtiment Tokamak).

- Présence anormale d'oxygène dans le procédé :

La présence anormale d'oxygène (sous forme gazeuse ou condensée) avec l'hydrogène, le deutérium ou le tritium utilisé dans le procédé peut entraîner un risque d'explosion.

Le risque existe principalement dans le bâtiment Tritium et le bâtiment Tokamak (chambre à vide, zones et installations contenant les circuits d'hydrogène, de deutérium et de tritium). L'entrée de l'air dans les circuits d'hydrogène n'est possible que si la pression de ces circuits est inférieure à la pression de l'air des locaux contenant ces circuits. Tous les circuits du bâtiment Tritium et les circuits

d'alimentation en combustible ont une pression inférieure à celle de l'air contenu dans les locaux avoisinants.

- Entrée accidentelle d'air et d'eau dans la chambre à vide :

En cas d'entrée d'eau/de vapeur dans la chambre à vide, l'hydrogène se forme à partir d'interactions entre la vapeur d'eau et les surfaces chaudes en béryllium, carbone et tungstène de la chambre à vide. Dans les cas où l'air est également présent, l'hydrogène peut réagir avec l'oxygène présent dans l'air et entraîner un risque d'explosion.

Le risque est présent dans le bâtiment Tokamak (chambre à vide) pendant les phases plasma.

Explosion de poussières

Le risque est associé aux réactions potentielles entre l'oxygène et les particules et poussières de béryllium, carbone et tungstène présentes dans la chambre à vide ou la cellule de maintenance.

Ce risque est présent pendant les phases plasma et est localisé au niveau de la chambre à vide du bâtiment Tokamak, lorsque l'air s'y est introduit accidentellement. Le risque existe également pendant les phases de remise en état dans les cellules de maintenance.

Les hydrures utilisés dans les lits de stockage pour stocker l'hydrogène (D, T) dans le bâtiment Tritium, peuvent se transformer en une poudre fine et pyrophorique s'ils sont exposés à l'air ou à l'eau. Ce risque est présent à toutes les phases et à tous les modes d'exploitation.

Le mélange de poussières et d'air devient explosif à une certaine teneur en poussières en suspension et en présence d'une source d'ignition. Une déflagration ou une détonation d'hydrogène peut constituer une source d'ignition si l'hydrogène est présent, ou produit en situation accidentelle.

Explosion associée à la décomposition de l'ozone

En principe, l'ozone peut se former par l'irradiation de l'oxygène, présent dans une zone exposée au rayonnement neutron ou gamma émis par le plasma et les structures de la chambre à vide (principalement sur les surfaces cryogéniques des aimants au sein du cryostat), en cas d'entrée anormale de l'air ou de présence éventuelle d'air entre le cryostat et la protection biologique. Dans la réalité, une quantité plus ou moins importante d'ozone ne peut être produite que dans l'air gelé (ayant une densité bien supérieure à celle de l'air sous forme gazeuse) sur les surfaces cryogéniques des aimants en contact avec la chambre à vide (VV), où les flux de neutrons et de gammas sont à leurs valeurs maximales. A la base, l'ozone est produit lors des phases de plasma. Lorsque le plasma est à l'arrêt, il n'émet aucun flux de neutrons et le flux de gammas est plus de trois fois inférieur à celui présent dans des conditions d'exploitation.

3.1.3 Dégagements thermiques

Les rejets thermiques sont associés à une perte de refroidissement, qui peut conduire à une détérioration des fonctions de sûreté accomplies par certains circuits. La perte de refroidissement peut résulter d'une défaillance du circuit d'eau de refroidissement du tokamak (TCWS, *Tokamak Cooling Water System*) assurant le refroidissement de l'enceinte à vide et de ses composants, d'une défaillance d'un circuit local de refroidissement de l'air (LAC, *local air cooling*) dans les zones d'intervention des cellules de maintenance, et d'une défaillance du système de ventilation, de chauffage et de conditionnement de l'air (HVAC) garantissant le refroidissement des salles de commande contenant les équipements électroniques qui assurent le fonctionnement du système de sûreté central, lequel constitue un système important pour la sûreté (SIC).

Le risque de rejets thermiques internes, avec des conséquences potentielles significatives, concerne les zones et installations abritant les tuyauteries et l'équipement du TCWS (ainsi que les réservoirs d'eau : la chambre à vide, l'enceinte TCWS, les cellules de traversée), la cellule de maintenance contenant des composants activés de la chambre à vide (puissance résiduelle) et la salle de commande avec les équipements électroniques SIC.

3.1.4 Transitoires de plasma

Les risques de transitoires de plasma sont liés à une disruption de plasma non contrôlée et à une augmentation de la puissance de fusion qui s'en suit, susceptibles de provoquer des dommages potentiels aux composants de la chambre à vide, avec des structures de la chambre à vide et un fluide de refroidissement situés à un niveau de température élevé (par rapport à des conditions normales d'exploitation). L'eau présente une température plus élevée que lors des conditions normales d'expérimentation du plasma. Ces transitoires de plasma sont susceptibles de provoquer une rupture et une fuite dans la tuyauterie de la chambre à vide, et d'entraîner les situations suivantes :

- une dégradation du premier confinement en cas de pressurisation supérieure à la limite de pression de la chambre à vide,
- un risque de dissémination de matières radioactives ou dangereuses dû à la détérioration d'un système de confinement à cause de la sur-pressurisation.

3.1.5 Risque d'inondation interne

Le principal risque d'inondation interne au sein de l'installation est dû à une rupture de tuyauteries. Ce risque de rupture de tuyauteries est lié à la présence de circuits et de capacités de fluides (principalement de l'eau) à l'intérieur de l'installation.

Les causes potentielles d'inondation interne sont les suivantes :

- causes internes aux circuits ou aux capacités, à savoir :
 - contrainte thermomécanique et fatigue,

- érosion et/ou corrosion des composants / équipements contenant ou véhiculant les fluides,
- causes externes aux circuits ou aux capacités, à savoir :
 - causes mécaniques (par ex. collision, chutes de charges),
 - causes chimiques (par ex. corrosion externe des circuits contenant les fluides),
 - causes humaines (par ex. erreur d'alignement, fausse manœuvre, ouverture d'un circuit non vidangé pendant une opération de maintenance, etc).

Les conséquences potentielles d'une inondation interne sont les suivantes :

- détérioration d'une fonction de sûreté due à la dégradation (court-circuit, etc) d'un système électrique permettant la réalisation de cette fonction,
- risque de dissémination de matières radioactives ou dangereuses suite à la détérioration d'un système de confinement (l'inondation peut elle-même résulter de la défaillance d'un système de confinement de matières radioactives ou dangereuses, en entraînant une dissémination de liquide).

Le risque d'inondation, avec des conséquences potentielles significatives, se situe au niveau des zones et installations abritant les circuits d'eau de refroidissement et des réservoirs d'eau. Si l'eau est utilisée pour maîtriser un incendie, la défaillance des circuits d'approvisionnement ou son utilisation en cas d'incendie peut également conduire à un risque d'inondation.

3.1.6 Risque d'effets missiles

On considère comme projectiles potentiels, tous les composants susceptibles d'être éjectés dans l'espace, suite à une défaillance, sous l'effet de la pression d'un fluide contenu ou véhiculé par les équipements (capacités sous pression par ex.) ou sous l'effet de l'énergie cinétique emmagasinée dans ces équipements (partie mobile d'un équipement tournant par ex.).

L'émission de projectiles peut avoir plusieurs origines :

- rupture d'une tuyauterie ou d'un composant sous haute pression, tel qu'une tête de valve,
- défaillance d'une cuve de stockage de gaz haute pression,
- éjection d'une partie de composant due à :
 - la défaillance d'une machine tournante (par ex. les pompes des systèmes de refroidissement, les volants des pompes à vide, les ventilateurs),
 - l'éjection d'une canne chauffante de pressuriseur,
 - l'explosion interne (voir section 3.1.2).

Les émissions de projectiles peuvent également se produire en cas de séisme.

Le risque d'émissions de projectiles est principalement présent dans l'enceinte du TCWS.

3.1.7 Fouettement de tuyauteries

Les tuyauteries véhiculant des fluides à Haute Energie (HE) comportent l'une des caractéristiques suivantes :

- haute pression (environ 20 bar et plus),
- haute température (environ 100 °C et plus).

Ces tuyauteries sont exposées aux risques de fouettement ou d'éjection de fluide en cas de rupture. Les circuits de refroidissement sont particulièrement exposés au risque de fouettement de tuyauteries. Les tuyauteries qui fonctionnent dans des conditions HE moins de 20 % du temps sont considérées comme tuyauteries de Moyenne Energie (ME, *Medium Energy*).

L'énergie contenue dans ces circuits est limitée et le fouettement d'un tuyau ne peut endommager aucune barrière de confinement depuis les locaux où ils sont placés. Par conception, les conséquences de fouettements de tuyauteries sont limitées et ne peuvent endommager le confinement primaire à savoir la paroi de la chambre à vide.

Le risque de fouettement de tuyauteries est principalement présent au niveau des grappes de tuyauteries du Système de refroidissement du Tokamak (TCWS) ainsi que dans l'enceinte du TCWS.

3.1.8 Risques chimiques

Les principaux risques chimiques de l'installation sont les suivants :

- risques d'explosion identifiés et décrits en section 3.1.2,
- risque de toxicité chimique causée par le béryllium, présent en grande quantité dans les parois de la chambre à vide (risque potentiel pour le personnel ainsi que pour le public et l'environnement).



Figure 2 : pictogramme sécurité

Le risque de toxicité chimique causée par le béryllium est présent dans le bâtiment Tokamak et dans le bâtiment des cellules de maintenance durant les phases d'intervention qui nécessitent l'ouverture de la chambre à vide (préparation pour l'extraction et le transfert de composants internes de la chambre à vide).

De plus, certains modules de couverture expérimentaux (TBM) peuvent utiliser des substances telles que des alliages eutectiques au lithium-plomb à faible point de fusion,

du lithium liquide, etc. Ces substances ont un potentiel de réaction avec l'air, l'eau, le béton pour émettre de la chaleur, de l'hydrogène et d'autres produits de réaction.

Les principales conséquences d'une réaction sont la détérioration d'un ou plusieurs systèmes de confinement de matières radioactives ou dangereuses, et la dégradation d'un ou plusieurs composants d'un système accomplissant une fonction de sûreté.

3.1.9 Risques mécaniques

Les principaux risques mécaniques identifiés sont les suivants :

- risques mécaniques liés aux forces anormales induites par le plasma,
- risques mécaniques liés aux défaillances du circuit électrique des aimants supraconducteurs,
- risques liés aux opérations de manutention/levage et transfert de composants,
- risques mécaniques liés aux défaillances des circuits et équipements sous vide ou sous pression,
- risques mécaniques liés aux défaillances des circuits cryogéniques.

De manière générale, ces risques sont susceptibles de provoquer :

- la dégradation d'une barrière de confinement de substances radioactives ou dangereuses,
- la dégradation d'un système accomplissant une fonction de sûreté.

Risques mécaniques liés à une puissance anormale du plasma

Ces risques correspondent aux forces électromagnétiques ou aux déplacements agissant sur la chambre à vide ou sur les composants internes, suite à des disruptions du plasma. La conception des composants internes et de la chambre à vide tient compte de cette puissance de disruption.

Ces risques sont présents lors des phases plasma et peuvent affecter la chambre à vide et ses composants.

Risques mécaniques liés aux défaillances électriques des aimants supraconducteurs

Ces risques correspondent aux forces mécaniques ou aux déplacements agissant sur les structures de l'aimant en cas de défaillance électrique des bobines (court-circuit, surtension, arcs, etc.).

Ces risques sont présents lors des phases plasma et peuvent affecter la structure des aimants ainsi que le tokamak (le cryostat et/ou les structures internes de la chambre à vide).

Risques liés aux opérations de manutention/levage et transfert de composants

Les risques associés aux opérations de manutention/levage sont communs à la plupart des bâtiments de l'installation qui possèdent des équipements de manutention.

Au niveau du bâtiment Tokamak, ils sont plus particulièrement présents lors des périodes d'intervention et de maintenance avec des systèmes de manutention et d'intervention à distance (RH, *remote handling*), et lors des phases d'assemblage, dans le hall d'assemblage situé au-dessus de la protection biologique du tokamak, et constitué d'un pont roulant sur rails.

Les risques liés aux opérations de transfert de composants sont présents dans le bâtiment Tokamak et dans le bâtiment des cellules de maintenance, lors des périodes d'intervention et de maintenance du tokamak, donnant lieu à l'extraction ou l'introduction de composants internes à la chambre à vide, et à leur transfert (conditionnés dans des hottes de transfert) entre l'enceinte à vide et les cellules de maintenance et d'autres zones, pendant les opérations de manutention à des fins de maintenance.

Le système de manipulation téléopérée permet de déplacer, de transporter en cellule de maintenance et d'installer des composants hautement radioactifs et/ou contaminés (cassettes de divertor, modules FW/BLK, etc.) de la chambre à vide et du système d'injecteur de neutres (NBI, *Neutral Beam Injection*). Ce système est constitué de quatre sous-systèmes principaux :

- Système de manipulation téléopérée de la cellule de maintenance (MC RH, *Maintenance Cell Remote Handling System*),
- Système de manipulation téléopérée des hottes et des bouchons (C&P RH, *Cask and plug remote handling*),
- Système manipulation téléopérée du divertor (DV RH, *Divertor remote handling*),
- Système de manutention et d'intervention à distance des modules de couverture (BM RH, *Blanket module remote handling*).

Ces systèmes de manutention à distance permettent le transfert à distance des composants de la chambre à vide et la manutention à distance de l'équipement entre les cellules de maintenance et la chambre à vide via des galeries réservées à cet effet au sein des bâtiments ITER.

Le système MC RH permet également de réaliser à distance, au sein des limites de la cellule de maintenance, la maintenance des cassettes de DV, des modules de couverture, des bouchons de traversée de la chambre à vide et des dispositifs de diagnostic, de l'équipement NBI, de l'ensemble de visualisation de la chambre à vide et des pompes cryogéniques. L'équipement RH comprend : des portiques de transfert, des dispositifs de transfert fixés au sol, des dispositifs de transfert RH à bras, des ponts

roulants, des potences de levage, un équipement de contrôle et un équipement de nettoyage.

Le système C&P RH permet également le transfert lors des opérations RH de récupération de l'équipement. Les activités préparatoires, avant l'accostage de la hotte, nécessitent la réalisation d'opérations actives. Ce système inclut les hottes pour les bouchons de traversées supérieures, les bouchons de traversées équatoriales pour les modules de couverture, les cassettes de DV, l'ensemble de visualisation, et les pompes cryogéniques.

Le système DV RH permet le remplacement à distance du divertor, qui inclut : l'extraction des cassettes de divertor avec les ensembles de diagnostic et leur transfert vers la hotte de transfert ; le transfert des cassettes de DV d'une hotte et leur installation dans la configuration opérationnelle ; l'enlèvement et l'installation de la tape de fermeture des traversées; la récupération des poussières dans et autour de la zone du divertor avant l'extraction des cassettes. L'équipement du système DV RH comprend un dispositif de déplacement multifonctionnel de cassette (CMM, *cassette multi-functional mover*) équipé d'organes terminaux effecteurs spécifiques (un organe terminal effecteur central ainsi qu'un second organe terminal effecteur à gauche), plus les contrôleurs d'équipements associés.

Le système BM RH permet de transporter les modules de couverture vers et hors de la chambre à vide, d'extraire et de remplacer des modules de couverture sur la paroi de la chambre à vide, avec les opérations de raccordement/de séparation du circuit de refroidissement, et les opérations de vissage pour fixer les modules. Ce système est constitué de dispositifs de transport de la chambre à vide et de la couverture, des outillages de soudage et de découpe de tuyauteries, des outillages de vissage, des équipements internes à la hotte et des outillages de secours.

Le risque lié au système RH est la dégradation éventuelle des systèmes de confinement due à une perte de contrôle ou une chute/un impact de charge, ainsi qu'à une exposition du personnel à des matières radioactives (éventuellement lors des opérations de secours lorsqu'une hotte reste bloquée lors de son transport).

Risques mécaniques associés aux défaillances des systèmes et équipements sous vide

Ces risques sont associés aux effets d'une dépressurisation rapide en cas de fuite ou de rupture des systèmes ou équipements sous vide :

- la chambre à vide, le cryostat, et l'équipement permanent associé (injecteurs de neutres, etc.),
- les systèmes d'ultravide et de vide primaire.

Ces risques sont normalement présents, à l'exception des phases de maintenance lorsque la chambre à vide et/ou le cryostat sont placés sous pression proche de la pression atmosphérique, et sont localisés dans le bâtiment Tokamak et le bâtiment Tritium.

Risques mécaniques associés aux défaillances des systèmes cryogéniques

Ces risques sont liés aux effets d'une pressurisation rapide et à une chute de température dans les locaux en cas de fuite ou de rupture des circuits et équipements cryogéniques contenant du liquide ou de l'hélium supercritique.

Le risque le plus important est associé à l'équipement cryogénique situé dans le bâtiment Tokamak lors des phases plasma et de la mise à l'arrêt froid. Les éventuelles projections cryogéniques ne peuvent affecter les équipements SIC, ceux-ci étant situés en hauteur.

3.1.10 Risque magnétique et électromagnétique

Les risques dus aux champs et aux ondes magnétiques sont liés au fonctionnement des systèmes suivants lors des phases plasma :

- aimants supraconducteurs, fournissant le champ magnétique pour confiner le plasma, situé à l'intérieur du cryostat,
- systèmes de chauffage du plasma, incluant un système de chauffage de plasma par ondes à haute fréquence, ainsi qu'un système d'injecteur de neutres.

Ces risques sont liés à l'impact sur les structures des bâtiments et des équipements exposés à ces champs. Cette exposition peut conduire à :

- un dysfonctionnement des systèmes sensibles aux champs électriques ou magnétiques, comme les systèmes du contrôle commande (tableaux électriques, boîtiers, etc) et actionneurs (pompes, ponts de manutention, etc), avec risque possible de perte de ces systèmes et entraîner la perte d'éléments importants pour la sûreté;
- un effet missile au niveau des équipements métalliques oubliés dans une zone à risque, susceptibles de détériorer des éléments importants pour la sûreté (par exemple un système de confinement) ;
- un risque de courants induits élevés dans les objets métalliques (en particulier portés par le personnel) ;
- un risque pour les opérateurs.

Les risques associés aux champs magnétiques et aux ondes électromagnétiques sont principalement présents dans le bâtiment Tokamak, le bâtiment Tritium, ainsi que dans les bâtiments les plus proches lors des phases plasma.

3.2 RISQUES D'ORIGINE EXTERNE

Les risques externes sont les suivants :

- incendie externe,
- inondation externe,
- conditions climatiques extrêmes,
- dangers liés aux installations environnantes et aux voies de communication,
- chute d'avion,
- séisme.

3.2.1 Risque d'incendie externe

Le risque d'incendie externe, à proximité de l'installation ITER, provient des sources suivantes :

- feu de forêt,
- présence éventuelle de véhicules,
- présence éventuelle de matières inflammables,
- Feux de postes électriques.

Les principales conséquences potentielles d'un incendie externe, en cas de propagation vers l'installation ITER, seraient l'altération d'un ou plusieurs systèmes de confinement de matières radioactives ou dangereuses, ainsi que l'altération d'un ou plusieurs composants d'un système participant à une fonction de sûreté, de par les effets suivants :

- propagation de l'incendie
- effets thermiques associés : conduction thermique, rayonnement des flammes,
- pressurisation associée, due à un air plus chaud, ou à l'utilisation de produits pour maîtriser l'incendie,
- effets chimiques éventuels (toxicité, explosivité, corrosivité) des gaz de combustion liés à l'incendie,



Figure 3 : incendie de forêt

- perte induite d'alimentation électrique pour certains équipements.

3.2.2 Risque d'inondation externe

Le risque d'inondation externe pour l'installation ITER est associé aux éléments suivants :

- la Durance,
- le système d'évacuation de la chaleur (bassins des tours de refroidissement),
- le bassin d'orage,
- les transferts karstiques (nappe phréatique),
- la pluie et les orages.



Figure 4 : lit de la Durance

Une inondation externe affectant l'installation ITER peut entraîner les conséquences suivantes :

- le risque de dégradation des éléments importants pour la sûreté situés à l'intérieur des bâtiments,
- le risque de dégradation sur les structures des bâtiments nucléaires associé à la pression hydrostatique sous les fondations.

3.2.3 Risques climatiques

Les risques identifiés et susceptibles d'affecter les bâtiments de l'installation ITER abritant des équipements ou des systèmes participant à une fonction de sûreté sont les suivants :

- risques associés aux conditions de températures extrêmes (forte chaleur et grand froid) susceptibles d'altérer les fonctions de sûreté sensibles aux variations climatiques (alimentation électrique, circuit de refroidissement),
- risque de foudre, dont les risques induits pour ces bâtiments seraient le risque d'incendie (section 3.1.1) et la perte d'équipement électrique participant à une fonction de sûreté,
- risques associés aux contraintes mécaniques de la neige et du vent sur les structures externes de ces bâtiments.



Figure 5 : bâtiment d'accueil du Centre de Cadarache sous la neige

3.2.4 Risques liés aux installations environnantes et aux voies de communication

Conformément à la liste des risques potentiels liés à l'environnement industriel présentés dans la RFS I.1.b, certaines installations du Centre de Recherche de Cadarache ou certaines voies de communication, pourraient présenter des risques d'agressions externes pour l'installation ITER.

Ces risques sont pris en compte, car ils sont susceptibles de constituer une source de danger externe pour les bâtiments de l'installation ITER qui abritent des équipements ou des systèmes participant à une fonction de sûreté.

En tenant compte de l'emplacement retenu pour l'installation ITER sur le site de Cadarache, les agressions externes identifiées sont les surpressions mécaniques susceptibles d'avoir un impact sur ces bâtiments suite à une explosion de camion citerne.

Les risques complémentaires éventuels liés aux rejets de substances toxiques, corrosives ou radioactives, sont également pris en compte.

3.2.5 Chute d'avion

Les risques associés à la chute d'avion sont traités conformément à la RFS I.1.a.

La probabilité de chute d'avion susceptible d'affecter des bâtiments de l'installation ITER abritant des équipements ou systèmes participant à des fonctions de sûreté, est

calculée pour chacune des catégories d'aviation suivantes (voir les résultats au paragraphe 3.4.2 de la partie 5) :

- aviation générale,
- aviation commerciale,
- aviation militaire,
- aviation utilisée pour la lutte contre les incendies (bombardier d'eau).

Ces calculs ne tiennent pas compte du fait que le survol du site de Cadarache et d'ITER est strictement réglementé, ce qui réduit encore la probabilité de chute.

3.2.6 Séisme

Le séisme constitue une agression à prendre en compte pour l'analyse d'acceptabilité de la sûreté de l'installation ITER.

La RFS 2001-01 permet de définir, pour un site donné, le spectre type du Séisme Majoré de Sécurité (SMS) et d'étudier l'opportunité de retenir un spectre caractérisant le paléoséisme.

Ces spectres sont calculés dans la gamme 0,1 – 34 Hz, pour différentes valeurs d'amortissement.

