

IDM UID AC7PG4
VERSION CREATED ON / VERSION / STATUS 07 Sep 2012 / 1.0/ Approved
EXTERNAL REFERENCE

Delivery Note

EVALUATION COMPLEMENTAIRE DE LA SURETE D'ITER

L'évaluation complémentaire de la sûreté, objet du présent rapport, consiste à réévaluer ces marges à la lumière des événements qui ont eu lieu à Fukushima Daiichi, à savoir des phénomènes naturels extrêmes mettant à l'épreuve la sûreté des installations. Il s'agit d'apprécier le comportement des installations dans ces situations, pour éprouver leur robustesse et la pertinence des mesures actuellement prévues en cas d'accident. Ceci pour éventuellement identifier des dispositions complémentaires ...

<i>Approval Process</i>			
	<i>Name</i>	<i>Action</i>	<i>Affiliation</i>
<i>Signatory</i>	Rosanvallon S.	07-Sep-2012:signed	IO/DG/SQS/SDI
<i>Co-signatories</i>	Bou M.	07-Sep-2012:signed	IO/DG/SQS/SDI
	Ciattaglia S.	07-Sep-2012:signed	IO/DG/SQS/SDI
	Cortes P.	07-Sep-2012:signed	IO/DG/SQS/NSE/SAA
	Seropian C.	07-Sep-2012:signed	IO/DG/SQS/NSE/SAA
<i>Reviewers</i>	Elbez-Uzan J.	07-Sep-2012:recommended	IO/DG/SQS/SDI
<i>Approver</i>	Alejaldre C.	07-Sep-2012:approved	IO/DG/SQS
<i>Document Security: level 1 (IO unclassified)</i>			
<i>RO: Elbez-Uzan Joelle</i>			
<i>Read Access</i>	RO, project administrator, LG: Licensing process examination		

ETUDE COMPLEMENTAIRE DE SURETE DE L'INB ITER

SOMMAIRE

0	OBJET	6
1	GLOSSAIRE ET ABBRÉVIATIONS	6
2	CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION	13
	2.1 IMPLANTATION SUR LE CENTRE DE CADARACHE	13
	2.2 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION ITER.....	14
	2.2.1 Activités réalisées	14
	2.2.2 Situation administrative.....	15
	2.2.3 Description des bâtiments	16
	2.2.4 Systèmes de détritiation des locaux	18
	2.2.5 Alimentation électrique	19
	2.2.6 Moyens de manutention	20
	2.2.7 Inventaire des matières radioactives.....	21
	2.2.8 Inventaire des produits chimiques	24
	2.2.9 Risques nucléaires.....	25
	2.2.10 Risques spécifiques	28
3	ROBUSTESSE DE L'INSTALLATION : IDENTIFICATION DES RISQUES D'EFFETS FALAISE	30
	3.1 DEFINITION DES EFFETS FALAISE	30
	3.2 RISQUES D'EFFETS FALAISE.....	34
	3.2.1 Risques d'effets-falaise associés à une perte du confinement de matières radioactives.....	34
	3.2.2 Explosions	43
	3.2.3 Risques d'effets-falaise associés à une augmentation significative du niveau d'exposition	49
	3.2.4 Risques d'effets-falaise associés à une possible atteinte de la nappe phréatique	50
	3.2.5 Risques d'effets-falaise associés à des effets liés au site	52
	3.2.6 Scénario de cumuls de situations accidentelles sans effet falaise	54
	3.2.7 Conclusion.....	58
	3.3 DEFINITION DES STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS ESSENTIELS	58
4	SEISME.....	61
	4.1 DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION	61
	4.1.1 Méthodologie pour évaluer le séisme de dimensionnement	61
	4.1.2 Caractérisation de l'aléa sismique à Cadarache et évolution	62
	4.1.3 Marges relatives à des installations construites sur du calcaire à Cadarache	66
	4.2 DISPOSITIONS DE PROTECTION DE DIMENSIONNEMENT	70
	4.2.1 Identification des structures, systèmes et composants (SSC) clés.....	70
	4.2.2 Principales dispositions de construction associées.....	70
	4.2.3 Principales dispositions d'exploitation	73
	4.2.4 Prise en compte des effets indirects du séisme.....	73
	4.2.5 Dispositions de sûreté vis-à-vis du séisme.....	75

4.3	CONFORMITE DE L'INSTALLATION.....	77
4.4	EVALUATION DES MARGES.....	78
4.4.1	Marges sur le génie civil.....	78
4.4.2	Marges sur les équipements.....	115
5	INONDATION EXTERNE.....	120
5.1	DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION	121
5.1.1	Remontée de la nappe phréatique	121
5.1.2	Eaux pluviales	122
5.1.3	Dégradation d'ouvrages hydrauliques en amont de Cadarache.....	126
5.1.4	Crués de la Durance	126
5.1.5	Rupture du bassin d'orage.....	126
5.1.6	Rupture du bassin de rétention sud	126
5.1.7	Rupture du système d'évacuation de la chaleur (bassins des tours de refroidissement) ...	127
5.1.8	Rupture de canalisations d'adduction d'eau (réseau SCP)	127
5.1.9	Rupture des circuits d'eau de refroidissement.....	127
5.2	DISPOSITION DE PROTECTION DU DIMENSIONNEMENT.....	127
5.2.1	Principales dispositions de conception	127
5.2.2	Dispositions de surveillance et de limitation des conséquences.....	129
5.3	CONFORMITÉ DE L'INSTALLATION.....	130
5.4	EVALUATION DES MARGES.....	130
5.4.1	Niveau d'inondation conduisant à l'enclenchement d'actions relevant de situations accidentelles.....	130
5.4.2	Points faibles et effets falaise	132
5.5	CONCLUSION : DISPOSITIONS COMPLÉMENTAIRES ENVISAGÉES	132
6	AUTRES PHENOMENES NATURELS EXTRÊMES	133
6.1	CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES LIÉES À L'INONDATION	133
6.1.1	Événements et combinaison d'événements pris en compte.....	133
6.1.2	Neige et vent.....	133
6.1.3	Grêle	134
6.1.4	Températures extrêmes	134
6.1.5	Risque foudre.....	134
6.2	SEISME ET INONDATION.....	135
6.2.1	Risque de rupture de barrages en amont de Cadarache	135
6.2.2	Risques d'inondation induits par une rupture du canal de Provence suite à un séisme	136
6.2.3	Risques d'inondation induits par l'occurrence d'une pluie centennale majorée, d'une défaillance du système d'évacuation des eaux pluviales et d'un séisme entraînant la rupture des canalisations situées sur le site ITER.....	139
7	PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES ET DES SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT	146
7.1	ARCHITECTURE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES DE L'INSTALLATION.....	146

7.2	PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES EXTERNES	147
7.3	PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES	148
7.3.1	Perte des alimentations électriques externes et des alimentations de secours conventionnelles	148
7.3.2	Perte des alimentations électriques externes et de toutes les alimentations de secours ..	149
7.4	PERTE DU SYSTEME DE RÉFROIDISSEMENT.....	149
7.4.1	Perte du système de refroidissement principal, cumulée avec la perte de la source froide de secours	150
7.5	PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES ET DE LA FONCTION DE REFROIDISSEMENT CUMULÉE A UNE FUITE DE TOUS LES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT	152
8	GESTION DE CRISE	154
8.1	ORGANISATION DE LA CRISE	154
8.2	MOYENS DE GESTION DE LA SITUATION DE CRISE	157
8.2.1	Moyens humains mis en œuvre pour gérer une situation de crise	157
8.2.2	Modalités de déclenchement et de diffusion de l'Alerte	158
8.2.3	Exercices et formations.....	159
8.2.4	Contrôles techniques de sécurité	161
8.3	ROBUSTESSE DES MOYENS D'INTERVENTION ET D'ACCES.....	161
8.3.1	Moyens généraux d'intervention	161
8.3.2	Moyens spécifiques aux différentes situations.....	163
8.3.3	Gestion de crise au niveau du site en cas de séisme	165
8.3.4	Risques liés aux installations industrielles avoisinantes	166
8.3.5	Risques liés aux installations du CEA de Cadarache.....	167
8.3.6	Mesure de gestion d'une explosion hydrogène et poussières dans la chambre à vide cumulée à une perte de la détritiation (DS).	167
8.3.7	Incendie généralisé de la passerelle haute tension du système d'injection de neutre (NBI HV Deck) vers la cellule des injecteurs de neutre (NB Cell)	169
8.3.8	Rupture totale des lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak.....	170
8.3.9	Dégradation du premier système de confinement du système d'entreposage et de distribution (SDS) couplée à un incendie.....	171
8.3.10	Explosion au sein du système de séparation isotopique (ISS)	171
8.3.11	Explosion dans le bâtiment des cellules chaudes couplée à une perte de la détritiation (DS).....	172
8.3.12	Explosion liée au risque de radiolyse dans la cuve de stockage des résines usées du bâtiment de traitement des déchets radioactifs couplée à une perte de ventilation.....	173
8.3.13	Accident entraînant le transfert de produits d'activation vers le réservoir de vidange de la chambre à vide (suite à un accident de catégorie IV).....	174
8.3.14	Rupture de cuve de stockage des résines usées.....	174
8.3.15	Etude d'une inondation externe liée à une pluie centennale cumulée à un séisme provoquant la rupture des capacités de liquide	175
8.3.16	Etude d'incendies multiples dans le bâtiment tritium.....	175
8.3.17	Etude du cumul de scénarios accidentels divers dans le bâtiment tokamak.....	176
9	CONDITIONS DE RECOURS AUX ENTREPRISES PRESTATAIRES.....	176

10	SYNTHESE	178
10.1	BILAN DE L'ÉVALUATION COMPLÉMENTAIRE DE LA SÛRETÉ	178
10.2	BILAN DES DISPOSITIONS COMPLÉMENTAIRES QUI POURRAIENT ÊTRE MISES EN PLACE AU REGARD DE L'AMÉLIORATION QU'ELLES SERAIENT SUSCEPTIBLES D'APPORTER EN TERMES DE RÉSISTANCE DES COMPOSANTS, DE RENFORCEMENT DE L'INDEPENDANCE ENTRE LES DIFFÉRENTS NIVEAUX DE DÉFENSE DE L'INSTALLATION OU DE GESTION DE L'ACCIDENT.....	183
11	RÉFÉRENCES	184

0 OBJET

La décision ASN n° 2011-DC-0215 du 5 mai 2011 prescrit à ITER ORGANIZATION de procéder à une évaluation complémentaire de la sûreté de l'installation nucléaire au regard de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. L'objet de ce document est de présenter le rapport d'études détaillées

D'une manière générale, les installations nucléaires sont construites en prenant des marges importantes sur la solidité des bâtiments et des équipements par rapport à la meilleure évaluation des risques encourus ; par ailleurs, ces installations sont équipées de systèmes de sauvegarde redondants. L'ensemble de ces mesures permet de faire face à des phénomènes extérieurs inhabituels ou à des défaillances matérielles ou humaines.

L'évaluation complémentaire de la sûreté, objet du présent rapport, consiste à réévaluer ces marges à la lumière des événements qui ont eu lieu à Fukushima Daiichi, à savoir des phénomènes naturels extrêmes mettant à l'épreuve la sûreté des installations. Il s'agit d'apprécier le comportement des installations dans ces situations, pour éprouver leur robustesse et la pertinence des mesures actuellement prévues en cas d'accident. Ceci pour éventuellement identifier des dispositions complémentaires, aussi bien techniques qu'organisationnelles, qui pourraient être mises en place.

De manière plus détaillée, les situations examinées résultent des événements ou aléas extrêmes suivants :

- séisme au-delà du séisme « majoré », inondation au-delà de la crue majorée, autres phénomènes naturels extrêmes (dont l'inondation qui serait causée par le séisme « majoré »),
- pertes postulées des alimentations électriques internes et externes,
- la gestion des accidents dans ces situations extrêmes.

Il s'agit alors d'identifier les éventuelles situations pouvant induire une brusque dégradation des séquences accidentelles (« effet falaise ») et d'évaluer les marges par rapport à cet éventuel effet falaise.

Ceci permet ensuite de proposer des dispositions complémentaires permettant de prévenir de telles situations extrêmes et de renforcer ainsi la robustesse de l'installation (amélioration de la résistance de certains équipements, renforcement de l'autonomie de certaines alimentations électriques, etc.).

1 GLOSSAIRE ET ABBRÉVIATIONS

AEROSOLS

Ensemble de particules solides et de vésicules liquides de toutes dimensions en suspension dans un fluide gazeux.

ALLUVIONS

Dépôts argileux ou sablonneux laissés par les eaux des rivières en se retirant.

AQUIFERE

Terrain dans lequel l'eau circule.

BARRIERE

Enveloppe ou dispositif à étanchéité ou résistance spécifiée conçu pour s'opposer, dans des situations de fonctionnement données, au relâchement vers l'extérieur de substances radioactives.

BOBINES SUPRACONDUCTRICES

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

BOITE A GANTS

Enceinte de confinement, généralement de petites dimensions, dans laquelle du matériel ou des produits peuvent être manipulés tout en restant isolé de l'opérateur ; la manipulation se faisant au moyen de gants fixés de façon étanche à des ouvertures (ronds de gants) ménagées dans l'enceinte.

CHAMBRE A VIDE

Paroi métallique étanche (en forme d'anneau) au sein de laquelle se forme le plasma.

CHAMP POLOÏDAL

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

CHAMP TOROÏDAL

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

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT INCIDENTEL OU ACCIDENTEL

Ecart de fonctionnement par rapport aux conditions de fonctionnement normal. Elles peuvent être classées selon leur fréquence estimée et l'importance de leurs conséquences.

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT NORMAL

Ensemble des différentes phases de fonctionnement d'une installation dont les limites sont jugées acceptables pour l'exploitation du procédé : phase de démarrage, exploitation normale, arrêt, entretien, essais, ...

CONFINEMENT

Dispositions permettant d'assurer le maintien soit à l'intérieur, soit à l'extérieur d'une enceinte, des substances potentiellement dangereuses soit pour l'environnement, soit pour les produits manipulés.

CONFINEMENT DYNAMIQUE

Confinement obtenu par le maintien continu d'une circulation préférentielle de l'air entre deux zones ou entre l'intérieur et l'extérieur d'une enceinte.

CONFINEMENT STATIQUE

Confinement obtenu par la mise en place de barrières physiques.

COUVERTURE

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

CRETACE

Dernière période de l'ère secondaire.

CRYOSTAT

Cylindre métallique entourant l'ensemble de la machine à l'intérieur duquel la température est maintenue à -260 degrés.

DEFENSE EN PROFONDEUR

Concept développé aux USA dans les années 60. Il s'agit d'une méthode de raisonnement en vue de concevoir et analyser l'ensemble d'une installation.

Démarche déterministe qui postule la prise en compte systématique de défaillances techniques humaines ou organisationnelles ou d'un certain nombre d'incidents ou accidents et à s'en prémunir par la mise en place de lignes de défense successives.

DEMANTELEMENT

Ensemble des opérations techniques qui conduisent au niveau de déclassement choisi.

DEPRESSION

Différence entre la valeur de la pression d'un espace de référence et celle d'un espace confiné devant être maintenu à une pression inférieure. Nota : elle s'exprime en pascals ; un décapascal (daPa) correspond à peu près à 1 mm de colonne d'eau.

DETRITIATION

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

DEUTERIUM

Isotope naturel de l'hydrogène (hydrogène 2).

DIVERTOR

Dispositif magnétique situé sur le plancher de la machine pour récupérer les impuretés du plasma.

DOSE

Débit de dose : quantité d'énergie cédée à la matière par les rayonnements qui se mesure en Gray/h.

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

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

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

ECHANGEUR DE CHALEUR

Équipement pour le transfert de chaleur d'un fluide en mouvement à un autre, sans contact direct entre les deux fluides. L'échangeur de chaleur peut être prévu pour un transfert continu ou discontinu de chaleur.

ECRAN

Parois de protection interposées entre la source de rayonnements et les travailleurs (murs de béton, parois en plomb et verres spéciaux chargés en plomb).

EQUIPEMENTS IMPORTANTS POUR LA SURETE (EIS)

Composant, système, circuit ou fonction dont la défaillance peut présenter un risque vis-à-vis de la sûreté de l'installation (au sens de l'arrêté du 10/08/84).

EXPLOITATION

Activité globale comprenant les activités de conduite de procédés, de maintenance de composants, d'essais périodiques de systèmes, de modification d'installation.

EXPOSITION

Fait d'être exposé à des rayonnements ionisants.

EXPOSITION INTERNE

Il y a exposition par voie interne lorsqu'il y a incorporation dans l'organisme humain, soit par inhalation, soit par ingestion de substances radioactives, soit éventuellement par blessure avec un objet contaminé.

EXPOSITION EXTERNE

On parle d'exposition par voie externe lorsque le corps humain est soumis aux rayonnements émis par une source radioactive qui lui est externe. C'est l'irradiation externe. Dans ce cas, l'action directe nocive de ces rayonnements prend fin dès que l'individu quitte le champ d'irradiation.

FILTRATION (DISPOSITIF)

Système opérationnel implanté en série ou en parallèle sur un réseau de ventilation. Il est composé d'ensembles filtrants (filtres et caissons) dont le type et le nombre sont fonction du débit et des aérosols à traiter.

FILTRATION THE (TRES HAUTE EFFICACITE)

Capacité de rétention ou de piégeage, caractérisée par un coefficient d'épuration (pour l'élément neuf) supérieur à 5000 (efficacité de 99,98 %) mesurée à l'aérosol d'uranine (norme NFX 44-011). De manière conservatoire, le coefficient d'épuration pour les études de sûreté est pris égal à 1000 (efficacité de 99,9 %) pour un filtre THE et à 10 pour chaque filtre THE supplémentaire.

FUSION

Réaction consistant à réunir deux petits noyaux pour en produire un plus gros.

INB (INSTALLATION NUCLEAIRE DE BASE)

Catégorie administrative regroupant les grandes installations nucléaires. Une installation est classée INB en fonction de la quantité et l'activité des radioéléments qu'elle contient et de l'usage qui en est fait.

INCIDENT

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

IRRADIATION

Exposition partielle ou globale d'un organisme ou d'un matériel à des rayonnements ionisants.

ISOTOPE

Forme d'un élément chimique dont les atomes possèdent un même nombre d'électrons ou de protons, mais un nombre différent de neutrons. Les isotopes d'un même élément ont les mêmes propriétés chimiques mais des propriétés physiques différentes. La teneur isotopique pondérale est le rapport de la masse d'un isotope donné d'un élément à la masse totale de cet élément.

ITER

Le mot « ITER » signifie « le chemin » en latin.

KARST

Ensemble de formes superficielles et souterraines résultant de la dissolution de roches carbonatées (calcaires, dolomies) par l'eau rendue acide par le dioxyde de carbone. Par extension, ensemble de formes comparables se développant dans les roches salines (gypse, anhydrite, halite).

MIOCENE

Division stratigraphique de l'ère tertiaire.

MISE A L'ARRET DEFINITIF D'UNE INSTALLATION NUCLEAIRE (MAD)

Ensemble des opérations destinées à mettre fin à l'exploitation de l'installation et à la conduire à un état matériel et réglementaire telle qu'elle ne puisse être remise en service selon les procédures précédemment agréées.

MODE COMMUN

S'applique en général à une défaillance. Une défaillance est dite de "mode commun" si elle rend simultanément indisponibles des systèmes ou matériels redondants ou assurant la même fonction.

Pour se prémunir à l'égard de ce risque, trois types de dispositions sont prises à la conception : la séparation physique, la séparation géographique et la diversification.

NB CELL

Local contenant les équipements des injecteurs de neutres pour le chauffage du plasma et la génération de courant plasma.

OBJECTIFS GÉNÉRAUX DE SÛRETÉ

Des Objectifs Généraux de Sûreté quantifiés sont définis pour l'ensemble des situations de fonctionnement du dimensionnement (comprenant l'ensemble des configurations d'installation y compris les opérations de maintenance), et des situations hors dimensionnement. Ces objectifs de sûreté sont établis systématiquement pour le personnel, le public et l'environnement.

ONDE ELECTROMAGNETIQUE

Onde formée lors de la propagation d'un champ magnétique et d'un champ électrique liés, produits par une charge électrique accélérée ou en vibration.

PALEOSISMICITE

Etude des séismes passés grâce aux traces qu'ils ont laissées dans les formations géologiques majeurs (quaternaires).

Le piézomètre est un tube installé dans le sol et qui permet d'étudier la nappe phréatique.

PLANS D'INTERVENTION

Pour chaque installation nucléaire, il existe deux plans d'intervention complémentaires qui seront mis en place en cas d'incident ou d'accident :

- le plan d'urgence interne (PUI) établi sous la responsabilité de l'exploitant et destiné aux interventions à l'intérieur du Centre,
- le plan particulier d'intervention (PPI) établi sous la responsabilité du Préfet, il s'applique aux zones environnant le Centre.

PLASMA

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

PLIOCENE

Nom d'un système de roches du tertiaire inférieur (néogène) dans l'échelle des temps géologiques.

PROCEDE

Ensemble des moyens et méthodes qui transforment des éléments entrants en éléments sortants (produits).

A l'inverse du processus, que ce soit dans le domaine administratif, technique, ou industriel, un procédé est une suite d'artefacts entièrement conçus, engendrés, organisés par l'homme ; constitués d'étapes (ce qui lui enlève la notion de continuité), il peut être maîtrisé.

Un procédé peut être décrit par une procédure.

QUATERNAIRE

Période la plus récente dans l'échelle des temps géologiques.

RADIER

Le radier est une plate-forme en béton, en pierres, en briques,... sur lequel on assoit un ouvrage de bâtiment.

REDONDANCE

Certains systèmes nécessaires à la sûreté de l'installation doivent être doublés voire triplés afin de maintenir la permanence de la fonction en cas de défaillance d'une des voies assurant sa réalisation. On distingue la redondance fonctionnelle et la redondance matérielle.

REFERENTIEL DE SURETE

Ensemble des documents regroupant les engagements à tenir par l'exploitant au titre de la sûreté et bénéficiant des autorisations réglementaires délivrées par l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

REGLE FONDAMENTALE DE SURETE

Règles techniques émises par l'Autorité de sûreté.

RESEAU DE VENTILATION

Ensemble de composants d'un circuit tels que conduits, ventilateurs, éléments filtrants et autres équipements qui, correctement agencés, permettent d'assurer les fonctions de ventilation et d'épuration.

ROBOTIQUE

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

SCENARIO D'ACCIDENT

Description d'un accident qui pourrait survenir en vue d'étudier ses conséquences potentielles et les moyens de s'en prémunir.

SECTEUR DE FEU

Volume constitué d'un local ou d'un groupe de locaux, délimité par des parois conçues de manière à ce qu'un incendie survenant à l'intérieur ne puisse se propager à l'extérieur ou qu'un incendie survenant à l'extérieur ne puisse se propager à l'intérieur, pendant une durée permettant son extinction.

SEISME MAJORE DE SECURITE (SMS)

Séisme hypothétique lié au Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable (SMHV) de même épicentre que celui-ci, que l'on majore d'un demi-point de magnitude.

SEISME MAXIMAL HISTORIQUEMENT VRAISEMBLABLE (SMHV)

Séisme hypothétique dont l'intensité macrosismique serait égale à la plus forte historiquement observée dans la région et dont l'épicentre serait situé, compte tenu des caractéristiques locales, à l'emplacement le plus défavorable pour l'installation.

L'intensité macrosismique est évaluée au moyen de l'échelle internationale MSK qui comporte 12 degrés.

SITUATION

Ensemble des états de l'installation constitués par le fonctionnement normal, les incidents et les accidents pris en compte à tous les stades de la conception et de l'exploitation pour protéger en toutes circonstances, l'homme et son environnement contre la dispersion de produits radioactifs.

SITUATION ENVELOPPE

Etat de fonctionnement majorant d'une même famille de situations plausibles.

SOLENOÏDE

Un solénoïde est un dispositif constitué d'un fil électrique enroulé régulièrement en hélice de façon à former une bobine longue.

SPALLATION

La spallation nucléaire est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau atomique est frappé par une particule incidente (neutron, proton, ...) ou une onde électromagnétique de grande énergie.

SYSTEME DE CONFINEMENT

Le système de confinement est constitué par un ensemble cohérent de barrières destinées à confiner des substances radioactives dans le but d'assurer la sécurité du personnel exploitant et du public.

TÉLÉOPÉRATION

Voir robotique

TELLURIQUE

Qui tient à la nature du sol.

TOKAMAK

Un tokamak est une chambre de confinement magnétique destinée à contrôler un plasma pour étudier la possibilité de la production d'énergie par fusion nucléaire.

TRITIUM

Isotope très lourd de l'hydrogène (hydrogène 3).

VAULT

Enceinte des échangeurs.

VENTILATION

Organisation des écoulements de l'air et autres gaz à l'intérieur d'une installation et aux frontières de son environnement.

ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives
CCWS	Système de refroidissement des composants
CHWS	Système d'eau réfrigérée
EDG	Générateur diesel de secours
HRS	Système d'évacuation de la chaleur
HVAC	Système de ventilation et de conditionnement d'air
INB	Installation nucléaire de base
ISS	Système de séparation isotopique
SCP	Société du canal de Provence
SSEN	Réseau de puissance électrique distribuée de manière permanente
PCD	Poste de commandement de direction
PMS	Permanence pour motif de sécurité
PUI	Plan d'urgence interne
PPI	Plans particuliers d'intervention
SDIS	Service départemental d'incendie et de secours
UPS	Alimentation électrique non interruptible

2 CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

2.1 IMPLANTATION SUR LE CENTRE DE CADARACHE

Le site d'ITER est implanté sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance dans le département des Bouches-du-Rhône, à 40 km au nord-est d'Aix-en-Provence et à la limite des départements du Vaucluse, du Var et des Alpes-de-Haute-Provence (cf. Figure 1).

Il est situé au confluent de la Durance et du Verdon, à l'extrémité sud de la vallée de la moyenne Durance.



Figure 1 : Implantation géographique du site d'ITER

Le site sélectionné pour la construction d'ITER est en bordure nord-est de l'actuel Centre du CEA/Cadarache sur un terrain de 180 hectares (cf. Figure 2).

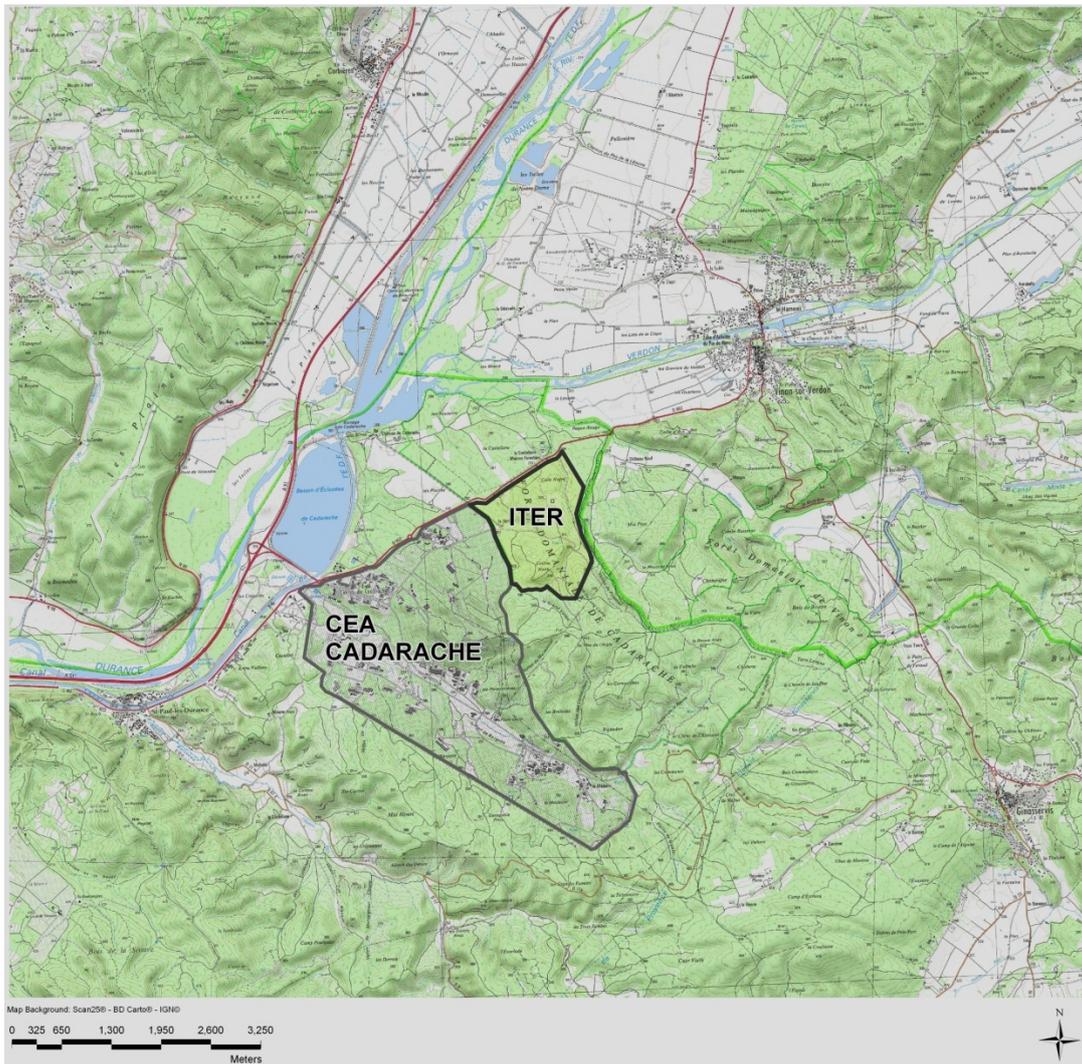


Figure 2 : Positionnement de l'installation ITER par rapport au centre de Cadarache

2.2 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION ITER

2.2.1 Activités réalisées

ITER s'inscrit dans l'histoire des recherches sur la fusion et sera la première installation de recherche réunissant toutes les conditions requises pour obtenir un plasma de fusion : la densité, la température et la durée de confinement.

ITER est une installation nucléaire de base (INB) dédiée à la recherche. L'objectif est de démontrer la faisabilité de la fusion nucléaire au moyen d'une machine de type tokamak. Le principe est présenté sur le schéma en Figure 3. Il consiste à introduire du combustible (deutérium, tritium) sous forme gazeuse dans la chambre à vide d'ITER puis de le chauffer à une température de l'ordre de 100 millions de degrés. Plusieurs modes de chauffage seront mis en œuvre pour atteindre cette température : le chauffage ohmique généré par le courant électrique induit par les bobines du solénoïde central, les systèmes de chauffages additionnels avec l'injection de particules de deutérium à très haute énergie et des ondes hautes

fréquences. Enfin, les réactions de fusion une fois déclenchées produisent de l'hélium à haute température qui participe à son tour au chauffage du plasma.

Le plasma sera confiné à l'intérieur de la chambre à vide grâce aux champs magnétiques générés par des bobines supraconductrices.

Les objectifs principaux de l'installation expérimentale ITER seront d'apporter la démonstration de la maîtrise du plasma et des réactions de fusion en produisant une puissance de l'ordre de 500 MW pendant des durées de plusieurs centaines de secondes.

ITER devra également permettre de tester des concepts et équipements pour les futurs réacteurs de fusion et notamment :

- développer des systèmes et composants nécessaires pour contrôler un plasma et maintenir sa fusion en état stationnaire,
- réaliser des expérimentations de production de tritium à l'intérieur de la chambre,
- exploiter le tokamak dans des conditions d'ignition contrôlées,
- développer la robotique de manière à se passer de l'intervention humaine.

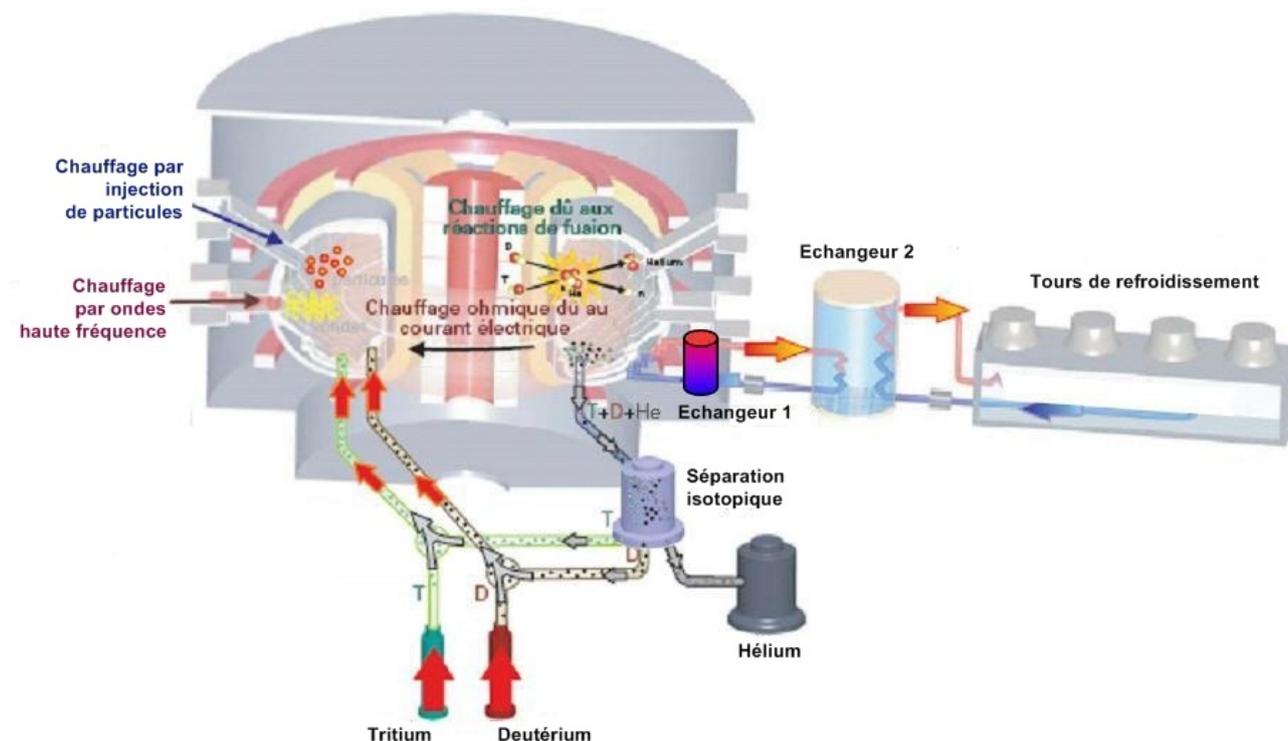


Figure 3 : Schéma de principe d'ITER

ITER est une installation de recherche qui ne produira pas d'électricité. L'efficacité technique et économique de la production d'électricité sera testée ensuite sur un démonstrateur préindustriel (DEMO) au cours des prochaines décennies.

2.2.2 Situation administrative

ITER est une organisation internationale pour le développement de l'énergie de fusion dénommée « ITER Organization », organisation internationale de droit public établie par « l'accord sur l'établissement de l'organisation internationale ITER pour l'énergie de fusion en vue de la mise en œuvre conjointe du projet ITER » signé le 21 novembre 2006 entre le gouvernement de la République Populaire de Chine, la

Communauté Européenne de l'Energie Atomique, le gouvernement de la République d'Inde, le gouvernement du Japon, le gouvernement de la République de Corée, le gouvernement de la Fédération de Russie et le gouvernement des Etats-Unis d'Amérique, entré en vigueur le 24 octobre 2007, et déposé auprès de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA).

Le projet ITER est structuré selon trois niveaux :

- au niveau international : l'organisation internationale ITER (ITER Organization) fait l'objet d'un traité international. En tant que maître d'ouvrage et exploitant nucléaire, l'organisation internationale ITER implantée à Cadarache a la responsabilité de la construction, de l'exploitation et de la mise à l'arrêt définitif de la machine. Elle assure notamment la surveillance des prestations des agences domestiques. Un directeur général, responsable de l'organisation internationale pour ITER, rend compte à un conseil ITER constitué de représentants des partenaires du projet,
- au niveau propre à chaque partenaire (la République Populaire de Chine, la Communauté Européenne de l'Energie Atomique, la République d'Inde, le Japon, la République de Corée, la Fédération de Russie, les États-Unis d'Amérique) : chaque partenaire crée sur son territoire, une «agence domestique» en charge principalement de la construction de sa part de composants d'ITER et de leur mise à disposition auprès de l'organisation internationale ITER. Cette contribution «en nature» permet d'optimiser les ressources financières, dans la mesure où chaque partenaire ne finance que la partie qui lui incombe, tout en profitant des résultats scientifiques de l'ensemble du projet,
- et au niveau de la France en tant que pays d'accueil : pour ce qui concerne la gouvernance au niveau français, différentes missions sont identifiées :
 - une mission étatique, assumée au niveau gouvernemental, de coordination et de suivi des actions des administrations et de représentation de la France au sein des instances internationales impliquées,
 - des missions de mise en œuvre des engagements, pris en tant que pays d'accueil, assumées par des services décentralisés (aménagement du territoire liées à l'implantation d'ITER, mise en œuvre opérationnelle de la participation française au projet, préparation du site, mission scientifique, mission industrielle...).

2.2.3 Description des bâtiments

L'installation ITER formera un ensemble d'une vingtaine de bâtiments regroupés en deux zones principales (cf. Figure 4 et Figure 5) :

- la zone nucléaire qui constitue l'installation nucléaire de base ITER (zone INB) et représente une surface d'environ 250 000 m². Elle est constituée essentiellement :
 - du complexe tokamak (le bâtiment tokamak qui abritera la machine ITER proprement dite, le bâtiment tritium, le hall des diagnostics),
 - du bâtiment des cellules chaudes et du bâtiment de traitement des déchets radioactifs,
 - des bâtiments abritant les auxiliaires nécessaires au fonctionnement du tokamak (équipements pour les alimentations électriques, tours de refroidissement, système cryogénique, ...) et le bâtiment de contrôle-commande,
- une zone de services, externe à l'INB, qui comprend notamment :
 - le bâtiment administratif, des bureaux et le bâtiment médical,

- le bâtiment d'accès à la zone INB,
- la station de traitement des eaux usées, un bassin d'orage et quatre bassins pour le contrôle des effluents des eaux de refroidissement,
- un ensemble comprenant les parkings (personnel et visiteurs), le restaurant et le bâtiment de contrôle d'accès à la zone globale.

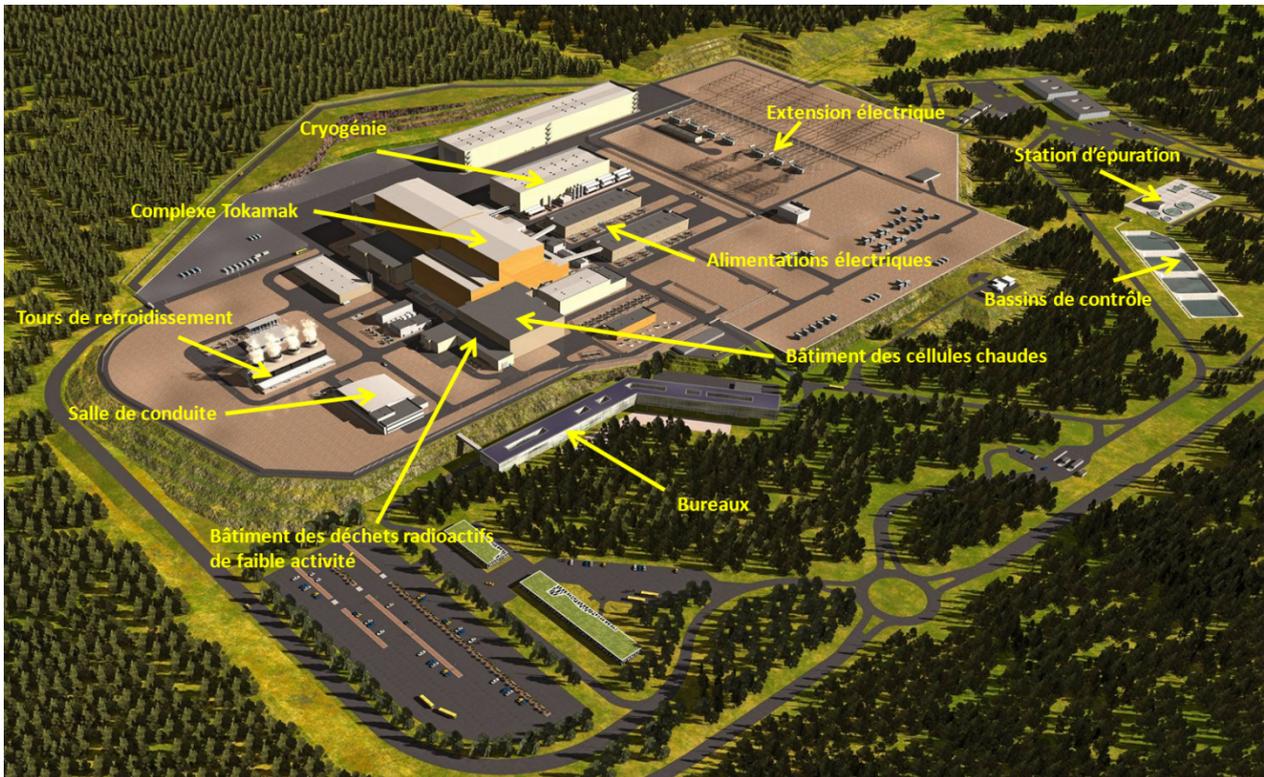


Figure 4 : Présentation des bâtiments composant l'installation ITER

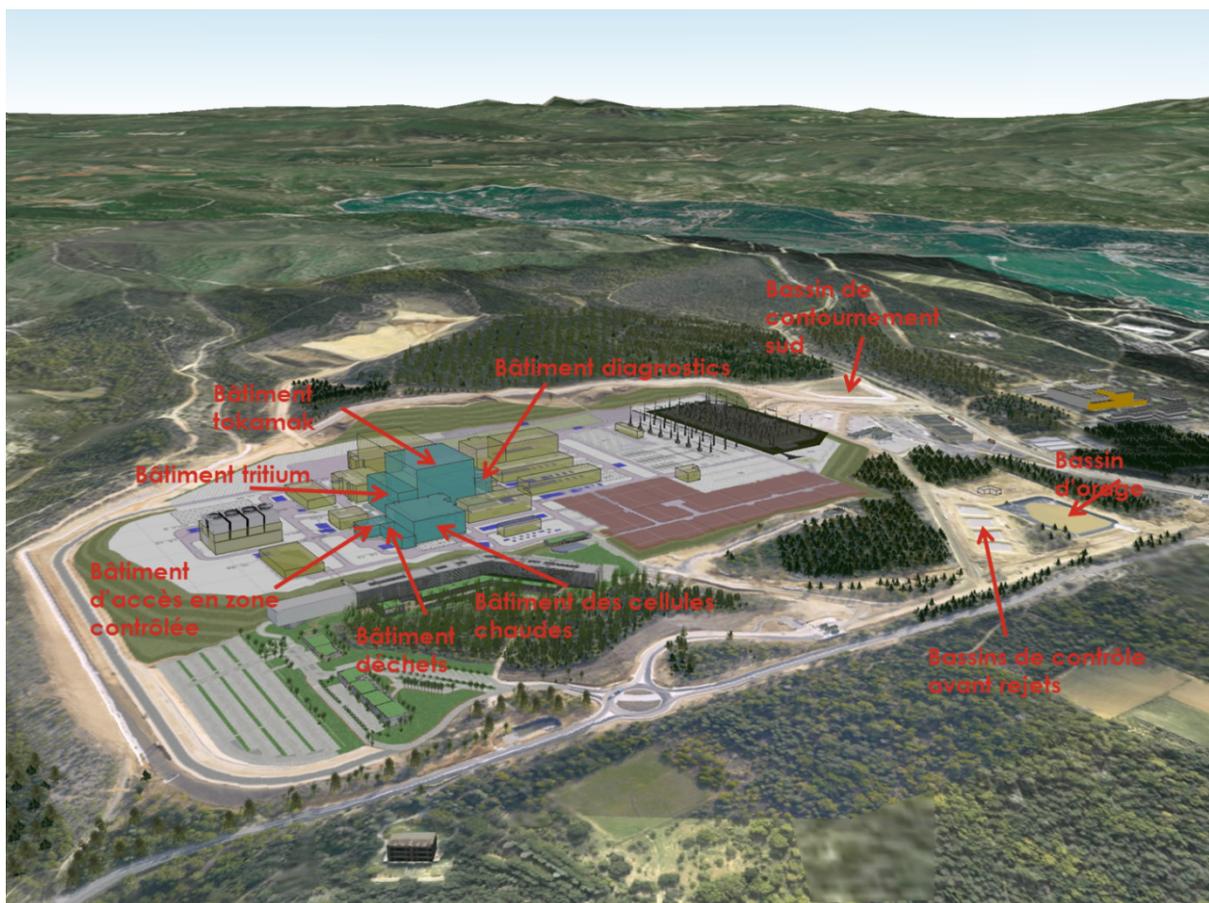


Figure 5 : Présentation des bâtiments et ouvrages composant l'installation ITER

2.2.4 Systemes de détritiation des locaux

Le confinement du tritium est l'une des fonctions de sûreté de l'installation ITER. L'objectif de base du confinement est de prévenir tout rejet de matières radioactives et de contrôler leur dispersion afin de limiter l'exposition des travailleurs, du public et de l'environnement. La fonction permet également de garantir le respect des Objectifs Généraux de Sûreté du projet. Cette fonction « confinement » est assurée par un ensemble de barrières passives de confinement statique et complétées par des systèmes actifs de confinement dynamique ayant pour but de confiner le tritium et toute autre matière radioactive dans les situations normales, incidentelles et/ou accidentelles.

Les systèmes de détritiation participent à la fonction de confinement d'ITER. Les systèmes sont conçus pour collecter le tritium gazeux rejeté à l'intérieur de l'installation en fonctionnement normal, en période de maintenance ou en cas de situations accidentelles/incidentelles. Les systèmes assurent la détritiation et la mise en dépression des salles qu'ils équipent et ce en interface et en complément du système de ventilation HVAC (Heating Ventilation and Conditioning) du bâtiment. Il est important de noter que la détection du tritium est assurée par le système de surveillance radiologique qui enclenche les systèmes de détritiation et conduit à l'isolement du système HVAC. Les fonctions assurées par le système de détritiation de l'air sont les suivantes :

- la détritiation : le système collecte et achemine les gaz et les aérosols radioactifs vers des dispositifs dédiés qui piègent ou éliminent les matières radioactives rejetées dans l'installation. Le système doit être disponible en fonctionnement normal, en période de maintenance ou en situation

accidentelle/incidentelle. Dans la plupart des cas, le système constitue la dernière barrière dynamique contre les rejets de tritium dans l'environnement. Les rejets issus des zones où il existe un risque de contamination par des aérosols radioactifs sont également filtrés selon l'ISO 17873 (filtres à très haute efficacité, 99.9%) avant tout relâchement ; la partie « détritiation par colonne » est également placée à l'aval de filtres à très haute efficacité,

- la dépression : la dépression normale dans les locaux de l'installation est assurée par le système HVAC dans les zones non ventilées en permanence par les systèmes de détritiation (généralement les zones classées C2, voire C3). Toutefois, le système de détritiation peut assurer et maintenir la dépression nécessaire dans ces salles en conditions accidentelles/incidentelles lorsque le système HVAC est isolé. De plus, le système de détritiation peut être mis en fonctionnement lorsque nécessaire, par exemple, lors d'une défaillance du système HVAC, en période de maintenance ou pour assurer une dépression supplémentaire. Le système garantit que toute contamination est transférée depuis les zones à faible niveau de risque de contamination vers les zones à haut niveau de risque ainsi que vers les détecteurs et les exutoires de rejet.

Ce système de détritiation de l'air se décompose en deux sous-systèmes afin d'accomplir ses missions en fonctions des lieux qu'il dessert :

- le système de détritiation des bâtiments tokamak et tritium du complexe tokamak, commun à ces deux bâtiments,
- le système de détritiation du bâtiment des cellules chaudes.

Les technologies retenues sont basées sur un échange isotopique entre la vapeur d'eau tritiée et l'eau sous forme liquide et des convertisseurs catalytiques conventionnels. La technologie utilise des colonnes d'épuration et des réacteurs catalytiques pour convertir l'hydrogène contenant des gaz en vapeur d'eau. Cette technologie est largement utilisée dans le domaine industriel, en particulier pour la purification des gaz dans l'industrie chimique.

Le tritium sera récupéré et ensuite recyclé dans l'installation.

2.2.5 Alimentation électrique

Le système d'alimentation électrique comprend deux sous-systèmes :

- un sous-système de distribution de puissance pulsée, alimenté par une double ligne externe spécifique de 400 kV, qui permet de :
 - fournir la puissance nécessaire à l'ensemble des aimants qui assure le réglage et le contrôle des paramètres du plasma,
 - fournir la puissance nécessaire aux sources d'ondes électromagnétiques des systèmes de chauffage du plasma,
- un réseau de puissance électrique distribuée de manière permanente, qui alimente l'ensemble des auxiliaires de la machine qui fonctionnent ou qui doivent être en mesure de fonctionner même en dehors des phases d'exploitation avec plasma, tels que les systèmes de refroidissement et de cryogénie. Ce réseau permet :
 - l'alimentation de tous les éléments importants pour la sûreté avec deux groupes diesel ou batteries, complètement redondants et séparés,
 - l'alimentation des éléments nécessaires à la protection de l'investissement à partir de groupes diesel ou de batteries,

- et une connexion manuelle possible pour l'alimentation des éléments importants pour la sûreté à partir de l'alimentation des éléments nécessaires à la protection de l'investissement

Les deux réseaux, mentionnés ci-dessus, sont alimentés par une sous-station (poste), dédiée aux installations d'ITER, qui est elle-même alimentée par le Réseau de Transport Électrique (RTE). Ce système d'alimentation électrique est représenté dans la Figure 6.

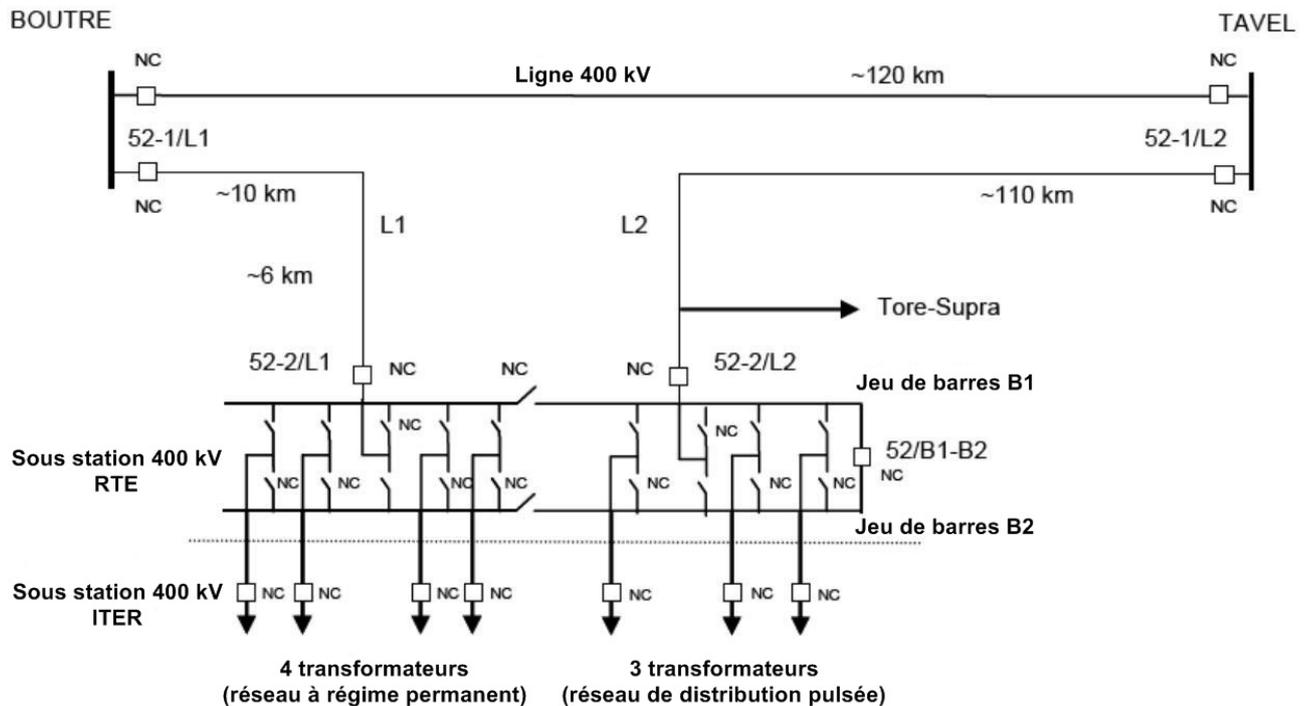


Figure 6 : Système d'alimentation électrique

2.2.6 Moyens de manutention

Les risques liés aux opérations de manutention et de levage sont communs à la plupart des bâtiments de l'installation disposant de moyens de manutention.

Au niveau du bâtiment tokamak, des moyens de manutention (ponts roulants) sont nécessaires lors de la phase d'assemblage, dans le hall de manutention. Ces ponts ne seront utilisés que lors des opérations d'assemblage des composants du tokamak et pas pendant la phase active.

Lors des phases de maintenance, les manutentions sont effectuées à l'aide de moyens de télémanipulation. Il s'agit de la maintenance du tokamak donnant lieu à des extractions ou à l'introduction de composants internes à la chambre à vide et aux transferts (conditionnés dans des hottes de transfert) entre la chambre à vide et les cellules blindées de l'installation des cellules chaudes. Les composants ainsi transférés sont hautement radioactifs et/ou contaminés (cassettes de divertor, modules de couvertures, etc.). Les transferts des hottes entre le bâtiment tokamak et le bâtiment des cellules chaudes nécessitera l'utilisation d'un monte-charge.