Le séisme est une agression externe, susceptible d'entraîner des dommages internes et externes à l'installation et à son environnement :

- risque d'apparition d'événements capables de générer des situations d'accident telles que :
 - rupture de tuyauteries des circuits d'eau de refroidissement,
 - perte de vide dans la chambre à vide,
 - perte du système de transfert de chaleur hors de l'enceinte à vide,
 - défaillance de l'usine tritium ou d'une ligne d'alimentation en tritium,
 - perte du confinement dans les cellules de maintenance,
- risques associés aux systèmes de confinement dans les bâtiments abritant des matières radioactives (tokamak, Tritium, cellules de maintenance et traitement des déchets) tels que :
 - rejet de matière radioactive dû à une rupture des systèmes de confinement associés à chaque bâtiment,
 - dommages aux systèmes de confinement suite à la perte de l'intégrité des bâtiments et des structures (murs, ponts de manutention, etc.),
- risque de dommages sur les éléments importants pour la sûreté nécessaires à la limitation des risques générés par le séisme,

- risque de dommages sur les bâtiments parasismiques du fait des autres bâtiments,
- risque d'agressions internes induites :
 - incendie interne,
 - explosion interne,
 - inondation interne,
 - chute de charges,
- risques de pertes des utilités externes :
 - perte d'alimentation électrique externe,
 - perte de l'alimentation en eau provenant du Canal de Provence,
- risques d'agressions externes induites :
 - incendie de forêt,
 - inondation externe,
 - glissement de terrain.

4 RISQUES D'ORIGINE NON NUCLEAIRE AYANT UN IMPACT POTENTIEL SUR LE PERSONNEL

À l'instar de toute grande installation industrielle, le personnel d'ITER sera exposé à des agressions non radiologiques. Celles-ci incluent notamment :

- risques chimiques (par ex. le béryllium),
- risque d'anoxie (présence d'objet sous vide ; SF₆, CO₂ pour lutter contre les incendies),
- champs magnétiques et électromagnétiques,
- incendie (par ex. le bâtiment de contrôle),
- hautes tensions,
- cryogènes,
- travail en hauteur,
- travail en espaces confinés.

Le respect des réglementations de sûreté en vigueur et le contrôle des accès permettent de prendre en compte et de limiter ces dangers.

Pièce 8 Etude de maîtrise des risques

Partie 1 Identification des risques

Partie 2 Analyse du retour d'expérience

Partie 3 Principes généraux de sûreté

Partie 4 Conséquences résiduelles des accidents

Partie 5 Maîtrise des risques

Partie 6 Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques

Vue d'artiste du site ITER. Source : ENGAGE

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	3
2.	RETOUR D'EXPERIENCE BATIMENTS TOKAMAK ET TRITIUM.....	4
2.1	RAPPEL HISTORIQUE DES DIFFERENTES GENERATIONS DE MACHINES	4
2.2	DEMARCHE DE PRISE EN COMPTE DU RETOUR D'EXPERIENCE	6
2.3	RETOUR D'EXPERIENCE EN MATIERE D'ANALYSE DE SURETE	8
2.4	RETOUR D'EXPERIENCE EN MATIERE DE CONCEPTION	11
2.5	RETOUR D'EXPERIENCE EN MATIERE D'EXPLOITATION	13
2.6	RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LE CYCLE DE TRITIUM ET LA GESTION DES DECHETS ET EFFLUENTS.....	14
2.7	RETOUR D'EXPÉRIENCE EN MATIÈRE DE DÉMANTÈLEMENT	15
3.	RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT	17
3.1	GENERALITES	17
3.2	ACTIONS DE R&D ACTUELLES OU VALIDEES EN MATIERE DE SURETE.....	18

1 INTRODUCTION

Cette partie présente :

- des éléments de retour d'expérience de fonctionnement qui ont été pris en compte pour la conception de l'installation ITER, notamment pour les bâtiments Tokamak et Tritium, en fonction des machines existantes actuelles et de l'exploitation des laboratoires Tritium,
- les études de Recherche et Développement (R&D) en cours ou validées (c'est-à-dire achevées) en vue de conforter les analyses de sûreté menées, ainsi que leur démonstration.

2 RETOUR D'EXPERIENCE BATIMENTS TOKAMAK ET TRITIUM

Le retour d'expérience pour la conception d'ITER, est issu principalement de l'expérimentation de l'ensemble des machines de type Tokamak évoquées ci dessous.

2.1 RAPPEL HISTORIQUE DES DIFFERENTES GENERATIONS DE MACHINES

Les machines de fusion conçues jusqu'à présent ont eu un objectif essentiellement scientifique : produire dans une enceinte sous vide, à partir d'un mélange d'ions légers et d'électrons appelé plasma, une réaction de fusion des noyaux, en particulier des isotopes de l'hydrogène. Afin de maintenir le plasma isolé des parois de l'enceinte à vide, des aimants ou bobines magnétiques créent un champ magnétique qui retient le plasma en lévitation. Il s'agit du confinement magnétique du plasma. La fusion ne peut se produire qu'à de très hautes températures, dans des conditions de concentration adéquates et avec un temps de confinement suffisant. La figure 2 montre le concept de machine de fusion par confinement magnétique appelé Tokamak.

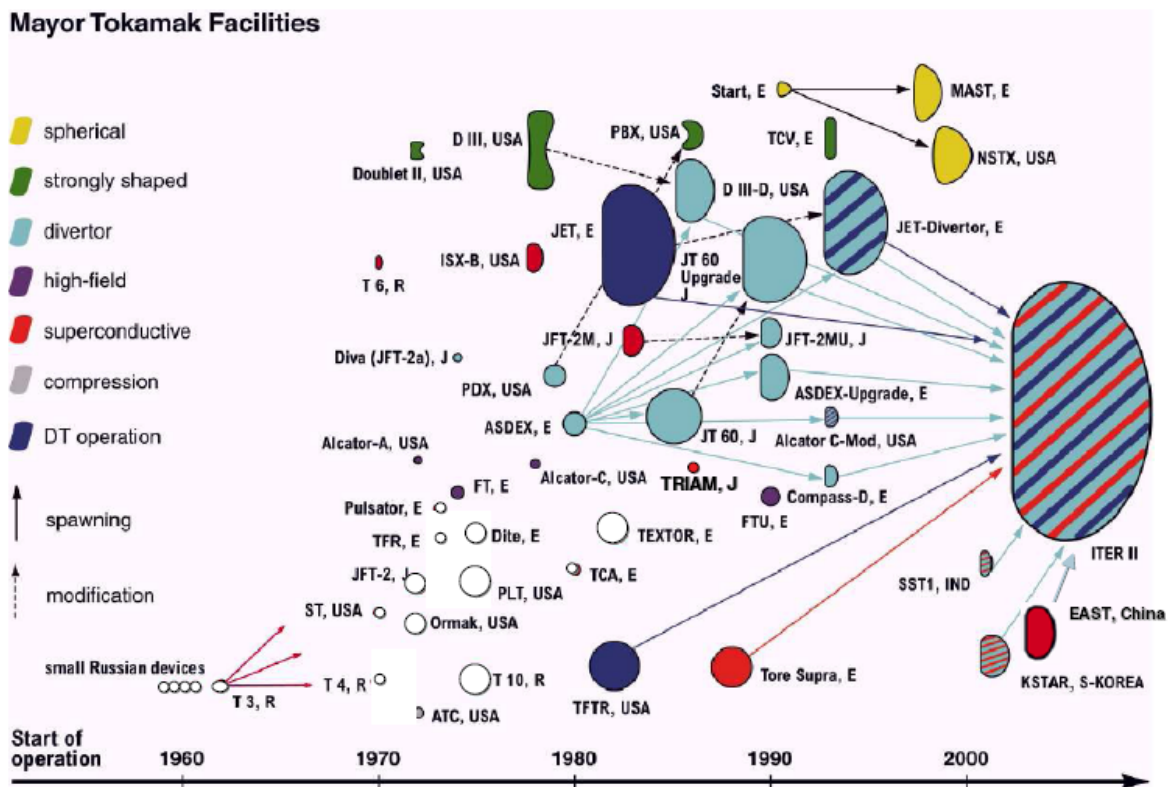


Figure 1 : évolution des premières machines de fusion jusqu'à ITER

2.1.1 Machines de fusion de première génération : exploration des concepts

Les premiers Tokamaks, de petite taille, ont été des installations assez simples, sans systèmes de contrôle compliqués ni de technologie évoluée. Toutefois, ils ont démontré que des plasmas à haute température pouvaient être générés et que l'énergie pouvait être confinée.

Les toutes premières mesures neutroniques thermonucléaires sur un Tokamak ont eu lieu en 1972, sur la machine T-3 avec une puissance de 0,1 mW à partir de réactions de fusion. A partir de décharges sans chauffage additionnel, une loi d'échelle a été établie, montrant que le confinement de l'énergie pouvait augmenter dans des machines de plus grande taille avec des champs magnétiques plus importants.

Les expériences sur les premiers tokamaks ont ainsi permis de découvrir des phénomènes physiques de plasmas et la maîtrise du contrôle du plasma.

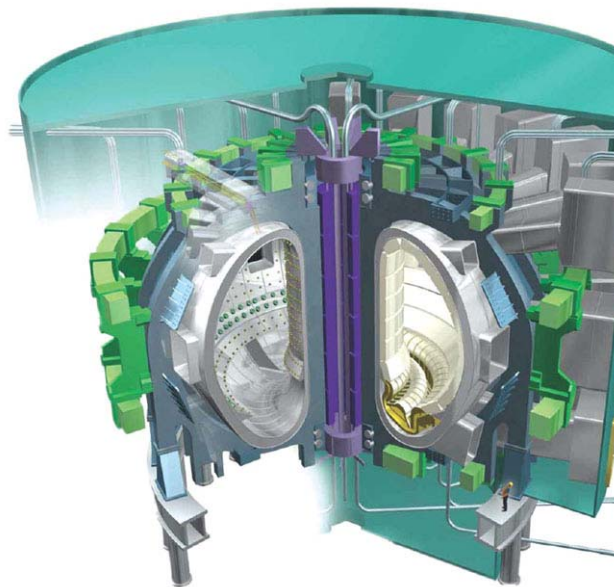


Figure 2 : vue intérieure d'ITER

2.1.2 Machines de fusion de deuxième génération : démonstration des principes

L'atout principal des machines, au début des années 80, a été de permettre le développement des techniques de chauffage auxiliaire.

En utilisant un chauffage additionnel, il a été établi que le temps de confinement de l'énergie décroît avec l'augmentation de la puissance apportée, mais augmente avec la taille de la machine : ces premières lois d'échelle ont mis en place les principes essentiels pour la construction des machines suivantes.

Des méthodes de conditionnement de la paroi de l'enceinte à vide ont commencé à être utilisées et des résultats bien meilleurs, quant au confinement du plasma, ont été obtenus.

2.1.3 Machines de fusion suivantes : des performances accrues

La recherche sur les machines de fusion de taille moyenne a conduit à la génération des Tokamaks les plus grands : le JET en Europe, le JT-60 au Japon, le TFTR aux États-Unis et le T-15 en Union soviétique (URSS) ont été construits.

Les machines de taille moyenne telles que JET et TFTR, ont évolué techniquement, par exemple avec l'amélioration de la maîtrise de fonctionnement en deutérium/tritium d'une part, et l'amélioration de l'utilisation des bobines supraconductrices pour d'autres machines comme Tore Supra, jusqu'à atteindre des performances significatives pour les réacteurs futurs.



Figure 3 : chambre à vide

La découverte du mode H ("High confinement") sur la machine ASDEX dans les années 80 a été capitale pour la fusion thermonucléaire. Ce mode permet d'améliorer le temps de confinement magnétique par rapport au mode L ("Low confinement"). Le mode H est le mode de fonctionnement de référence pour ITER.

Le fonctionnement du JET (qui constitue en soi une bonne synthèse de l'amélioration des performances de chacune des machines antérieures) a démarré en 1983. L'objectif du JET était d'étudier le plasma en conditions et dimensions nécessaires à un réacteur de fusion. Les principaux sujets de l'étude étaient :

- l'étude du plasma avec des paramètres significatifs pour ITER,
- l'interaction plasma/paroi,
- les méthodes de chauffage,
- les particules alpha générées.

L'installation JET a fourni des résultats qui ont constitué la base des données scientifiques et techniques pour les futurs réacteurs de fusion et en particulier pour ITER, avec notamment des plasmas de fusion deutérium - tritium et l'utilisation de maintenance robotisée.

2.2 DEMARCHE DE PRISE EN COMPTE DU RETOUR D'EXPERIENCE

La conception des bâtiments Tokamak et Tritium d'ITER bénéficie du retour d'expérience d'installations analogues, dont les plus représentatives sont les suivantes :

- JET Tokamak (Royaume-Uni),

- TFTR (États-Unis),
- JT-60 (Japon),
- T-15 (Russie),
- TEXTOR (Allemagne),
- ASDEX-U (Allemagne),
- DIII-D (États-Unis),
- Tore Supra (France),
- SST-1 (Inde)
- EAST (Chine),
- KSTAR (Corée)

De par son inventaire en tritium notamment, et du fait de sa localisation en France, ITER sera la première machine de fusion soumise à la réglementation des INB. ITER bénéficie du retour d'expérience des installations manipulant du tritium, tels que les réacteurs de fission de type CANDU qui utilisent du deutérium comme modérateur et produisent de l'eau tritiée, et plus particulièrement des centres de recherche manipulant le Tritium qui sont les suivants :

- en France, parmi les installations du CEA, principalement le laboratoire de traitement du Tritium INB 137 de Valduc,
- dans d'autres pays :
 - TLK (Allemagne),
 - JAEA (Japon),
 - Des réacteurs de type CANDU, pour la conception et le fonctionnement des circuits de refroidissement avec de l'eau contenant du tritium,
 - Le Centre d'extraction du tritium de Darlington, pour ses expériences en conception et fonctionnement de circuits de détritiation d'eau et de distillation cryogénique,
 - TSTA (États-Unis), etc.
 -

Les données nécessaires à l'élaboration du retour d'expérience pour ITER proviennent principalement :

- de scientifiques et d'opérateurs qualifiés et expérimentés, issus d'installations existantes équivalentes, qui ont participé à la conception d'ITER,
- de rapports techniques et de publications diverses,
- d'activités expérimentales en cours et réalisées,
- de la collecte d'expériences de fonctionnement spécifiques et d'analyses associées,

- de visites, réunions et congrès d'experts dans des installations équivalentes existantes,

L'ensemble de ces données est issu d'une collaboration internationale provenant d'horizons variés entre divers spécialistes et experts.

Les aspects pour lesquels le retour d'expérience a été utilisé lors de la conception d'ITER sont décrits ci-dessous. Ils concernent principalement :

- l'analyse de sûreté
- la conception des systèmes Tokamak et Tritium
- le fonctionnement de la machine,
- la gestion des déchets et effluents,
- le démantèlement.

La conception d'ITER bénéficie également du retour d'expérience des réacteurs de fission et des usines de retraitement, concernant principalement les mesures adoptées contre les risques internes et externes (par ex. protection anti-incendie, systèmes de ventilation, systèmes anti sismiques), et du fonctionnement de systèmes similaires (par ex. circuits de refroidissement, alimentation électrique).

2.3 RETOUR D'EXPERIENCE EN MATIERE D'ANALYSE DE SURETE

2.3.1 Méthodologie d'analyse de sûreté

Le retour d'expérience, en matière de sûreté, a permis d'identifier les problématiques de sûreté et d'intégrer dans la conception d'ITER, l'expérience de fonctionnement et l'analyse des incidents et accidents dès le début du projet. Cela inclut une méthode d'identification et d'analyse des agressions internes et externes.

Deux approches complémentaires ont été développées pour identifier les événements initiateurs lors de l'analyse de sûreté :

- Une approche dite « inductive » qui consiste à identifier d'éventuelles défaillances d'équipements et leurs conséquences sur les fonctions de sûreté (approche « ascendante »),
- Une approche dite « déductive » basée sur l'hypothèse de perte de fonctions de sûreté et sur l'évaluation des défaillances d'équipements (approche « descendante »).

Ces études incluent l'analyse des modes et effets de défaillance (FMEA, *failure modes and effects analysis*), complétées par des études de risques et de fonctionnement

(HAZOP, *hazard and operability studies*) pour certains systèmes et logigrammes directeurs, et qui ont été utilisées conjointement avec des méthodes d'analyse globale.

Ces méthodes fournissent un nombre considérable d'événements initiateurs répartis dans différentes catégories en fonction des conséquences sur l'environnement, classés par séquence d'événement et analysés de manière appropriée.

2.3.2 Radioprotection

Le retour d'expérience de pratiques internationales et d'installations de fusion existantes a été utilisé pour développer les règles et les principes fondamentaux pour ITER, en matière de radioprotection. Des mesures ont été adoptées en matière d'exposition externe (liée aux matériaux activés par les neutrons produits par le plasma) et d'exposition interne (liée principalement au tritium).

En ce qui concerne le tritium, le retour d'expérience a été fourni par des laboratoires de tritium et par JET, installations qui se rapprochent le plus d'ITER.

Les campagnes de maintenance réalisées dans JET ont apporté des données utiles concernant la dosimétrie des opérateurs. Les pratiques développées au cours de ces opérations comprennent :

- l'élaboration de démarches pour optimiser la radioprotection (ALARA : Aussi bas que raisonnablement possible),
- l'élaboration d'une radioprotection pour travailler avec le tritium,
- des contrôles et une surveillance des doses pour les opérateurs,
- l'utilisation d'équipement robotisé. L'équipement de maintenance à distance de JET a été défini, conçu, construit et mis en service pour le remplacement et la maintenance des bobines de champ magnétique poloïdal. Ces équipements constituent les principales mesures du principe ALARA de JET.
- des séances de formation et des maquettes grandeur réelle pour répéter les opérations.

Tout cela a permis d'identifier et d'optimiser les opérations les plus dosantes dès le début de la conception d'ITER.

2.3.3 Manipulation du béryllium

Le retour d'expérience de JET et d'autres installations utilisatrices de béryllium a été mis à profit pour développer les règles et approches pour une manipulation sûre du béryllium. Les campagnes réalisées dans JET, pour installer et confiner le plasma en interface avec les composants, ont fourni des données intéressantes.

Les pratiques développées au cours de ces opérations incluent :

- le zonage du béryllium,

- l'utilisation de protections respiratoires (incluant des opérations avec des tenues d'air pressurisé),
- la formation pour une manipulation sûre du béryllium,
- la surveillance du béryllium dans les zones de travail.

2.3.4 Analyse des anomalies et incidents

Le retour d'expérience de fonctionnement, en termes d'anomalies et incidents dans les circuits principaux du Tokamak et du bâtiment tritium (par ex. circuit à vide, système de manutention de gaz actif, alimentation électrique des chauffages auxiliaires, circuits cryogéno-magnétiques et de refroidissement) a été collecté, analysé et intégré dans une base de données de taux de défaillance de composant qui constitue un précieux outil pour les concepteurs d'ITER.

Dans les installations JET, TFTR et TLK, aucun incident significatif, susceptible d'endommager l'installation, d'entraîner des rejets accidentels de matières radioactives ou de doses significatives pour les opérateurs, n'a eu lieu pendant l'exploitation.

Le retour d'expérience concernant le déplacement vertical de l'enceinte à vide sous instabilité verticale du plasma à JET en 1984, a été pris en compte et analysé. Cela a permis de :

- comprendre les événements de déplacement vertical et leurs causes,
- affiner les opérations de modélisation et de validation,
- introduire de nouveaux supports d'enceinte et des contrôles appropriés,
- introduire des procédures d'opérations détaillées pour en limiter les effets.

Les incidents survenus à l'installation INB137 de Valduc, au cours de la dernière décennie, ont été classés entre 0 et 1 sur l'échelle internationale des événements nucléaires (INES). Ils concernent principalement :

- la contamination en tritium de l'atmosphère ou des postes de travail (boîtes à gants) par le non-respect des procédures,
- l'exposition du personnel au tritium malgré les panneaux d'avertissement et de mise en garde, avant que le l'équipe de protection radiologique puisse intervenir,
- l'épanchement d'eau contaminée en tritium dû à des ruptures d'équipement.

Des incidents mineurs ont été corrigés par l'application de procédures plus strictes, comme une purge approfondie des lignes du procédé avant l'intervention des opérateurs.

Ce retour d'expérience a été exploité pour concevoir l'installation ITER, notamment pour développer un système de contrôle d'accès et sera utilisé pour établir des procédures d'intervention et à un programme de maintenance préventive.

2.4 RETOUR D'EXPERIENCE EN MATIERE DE CONCEPTION

2.4.1 Systèmes du Tokamak

Réaction de fusion

La connaissance et la conduite d'un plasma à base d'un mélange deutérium et tritium identique à celui qui est prévu pour ITER, bénéficie du retour d'expérience de machines telles que JET et TFTR.

Le JET est un tokamak destiné à étudier les plasmas de fusion à base d'un mélange de deutérium et tritium. Celui-ci a permis de valider les plasmas de référence pour ITER, notamment la définition des conditions physiques dans lequel un plasma atteint les paramètres nécessaires à la fusion des noyaux.

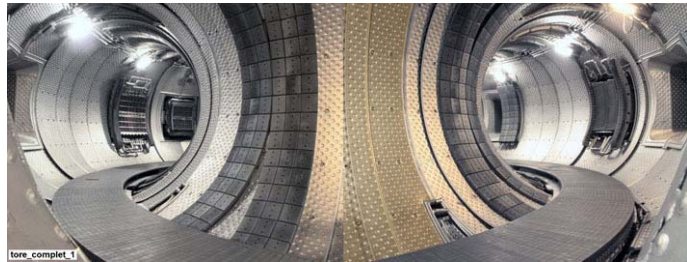


Figure 4 : vue intérieure d'un tore

Les expérimentations menées sur le JET et TFTR ont permis de valider les procédés de réalisation de plasma à base de tritium et de développer des solutions technologiques correspondantes.

Les événements liés au plasma (par ex. ELM et disruptions de plasma), ainsi que les actions correctives dans les tokamaks actuels, sont pris en compte (avec une extrapolation adéquate) dans la conception d'ITER.

Chambre à vide et composants internes

Outre la présence de tritium dans le plasma lors des phases plasma, le tritium est également présent dans les composants de la chambre à vide faisant face au plasma suite à des phénomènes de co-déposition ou de rétention.

Il apparaît, au travers des études actuelles et du retour d'expérience de l'exploitation d'installations existantes de type Tokamak (dans les installations TFTR et JET), que le mécanisme de co-déposition du tritium est un des mécanismes prépondérants de rétention du tritium dans la chambre à vide. Les matériaux constituant les composants internes de la chambre à vide d'ITER ont ainsi été choisis, entre autre, pour limiter ces phénomènes.

Système magnétique

La conception des composants du système magnétique d'ITER (bobines supraconductrices des champs toroïdal et poloïdal) a largement bénéficié du retour d'expérience de Tore Supra (où ces équipements sont utilisés avec succès depuis 1989), et de celui d'autres grandes installations telles que le CERN.

La technologie de l'aimant supraconducteur est utilisée avec succès depuis 1989 avec les aimants toroïdaux de Tore Supra. Les événements qui pourraient conduire à la perte de supraconductivité des aimants (par ex. les charges neutroniques, les transitoires de plasma, les problèmes cryogéniques) sont pris en considération dans la conception d'ITER.

Des machines de construction plus récente, en Chine, en Corée et en Inde fourniront un retour d'expérience sur l'exploitation des tokamaks fonctionnant avec des aimants supraconducteurs.

2.4.2 Tritium

Des données issues du retour d'expérience d'installations manipulant du tritium (JAEA au Japon, installation JET et le laboratoire Tritium de Valduc, TLK en Allemagne, etc.) ont permis de tirer des enseignements concernant les technologies de procédé et de stockage du tritium.

2.4.3 Bâtiments et infrastructures

Protection incendie

Les données du retour d'expérience issues de l'application de l'arrêté du 31/12/1999 des autres INB ont permis de définir des dispositifs de prévention du risque incendie pour la conception des bâtiments Tokamak et Tritium d'ITER, comme par exemple :

- la méthodologie utilisée pour la sectorisation incendie,
- l'utilisation de câbles électrique de type C1 (coupe-feu) pour les équipements d'alimentation électrique dans le bâtiment abritant les inventaires nucléaires,
- la limitation des charges calorifiques et leur compatibilité,
- l'inertage à l'azote dans les boîtes à gants contenant du tritium gazeux et de certains postes de découpes en cellule blindée .