Les opérations de maintenance dans le bâtiment tokamak mettront aussi en œuvre des ponts roulants, des monorails ou des portiques.

Au niveau du bâtiment des cellules chaudes, les équipements suivants sont envisagés : portiques de grues, transporteurs montés au sol, transporteurs téléopérés de type perche, à flèche ou élévateurs à flèche.

Dans le bâtiment de l'installation tritium, l'exploitation et les opérations de maintenance mettront en œuvre un ascenseur, des ponts roulants, et des monorails.

2.2.7 Inventaire des matières radioactives

Pendant les phases d'exploitation avec plasma, la réaction de fusion alimentée par le deutérium-tritium émet des rayonnements neutroniques au sein de la chambre à vide :



Ce rayonnement contribue à l'activation des matériaux et fluides environnants, ainsi qu'à la génération de tritium par réaction avec le béryllium de la première paroi. A l'extérieur de la chambre à vide, les rayonnements neutroniques sont négligeables en termes d'activation des matériaux.

Les matières radioactives suivantes sont identifiées :

- le tritium, inhérent aux réactions de fusion deutérium-tritium et également produit par les réactions nucléaires dans le béryllium et dans le lithium contenu dans les matériaux utilisés dans les modules tests de couverture,
- les produits d'activation principalement produits et localisés dans les composants internes de la chambre à vide. Des quantités plus faibles sont également produites et localisées dans les composants à l'extérieur de la chambre à vide ou dans les systèmes de refroidissement des composants internes.

On distingue :

- les poussières activées,
- les matériaux de structure activés,
- les gaz activés,
- les produits d'activation de l'eau,
- et les produits de corrosion activés.

2.2.7.1 *Tritium*

L'inventaire total de tritium du site est inférieur à 4 kg. Le Tableau 1 montre les limites de distribution de l'inventaire de tritium prises en compte dans les analyses de sûreté.

L'inventaire tritium à l'intérieur de la chambre à vide évolue au fil des opérations : initialement, il augmente car seule une partie du tritium injecté dans la chambre à vide est consommée par la réaction de fusion ou récupérée par les systèmes de pompage, l'autre partie étant retenue dans la chambre à vide, s'accumulant dans les matériaux des composants faisant face au plasma et dans les matériaux co-déposés situés sur les composants internes de la chambre à vide (essentiellement de la poussière de tungstène et de béryllium).

Périodiquement, ce tritium, piégé dans les poussières ou dans les composants internes à la chambre à vide, est partiellement récupéré pour maintenir l'inventaire total de la chambre à vide sous la limite de 1 000 g. Cet inventaire comprend également le tritium condensé dans les cryopompes du système de vide.

La diffusion du tritium implanté dans la première paroi des modules de couvertures et le divertor pendant l'exploitation et l'étuvage causera la contamination en tritium de l'eau de refroidissement de ces

composants. La perméation totale de tritium dans les boucles de refroidissement a été évaluée à 0,7 g par boucle de refroidissement des modules de couvertures pour la durée de vie d'ITER. La production de tritium par activation de l'eau est négligeable par rapport au phénomène de diffusion. Le tritium est aussi généré dans le béryllium (125 g)

Inventaire de tritium	Valeurs évaluées
Inventaire mobilisable dans la chambre à vide et ses extensions	≤ 1 000 g (comprenant jusqu'à 180 g dans les cryopompes ouvertes vers la chambre à vide)
Lits de stockage de tritium	≤ 1 000 g
Bâtiment tritium	≤ 1 000 g
Cellule chaude	≤ 1 000 g

Tableau 1 : Tritium évalué dans les analyses de sûreté

2.2.7.2 Matériaux activés

Les neutrons provenant des réactions de fusion activent les matériaux environnants. La fluence d'ITER est de 0,3 Mwa/m². Pour les calculs d'activation des composants qui pourront être échangés durant la durée de vie de l'installation, comme le tungstène faisant face au plasma, une fluence maximale de 0,13 Mwa/m² a été utilisée. Il convient de noter que cela correspond à environ 16 000 impulsions de plasma nominales d'une durée de 440 s. La majorité des produits d'activation sera trouvée dans les structures métalliques solides des composants de la chambre à vide. Des inventaires plus réduits seront trouvés dans des structures à l'extérieur de la chambre à vide ou circulant comme les produits de corrosion se trouvant dans les circuits de refroidissement des modules de couverture, du divertor ou de la chambre à vide.

Des poussières issues de l'interaction du plasma avec les parois sont attendues. La valeur retenue pour les analyses de sûreté pour la poussière de tungstène (la plus pénalisante pour l'activation) est de 1 000 kg. Les principaux isotopes d'activation du tungstène sont présentés dans le Tableau 2.

Isotopes	Activité (Bq) pour 1 g à t=0s
W187	1,04E+11
W185	3,72E+10
W181	1,43E+10
Re186	1,97E+09
Re188	1,19E+09
Ta182	1,67E+08
Ta186	6,40E+07
Ta183	6,40E+07
Ta184	4,33E+07
Ta179	2,74E+07
Re184	1,99E+07
Ag110m	3,72E+05
Co58	1,14E+06
Co60	1,27E+06

Tableau 2 : Activité du tungstène en considérant une fluence de 0,13 MWa/m² à l'arrêt du plasma

Les principaux isotopes d'activation, provenant des matériaux ou des impuretés (basés sur les calculs d'activation en fin de vie) sont donnés dans le Tableau 3 :

- une heure après l'arrêt du plasma (pour l'estimation des rejets courants),
- un an après l'arrêt du plasma (pour la gestion des déchets).

	1 heure après l'arrêt du plasma	1 an après l'arrêt du plasma
Alliages de tungstène	¹⁸⁷ W, ¹⁸⁵ W, ¹⁸⁸ Re, ¹⁸¹ W, ¹⁸⁶ Re	¹⁸¹ W, ¹⁸⁵ W, ¹⁸² Ta, ¹⁷⁹ Ta, ¹⁸⁴ Re, ^{184m} Re
Alliages de cuivre	⁶⁴ Cu, ⁶² Cu	⁶⁰ Co, ⁶³ Ni, ³ H, ⁶⁵ Zn
Acier inoxydable	⁵⁵ Fe, ⁵⁶ Mn, ⁶⁰ Co, ⁵¹ Cr, ⁵⁸ Co, ⁵⁴ Mn, ⁵⁷ Co, ⁵⁷ Ni	⁵⁵ Fe, ⁵⁷ Co, ⁵⁴ Mn, ⁶⁰ Co, ⁵⁹ V, ⁵⁸ Co, ⁶³ Ni
Béryllium	³ H, ¹⁸⁷ W	³ H, ⁵⁵ Fe

Tableau 3 : Principaux isotopes d'activation

Une évaluation des produits de corrosion activés a été réalisée :

- pour une boucle de refroidissement de première paroi : les résidus en suspension et ions dissous sont respectivement de 1,8 g et 10,9 g. La masse totale de dépôt d'ACP est ≈ 1,4 kg,
- dans la boucle de refroidissement du divertor on trouve 0,3g d'ions et résidus et 3,3kg de dépôts,
- dans la boucle de refroidissement de la chambre à vide, on trouve 25,6 g d'ions et résidus et 6kg de dépôts.

L'activité des produits de corrosion activés est donnée dans le Tableau 4.

Isotopes	Activité (Bq) pour 1 g à t=0s
Cr-51	1,14E+08
Mn-54	1,02E+08
Mn-56	1,46E+09
Fe-55	2,09E+09
Co-57	6,32E+07
Co-58	1,09E+08
Co-60	1,43E+08
Ni-57	4,61E+07

Tableau 4 : Activité des produits de corrosion activés en considérant une fluence de 0,5 MWa/m² à l'arrêt du plasma.

2.2.7.3 Activation de l'eau

Le Tableau 5 présente une synthèse de l'activation de l'eau.

L'eau de refroidissement d'ITER sera activée par des neutrons à haute énergie via les réactions $^{16}\text{O} (n, p) ^{16}\text{N}$ et $^{17}\text{O} (n, p) ^{17}\text{N}$, lors de son passage dans les circuits de refroidissement situés dans les composants faisant face au plasma de la couverture et du divertor.

Isotope	Couverture	Chambre à vide
H-3	1850 GBq/m ³	37 GBq/m ³
C-14	1 GBq/m ³	0,01 GBq/m ³
N-16	5.6 TBq/m ³	3000 TBq/m ³
N-17	1.7 GBq/m ³	1,7 TBq/m ³

Tableau 5 : Activation de l'eau

2.2.7.4 Activation de l'air

Le radio-isotope dominant est ^{41}Ar (T_{1/2} = 1.83 h). La Figure 7 présente les résultats des calculs de l' ^{41}Ar dans l'air. Ils ont été obtenus en utilisant les valeurs de taux de production d' ^{41}Ar :

- 2,44E+01 à l'intérieur de la protection radiologique du puits du tokamak
- 1,27E-05 à l'extérieur de la protection radiologique du puits du tokamak

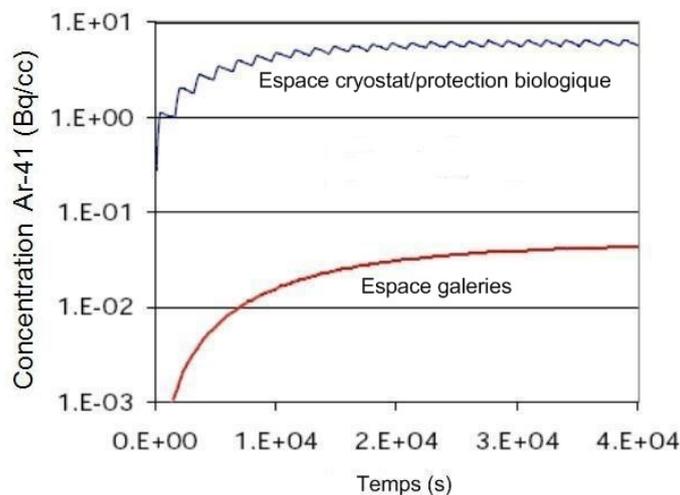


Figure 7 : Production d'Ar-41

2.2.8 Inventaire des produits chimiques

Le Tableau 6 liste les principaux produits chimiques présents dans l'installation ITER. Les rejets chimiques ont été évalués dans le cadre de l'étude d'impact.

Produit chimique	Commentaire
Béryllium, carbone, fer, tungstène	Dangereux sous forme de petites particules, contenus dans la chambre à vide et les postes de travail de la cellule chaude
Hydrogène et ses isotopes	Dangereux en raison d'une explosion possible en réaction à l'oxygène. Contenus dans la chambre à vide, dans l'équipement de traitement de tritium.
Ozone	Dangereux en raison de l'explosion possible en réaction à l'oxygène. Une quantité maximale possible de 5 g est contenue dans le cryostat.
Hélium et azote cryogéniques	Inertes chimiquement mais peuvent avoir des effets similaires à des brûlures thermiques en cas d'exposition aux tissus cutanés. Contenus dans le circuit de refroidissement cryogénique.
Fréon utilisé dans le circuit réfrigérant	
SF ₆ utilisé comme gaz isolant	Dangereux pour les humains, empoisonne la catalyse HT vers HTO
Huile de la pompe à vide	Si elle est utilisée dans des systèmes de pompage, elle pourrait être contaminée par du tritium.
Huile pour l'équipement électrique	
Plomb et plomb-lithium eutectiques	Dangereux en raison de la réaction possible à l'eau et à la production d'hydrogène. Contenus dans les modules tests de couverture.
Solutions acides et alcalines nettoyantes et décapantes	Dans les ateliers
Solvants comme le kérosène, l'acétone et l'éthanol	Dans des bidons de sûreté spéciaux
Substances déminéralisantes et résine usée des lits déminéralisants dans le système de contrôle chimique et volumétrique des circuits de refroidissement	
Dioxyde de carbone	Pour les systèmes de protection anti-incendie
Orthophosphates et inhibiteurs calcium phosphate	Pour contrôler la corrosion dans les circuits d'eau de refroidissement

Tableau 6 : Produits chimiques présents dans l'installation ITER

2.2.9 Risques nucléaires

2.2.9.1 *Risque de perte de confinement*

Le confinement des matières radioactives et dangereuses représente une fonction de sûreté qui permet d'éviter et de limiter la dispersion de tritium et de produits d'activation en cas d'accident.

Deux systèmes de confinement sont mis en œuvre de sorte que des barrières successives sont mises en place pour chaque inventaire. Un traitement approprié des pénétrations des barrières de confinement assure le respect de l'objectif de confinement.

Le premier système de confinement permet d'éviter la dispersion de matières radioactives et dangereuses au sein de l'installation en conditions de fonctionnement normales (comme par exemple : en exploitation, durant les tests ou la maintenance). Il est constitué par les équipements du procédé de traitement lui-même et/ou d'autres moyens réputés assurer le 1^{er} système contre les rejets de matières radioactives ou dangereuses. Le deuxième système de confinement limite les rejets dans l'environnement lors d'événements au cours desquels le premier système de confinement ne parvient pas à contenir entièrement l'inventaire présentant un risque. Ce système est distinct du premier système de confinement et comprend par exemple des tuyauteries, les composants du système de refroidissement, les cellules et locaux avec des systèmes de dépressurisation, une filtration et une détritiation appropriés.

Les systèmes de confinement sont schématisés dans la Figure 8.

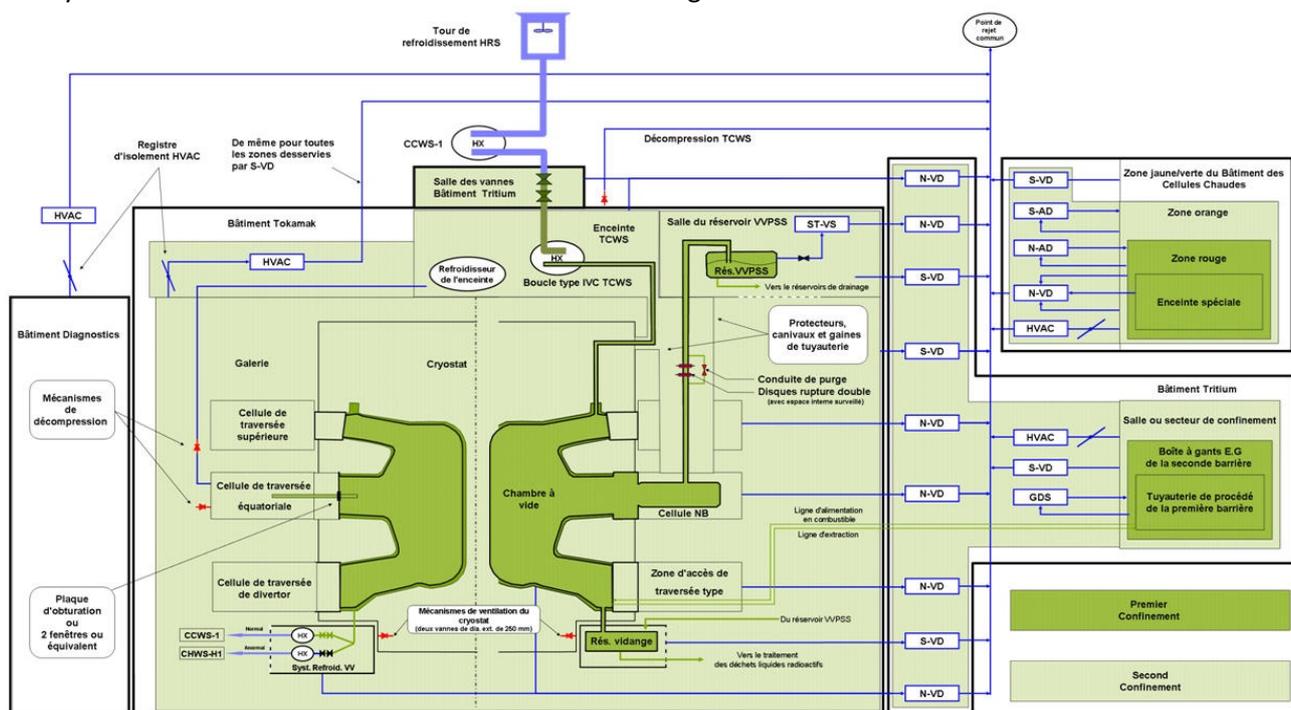


Figure 8 : Systèmes de confinement

Tritium

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.

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 à vide et leur transfert vers les cellules chaudes. Cette dissémination ne peut se produire que par le système de ventilation et de conditionnement d'air ou le système de détritiation.

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 à vide, 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 chaudes. Les zones des cellules chaudes correspondantes sont équipées de parois en acier inoxydable au lieu de matériaux de base, dont les propriétés d'étanchéité ne peuvent pas être affectées par la radiolyse.

Produits d'activation

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 et 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.

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.

2.2.9.2 Risque d'exposition interne

L'origine d'une exposition interne est révélatrice d'une contamination du milieu caractérisée par la présence de particules radioactives dispersées dans l'environnement dans lequel sont présents les intervenants.

La protection contre l'exposition interne, et plus généralement contre le risque de dissémination de matières radioactives, consiste à interposer un ensemble de systèmes et de barrières de confinement entre les matières radioactives et le personnel d'exploitation (voir le chapitre 2.2.9.1 sur le confinement).

Ces systèmes ou barrières de confinement sont de type statique (enceinte ou paroi constituant une barrière physique s'opposant au relâchement) et/ou dynamique, imposant une circulation préférentielle de l'air des zones les moins contaminées vers les plus contaminées. Ce confinement dynamique assure par ailleurs une fonction supplémentaire de filtration par un ensemble de systèmes de ventilation/détritiation.

Des dispositions sont notamment prévues pour prévenir une dispersion du tritium et de poussières radioactives dans les bâtiments, puis éventuellement dans l'environnement en cas de perte de l'étanchéité de la chambre à vide, par exemple :

- mise en œuvre d'un système de récupération du tritium dans les locaux adjacents (voir chapitre 2.2.4 sur la détritiation), dont l'efficacité permet de limiter la dispersion dans l'environnement à des valeurs suffisamment faibles pour ne pas avoir à prendre de mesures de mise à l'abri des populations,
- installation de filtres à très haute efficacité au niveau de la ventilation pour retenir les poussières radioactives provenant de l'activation des matériaux de la chambre à vide ou des circuits de refroidissement et éviter leur rejet dans l'atmosphère,
- utilisation de protections individuelles.

2.2.9.3 Risque d'exposition externe

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.

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

- Bâtiment tokamak,
- Bâtiment des cellules chaudes, bâtiment de traitement des déchets radioactifs, bâtiment tritium,
- Bâtiment d'assemblage et des chauffages par ondes hautes fréquences,
- 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. Au cours de ces phases, le personnel n'est pas présent dans le bâtiment tokamak.

2.2.10 Risques spécifiques

2.2.10.1 Risque d'incendie

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'installation tritium),
 - gaz inflammables : hydrogène, deutérium, tritium (principalement dans l'installation 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.

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.

2.2.10.2 Risque lié aux opérations de manutention

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

Le risque lié au système de manutention téléopéré 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).

Ainsi les opérations de manutention utilisant le monte-charge du bâtiment tokamak, les manutentions des modules de couverture dans la chambre à vide, les manutentions dans la zone de contrôle chimique et volumétrique des circuits de refroidissement et les transferts des composants et des déchets dans le bâtiment des cellules chaudes ont été identifiées comme pouvant présenter un risque en cas de chute de charge. Le dimensionnement des composants et structures du génie civil impliqués prennent en compte ce risque.

3 ROBUSTESSE DE L'INSTALLATION : IDENTIFICATION DES RISQUES D'EFFETS FALAISE

3.1 DEFINITION DES EFFETS FALAISE

La conception et le dimensionnement des installations nucléaires reposent sur la mise en œuvre de barrières successives et du concept de défense en profondeur. Cette démarche conduit ainsi à définir des conditions de fonctionnement incidentelles et accidentelles pour lesquelles des dispositions de conception sont mises en place. Les risques d'agressions internes et externes sont également pris en compte.

Le concept de défense en profondeur est en effet une méthode de raisonnement qui consiste, malgré les mesures prises pour éviter les dysfonctionnements, les incidents et les accidents, à postuler qu'ils se produisent et à étudier et mettre en œuvre les moyens de les détecter, d'y faire face et d'en limiter les conséquences.

Ce concept est décliné en quatre niveaux de défense successifs :

- premier niveau : prévention des anomalies et des défaillances (qualité de réalisation...),
- deuxième niveau : surveillance et maintien de l'installation dans le domaine de fonctionnement autorisé,
- troisième niveau : limitation des conséquences des conditions de fonctionnement accidentelles avec la mise en œuvre sur l'installation de dispositifs de sauvegarde ou de sécurité,
- quatrième niveau : gestion des séquences accidentelles et dispositions prévues par le plan d'urgence interne (PUI) du site.

On peut répartir dans chacun de ces niveaux les lignes de défense successives mises en place, pour se prémunir de la défaillance des dispositions techniques, humaines ou organisationnelles prévues pour assurer la sûreté de l'installation, ainsi que celles mises en place pour détecter et limiter les conséquences de ces défaillances.

Les conditions de fonctionnement accidentelles étudiées dans le référentiel de sûreté sont définies par un événement initiateur.

Les études associées sont menées avec des hypothèses conservatives. Ce conservatisme couvre à la fois les hypothèses liées à l'état initial de l'installation ainsi que les règles d'étude du scénario accidentel résultant de l'événement initiateur considéré.

Au titre du quatrième niveau de défense en profondeur, l'analyse de ces conditions de fonctionnement accidentelles est complétée par l'examen de séquences accidentelles plus complexes, les situations de limitation du risque, qui permettent de couvrir les cumuls de défaillances d'équipements, en particulier la perte d'équipements redondants.

Ces séquences sont examinées afin de vérifier la robustesse de la démonstration de sûreté et ont déjà pu conduire à la mise en place de dispositions spécifiques pour y faire face.

Elles sont complétées par les dispositions qui sont détaillées par le PUI d'ITER pour gérer les situations de crise.

L'élaboration du PUI repose sur l'identification de types d'accidents susceptibles de conduire à des rejets de matières dangereuses en quantités telles que des mesures de protection s'avèreraient nécessaires. Le PUI a pour objet de prendre en compte des accidents plus graves que ceux considérés dans le dimensionnement des installations. Ils sont déterminés, par exemple, en ajoutant un aggravant aux conditions de fonctionnement accidentelles étudiées dans le rapport de sûreté.

Ces accidents conduisent à la mise en œuvre de l'organisation des secours de façon à limiter les conséquences possibles de l'accident sur les personnes et les biens par des dispositions particulières.

ITER a mis en place une organisation de crise pour faire face à ce type de situations accidentelles. Cette organisation sera testée périodiquement au cours d'exercices.

Pour les installations le nécessitant, il existe un cinquième niveau de défense en profondeur qui comprend les mesures de protection des populations prises par les pouvoirs publics, dans le cadre des plans particuliers d'intervention (PPI).

Les évaluations prescrites dans la demande de l'ASN sont qualifiées de complémentaires car elles viennent en complément des analyses déjà réalisées.

Les évaluations complémentaires demandées exigent de considérer, dans des situations extrêmes, la défaillance cumulée d'un certain nombre d'équipements, même ceux mis en place pour faire face à l'événement. L'objectif assigné est d'identifier un éventuel effet falaise et d'évaluer les marges par rapport à cet éventuel effet falaise, sans limitation a priori sur la caractérisation de l'évènement ou de l'aléa.

Cette demande de l'ASN conduit donc à faire abstraction, dans les évaluations complémentaires, d'un certain nombre de dispositions conçues et dimensionnées pour empêcher la survenue de certaines situations. L'objectif n'est pas d'examiner de nouvelles situations, mais d'évaluer les marges disponibles au regard d'éventuels risques d'effet falaise.

Un effet falaise se comprend comme une forte discontinuité dans le comportement de l'installation, conduisant à une aggravation notable de la situation, notamment en termes de quantités de produits radioactifs et/ou dangereux mobilisés.

Les risques d'apparition d'effets falaise, identifiés ci-après, nécessitent simultanément les conditions suivantes :

- ils se produisent lors des situations examinées dans ce document, à savoir lors d'un séisme ou d'une inondation au-delà de ceux pris en compte pour le dimensionnement de l'installation, ou lors de pertes postulées d'alimentations électriques et/ou de source froide,
- ils conduisent à des conséquences sur l'environnement significativement supérieures à celles des événements considérés dans le PPI.

Il s'agit ainsi d'identifier les risques d'effet falaise qui, dans le cadre, d'une part des aléas considérés et, d'autre part des pertes postulées, pourraient entraîner une :

- dispersion de matières radioactives dans l'environnement,
- exposition des travailleurs.

La démarche d'ITER vise alors à examiner les risques d'effet falaise pour chacun des aléas extrêmes suivants : séisme au-delà du dimensionnement, inondation au-delà du dimensionnement, séisme au-delà du dimensionnement et inondation au-delà du dimensionnement, autres phénomènes naturels (vent, grêle, foudre, neige...), perte totale des alimentations électriques, perte des systèmes de refroidissement, pertes des alimentations électriques et des systèmes de refroidissement.

En pratique, cette démarche consiste à examiner :

- les produits radioactifs et/ou dangereux qui pourraient être mobilisés dans un local considéré,
- pour chacun des aléas extrêmes, les scénarios qui pourraient conduire, dans le local considéré, à un ou plusieurs des types suivants de situations redoutées avec risques d'effets falaises :
 - **perte du confinement de produits radioactifs ou dangereux (gaz ou aérosols) avec rejets significatifs dans l'environnement,**
 - dans le bâtiment tokamak :
 - Explosion d'hydrogène et poussières dans la chambre à vide cumulée à la perte de la détritiation (DS) dans le bâtiment tokamak
 - Incendie généralisé de la passerelle haute tension du système d'injection de neutres (NBI HV deck) vers la cellule des injecteurs de neutres (NB cell)
 - Cumul de situations accidentelles dans le bâtiment tokamak,
 - dans le bâtiment tritium :
 - Dégradation du premier système de confinement du système d'entreposage et de distribution (SDS) couplé à un incendie,
 - Explosion au sein du système de séparation isotopique (ISS),
 - Cumul d'incendie dans les locaux procédés du bâtiment tritium,
 - dans le bâtiment des cellules chaudes (HCF) :
 - Explosion dans le bâtiment des cellules chaudes couplée à une perte de la détritiation (DS)
 - dans le bâtiment de traitement des déchets radioactifs :
 - Explosion liée au risque de radiolyse dans la cuve de stockage des résines usées couplée à une perte de ventilation,
 - **perte de rétention de produits radioactifs ou dangereux (liquides),**
 - Rupture de cuve de stockage des résines usées et défaillance d'un revêtement d'étanchéité,
 - **phénomènes de pressurisation mettant en cause le confinement,**
 - Explosion d'hydrogène et poussières dans la chambre à vide cumulée à la perte de la détritiation (DS) dans le bâtiment tokamak,
 - Accident lié à une rupture des lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak,
 - Cumul de situations accidentelles dans le bâtiment tokamak,
 - Explosion au sein du système de séparation isotopique (ISS) dans le bâtiment tritium,
 - Explosion dans le bâtiment des cellules chaudes couplée à une perte de la détritiation (DS),
 - Explosion liée au risque de radiolyse dans la cuve de stockage des résines usées couplée à une perte de ventilation dans le bâtiment de traitement des déchets radioactifs,
 - **incendie non maîtrisé :**
 - Incendie généralisé de la passerelle haute tension du système d'injection de neutres (NBI HV deck) vers la cellule des injecteurs de neutres (NB cell),

- Cumul d'incendie dans les locaux procédés du bâtiment tritium,
- **augmentation significative du niveau d'exposition aux rayonnements ionisants,**
 - Accident entraînant le transfert de produits d'activation vers le VVPSS (suite à un accident de catégorie IV dans la chambre à vide,
- **risque d'atteinte de la nappe phréatique,**
 - Rupture de cuve de stockage des résines usées et défaillance d'un revêtement d'étanchéité,
- **risque d'effet global sur le site :** Etude inondation externe (eau potable, incendie, refroidissement, alimentation en eau à partir du réseau de la société du canal de Provence (SCP), industrielle).

Cette recherche des événements, basée sur un « jugement d'ingénieur », est faite en considérant tous les états possibles pouvant être rencontrés dans le local, y compris ceux de courte durée (maintenance, transfert avec hotte, ...) et en tenant compte des événements ou aggravants induits par l'aléa. Ces événements ou aggravants induits peuvent être internes au local (chute de charge) ou externes au local ou au bâtiment (incendie, explosion, chute de charge, disruption,...), voire externes à l'installation (rejets d'autres installations,...).

- les types de situations redoutées précitées et identifiées dans le local considéré qui conduisent à un ou plusieurs effets falaises. Les effets falaises à éviter sont ceux pour lesquels :
 - les conséquences dépassent celles retenues pour la définition du plan particulier d'intervention (PPI), soit lorsque la dose engagée pour le public est supérieure à 10 mSv ;
 - il y a une pollution de la nappe phréatique ;
 - le niveau d'exposition aux rayonnements ionisants interdit toute intervention humaine à long terme.

Les situations redoutées avec risques d'effet falaise identifiés sont présentés au paragraphe 3.2.

Cet examen permet alors d'identifier les situations redoutées avec effets falaises. Cet examen est complété par un examen global de l'installation qui consiste à vérifier, pour un aléa extrême donné, si la somme de situations redoutées sans effet falaise dans plusieurs locaux ne peut pas conduire à une situation redoutée avec effet falaise pour l'ensemble de l'installation.

La liste finale des situations redoutées avec effets falaises, établie au paragraphe 3.2, permet alors de définir les « équipements essentiels » qui permettent de prévenir ces situations et le retour et le maintien à l'état sûr en cas de survenance d'une telle situation. Tous les équipements indispensables à la gestion de crise (locaux, moyens de gestion, de communication, instrumentation...) sont également considérés comme des équipements essentiels. Si l'analyse le justifie, des moyens auxiliaires pour la gestion de crise peuvent être définis et classés comme « équipements essentiels ».

Pour les équipements essentiels dont la robustesse serait jugée insuffisante, des solutions alternatives peuvent être proposées : remplacement par un autre équipement remplissant la même mission et rendu, si nécessaire, suffisamment robuste, équipement uniquement destiné aux situations redoutées...

La liste finale des équipements essentiels constitue le « noyau dur », équipements présentés au paragraphe 3.3.

La prévention de chaque situation redoutée pouvant être associée à plusieurs équipements essentiels de robustesse différente, une indication du niveau de l'aléa au-delà duquel chaque situation redoutée pourrait survenir sera fournie. Enfin, il sera vérifié, pour chacune des situations redoutées, la faisabilité de l'évacuation du personnel et, le cas échéant, de la manœuvre d'équipements essentiels (vannes...).

3.2 RISQUES D'EFFETS FALAISE

3.2.1 Risques d'effets-falaise associés à une perte du confinement de matières radioactives

3.2.1.1 *Scénario 1 : Explosion d'hydrogène et poussières dans la chambre à vide cumulée à la perte de la détritiation (DS)*

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est redouté une entrée d'air dans la chambre à vide qui créerait une explosion d'hydrogène, qui créerait une mise en suspension de poussières liées à l'érosion des composants faisant face au plasma, elle-même créant une explosion de poussières qui endommagerait la chambre à vide, cumulé à une perte des systèmes de détritiation (DS).

Etats initiaux :

Ce scénario est susceptible de se produire pendant l'ensemble des phases de fonctionnement pour lesquelles la chambre à vide est maintenue sous vide et pour lesquelles l'étuvage de la chambre à vide permettant la réduction de l'inventaire en tritium n'a pas été réalisé et pour lesquelles les poussières n'ont pas été collectées.

Ce scénario est donc susceptible de se produire pendant les phases de plasma et de début de phases de maintenance courte. Il convient de noter que, lors d'opérations de maintenance longue, la chambre à vide est mise sous pression atmosphérique et donc cet accident ne peut pas se produire dans une phase de maintenance longue.

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans les états suivants de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Début de phase de maintenance (mode 1).

Etat sûr à atteindre

D'une façon générale, l'état sûr défini dans le référentiel de sûreté d'ITER est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin d'un transitoire et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir les fonctions de confinement et à garder les rejets des produits radioactifs dans les limites acceptables (OGS). C'est un objectif de projet ITER de pouvoir atteindre l'état sûr dans un délai raisonnable, c'est-à-dire en moins de 24 h.

L'état final sûr pour lequel les conditions associées sont les suivantes :

- le confinement est assuré,
- les rejets sont dans les limites autorisées en fonctionnement normal,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont stables et confinées,
- les températures sont décroissantes, y compris celles des composants face au plasma,
- les systèmes de confinement et de détritiation nécessaires sont opérationnels,
- une intervention humaine pour maintenir l'état d'arrêt sûr peut être effectuée en cas de nécessité.

Cependant, dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr tel que défini ci-avant pour les situations accidentelles de dimensionnement et celles hors dimensionnement ne peut plus être maintenu, puisque les paradés nécessaires pour éviter que le scénario ne se produise sont postulées défailtantes au début du scénario.

Dans ce cadre, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

L'accident redouté est la rupture de traversées créant une entrée d'air dans la chambre à vide. Cette entrée d'air est associée à un dégazage de l'hydrogène, entraînant une explosion hydrogène, elle-même entraînant une explosion de poussières susceptible de générer une pressurisation de la chambre à vide supérieure à la valeur de dimensionnement des singularités (traversées) de la chambre à vide (2 bar abs). Cet événement est ensuite cumulé à la perte de la détritiation (DS) dans les locaux autour de la chambre à vide.

Il convient tout d'abord de signaler que l'ensemble des bâtiments est équipé de systèmes de détritiation permettant de réduire les rejets à des valeurs nécessitant la mise en place d'un plan d'urgence interne. Ce système dispose d'un haut degré de qualité de réalisation, d'un grand niveau de redondance (jusqu'à 6 x 100% pour les colonnes de lavage) et de maîtrise des défailtances de mode commun, notamment un classement sismique pour résister à des séismes de niveau SL-2, avec des marges limitées au-delà du SL-2. Néanmoins, compte tenu que ce système ne permet pas de résister à des séismes allant très au-delà d'un SL-2, il est également postulé la défailtance initiale du système de détritiation dans ce scénario.

Une première disposition de prévention pour éviter ce scénario est la maîtrise de chacun des inventaires en tritium et en poussières afin d'éviter de créer les conditions d'une explosion. Dans ce scénario, il est postulé que la maîtrise de chacun de ces inventaires n'est pas réalisée. Il s'agit de la défailtance de deux lignes de défense organisationnelles.

La chambre à vide et le cryostat d'ITER sont pourvus de multiples pénétrations. Chaque pénétration dispose au moins de deux barrières de confinement afin de réduire les risques de fuite. Bien que ces mesures soient prises à la conception pour éviter toute entrée d'air dans la chambre à vide, il est postulé une entrée d'air dans la chambre à vide via la défailtance des deux organes d'isolement indépendants.

Les dispositions préventives sont :

- la qualité de réalisation des pénétrations de l'enceinte à vide
- la redondance des obturations des pénétrations,

De plus, le dimensionnement mécanique de l'enceinte à vide dispose de marges importantes au regard des situations qu'elle rencontre pendant son fonctionnement.

Dès la perte du vide, cet évènement entraîne la pollution du plasma et son arrêt. En même temps, dès la détection d'entrée d'air, des moyens de mitigation des effets d'une entrée d'air permettent d'éviter tout risque d'explosion hydrogène-poussière dans la chambre à vide. Plusieurs solutions sont en fin d'étude, notamment la technologie basée sur l'ignition préventive à basse pression de l'hydrogène susceptible de se former afin d'éviter l'explosion et donc le scénario redouté. Parmi les technologies d'igniteurs, plusieurs technologies sont encore en cours d'étude :

- des igniteurs basés sur des systèmes catalytiques passifs, leur interaction avec le plasma est en cours d'étude,
- des igniteurs basés sur la présence permanente d'un filament déjà en service au moment de l'accident, mais nécessitant le recours à des batteries.

Cette disposition permet de limiter les risques d'explosion car les igniteurs dans la chambre à vide qui fonctionnent en permanence permettent de réduire efficacement le risque d'explosion en cas de perte du vide.

Dans le cas où l'option électrique est retenue, ces igniteurs sont alimentés par une alimentation électrique ininterrompue qui est prise en secours par des diesels de secours (diesels voies A et B redondants, classés sismique et séparés géographiquement, et protégés des risques d'inondation), ainsi que par des batteries électriques indépendantes et redondantes. En cas de perte de ces diesels de secours et des batteries de secours, et donc de perte totale de l'alimentation électrique prévue pour le dimensionnement, ces igniteurs sont alimentés par une autre batterie d'ultime secours, d'autonomie 2 heures, laissant tout le temps à une connexion d'un groupe électrogène d'ultime secours déjà basé sur le site ITER et protégé contre un séisme supérieur au SL-2 et des risques d'inondation. Ces igniteurs et leur alimentation électrique d'ultime secours font partie des équipements essentiels.

Pour que ces dispositions évitant l'explosion soient mises en échec, il est nécessaire d'envisager la défaillance de plusieurs lignes de défense fortes (la défaillance des lignes de traversées indépendantes, la défaillance des igniteurs, la défaillance de la ligne de défense forte procurée par la mise en place de batteries et d'un groupe électrogène d'ultime secours).

Aussi, si on postule le cumul des défaillances de l'ensemble des moyens en place pour prévenir d'une explosion, une explosion d'hydrogène, suivie par une explosion de poussières, pourrait alors se produire dans la chambre à vide.

Cette explosion peut entraîner une augmentation de la pression pouvant atteindre près de 5 bar abs, ce qui provoquera la défaillance de la chambre à vide au niveau des traversées et des équipements qui y sont connectés (notamment les injecteurs de neutres). Cependant, la chambre à vide dispose de marges conséquentes (résistance à des pressions très supérieures) et il est vraisemblable de supposer que les traversées et équipements connectés à la chambre à vide seraient défaillants.

Pour toute traversée défaillante située sur la chambre à vide, les effets de l'explosion seront limités par les cellules de traversées entourant la chambre à vide et dimensionnées à une pression de 1,6 bar abs, cellules elles-mêmes connectées à l'enceinte de confinement (« vault ») dimensionnée à 2 bar abs. Cette défaillance n'aura qu'un impact très limité au regard des rejets radioactifs. L'état sûr décrit ci-avant pourra ainsi être atteint.

Si la défaillance est celle de la traversée des injecteurs de neutre situés dans la cellule « NB », une augmentation de pression se produira dans ce local donnant directement sur l'extérieur, pouvant atteindre

environ 1,8 bar abs, ce qui pourrait créer des conséquences radiologiques plus élevées que pour les autres traversées, mais toujours dans les conditions mentionnées de l'état sûr.

Aussi, afin d'éviter cette situation, la pression de dimensionnement de la cellule contenant les injecteurs de neutre (« NB cell») a été augmentée pour permettre de garantir son étanchéité à une pression de 2 bar abs. L'état sûr pourra ainsi être atteint.

Par ailleurs la dernière barrière de confinement statique reste opérationnelle (portes fermées, vannes d'isolement de la ventilation/détritiation se fermant sur manque de tension).

Ce scénario peut être induit par les éléments combinés suivants :

- une absence de maîtrise de l'inventaire en poussière dans la chambre à vide,
- une absence de maîtrise de l'inventaire en tritium dans le premier système de confinement,
- un accident de perte de vide (LOVA) dû à la défaillance simultanée de plusieurs organes d'isolement en série,
- une défaillance des voies redondantes des systèmes de mitigation de l'explosion (igniteurs notamment). Les igniteurs sont en cours de développement dans le cadre de la réponse à la demande de l'ASN.

Ainsi, en plus de la perte supposée initiale des systèmes de détritiation, l'ensemble de ce scénario requiert plus de multiples défaillances de lignes de défense fortes et de deux lignes de défense organisationnelles, rendant extrêmement hypothétique l'occurrence d'un tel scénario. L'ensemble des défaillances envisagées dans ce scénario nécessitera l'activation d'un plan particulier d'intervention.

Dans tous les cas, la dernière barrière de confinement statique reste opérationnelle (génie civil de la NB cell renforcé au regard des risques d'explosion, connexion vers la « vault », vannes d'isolement du système de ventilation/détritiation se fermant sur manque de tension) permettant de limiter le rejet de matières radioactives dans l'environnement. Quelle que soit la situation, l'état sûr défini pour les situations à effet falaise pourra être atteint.

Equipements essentiels

Equipements essentiels requis dans le scénario 1

Igniteurs et leur alimentation électrique d'ultime secours (batteries et groupe électrogène)

Dernière barrière de confinement statique (locaux NB cell/vault et portes) avec les organes d'isolement des traversées du génie civil (position fermée sur manque de courant)

Organes d'isolement des lignes entrant dans la chambre à vide (position fermée sur manque de courant)

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.1.2 Scénario 2 : Incendie généralisé de la passerelle haute tension du système d'injection de neutres (NBI HV deck) vers la cellule des injecteurs de neutres (NB cell)

Scénario redouté

Dans ce scénario, on postule un incendie qui prendrait naissance dans le local de la passerelle haute tension située (local dénommé « HV deck ») et qui se propage vers la cellule d'injecteur de neutre. Dans ce cas, l'évènement redouté est la perte de l'enveloppe mécanique des injecteurs de neutre et la non-fermeture des organes isolant les injecteurs de neutre de la chambre à vide.

Etats initiaux :

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Phase de maintenance (mode 1),
- Phase de maintenance lourde avec transfert de composants (mode 2).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Dans ce scénario, on postule un incendie qui prendrait naissance à partir des charges calorifiques (conducteur électrique) dans le local « HV deck » et qui se propage vers la cellule d'injecteur de neutre. Dans ce cas, l'évènement redouté est la perte de l'enveloppe mécanique des injecteurs de neutre sous des effets thermiques et la non fermeture des organes isolant les injecteurs de neutre de la chambre à vide, sans lesquels un scénario accidentel détruisant l'enveloppe des injecteurs de neutre pourrait entraîner la dispersion de l'inventaire de la chambre à vide dans la cellule des injecteurs de neutres et dans les galeries du bâtiment tokamak

Les dispositions de prévention d'un tel scénario concernent la limitation du potentiel calorifique dans les locaux (utilisation de câbles difficilement inflammables, chemins de câbles fermés, extinction automatique dans les armoires électriques...).

L'autre disposition de prévention consiste en la fermeture des organes d'isolement (vannes et obturateur rapide).

Les deux schémas suivants (Figure 9 et Figure 10) montrent les liens entre la passerelle haute tension (HV deck) et la cellule des injecteurs de neutre.

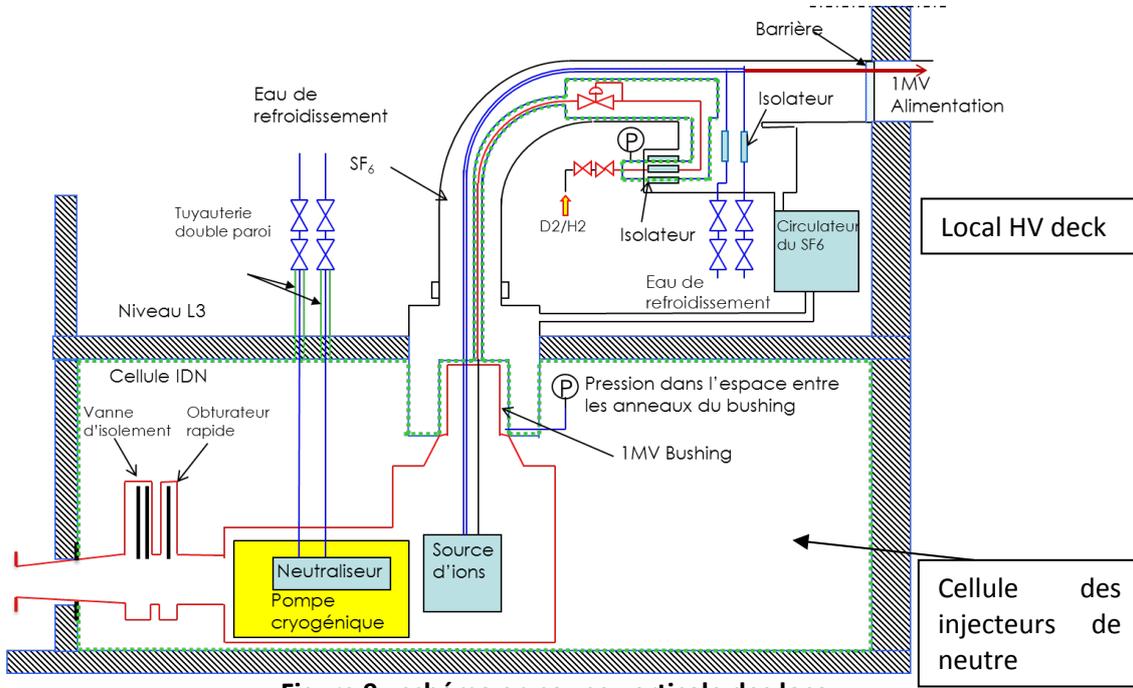


Figure 9 : schéma en coupe verticale des locaux

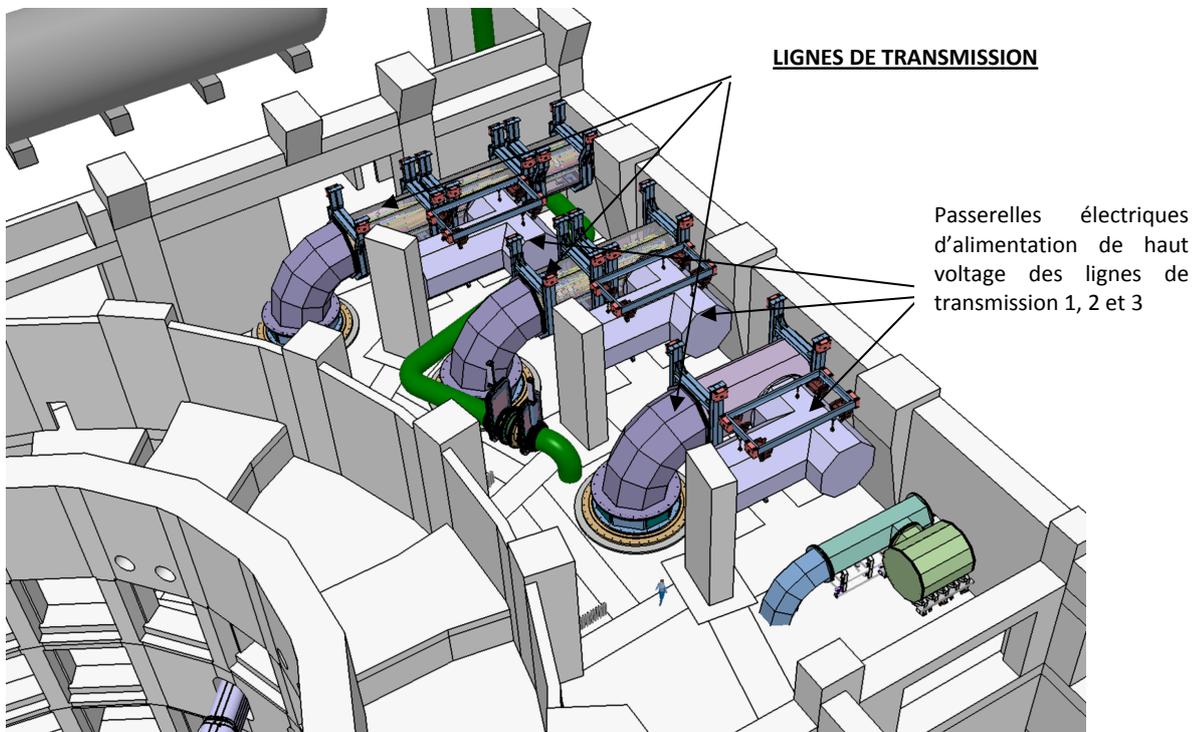


Figure 10 : schéma d'implantation des lignes dans le local « HV deck »

La mitigation des conséquences est assurée par :

- la dernière barrière de confinement statique du bâtiment, barrière passive, et ses organes d'isolement fermés sur manque de tension,
- les systèmes de protection incendie dans les locaux (détection – extinction automatique incendie).

Les systèmes de protection incendie sont alimentés par une source d'alimentation électrique de secours (diesels voies A et B redondants, classés sismique, séparés géographiquement, et protégés des risques d'inondation).

Ce scénario est ainsi associé à la perte cumulée de plusieurs lignes de défense fortes :

- perte des dispositions de prévention d'un incendie dans le local HV deck,
- perte des dispositions d'extinction dans le local HV deck,
- perte de la sectorisation incendie entre les locaux HV deck et NB cell,
- perte des dispositions d'extinction dans le local NB cell,
- perte des organes d'isolement de la chambre à vide.

En revanche, l'effet falaise pourra être évité et l'état sûr pourra être atteint si :

- les organes d'isolement de la chambre à vide sont fermés (vannes et obturateur rapide),
- la dernière barrière de confinement reste maintenue, avec les vannes d'isolement des traversées.

Equipements essentiels

Equipements essentiels requis dans le scénario 2

***Dernière barrière de confinement statique de la NB cell (bâtiment et portes) et organes d'isolement des traversées du génie civil (position fermée sur manque de courant)
Vannes et obturateur de la chambre à vide (position fermée sur manque de courant)***

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.1.3 Scénario 3 : Rupture totale des lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est postulé de façon déterministe la rupture totale de l'ensemble des lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak malgré la conception robuste de ces lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak notamment vis-à-vis de séismes SL-2. Pour un niveau d'aléa sismique supérieur, ce scénario est susceptible d'entraîner un dépassement des paramètres de dimensionnement du second système de confinement (galeries et radier) pour laquelle une exigence d'étanchéité est définie (1.2 bar abs).

La perte totale des lignes cryogéniques présentes dans les galeries et dans le cryostat entraînerait des chargements à l'intérieur de la 2^{ème} barrière de confinement qui remettraient en question ces exigences de sûreté (confinement et stabilité).

Etats initiaux :

Ce scénario est possible dans toutes les situations pour lesquelles les lignes cryogéniques sont alimentées en hélium liquide ou gazeux, soit dans toutes les phases d'exploitation.

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Ce scénario ne peut pas se produire pour des situations de séisme SL-2 mais pourrait se produire pour des aléas sismiques allant au-delà des marges retenues pour faire face à un séisme de dimensionnement SL-2. Dans ce scénario, il est postulé de façon déterministe la rupture totale de l'ensemble des lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak, ce qui entraîne des conditions dépassant les paramètres de dimensionnement du second système de confinement (galeries et radier) pour laquelle une exigence d'étanchéité est définie (1.2 bar abs) et donc remettraient en question ces exigences de sûreté (confinement et stabilité).

Il convient cependant de noter que ce scénario serait susceptible d'augmenter la pressurisation dans les galeries. Les galeries sont exemptes de matières radioactives, hormis les lignes d'injection/soutirage de tritium vers la chambre à vide et les tronçons de tuyauterie protégés autour des circuits de refroidissement. Or, les tronçons de tuyauterie protégés et les lignes d'injection/soutirage de tritium sont résistants à des conditions de pression et de température allant bien au-delà des conditions de dimensionnement du second système de confinement. **De ce fait, ce scénario à lui seul ne peut pas occasionner de relâchement de matières radioactives et donc d'effet falaise.**

En outre, l'inventaire en matières radioactives (tritium et produits de corrosion activés) dans les différents circuits de refroidissement (y compris à partir d'une rupture de tronçons de tuyauterie protégée) n'occasionnerait pas d'effet falaise si cet inventaire était relâché dans les galeries. Il en est de même pour la perte indépendante de ces lignes d'injection/soutirage. En revanche, la rupture indépendante de ces lignes cumulée au scénario de rupture des lignes cryogéniques et à une défaillance des vannes d'isolement de ces lignes vers le bâtiment tritium (mise en communication avec d'autres inventaires) est à éviter.

De ce fait, seul le bon isolement de ces lignes est essentiel pour permettre d'éviter un effet falaise potentiel.

L'état sûr pourra être atteint si l'isolement de ces lignes vers le bâtiment tritium s'effectue correctement.

Equipements essentiels**Equipements essentiels requis dans le scénario 3**

Vannes d'isolement des traversées des lignes d'injection/soutirage du tritium situées vers le bâtiment tritium (fermées sur manque de tension)

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.1.4 Scénario 4 : Dégradation du premier système de confinement du système d'entreposage et de distribution (SDS) couplée à un incendie

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est redouté la perte du premier système de confinement du système d'entreposage et de distribution du tritium, cumulée à un incendie dans les locaux susceptible d'agresser plusieurs secteurs de feu et de dégazer les inventaires en tritium du système SDS.

Etats initiaux :

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Phase de maintenance (mode 1),
- Phase de maintenance lourde avec transfert de composants (mode 2).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Ce scénario considère qu'un incendie prend naissance dans le local SDS, incendie mettant en contact l'ensemble des inventaires en tritium du local. Le système d'entreposage et de distribution tritium (SDS) est constitué de lits d'hydrures dont l'objectif est d'adsorber du tritium gazeux compris dans les différents circuits en vue de leur utilisation ultérieure. Les lits d'hydrures sont intrinsèquement sûrs. Néanmoins, un incendie serait susceptible de mobiliser l'inventaire de tritium gazeux qui n'est pas encore dans les lits et, en cas de non isolement des vannes d'isolation, serait susceptible d'impliquer un inventaire plus important que celui retenu pour les études d'accidents.

Les dispositions de prévention de ce scénario reposent sur :

- la prévention du risque d'incendie et la limitation du potentiel calorifique des locaux (armoires électriques mises dans un local séparé du local SDS par une paroi coupe-feu, utilisation de câbles difficilement inflammables, chemins de câbles fermés),
- la limitation dans des secteurs de feu spécifiques des inventaires de tritium à des valeurs ne pouvant pas créer d'effet falaise.