Ventilation nucléaire

Les données du retour d'expérience issues des INB, concernant les applications de la norme ISO 17873, fournissent des éléments pour la conception des systèmes de ventilation et de détritiation des bâtiments Tritium et Tokamak d'ITER.

Résistance anti sismique

La conception du complexe Tokamak d'ITER, qui comprend en particulier le bâtiment Tokamak et le bâtiment Tritium, est fondée sur des appuis parasismiques.

La technologie des appuis parasismiques a été utilisée dans des applications d'isolation de structure en génie civil, telle que l'îlot nucléaire de la centrale EDF de Cruas et les installations STAR et RJH du Centre d'études de Cadarache.

2.5 RETOUR D'EXPERIENCE EN MATIERE D'EXPLOITATION

2.5.1 Facteurs humains

Les données de retour d'expérience en termes de facteurs humains, recueillies sur les installations JET et Tore Supra ainsi que sur les laboratoires tritium (TLK et VALDUC), mettent en évidence des causes de défaillance humaine susceptibles de conduire à des erreurs, notamment dans les domaines suivants :

- l'organisation du travail (procédures de maintenance imprécises, mauvaise communication entre équipes de maintenance et équipes opérationnelles, mauvaise communication lors de l'exploitation entre équipes de radiologie et équipes d'ingénierie),
- la gestion des compétences (par ex. mauvaise interprétation d'événements ou de la situation de l'installation),
- la conception des systèmes (par ex. diagnostics)
- les caractéristiques de conception des postes de travail (boîtes à gants, etc.),
- les conditions d'environnement de travail (bruit, température, irradiation, etc.).

2.5.2 Maintenance

Des leçons issues du retour d'expérience du JET, concernant la mise en place de prototypes de télémanipulation en environnement fusion, ont été prises en compte pour la conception des moyens de maintenance du bâtiment Tokamak ITER.

La méthodologie d'une « télémanipulation globale » a été adoptée pour le plasma d'ITER en interface avec des composants de remplacement (bobines de champ magnétique poloïdal), conjointement avec un système d'interface homme-machine qui utilise des servo-manipulateurs capables de reproduire les gestes et la force d'un humain.

De même, l'existence d'un programme de maintenance correctement planifié, avec les procédures appropriées et les dernières analyses des expériences d'exploitation concernées, s'avère indispensable pour respecter les objectifs de disponibilité.

2.5.3 Exploitation de l'installation

Cycle du tritium

Une première expérimentation en deutérium tritium sur l'installation JET s'est déroulée en 1997. Environ 100 g de tritium ont été mobilisés à partir d'un système de transfert des gaz actifs. Il a été démontré que les quantités de tritium de l'ordre de dizaines de grammes peuvent être traitées et recyclées de façon sûre et avec efficacité dans une installation comme le JET. Les enseignements du JET seront ainsi pris en compte dans le cadre de la conception d'un système similaire pour ITER.

Produits d'activation

Poussières activées

Le retour d'expérience des installations TFTR et JET a montré que quelques kilogrammes de poussières sont susceptibles de s'accumuler à l'intérieur de la chambre à vide d'ITER.

Le fonctionnement des machines JET, JT 60, TFTR, D-IIID a apporté des enseignements utiles sur les poussières elles-mêmes (aspects géométriques et / ou radiologiques), et ouvert la voie à une modélisation de l'érosion permettant de faire des prévisions pour la machine ITER.

Produits de corrosion activés

Le retour d'expérience des réacteurs de fission (REB, REP) a permis de tirer des enseignements concernant les aspects physico-chimiques pour ITER concernant notamment :

- l'eau (température, chimie, pH),
- les produits de corrosion activés (ions en solutions et dépôts insolubles en suspension) dans les circuits primaires de refroidissement du Tokamak (boucles de refroidissement).

2.6 RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LE CYCLE DE TRITIUM ET LA GESTION DES DECHETS ET EFFLUENTS

2.6.1 Tritium

Le retour d'expérience concernant la gestion des déchets tritiés des installations TFTR et JET, des réacteurs CANDU et des installations Tritium (TLK, VALDUC, ...), exploité sur ITER concerne notamment :

- les techniques de purification et séparation isotopique du tritium,
- les procédures de mesures en vue de la détermination de l'inventaire tritium,
- les manipulations et le recyclage du tritium.

autorisation de lancement de la construction

Ind. 1.0

- la réduction des rejets de tritium liés aux déchets,
- les collectes, traitements et transferts des déchets contenant du tritium

2.6.2 Béryllium

L'analyse des activités dans le Tokamak JET fournit un retour d'expérience pour ITER concernant notamment :

- la collecte, le traitement, le conditionnement et le transfert des déchets contaminés par le béryllium,
- la mise en place de zones contrôlées dédiées le risque béryllium,
- l'utilisation des protections respiratoires.

2.6.3 Eau tritiée

Les données issues du retour d'expérience des installations des réacteurs CANDU et de l'installation JET ont mené à la conclusion que le procédé de détritiation de l'eau, dénommé CECE (*Combined Electrolysis Catalytic Exchange*) utilisé dans l'installation JET est le plus performant. Un procédé similaire sera utilisé pour ITER.

2.6.4 Autres déchets

Afin de minimiser l'activation des matériaux et donc la quantité de déchets et leur catégorisation, des dispositions ont été prises pour le choix des matériaux utilisés dans ITER.

2.7 RETOUR D'EXPÉRIENCE EN MATIÈRE DE DÉMANTÈLEMENT

Les installations nucléaires en cours de démantèlement en France, en Europe et dans le monde ont été utilisées pour le chiffrage du fonds de démantèlement qui sera constitué lors de l'exploitation d'ITER.

Le projet de décontamination et de démantèlement de TFTR, commencé en octobre 1999 et achevé en octobre 2002 (après décontamination complète et mise en surveillance radiologique), a notamment servi de référence.

Les leçons des premières expériences de démantèlement de l'installation TFTR ont été prises en compte, concernant notamment la mise en place de dispositions lors de la conception d'ITER en vue de faciliter sa mise à l'arrêt définitif et son démantèlement :

- le caractère accessible et démontable des composants,

- le choix des matériaux afin de minimiser l'activation des composants (même intérêt que pour les déchets opérationnels).

3 RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

3.1 GENERALITES

Les principaux enjeux techniques pour le fonctionnement du Tokamak ITER sont les suivants :

- la taille des aimants supraconducteurs et des structures,
- des flux élevés de neutrons et de chaleur au niveau de la couverture de protection de la première paroi et du divertor,
- la manutention à distance pour les procédures d'intervention et de la maintenance pour les structures irradiées du bâtiment Tokamak,
- des équipements tels que les ensembles de pompes à vide, l'alimentation du plasma en combustible, les systèmes de chauffage et de diagnostic.

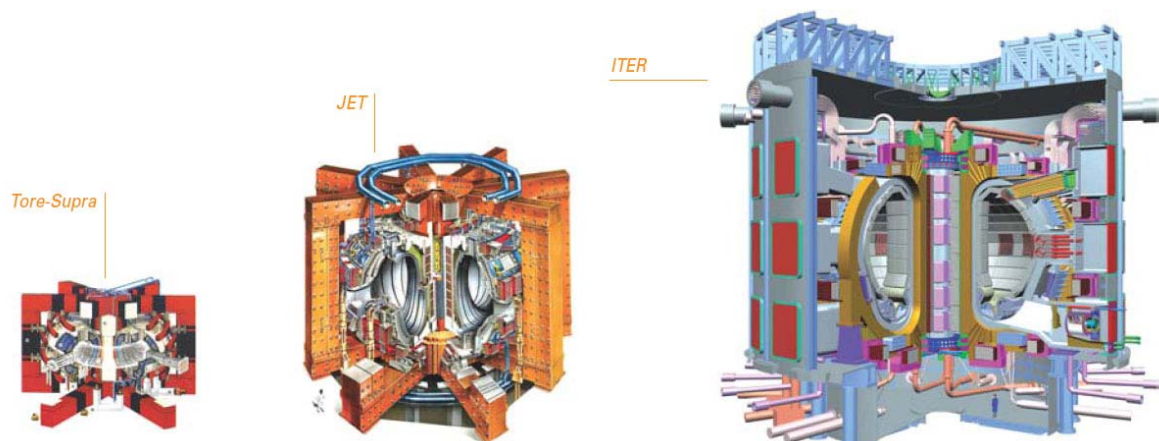


Figure 5 : Tore-Supra, JET et ITER

Pour répondre à ces objectifs, des actions de R&D spécifiques pour ITER comprennent des tâches de conception, d'étude, de fabrication et d'essais, en particulier :

- des composants prototypes qui permettent de valider la conception des plus grands composants du réacteur ITER, tels que :
 - les aimants supraconducteurs,
 - un prototype de secteur de la chambre à vide,
 - un module de couverture de la première paroi interne,
 - une maquette de cassette de divertor,
 - les télémanipulateurs pour le divertor et pour les modules de la première paroi,
- des thèmes de R&D, associés aux études de sûreté, relatifs aux bâtiments Tokamak et Tritium.

3.2 ACTIONS DE R&D ACTUELLES OU VALIDÉES EN MATIÈRE DE SÛRETÉ

3.2.1 Généralités

La R&D liée à la sûreté est orientée vers la compréhension des thèmes d'études de sûreté propres à ITER.

Cela concerne l'identification et la maîtrise des risques et, notamment dans le cas d'ITER, des termes source radioactifs et des mécanismes pour les mobiliser.

3.2.2 Comportement des isotopes d'hydrogène dans les matériaux des composants en interface avec le plasma

Minimiser l'inventaire tritium (dans l'enceinte à vide, etc.) constitue une problématique de sûreté importante, puisque les divers phénomènes de mobilisation induisent un risque de dissémination de tritium par voie gazeuse ou liquide (voir chapitre 8.1 « Identification des risques »).

Les actions de R&D ont permis de comprendre plusieurs phénomènes de mobilisation potentielle du tritium et divers comportements de matériaux des composants internes de la chambre à vide.

Un programme de R&D ciblé a également été élaboré afin de valider les techniques de mesures et d'extraction du tritium, établir et éventuellement réduire les incertitudes et optimiser les procédures. Ce programme implique des laboratoires, des tokamaks existants, et éventuellement des maquettes grandeur nature dédiées. Il inclura les opérations d'ITER de phase initiale H, et s'étendra à la phase D et à phase initiale D-T.

3.2.3 Erosion des composants en interface avec le plasma

Les poussières activées/contaminées sont produites par érosion/dépôt mécanique, par pulvérisation physique et chimique du plasma en interface avec les matériaux des composants (bobines de champs magnétique poloidal - PFC), et par leur fusion et leur vaporisation lors des phénomènes de disruption. De plus, la maintenance et la détritiation des composants faisant face au plasma peuvent contribuer à la production de poussières.

Ces poussières constituent une problématique de sûreté parce qu'elles peuvent entraîner des risques, à cause de leur radio toxicité, ou à cause de réactions chimiques avec la vapeur ou l'air (voir chapitre 8.1 « Identification des risques »).

En vue de maîtriser ces risques, un programme de R&D ciblé a été élaboré pour valider les techniques de mesures et d'extraction des poussières à l'intérieur de la chambre à vide, établir et éventuellement réduire les incertitudes et optimiser les procédures. Ce programme de R&D implique des laboratoires, des tokamaks existants, et éventuellement des maquettes grandeur nature dédiées à cet effet. Il inclura les opérations d'ITER de phase initiale H et s'étendra à la phase D, ainsi qu'à la phase initiale D-T.

3.2.4 Cycle tritium

3.2.4.1 *Problématiques de sûreté*

La quantité totale de tritium sous diverses formes (gaz, oxyde, hydrocarbure) constitue une problématique de sûreté significative parce qu'elle présente un risque de dissémination (voir chapitre 3.1 « Identification des risques »). Les technologies du cycle tritium (transfert, stockage et traitement, etc.) font par conséquent l'objet d'études actuelles. L'objectif des études de R&D en cours est d'adapter et de tester les techniques du cycle tritium à l'échelle d'ITER.

3.2.5 Interaction chimique entre les matériaux (béryllium) de composants en interface avec le plasma et la vapeur et l'air

Plusieurs actions de R&D ont permis la compilation de bases de données sur la cinétique de réaction béryllium/vapeur et leur dépendance vis-à-vis de la température, des espèces chimiques du béryllium, des aspects de surface, etc.

Les réactions potentielles avec d'autres matériaux comme le tungstène ont également été étudiées.

3.2.6 Production et transfert des produits de corrosion

L'importance des produits de corrosion activés dans les circuits de refroidissement et autres circuits d'ITER, est prise en compte au travers d'actions de R&D actuelles. Elle concerne des programmes expérimentaux dont l'objectif est de mieux comprendre les mécanismes de corrosion d'alliage d'acier et de cuivre, ainsi que la solubilisation de produit de corrosion, et les mécanismes de dissémination et de dépôt dans l'eau pour les modes d'exploitation d'ITER. En outre, étant donné que la température de l'eau dans les boucles de refroidissement d'ITER est inférieure à celle des Réacteur à Eau Bouillante, et que sa composition chimique différente (oxydante plutôt que réductrice), des études sont actuellement menées afin d'en évaluer les conséquences et d'adapter les maquettes.

Enfin, des études de R&D sont en cours pour qualifier la production de produits de corrosion et les maquettes de mobilisation, incluant des expérimentations de boucle test avec de l'acier inoxydable et de l'alliage de cuivre, selon les conditions propres au système primaire de refroidissement (PHTS) d'ITER. Ces maquettes permettront d'améliorer les prévisions d'activation d'ions et de dépôts en solutions, de dépôts de radioactivité, du taux d'érosion, etc. basées sur les conditions d'exploitation d'ITER et sur une configuration géométrique réelle des boucles de refroidissement.

3.2.7 Gestion des déchets et des effluents

Le tritium et le béryllium contenus dans les déchets solides peuvent entraîner des risques de dissémination de matières radioactives par voie liquide ou gazeuse, ainsi que des risques chimiques dus à la toxicité du béryllium.

Les actions de R&D actuelles se concentrent sur les domaines suivants :

- les techniques de collecte de déchets solides contenant du tritium (déchets tritiés),
- les méthodes de caractérisation des colis de déchets,
- le développement d'installations de stockage et de destruction,
- les rejets par l'installation.

3.2.8 Codes de calculs

Les codes et méthodes de calculs constituent un lien fondamental dans cette évaluation. Les outils et les données compilés ont été validés afin de fournir des résultats fiables lorsqu'ils sont appliqués à des calculs de conception. Des actions de R&D sont en cours et les résultats y seront intégrés, l'objectif étant que les calculs utilisés pour la sûreté d'ITER utilisent des outils correctement validés.

Pièce 8 Etude de maîtrise des risques

Partie 1 Identification des risques

Partie 2 Analyse du retour d'expérience

Partie 3 Principes généraux de sûreté

Partie 4 Conséquences résiduelles des accidents

Partie 5 Maîtrise des risques

Partie 6 Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques

Vue d'artiste du site ITER. Source : ENGAGE

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION.....	3
2.	METHODOLOGIE DE SURETE	4
2.1	REFERENTIEL	4
2.2	METHODOLOGIE POUR LA MAITRISE DE LA SURETE DE L'INSTALLATION	4
2.3	METHODOLOGIE POUR LA DEMONSTRATION DE LA SURETE DE L'INSTALLATION.....	8
3.	LES OBJECTIFS GENERAUX DE SURETE	10
3.1	DEFINITION DES OBJECTIFS GENERAUX DE SURETE	10
3.2	QUANTIFICATION DES OBJECTIFS GENERAUX DE SURETE	11
4.	REGLES D'ETUDES DES ACCIDENTS	12

1 INTRODUCTION

Cette partie présente les Principes Généraux de Sûreté d'ITER ainsi que l'ensemble des règles d'études applicables pour les incidents et accidents, internes et externes. Cette approche est basée sur les pratiques et l'expérience française et internationale dans le domaine. C'est pourquoi, les principes, la méthodologie et les règles d'études qui sont présentés, s'appuient globalement sur les principaux points suivants :

- les guides et règles d'analyses internationales concernant l'approche sûreté (AIEA.....),
- les règles particulières des autorités de sûreté françaises devant être prises en compte pour la conception d'une installation nucléaire,
- les caractéristiques spécifiques de la conception de l'INB ITER et ainsi que le résultat d'études existantes menées dans ce contexte, et notamment :
 - les analyses de sûreté présentées dans le cadre du rapport de sûreté générique du site,
 - les études liées à la méthodologie d'analyse des événements de référence retenus sur l'INB ITER.

Afin d'atteindre les objectifs fondamentaux de sûreté, les principes de sûreté suivants sont traités :

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

Le respect des principes fondamentaux de sûreté ci-dessus peut être appliqué en suivant notamment les principes suivants :

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

2 METHODOLOGIE DE SURETE

2.1 REFERENTIEL

D'une façon générale, l'ensemble des analyses de sûreté mené est conforme aux textes à caractère réglementaire et à leurs modalités d'application (notamment proposées dans les Règles Fondamentales de Sûreté). Ce référentiel technique et réglementaire tient compte du contexte spécifique de l'installation, notamment :

- la mission générale de l'installation, en particulier sa vocation scientifique et expérimentale,
- l'organisation de la sûreté nucléaire et les instances administratives et réglementaires intervenant dans ce domaine,
- les spécificités liées au site.

2.2 METHODOLOGIE POUR LA MAITRISE DE LA SURETE DE L'INSTALLATION

2.2.1 L'application du principe de défense en profondeur

Le principe de la défense en profondeur est appliqué pour la conception de la sûreté de l'INB ITER afin de se prémunir ou de réduire la fréquence de déclenchement de situations incidentelles ou accidentelles résultant de défaillances d'équipements, de systèmes, d'erreurs humaines et d'agressions internes ou externes et ainsi de permettre de limiter les conséquences.

Cinq niveaux de la défense en profondeur sont pris en compte, pour tous les états de l'installation :

- 1^{er} niveau de la défense en profondeur :
 - il vise à obtenir la qualité de la conception et de la réalisation des équipements, de manière à conférer à l'installation une résistance intrinsèque à ses propres défaillances et aux agressions plausibles ; à cet égard, on retient chaque fois que raisonnablement possible, des conceptions ayant déjà fait leur preuve ; en prévoyant sur les composants et systèmes, les marges nécessaires suffisantes.
 - le choix des matériaux, des normes et des codes de conception utilisés doit être justifié en fonction des risques considérés, il vise également à obtenir la qualité de l'exploitation, tant en conduite qu'en maintenance ; à cet égard, il faut veiller à faciliter les opérations à réaliser par les opérateurs (par exemple : facilités d'accès et de démontabilité, interchangeabilité, standardisation, ...), et à valider les consignes et procédures opératoires,
 - globalement, une attention particulière doit être accordée aux études du fonctionnement normal de l'installation et des expériences ou dispositifs à qualifier, et à l'optimisation des opérations correspondantes ; il faut veiller à ce que les incidents mineurs de fonctionnement soient peu fréquents et ne puissent pas s'étendre, c'est à dire que l'installation et les expériences soient maintenues à l'intérieur de leurs spécifications d'exploitation, ce domaine étant clairement défini,

- 2^{ème} niveau de la défense en profondeur : il prévoit de doter l'installation et les expériences de moyens de surveillance en exploitation aptes à détecter les défauts, et de systèmes de régulation du fonctionnement et de contrôle aptes à les maintenir dans leur domaine normal de fonctionnement,
- 3^{ème} niveau de la défense en profondeur : malgré les dispositions prises pour éviter les situations incidentelles et accidentelles :
 - la définition d'événements incidentels ou accidentels dits "du dimensionnement",
 - l'élaboration et la mise en place de dispositions de sûreté nécessaires et de procédures spécifiques dans le but de maintenir une efficacité suffisante des barrières et systèmes de confinement pour ramener et maintenir l'installation et les expériences dans un état sûr ; à ce titre des consignes et procédures relatives aux incidents et accidents doivent être établies et validées,
 - les principes et systèmes de conception mis en place dans l'installation et les expériences doivent être distincts, si possible, tout en respectant, des critères de redondance, de diversité et de différenciation,
 - les composants et systèmes utilisés sont qualifiés selon les conditions accidentelles correspondantes et sont testables en service,
- 4^{ème} niveau de la défense en profondeur : en plus des dispositions prises pour traiter les 3 premiers niveaux explicités ci-dessus, il est toutefois envisagé des accidents très improbables (correspondant aux situations dites "situations enveloppes"), en justifiant cette liste et son argumentation. Il est défini, si nécessaire, des moyens et/ou des procédures complémentaires permettant la maîtrise de telles situations,
- 5^{ème} niveau de la défense en profondeur : malgré toutes les dispositions prises dans les niveaux précédents pour prévenir et limiter les conséquences des accidents, il doit permettre de prévoir, à l'extérieur du site, les dispositions à adopter vis-à-vis de la population en cas d'accident au niveau de l'installation dont les conséquences déborderaient du périmètre du site. Il s'agit par exemple de la mise en place des plans particuliers d'intervention afin que les autorités administratives correspondantes puissent envisager la mise en place des contre mesures nécessaires à la protection de la population.

Cette démarche de défense en profondeur conduit à la mise en œuvre d'une approche par barrières et systèmes de confinement entre les produits radioactifs et l'environnement extérieur de l'installation.

La défense en profondeur est donc assurée dans la conception par l'utilisation des lignes de défenses successives en vérifiant que les fonctions de sûreté nécessaires sont disponibles. Par exemple, l'approche confinement inclut la fourniture de barrières successives comme lignes de défense, à savoir :

- l'enceinte à vide,
- les locaux périphériques ainsi que les filtres et les systèmes de détritiation.

En ce qui concerne, l'évacuation de la puissance résiduelle, les lignes de défense successives incluent :

- des systèmes d'évacuation de la puissance en fonctionnement normal,
- deux boucles indépendantes du système de refroidissement de l'enceinte à vide capables de fonctionner sans alimentation électrique et évacuant la chaleur par convection naturelle.

2.2.2 La démarche de radioprotection et application du principe ALARA

La démarche de mise en pratique du principe d'optimisation aux installations de l'INB ITER conduit :

- à intégrer dès la définition de l'architecture générale de l'installation et lors de la conception des composants et circuits, ainsi que des systèmes de manutention (téléopération), les principes généraux visant à optimiser les doses efficaces collectives et individuelles des interventions les plus dosantes,
- à exploiter le retour d'expérience des installations équivalentes, réacteurs expérimentaux et des laboratoires pour définir des objectifs de progression (limitation des doses),
- à effectuer une analyse et une gestion prévisionnelle des doses qui seront reçues lors d'opérations à venir.

2.2.3 La prise en compte des spécificités de l'installation ITER (vocation expérimentale)

Du point de vue de la sûreté, la vocation expérimentale et scientifique de l'installation ITER, est prise en compte via :

- une séparation physique, chaque fois que cela est possible, entre l'ensemble des systèmes d'exploitation d'ITER et celui des systèmes d'exploitation des dispositifs expérimentaux,
- la prise en compte dans l'analyse de sûreté de l'installation de la défaillance des composants internes et des dispositifs expérimentaux et des opérations associées, il s'agit notamment d'analyser les implications sur la sûreté de l'exploitation des « Test Blanket Modules ».

Aucune fonction de sûreté n'est attribuée aux composants expérimentaux, mais la défaillance de ceux-ci sera traitée au titre de l'analyse de sûreté de l'installation.

Les programmes expérimentaux et les opérations et modifications liées à la machine seront développés de manière à tirer profit des opérations précédentes.