Néanmoins, pour ce scénario, la perte de l'ensemble de ces dispositions de prévention est considérée.

Une autre disposition consiste à isoler le tritium dans les tuyauteries, équipées de vannes d'isolement multiples et redondantes permettant de limiter l'inventaire en tritium mobilisable le plus bas possible, inférieur ou égal à celui retenu pour les études d'accidents.

Un effet falaise peut être évité si d'une part l'incendie reste sectorisé dans les locaux du circuit SDS (la fermeture passive des clapets coupe-feu des locaux SDS limiterait la durée de feu à une valeur inférieure à celle de la tenue de la sectorisation incendie), d'autre part les vannes d'isolement du tritium du circuit SDS se ferment (fermeture passive sur manque de tension) dans l'ensemble des locaux SDS. En outre, la dernière barrière de confinement permet de confiner les matières radioactives de façon statique.

Les vannes d'isolement des tuyauteries de procédés du circuit SDS, la sectorisation incendie (clapets coupe-feu des locaux SDS) et la dernière barrière de confinement sont des éléments essentiels requis au titre de ce scénario.

Equipements essentiels

Equipements essentiels requis dans le scénario 4

Vannes d'isolement du circuit SDS

Sectorisation incendie des locaux SDS (clapets coupe-feu fermés sur manque de tension)

Dernière barrière de confinement statique (génie civil et portes) et organes d'isolement des traversées du génie civil (fermées sur manque de tension)

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

Néanmoins, bien que non requise au titre de ce scénario, l'extinction incendie pourrait être utilisée au titre de la défense en profondeur, puisque l'incendie généralisé dans le bâtiment tritium abordé lors de l'examen du scénario 12 requiert parmi les équipements essentiels l'extinction incendie.

3.2.2 Explosions

3.2.2.1 Scénario 5 : Explosion au sein du système de séparation isotopique (ISS)

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est redouté l'explosion des isotopes d'hydrogène du système ayant le plus grand inventaire en tritium gazeux, le système de séparation isotopique (ISS).

Etats initiaux :

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Phase de maintenance (mode 1),
- Phase de maintenance lourde avec transfert de composants (mode 2).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Une explosion au sein du système de séparation isotopique pourrait conduire à un rejet significatif à l'environnement.

Plusieurs conditions doivent être réunies pour obtenir une explosion H₂ :

- la fuite d'un isotope d'hydrogène dans un volume contenant de l'air suite à une défaillance de la boîte froide et une défaillance de l'enveloppe métallique contenant les isotopes d'hydrogène.
- une concentration en H₂ localisée supérieure à 4%.

La prévention d'une déflagration au sein du système de séparation isotopique est assurée par :

- la qualité de réalisation de la double enveloppe autour de l'hydrogène : enveloppe métallique et barrière thermique assurée par la circulation de l'hélium cryogénique,
- une détection précoce de l'entrée d'air dans l'espace entre enveloppes permettant un arrêt rapide des opérations sur le système de séparation isotopique,
- une absence d'atteinte d'atmosphère explosible si l'ensemble de l'inventaire du système était relâché dans les locaux de façon homogène (concentration maximale homogène inférieure à 4%),
- un système de brassage continu de l'atmosphère localisé au plus proche des circuits permettant l'absence de zone morte dans le local,
- une qualification au séisme SL-2 de l'ensemble des moyens décrits ci-dessus.

Dans le cadre du dimensionnement des installations, ce système de brassage est alimenté par une alimentation électrique ininterrompue qui est prise en secours par des diesels de secours (diesels voies A et B redondants, classés sismique et séparés géographiquement, et protégés des risques d'inondation) et par des batteries de secours indépendantes et redondantes d'autonomie 4 heures.

En cas de perte de ces diesels de secours et de ces batteries de secours, et donc de perte totale de l'alimentation électrique prévue pour le dimensionnement, ce système de brassage est alimenté par d'autres batteries d'ultime secours d'autonomie 2 heures, laissant tout le temps à une connexion d'un

groupe électrogène d'ultime secours basé sur le site ITER et protégé contre un séisme supérieur au SL-2 et des risques d'inondation.

La limitation des conséquences d'une explosion est assurée par un dimensionnement du local du système de séparation isotopique (ISS), des couloirs (dernière barrière statique du bâtiment) pour résister aux effets d'une déflagration de l'ensemble de l'inventaire du système de séparation isotopique (ISS), ainsi que par la fermeture des vannes d'isolement sur les entrées et sorties d'air du circuit général de ventilation du bâtiment tritium et des autres traversées mécaniques de fluide.

L'état sûr est atteint si le système de brassage reste opérationnel. Ce système de brassage et son alimentation électrique d'ultime secours font partie des équipements essentiels.

Même si les bâtiments n'entrent pas dans l'atteinte de l'état sûr tant que le système de brassage reste opérationnel, dans un souci de défense en profondeur, il a été considéré que la dernière barrière de confinement statique (résistance mécanique du local ISS, confinement statique externe du bâtiment tritium, ses portes et ses traversées allant vers l'extérieur) devait être requise en cas de sur-accident lié à la défaillance du système de brassage.

Par ailleurs, les locaux contenant les composants de l'ISS sont dimensionnés à une surpression relative due à l'explosion de l'inventaire totale en hydrogène.

Equipements essentiels

Equipements essentiels requis dans le scénario 5

Système de brassage spécifique du local et son alimentation électrique (batteries et groupe électrogène fixe)

Résistance mécanique du local du système de séparation isotopique (ISS)

Confinement statique du bâtiment tritium (génie civil et portes), y compris les couloirs, et les vannes d'isolement des traversées externes du bâtiment tritium (fermées sur manque de tension)

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.2.2 Scénario 6 : Explosion dans le bâtiment des cellules chaudes couplée à une perte de la détritiation (DS)

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est redouté l'explosion du four du système de récupération du tritium dans les cellules chaudes, couplé à une perte de la détritiation des locaux.

Etats initiaux :

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Phase de maintenance (mode 1),
- Phase de maintenance lourde avec transfert de composants (mode 2).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Ce scénario est dimensionnant au regard des effets de surpression dans le bâtiment des cellules chaudes.

Dans ce scénario, exclu par conception (via la mise en place de plusieurs lignes de défense indépendantes décrites ci-après), il est postulé une explosion dans le four du système de récupération du tritium (situé dans le bâtiment des cellules chaudes) provenant du dégazage des matières métalliques tritiées, couplée à une défaillance du système de détritiation des locaux.

Les dispositions de prévention d'un tel scénario sont :

- Au regard des risques d'explosion :
 - la limitation de la quantité de matières à détritier dans le four, réduisant ainsi la quantité d'hydrogène libérables dans le four (quelques moles au maximum),
 - l'inertage du four et des volumes susceptibles d'être chargés en atmosphères explosibles,
- Au regard de la défaillance de la détritiation :
 - un système de détritiation robuste, redondant,
 - l'application de critères stricts de séparation géographique et de ségrégation du système et de ses systèmes supports,
 - une limitation des défaillances de mode commun.

L'explosion du four est postulée de façon déterministe dans ce scénario. De même, la perte du système de détritiation, postulée en conditions initiales du scénario, est un aggravant au regard des conséquences radiologiques.

Les dispositions de limitation des conséquences de cette situation sont :

- le faible inventaire dans le four en atmosphère explosible ne créant que de faibles effets de surpression dans le local en cas de perte des dispositions de prévention,
- le confinement statique adéquat du local des cellules chaudes dans lequel le four est implanté et de celui des locaux adjacents.

Il est à signaler que, compte tenu de la limitation des matières à détritier dans le four, l'inventaire explosible serait faible, ce qui limiterait fortement les effets d'une explosion à des valeurs du même ordre de grandeur que celles obtenues pour un incendie enveloppe dans le local et n'engendrerait que de faibles conséquences structurelles.

Ainsi, l'état sûr serait atteint uniquement en préservant une barrière de confinement statique, et ses traversées notamment de ventilation. Compte tenu d'un inventaire principalement de type « aérosols », les filtres à très haute efficacité du dernier niveau de filtration, non soumis à une quelconque agression par l'explosion, peuvent également s'avérer nécessaires pour limiter les rejets pendant les premiers instants de l'explosion. Rappelons ici, que compte tenu de l'innocuité de l'explosion au regard du dimensionnement de la première barrière de confinement (les cellules chaudes), plusieurs barrières de confinement statiques restent disponibles pour maîtriser la situation et rejoindre l'état sûr.

Equipements essentiels

Equipements essentiels requis dans le scénario 6

Confinement statique du local des cellules chaudes (génie civil et portes)

Vannes d'isolement des traversées du local des cellules chaudes

Dernier niveau de filtration THE des systèmes de ventilation

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.2.3 Scénario 7 : Explosion liée au risque de radiolyse dans la cuve de stockage des résines usées ou de concentrats du bâtiment de traitement des déchets radioactifs couplée à une perte de ventilation

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est redouté l'explosion d'une cuve de stockage des résines usées ou de concentrats dans le bâtiment de traitement des déchets radioactifs, en parallèle à la perte du système de ventilation de ce bâtiment.

Etats initiaux :

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Phase de maintenance (mode 1),
- Phase de maintenance lourde avec transfert de composants (mode 2).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,

- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Ce scénario, dimensionnant en termes de conséquences le bâtiment de traitement des déchets radioactifs, correspond à une explosion dans la cuve de stockage de résines usées ou de concentrats.

Les dispositions de prévention de ce scénario sont :

- un très faible inventaire en matière radiolysable dans la cuve de stockage de résines usées,
- un balayage du ciel de cuve permettant de limiter la création d'atmosphères explosibles.

Au regard de la perte de la ventilation du local, la principale disposition de prévention consiste en une redondance des voies de ventilation, une séparation physique entre les voies et une limitation des défaillances de mode commun.

Néanmoins, dans ce scénario, il est postulé que non seulement toutes les dispositions de prévention d'atteinte d'une atmosphère explosible auraient été perdues, mais également celles liées à la limitation des conséquences (perte de la ventilation).

Les dispositions de limitation des conséquences sont associées au confinement statique du local contenant la cuve du bâtiment de traitement des déchets radioactifs et du dernier niveau de filtration THE du système de ventilation du bâtiment de traitement des déchets radioactifs.

Il est toutefois à noter que, compte tenu de phénomènes de radiolyse très lents, l'atteinte de conditions explosibles à l'intérieur du réservoir ne serait obtenue qu'après plusieurs mois la perte de la ventilation, en ne considérant aucune évacuation des gaz produits. En ouvrant sous 3 mois une simple vanne permettant l'évacuation de l'hydrogène, les conditions explosibles seraient totalement exclues. Même sans ouvrir cette simple vanne, les conditions de diffusion de l'hydrogène dans l'air permettraient d'évacuer naturellement l'hydrogène produit et donc de limiter les risques d'explosion.

Dans tous les cas, le confinement statique du local de la cuve de stockage des résines usées et les vannes d'isolement des traversées du local permettent d'atteindre l'état sûr.

Equipements essentiels

Equipements essentiels requis dans le scénario 7

Vanne d'échappement de la ventilation procédé (position de sécurité ouverte)

Confinement statique (génie civil, traversées et portes) du local de la cuve de stockage des résines usées ou de concentrats

Dernier niveau de filtration THE des systèmes de ventilation

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.3 Risques d'effets-falaise associés à une augmentation significative du niveau d'exposition

3.2.3.1 *Scénario 8 : Accident entraînant le transfert de produits d'activation vers le réservoir de vidange de la chambre à vide (suite à un accident de catégorie IV à l'intérieur de la chambre à vide, VV ICEIV)*

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est redouté un accident de catégorie IV (entrée d'eau dans la chambre à vide) entraînant le transfert de produits d'activation vers le réservoir de vidange de la chambre à vide.

Etats initiaux :

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation pour lesquels la chambre à vide est sous vide et pour laquelle des systèmes de refroidissement sont utilisés :

- Phase plasma (mode 0),
- Début de la phase de maintenance courte (mode 1).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

En cas d'entrée d'eau dans l'enceinte à vide, la surpression occasionnée dans l'enceinte à vide se décharge dans le réservoir de décharge de l'enceinte à vide située au 5^{ème} étage du bâtiment tokamak. Le tritium et les poussières activées mobilisables et contenus dans l'enceinte à vide se retrouvent dans le réservoir de vidange VVPSS. Le zonage radiologique du local contenant le VVPSS devient rouge. Les galeries extérieures au local de ce réservoir sont susceptibles de devenir orange.

Afin de permettre la gestion post accidentelle et autoriser l'accès du personnel à l'extérieur de ce local, des vannes sur le réservoir de décharge sont ouvertes afin de drainer l'eau contaminée du réservoir vers un autre réservoir de drainage situé dans un autre local, dénommé « local de drainage », situé au niveau au 2^{ème} sous-sol du bâtiment tokamak (étage B2). L'actionnement de ces vannes se trouve dans un local déporté, protégé des conditions d'irradiation. En cas de fuite du réservoir dans le local, il est également possible d'utiliser le drainage gravitaire du local de ce réservoir vers le local du réservoir de drainage.

Une fois le drainage du réservoir effectué vers le local de drainage (équipé de cuves de collecte et de protection radiologique adéquate), le débit de dose du local VVPSS diminue fortement mais l'intérieur du local demeure irradiant via les dépôts résiduels sur les cuves et tuyauteries. En revanche, les parois et porte du local VVPSS permettent de réduire le débit de dose (dus à ces dépôts résiduels) à des valeurs permettant l'accès du personnel dans l'ensemble des autres locaux du bâtiment.

Le local de drainage est équipé d'une protection biologique suffisante pour maintenir un zonage compatible avec l'accès prolongé du personnel.

Les galeries restent ainsi accessibles, y compris à l'extérieur du local de drainage recevant les produits d'activation, et les conditions permettant de rejoindre l'état sûr au regard des risques d'exposition externe sont atteintes.

Les équipements permettant de rejoindre l'état sûr sont ainsi les vannes de drainage, leur actionnement déporté et la protection radiologique procurée par les parois et portes des locaux VVPSS et de drainage.

Il convient cependant de noter que dans de telles situations, aucune présence humaine n'est requise dans les locaux adjacents pendant ces phases d'accident et que donc les dispositions ne sont mises en place qu'au titre de la défense en profondeur.

Equipements essentiels

Equipements essentiels requis dans le scénario 8

Vannes de drainage du local VVPSS et actionnement manuel associé et déporté

Protection radiologique apportée par les parois du local de drainage et du local VVPSS

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.4 Risques d'effets-falaise associés à une possible atteinte de la nappe phréatique

3.2.4.1 Scénario 9 : Rupture de cuve de stockage des résines usées ou de concentrats

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est redouté la perte du confinement d'une cuve de stockage de résines usées ou de concentrats située au sous-sol du bâtiment de traitement des déchets radioactifs et son déversement sur le sol du local. Le risque identifié serait ainsi l'atteinte hypothétique de la nappe phréatique.

Etats initiaux

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Phase de maintenance (mode 1),
- Phase de maintenance lourde avec transfert de composants (mode 2).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Dans ce scénario, il est postulé la perte du confinement d'une cuve de stockage de résines usées située au sous-sol du bâtiment de traitement des déchets radioactifs et son déversement sur le sol du local, entraînant un risque d'atteinte hypothétique de la nappe phréatique.

Il est également postulé que les moyens de pompage actif permettant de récupérer le liquide déversé sur le sol pour le transférer vers une autre cuve ne sont pas opérationnels.

Les moyens permettant de prévenir cette situation sont :

- une haute qualité de conception des équipements de stockage des déchets avec concentrats ou résines usées (acier inoxydable),
- la mise en place de piquages uniquement en partie haute des cuves, permettant d'éviter une vidange complète des cuves,
- la mise en place d'un cuvelage de rétention sous les cuves, (100% du volume de la cuve, ou 50% du volume total de l'ensemble des cuves).

Le cuvelage de rétention permet d'éviter tout transfert de liquide vers la nappe phréatique et permet donc d'atteindre l'état sûr au regard de la protection de la nappe phréatique.

Une barrière de confinement statique (y compris les organes d'isolement des traversées), permet d'atteindre l'état sûr au regard de la dispersion de matières radioactives sous formes gaz/aérosols.

Equipements essentiels***Equipements essentiels requis dans le scénario 9***

Cuvelage de rétention sous les des cuves de résines usées ou de concentrats du bâtiment de traitement des déchets radioactifs

Barrière de confinement du local des cuves de résines ou de concentrats (génie civil et portes), et organes d'isolement des traversées (fermées lors de manque de tension)

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.5 Risques d'effets-falaise associés à des effets liés au site

3.2.5.1 *Scénario 10 : Etude d'une inondation externe liée à une pluie centennale cumulée à un séisme provoquant la rupture des capacités liquides*

Même si les conséquences de ce scénario ne sont pas très importantes, ce scénario a été retenu au regard des conséquences liées aux aspects « site » et à l'examen des actions potentielles induites par les niveaux d'inondation atteints.

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est redouté une pluie centennale du site, majorée de 20%, cumulée à un séisme entraînant la rupture de l'ensemble des ouvrages d'eau du site et à la perte des systèmes d'évacuation des eaux pluviales (par exemple en cas de bouchage).

Cette situation, également demandé par le courrier ASN CODEP-DRC-2012-024230 du 11 juin 2012, est décrite au paragraphe 6.2.3 du présent rapport. La rupture de canal de Provence, situé à proximité du site, est analysée au chapitre 6.2.2 du présent rapport et montre que la rupture de ce canal est couverte par le scénario exposé dans ce paragraphe.

Etats initiaux :

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Phase de maintenance (mode 1),
- Phase de maintenance lourde avec transfert de composants (mode 2).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Ce scénario postule une pluie centennale majorée de 20%, cumulée à un séisme entraînant la rupture de l'ensemble des ouvrages d'eau du site :

- canalisations d'eau potable (station en eau potable avec capacité de 11 500 m³ située sur le centre CEA de Cadarache en hauteur par rapport à la plate-forme),
- canalisations d'eau d'incendie (besoins de 180 m³/h, compris dans les réserves d'eau potable)
- circuits de refroidissement avec tours aéroréfrigérantes (bassin tampon de 20 000 m³, en dessous du niveau de la plate-forme),
- canalisations du canal de Provence (SCP) (avec un débit de 6100 m³/h),
- circuit de d'eau industrielle (capacité maximale inférieure à 1000 m³).

Le bon fonctionnement du système d'évacuation des eaux pluviales, conçu pour évacuer la pluie centennale, avec une marge de 20%, permettrait de limiter à seulement quelques centimètres, de façon transitoire, le niveau d'eau sur la plate-forme située à 315.20 m NGF. Néanmoins, compte tenu de risques de bouchage possible de cette canalisation, il est également considéré l'indisponibilité des canalisations d'évacuation des eaux pluviales.

Cette situation de perte du réseau d'évacuation des eaux pluviales, de perte des ouvrages d'eau du site et de pluie centennale majorée de 20% n'entraînerait :

- une augmentation, de façon transitoire, que de quelques dizaines de cm par rapport au point bas de la plate-forme,
- qu'une hauteur de 315.19 m NGF, soit 1 cm au-dessous de la côte des seuils d'entrée des bâtiments nucléaires ou contenant des équipements classés de sûreté.

Le caractère favorable du niveau d'eau sur la plate-forme en dessous des seuils d'entrée des bâtiments est rendu possible de par la situation haute de la plate-forme au regard des terrains avoisinants et de par les écoulements naturels via toutes les voies d'accès à la plate-forme. Quand bien même l'eau entrerait dans les bâtiments, la mise en état sûr préalable de l'installation permettrait d'éviter toute dispersion de matières radioactives.

Aucune action ne serait nécessaire au regard de la hauteur d'eau atteinte sur la plate-forme dans cette situation d'inondation extrême.

Cette situation n'aurait ainsi aucune conséquence sur la sûreté (niveau d'eau inférieur au seuil d'entrée des bâtiments, mise en arrêt sûr de l'installation, encuvement étanche des bâtiments, faible hauteur transitoire d'eau ...) et donc n'entraînerait aucun effet falaise.

Aucun équipement n'est essentiel pour la maîtrise d'une telle situation.

Equipements essentiels requis dans le scénario 10

Aucun

Aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

Ces situations d'inondation sont développées plus largement au chapitre 5 (risques d'inondation) et au chapitre 6 (risques d'inondation cumulés à un séisme).

3.2.6 Scénario de cumuls de situations accidentelles sans effet falaise

3.2.6.1 *Scénario 11 : Cumul de situations accidentelles dans le bâtiment tokamak*

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est postulé, au cours d'une situation de séisme supérieur au SL-2, la prise en compte de multiples situations accidentelles qui ne présentent pas d'effet falaise quand elles sont prises de manière indépendante, afin de démontrer le caractère robuste de l'installation :

- Accident de perte de fluide cryogénique dans le cryostat et dans les galeries,
- Accident de perte de vide de la chambre à vide,
- Accident de ruptures multiples de circuits de refroidissement dans la chambre à vide, les cellules de traversées et le « vault ».

Etats initiaux

Ce scénario est postulé pendant la phase de plasma (mode 0) seul mode combinant la nécessité d'utilisation des circuits pour lesquels une rupture est postulée.

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Dans ce scénario, il est postulé que les accidents suivants se produisent en parallèle :

- Accident de rupture de circuits cryogéniques dans le cryostat,
- Accident de rupture de circuits cryogéniques dans les galeries,
- Accident de rupture de traversées de vide de la chambre à vide,
- Accident de ruptures multiples de circuits de refroidissement dans la chambre à vide, les cellules de traversées et le « vault »,
- Défaillance du cryostat,
- Défaillance de la ligne de décharge vers le VVPSS.

Ce scénario combine plusieurs accidents de nature diverse mais qui peuvent occasionner des chargements mécaniques sur l'installation et des rejets radioactifs.

Il convient cependant de noter que l'ensemble des équipements pour lesquels un accident est postulé résistent à un séisme SL-2 et que chacun de ces scénarios pris seul est rendu très improbable via plusieurs

lignes de défense en profondeur. De ce fait, le seul initiateur possible serait un séisme très supérieur au séisme de dimensionnement SL-2.

L'explosion dans la chambre à vide pourra être évitée par la présence d'eau et de vapeur d'eau dans la chambre à vide via la rupture des tuyauteries de refroidissement, ce qui empêcherait les conditions de l'explosion.

Ce scénario se traduit par une augmentation des conditions de pression dans les galeries, dans le vault, le cryostat, la chambre à vide, la cellule des injecteurs de neutre et les cellules de traversées par rapport aux conditions de pression calculées pour chacun des scénarios pris séparément. Seule la galerie serait susceptible d'être pressurisée au-dessus de la valeur pour laquelle une étanchéité est spécifiée. En effet, les pressions dans les autres compartiments (vault, NB cell, chambre à vide, cellules de traversées) resteraient inférieures à celles de leur dimensionnement. De ce fait, en cas de fuite d'une quelconque traversée entourant la chambre à vide, ces fuites sont collectées dans une barrière de confinement statique gardant ses exigences, ce qui ne conduira pas à un effet falaise. La chambre à vide n'est donc pas un équipement essentiel dans le cadre de ce scénario.

Il convient également de noter que l'inventaire en matières radioactives (tritium et produits de corrosion activés) dans les différents circuits de refroidissement (y compris à partir d'une rupture de tronçons de tuyauterie protégée) est très sensiblement inférieur à celui de la chambre à vide (de plusieurs ordres de grandeur) et n'occasionnerait pas d'effet falaise si cet inventaire était relâché dans les galeries.

Pour éviter un effet falaise, il est nécessaire d'éviter une dispersion des matières radioactives contenues dans la chambre à vide et/ou dans les galeries en parallèle d'une pressurisation forte des galeries, pressurisation pouvant être créée par la rupture des différents circuits cryogéniques.

Vis-à-vis de ce scénario, il est retenu une approche graduée de qualification sismique des équipements et d'appliquer une qualification des lignes cryogéniques inférieures à celle des lignes avec matières radioactives :

- les circuits cryogéniques seront qualifiés à un séisme SL-2, avec une marge d'environ 10%,
- les lignes qui feraient transiter l'inventaire de la chambre à vide dans les galeries seront qualifiées à un séisme bien supérieur à celui de SL-2 (marge d'environ 50%). Le seul système, conçu pour faire transiter l'inventaire de la chambre à vide en cas de situation accidentelle et ouvert sur la chambre à vide, est la ligne de décharge du VVPSS. Seule cette ligne de décharge VVPSS fait ainsi partie des équipements essentiels.

De ce fait, les conséquences dépendraient du niveau de séisme :

- pour des séismes inférieurs à un séisme SL-2, avec marge de 10%, ce type de situation ne serait pas à craindre,
- pour des séismes compris entre une plage de marges de 10 à 50% au-dessus du séisme SL-2, seule une pressurisation des galeries est à craindre, sans relâchement de matières radioactives susceptible de conduire à un effet falaise.
- L'effet falaise serait théoriquement possible pour un séisme supérieur à 1,5 fois un séisme SL-2. Cependant, dans un tel cas, puisque les systèmes cryogéniques sont dimensionnés pour des séismes inférieurs à ceux des lignes connectées à la chambre à vide situées dans les galeries, il est crédible de postuler que ces lignes cryogéniques se déchargent dans les galeries avant la ligne de décharge connectée à la chambre à vide. De ce fait, l'effet falaise pourrait également être évité, même pour les séismes légèrement supérieurs à 1,5 fois un séisme SL-2.

Ainsi, seule la partie de ligne de décharge située entre la connexion de la ligne de décharge VVPSS sur les injecteurs de neutre et le réservoir de décharge VVPSS est susceptible de conduire à un effet falaise et est considérée parmi les équipements essentiels.

Par ailleurs, l'occurrence d'un déplacement vertical de catégorie 2 combinée à un séisme supérieur à celui de dimensionnement créerait des chargements mécaniques verticaux plus importants que prévu dans le dimensionnement du supportage du cryostat. Les efforts mécaniques induits par un séisme exerçant des efforts égaux à 1,5 SL-2, un déplacement vertical, les chargements en pression et température induits par des ruptures de tuyauterie de vide et de tuyauteries d'eau de refroidissement seraient de :

- $F_x \text{ max} = F_{y \text{ max}} = 11,18 \text{ MN}$
- $F_z \text{ max} = 37,25 \text{ MN}$

Dans ce dernier scénario pour lequel il est postulé un séisme exerçant des efforts égaux à 1.5 SL-2 en plus des ruptures de tuyauteries, la capacité de résistance du supportage du cryostat reste justifiée au regard de ces chargements avec une marge d'un facteur 1.05. Il convient de noter que ce calcul a été effectué de manière conservatrice : les forces exercées par la rupture de tuyauteries cryogéniques dans les galeries a été négligée car s'exerçant de façon favorable aux efforts. Si cette force devait être considérée, la marge passerait de 1.05 à 1.15. Le supportage du cryostat ne fait donc pas partie des équipements essentiels.

Il convient enfin de rappeler que ce scénario ne conduira pas à des rejets radioactifs importants, et donc à un effet falaise, les premières barrières de confinement étant préservées dans ce scénario. Les doses reçues par les populations les plus proches seront très inférieures à 10 mSv.

Equipements essentiels

Equipements essentiels requis dans le scénario 11

Ligne de décharge du VVPSS à partir de connexion de la ligne VVPSS sur l'équipement des injecteurs de neutre jusqu'au réservoir VVPSS
Dernière barrière de confinement, bâtiment tokamak, cellules de traversées et local « NB cell », et leurs traversées et organes d'isolement

De ce fait, l'effet falaise serait évité pour toutes les situations de séisme considérées.

3.2.6.2 Scénario 12 : Cumul d'incendie dans les locaux procédés du bâtiment tritium

Scénario redouté

Dans ce scénario, il est postulé des incendies simultanés dans les locaux du bâtiment tritium.

Etats initiaux

Ce scénario est susceptible de se dérouler dans l'ensemble des états de l'installation :

- Phase plasma (mode 0),
- Phase de maintenance (mode 1),
- Phase de maintenance lourde avec transfert de composants (mode 2).

Etat sûr à atteindre

Dans le cadre de l'analyse des situations à effet falaise, l'état sûr est un état stable et contrôlé de l'installation, atteint à la fin du scénario accidentel et pouvant être maintenu de façon durable de manière à garantir la fonction de confinement des matières radioactives et pour lequel :

- la dernière barrière de confinement reste assurée pour protéger l'environnement et le public,
- l'énergie libérée lors du scénario décroît de façon naturelle,
- les matières dangereuses situées dans l'installation sont confinées dans l'installation,
- les doses induites par le scénario sur les plus proches populations n'induisent pas la mise en place de contre-mesures que limitées dans le temps et l'espace,
- la nappe phréatique n'est pas polluée.

Description du scénario

Il est postulé que simultanément se produisent des incendies dans les différents locaux procédés du bâtiment tritium.

Dans ce cas, l'ensemble des organes de sectorisation incendie se fermeraient. Ceci concerne en particulier les clapets coupe-feu au soufflage qui se ferment de différentes façons possibles dont une de façon passive sur fusible de température. De ce fait, l'apport en comburant serait limité, ce qui limiterait à moins de 2 heures la durée de feu et qui permettrait à la sectorisation incendie de maintenir son efficacité de façon passive.

De plus, le système d'extinction incendie s'activerait de façon passive (réseau de têtes activées sur fusible thermique dans les locaux) sur un critère d'augmentation de la température dans le local. Chaque tête de ce système est initialement pressurisée et de l'eau d'incendie serait déversée de façon passive sur les équipements en feu, sans avoir recours à un équipement actif. Les réserves d'eau nécessaires sont localisées à l'extérieur du bâtiment tritium (situées à l'est du bâtiment – volume de 250 m³) et sont conçues pour tenir au séisme à considérer. En revanche, pour maintenir l'extinction pendant un temps suffisant permettant l'extinction du feu, des moyens actifs sont nécessaires. De ce fait, les pompes hydrauliques du système d'extinction incendie seront reprises par le diesel d'ultime secours.

En outre, l'inventaire en tritium est limité dans chacun des secteurs de feu de manière à ne pas impliquer de grosses quantités de tritium lors d'incendie. De plus, chacun de ces secteurs de feu a une exigence de confinement statique, et est enveloppé par les murs externes et traversées du bâtiment tritium assurant également une exigence de confinement statique.

Les rejets radioactifs seraient alors extrêmement limités et ne conduiraient pas à des effets-falaise.

Equipements essentiels**Equipements essentiels requis dans le scénario 12**

Sectorisation incendie des locaux « procédés » du bâtiment tritium

Confinement statique des locaux procédés tritium et du bâtiment tritium (génie civil et portes), ainsi que leurs traversées et vannes d'isolement

Système d'extinction incendie des locaux du bâtiment tritium (y compris les réserves d'eau)

Sur la base du bon comportement des équipements essentiels susmentionnés, aucun effet falaise n'est associé à cette situation.

3.2.7 Conclusion

L'étude de ces 12 scénarios montre que, sous réserve du fonctionnement adéquat des structures et équipements essentiels identifiés pour chacun des scénarios, aucun n'entraîne d'effet falaise au regard des risques radiologiques ou de pollution de la nappe phréatique.

3.3 DEFINITION DES STRUCTURES ET ÉQUIPEMENTS ESSENTIELS

L'occurrence d'un effet falaise est généralement prévenue par plusieurs dispositions qui sont chacune suffisantes pour l'éviter. Les dispositions présentées dans les paragraphes suivants ne sont donc pas toutes indispensables simultanément.

Les fonctions importantes pour la sûreté identifiées sur l'installation ITER et spécifiques à l'évaluation complémentaire de sûreté au regard de l'accident survenu à Fukushima Daiichi sont les suivantes :

- le confinement des matières radioactives au regard des risques d'exposition des membres du public et de l'environnement,
- la limitation de l'exposition externe.

Les structures et équipements essentiels identifiés sont :

- Au regard des risques de perte du confinement :
 - Les équipements de mitigation du risque explosion (Igniteurs) et leurs équipements électriques support (batteries d'ultime secours puis groupe d'ultime secours si les igniteurs sont électriques) – scénario 1,
 - Dernière barrière de confinement (génie civil et portes externes) du bâtiment tokamak, du bâtiment tritium (y compris les couloirs) – scénarios 1, 2, 4, 5, 11, 12
 - Organes d'isolement du bâtiment/local (position fermée sur manque de courant) – scénarios 1, 2, 4, 5, 11, 12
 - Organes d'isolement des lignes entrant dans la chambre à vide – scénario 1,
 - Vannes et obturateur de la chambre à vide – scénario 2,
 - vannes d'isolement des traversées des lignes d'injection/soutirage de tritium – scénario 3,
 - Sectorisation incendie des locaux « procédés » du bâtiment tritium – scénarios 4 et 12,
 - Vannes d'isolement du circuit SDS – scénario 4,
 - Système de brassage spécifique du local du système de séparation isotopique (ISS) et son alimentation électrique interrompue – scénario 5,
 - Résistance mécanique des structures de génie civil du local du système de séparation isotopique (ISS) – scénario 5,
 - Confinement statique du local du système TRS des cellules chaudes- scénario 6,
 - Dernier niveau de filtration THE des systèmes de ventilation du bâtiment des cellules chaudes et du bâtiment de traitement des déchets radioactifs – scénarios 6 et 7,
 - Vannes d'isolement des traversées du local des cellules chaudes – scénario 6,

- Vannes d'échappement (ouvertes sur manque de tension) des cuves de procédé – scénario 7,
- Confinement statique du local de la cuve de stockage de résines usées/concentrats du bâtiment de traitement des déchets radioactifs – scénario 7,
- Ligne de décharge du VVPSS à partir de connexion de la ligne VVPSS sur l'équipement des injecteurs de neutre jusqu'au réservoir VVPSS – scénario 11,
- Système d'extinction incendie des locaux du bâtiment tritium (y compris les réserves d'eau) – scénario 12.
- Au regard de l'exposition externe (scénario 8) :
 - Les vannes de drainage du VVPSS vers les réservoirs de drainage,
 - Les parois du local VVPSS et du local de drainage,
- Au regard de la pollution de la nappe phréatique (scénario 9) :
 - Cuvelage de rétention sous les des cuves de résines et concentrats du bâtiment de traitement des déchets radioactifs,
 - Dernière barrière de confinement du bâtiment déchets, y compris les organes d'isolement des traversées (fermées lors de manque de tension)
- Au regard des aspects d'inondation du site : aucun.

Les agresseurs potentiels des équipements essentiels identifiés sont :

- Pour l'ensemble des équipements, un séisme supérieur au séisme de dimensionnement SL-2,
- Pour les équipements essentiels actifs, une perte de très longue durée des sources d'alimentation électrique.

L'inondation (cf. scénario 10 et chapitres 5 et 6) n'induit pas d'effet falaise sur l'installation ITER.

Afin de protéger les équipements essentiels contre ces agressions, ITER a prévu de mettre en œuvre les dispositions suivantes :

- le maintien dans toutes les situations d'une dernière barrière de confinement robuste, interposée entre les matières radioactives et l'environnement. Le niveau d'étanchéité de cette barrière est susceptible d'être dégradé dans ces conditions extrêmes au regard des conditions initiales de dimensionnement, mais l'intégrité de la barrière sera maintenue de sorte à limiter les rejets de matières radioactives pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, avec une marge minimale de 50% ;
Par ailleurs, il est retenu une approche graduée de qualification sismique des équipements et d'appliquer une qualification des lignes cryogéniques inférieures à celle des lignes avec matières radioactives. Ainsi les circuits cryogéniques seront qualifiés à un séisme de type SL-2, avec une marge d'environ 10%.
- la protection des équipements essentiels contre toutes les agressions internes et externes extrêmes de sorte à les maintenir disponibles dans toutes les situations ;
- une résistance mécanique des équipements de structure pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, une marge de 50% est actuellement prévue à cet égard ;

- une exigence de maintien de l'intégrité des équipements essentiels ayant une fonction de confinement des matières radioactives, pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, avec une marge de 50% ;
- La mise en place de batteries d'ultime secours avec une autonomie de 2 heures, qualifiées pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, avec une marge de 50%, permettant de raccorder les équipements essentiels nécessitant une alimentation interrompue ;
- La mise en place d'un groupe électrogène fixe de secours supplémentaire (ultime secours), déjà disponible sur le site d'ITER et protégé des risques d'inondation (localisation à plus de 0,2 m au-dessus du niveau de la plate-forme, valeur suffisante au regard de la rupture de l'ensemble des canalisations du site et de l'occurrence d'une pluie centennale), d'agressions climatiques externes et de séisme. Ce groupe électrogène sera connectable, via des câbles de secours disponibles, à l'ensemble des équipements essentiels nécessitant une alimentation électrique après la période de 2 heures d'autonomie des batteries électriques et à ceux liés à la prévention des accidents mentionnés dans ce chapitre. Ce groupe électrogène sera notamment utilisé pour faciliter l'intervention des équipes et la gestion post-accidentelle.

Les dispositions relatives à la disponibilité et l'acheminement de moyens mobiles, la gestion des relèves de personnel, l'approvisionnement de carburant pour les groupes électrogènes dans les situations dégradées liées à une agression naturelle de grande ampleur sont présentées au chapitre 8.3 de ce rapport, y compris lorsque cette agression naturelle affecte en même temps les installations avoisinantes du site de Cadarache.

4 SEISME

4.1 DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

4.1.1 Méthodologie pour évaluer le séisme de dimensionnement

Consécutivement à la création du Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires (SCSIN), une méthode spécifique de prise en compte de l'aléa sismique a été mise au point et formalisée en 1974 dans le DSN 50, resté le seul document de référence en matière de prise en compte du séisme pour la sûreté des installations nucléaires pendant des années.

Cette méthode conduit à définir un SMHV et un SMS (SMHV augmenté d'un niveau). La prise en compte de l'aléa sismique est devenue systématique à partir de la fin des années 1980.

Cette méthode a inspiré la rédaction de la première RFS sur ce thème, publiée en 1981. Suite à sa révision en 2001, de nouvelles prescriptions ont été ajoutées. Il s'agit notamment de la prise en compte de paléoséismes, séismes très anciens « supposés » qui sont identifiés, contrairement aux séismes historiques ou instrumentaux, à partir d'observations de terrain en l'absence de toute trace de témoignage humain.

Un paléoséisme est un événement sismique survenu dans un intervalle de temps de quelques dizaines de milliers d'années, au-delà de la période d'observation dite « historique » (environ 1000 ans), et qui a laissé des traces dans les formations géologiques les plus récentes (indice « paléosismique »). L'établissement du paléoséisme de référence pour un site donné est donc sujet aux découvertes de tels indices paléosismiques. Dans l'optique de proposer un aléa sismique « stable », l'approche suivie consistait à définir un paléoséisme « enveloppe ».

De par sa construction, la méthode strictement déterministe préconisée dans la RFS 2001-01 permet de dégager des marges quant à la sélection des événements de référence (SMHV et SMS) :

- déplacement « postulé » des événements historiques pour les ramener au plus près du site (qu'ils soient ou non rattachés à une faille identifiée),
- application d'une majoration de 0,5 sur la magnitude ou de 1 en intensité sur cet événement,
- pas de prise en compte de la « période de retour des séismes » qui induit de fait une marge dans les zones de faible et moyenne sismicité.

4.1.2 Caractérisation de l'aléa sismique à Cadarache et évolution

Dès les premières années d'existence du centre de Cadarache, un observatoire sismique a été créé et les réacteurs construits sur le Centre devaient être conçus en tenant compte du risque sismique. Ce risque a été considéré dès la conception des INB en considérant les recommandations AS55 de 1955 (établies suite au séisme d'El Asnam de 1954 en Algérie) puis sur les règles parasismiques de 1962 (PS62/64) et enfin celles de 1969 (PS69).

En parallèle, une esquisse de la carte sismotechnique de la Provence, centrée sur Cadarache, a été réalisée en 1974. Pour déterminer le SMHV, les séismes les plus forts déterminés dans un rayon de 40 km autour du site ont été pris en compte. Ceci conduisait à un spectre PGA¹ correspondant à une intensité de VIII, calé à 0,225g (magnitude évaluée entre 5 et 5,7 pour une profondeur variant de quelques kilomètres à 10 km). Pour le SMS correspondant (intensité de IX), le spectre du séisme proche était forfaitairement calé à 0,45 g.

L'application de la démarche formalisée dans le RFS 81 a permis de déterminer un SMHV d'intensité égale à IX MSK.

La réévaluation sismique produite lors de la parution de la RFS 2001-01 a conduit à retenir :

- deux couples de magnitude/distance pour le SMHV :
 - M=5,3 et R=7,1 km (« séisme proche »), correspondant au séisme de Manosque de 1708, translaté le long de la faille de la Moyenne Durance jusqu'à la position la plus pénalisante pour le Centre de Cadarache,
 - M=6,0 et R=16,5 km (« séisme lointain »), correspondant au séisme de Lambesc de 1909, survenu dans la faille de la Trévaresse, mais positionné de manière plus pénalisante pour le Centre de Cadarache, sur le chevauchement du Luberon,
- deux couples de magnitude/distance pour le SMS :
 - M=5,8 et R=7,0 km, correspondant à la majoration du séisme de Manosque 1708 translaté le long de la faille de Moyenne Durance,
 - M=6,5 et R=16,5 km, correspondant à la majoration du séisme de Lambesc 1909 translaté sur le chevauchement du Luberon,
- pour le paléoséisme, le couple magnitude/distance M=7 et R=18,5 km.

Afin de comparer ces distances à la notion de PGA, le séisme de Manosque translaté produit les valeurs du SMHV les plus pénalisantes :

- 0,24 g pour la condition de sol « sédiment »,
- 0,22 g pour la condition de sol « rocher ».

Pour l'enveloppe des SMS et paléoséisme, servant de référence pour le dimensionnement des installations neuves et les réexamens de sûreté :

- 0,34 g pour la condition de sol « sédiment »,
- 0,31 g pour la condition de sol « rocher ».

¹ PGA = Peak Ground Acceleration. Il s'agit de l'accélération maximale du sol qui correspond aussi à la valeur à haute fréquence des spectres de réponse. Cette notion permet de « caler » les spectres de réponse.

Il convient toutefois de considérer l'intégralité des spectres de réponses. Pour les hautes fréquences, le SMS est le plus pénalisant tandis qu'à basses fréquences, c'est le paléoséisme. Les spectres sont donnés en Figure 11.

A noter que le séisme de Lambesc positionné sur le chevauchement Luberon n'a pas d'incidence sur le spectre finalement retenu.

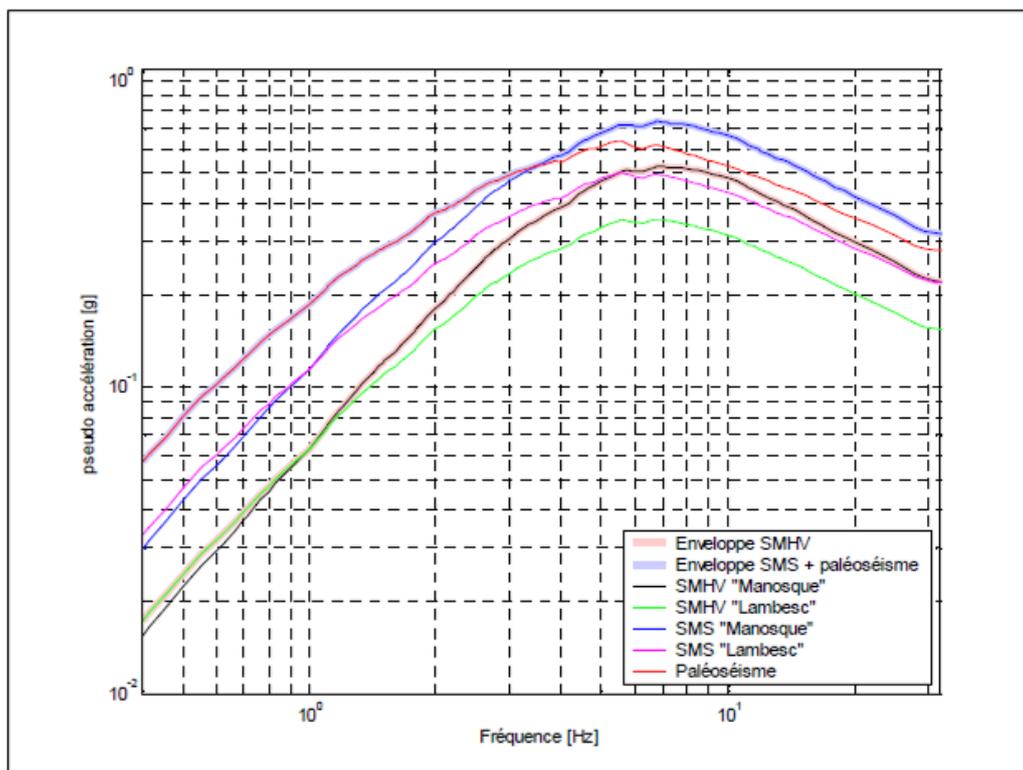


Figure 11 : Spectres de réponse (condition de site « rocher » à 5% d'amortissement) du référentiel « aléa sismique » du site ITER au 30 juin 2011

La magnitude fixée pour le paléoséisme de Cadarache a été établie selon les connaissances de la fin des années 1990. A cette époque, compte tenu de l'état de l'art, on ne disposait pas d'éléments suffisants pour connaître la géométrie de la faille de la Moyenne Durance en profondeur.

Ne pouvant pas exclure la propagation de la faille dans le « socle », l'hypothèse pénalisante d'une rupture sur toute sa longueur avait été retenue, aboutissant à une magnitude de VII.

La distance focale à retenir pour le paléoséisme a été définie sur des bases probabilistes. L'intensité IX a été calculée comme étant représentative du niveau « paléoséisme » conformément à l'esprit de la RFS 2001-01. La distance focale de 18,5 km correspond à la distance au site d'un séisme de magnitude 7 qui provoquerait une intensité IX. Cette approche intégrait également implicitement le fait que la relation d'atténuation² associée à la RFS 2001-01 ne permet pas de caractériser l'effet de « saturation » de

² Relation d'atténuation (GMPE pour « Ground Motion Prediction Equation » en Anglais) permet de relier un certain nombre de paramètres liés à la source sismique et la distance au site, à un paramètre de nocivité donnée. Dans le cadre de la relation d'atténuation de la RFS, on relie distance et magnitude à l'accélération spectrale (spectres de réponse) pour deux conditions de sites différents (« sédiment » et « rocher »).

l'accélération à mesure que l'on s'approche du plan de rupture (l'accélération n'augmente plus passée une certaine distance de la faille), effet pris en compte dans des relations d'atténuations plus complètes.

L'aléa sismique défini pour le Centre de Cadarache et validé par l'autorité de sûreté prend en compte différentes sources sismogéniques potentielles.

Les failles qui avaient été considérées comme actives sont les suivantes (voir Figure 12) :

- Durance*
- Ventoux – Lure*
- Cévennes nord
- Cévennes Centre
- Cévennes sud
- Nîmes
- Lubéron ouest*
- Vauvert Alpilles
- Costes
- Trévarresse
- Concors
- Vautubière.

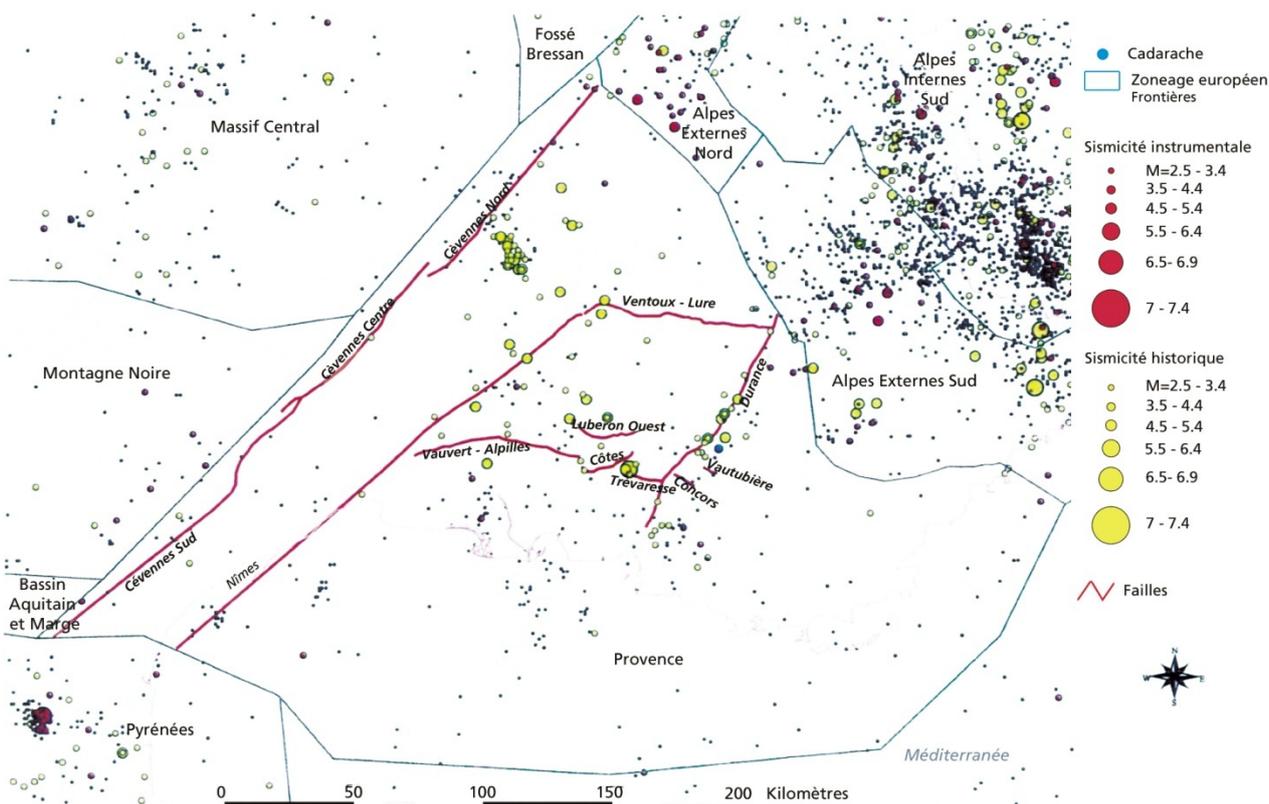


Figure 12 : Carte tectonique de la zone de Provence occidentale

D'un point de vue formel, le site ITER « s'éloigne » (par rapport au Centre du Cadarache) de l'ensemble des failles listées plus haut, à l'exception de celles marquées par un astérisque. Parmi celles-ci, notons que le

site ITER reste sensiblement à la même distance de la faille de la Moyenne Durance. La distance au plus proche, du Centre de Cadarache à la trace en surface de cette faille, est d'environ 5,2 km. Appliquée à l'enceinte du site ITER, cette distance se porte à 5,8 km (voir Figure 13) de même que de la faille du « Lubéron ouest ». Il se rapproche légèrement du chevauchement Ventoux – Lure, mais ce chevauchement est à une grande distance du site ITER (> 50 km) et il ne remet pas en cause l'identification des SMHV les plus pénalisants.

Si on considère le tronçon de faille hypothétique « Corbières – Saint Euchèr » ayant fait l'objet d'échanges avec l'ASN (dont l'existence n'est pas clairement établie et qui en tout état de cause, compte tenu de sa géométrie ne pourrait pas « porter » une magnitude importante de type SMS), on constate également une distance plus grande pour le site ITER que pour le Centre de Cadarache (3,9 km contre 2,2 km).

Le Chevauchement de la Vautubière, placé au sud (non représenté sur la carte), également considéré comme potentiellement sismogénique dans l'étude de l'aléa de Cadarache se trouve lui aussi plus éloigné du site ITER que du site Cadarache.

Les dernières études menées sur le Chevauchement de Vinon (au nord-est du site) montrent que ce dernier n'est pas actif.

Si on considère comme actif la partie est du Lubéron (tronçons postulés T54 et T55 selon la nomenclature de Cushing et Bellier 2003 – segment non inclus dans la liste précédente), la distance au site ITER est identique à la distance au Centre de Cadarache et la problématique de prise en compte de ce segment n'est pas différente d'un site à l'autre.

L'application de l'aléa sismique du Centre de Cadarache (validée par l'ASN) au site d'ITER, ne peut donc pas être remise en cause de par le fait qu'ITER ne sera pas inclus dans la clôture du Centre de Cadarache.

Finalement, le « séisme flottant » considéré pour Cadarache et placé sous le site reste évidemment le même (magnitude et profondeur) pour le site ITER.

Les études d'aléa sismique menées pour le site de Cadarache peuvent donc pleinement s'appliquer au site ITER, voire même dégager une légère marge en distance.