2.2.4 La prise en compte du retour d'expérience

La conception de la sûreté de l'INB ITER prend en compte les leçons du retour d'expérience, notamment et principalement celui des réacteurs de fusion (JET, JT 60, Tore Supra) et de l'expérience d'installations expérimentales de type laboratoires et cellules chaudes.

Ce retour d'expérience fournit des données sur les défaillances rencontrées sur les systèmes et les équipements, sur les interactions installation/expériences, sur certains scénarios d'incidents possibles, sur les facteurs humains et sur les procédures.

Un effort particulier a été fait pour dégager du retour d'expérience les enseignements positifs sur les conceptions et réalisations antérieures, et sur les bonnes procédures d'exploitation, au travers notamment :

- de la mise sur plots parasismiques du Tokamak
- des règles de dimensionnement à la chute d'avion,
- l'approche réglementaire vis-à-vis du risque incendie,
- de l'optimisation des rejets et de la gestion des déchets,
- de la diminution des doses au personnel et aux populations,
- de la prise en compte, dès la conception de l'INB ITER, d'axes d'amélioration en matière de radioprotection,
- de la prise en compte du retour d'expérience sur des thèmes tels que l'analyse de sûreté, l'ergonomie/facteur humain, les consignes d'exploitation, la métallurgie de certains aciers, l'organisation du contrôle commande,...
- de la prise en compte pour l'INB ITER des enseignements tirés de la réalisation d'exercices de crise sur d'autres installations.

2.2.5 La prise en compte du facteur humain

Le facteur humain en exploitation jouant un rôle important pour l'obtention et le maintien du niveau de sûreté, la conception de l'INB ITER vise, pour la conduite, l'expérimentation et la maintenance, à rendre l'installation et les expériences moins sensibles aux erreurs d'opérateurs.

Pour ce faire, les dispositions retenues sont les suivantes :

- spécifier, dès le début de la conception, le rôle donné à l'homme dans la conduite de l'installation et l'organisation des équipes de conduite,
- rendre les installations moins sensibles aux erreurs d'opérateurs,
- optimiser, en nombre et en complexité, les besoins d'actions de pilotage et/ou de sûreté à confier à des automatismes ou aux opérateurs,
- qualifier, former les opérateurs et maintenir la formation et la qualification des opérateurs,

- établir une culture de sûreté basée sur l'information et l'éducation du personnel, ainsi que la formation des personnels de maintenance et d'intervention.

L'intégration du facteur humain et organisationnel à la conception fait l'objet d'études particulières dont l'objectif est de montrer que cette intégration permet :

- de spécifier et d'organiser le rôle de l'homme dans la conduite de l'installation,
- de rendre moins sensible les installations aux erreurs opérateurs.

2.2.6 La prise en compte des risques de mode commun

Le retour d'expérience du fonctionnement des installations nucléaires et plus globalement des installations industrielles montre que certaines des fonctions réalisées dans ces installations peuvent parfois être soumises à des défaillances dites de cause commune (appelées également "modes communs") pouvant entraîner la perte de ces fonctions, même dans le cas où les composants assurant ces fonctions sont redondés.

Une attention plus particulière est apportée lorsque ces modes communs sont susceptibles d'affecter les systèmes de sauvegarde. Ce retour d'expérience a conduit à analyser la sensibilité d'ITER à ce type de défaillances. Le cas échant, des mesures sont mises en œuvre pour éviter ces risques :

- séparation géographique,
- diversification du matériel,
- redondance des matériels...

2.3 METHODOLOGIE POUR LA DEMONSTRATION DE LA SURETE DE L'INSTALLATION

Le choix des situations incidentelles et accidentelles retenues a été effectué de manière déterministe. L'approche déterministe postule que toute perte de contrôle d'une énergie significative, déposée ou en transfert au sein d'un système, déstabilise l'installation et peut initialiser une séquence d'événements pouvant aboutir à terme à un relâchement de matières radioactives vers l'environnement.

Ainsi, l'identification des systèmes pouvant conduire à une remise en cause de la sûreté d'ITER est basée sur le recensement croisé des sources énergétiques internes, ainsi que des inventaires radioactifs au sein de l'installation.

La démarche de sûreté pour la conception et l'exploitation de la future installation ITER est la suivante :

- l'étude méthodique des situations de fonctionnement. Différentes situations de fonctionnement de l'installation sont retenues et classées en quatre catégories :
 - les situations normales,
 - les situations incidentelles,

- les situations accidentelles,
- les situations enveloppes,
- l'étude méthodique de l'ensemble des phénomènes physiques d'origines interne et externe qui affectent l'installation. La prise en compte des événements permet de garantir en toute situation la non-dégradation des fonctions fondamentales pour la sûreté,
- l'évaluation des conséquences radiologiques des différentes situations de fonctionnement, afin en particulier de vérifier le respect des objectifs de sûreté fixés à la conception.

L'identification des événements initiateurs a été effectuée à l'aide de deux démarches complémentaires permettant de s'assurer que l'identification a été conduite de manière exhaustive :

- une démarche inductive (*bottom-up*) : les conséquences potentielles d'un événement initiateur, en retenant ceux qui peuvent conduire à un relâchement radioactif, sont analysées. Cette méthode est essentiellement basée sur une approche systématique de tous les composants de l'installation et sur leurs défaillances potentielles en considérant toutes les conséquences possibles.
- une démarche déductive (*top-down*) : les causes possibles de l'événement redouté « relâchement de produit radioactif », jusqu'à l'événement initiateur sont analysées. Cette dernière méthode permet une approche plus globale de l'installation, elle permet la distinction des différents inventaires radioactifs, de leur localisation, des dangers potentiels et des fonctions de sûreté qui assurent la protection du confinement.

Une vérification de la cohérence des événements initiateurs obtenus suivant les deux méthodes a été faite et a démontré que l'ensemble de l'analyse sûreté était cohérent.

3 LES OBJECTIFS GENERAUX DE SURETE

Des Objectifs Généraux de Sûreté (OGS) sont définis pour l'ensemble des situations de fonctionnement du dimensionnement et des situations enveloppes. Ces objectifs de sûreté sont établis systématiquement pour le personnel, le public et l'environnement.

3.1 DEFINITION DES OBJECTIFS GENERAUX DE SURETE

3.1.1 Pour le personnel

En fonctionnement normal, et pendant toutes les phases de l'exploitation de l'installation, en particulier lors des interventions et des opérations de maintenance, les doses intégrées sont présentées dans le Tableau 1.

Le respect du principe d'optimisation doit se traduire par des valeurs d'exposition des travailleurs plus faibles que les limites fixées dans le tableau 1. Ceci doit se traduire par un souci de réduction et de répartition des doses individuelles et collectives reçues par les travailleurs.

Pour les situations accidentelles, l'approche vise à limiter les doses des travailleurs. La radioprotection et le confinement sont définis pour permettre la gestion des situations post accidentelles dans le respect des limites de doses maximales définies.

3.1.2 Pour le public et l'environnement

En fonctionnement normal dans l'installation, les doses intégrées par le public, toutes contributions (hors médical) confondues, doivent être inférieures à celles présentées dans le tableau 1.

Une réduction de l'exposition du public doit être recherchée pour les situations accidentelles, avec l'objectif que les conséquences radiologiques potentielles :

- ne nécessitent aucune mesure immédiate ou différée de protection du public aux premières habitations (ni confinement, ni évacuation),
- ne nécessitent aucune restriction de consommation des produits végétaux ou animaux consommés localement aux premières zones de récoltes. Les critères utilisés correspondent aux limites de commercialisation conformément à la directive européenne en vigueur.

3.1.3 Situations hypothétiques enveloppes

Les situations d'accident entraînant une détérioration supplémentaire des fonctions de sûreté sont considérées comme situations enveloppes. Les marges de sûreté qui se dégagent de l'analyse de ces situations ont pour objectif de montrer la robustesse de la sûreté de l'installation et l'absence d'effet de falaise (on appelle « effet de falaise » l'augmentation significative des doses dans de telles situations). Le respect des critères vis-

à-vis du personnel, du public et de l'environnement est estimé avec des hypothèses réalistes.

3.2 QUANTIFICATION DES OBJECTIFS GENERAUX DE SURETE

Les doses maximales établies pour ITER sont présentées dans le tableau ci-dessous :

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

Tableau 1 : objectifs généraux de sûreté pour le personnel, le public et l'environnement

Règlementairement, (arrêté du 13 octobre 2003 et décret n°2005-1179 du 13 septembre 2005), les contre-mesures suivantes doivent être prises pour les doses suivantes :

- mise à l'abri : 10 mSv,
- évacuation de la population : 50 mSv.

Pour les situations hypothétiques enveloppes, des restrictions alimentaires peuvent être appliquées de façon limitée dans le temps et l'espace.

4 REGLES D'ETUDES DES ACCIDENTS

La détermination des situations du dimensionnement a été faite de manière déterministe en s'assurant de la prise en compte des éléments suivants :

- états de l'installation,
- systèmes et composants de l'installation,
- inventaires radioactifs répartis dans l'ensemble de ces systèmes,
- évènements initiateurs pouvant conduire au relâchement de ces inventaires.

L'objectif de l'analyse est d'évaluer les performances des systèmes de sûreté, de montrer le bon dimensionnement de ces systèmes et de vérifier que les OGS sont respectés.

Afin de vérifier les marges prises à la conception, les analyses sont effectuées en utilisant des règles d'étude pénalisantes.

Pour les situations accidentelles, l'analyse est faite de manière conservative en considérant simultanément :

- la perte des alimentations électriques externes pendant 32 h au moment le plus défavorable du scénario nécessitant d'avoir recours à une source électrique,
- la défaillance d'un composant (au titre de l'évènement aggravant) dans un système important pour la sûreté requis dans la gestion de l'incident ou l'accident ; (il s'agit de défaillance d'équipements actifs sollicités lors de l'incident ou accident; il peut aussi s'agir dans certains cas, si justifié, de défaillance passive de type fuites). L'évènement aggravant peut aussi être l'absence de réalisation de l'action favorable d'un opérateur.

Les séquences hypothétiques, dites enveloppes, sont élaborées en imaginant des défaillances supplémentaires ou des défaillances de fonctions de sûreté ou à partir d'évènements ayant peu de chances de survenir.

L'analyse de ces séquences a pour but de prouver la robustesse de l'approche « défense en profondeur », de s'assurer que l'on n'a pas d'effet falaise et que les éventuelles contre-mesures seraient limitées dans le temps et dans l'espace. Elle a également pour but de définir les éventuelles dispositions à mettre en place pour atteindre ces objectifs.

Pièce 8 Etude de maîtrise des risques

Partie 1 Identification des risques

Partie 2 Analyse du retour d'expérience

Partie 3 Principes généraux de sûreté

Partie 4 Conséquences résiduelles des accidents

Partie 5 Maîtrise des risques

Partie 6 Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques



Vue d'artiste du site ITER. Source : ENGAGE

TABLE DES MATIERES

1.	OBJET	3
2.	METHODOLOGIE D'IDENTIFICATION DES SITUATIONS ACCIDENTELLES..	4
2.1	LA DEMARCHE DE SURETE.....	4
2.2	SITUATIONS ACCIDENTELLES ENVELOPPES	4
3.	HYPOTHESES GENERALES RELATIVES A L'EVALUATION DES CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES	6
3.1	EXPOSITION DES POPULATIONS	6
3.2	HYPOTHESES RELATIVES AUX REJETS.....	7
3.3	HYPOTHESES RELATIVES AUX TERMES SOURCES	7
4.	EVALUATION DES CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES DES SITUATIONS ENVELOPPES.....	8
4.1	DEFINITION DES SITUATIONS ENVELOPPES.....	8
4.2	CONCLUSION	12

1 OBJET

Ce chapitre a pour objet de présenter l'évaluation des conséquences radiologiques pour le personnel, le public et l'environnement, des situations accidentelles retenues pour le site ITER.

2 METHODOLOGIE D'IDENTIFICATION DES SITUATIONS ACCIDENTELLES

2.1 LA DEMARCHE DE SURETE

L'analyse de sûreté a pour but de prouver la robustesse de la conception de l'installation en regard des objectifs de doses aux personnels et à l'environnement définis dans les Objectifs Généraux de Sûreté (OGS).

Ainsi, les situations incidentelles et accidentelles retenues sont classées en catégories en fonction de leur fréquence d'occurrence. Le but de l'analyse de sûreté est de montrer que les conséquences radiologiques respectent les limites de la catégorie à laquelle chaque situation appartient (ces limites sont présentées dans la partie 3 de la présente pièce).

Les situations accidentelles enveloppes sont considérées sont celles qui correspondent aux accidents générant les conséquences radiologiques les plus grandes, et qui aussi celles considérées comme hautement improbables et très rares. Leur étude permet de s'assurer d'une marge de sûreté suffisante au niveau de la conception, et de vérifier l'absence d'effet falaise (effet falaise : augmentation significative des doses lors de situations accidentelles) dans les conséquences.

Cette évaluation permet de vérifier le niveau des conséquences radiologiques des accidents considérés comme enveloppes en cohérence avec les Objectifs Généraux de Sûreté présentés dans la partie 3 de la présente pièce. Elle contribue à valider la conception retenue, en particulier vis-à-vis des aspects suivants :

- la spécification des systèmes de confinement en cas d'accident,
- l'aménagement global des bâtiments.

Cette évaluation prend en compte, pour la conception, le mode de fonctionnement générant les conséquences radiologiques potentielles les plus grandes, à savoir la phase d'exploitation avec plasma (deutérium+tritium).

2.2 SITUATIONS ACCIDENTELLES ENVELOPPES

Dans la présente analyse des risques, ne sont étudiés que les accidents présentant les conséquences radiologiques les plus pénalisantes pour les populations voisines et leur environnement. L'étude de ces accidents permet d'évaluer les conséquences radiologiques sur l'environnement et sur les populations avoisinantes et de vérifier leur acceptabilité en les comparant aux Objectifs Généraux de Sûreté retenus pour ITER.

Deux catégories de situations accidentelles sont retenues, celles jugées rares et improbables et celles jugées très rares et hautement improbables et communément appelées « hors dimensionnement ».

Aucune situation accidentelle jugée rare ne génère des conséquences aux populations les plus exposées supérieures à 0,1 mSv pour les conditions météorologiques et de diffusion les plus défavorables, valeur très inférieure aux objectifs généraux de sûreté.

Les situations générant les plus grandes conséquences sont celles jugées très rares et hautement improbables et sont présentées dans ce chapitre.

3 HYPOTHESES GENERALES RELATIVES A L'EVALUATION DES CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES

3.1 EXPOSITION DES POPULATIONS

L'évaluation globale des conséquences radiologiques pour les populations comprend l'ensemble des voies d'atteintes (milieu atmosphérique, liquide et terrestre, chaîne alimentaire).

Les conséquences radiologiques sont présentées sous la forme de l'exposition engagée (dose efficace) pour les populations situées autour du site.

Afin de couvrir les zones les plus importantes en termes d'exposition, cette évaluation prend en compte les doses à court terme et à long terme pour différentes distances :

- la dose à court terme est calculée pour un temps d'exposition de 48 heures à une distance courte. Plusieurs distances ont été prises en compte : la clôture la plus proche (200m), une distance de 1,2 km, le château de Cadarache (2,5 km), la commune de Vinon sur Verdon (3,5 km), et celle de St Paul les Durance (5 km).. Cette dose prend en compte :
 - l'irradiation induite :
 - ⇒ pour le tritium : par l'absorption du tritium à travers la peau,
 - ⇒ pour les radioéléments : par exposition externe dans le panache radioactif,
 - l'exposition interne induite par inhalation des radioéléments,
 - l'exposition externe liée aux dépôts au sol,
- la dose à long terme est calculée pour un temps d'exposition de 50 ans pour un adulte et 70 ans pour un enfant et un bébé, à une distance plus longue.. Les distances retenues pour les calculs « long terme » sont celles où de l'ingestion est possible : 3.5 km (Vinon sur Verdon), 5 km (St Paul Les Durance), 7 km (ex : Ginasservis), 15 km (ex : Manosque). En outre, par souci de maximalisation, il a été retenu une distance plus proche, égale à 2.5 km (Château de Cadarache) pour ces calculs de dose long terme bien qu'il n'y ait ni culture de produits ni ingestion de produits provenant des sols de cet endroit. La distance de 2,5 km (Château de Cadarache) est enveloppe. En complément aux voies d'exposition des calculs court terme, cette dose à long terme prend en compte :
 - l'exposition interne induite par l'ingestion de produits agricoles végétaux et animaux contaminés directement par le dépôt généré suite au passage du nuage radioactif,
 - l'exposition interne induite par l'ingestion de produits agricoles végétaux et animaux contaminés ultérieurement par transfert racinaire à partir de la contamination du sol,
 - l'exposition interne par inhalation de particules remises en suspension à partir du dépôt sur le sol.

3.2 HYPOTHESES RELATIVES AUX REJETS

Les hypothèses suivantes de calcul des doses ont été retenues pour les rejets :

- la distance : à la limite du site d'ITER située à 200 m et au château de Cadarache à 2,5 km du point de rejet,
- la hauteur de rejet est de 58 m à partir du niveau moyen du sol, ce qui correspond à la hauteur du point de rejet situé sur le toit du complexe tokamak. Cette évaluation prend en compte l'effet de sillage induit par le bâtiment, atteignant à une hauteur réelle de 30 m, soit environ la moitié de la hauteur actuelle. Dans certains scénarios d'accidents, quelques rejets peuvent se faire par dispersion à travers les murs du bâtiment, ce qui représente un rejet situé au niveau moyen du sol (0 m au-dessus du sol),
- la condition météorologique : DF2 (diffusion faible avec vent de 2 m/s et sans pluie), DN5 (diffusion normale avec vent de 5 m/s et sans pluie) et DN5P (diffusion normale avec vent de 5 m/s et avec pluie). D'une façon générale, la condition DF2 est la plus majorante par rapport aux autres conditions météorologiques pour des courtes distances et des rejets au niveau du sol, tandis que les conditions DN5 ou DN5P sont plus majorantes pour des rejets en cheminée, à longue distance avec ingestion.

L'évaluation quantitative des conséquences radiologiques pour le public et l'environnement est basée sur le modèle mathématique de transfert dans l'air basé sur le modèle dit "modèle à bouffées" de A. Doury qui est utilisé pour évaluer la dispersion atmosphérique.

Les doses efficaces maximales induites par les rejets sont établies pour tous les groupes de population (adultes, enfant de 10 ans ou bébé d'1 an). Les tableaux de conséquences radiologiques présentés dans les différents paragraphes de ce document ne mentionnent que la valeur maximale associée au type de population la plus exposée.

La forme chimique du tritium retenue dans les calculs est la forme oxyde, telle que l'eau tritiée (HTO), car cette forme est plus pénalisante que la forme gazeuse (HT) dans les calculs d'exposition du point de vue du facteur de conversion de dose.

3.3 HYPOTHESES RELATIVES AUX TERMES SOURCES

Le fonctionnement d'ITER nécessite l'utilisation de tritium pour les réactions de fusion D-T qui produisent des neutrons à haute énergie et de l'hélium. Compte tenu du fait que la majeure partie du tritium injecté ne réagit pas, celui-ci peut s'accumuler à l'intérieur des composants face au plasma et être mobilisé en conditions accidentelles sous forme oxyde. L'irradiation induite par les neutrons à haute énergie conduit à la production de plusieurs types de matières radioactives telles que les poussières activées et les produits de corrosion activés (ACP).

- le tritium mobilisé sous forme oxyde HTO,
- les produits de corrosion activés,
- les poussières activées (les poussières provenant du tungstène de l'enceinte à vide correspondent aux conséquences radiologiques potentielles enveloppes),
- les gaz activés.

4 EVALUATION DES CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES DES SITUATIONS ENVELOPPES

4.1 DEFINITION DES SITUATIONS ENVELOPPES

Les situations dites enveloppes retenues et examinées dans les paragraphes ci-dessous sont les suivantes :

- feu dans le bâtiment Tritium se propageant à une boîte à gants,
- explosion de poussières et d'hydrogène dans la chambre à vide,
- dommages à la chambre à vide et au cryostat entraînant de grands trous,
- ruptures multiples de circuits à l'intérieur de la chambre à vide avec défaillance des traversées d'une conduite de chauffage par ondes hautes fréquences ("by-pass humide").

4.1.1 Incendie dans l'usine tritium se propageant à une boîte à gants

Scénario

Cette situation d'accident enveloppe correspond à un feu qui se propage à une boîte à gants contenant 70 g de tritium (100 % mobilisable), qui s'étend à un secteur feu à l'intérieur de l'usine Tritium. L'incendie peut induire des dégradations au niveau du confinement primaire du tritium (tuyauterie procédé et boîte à gants), entraînant ainsi le relâchement de la totalité de l'inventaire mobilisable de tritium dans le local contenant cet inventaire.

Les systèmes de détection incendie actionnent les clapets coupe-feu pour isoler le secteur feu et déclenchent l'alarme pour évacuer le personnel ; puis le système de surveillance du tritium est utilisé pour détecter toute augmentation de concentration en tritium dans le secteur feu, entraînant ainsi l'isolement du système de ventilation (HVAC) et la mise en marche du système de détritiation (DS). Dans le cas de cette situation enveloppe, on suppose que le système de détritiation ne fonctionne qu'à une capacité réduite (90 %) pendant l'incendie.

Cheminement du terme source

La matière radioactive mobilisée provient de la boîte à gants qui ne contient que du tritium.

Le cheminement suivi par la matière radioactive va de la boîte à gants jusqu'au secteur de feu et aux zones adjacentes à celui-ci, puis à l'environnement (à cause des fuites et des systèmes de ventilation/détritiation).

Conséquences radiologiques pour les populations et l'environnement

L'impact radiologique dans l'environnement est présenté ci-dessous :

	Dose maximale à court terme (obtenue à 200 m)	Dose maximale à long terme (obtenue à 2,5 km)
Dose efficace (mSv)	1.07	0.17

Tableau 1 : dose efficace totale pour la population (mSv) à différentes distances pour un incendie dans le bâtiment Tritium avec propagation à une boîte à gants

Ces valeurs sont inférieures aux objectifs généraux de sûreté. Les conséquences radiologiques de cet accident hors dimensionnement, égales à 1,07 mSv à la limite du site et 0,17 mSv à 2,5 km du site, restent acceptables puisque qu'aucune contre-mesure vis-à-vis des populations ne serait requise, conformément à l'arrêté du 13 octobre 2003 et au décret n°2005-1179 du 13 septembre 2005 relatifs aux interventions en situation d'urgence radiologique. Aucun effet faïse n'est observé

4.1.2 Explosion d'hydrogène et de poussières dans la chambre à vide

Scénario

Cette situation d'accident enveloppe correspond à une défaillance multiple d'une des traversées reliant la chambre à vide à une cellule de traversée et conduisant ainsi à l'entrée d'air dans la chambre à vide. Cela conduit à la mobilisation d'hydrogène des cryopompes cryogéniques et de poussières en un mélange explosif.

Une explosion initiale d'hydrogène peut déclencher une explosion de poussières. L'énergie libérée et la pression sont estimées à leur maximum. On considère que la pressurisation rapide de la chambre à vide entraîne des ruptures multiples, nécessitant de transporter une partie des matières radioactives mobilisées, telles que le tritium et les poussières, à l'extérieur de la chambre à vide à travers les cellules de traversées, l'enceinte du TCWS (système d'eau de refroidissement du Tokamak), et la galerie avant qu'elles ne soient rejetées dans l'environnement.

Cheminement du terme source

Les matières radioactives mobilisées dans la chambre à vide sont le Tritium et les poussières de la chambre à vide. Le cheminement est le suivant : depuis la chambre à vide, la matière est transférée dans le réservoir de décharge, dans les cellules de traversées et dans la galerie, puis relâchée dans l'environnement (sous forme de fuite et par les systèmes de ventilation/détritiation).

Conséquences radiologiques pour les populations et l'environnement

L'impact radiologique dans l'environnement est présenté ci-dessous :

	Dose maximale à court terme (obtenue à 200 m)	Dose maximale à long terme (obtenue à 2,5 km)
Dose efficace (mSv)	0,33	0,21

Tableau 2 : dose efficace totale pour la population (mSv) à différentes distances pour l'explosion d'hydrogène et de poussières dans la chambre à vide

Ces valeurs sont inférieures aux objectifs généraux de sûreté. Les conséquences radiologiques de cet accident hors dimensionnement, inférieures à 1 mSv à la limite du site et à 2,5 km du site, sont acceptables puisqu'aucune contre-mesure vis-à-vis des populations n'est nécessaire à la limite du site, conformément à l'arrêté du 13 octobre 2003 et au décret n°2005-1179 du 13 septembre 2005 relatifs aux interventions en situation d'urgence radiologique. Aucun effet falaise n'est observé.

4.1.3 Dommages à la chambre à vide et au cryostat entraînant de grosses brèches

Scénario

Cette situation d'accident enveloppe correspond à l'apparition simultanée et arbitraire de deux trous de 1 m² chacun, un dans la paroi de l'enceinte à vide et l'autre dans la paroi du cryostat, en direction du puits du cryostat, pour lesquels un cheminement de rejet potentiel dans l'environnement existe, à la fois de manière directe et par la galerie.

Les dommages à l'enceinte à vide et au cryostat sont susceptibles d'entraîner une entrée accidentelle d'eau provenant de la boucle de refroidissement de la chambre à vide, ainsi qu'une entrée de fluide de refroidissement à l'hélium cryogénique dans le cryostat et l'enceinte à vide.

Le déversement d'eau et d'hélium, conjugué à l'entrée d'air dans ces volumes, provoque une pressurisation des volumes de la chambre à vide et du cryostat, avec un transport supplémentaire ultérieur d'éléments radioactifs (poussières et tritium) vers la galerie, et enfin un rejet dans l'environnement.

Cheminement du terme source

Dans cette analyse, les matières radioactives concernées sont le tritium et les poussières contenus dans la chambre à vide, ainsi que des produits de corrosion activés provenant du système primaire de refroidissement de l'enceinte à vide.

La dissémination dans l'environnement provient principalement de fuites au cours de la phase où la galerie est pressurisée et normalement soumise à une extraction via les systèmes de ventilation/détritiation.

Conséquences radiologiques pour les populations et l'environnement

L'impact radiologique dans l'environnement est présenté ci-dessous :

	Dose maximale à court terme (obtenue à 200 m)	Dose maximale à long terme (obtenue à 2,5 km)
Dose efficace (mSv)	3,0	0,14

Tableau 3 : dose efficace totale pour la population (mSv) à différentes distances pour l'accident de dommages à la chambre à vide et au cryostat entraînant de grosses brèches

Ces valeurs sont inférieures aux objectifs généraux de sûreté. Les conséquences radiologiques de cet accident hors dimensionnement, égales à 3 mSv à la limite du site et 0,13 mSv à 2,5 km du site, sont acceptables puisqu'elles n'induisent pas de contre-mesure vis-à-vis des populations, conformément à l'arrêté du 13 octobre 2003 et au décret n°2005-1179 du 13 septembre 2005 relatifs aux interventions en situation d'urgence radiologique. Aucun effet falaise n'est observé.

4.1.4 Ruptures multiples de circuits à l'intérieur de la chambre à vide avec défaillance des traversées d'une conduite de chauffage par ondes hautes fréquences ("by-pass humide")

Scénario

Cet accident est associé à plusieurs multi-défaillances simultanées intervenant chacune en même temps :

- une défaillance simultanée de plusieurs tuyauteries de refroidissement de la première paroi et de couverture,
- une défaillance totale et simultanée par mode commun de toute une traversées équipées de deux fenêtres d'une conduite de chauffage par ondes hautes fréquences.

Via cette traversée défailante, il s'établit une connexion entre la chambre à vide et des cellules de traversée.

Des quantités de tritium, de produits de corrosion activés et de poussière entrent dans les cellules de traversée après la défaillance des fenêtres et sont rejetées vers les galeries et vers les systèmes de ventilation/détritiation.

Bien que la cellule de traversée soit ventilée en permanence par le système de détritiation, il est supposé de façon additionnelle une perte électrique au niveau du site et un redémarrage tardif du système de détritiation de la cellule de traversées.

Cheminement du terme source

Dans cette analyse, les matières radioactives concernées sont le tritium, les poussières contenues dans la chambre à vide, ainsi que des produits de corrosion activés provenant du système primaire de refroidissement de l'enceinte à vide.

La dissémination dans l'environnement provient principalement de fuites au cours de la phase où les cellules de traversées sont pressurisées et normalement soumise à une extraction via les systèmes de ventilation/détritiation.

Conséquences radiologiques pour les populations et l'environnement

L'impact radiologique dans l'environnement est présenté ci-dessous :

	Dose maximale à court terme (obtenue à 200 m)	Dose maximale à long terme (obtenue à 2,5 km)
Dose efficace (mSv)	4,0	0,13

Tableau 4 : dose efficace totale pour la population (mSv) à différentes distances pour l'accident de "by-pass humide"

Ces valeurs sont inférieures aux objectifs généraux de sûreté. Les conséquences radiologiques de cet accident hors dimensionnement, égales à 4 mSv à la limite du site et 0,13 mSv à 2,5 km du site, sont acceptables puisqu'elles n'induisent pas de contre-mesure vis-à-vis des populations, conformément à l'arrêté du 13 octobre 2003 et au décret n°2005-1179 du 13 septembre 2005 relatifs aux interventions en situation d'urgence radiologique. Aucun effet falaise n'est observé.

4.2 CONCLUSION

L'ensemble des calculs a été réalisé en considérant des hypothèses pénalisantes de diffusion atmosphérique et de conditions météorologiques pour les situations accidentelles enveloppes et pour les populations les plus exposées.

Les résultats montrent que les objectifs généraux de sûreté sont respectés (aucun effet falaise n'est observé et les contre-mesures éventuelles sont limitées dans la zone autour de la limite du site).

Pièce 8 Etude de maîtrise des risques

Partie 1 Identification des risques

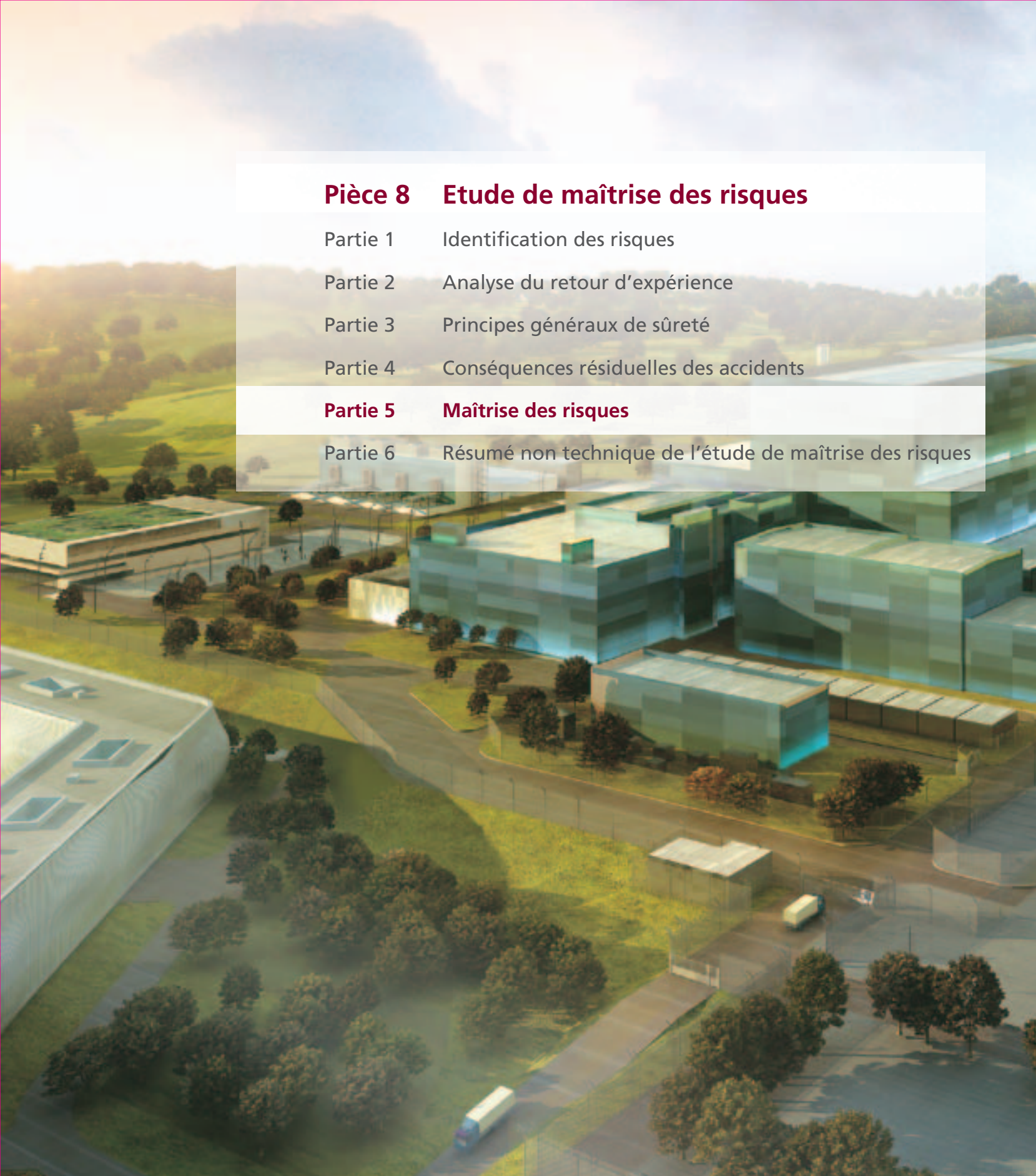
Partie 2 Analyse du retour d'expérience

Partie 3 Principes généraux de sûreté

Partie 4 Conséquences résiduelles des accidents

Partie 5 Maîtrise des risques

Partie 6 Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques



Vue d'artiste du site ITER. Source : ENGAGE

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	3
2.	RISQUES D’ORIGINE NUCLEAIRE.....	4
2.1	RISQUE DE DISSEMINATION DE MATIERES RADIOACTIVES	4
2.2	RISQUE D’EXPOSITION EXTERNE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS....	6
3.	RISQUES D’ORIGINE NON NUCLEAIRE.....	8
3.1	RISQUES D’ORIGINE INTERNE	8
3.2	RISQUES D’ORIGINE EXTERNE.....	31
4.	MOYENS D’INTERVENTION.....	43
4.1	LES EQUIPES DE RADIOPROTECTION.....	43
4.2	LES SERVICES DE RADIOPROTECTION.....	43
4.3	LE SERVICE LOCAL DE SECURITE	44
4.4	PLAN D’URGENCE INTERNE.....	45
4.5	MOYENS EXTERIEURS.....	45
4.6	RESSOURCES EN EAU D’ITER	45

1 INTRODUCTION

Cette partie a pour objectif de décrire les dispositions retenues à la conception de l'installation ITER pour faire face aux atteintes d'origines nucléaires ou non nucléaires (dispositions de prévention, de détection et de limitation des conséquences).

Les risques d'origine nucléaire retenus sont les suivants :

- la dissémination de matières radioactives,
- l'exposition externe aux rayonnements ionisants.

Les risques d'origine non nucléaire retenus sont les suivants :

- risques d'origine interne :
 - le feu interne,
 - l'explosion interne,
 - les dégagements thermiques,
 - les transitoires de plasma,
 - l'inondation interne,
 - l'effet missile et le fouettement de tuyauteries,
 - les risques chimiques,
 - les risques mécaniques,
 - les risques magnétiques électromagnétiques,
- risques d'origine externe :
 - l'incendie externe,
 - l'inondation externe,
 - les conditions climatiques extrêmes, notamment la forte chaleur, le grand froid, la neige, le vent et la foudre,
 - la chute d'avions,
 - les séismes,
 - les risques liés aux installations environnantes et aux voies de communication.

2 RISQUES D'ORIGINE NUCLEAIRE

2.1 RISQUE DE DISSEMINATION DE MATIERES RADIOACTIVES

2.1.1 Dispositions prises concernant la dissémination de matières radioactives

La maîtrise du risque de dissémination repose sur le principe de confinement des matières radioactives. Il consiste à interposer entre les matières radioactives et l'environnement des barrières statiques (circuits, bâtiments, ...) complétées par des barrières dynamiques (filtration, détritiation...).

Le confinement doit assurer la rétention des produits radioactifs et garantir le respect des objectifs généraux de sûreté dans toutes les situations normales, incidentelles et accidentelles retenues.

2.1.2 Moyens de prévention et de limitation des conséquences

La non-dissémination des matières radioactives sera assurée, si nécessaire, par deux systèmes de confinement :

- un système au plus près du procédé constitué par :
 - la chambre à vide du Tokamak,
 - les procédés Tritium,
 - les cellules de maintenance,
- un système dynamique, le plus souvent assuré par les systèmes de filtration et de détritiation.

Le confinement statique des matières radioactives fera l'objet d'un processus de conception et de réalisation permettant de s'assurer de l'efficacité des barrières et de leur fonctionnement correct, dans les conditions normales et accidentelles (prise en compte des différentes situations de fonctionnement, choix de matériaux, contrôle de la qualité de réalisation, essais de qualification).

En application de l'arrêté du 31/12/99 modifié par l'arrêté du 31 janvier 2006, des systèmes de rétention équiperont toutes les capacités d'entreposage des liquides radioactifs et les équipements (tuyauteries, vannes, pompes, ...) dans lesquels ils circulent.

Le confinement dynamique sera fondé sur le dimensionnement de la ventilation, en fonction du niveau de risque de dissémination de matières dans les différents locaux.

La ventilation permettra d'assurer :

- une cascade de dépressions qui permettra une organisation des écoulements d'air entre les locaux (des locaux à faible risque de contamination vers les locaux à fort risque de contamination),
- une filtration de l'air extrait des locaux par la mise en place de filtres Très Haute Efficacité (THE),
- dans toutes les situations de fonctionnement y compris accidentelles, la détritiation de l'air des locaux avant rejet en cheminée.

2.1.3 Moyens de détection

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

Ces dispositions dépendront de la barrière de confinement concernée et se déclineront comme suit :

- la mise en place de détecteurs de contamination atmosphérique aux postes de travail,
- la surveillance de la contamination atmosphérique des locaux,
- la surveillance de l'air rejeté par la cheminée de l'installation,
- des mesures des niveaux de dépression dans les locaux.

Cette surveillance sera complétée par la réalisation :

- de contrôles radiologiques du matériel entrant et sortant, du personnel à leur sortie et des déchets transportés dans les zones le nécessitant,
- de contrôles périodiques destinés à vérifier le maintien dans le temps des exigences spécifiées pour les différentes barrières de confinement (test d'efficacité des filtres Très Haute Efficacité (THE), test d'étanchéité de la boîte à gants, ...).

Enfin, les risques de contamination des travailleurs par le tritium feront l'objet de mesures spécifiques de protection (tenues étanches, boîtes à gants..) et d'une surveillance.

2.2 RISQUE D'EXPOSITION EXTERNE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

2.2.1 Dispositions adoptées concernant le risque ciblé

La maîtrise de l'exposition aux rayonnements ionisants du personnel d'exploitation en fonctionnement normal repose sur :

- l'application et le respect du référentiel réglementaire concernant la protection contre les rayonnements ionisants,
- l'optimisation à la conception des opérations de conduite et de maintenance, selon le principe d'optimisation ALARA, de façon à réduire les doses individuelles et collectives en utilisant notamment une maintenance robotisée des composants internes à la chambre à vide,
- la surveillance radiologique des locaux classés en zone contrôlée permettant de détecter une montée anormale du niveau d'irradiation et du niveau de contamination atmosphérique de ces locaux, en vue d'alerter et de protéger le personnel,
- parallèlement à la dosimétrie passive, mise en œuvre d'une dosimétrie opérationnelle destinée à maîtriser les interventions sous l'aspect radiologique et à informer en temps réel le personnel en cas de dépassement des limites prévues,
- la limitation, par une conception appropriée, des doses reçues par le personnel lors d'interventions d'entretien et de réparation,
- l'utilisation de systèmes de ventilation et de détritiation.

En cas de situations incidentelles ou accidentelles, les dispositions adoptées viseront à limiter les conséquences radiologiques au niveau du personnel, du public et de l'environnement par :

- une intervention du personnel en situation accidentelle réalisée à partir d'une surveillance radiologique fixe ou mobile comportant des mesures de contamination atmosphérique,
- une protection visant à éviter les rejets gazeux et liquides, et une surveillance adaptée de l'environnement.

2.2.2 Moyens de prévention et de limitation des conséquences

Les dispositions de prévention vis-à-vis du risque d'exposition externe seront :

- l'identification, l'analyse et l'aménagement des postes de travail pour réduire à un niveau aussi bas que possible les nuisances radiologiques associées,
- l'adoption de mesures de prévention consistant à :
 - interposer des écrans adaptés et augmenter la distance entre la source de rayonnements et le personnel concerné,

- limiter les temps d'intervention du personnel à proximité des sources de rayonnements,
- utiliser des tenues adaptées (gants au plomb,...),
- la mise en place d'un zonage de radioprotection dans l'installation,
- la formation des personnels à la sécurité aux postes de travail.

2.2.3 Moyens de détection

La surveillance de l'exposition externe dans l'installation est effectuée :

- à l'aide de dispositifs de mesures et de balises adaptés aux locaux, qui en cas d'élévation anormale du débit de dose, déclencheront une alarme dans la zone concernée,
- à l'aide de films dosimètres, implantés dans l'installation en concertation avec le personnel en charge de la radioprotection, dont le développement périodique permettra de vérifier le niveau d'irradiation ambiant et l'adéquation du zonage radiologique défini pour l'installation,
- le contrôle et le maintien du bon fonctionnement des équipements participant à la surveillance radiologique.

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

3 RISQUES D'ORIGINE NON NUCLEAIRE

3.1 RISQUES D'ORIGINE INTERNE

3.1.1 Incendie interne

Dispositions retenues concernant le risqué d'incendie interne

Les objectifs d'acceptabilité du risque à atteindre sont les suivants :

- prévenir la dégradation des systèmes de confinement susceptible de conduire à un relâchement de matières radioactives dans l'environnement,
- maintenir l'installation ITER dans un état sûr pendant et après un incendie,
- limiter les conséquences radiologiques et toxiques pour le personnel ainsi que pour le public et l'environnement en deçà des objectifs généraux de l'installation,
- assurer la protection du personnel.



Figure 1 : test de comportement au feu. (Photographie reproduite avec l'aimable autorisation du CEA)

Afin d'atteindre ces objectifs, les dispositions liées à la défense en profondeur vis-à-vis du risque incendie sont les suivantes :

- les dispositions de prévention visant à éviter ou limiter l'occurrence du cumul des trois composantes nécessaires à la naissance d'un feu (combustible, comburant et énergie d'activation),
- les dispositions de détection incendie adaptées au type de feu considéré,
- les dispositions de limitation des conséquences visant à :
 - éviter ou limiter la propagation d'un incendie, notamment par une sectorisation adéquate des bâtiments ainsi que par un cheminement approprié des systèmes de ventilation/détrition,
 - éviter la détérioration et l'altération de l'intégrité des équipements importants pour la sûreté, afin d'assurer que la fonction de sûreté associée soit toujours réalisée, notamment par des moyens de lutte anti incendie, la séparation géographique des équipements vis-à-vis des systèmes redondants ...
 - assurer l'évacuation du personnel par des issues de secours réparties dans l'installation, accessibles à partir de n'importe quel local dans un délai et à une

distance conformes avec les réglementations applicables. Les issues de secours comprennent les couloirs protégés du feu et les cages d'escaliers.

Ces dispositions sont en conformité avec la législation française dont les principaux textes sont l'arrêté du 31 décembre 1999, modifié par l'arrêté du 31 janvier 2006, ainsi que le guide DGSNR 7/01 relatif à la prévention du risque incendie et sa mitigation.

Moyens de prévention

Les principales dispositions de prévention prises vis-à-vis du risque d'incendie interne sont les suivantes :

- la quantité de matières combustibles et de charges combustibles dans chaque local ou zone est limitée au strict besoin du procédé, en utilisant autant que possible des matériaux non combustibles ou non inflammables (matériaux M0 ou M1, câbles C1, ...) dans les bâtiments abritant les inventaires radioactifs.
- la quantité de matériaux combustibles stockée en interne et normalement exposée au risque d'incendie (par ex. les huiles) est réduite, du fait de l'approvisionnement minimum nécessaire au fonctionnement et de la mise à disposition d'une aire de stockage externe.
- l'implantation et l'utilisation de matières combustibles dans les locaux contenant des équipements classés importants pour la sûreté (SIC), sont optimisées, notamment en :
 - éloignant ou séparant les foyers potentiels d'incendie des éléments ou systèmes importants pour la sûreté (SIC),
 - protégeant les équipements importants pour la sûreté (diesels, câbles, tableaux électriques, etc.) contre les effets d'un incendie, en réduisant les charges calorifiques, en établissant des séparations, etc.,
- l'application des règles de conception des ensembles électriques (distance entre les câbles et les supports en métal, aucune liaison entre deux systèmes redondants, mise à la terre de l'équipement électrique, utilisation d'équipement électrique non générateur d'étincelle, etc.),
- la conception et la construction des installations sont basées, autant que possible, sur des règles qui permettent d'éviter les incendies dus à l'utilisation ou à la défaillance des équipements (par ex. restriction des conduits de fluide dans les salles électriques, cheminement de circuits de fluide sous les câbles, coupure d'alimentation électrique, protection contre les arcs électriques, protection contre les agressions externes, etc.),
- les opérations présentant un risque d'incendie (par ex. découpe, soudure, etc.) nécessitent des permis spécifiques et des dispositions de protection associées, en particulier dans les locaux abritant des systèmes de confinement,
- des dispositions particulières sont prises vis-à-vis des locaux contenant des liquides ou gaz inflammables (hydrogène, deutérium, tritium, ...) susceptibles d'être rejetés dans les locaux au cours d'un incendie (par ex. les lignes d'alimentation sont vidangées ou purgées avec un gaz inerte lorsqu'elles ne sont pas utilisées ou lors des phases de maintenance),

- les composants contenant une quantité significative de matériaux combustibles (transformateurs, réservoirs diesel, etc.) sont implantés à l'écart des bâtiments nucléaires afin de prévenir les risques de propagation d'incendie,
- les transformateurs secs sont utilisés autant que possible,
- la priorité est accordée aux fluides hydrauliques à faible inflammabilité, la lubrification à l'huile n'est utilisée que dans les systèmes conçus avec une protection incendie adéquate,
- les zones contenant des sources d'ignition (poste de découpe et station de Récupération de Tritium des cellules de maintenance) sont inertés avec un gaz neutre.

Moyens de détection

Dans le but de localiser rapidement tout départ de feu, un réseau fixe de surveillance incendie est mis en place dans chaque secteur de feu.