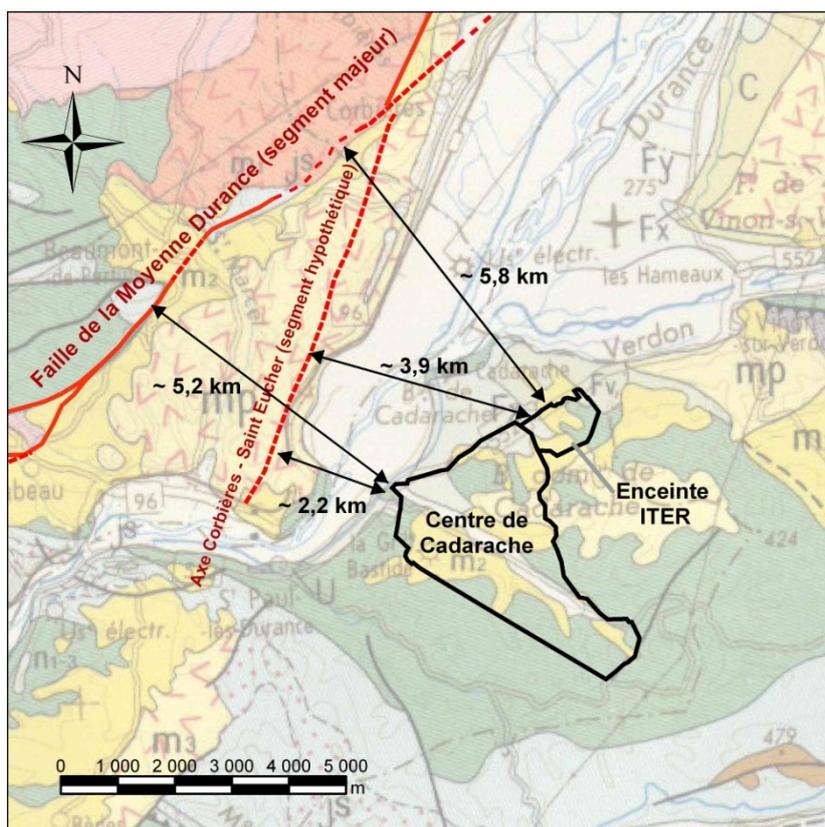


Figure 13 : Distance entre le site ITER et la Faïlle de la Moyenne Durance et tronçon de faïlle hypothétique « Corbières – Saint Eucher »

En conclusion, comme pour tous les équipements classés sismiques de l'installation, le référentiel réglementaire retenu dans le rapport préliminaire de sûreté pour la définition de l'aléa sismique des ouvrages de l'INB ITER est la RFS 2001-01, en considérant un sol de type rocher et les séismes de caractéristiques suivantes :

- *une magnitude de 5,8, une distance focale de 7,1 km pour le SMS avec une accélération maximale au sol de 0,315g,*
- *une magnitude de 7, une distance focale de 18,5 km pour le paléoséisme avec une accélération maximale au sol de 0,281g.*

Néanmoins, tous ces ouvrages et équipements ont été dimensionnés avec un séisme de dimensionnement (SL-2) correspondant au séisme lointain calé à 0,5g de la RFS 1.2c dans sa version 1981. Le spectre RFS 81 est enveloppe du SMS et du paléoséisme de la RFS 2001-01.

4.1.3 Marges relatives à des installations construites sur du calcaire à Cadarache

Outre les conservatismes liés à la détermination des caractéristiques sismiques du centre de Cadarache, il existe une marge supplémentaire pour les installations construites sur du calcaire ce qui est le cas d'ITER.

Les campagnes de reconnaissance de sols effectués sur le site de l'INB ITER ont permis de caractériser les couches de terrains :

- les calcaires du Crétacé inférieur anciennement attribués à l'Hauterivien pourraient appartenir au Berriasien ou au Valanginien (datation faite par le Centre de Cadarache). Leur épaisseur serait de 140 à 230 mètres,
- les calcaires sont surmontés par des formations détritiques. Ce sont des sables plus ou moins argileux et plus ou moins grésifiés, des grés, des argiles, des brèches. Ces dépôts sont plus ou moins continus avec des variations latérales de faciès. L'épaisseur maximale serait de 100 à 150 m dans certaines paléo-vallées,
- on trouve ensuite la formation de poudingues de Valensole (Pliocène) qui correspond à des galets calcaires agglomérés par une matrice gréseuse. A l'affleurement, les poudingues sont souvent disloqués. Ils reposent aussi bien sur les formations miocènes que sur les calcaires crétacés. Leur épaisseur qui est d'environ 10 m sur le site peut atteindre 50 à 60 m plus au sud,
- les terrains quaternaires, notamment anciens, sont bien représentés avec :
 - des alluvions torrentielles anciennes (Würm, Riss d'après les imbrications avec les terrasses datées de la Durance) avec galets, graves, sables et limons, parfois indurés. On peut souvent y distinguer des faciès grossiers plus arrondis dus à des apports latéraux de la Durance ou du Verdon, et du matériel cryoclastique anguleux, d'origine plus locale, avec des variations latérales entre ces deux faciès,
 - des calcaires travertineux, d'origine superficielle, ont été également rencontrés au sein des formations précédentes,
 - des formations Holocènes : épandages locaux, colluvions et alluvions locales dans les fonds des talwegs.

Les alluvions torrentielles, outre leur similitude de faciès avec le Vindobonien, sont issues de torrents à forte compétence et peuvent donc également contenir des blocs charriés de Vindobonien ou de la formation de Valensole, aggravant ainsi les risques de confusion.

Le phénomène décrit sous le nom de microcodium est à rattacher à un développement de micro-organismes dans un sol. Ce phénomène, sur la zone de l'INB ITER, se développe sous et à proximité immédiate de la discordance du miocène sur les terrains carbonatés crétacés, parfois dans des fractures proches de celle-ci. Il s'exprime par une altération poussée de la roche avec départ du carbonate de calcium (la roche se transforme en un « sable » constitué des fractions non carbonatées de la roche d'origine) et développement de cristallisations de carbonates de calcium de forme caractéristique en lamines ou épis de maïs.

Les microcodiums qui avaient été observés en surface dans le vallon du Prionnet et en bordure de la butte 324 m à l'ouest de la zone tokamak, de par leur action d'altération poussée de la roche calcaire et donc de leur rôle d'agent affaiblissant de la capacité de portance de celle-ci, ont été étudiés de façon particulière sur le site de l'INB ITER.

Les microcodiums n'ont pas été retrouvés dans les forages de la zone du tokamak, le volume rocheux concerné se trouvant sans doute à une distance suffisante de la discordance du Miocène. La frange de terrains carbonatés à vitesse plus faible (inférieure à 2 700 m/s) vue par la sismique réfraction correspond souvent à des terrains altérés avec présence de microcodiums.

Les coupes géologiques qui ont été effectuées montrent que les calcaires crétacés du site sont profondément entaillés (profondeur environ 60 m) par des paléo-vallées emplies de sédiments sablo-argileux miocènes. Deux paléo-vallées prennent ainsi naissance juste au sud du futur tokamak et se développent suivant une direction grossièrement nord-sud, de part et d'autre d'un paléo-relief sur lequel est implanté le tokamak.

Des essais au dilatomètre, destinés à fournir les caractéristiques mécaniques des terrains du substratum du site à l'emplacement des bâtiments principaux, ont été réalisés. Les résultats montrent que la capacité portante dans les calcaires est très élevée quelle que soit la zone considérée.

La présence, très localisée, de zones d'altération et/ou de fracturation, non rencontrées au cours des forages, pourrait très localement diminuer cette capacité portante. Mais aucun phénomène de ce type n'a été rencontré dans la zone du tokamak.

Ces paléovallées ont été creusées à l'ère tertiaire, puis partiellement comblées de sédiments Miocènes et Quaternaires. Ces paléovallées se sont formées en creusant dans le « substratum » : des calcaires formés au Crétacé (fin de l'ère secondaire). Les calcaires du Crétacé sont très durs. A l'inverse, les matériaux de comblement des paléovallées (Miocène, Quaternaire), bien que présentant globalement de bonnes qualités géotechniques, sont moins « rigides » que l'encaissant.

Selon la réglementation, les INB construites sur les formations mio-quaternaires doivent utiliser, selon le cas, soit les spectres dits « sédiment » soit les spectres dits « rocher » (le cas échéant, en examinant le possible phénomène du site particulier), et les INB construites sur les calcaires du crétacé doivent utiliser les spectres dits « rocher ».

Les spectres dits « sédiment » s'appliquent aux installations dont le paramètre « Vs30 » (moyenne harmonique des vitesses de propagation des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres sous l'assise de l'installation) est compris entre 300 et 800 m/s.

Il est aujourd'hui établi que les spectres réglementaires issus de la RFS dits « rocher » sont plutôt caractéristiques des rochers « standard » présentant des Vs30 de l'ordre de 600 à 800 m/s.

Or l'installation ITER est construite sur du calcaire Crétacé très rigide, caractérisé par des vitesses de propagation des ondes de cisaillement (Vs) supérieure à 1700 m/s à partir de 10m de profondeur. Ainsi, les spectres réglementaires contiennent une certaine « provision de marges », ce qui rend le contexte très favorable. En considérant le différentiel d'impédance acoustique, la marge obtenue pourrait atteindre un facteur 2, en termes d'accélération selon les fréquences.

La quantification de cette « marge » est un sujet important de la R&D actuellement menée (programme de recherche sur l'aléa sismique Cashima et Sigma, impliquant EDF, le CEA, AREVA, l'ILL, Enel Energy).

Nous considérons qu'une marge de 1,5 est une valeur minimale pertinente. La Figure 14 présente les spectres corrigés de cette marge (spectres « rocher très rigide » et non plus « rocher standard »). La variation en fréquence appliquée ici à cette correction suit celle déterminée en utilisant la méthode de correction dite « quart d'onde », utilisant des profils de vitesses génériques, mais la valeur de correction maximale est limitée à 1,5.

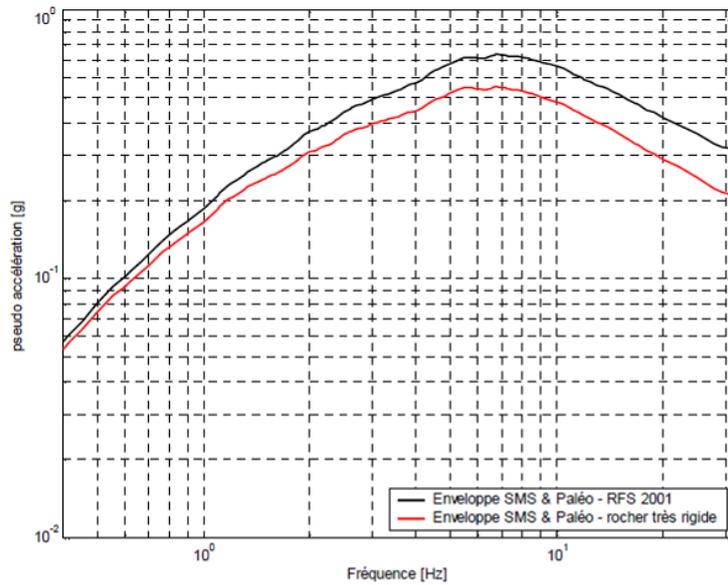


Figure 14 : Illustration de la marge disponible pour l'INB ITER construites sur du calcaire du Crétacé (correction rocher « très rigide » par rapport à « rocher standard »). Enveloppe SMS + Paléoséisme – spectres de réponse avec condition de site « rocher » à 5% d'amortissement.

La Figure 15 présente l'effet du cumul des marges. Elle montre :

- l'enveloppe des SMS et du paléoséisme aujourd'hui retenue,
- l'enveloppe des spectres pour un paléoséisme correspondant à « l'état de l'art actuel » et du SMS, dans les deux cas en prenant en compte la distance exacte,
- l'enveloppe précédente à laquelle on a appliqué la correction « rocher très rigide ».

Cette figure n'a pour objet que d'illustrer que la réglementation et son application, notamment à Cadarache, peut présenter des conservatismes qui vont bien au-delà la majoration SMHV-SMS ou bien la translation des séismes.

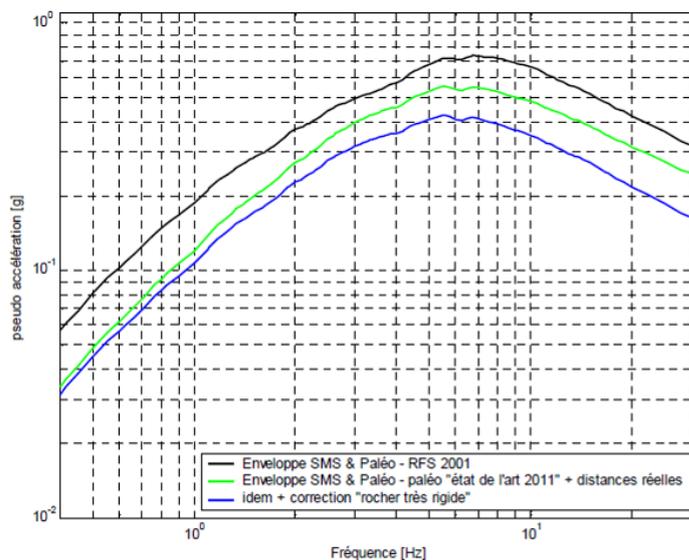


Figure 15 : Illustration du cumul possible de marges évoquées plus haut. Enveloppe SMS + Paléoséisme – spectres de réponse avec condition de site « rocher » à 5% d'amortissement.

4.2 DISPOSITIONS DE PROTECTION DE DIMENSIONNEMENT

4.2.1 Identification des structures, systèmes et composants (SSC) clés

Les structures, systèmes et composants (SSC) clés requis dans les scénarios étudiés afin d'éviter tout effet falaise sont identifiés au paragraphe 3.3.

4.2.2 Principales dispositions de construction associées

4.2.2.1 *Dispositions de détection des séismes*

L'installation ITER est équipée d'un système de détection sismique qui transmet une alarme à la salle de conduite principale. En cas de séisme, les opérateurs sont alertés par cette alarme et ont la possibilité d'arrêter l'installation pour la mettre dans un état sûr.

ITER pourra aussi s'appuyer sur les réseaux de surveillance de la microsismicité locale et régionale dont le but est de localiser les failles génératrices d'ondes et de comprendre leur mécanisme et sur les moyens d'instrumentation accélérométrique au niveau du centre de Cadarache afin de mesurer les mouvements sismiques forts.

4.2.2.2 *Classification sismique*

Les classes sismiques sont définies comme suit :

- SC1 (SF) – classe sismique 1-SF : stabilité structurelle et performance de sûreté sismique fonctionnelle requises et maintenues en cas de séisme,
- SC1 (S) – classe sismique 1-S : stabilité structurelle maintenue en cas de séisme, c'est-à-dire aucune rupture de tuyauterie, aucun effondrement de structures ou d'équipement, déformation plastique limitée, fissuration limitée du béton, fonctions de supportage maintenues,
- SC2 – classe sismique 2 : aucun dommage sur les équipements SC1 : absence de dommage sur les équipements SC1 pour les bâtiments et structures qui abritent et protègent les éléments importants pour la sûreté ou sur les bâtiments qui pourraient endommager lesdites structures en cas d'effondrement, aucune autre exigence vis-à-vis de la performance structurelle ou fonctionnelle en cas de séisme,
- NSC – catégorie non classée vis-à-vis du séisme : aucune exigence sismique pour la sûreté.

4.2.2.3 *Dimensionnement du génie civil*

Le complexe tokamak (qui comprend le bâtiment tokamak, le bâtiment tritium et le bâtiment de diagnostic) s'étend sur un radier de fondation commun supporté par des appuis parasismiques.

Par conséquent, le composant horizontal du spectre SL-2 est filtré et les accélérations horizontales sur les équipements du complexe tokamak sont limitées. Pour les autres structures abritant des éléments importants pour la sûreté à l'extérieur du complexe Tokamak (par exemple, les bâtiments des cellules chaudes et de traitement des déchets radioactifs), aucun dispositif d'isolation sismique n'est prévu. Cependant, ces bâtiments sont posés sur un sous-sol rocheux.

Le dimensionnement des ouvrages en béton armé et métalliques est fondé sur l'application des Eurocodes et sur les critères spécifiés par le code pour la conception des bâtiments ITER [1] qui peuvent durcir les Eurocodes.

Les critères de dimensionnement sont décrits dans le document [1].

Ce document définit les états limites à partir de la classification suivante :

- Etat limite d'équilibre (EQU),
- Etat limite ultime (ULS),
- Etat limite de service (SLS).

Le **Tableau 7** relie ces états à des situations.

EQU	Etat limite d'équilibre (toutes situations)
ULS.f	Etat limite ultime fondamental (situations permanentes et transitoires)
ULS.a	Etat limite ultime accidentel (situations accidentelles)
ULS.e	Etat limite ultime sous séisme (situations comprenant l'action sismique)
SLS.c	Etat limite de service caractéristique
SLS.f	Etat limite de service fréquent
SLS.qp	Etat limite de service quasi-permanent

Tableau 7 : Définition des états limites d'équilibre, ultimes et de service.

La combinaison associée à l'action sismique est indiquée dans le **Tableau 8**.

Situation	Etat limite	Actions Permanentes			Actions variables			Actions accidentelles	Critères de vérification	
		G_k Unfav	G_k Fav	P	Q_{qp}	T_{qp}	Autres actions		Béton	Acier
Séisme de dimensionnement	ULS.e	1	1	1	1	1	$\Psi_2(W+S)$	E_d	§ 4.5 and § 4.7 [1]	§ 5.3 [1]

Tableau 8 : combinaison associée à l'action sismique

Structures en béton

Pour chaque structure et chaque combinaison d'actions, des critères basés sur une combinaison de règles sont vérifiés pour différents états. On distingue :

- pour les états limites ultimes (ULS) :
 - ULS.R1 : vérifications générales,
 - ULS.R2 : flexion avec ou sans force axiale,
 - ULS.R3 : flexion en situation accidentelle,
 - ULS.R4 : cisaillement,
 - ULS.R5 : poinçonnage en situations d'accidents,
 - ULS.R6 : vérification locale de l'impact de la chute d'un avion de l'aviation générale,
 - ULS.R7 : vérification locale de l'impact d'une chute de charge.
- pour les états limites de services (SLS) :
 - SLS.R1 : limitation des contraintes pour les situations fréquentes et quasi-permanentes,
 - SLS.R2 : limitation des contraintes pour les situations rares,
 - SLS.R3 : zone de renforcement minimum,
 - SLS.R4 : renforcement minimal dans les murs périphériques.

Des règles complémentaires peuvent être appliquées à des structures spécifiques telles que les murs enterrés, les tunnels ou les barrières de confinement, relatives à des situations accidentelles spécifiques ou sismiques.

Ces critères sont regroupés comme indiqué dans Tableau 9.

Groupe de critères	ULS							SLS				Application
	ULS.R1	ULS.R2	ULS.R3	ULS.R4	ULS.R5	ULS.R6	ULS.R7	SLS.R1	SLS.R2	SLS.R3	SLS.R4	
C1	X	X		X					X			Toutes structures
C2	X	X		X				X	X			Éléments structuraux où la limitation de la fissuration est requise en situation normale
C3	X		X	X	X							Situation accidentelle voir [1] § 4.8
C4	X			X		X						Impact de l'aviation générale voir [1] § 4.8.3
C5	X	X		X				X	X	X		Barrière de confinement, voir [1] § 4.6.1
C6	X	X		X					X		X	Murs périphériques des bâtiments
C7	X			X			X					Chute de charges

Tableau 9 : Groupes de critères

Structures métalliques

Pour chaque structure métallique, plusieurs critères sont vérifiés pour différents états :

- pour les états limites ultimes (ULS) :
 - résistance des sections efficaces,
 - résistance à l'instabilité des éléments de structures,
 - résistance à la rupture des sections efficaces en tension,
- pour les états limites de services (SLS) :
 - flèche de poutres à l'exception des chemins de roulement des ponts de manutention,
 - flèche de chemins de roulement des ponts de manutention.

Le dimensionnement des structures métalliques prend en compte d'autres aspects :

- la tenue au séisme,
- le dimensionnement des sections efficaces (épaisseurs minimales),
- la conception et le dimensionnement des différents éléments de structures (poutres assemblées par soudure, fermes métalliques, pannes de toiture, toiture, sols, structures de murs secondaires),
- la conception et le dimensionnement des liaisons entre structures (liaisons soudées, boulonnées),
- la conception et le dimensionnement des chemins de roulement des ponts de manutention,
- la conception et le dimensionnement des ancrages (tension, cisaillement, ...).

Pour l'ensemble des bâtiments classés au séisme, les exigences de sûreté pour chaque élément concerné et les critères de conceptions associés sont décrits dans le chapitre relatif à l'évaluation des marges (chapitre 4.4.1).

4.2.2.4 Dimensionnement des équipements

La conception sismique du matériel est basée sur les exigences de sûreté fonctionnelle en cas de séisme lors des phases d'exploitation ou suite à un accident. Ces exigences sont liées aux points suivants :

- l'intégrité : aucun dommage sur la chambre à vide et les autres barrières de confinement, aucune rupture de tuyauterie, aucun effondrement de structures ou d'équipements, déformation plastique limitée, fissuration limitée du béton,
- la capacité des systèmes à assurer une fonction de sûreté, c'est-à-dire capacité opérationnelle des équipements mécaniques ou électriques (vannes, pompes, circuits, etc.),
- le déplacement maximal (par exemple, prévenir l'interaction entre la chambre à vide et les bobines de champ magnétique toroïdal, ...),
- l'intégrité des caractéristiques géométriques et du degré de déformation permanente,
- l'adéquation de la protection radiologique.

4.2.3 Principales dispositions d'exploitation

Les principales dispositions d'exploitation vis-à-vis du risque sismique sont les suivantes :

- Lorsqu'ils ne sont pas utilisés, les moyens de manutentions lourds (ponts, hottes de transfert,...) sont mis en position de garage, hors des zones abritant des éléments importants pour la sûreté.
- Les hauteurs de manutentions sont limitées.
- Un programme de suivi des appuis parasismiques est prévu. Des appuis et des échantillons seront stockés dans les conditions des appuis en service pour être testés périodiquement.

4.2.4 Prise en compte des effets indirects du séisme

Le séisme est une agression externe pouvant entraîner des risques internes et externes pour l'installation et son environnement.

4.2.4.1 *Risque de dégât sur le confinement*

Les risques associés aux systèmes de confinement dans les bâtiments contenant des matières radioactives (bâtiments tokamak, tritium, des cellules chaudes et de traitement des déchets radioactifs) sont :

- une dispersion de matières radioactives en raison de la défaillance des systèmes de confinement,
- des dommages sur le confinement à la suite de la perte de l'intégrité des bâtiments et structures (murs, équipements de manutention, etc.).

Les dispositions prises vis-à-vis de ces risques sont décrites dans le paragraphe 4.2.5.

4.2.4.2 *Risque de déplacement de la protection radiologique*

Le risque associé au déplacement des écrans radiologiques consiste en une dégradation de l'intégrité de la protection radiologique dans divers bâtiments contenant des composants fortement irradiés.

Les dispositions prises vis-à-vis de ces risques sont décrites dans le paragraphe 4.2.5.

4.2.4.3 *Risque d'occurrence d'événements initiateurs pouvant générer des situations accidentelles*

Des systèmes destinés à la limitation de l'impact des événements initiateurs, pouvant provoquer des situations accidentelles, sont identifiés pour chaque condition de dimensionnement. Cela concerne les types d'accidents suivants :

- rupture de tuyauteries des circuits de refroidissement à l'intérieur de la chambre à vide,
- perte de vide dans la chambre à vide,
- rupture de tuyauteries d'un système de refroidissement à l'extérieur de la chambre à vide,

- défaillance d'équipements de l'installation tritium ou des lignes du circuit d'alimentation en combustible,
- perte de confinement dans le bâtiment des cellules chaudes,
- blocage de la hotte de transfert.

Les dispositions prises vis-à-vis de ces risques sont décrites dans le paragraphe 4.2.5.

4.2.4.4 *Risque de dommages sur les éléments importants pour la sûreté nécessaires à la limitation des risques générés par le séisme*

Le risque de dommages sur les éléments importants pour la sûreté nécessaires à la limitation des risques induits concernent les équipements situés dans les bâtiments tokamak, tritium, cellules chaudes, traitement des déchets radioactifs.

Les dispositions prises vis-à-vis de ces risques sont décrites dans le paragraphe 4.2.5.

4.2.4.5 *Risque de dommages sur les bâtiments parasismiques du fait des autres bâtiments*

En cas de séisme, les bâtiments qui ne sont pas dimensionnés au séisme peuvent agressés les bâtiments dimensionnés au séisme. Aussi, des distances, supérieures à la hauteur des bâtiments non dimensionnés au séisme, séparent ces deux catégories de bâtiments.

La conception des bâtiments prend en compte un espace suffisant entre les bâtiments dimensionnés au séisme afin d'éviter toute interaction, en particulier l'espace entre le complexe tokamak et les bâtiments environnants, afin de couvrir les déplacements en conditions SL-2.

Ces aspects sont développés dans le paragraphe 4.4.1 sur les marges dur le génie civil.

4.2.4.6 *Risques d'agressions internes induites*

Incendie interne

Ce risque est analysé au paragraphe 3.2.

Explosion interne

Ce risque est analysé au paragraphe 3.2.

Inondation interne

Les systèmes d'eau et les systèmes d'effluents contaminés ou non contaminés qui, en cas de fuite, pourraient présenter un risque de contamination ou d'inondation interne pouvant affecter les éléments importants pour la sûreté sont dimensionnés au séisme.

Le dimensionnement des colliers et des brides sur les tuyauteries des circuits sous pression prend également en compte le séisme.

Des vérifications peuvent être effectuées après le séisme par des opérateurs afin de confirmer l'état des systèmes.

En conséquence, le séisme ne pourra pas causer une inondation interne significative entraînant des rejets de matières radioactives ou la dégradation de la protection radiologique.

Chute/impact de charge

En cas de séisme, les équipements qui ne sont pas dimensionnés au séisme pourraient tomber et causer des dommages aux éléments importants pour la sûreté situés dans la même zone.

Les équipements pouvant causer de telles agressions sont principalement des équipements situés en hauteur (équipements de levage, conduites, chemins de câble, bardage, composants du toit, etc.) et des équipements verticaux instables.

En cas d'équipements de manutention classés au séisme (par exemple, équipements d'intervention et de manutention à distance, etc), l'objectif est de pouvoir assurer les points suivants :

- intégrité de l'équipement de levage (aucun effet missile),
- prévention de la chute/de l'impact de charge sur les autres objets,
- pas de basculement des charges manutentionnées,
- position de garage située en dehors des zones présentant des risques radiologiques.

En outre, après un séisme, il est possible de ramener les charges dans une position sûre (au sol).

Concernant les chemins de câbles et de tuyauteries, des dispositions sont prises au cas par cas afin d'éviter les dommages potentiels sur les éléments suivants :

- les câbles électriques alimentant des éléments importants pour la sûreté,
- les éléments importants pour la sûreté situés dans les locaux.

4.2.4.7 Risques de perte des utilités externes

Ces risques sont analysés au paragraphe 7.

4.2.4.8 Risques d'agressions externes induites

Feu de forêt

Un séisme peut provoquer la chute des pylônes électriques haute et moyenne tension, ce qui peut entraîner un feu de forêt directement sur le site ou se propageant autour des limites du site.

Les dispositions prises pour prévenir ce type de risque (la tenue des parois externes des bâtiments nucléaires, la conception des cuves de stockage de gasoil et d'huile, des prises d'air de ventilation, la séparation géographique des éléments importants pour la sûreté, le débroussaillage et le déboisement de la zone autour de l'installation...) sont suffisantes et permettent de ne pas prendre en compte leurs conséquences sur l'installation à la suite d'un séisme.

Inondation externe

Ce risque est analysé aux paragraphes 5.1 et 6.2

Glissement de terrain.

Le terrain naturel est remodelé et aplani aux alentours du complexe tokamak et des autres bâtiments nucléaires. Il n'est donc pas nécessaire de prendre en compte le risque de glissements de terrain pour ces bâtiments.