Les dispositions adoptées sont les suivantes :

- chaque local qui présente un risque de départ de feu est équipé d'un système de détection d'incendie et d'alarmes spécifiquement conçu et sélectionné pour les risques d'incendie présents dans la zone,
- les "alarmes incendie" peuvent être activées par le personnel présent dans les bâtiments (lors des phases de fonctionnement où l'accès aux bâtiments est autorisé), indépendamment des alarmes automatiques activées par le système fixe de surveillance incendie,
- le système de détection automatique d'incendie est conçu en boucles fermées,
- le système automatique connecté au système de détection incendie est destiné à protéger le système de filtration et à contrôler la fermeture des clapets coupe-feu,
- le système d'alarme visuelle et sonore associé au réseau fixe de surveillance incendie est reporté en salle de conduite et ses signaux sont distincts des autres signaux d'alarme,
- des systèmes de détection d'incendie sont installés dans les armoires, dans les courants d'air de ventilation, dans les gaines de ventilation, etc. afin de permettre une détection précoce des feux et une identification spécifique d'un départ de feu (adressage des détecteurs),
- si les conditions d'ambiance (par exemple des champs électromagnétiques élevés, les températures élevées, etc) empêchent l'installation de détecteurs incendie standard, des mesures alternatives seront mises en œuvre (analyse des échantillons atmosphériques, visualisation, etc),
- les détecteurs incendie sont implantés dans les boîtes à gants et dans les cellules de maintenance,

- la détection d'une perte d'inertage ou détection d'oxygène dans les boîtes à gants et dans certaines zones de l'installation des cellules de maintenance (détecteurs de concentration d'oxygène et de pression).

Moyens de limitation des conséquences

Les dispositions de limitation d'un incendie interne permettant de protéger les éléments importants pour la sûreté et d'éviter ou de limiter la propagation d'un incendie, sont les suivantes :

- les dispositions prises en termes d'aménagement et de sectorisation sont destinées à empêcher la propagation d'un incendie ou les conséquences d'un secteur de feu à un autre secteur, afin d'éviter qu'elles ne conduisent à la perte simultanée d'éléments redondants de systèmes importants pour la sûreté et accomplissant une fonction de sûreté. Les équipements redondants des systèmes et composants importants pour la sûreté sont séparés et implantés dans des secteurs de feu distincts.
- les dispositions suivantes permettent d'entretenir la résistance au feu de l'enceinte d'un secteur contre d'éventuels incendies qui pourraient se déclencher de chaque côté de celle-ci :
 - les secteurs de feu sont conçus pour empêcher la propagation d'un incendie aux zones adjacentes en considérant une charge calorifique égale à deux fois la charge réelle, et généralement pendant une durée de 2 heures pour les locaux où de la matière radioactive est présente,
 - la résistance au feu des pénétrations dans les secteurs de feu est équivalente à celle des parois du secteur lui-même,
 - des mesures spécifiques (systèmes de détection et d'extinction d'incendie, distance suffisante par rapport aux composants SIC) sont prévues dans les secteurs de feu où les risques de propagation d'un incendie à l'intérieur du secteur doivent être réduits,
 - les secteurs de feu nécessitant des systèmes d'extinction incendie sont équipés, si possible, de leurs propres dispositifs de détection et d'extinction incendie et desservent les systèmes tels que des extracteurs de fumée, la ventilation et les drains,
 - Les locaux contenant des systèmes de tableaux électriques ou des quantités significatives de câbles électriques sont séparés des autres équipements ou confinés à l'intérieur de secteurs de feu,
- les raccordements électriques sont isolés et indépendants. Les raccordements peuvent, si nécessaire (pour des contraintes d'espace ou de fonctionnement, par ex. dans une salle de commande, etc.), être regroupés ensemble selon des dispositions appropriées. Les éléments à risque de départ de feu et les charges



Figure 2 : détecteur d'incendie.

calorifiques devraient être placées dans des secteurs de feu distincts, et séparées si possible des composants et systèmes SIC,

- les locaux électriques donnent accès aux systèmes d'extinction d'incendie,
- en cas d'incendie dans la salle de commande, les opérateurs placeront l'installation en état sûr avant de procéder à l'évacuation de la salle de commande, et la surveillance pourra être effectuée à partir de la salle de commande de secours située dans le bâtiment de contrôle d'accès en zone contrôlée,
- les moyens visant à limiter les effets secondaires d'un incendie dans un secteur de feu (par ex. fumée, chaleur, surpression, transfert de contamination) sont les suivants :
 - dès la détection d'un incendie, les secteurs de feu sont isolés par les clapets coupe-feu,
 - les systèmes de détritiation sont activés dès la détection de niveaux de radioactivité non admissible,
 - les systèmes de ventilation et de détritiation demeurent opérationnels pendant et après un incendie, afin de garantir l'évacuation de la fumée et la limitation des surpressions, ainsi que le confinement des matières radioactives,
 - les filtres des systèmes de ventilation et de détritiation sont protégés contre l'incendie grâce à des systèmes de détection d'incendie situés dans les gaines de ventilation, et grâce à des systèmes de clapets coupe-feu,
 - des dispositions sont mises en œuvre pour permettre l'isolement manuel des vannes ou des clapets coupe-feu si nécessaire.
- les dispositions de protection du personnel sont les suivantes :
 - la mise en place d'itinéraires de sortie de secours pour le personnel, avec des systèmes d'éclairage de secours permanents situés à chaque sortie de secours utilisée pour l'évacuation du personnel,
 - les escaliers sont dépourvus de matières combustibles et des dispositions sont prises pour y empêcher toute entrée de fumée et faciliter ainsi l'évacuation.
- Des dispositions de lutte contre l'incendie complètent les mesures ci-dessus, et comprennent les systèmes d'extinction de feu (par ex. extincteurs à eau, bouches d'incendie, extincteurs à CO₂, extincteurs à poudre).

3.1.2 Explosion interne

Les risques d'explosion interne sont associés aux facteurs suivants :

- risque d'explosion d'hydrogène,
- risque d'explosion de poussières,
- risque d'explosion lié à la décomposition spontanée de l'ozone.

3.1.2.1 Dispositions retenues concernant le risque d'explosion interne d'hydrogène

Les dispositions retenues concernant le risque d'explosion d'hydrogène peuvent être classées en trois catégories : prévention, détection et limitation des conséquences. La prévention inclut des mesures qui réduisent l'inventaire d'hydrogène et d'éventuelles fuites dans les locaux contenant de l'air ainsi que d'éventuelles fuites d'air dans les systèmes/volumes contenant de l'hydrogène. La détection consiste à détecter les fuites d'hydrogène et d'air. La limitation des conséquences d'explosion consiste à s'assurer qu'une explosion n'entraîne aucun rejet radiologique ou dommage à un quelconque système ou composant SIC, et à limiter les conséquences des dommages. Ces mesures sont décrites dans les paragraphes ci-dessous, bâtiment par bâtiment.

Bâtiment Tokamak

Moyens de prévention

Les moyens de prévention retenus concernant le risque d'explosion d'hydrogène dans le bâtiment Tokamak sont les suivants :

- les lignes d'alimentation en combustible du Tokamak fonctionnent à une pression inférieure à la pression atmosphérique pour prévenir tout rejet d'hydrogène,
- les lignes des systèmes contenant le tritium sont équipées d'un double confinement, et la plupart des conduites d'alimentation en combustible au sein du bâtiment Tokamak cheminent avec les lignes appropriées contenant le tritium,
- des zones anti-déflagration sont définies de façon adaptée au niveau des lignes contenant l'hydrogène,
- les boucles de refroidissement de la chambre à vide, du divertor et des modules de couvertures ainsi que le système de contrôle du plasma, sont conçus et utilisés de manière à empêcher toute entrée d'eau dans l'enceinte à vide susceptible de générer de l'hydrogène par réactions avec les matériaux des composants internes : béryllium, tungstène et carbone (uniquement au cours de la phase de fonctionnement à l'hydrogène),
- les traversées dans la chambre à vide sont conçues de manière à éviter toute entrée d'air.

Moyens de détection

Les moyens de détection retenus, concernant le risque d'explosion d'hydrogène dans le bâtiment Tokamak, consistent à implanter des détecteurs d'hydrogène dans les points critiques nécessitant une surveillance, comme dans les locaux traversés par le cheminement des lignes d'alimentation.

Par ailleurs, les détecteurs utilisés pour surveiller les paramètres de débit et de pression des lignes du procédé, associés aux divers autres systèmes, participent également à la fonction détection,

Les détecteurs utilisés pour surveiller la présence d'oxygène à l'intérieur de la chambre à vide déclencheront une injection de gaz inerte afin de prévenir toute explosion d'hydrogène ou d'en limiter les conséquences, en réduisant la concentration en hydrogène/oxygène.

Moyens de limitation des conséquences

Les moyens de limitation des conséquences concernant le risque d'explosion d'hydrogène dans le bâtiment Tokamak consistent principalement à :

- isoler les lignes d'alimentation d'isotopes d'hydrogène dès qu'un niveau élevé de concentration d'hydrogène ou de tritium est détecté dans les locaux,
- contrôler l'inventaire de tritium et de poussières dans la chambre à vide,
- isoler les conduites raccordant l'enceinte à vide aux locaux contenant de l'air, dès la détection d'oxygène à l'intérieur de la chambre à vide et appliquer d'autres mesures en complément,
- utiliser un système de limitation de pression dans la chambre à vide (VVPSS) et un système d'aération du réservoir de limitation de pression (ST-VS), afin de réduire les niveaux d'hydrogène dans l'enceinte à vide et le réservoir de limitation de pression.

Bâtiment tritium

Moyens de prévention

Les mesures de prévention concernant le risque d'explosion d'hydrogène dans l'usine tritium sont les suivantes :

- le double confinement est balayé par un gaz neutre,
- les lignes d'hydrogène sont maintenues sous la pression atmosphérique, ce qui permet ainsi d'éviter les fuites d'hydrogène et de détecter les défaillances,
- la définition de zones anti-déflagration est adaptée aux locaux contenant de l'hydrogène,
- une implantation qui favorise la dispersion autour des lignes d'hydrogène.

L'utilisation d'un double confinement permet de prévenir tout risque de rejet d'hydrogène dans les locaux de l'usine Tritium où sont situés les réseaux de distribution (en cas de

fuite). Le risque d'explosion d'hydrogène est ainsi limité aux locaux où les réseaux d'hydrogène ne sont pas doublement confinés.

Le retour d'expérience concernant le fonctionnement des électrolyseurs montre qu'il existe un risque d'explosion à l'intérieur des électrolyseurs. Ce risque est généré par un mélange d'hydrogène et d'oxygène dû à la faiblesse de la membrane d'échange d'ions contre les risques chimiques et thermiques. L'autre risque d'explosion d'hydrogène pourrait être provoqué par une entrée d'air dans l'électrolyseur.

Le contrôle de la chimie et de la température de l'eau permet d'éviter la détérioration de la membrane :

- la pureté de l'eau est vérifiée par un lit de résine situé en amont des électrolyseurs. La conductivité électrique de l'eau au niveau des entrées et sorties des électrolyseurs est contrôlée, et en cas de détection d'une conductivité de fort niveau, le procédé est arrêté.
- l'intensité électrique est contrôlée, et en cas de sur intensité, les électrolyseurs sont automatiquement mis à l'arrêt.
- les températures sont contrôlées et les électrolyseurs sont automatiquement mis à l'arrêt en cas de dérive des paramètres.

Toute entrée d'air est exclue :

- la phase gazeuse est à une faible surpression,
- les électrolyseurs sont enveloppés d'une enceinte de confinement pour éviter à la fois la migration du tritium des équipements vers les locaux, et l'entrée d'air à l'intérieur de ceux-ci. Cette coque réalisée en acier est aérée par de l'azote,
- les électrolyseurs sont situés dans une enveloppe de confinement destinée à empêcher la migration du tritium des équipements vers les locaux et la pénétration d'air à l'intérieur de l'électrolyseur. Cette enveloppe en acier est ventilée par azote gazeux sec.
- une entrée d'air peut avoir lieu pendant la maintenance des électrolyseurs : des procédures de contrôle doivent permettre de s'assurer que l'atmosphère de l'électrolyseur est inertée par un gaz neutre tel que l'argon ou l'azote avant une opération de maintenance sur les électrolyseurs.
- les conduites d'évacuation d'hydrogène et d'oxygène sont implantées de manière à éviter les zones où l'air pourrait être piégé après l'ouverture des électrolyseurs pour la maintenance.

Moyens de détection

Les mesures de détection prises vis-à-vis du risque d'explosion d'hydrogène dans l'usine tritium sont l'implantation de détecteurs d'hydrogène aux points critiques à surveiller, en particulier dans les locaux abritant des lignes d'alimentation en hydrogène (les plafonds et les surfaces sont des zones potentielles d'accumulation de nuages d'hydrogène stratifié).

Par ailleurs, les détecteurs permettant de suivre les paramètres de débit et de pression des lignes du procédé, associés aux divers systèmes (et à ceux utilisés pour contrôler

les paramètres de débit, de pression et de température des électrolyseurs) participent également à la fonction de détection.

Moyens de limitation des conséquences

Les dispositions de limitation des conséquences prises vis-à-vis du risque d'explosion d'hydrogène dans l'usine tritium sont les suivantes :

- les lignes d'alimentation en Protium (H_2) et en Deutérium (D_2) à partir de la station de gaz à l'extérieur sont munies d'un limiteur de débit permettant de limiter les rejets en cas de rupture,
- les lignes d'alimentation sont isolées dès la détection d'un niveau de concentration élevé dans un local,
- l'intervention d'un opérateur afin d'analyser la cause de l'alarme et d'initier les actions pour isoler ou confiner la fuite,
- la fonction détritiation est disponible dans les locaux,
- la concentration d'hydrogène estimée dans les différents locaux, après un scénario d'accident associé au risque d'explosion de l'hydrogène lié à la rupture en guillotine d'une tuyauterie d'hydrogène pressurisée sans double barrière de confinement, ne dépasse pas la limite basse d'inflammabilité dans le local, excepté dans une accumulation localisée autour de la fuite..

Bâtiment des cellules de maintenance

Les mesures de prévention retenues concernant le risque d'explosion d'hydrogène dans le bâtiment des cellules de maintenance sont les suivantes :

- le procédé de récupération de tritium des composants peut être mis à l'arrêt, tout en maintenant les opérations d'inertisation et de détritiation dans le ciel du four,
- le système de détritiation permet de maintenir un niveau acceptable de concentration de tritium (et par conséquent d'hydrogène) à l'intérieur des cellules,
- la concentration d'hydrogène dans l'air est vérifiée pendant la mise en charge des batteries des hottes de transfert.

L'analyse du risque d'explosion d'hydrogène dans le bâtiment des cellules de maintenance a montré que le temps nécessaire pour atteindre une concentration d'hydrogène dans la zone à déchets est amplement suffisant pour détecter une augmentation de la concentration, interrompre le cycle de fonctionnement en cours, et initier les opérations de détritiation de la ventilation.

Autres locaux

Les mesures prises concernant le risque d'explosion d'hydrogène dans les locaux abritant des batteries sont les suivantes :

- l'utilisation de batteries étanches (dans la mesure du possible),
- les batteries sont situées dans des locaux bien ventilés afin de limiter le risque d'accumulation d'hydrogène,

- les chargeurs de batteries et les tableaux électriques sont situés dans un local différent de celui des batteries, afin de réduire le risque d'explosion d'hydrogène,
- dans le cas où les batteries sont du type « ouvertes », un dispositif de détection d'hydrogène associé à un système de coupure de la charge est installé dans le local.

3.1.2.2 Mesures retenues concernant le risque d'explosion interne de poussières

Bâtiment Tokamak

Moyens de prévention

Les mesures de prévention pour éviter toute entrée d'air sont les suivantes :

- les composants formant l'enceinte à vide de confinement primaire sont dimensionnés pour être robustes et extrêmement fiables,
- dans les lignes de pénétration, reliant la chambre à vide et les locaux contenant une atmosphère d'air, deux systèmes indépendants sont prévus (par ex. deux fenêtres ou une fenêtre et une vanne d'isolement),
- au cours des opérations de maintenance, des dispositions sont prises afin d'éviter tout dommage à la chambre à vide et à ses extensions.

Des mesures préventives sont adoptées pour empêcher toute entrée d'eau accidentelle afin de limiter la production d'hydrogène, dont la déflagration peut constituer une source d'ignition, ceci pouvant déclencher une explosion de poussières.

De plus, la quantité de poussières dans la chambre à vide sera vérifiée et les poussières seront retirées afin de limiter la quantité de poussières qui pourrait être mobilisée lors d'un accident.

Moyens de détection

Les dispositions de détection prises vis-à-vis du risque d'explosion de poussières reposent sur une surveillance en continu du vide de la chambre à vide (pour une détection précoce de toute fuite d'air due à une dégradation) et à une surveillance de l'inventaire de poussières.

La prise de mesures sera effectuée en fonction de l'évaluation périodique de l'érosion des composants de l'enceinte à vide, des détecteurs de poussières et des prélèvements d'échantillons.

Moyens de limitation des conséquences

Les poussières seront retirées périodiquement afin de maintenir l'inventaire de poussières maximum en deçà des directives administratives. Le retrait de poussières sera effectué principalement au cours du nettoyage par aspiration lors du remplacement des divertors.

Bâtiment des cellules de maintenance

Pendant certaines opérations de remise en état dans les cellules de maintenance, il existe un risque potentiel de création et/ou de mise en suspension des poussières, par ex. :

- lors de la récupération des poussières et de la décontamination des composants pour enlever les quantités résiduelles de poussières toujours présentes après le nettoyage de l'intérieur de la chambre à vide,
- lors de la découpe ou d'autres opérations de traitement des composants.

La quantité de poussières susceptible d'être mise en suspension est réduite, grâce au nettoyage des composants de l'enceinte à vide avant leur transfert en cellules de maintenance. Le zonage anti-déflagrant sera établi dans les cellules de maintenance afin que tout risque de formation de nuages locaux de poussières explosives soit improbable. . Par ailleurs :

- la fonction de mise en dépression du système de détritiation a pour effet de retirer les poussières en suspension dans les cellules blindées,
- les fenêtres des cellules de maintenance sont conçues de manière à éviter toute entrée d'air susceptible d'entraîner une mise en suspension des particules de poussières (risque d'explosion de poussières),
- la mobilisation des poussières sera limitée par divers moyens, tels que la collecte de poussières au plus près des procédés ou l'utilisation de fluides au cours des opérations de découpe.

3.1.2.3 Mesures retenues concernant le risque d'explosion due à la décomposition de l'ozone

Moyens de prévention

Les mesures de prévention prises vis-à-vis du risque de décomposition de l'ozone dans le cryostat sont les suivantes :

- les services cryogéniques pour le Tokamak sont fournis par l'hélium liquide, en évitant le N₂ liquide susceptible de contenir des impuretés d'oxygène à proximité des champs de rayonnement,
- l'étanchéité du cryostat permet de maintenir la mise en dépression dans le cryostat par rapport aux locaux et équipement adjacents (cryopompes),
- la production d'ozone survient au cours des périodes de haut flux neutronique, lorsque les bobines sont à basse température; le réchauffement en température des bobines permettra de pomper l'air gelé et par conséquent de limiter la fluence d'air gelé.

Moyens de détection

Pendant les phases de plasma, les mesures de détection reposent sur l'utilisation d'un analyseur de gaz résiduels. Au cours de la régénération des cryopompes (effectuée chaque jour pendant les phases opérationnelles), cet analyseur détecte l'accumulation

d'air dans les systèmes cryogéniques. La période maximale sans détection est par conséquent limitée à une journée.

Moyens de limitation des conséquences

Les dispositions de limitation des conséquences prises concernant le risque de décomposition d'ozone dans le cryostat concernent principalement la conception de l'équipement.

3.1.3 Dégagements thermiques

Mesures retenues concernant le risque de dégagements thermiques

Les sources potentielles de rejets thermiques sont le circuit d'eau de refroidissement du Tokamak, les structures activées (et la puissance résiduelle associée) qui sont transportées dans les hottes de transfert ou stockées dans les cellules de maintenance, ainsi que les équipements électroniques.

Une des mesures pour éviter le risque potentiel de rejets thermiques, provenant du circuit d'eau de refroidissement du Tokamak d'ITER, repose sur la haute fiabilité des tuyauteries (la partie du système primaire de refroidissement du circuit d'eau de refroidissement du Tokamak, située hors de la chambre à vide, est classée SIC). Les groupes de refroidissement importants pour la sûreté sont également implantés dans l'enceinte du circuit de refroidissement, afin d'atténuer l'augmentation de température/pression en cas de rupture d'une conduite d'eau de refroidissement.

Un système de refroidissement d'air local est implanté dans les cellules de maintenance pour refroidir les composants activés de la chambre à vide dans les zones de stockage des cellules de maintenance. Une perte de réfrigération ne peut se produire qu'en cas de perte de l'alimentation électrique externe au site. Les hottes de transfert sont également équipées d'un système de refroidissement afin d'évacuer la puissance résiduelle des composants à transporter.

En ce qui concerne les équipements électroniques, en cas de défaillance du système HVAC (perte de l'alimentation électrique externe au site), le refroidissement des équipements du système de sûreté centralisé sera assuré par une ventilation appropriée, équipée d'une alimentation électrique de classe III, afin de protéger les composants électriques contre tout échauffement indésirable jusqu'au rétablissement du fonctionnement normal du système HVAC.

Moyens de prévention

Les mesures de prévention adoptées concernant le risque de rejets thermiques sont les suivantes :

- Les composants formant en partie le circuit d'eau de refroidissement du Tokamak sont conçus de manière à être robustes et extrêmement fiables (toute la partie du système primaire de refroidissement située à l'extérieur de la chambre à vide est classée système important pour la sûreté pour sa fonction de confinement) et font

l'objet de contrôles et d'une surveillance pendant le service, ceci afin de prévenir d'éventuelles fuites ou ruptures.

- les hottes et les zones des cellules de maintenance abritant des composants actifs seront refroidis grâce aux systèmes locaux de refroidissement d'air.
- les équipements électroniques sont ventilés par le système HVAC et, en cas de perte de l'alimentation électrique hors site, une ventilation utilisant une alimentation électrique de secours de classe III ventilera les composants importants pour la sûreté.

Moyens de détection

Les mesures de détection prises concernant le risque de rejets thermiques reposent sur les contrôles pendant le service et la surveillance continue des sources d'énergie thermique (afin de garantir une détection précoce de rejet thermique).

Mesures de limitation des conséquences

- les groupes de refroidissement classés SIC, situés dans l'enceinte du circuit d'eau de refroidissement du Tokamak,
- des systèmes de ventilation auxiliaires implantés dans les hottes de transfert ou pour les équipements électroniques du système de sûreté centralisé, en cas de perte de l'alimentation électrique externe.

3.1.4 Transitoires de plasma

Mesures adoptées concernant le risque de transitoires de plasma

Du fait de la nature expérimentale d'ITER, des transitoires de plasma existeront pendant le fonctionnement normal de la machine. ITER a été conçue de sorte qu'aucun transitoire de plasma n'entraîne d'éventuelles conséquences sur les composants importants pour la sûreté (par ex. la chambre à vide). Les transitoires de plasma contribuent cependant à l'érosion des composants de l'enceinte à vide, et devront par conséquent être évités, détectés et atténués.

Moyens de prévention

Le contrôle du plasma d'ITER impliquera les trois catégories distinctes de systèmes de contrôle ci-dessous :

- Le système de contrôle du plasma (PCS), qui sera chargé du contrôle de la réaction dynamique du plasma et du maintien des paramètres du plasma au sein de plages spécifiées ;
- Le système central de protection de l'investissement (CIS), qui sera chargé de la mise à l'arrêt rapide des systèmes opérationnels et du plasma en cas de réponse inadéquate du PCS, ou en cas de nécessité absolue de protéger l'installation, le personnel, etc. ;
- Le système de sûreté centralisé (CSS), qui constitue un composant important pour la sûreté, et qui est conçu pour être « sûr en cas de défaillance » afin de garantir le fonctionnement sûr du dispositif.

Ces systèmes de contrôle sont conçus pour contrôler les opérations de plasma au sein des plages de limites opérationnelles définies à travers les scénarios de fonctionnement d'ITER.

Moyens de détection

Les systèmes de contrôle du plasma d'ITER vérifieront en continu l'état du plasma et utiliseront le contrôle de réaction d'un certain nombre d'actionneurs, afin d'assurer que le plasma demeure dans une plage de limites opérationnelles spécifiées.

Tout écart des paramètres tels que la densité, la température, ou la puissance de fusion sera détecté par les divers systèmes qui surveillent continuellement les paramètres opérationnels du plasma.

Moyens de limitation des conséquences

Si la densité, la température ou la puissance de fusion du plasma commence à dépasser les limites opérationnelles définies, le PCS tentera tout d'abord d'utiliser ses algorithmes de contrôle pour ramener les paramètres du plasma dans la plage de fonctionnement normal. Si le PCS ne parvient pas à ramener les paramètres du plasma au sein des plages prescrites, il initiera un arrêt lent afin de faire baisser progressivement les paramètres du plasma. Si la variation des paramètres du plasma évolue rapidement, les algorithmes du PCS décideront d'arrêter le plasma en effectuant une mise à l'arrêt rapide.

Si le PCS ne parvient pas à effectuer la mise à l'arrêt du plasma, le CIS déclenchera alors une mise à l'arrêt rapide du plasma. La durée prévue pour ce changement de séquence peut être extrêmement rapide, de l'ordre de quelques dizaines de milli-secondes à partir du moment où les paramètres du plasma commencent à dépasser la plage de fonctionnement définie. La durée de temps additionnel nécessaire au CIS pour initier son système de mise à l'arrêt rapide du plasma est également de l'ordre de quelques dizaines de milli-secondes. Puisque les durées de mise en confinement de l'énergie à ITER sont de l'ordre de quelques secondes, même si le confinement devait doubler de manière soudaine, le PCS et le CIS réagiraient pour interrompre le plasma bien avant que les paramètres de celui-ci excèdent de manière considérable la plage de fonctionnement spécifiée.

Si le PCS et le CIS échouent simultanément lors l'arrêt du plasma, lorsque les paramètres de celui-ci commencent à dépasser les limites opérationnelles, le CSS sera alors activé afin de procéder à la mise à l'arrêt rapide du plasma, dans les 100 ms de l'événement. Le CSS est conçu pour être capable d'arrêter le plasma de manière autonome, si le PCS et le CIS n'y parviennent pas. Le CSS est un élément important pour la sûreté et est conçu pour être sûr en cas de défaillance.

3.1.5 Inondation interne

Mesures retenues concernant le risque d'inondation interne

L'objectif est d'éviter la dispersion de liquide dans l'installation et de mettre en place des systèmes de surveillance et de récupération autant que de besoin.

Le principal risque d'inondation interne au sein de l'installation est dû à une rupture de tuyauterie.

Moyens de prévention

Les principales dispositions de prévention prises vis-à-vis du risque d'inondation interne sont liées au risque de rupture de tuyauterie. Ces dispositions sont les suivantes :

- un choix adapté des matériaux (tuyauterie, capacités, etc.), souvent définis en fonction du retour d'expérience de matériels ou d'installations similaires,
- une conception adaptée des équipements (température, pression, rayonnement neutronique), avec les marges de sécurité nécessaires,
- un traitement chimique des fluides pour limiter la corrosion,
- un cheminement des tuyauteries adapté en fonction des risques (gainés dédiées, casemates pour les échangeurs, etc.),
- une protection des circuits ou des réservoirs vis-à-vis du risque de collision ou de chute de charges,
- une vidange des cuves et des tuyauteries (de volumes importants) en cas de survol par de lourdes charges,
- l'interdiction de manutention de charge à proximité ou au dessus des capacités non vidangées,
- la formation et les habilitations du personnel, la définition de règles d'exploitation et d'intervention (ainsi qu'une organisation adéquate permettant de les appliquer).

Moyens de détection

Les dispositions de détection associées au risque d'inondation interne suite à une rupture de tuyauterie sont les suivantes :

- les paramètres internes des circuits de fluides sont surveillés (température, débit, pression, niveau des capacités),
- un programme d'inspection et d'essais est défini pour contrôler l'étanchéité des circuits de refroidissement (mesures de pression, taux de fuite, inventaires de fluide),
- la qualité des fluides de refroidissement est régulièrement surveillée,
- des détecteurs de présence d'humidité, de liquide et de tritium, sont disposés dans différents locaux. Ces détecteurs sont équipés de systèmes de signalisation locale, de diffusion d'alarmes et/ou de systèmes de déclenchement d'actions (mise en marche de pompes, etc.).

Moyens de limitation des conséquences

Les dispositions visant à limiter les conséquences d'une inondation interne suite à une rupture de tuyauterie sont les suivantes :

- la présence d'un radier au niveau du bâtiment Tokamak,
- des actions au niveau de la source d'inondation :
 - par l'isolement du circuit (action sur une vanne manuelle ou motorisée),

- par la vidange du fluide vers un réservoir adapté,
- des actions au niveau de l'environnement :
 - par une protection physique ou une surélévation des équipements électriques,
 - par des pompes de relevage permettant de transférer les fluides relâchés dans des réservoirs adaptés (puisard),
 - par des caniveaux et surbots,
 - par des capacités de rétention adaptées aux volumes fluides susceptibles de fuir (bacs, cuves ou réceptacles),
- des dispositions particulières sont prises pour la récupération des eaux destinées à la lutte contre un incendie.

3.1.6 Effets missiles et fouettement de tuyauteries

Dispositions retenues vis-à-vis du risque d'effet missile et de fouettement de tuyauteries

L'application de dispositions techniques et administratives (contrôles de tuyauterie, d'équipements sous pression,...) permet de réduire la probabilité de défaillance d'un appareil pouvant conduire à un effet missile.

Moyens de prévention

Les équipements assurant une fonction importante pour la sûreté susceptibles d'être affectés par un effet missile (pompes en particulier) sont soumis à des exigences de conception et de réalisation. Ces équipements sont dotés d'une protection adéquate s'ils sont situés dans des locaux contenant des sources potentielles d'effet missile (ou dans des locaux avoisinants).

Les canalisations d'eau de refroidissement d'ITER fonctionnent à environ 10 bar, 100-150°C, à l'exception des phases d'étuvage lorsque les conditions sont de 24 bar, et 240°C (pendant environ 10% du temps). L'énergie contenue dans ces canalisations est très limitée.

Les capacités de gaz haute pression sont temporairement entreposées à l'extérieur des bâtiments dans une zone délimitée et protégée.

Moyens de détection

Les visites et inspections périodiques permettent de détecter des signes précurseurs du risque sur des matériels tels que les pompes des systèmes de refroidissement ou les volants des pompes à vide.

La détection sur une pompe peut se faire au travers des dysfonctionnements de cette pompe (arrêt par exemple) ou par surveillance des vibrations.

Moyens de limitation des conséquences

La principale disposition vis-à-vis du risque d'effet missile consiste à protéger les équipements importants pour la sûreté.

3.1.7 Risques chimiques

Dispositions retenues vis-à-vis du risque de toxicité chimique liée au béryllium pendant les phases de construction/montage et d'exploitation

Les dispositions retenues pour la maîtrise du risque chimique dans les différents bâtiments sont établies pour répondre aux exigences de l'arrêté du 31 décembre 1999, modifié par l'arrêté du 31 janvier 2006.

Moyens de prévention

Les dispositions de prévention prises vis-à-vis du risque de toxicité chimique liée au béryllium pendant la phase de construction/montage et d'exploitation sont les suivantes :

- un zonage béryllium est mis en place dès le début de la phase construction/montage,
- la mise en œuvre d'une procédure de réception des composants permettant de les trier dès leur arrivée, et de les orienter en fonction de la présence ou l'absence de béryllium,
- la zone d'entreposage provisoire des composants en béryllium est située à proximité de la zone de pré-assemblage des modules de la couverture et du divertor
- tous les composants contenant du béryllium, et devant être transportés entre deux zones contrôlées béryllium distinctes, sont conditionnés dans un emballage étanche,
- en phase d'exploitation, le double système de confinement (statique et dynamique) permet de limiter la dissémination du béryllium.

Moyens de détection

Des moyens de surveillance sont mis en place dans les locaux concernés par le risque de toxicité chimique au béryllium, selon les principes suivants :

- pendant le fonctionnement nécessitant la présence du personnel, les zones de travail susceptibles d'être contaminées par le béryllium sont équipées de moyens de contrôle atmosphérique fixes ou portatifs,
- des contrôles surfaciques périodiques (frottis et analyse) sont effectués dans l'ensemble des zones contrôlées béryllium.

Moyens de limitation des conséquences

Les dispositions de limitation des conséquences du risque de toxicité chimique au béryllium pendant la phase de construction/montage sont les suivantes :

- la conception appropriée des locaux en zone béryllium (qualité des systèmes de confinement, facilité de nettoyage, décontamination, protection incendie, zonage incendie, ...),
- le zonage béryllium mis en place de manière préventive permet également, en cas d'incident, d'en limiter les conséquences,
- en cas de dépassement des critères (contamination atmosphérique ou surfacique), les locaux sont ventilés et nettoyés (aspiration, lavage),
- en cas d'incident ou d'accident, les contrôles portent particulièrement sur l'intégrité des systèmes de ventilation et des systèmes de confinement (résistance mécanique, étanchéité). Des appareils respiratoires de secours sont disponibles à proximité des locaux béryllium ; ils sont utilisés pour intervenir dans ces zones.

Mesures retenues concernant le risque de réactions chimiques

Les modules de couverture expérimentaux sont soumis à des exigences spécifiques, afin de s'assurer qu'ils ne constituent aucun risque inacceptable pour le solde de l'installation ITER.

Les mesures prévues à ce jour pour éviter toute réaction chimique incluent :

- limiter le plus possible les quantités de matières radioactives,
- placer les composants des modules de couverture expérimentaux hors de l'enceinte à vide, dans une hotte d'assemblage pour modules de couverture expérimentaux qui servira de zone de confinement. Il est conçu pour résister aux projections éventuelles et aux conséquences physiques et chimiques, de telle sorte que les défaillances des modules de couvertures expérimentaux n'entraînent aucune conséquence à l'extérieur du module de confinement,
- prévoir des boucles de refroidissement intermédiaires pour les fluides de refroidissement réactifs.

3.1.8 Risques mécaniques

Les principaux risques mécaniques identifiés sont les suivants :

- les risques mécaniques liés aux forces anormales induites par le plasma,
- les risques mécaniques liés aux défaillances électriques des aimants supraconducteurs,
- les risques liés aux opérations de manutention/levage et transfert de composants,
- les risques mécaniques liés aux défaillances des systèmes et équipements exposés au vide ou à la pression,
- les risques mécaniques liés aux défaillances des systèmes cryogéniques.

Mesures adoptées concernant le risque lié aux forces anormales induites par le plasma

Ces risques correspondent aux forces électromagnétiques ou aux déplacements agissant sur la chambre à vide ou sur ses composants, suite à des événements de disruption de plasma.

La chambre à vide d'ITER est conçue selon :

- des conditions opérationnelles basées sur l'expérience acquise auprès de précédents Tokamaks qui permet de classer les événements dans différentes catégories,
- des conditions survenant lors des transitoires de plasma, tels que les événements de déplacement vertical et les disruptions.

La conception des composants tient compte de la puissance maximale générée lors des disruptions et des événements de déplacement vertical majeurs, et les marges de sécurité seront confirmées lors de l'approche progressive vers le démarrage et le fonctionnement de l'installation.

Mesures adoptées concernant le risque de défaillances électriques des aimants supraconducteurs

Ces risques sont associés aux forces mécaniques ou aux déplacements agissant sur les structures magnétiques en cas de défaillance électrique des bobines (court-circuit, surtension, arcs, etc.). Certaines de ces forces peuvent concerner la chambre à vide.

De nombreux systèmes de surveillance et de protection sont intégrés dans la conception de l'aimant. Ceux-ci incluent :

- des caractéristiques inhérentes aux systèmes de détection/surveillance (qui fonctionnent en continu pendant la mise en charge des bobines), et des systèmes d'essai (qui sont activés périodiquement lorsque la réaction du plasma est interrompue ou lorsque les aimants sont déchargés),
- une attention particulière est accordée aux moyens de réduire la probabilité d'éventuelles séquences en série lorsqu'un défaut initial est susceptible d'accroître la probabilité des autres séquences (par exemple, la chaleur générée par un court-circuit détériore une barrière de protection ou augmente la tension locale), et des défauts de mode commun où plusieurs composants (à cause d'une erreur de fabrication commune par exemple) présentent le même défaut initial :
 - les systèmes de détection de coupure et les interrupteurs de décharge rapide sont hautement redondants afin d'assurer que l'énergie soit déchargée des bobines de champ toroïdal, avant qu'une éventuelle détérioration s'étende au-delà des bobines, la détection de défaut est destinée en particulier à couper l'alimentation électrique aux bobines de champ toroïdal,

Les événements magnétiques (tels que la décharge rapide des aimants) et les contraintes induites sur la chambre à vide, sont pris en compte dans le processus de conception.

Mesures adoptées concernant le risque lié aux opérations de manutention/levage et transfert (chute de charges)

Les dispositions retenues visent à réduire la probabilité de défaillance des équipements qui peuvent être à l'origine du risque lié à la chute de charges.

Moyens de prévention

Les dispositions de prévention prises vis-à-vis du risque de perte de contrôle et de chute/d'impact de charges sont les suivantes :

- tous les systèmes de manipulation téléopérée (RH), ainsi que leurs équipements accomplissant une fonction de sûreté (confinement), constituent des composants importants pour la sûreté (SIC) et seront conçus et construits selon les exigences liées à ces systèmes,
- l'utilisation d'une hotte de transfert sur coussin d'air pour transporter les composants irradiés hors de l'enceinte à vide,
- l'utilisation de systèmes de manutention et de levage « sûrs »,
- ces systèmes sont conçus selon les règles FEM, avec prise en compte des charges maximales à manutentionner et des facteurs de sécurité associés,
- certains composants importants de manutention (câbles de levage, ...) font l'objet d'une redondance,
- des mesures de contrôle qualité sont mises en œuvre lors de la construction, de l'installation et de la mise en service de l'équipement de manutention et de levage,
- des tests d'essai et de qualification des équipements de levage sont effectués périodiquement,
- l'utilisation de systèmes de serrage et de freinage à sûreté intégrée,
- les systèmes d'indication sont conçus de manière à identifier la position des systèmes de serrage et à confirmer leur verrouillage.
- en cas de perte d'alimentation électrique, la charge est maintenue en position, ou déposée au sol dans les cas où le monte-charge est situé à un niveau particulier où la charge (par exemple la hotte de transfert) peut être retirée de celui-ci,
- une alimentation électrique de sauvegarde permet de terminer l'opération de manutention, et un système manuel de descente pour positionner la charge au sol si possible,
- les composants électriques (fins de course, relais, actionneurs, automates, ...) sont conçus de manière à être fiables et qualifiés vis-à-vis des conditions d'ambiance (irradiation, température, champs magnétiques), ainsi que des sollicitations ou charges mécaniques imprévues (vibrations, contraintes, ...),

- la réalisation d'essais avec des charges factices pour vérifier la bonne programmation des opérations planifiées,
- des programmes de tests et de diagnostics intégrés permettent d'éviter les erreurs d'opérations ou le positionnement incorrect de l'équipement de manutention,
- le programme de contrôle de trajet et de cheminement est complété par des fins de course de type logique câblée, indépendantes du programme, ou par des butées de sécurité (utilisée en cas de dysfonctionnement du programme),
- la définition de procédures de manutention afin d'éviter la chute/l'impact de charges et/ou ses conséquences,
- la formation du personnel destiné à effectuer les opérations de levage et de manutention,
- une installation de test des équipements de maintenance robotisée est installée dans le bâtiment des cellules de maintenance avec pour objectifs suivants :
 - la simulation des opérations de maintenance des composants,
 - la formation du personnel destiné à gérer les opérations de maintenance robotisée,
 - la définition et la simulation d'opérations de secours en cas de défaillance d'équipement de manutention et de transfert.

Moyens de détection

Les dispositions de surveillance et de détection prises vis-à-vis du risque de chute de charges concernent essentiellement l'application de la réglementation française en vigueur et plus particulièrement l'application de l'arrêté du 31 décembre 1999, modifié par l'arrêté du 31 janvier 2006 (contrôles périodiques, consignes d'exploitation adaptées aux risques encourus, ...).

Moyens de limitation des conséquences

Les dispositions de limitation des conséquences prises vis-à-vis du risque de chute/d'impact de charges sont les suivantes :

- les trajets des équipements manutentionnés et transportés sont optimisés en évitant autant que possible le survol ou la proximité de structures ou d'équipements importants pour la sûreté, et en évitant les arrêts/pause pendant le temps de survol,
- les hauteurs de levage sont maintenues à un niveau aussi bas que possible tout en garantissant une hauteur de passage adéquate, pour éviter d'endommager ou d'altérer (perte de l'opération, rupture d'un système de confinement) un équipement manutentionné (en cas de chute) ou un équipement impacté (par la charge),

- des dispositifs d'amortissement pour dissiper l'énergie d'une éventuelle chute sont utilisés si leur épaisseur (nécessaire pour protéger un revêtement en acier ou liner) est raisonnable.

Mesures adoptées concernant le risque de défaillances des systèmes et équipements sous vide

Ces risques sont associés aux effets d'une dépressurisation rapide en cas de fuite ou de rupture des circuits ou des équipements exposés au vide :

- la chambre à vide et le cryostat, ainsi que les équipements associés (injecteurs de neutres, etc.),
- les systèmes d'ultra vide et de vide primaire.

La dépressurisation rapide de la zone avoisinante constitue un risque pour le personnel et est susceptible d'endommager les structures.

Les mesures préventives adoptées pour éviter toute défaillance sont les suivantes :

- les composants formant en partie l'enceinte à vide sont conçus pour être robustes et extrêmement fiables,
- dans les lignes de pénétration, deux systèmes indépendants sont prévus (par ex. deux fenêtres ou une fenêtre et une vanne d'isolement),
- au cours des opérations de maintenance, des mesures sont prises afin d'éviter toute détérioration de chambre à vide et de ses extensions,

Les mesures de détections prises reposent sur la surveillance continue de la chambre à vide (pour garantir une détection précoce de fuite d'air due à une dégradation).

Les mesures de limitation des conséquences incluent la mise à disposition de « coupe-vides » dans des locaux plus petits, afin de maîtriser les pressions dans les structures pour éviter toute dégradation.

Mesures adoptées concernant le risque de défaillances des systèmes cryogéniques

Ces risques sont liés aux conséquences d'une rapide pressurisation en cas de fuite ou de défaillance des systèmes cryogéniques, ou de l'équipement contenant de l'hélium liquide ou supercritique.

L'évaporation et le chauffage de fluides cryogéniques répandus sont susceptibles d'entraîner une surpression dans les bâtiments.

Les mesures de prévention incluent les exigences suivantes :

- des systèmes cryogéniques conçus avec un chemisage avec évacuation,
- une conception, un fonctionnement et une surveillance qui favorisent une haute fiabilité/un faible taux de défaillance.

Les mesures de détection comprennent le suivi des pressions, des températures, des débits du système qui passent en revue d'éventuelles pertes naissantes préalables à toute défaillance.

Les mesures de limitation des conséquences incluent :

- les vannes d'isolement visant à limiter les pertes en cas de défaillance,
- la disponibilité de grands volumes dans les bâtiments afin de réduire le transitoire de pression.

3.1.9 Risque magnétique et électromagnétique

Dispositions retenues vis-à-vis du risque magnétique et électromagnétique

Les dispositions retenues consistent à prendre des mesures afin que, d'une part les employés soient protégés par un zonage approprié, et que d'autre part les équipements utilisés sur l'installation ne soient pas impactés par les champs magnétiques (dispositions techniques et/ou organisationnelles, choix des équipements...).

Moyens de prévention et de limitation des conséquences

Les dispositions de prévention prises vis-à-vis du risque magnétique et électromagnétique sont les suivantes :

- un dispositif de décharge rapide de l'énergie des bobines, permet d'évacuer l'énergie des bobines de champ magnétique toroïdal, en cas de coupure de l'alimentation électrique,
- les équipements électriques situés dans le bâtiment Tokamak sont adaptés aux champs électriques ou magnétiques présents lors du fonctionnement,
- des dispositions particulières sont prises vis-à-vis des matériels sensibles à ces perturbations (arrêt des opérations de maintenance, système alternatif de surveillance des gaz, ...),

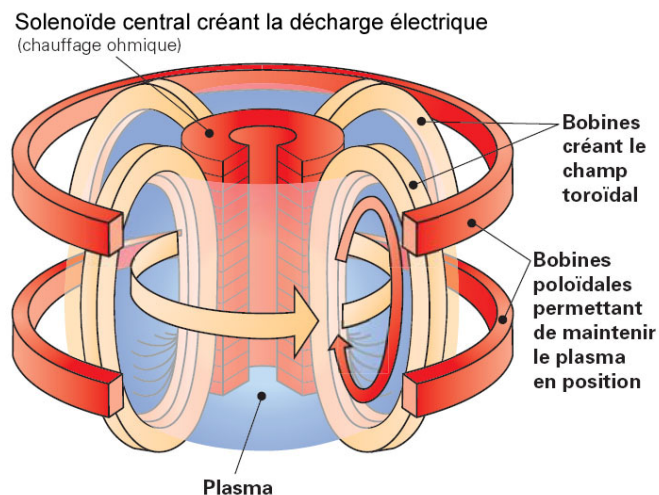


Figure 3 : utilisation des bobines dans ITER

- les bâtiments nucléaires font l'objet d'un zonage magnétique en fonction des situations d'exploitation,
- les systèmes de chauffage du plasma du Tokamak par ondes à haute fréquence font l'objet de dispositions de protection (blindages),
- les équipements des circuits de distribution électrique et de surveillance, notamment radiologique, répondent aux règles CEM (Compatibilité ElectroMagnétique) en vigueur,
- les systèmes ou câbles traitant des signaux de natures différentes (Haute tension, Basse tension, mesures, etc.) sont séparés géographiquement de manière à respecter les normes de compatibilité.

Par ailleurs, au niveau de l'exploitation, l'interdiction d'utilisation de certains matériels permet d'éviter les risques d'interférences.

Moyens de détection

Les différents appareils feront l'objet de contrôles réglementaires par un organisme agréé et d'une maintenance préventive par l'exploitant.

3.2 RISQUES D'ORIGINE EXTERNE

3.2.1 Incendie externe

Mesures prises vis-à-vis de l'incendie externe

Les principales dispositions retenues vis-à-vis du risque d'incendie externe sont les suivantes :

- les installations sont conçues conformément au guide ASN incendie et à l'arrêté du 31/12/1999 modifié par l'arrêté du 31 janvier 2006,
- le débroussaillage et le déboisement sont réalisés aux alentours de l'installation,
- la conception de l'installation et la résistance des parois externes des bâtiments nucléaires permettent de se prémunir contre la propagation d'un incendie vers l'intérieur des locaux.

Moyens de prévention

Les principales dispositions de prévention retenues vis-à-vis du risque d'incendie externe sont les suivantes :

- les cuves de stockage de gasoil et d'huiles sont conçues conformément à l'arrêté du 31/12/1999 modifié par l'arrêté du 31 janvier 2006, elles disposent de capacité de rétention et sont situées à distance des autres bâtiments,

- les stockages temporaires de produits inflammables sont limités dans des zones prédéfinies, éloignées des bâtiments nucléaires et équipées, en particulier, de moyens de lutte à proximité,
- des bornes incendie sont réparties autour des installations
- les équipements assurant une fonction de sûreté à l'extérieur de l'unité nucléaire (diesel de sauvegarde, cuves et lignes électriques associées) sont séparés géographiquement. De plus, il est imposé entre les différents emplacements :
 - des distances minimales d'éloignement,
 - l'absence de sources combustibles importantes (matériaux combustibles,...).

Les dispositions prises vis-à-vis de ce type d'agression permettent de s'affranchir des effets de ce risque au niveau des bâtiments nucléaires.

Moyens de détection

Les quatre départements entourant le Centre possèdent leurs propres dispositifs de lutte contre l'incendie. La surveillance est assurée par des patrouilles en véhicules légers ou par des agents en poste dans des vigies de surveillance.

Le département des Bouches-du-Rhône est doté de 31 vigies positionnées sur les principaux points hauts. L'une d'entre elles est située au-dessus du Centre de Cadarache. La vigie du Grand Puech centralise toutes les alertes pour informer le Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours (CODIS). Cet organe est chargé de la coordination du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) qui, sous l'autorité du préfet, met notamment en place les mesures d'intervention.

D'autre part, des rondes sont effectuées par la Formation Locale de Sécurité pour la surveillance du site de Cadarache et concourent au repérage des départs de feux de forêt.

Moyens de limitation des conséquences

Les principales dispositions de limitation des conséquences retenues vis-à-vis du risque d'incendie externe sont les suivantes :

- l'aménagement et la conception adéquate des prises d'air de ventilation permettent d'éviter la propagation d'un incendie externe vers l'intérieur des locaux ainsi que la propagation des fumées,
- l'aménagement du parking des véhicules du personnel se situe à l'extérieur du périmètre de l'INB (cf. carte en Pièce 5),
- les installations sont protégées contre les effets de la foudre susceptible de provoquer un incendie d'origine externe.

3.2.2 Inondation externe

Dispositions prises vis-à-vis de l'inondation externe

Le risque associé à la Durance est exclu, compte tenu du niveau de l'installation (supérieur à 295 m NGF pour le sous-sol du bâtiment Tokamak) qui est au-dessus du niveau de crue majoré de sécurité (CMS) de 265 m NGF, correspondant au niveau de la crue centennale de la Durance associée à l'effacement du barrage de Serre-Ponçon.

Le risque associé à la source froide concerne une brèche sur les bassins des tours de refroidissement.

Ces bassins se situent à l'Est du complexe Tokamak. L'eau s'écoulant d'une brèche va être envoyée vers le nord-est de la plate-forme ITER et ne va pas agresser les bâtiments.

Le bassin d'orage utilisé pour collecter les pluies, est situé à une côte de 293 m NGF, inférieure au niveau d'implantation des bâtiments nucléaires (315 m NGF). En cas de brèche au niveau du bassin d'orage, l'eau s'écoulant va suivre la pente naturelle du terrain vers le nord-ouest de la plate-forme ITER et ne va pas agresser les bâtiments.

Le risque associé aux remontées karstiques est pris en compte par les études piézométriques réalisées entre 2000 et 2006. Ces études donnent les résultats suivants :

- le niveau moyen atteint est de 265 m NGF,
- le niveau maximum est de 297 m NGF,
- l'extrapolation pour une pluie centennale donne un niveau de 305 m NGF.

Considérant ces résultats, tous les bâtiments dont le niveau est inférieur à 315 m NGF, disposent d'un système de protection contre les remontées karstiques.

Enfin, les pluies d'orage peuvent engendrer des écoulements de surface. Afin d'éviter ce risque, ces éléments sont pris en compte à la conception.

Les principes retenus vis-à-vis du risque d'inondation externe sont :

- l'étanchéité et la mise hors d'eau des bâtiments,
- l'implantation d'un réseau permettant l'évacuation des eaux de pluie,
- l'existence d'un système de drainage gravitaire autour des bâtiments.

Moyens de prévention

Les dispositions prises vis-à-vis de l'inondation externe suite à des pluies d'orage sont les suivantes :

- le réseau d'eau pluviale est dimensionné pour une pluie centennale, en prenant en compte les ruissellements,

- la protection de la zone sous radier empêche les eaux de ruissellement en façade d'atteindre le radier de fondation. Les eaux de ruissellement sont déviées sur le sol et évacuées vers les pentes du terrain,
- les enrobés de surface entourant les bâtiments nucléaires renvoient les ruissellements vers le réseau d'eau pluviale,
- le collecteur d'évacuation de la zone sous radier du complexe Tokamak est dimensionné pour le débit relatif à une pluie centennale.

Moyens de prévention

La présence d'eau, dans la zone du radier de fondation de l'installation Tokamak, fait l'objet d'une surveillance.

D'autre part, un système de drainage des remontées karstiques est disposé sous chaque bâtiment nucléaire.

Moyens de limitation des conséquences

Les dispositions prises vis-à-vis des pluies d'orage sont les suivantes :

- pour les zones susceptibles d'être inondées :
 - des pentes adaptées sont mises en place au niveau des points d'accès à ces zones (hall d'assemblage et accès aux bâtiments),
 - une étanchéité adaptée est mise en place au niveau de la toiture, du radier, des murs et des ouvertures, notamment aux interfaces du complexe Tokamak avec le hall d'assemblage et le bâtiment des cellules de maintenance,
- les traversées électriques ou fluides sont obturées,
- les ouvertures de ventilation en toiture sont orientées vers le bas.

Par ailleurs il n'y a pas de risques d'inondation externe venant des installations du Centre de Cadarache, car il n'y a pas d'installations pouvant induire ce type de risque à proximité d'ITER.

3.2.3 Conditions climatiques extrêmes

Dispositions prises vis-à-vis des conditions climatiques extrêmes

Neige et vent

Les bâtiments nucléaires sont dimensionnés pour des conditions extrêmes.

Orage - Foudre

La protection de l'installation contre les effets directs de la foudre repose sur l'application de la réglementation en vigueur dans ce domaine notamment l'arrêté du 31/12/1999 modifié par l'arrêté du 31 janvier 2006 sur l'application des normes NFC 17-100 et NFC 17-102 vis-à-vis des effets directs de la foudre.

Grands froids et fortes chaleurs

Le principe de sûreté porte sur la maîtrise des fonctions de sûreté de l'installation pour des températures minimales et maximales extrêmes.

Moyens de prévention et de limitation des conséquences

Neige et vent

Vis-à-vis des risques neige et vent, les dispositions suivantes sont prises :

- les prises d'air des réseaux de soufflage classés et des diesels de sauvegarde sont situées en partie haute et sont protégées vis-à-vis du risque d'obstruction par la neige,
- les bâtiments nucléaires sont dimensionnés pour prendre en compte les vents extrêmes ; cela permet de garantir un bon comportement des bâtiments vis-à-vis de l'étanchéité et des surcharges,
- les structures mobiles telles que les grues et les échafaudages utilisés lors de la phase de construction, sont localisées suffisamment loin des cibles potentielles,
- la cheminée est dimensionnée aux conditions maximales de vent retenues pour le site.

Foudre

Les dispositifs anti-foudre sont réalisés et entretenus en conformité avec les normes citées ci-dessus.

Les dispositions de prévention retenues sont les suivantes :

- étude préalable des moyens de protection contre les effets directs et indirects,
- aménagement de paratonnerres et de parafoudres sur l'installation,
- aménagement d'un réseau de mise à la terre pour l'ensemble des équipements métalliques et électriques et notamment pour les équipements assurant une fonction de sûreté.

Grands froids et fortes chaleurs

Afin de se prémunir des grands froids et fortes chaleurs, les dispositions de prévention suivantes sont adoptées :

- le génie civil des bâtiments nucléaires est dimensionné aux différents couples température/durée, à savoir :
 - pour les grands froids :
 - ⇒ - 15°C pendant une journée,
 - ⇒ - 25°C (en condition de froid extrême),
 - pour les fortes chaleurs :
 - ⇒ dimensionnement des bâtiments nucléaires pour une température de 40°C pendant un mois en sachant que le pic de température à 45°C est limité par l'inertie thermique des structures,
- des dispositions sont prises pour que les échangeurs eau/air du système primaire de refroidissement de la chambre à vide situés sur les bâtiments Tritium et Diagnostic ainsi que les diesels de sauvegarde soient opérationnels en cas de grand froid et de grande chaleur,



Figure 4 : piézomètre sur le site d'ITER sous la neige en 2009.

- les canalisations de fluides (effluents, ...) sont suffisamment dimensionnées ou protégées vis-à-vis du grand froid,
- les transferts de fluides sont arrêtés pendant la période de grand froid,
- les systèmes de ventilation et de chauffage desservant les locaux abritant des équipements assurant une fonction de sûreté (contrôle commande et de la distribution électrique de sauvegarde) sont repris en secours. En cas de grand froid, le fonctionnement de ces systèmes permet de garantir que la température dans ces locaux reste toujours supérieure à 10°C. En cas de fortes chaleurs, des

batteries froides permettent de garantir des conditions d'ambiance nominales dans les locaux classés, avec une température extérieure de 35°C,

- les systèmes de détritiation sont repris en secours. Ils sont conçus pour être opérationnels dans des conditions d'ambiance nominales.

3.2.4 Chute d'avions

Dispositions prises concernant la chute d'avions

La prise en compte de ce risque est fondée sur les recommandations de la Règle Fondamentale de Sûreté relative au risque de chute d'avion (RFS I.1.a).

En ce qui concerne l'analyse probabiliste, la RFS indique que la source d'agression provenant d'une des trois familles (tableau ci-dessous), doit être prise en compte dans le dimensionnement de l'installation, si la probabilité d'occurrence de l'évènement est supérieure à une valeur de l'ordre de 10^{-7} /an.

Moyens de prévention et de limitation des conséquences

Les fréquences annuelles d'occurrence de chute d'avion sur le site d'ITER sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Probabilité d'occurrence (par an)	Bâtiment Tokamak	Bâtiment Tritium	Bâtiment des cellules de maintenance	Bâtiment de traitement des déchets
Aviation générale	$1.21.10^{-6}$	$6.79.10^{-7}$	$8.53.10^{-7}$	$2.27.10^{-7}$
Aviation militaire	$5.06.10^{-8}$	$3.75.10^{-8}$	$3.9.10^{-8}$	$1.35.10^{-8}$
Aviation commerciale	$4.18.10^{-9}$	$3.33.10^{-9}$	$3.29.10^{-9}$	$1.19.10^{-9}$
Avions de la Sécurité Civile	$8.75.10^{-8}$	$7.86.10^{-8}$	$6.95.10^{-8}$	$1.88.10^{-8}$

Tableau 1 : fréquences annuelles d'occurrence de chute d'avion sur le site d'ITER

La configuration retenue pour les bâtiments, conduit à prendre en compte pour le dimensionnement, les avions de l'aviation générale (type CESSNA ou LEAR JET).

L'épaisseur minimale des murs nécessaire pour supporter la chute d'un avion de l'aviation générale (LEAR JET ou CESSNA) est de 0,7 m.

Pour des raisons de résistance au séisme, la toiture du hall de manutention du bâtiment Tokamak n'est pas dimensionnée aux chutes d'avion. Néanmoins, les conséquences potentielles dans ce hall sont atténuées par le fait qu'aucun élément important pour la sûreté n'est situé dans ce hall de manutention. D'autre part, la dalle située au dessus du cryostat supporterait un effondrement du hall.

Concernant les bâtiments Tritium, Cellules de maintenance et bâtiment Déchets, la toiture et les murs du bâtiment sont suffisamment épais pour supporter la chute d'un avion, sans engendrer de perforations ou de fissures majeures.

Les principales dispositions de limitation des conséquences sont les suivantes :

- vis-à-vis des alimentations circulant sur la plate-forme ITER, notamment les alimentations électriques, celles-ci sont implantées de façon à limiter le risque de perte en cas de chute d'avion (séparation géographique des voies d'alimentation, installation dans des tunnels, ...),
- les équipements extérieurs assurant une fonction de sûreté (diesels de sauvegarde et échangeurs eau/air) sont redondants et séparés géographiquement afin que la chute d'un avion ne conduise pas à la perte simultanée des voies redondantes d'un même système de sauvegarde et de ses systèmes supports.

3.2.5 Séisme

Dispositions prises concernant le risque de séisme

Les objectifs visés, en termes de sûreté, pour les différentes parties de l'installation, portent sur le dimensionnement des équipements et du génie civil, afin de garantir en cas de séisme, que le comportement de ces derniers satisfera les exigences de sûreté fixées.

Moyens de prévention et de limitation des conséquences

Les dispositions de prévention prises vis-à-vis du risque séisme au niveau des bâtiments Tokamak, Tritium, Cellules de Maintenance et Déchets sont les suivantes :

- les matières radioactives sont confinées (étanchéité des systèmes de confinement, maintien des systèmes de filtration et détritiation),
- les réseaux d'alimentation électrique de sauvegarde restent résistants au séisme maximal et restent disponibles (contrôle-commande, vannes d'isolement, ...),
- l'intégrité des protections biologiques de sorte que l'exposition externe est maintenue aussi basse que possible,
- au niveau du génie civil :
 - la mise en place de dispositifs parasismiques,
 - la non-atteinte des systèmes de confinement et le maintien de la protection radiologique,
 - les locaux contenant des matières radioactives restent intègres,



Figure 5 : sismographe.

- les bâtiments ainsi que les structures des ponts de manutention restent intègres après un séisme afin de ne pas aggraver les systèmes situés à l'intérieur du bâtiment,

plus particulièrement :

- concernant le bâtiment Tokamak :
 - la conservation du système de confinement de la chambre à vide, de son système de refroidissement,
 - le maintien des systèmes de détritiation
- concernant le bâtiment Tritium :
 - la conservation de l'étanchéité des systèmes de confinements,
 - la mise en sécurité des systèmes de l'usine tritium,
 - le maintien des systèmes de détritiation des locaux,



Figure 6 : emballages tritium

- concernant le bâtiment Cellules de maintenance
 - la conservation de l'étanchéité des systèmes de confinement notamment au niveau des hottes de transfert pour les composants internes à la chambre à vide,
 - le maintien des systèmes de détritiation des locaux,
- concernant le bâtiment Déchets : la conservation de l'étanchéité des systèmes de confinement et notamment la géométrie des entreposages de déchets et d'effluents.

Éléments retenus pour définir les dispositifs parasismiques de l'installation

Le complexe Tokamak d'ITER (Bâtiments Diagnostic, Tokamak et Tritium) est doté d'un système d'isolation sismique qui permet de supporter la structure et de réduire les effets du séisme (réduction des effets de l'accélération horizontale).

Le système d'isolation sismique est constitué d'appuis parasismiques en élastomère et de plots en béton renforcé.

Les appuis en élastomère (environ 600 au total) sont situés entre le radier du complexe Tokamak et les plots en béton (figure 7). Ils se composent de couches alternées d'élastomère et de frettes métalliques. La hauteur totale de chaque appui en élastomère est d'environ 0,2 m.

Les plots en béton sont répartis sur la totalité du sous-radier d'isolation sismique. Leur hauteur est d'environ 1,80 m. Ils sont répartis de manière à compenser au mieux la charge à supporter. Une distance minimale est laissée entre chaque plot pour permettre des inspections régulières et le remplacement éventuel des appuis parasismiques.

Les critères utilisés pour définir ces dispositifs parasismiques répondent aux normes françaises et européennes. Le dimensionnement des appuis prend en compte les

caractéristiques mécaniques de l'élastomère et détermine la disposition et la répartition des appuis (le nombre d'appuis parasismiques est déterminé en fonction de la charge à supporter). Des tests sur les performances des appuis (capacité de compression, raideur, propriétés d'amortissement...) seront à effectuer sur les produits finis et les matériaux qui les composent afin de vérifier leurs performances.



Figure 7 : l'ensemble des bâtiments comprenant le tokamak, l'installation tritium et le bâtiment des diagnostics repose sur des supports parasismiques qui isolent la dalle portante par rapport au terrain. En cas de séisme, les supports amortissent la transmission des vibrations aux bâtiments nucléaires. (Photographie © CEA plots parasismiques du réacteur Jules Horowitz)

Moyens de détection

L'installation ITER est équipée d'une détection sismique délivrant une alarme à la salle de commande située dans le bâtiment Contrôle. En cas de séisme, l'exploitant est alerté par cette alarme et peut arrêter l'installation.

D'autre part, une douzaine de stations sismologiques aux alentours du site enregistrent les caractéristiques de toutes les secousses qui surviennent et qui ne sont pas, pour la plupart, ressenties par la population.

3.2.6 Risques associés aux industries environnantes et aux voies de communication

Dispositions prises concernant les risques liés aux industries environnantes et aux voies de communication

Les dispositions appliquées concernant ce risque consistent à concevoir l'installation de manière à ce qu'elle ne puisse pas être affectée par un événement se produisant sur les installations industrielles environnantes.

Moyens de prévention et de limitation des conséquences

Les principales dispositions de prévention retenues vis-à-vis des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication sont les suivantes :

- les bâtiments contenant des équipements assurant une fonction de sûreté sont dimensionnés pour résister à une onde de surpression de 50 mbar,
- lors d'un accident au niveau de l'INBS PN (Réacteur RES), l'installation procèdera à une évacuation ou au confinement du personnel ainsi qu'à la distribution de pastilles d'iode au personnel,
- l'intégrité des réseaux de ventilation des bâtiments nucléaires vis-à-vis de l'onde de surpression, l'aménagement des prises d'air de ces réseaux (orientation) et la présence de clapets anti- soufflé (si nécessaire) prend en compte le risque d'explosion externe.

Moyens de détection

La surveillance de ce risque sera assurée in situ par les moyens mis en place sur les installations environnantes.

Moyens de limitation des conséquences

Les principales dispositions de limitation des conséquences concernent la mise à l'état sûr de l'installation ITER sont les suivantes :

- la fermeture de tous les bâtiments non nucléaires pour limiter l'entrée de produits de fission dans ces bâtiments,
- l'arrêt de toutes expérimentations, si nécessaire,
- l'exploitation du système de ventilation pour prévenir autant que possible l'entrée de produits de fission,
- le maintien d'une petite équipe de surveillance sur site.

D'autre part, l'installation met en place les dispositions suivantes :

- les stockages de bonbonnes de gaz dangereux à haute pression (hydrogène) sont situés à l'extérieur des locaux, à l'abri des sources de combustible et équipés de dispositifs de sécurité permettant de couper l'alimentation,
- les cuves de stockage de gasoil sont enterrées à proximité des bâtiments des diesels de sauvegarde et font l'objet d'un remplissage régulier permettant une ventilation.

4 MOYENS D'INTERVENTION

Afin de limiter les conséquences en cas d'accident, des moyens d'actions et d'intervention sont mis en place tels que :

- le personnel en charge de la protection contre les rayonnements,
- le service local de sécurité qui intervient très rapidement en cas d'alarme,
- des moyens mis en œuvre dans le cadre du déclenchement du Plan d'Urgence Interne (PUI) par le Directeur d'ITER ou du Plan Particulier d'Intervention (PPI) par le Préfet

4.1 LES EQUIPES DE RADIOPROTECTION

Les équipes de radioprotection des installations ont pour missions :

- le suivi de la réglementation officielle,
- le contrôle des sources et des générateurs de rayonnement ionisant,
- le contrôle des filtres l'installation de pièges à iode équipant les émissaires atmosphériques des installations,
- le contrôle et l'étalonnage des appareils de radioprotection utilisés dans l'installation,
- la logistique de suivi de la dosimétrie du personnel et de suivi des Appareils de Protection des Voies Respiratoires (APVR),
- la préparation à l'intervention en situation incidentelle ou accidentelle



Figure 8 : intervention d'un agent de radioprotection.

4.2 LES SERVICE DE RADIOPROTECTION

Le Service de Radioprotection a pour mission:

- d'assister le Chef d'Installation pour les questions relatives à la radioprotection des personnes et des biens,
- d'assurer sur le site d'ITER, l'exécution des missions de protection contre les rayonnements ionisants,

- de former et d'informer le personnel des principes de prévention, des règles générales et des consignes particulières de protection contre les rayonnements ionisants,
- de rendre compte au Chef d'Installation des anomalies détectées.

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

Les missions du chef du Service de Radioprotection en cas d'enclenchement du PUI sont :

- se rendre au PC de Direction de crise,
- informer le Directeur du site au fur et à mesure de la disponibilité des moyens mis en œuvre par le Service de Radioprotection,
- fournir au Directeur toutes les informations disponibles lui permettant d'appréhender la situation radiologique et de répondre aux autorités de sûreté,
- assurer la transmission et l'exécution de toute autre action demandée au Service de Radioprotection par la Direction.

4.3 LE SERVICE LOCAL DE SECURITE

Le Service Local de Sécurité est chargée de la surveillance du site et de l'intervention (par exemple intervention incendie).

Le Service Local de Sécurité est organisé en service continu, afin d'assurer l'exploitation du Poste Central de Sécurité (PC sécurité) placé sous la responsabilité du Chef du Service Local de Sécurité. Le PC sécurité a pour rôle :

- d'enregistrer les appels au secours,
- d'assurer la veille des signaux de Téléalarme,
- de diffuser par ligne téléphonique directe les messages aux services dont l'intervention est nécessaire,
- d'assurer l'acheminement des messages vers et de la Direction du site,
- d'orienter la première intervention et d'en fixer les moyens,
- de servir de plate-forme de transfert des communications vers les services de secours extérieurs.

4.4 PLAN D'URGENCE INTERNE

En cas de besoin, le Directeur d'ITER peut être amené à déclencher le Plan d'Urgence Interne (PUI).

Si le Plan d'Urgence Interne était déclenché, plusieurs actions seraient mises en œuvre, dictées par des “ fiches réflexes ”, en particulier le Service Local de Sécurité doit engager les actions suivantes :

- alerter les services support concernés,
- interdire, en fonction de la situation, les entrées et sorties de l'INB ITER,
- actionner les sirènes PUI et de diffuser les messages d'alerte, sur ordre du Directeur,
- contrôler l'accès à la zone sinistrée.

Les mesures prises dans le cadre du PUI sont diffusées par différents moyens de communication (réseau des haut-parleurs,...).

4.5 MOYENS EXTERIEURS

En France, le Plan Particulier d'Intervention fait partie de la gamme des dispositifs d'urgence prévus par la réglementation (loi 2004-811 du 13 août 2004 et décret 2005-1158 du 13 septembre 2005).

Placé sous la responsabilité du préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et du département des Bouches-du-Rhône, celui de ITER visera à :

- faire face aux conséquences d'un événement pouvant survenir dans une installation qui dépasseraient les limites du périmètre d'ITER,
- faciliter l'action des secours,
- informer la population.

Le PPI est un document public, consultable dans les mairies des sept communes comprises dans son périmètre: Saint-Paul-Lez-Durance et Jouques dans les Bouches-du-Rhône, Corbières dans les Alpes-de-Haute-Provence, Beaumont-de-Pertuis dans le Vaucluse, Rians, Vinon-sur-Verdon et Ginasservis dans le Var.

4.6 RESSOURCES EN EAU D'ITER

Le site dispose de ses propres moyens de lutte contre l'incendie, avec en particulier :

- un réseau d'eau privé alimentant des bouches ou des poteaux d'incendie implantés au plus près des bâtiments,

- des extincteurs en nombre et en qualité adaptés aux risques, judicieusement répartis sur le site et notamment à proximité des dépôts de matières combustibles et des postes de chargement et de déchargement des produits et des déchets.

Pièce 8 Etude de maîtrise des risques

Partie 1 Identification des risques

Partie 2 Analyse du retour d'expérience

Partie 3 Principes généraux de sûreté

Partie 4 Conséquences résiduelles des accidents

Partie 5 Maîtrise des risques

Partie 6 Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques



Vue d'artiste du site ITER. Source : ENGAGE

La présente pièce correspond au **résumé non technique de maîtrise des risques** qui se trouve disposée en début de classeur.