De plus, la structure de l'encuvement constituée des murs de soutènement périphériques soutient la roche pour garantir les possibles déplacements du complexe pendant un séisme et empêche toute intrusion d'eau vers le radier.

4.2.5 Dispositions de sûreté vis-à-vis du séisme

Bâtiment tokamak

Pour le bâtiment tokamak et les équipements associés, l'objectif est de garantir les fonctions de sûreté telles que le confinement et la protection radiologique :

- génie civil :
 - les locaux contenant des matières radioactives conservent leur stabilité afin de prévenir toute agression des éléments importants pour la sûreté situés à l'intérieur du bâtiment, en particulier les structures assurant la protection radiologique des zones accessibles,
 - les locaux assurant une fonction de confinement peuvent maintenir une certaine dépression afin de prévenir les rejets incontrôlés,

- le bâtiment tokamak conserve sa stabilité après un séisme afin de ne pas agresser les éléments importants pour la sûreté situés à l'intérieur du bâtiment,
- la chambre à vide et ses extensions comprenant les injecteurs de faisceaux de neutres et le système de limitation de la pression de la chambre à vide restent intacts,
- les boucles du système d'eau de refroidissement du tokamak restent étanches,
- le système de pompage et de maintien sous vide reste étanche,
- la détritiation reste opérationnelle et capable d'assurer la filtration et la détritiation en cas de contamination,
- la surveillance radiologique reste disponible,
- le système de coupure de l'alimentation électrique des bobines de champ magnétique poloidal et son système de détection associé restent disponibles,
- le système de décharge du champ magnétique toroidal reste opérationnel.

Bâtiment tritium

Pour l'installation tritium et ses équipements associés, l'objectif est d'assurer les fonctions importantes pour la sûreté telles que le confinement et la protection radiologique :

- génie civil :
 - les locaux contenant les matières radioactives conservent leur stabilité de manière à prévenir la dégradation des systèmes importants pour la sûreté situés à l'intérieur du bâtiment, plus particulièrement la protection radiologique,
 - les locaux assurant une fonction de confinement peuvent maintenir une certaine dépression afin de prévenir les rejets incontrôlés,
 - le bâtiment tritium et les structures des équipements de manutention conservent leur stabilité après séisme afin d'éviter les dommages sur les éléments importants pour la sûreté qui sont situés dans le bâtiment,
- le confinement du tritium reste étanche,
- le système de décompression dans les colonnes de séparation isotopique ISS, les boîtes froides et l'enceinte rigide continue d'assurer le confinement,
- les systèmes de l'installation tritium peuvent être arrêtés et mis en sécurité,
- Le système de détritiation continue d'assurer la filtration et la détritiation en cas de contamination,
- la fonction de détection du tritium est maintenue.

Bâtiment des cellules chaudes

Pour le bâtiment des cellules chaudes et ses équipements associés, l'objectif est de garantir les fonctions importantes pour la sûreté telles que le confinement et la protection radiologique :

- génie civil :
 - le bâtiment des cellules chaudes et les structures des ponts conservent leur stabilité afin de ne pas agresser les éléments importants pour la sûreté situés à l'intérieur des bâtiments,
 - les locaux assurant une fonction de confinement peuvent maintenir une certaine dépression afin de prévenir les rejets incontrôlés,
 - le bâtiment des cellules chaudes n'interagit pas avec le complexe tokamak du fait de la présence de systèmes de découplage,
 - les équipements et structures de protection radiologique des cellules chaudes conservent une capacité de protection radiologique adéquate,
- les systèmes de procédé et le confinement des cellules restent intacts,
- le four du système de récupération du tritium des cellules chaudes peut être arrêté,
- le système de détritiation reste capable d'assurer la filtration et la détritiation en cas de contamination.

Bâtiment de traitement des déchets radioactifs

Pour le bâtiment de traitement des déchets radioactifs et ses équipements associés, l'objectif est de garantir les fonctions de sûreté telles que le confinement et la protection radiologique :

- génie civil : le bâtiment de traitement des déchets radioactifs et les structures du système de manutention conservent leur stabilité afin de prévenir la dégradation des éléments importants pour la sûreté situés à l'intérieur du bâtiment,
- les locaux assurant une fonction de confinement peuvent maintenir une certaine dépression afin d'éviter les rejets incontrôlés,
- les systèmes « procédé » maintiennent leur fonction de confinement (intégrité géométrique des systèmes d'entreposage des déchets et des effluents plus particulièrement).

Le risque de chute des containers de déchets est limité comme suit :

- dans le hall, grâce à un pont sécurisé à course verticale limitée,
- grâce à la conception d'équipements de manutention mobiles répondant à la réglementation et aux normes applicables,
- grâce à des systèmes de sécurité spécifiques tels que les freins de sécurité, le cas échéant.

4.3 CONFORMITE DE L'INSTALLATION

La conformité de l'installation sera assurée par la qualification des matériels requis et par le programme de réception et de mise en service. Un programme de suivi des appuis parasismiques (inspections, tests, maintenance) est prévu. Pour les équipements, des inspections peuvent être prévues notamment pour vérifier l'état des supports et ancrages.

L'organisation prévue pour s'assurer que les approvisionnements et équipements, pris en compte dans les procédures d'urgence, seront disponibles et resteront en état d'être utilisés. Elle est décrite au chapitre 8.3.

4.4 EVALUATION DES MARGES

4.4.1 Marges sur le génie civil

4.4.1.1 Données de référence

Le document [1] définit les critères de conception à considérer pour les ouvrages de génie civil de l'installation ITER dans le respect des exigences de sûreté attribuées à ces ouvrages.

En complément des données indiquées dans le paragraphe 4.2.2., ce chapitre présente des extraits du document [1], utiles pour la compréhension de l'évaluation de la robustesse au regard des critères spécifiés.

Le § 4.2 du document [1] définit les propriétés des matériaux constituant le béton armé.

Les classes de béton utilisées sont les suivantes (Tableau 10) :

Classes de béton	$F_{ck, cylinder}$
C30/37	30 MPa
C40/50	40MPa
C60/75	60MPa

Tableau 10 : Propriétés des matériaux constituant le béton armé

Les armatures haute adhérence ont une contrainte élastique $f_{yk} = 500$ MPa et un module de Young $E_s = 200$ GPa.

Pour ce qui concerne la durabilité, le § 4.3 du document [1] définit les classes d'exposition comme suit (Tableau 11) :

Classe	Eléments structuraux
XC4	Voiles et dalles extérieurs
XC3	Eléments structuraux internes au contact d'une ambiance humide
XC2 + XA1	Eléments structuraux enterrés
XC1	Eléments structuraux internes

Tableau 11 : classes d'exposition

Le § 4.4 du document [1] définit des données de conception, en particulier pour le béton.

Classes du béton	C30/37	C40/50	C60/75
f_{ck}	30MPa	40MPa	60MPa
Pour l'analyse des actions dynamiques et de court terme	33 000 MPa	35 000 MPa	39 000 MPa
Pour l'analyse des actions thermiques transitoires et accidentelles	18 000 MPa	20 000 MPa	22 000 MPa
Pour l'analyse des actions de long terme et des actions thermiques permanentes	11 000 MPa	12 000 MPa	13 000 MPa

Tableau 12 : Données de conception pour le béton

Le §6 du document [1] définit les caractéristiques mécaniques relatives aux appuis parasismiques.

Les caractéristiques des appuis sont données dans le Tableau 13.

	Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Distorsion statique	Module de cisaillement mini.	$G_s \text{ min}$	0.9	MPa
	Module de cisaillement maxi.	$G_s \text{ max}$	1.4	MPa
Compression statique	raideur	K_{vs}	4900	MN/m
Distorsion dynamique	Distorsion dynamique mini	$G_d \text{ min}$	0.9	MPa
	Distorsion dynamique maxi	$G_d \text{ max}$	1.5	MPa
	Amortissement	ξ_h	5	%
Compression dynamique	Mini raideur	$K_{vd \text{ min}}$	4900	MN/m
	Maxi raideur	$K_{vd \text{ max}}$	7000	MN/m
	amortissement	ξ_v	5	%

Tableau 13 : caractéristiques des appuis parasismiques

Le document concernant les « Règles de Dimensionnement des Ouvrages Génie-Civil de l'INB ITER » [2] définit les différents chargements à considérer pour la conception des ouvrages de génie civil de l'installation ITER.

Au § 5.2.3 du document [2] le « Mouvement sismique de dimensionnement – Design Earthquake (Ed) » correspond à l'enveloppe du SMS et du paléoséisme déterminés par application de la RFS 2001-01.

Les caractéristiques de ces séismes sont les suivantes :

Site ITER – Séismes –sol rocheux			
	SMS	PALEOSEISME	Unités
M =	5,80	7,00	
D =	7,10	18,50	km
I =	9,23	10,56	
DPF =	5,55	11,90	S
V_{max} =	0,171	0,228	m/s
D_{max} =	0,037	0,103	m
A/V =	16,37	10,78	s^{-1}

Tableau 14 : caractéristiques des séismes

L'enveloppe des spectres de réponse du sol (rocheux) pour plusieurs amortissements (2% à 30%) est donnée ci-après (Tableau 15).

Fréquence (Hz)	Pseudo-Accélération (g)					
	2%	5%	7%	10%	20%	30%
0,1	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
0,25	0,0321	0,0260	0,0236	0,0211	0,0163	0,0141
0,4	0,0743	0,0619	0,0570	0,0515	0,0398	0,0330
1	0,2517	0,1971	0,1768	0,1558	0,1180	0,0976
1,42	0,3455	0,2765	0,2502	0,2209	0,1632	0,1341
2	0,4831	0,3731	0,3335	0,2912	0,2164	0,1791
2,82	0,6259	0,4829	0,4346	0,3808	0,2814	0,2314
3,98	0,7669	0,5877	0,5254	0,4590	0,3422	0,2795
5,62	0,9856	0,7373	0,6450	0,5604	0,4083	0,3360
7,94	0,9754	0,7388	0,6576	0,5726	0,4348	0,3658
11,22	0,8032	0,6303	0,5720	0,5161	0,4157	0,3653
15,84	0,6148	0,4979	0,4641	0,4309	0,3756	0,3451
22,38	0,4380	0,3920	0,3785	0,3644	0,3386	0,3240
31,62	0,3198	0,3181	0,3172	0,3161	0,3150	0,3150
34	0,3150	0,3150	0,3150	0,3150	0,3150	0,3150
100	0,3150	0,3150	0,3150	0,3150	0,3150	0,3150

Tableau 15 : Pseudo accélérations

Nota : dans le cas d'un sol de type alluvions, l'accélération à 34 Hz est de 0,34g.

4.4.1.2 Analyse de la robustesse et évaluation des marges des ouvrages de génie civil sous séisme

4.4.1.2.1 Analyse qualitative commune aux ouvrages.

Le retour d'expérience fondé sur des missions post-sismiques, des résultats de programmes expérimentaux et d'analyses détaillées, montrent que des bâtiments en béton armé et en charpente métallique restent stables pour des niveaux sismiques bien au-delà du niveau considéré lors du dimensionnement.

Plusieurs paramètres favorisent un tel comportement de stabilité au-delà du niveau sismique de dimensionnement :

- La qualité du sol d'assise de classes A ($V_s > 800$ m/s sur 30m) ou B (V_s de 360 à 800 m/s sur 30m) selon l'Eurocode 8 ;
- Une conception structurale d'ensemble comportant des éléments structuraux de contreventement dans chaque direction horizontale pour le transfert des efforts inertiels dus à l'action sismique et permettant d'obtenir une déformation homogène tant en élévation que dans un plan horizontal, avec un effet de torsion faible ;
- Une redondance des éléments de contreventement ;
- Des dispositions d'armatures pour les éléments en béton armé et d'assemblages pour les éléments de charpente métallique conformes aux recommandations des règles parasismiques (Eurocode 8) qui favorisent des incursions dans le domaine plastique ;
- L'application de critères réglementaires et la considération de méthodes de calcul éprouvées ;
- Une qualité de réalisation contrôlée en conformité avec les spécifications techniques de construction.

Il convient de noter que les bâtiments et ouvrages de génie civil de l'installation ITER satisfont ces paramètres. Par ailleurs, des critères réglementaires ont été durcis, en termes par exemple de limitation de la contrainte des armatures de béton armé pour limiter, dans certaines situations de calcul, les déformations locales des éléments en béton armé et l'ouverture des fissures.

4.4.1.2.2 Analyse du complexe tokamak

4.4.1.2.2.1 Description

L'ouvrage « complexe tokamak » comprend les bâtiments suivants :

- Le bâtiment tokamak,
- Le bâtiment diagnostic,
- Le bâtiment tritium.

Auxquels il faut ajouter :

- Les ouvrages spécifiques de l'encuvement : pré-radier et murs de soutènement périphériques,
- Le dispositif d'isolation sismique.

L'ouvrage « complexe tokamak » repose sur 493 appuis parasismiques en élastomère fretté qui sont supportés par colonnes en béton armé prenant appui sur le pré-radier. L'ensemble fondé au niveau 298,5m NGF repose sur les calcaires du Crétacé.

Cet ouvrage a pour dimensions en plan : 117,20m dans la direction ouest-est et 79,30m dans la direction nord-sud. Le bâtiment tokamak (49,22m direction ouest-est) est encadré à l'ouest par le bâtiment diagnostic (33,33m direction ouest-est) et à l'est par le bâtiment tritium (34,64m direction ouest-est).

La hauteur est d'environ 74,00m de la sous face du radier jusqu'à la toiture du hall. Les différents niveaux sont les suivants :

Repère	Désignation	Niveau
B2	Niveau supérieur du radier d'épaisseur 1,50m	-11,60
B1		-5,25
L1		+ 0,00
L2		+5,38
L3		+10,56
L4	Niveau dalle de couverture du tokamak	+17,56 et +19,12
L5		+26,56
R1		+34,26
	Niveau de la poutre du pont roulant	+38,35
R2	Base du hall en charpente métallique	+42,22
R3	Niveau de la toiture en ossature métallique	+61,00

Tableau 16 : Différents niveaux du complexe tokamak

L'ouvrage a une structure résistante en béton armé jusqu'au niveau R1. Au-dessus du niveau R1, le hall est en charpente métallique.

Le système de contreventement qui assure la stabilité sous les combinaisons comportant l'action sismique est constitué par les éléments suivants :

- Un réseau des voiles périphériques et intermédiaires, ainsi que le mur de protection biologique autour du tokamak pour ce qui concerne les éléments structuraux de contreventement. Les voiles

périphériques ont une épaisseur de 0,60m autour des bâtiments diagnostic et tritium et de 1,00m à 1,50 m au droit du bâtiment tokamak. Par ailleurs, autour du tokamak, une couronne constituée d'un réseau de poutres inférieures et supérieures reliées par des poteaux qui assure un contreventement horizontal. Les voiles intermédiaires des bâtiments diagnostic et tritium ont des épaisseurs d'environ 0,30m ;

- Des dalles de plancher d'épaisseur 0,50m pour les niveaux intermédiaires et de 0,80m à 1,00m pour les niveaux supérieurs ;

Ce système de contreventement assure une rigidité d'ensemble homogène et robuste qui, par son hyperstaticité, est redondant pour reprendre les forces inertielles dues à l'action sismique.

4.4.1.2.2 Exigences de sûreté et combinaisons des actions

Les exigences de sûreté attribuées au complexe tokamak sont les suivantes :

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Eléments concernés	Critères de conception
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité – supportage de EIS	Eléments structuraux des bâtiments	Document [1] Part. 1 C3 + §4.9.6
		confinement	Eléments de voiles et dalles qui délimitent les zones de confinement	Document [1] Part. 1 C3 + §4.6.1

Tableau 17 : Exigences de sûreté pour le complexe tokamak

Les combinaisons des actions prennent en compte les chargements liés aux situations de fonctionnement normal, les situations de fonctionnement incidentel et accidentel, les agressions internes et externes. Elles sont définies dans le document [1] au § 3.4.

Il convient de noter que dans les zones confinées, le dimensionnement des éléments structuraux (voiles et dalles), sous l'action accidentelle LOCA/LOVA (perte de refroidissement/entrée d'air) est effectué aux états limites ultimes en limitant la contrainte des armatures entre 0,5 et 2/3 de f_{ck} dans les éléments tendus et à 0,8 f_{ck} dans les autres éléments. La déformation des armatures reste en dessous de leur déformation élastique et l'ouverture des fissures reste faible.

Par ailleurs, tous les éléments structuraux qui délimitent les zones de confinement sont revêtus d'un revêtement en résine époxy de quelques millimètres d'épaisseur capable de ponter des fissures et d'améliorer le confinement sous les actions accidentelles LOCA/LOVA.

4.4.1.2.3 Analyse de la robustesse et évaluation des marges du complexe tokamak

Pour analyser la robustesse du complexe tokamak et évaluer les marges par rapport au séisme SL-2 (SMS et paléoséisme), nous ferons une analyse du comportement des ouvrages, bâtiments et dispositifs qui le composent :

- Les appuis parasismiques,
- Les plots en béton supportant ces appuis,

- Le pré-radier et les murs de soutènement,
- Le complexe tokamak.

a) Les appuis parasismiques

Le système d'isolation sismique constitué de 493 appuis en élastomère fretté filtre les ondes sismiques horizontales et gouverne la réponse dynamique horizontale du complexe tokamak.

Leur répartition est présentée dans la figure ci-après.

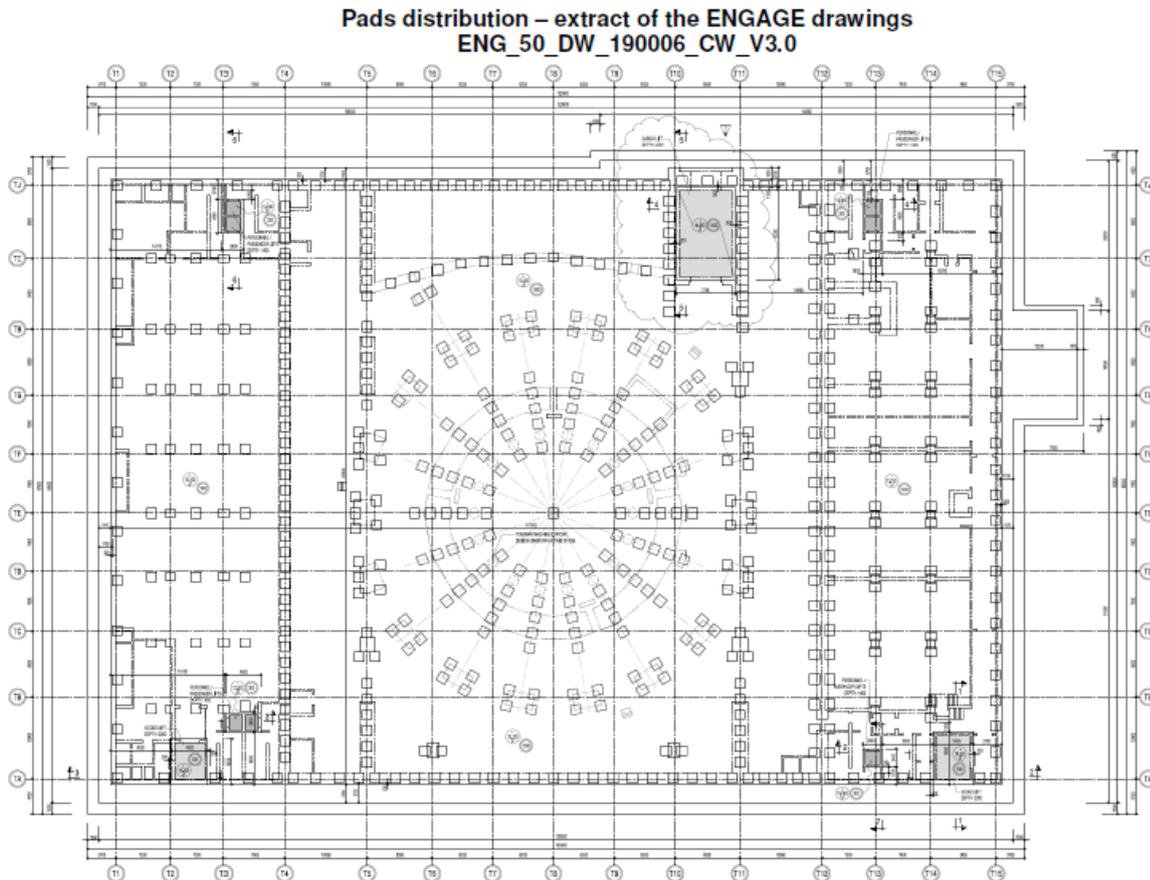


Figure 16 : localisation des appuis parasismiques

Ils ont une forme carrée de dimensions 0,89m x 0,89m. Leur hauteur est de 0,20m, avec 0,12m d'élastomère réparti en 6 couches d'épaisseur 0,02 m. Les caractéristiques sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

	Symbole	Unité	G min	Gmax
Module de cisaillement	G	MPa	0,9	1,5
amortissement	ξ			5%
Dimension en plan	a'	m		0,89
Nombre couches élastomère	n			6
Epaisseur d'une couche	t _i	m		0,020
Epaisseur d'une plaque d'acier	t _s	m		0,005
Contrainte élastique de l'acier	F _y	MPa		235
Epaisseur totale d'élastomère	T _q	m		0,120
Facteur de forme	S			11,13
Surface	A'	m ²		0,79

Tableau 18 : Caractéristiques des appuis parasismiques

Les valeurs des efforts verticaux et horizontaux au niveau des appuis aux états limites ultimes (ULS_E) en considérant l'effet du retrait à 70 ans (0,5 Gsh), pour la combinaison G + Q_{qp} + 0,5*Gsh sont les suivantes :

Conditions de sol	Valeur basse	Valeur moyenne	Valeur haute
Module G élastomère (MPa)	0,9	1,5	1,5
Effort vertical mini. (MN)	1,82	1,42	1,15
Effort vertical maxi. (MN)	11,24	11,26	11,67
Effort horizontal maxi. (MN)	0,54+0,12= 0,66	0,75+0,12=0,87	0,75+0,12= 0,87

Tableau 19 : valeurs des efforts verticaux et horizontaux au niveau des appuis

Les déplacements dus au retrait et au séisme (SL-2) sont indiqués dans le tableau suivant :

		Gmin	Gmax
Retrait	dX (m)	0,018	0,018
	dy (m)	0,012	0,012
	dxy (m)	0,022	0,022
Séisme (SL-2)	dX ou dy (m)	0,084	0,069
	dxy (m)	0,090	0,074
Retrait + séisme (SL-2)	Dxy (m)	0,112	0,096
Retrait + séisme (2*SL-2)	dxy (m)	0,202	0,17
Retrait + séisme (2,5*SL-2)	Dxy (m)	0,247	0,207

Tableau 20 : déplacements dus au retrait et au séisme (SL-2)

Les vérifications des critères de déformation des appuis sous les niveaux de séisme : **1*SL-2 ; 2*SL-2 et 2,5*SL-2** sont données ci-après.

Déformations liées à :		Valeur limite	1*SL-2		2*SL-2		2,5*SL-2	
			Gmin	Gmax	Gmin	Gmax	Gmin	Gmax
Compression	ε		1,42	0,86	1,85	1,12	2,06	1,25
Déplacement horizontal (distorsion)	ε	2,5	0,93	0,80	1,68	1,42	2,06	1,72
rotation	ε		0,07	0,05	0,14	0,10	0,18	0,13
total	ε	6,09	2,43	1,71	3,67	2,62	4,30	3,10

Tableau 21 : Vérification des déformations

Les critères de déformation des appuis parasismiques sont vérifiés jusqu'à un niveau de séisme de 2,5*SL-2.

		Epaisseur (m)	1*SL-2		2*SL-2		2,5*SL-2	
			Gmin	Gmax	Gmin	Gmax	Gmin	Gmax
Effort vertical	Fz (t)		1093	1103	1421	1434	1585	1600
Epaisseur mini	Ts (m)	0,0050	0,0036	0,0037	0,0047	0,0047	0,0052	0,0053

Tableau 22 : Vérification de l'épaisseur des plaques d'acier

Les plaques d'acier sont justifiées jusqu'à un niveau de séisme de 2*SL-2 avec un léger dépassement de l'ordre de 6 % pour un niveau de séisme de 2,5*SL-2.

		1*SL-2		2*SL-2		2,5*SL-2		Marge mini
		Gmin	Gmax	Gmin	Gmax	Gmin	Gmax	
Effort vertical	Fz (t)	1093	1103	1421	1434	1585	1600	Vérifié
Effort flambage	Pcr (t)	6252	10420	6252	10420	6252	10420	
	Fz/Pcr	0,17	0,11	0,23	0,14	0,26	0,15	
	$\delta=d/a'$	0,13	0,11	0,23	0,19	0,28	0,23	
Valeur limite Fz/Pcr	$(1-0,7\delta)/2$	0,46	0,46	0,42	0,43	0,40	0,42	
Marge	Pour δ	5,56	6,49	3,04	5,00	2,70	4,67	2,70
Marge	Pour Fz/pcr	2,61	4,37	1,82	3,07	1,53	2,8	1,53

Tableau 23 : Vérification de la stabilité au flambement

La vérification de la stabilité au flambement est assurée jusqu'à un niveau de séisme de 2,5*SL-2.

De ces vérifications, il ressort que jusqu'à un niveau de séisme de **2,5*SL-2**, il subsiste des marges (limitées pour la vérification des plaques d'acier de frette) par rapport aux valeurs limites. La distorsion de l'appui pour un déplacement horizontal maximal de 24,7cm est de 2,06 et le comportement commence à présenter des non linéarités.

Par la suite, nous verrons que c'est le respect de l'exigence de non interaction entre le complexe tokamak et le hall d'assemblage qui limite les déplacements et le niveau de séisme associé.

b) Plots supportant les appuis parasismiques

Ces plots béton ont une section carrée de 1,30 x 1,30 m² et une hauteur de 1,70m.

La section des armatures verticales ancrées dans le pré-radier est de 157 cm² (32 HA25) qui correspond à un pourcentage de l'ordre de 1%.

Les armatures transversales ont un espacement de 0,175m en partie inférieure (58,2 cm²/m) et de 0,110m en partie supérieure (92,5 cm²/m) ; elles assurent un bon confinement transversal.

Le dimensionnement est effectué à l'ULS.e en considérant une contrainte des armatures de 500MPa.

Les efforts considérés sont les suivants :

- Effort horizontal : 0,87 MN

- Effort vertical : 1,15 MN min. et 11,67 MN max.

Il convient de noter qu'une vérification a été faite au SLS.c sous situation normale pour s'assurer que la fissuration est maîtrisée sous cette situation. Les valeurs des contraintes de compression du béton (0,26 fck) et de contrainte de traction des armatures (0,22 fyk) sont bien inférieures aux valeurs limites admissibles.

Les marges de dimensionnement sont au moins de 2. Nous ne retiendrons pas de marge à l'égard du comportement et considérerons une marge de 2 pour ces plots, bien qu'il existe une marge supplémentaire due à une capacité de sur-résistance.

c) Le Pré-radier

Le pré-radier d'épaisseur 1,50m repose sur le calcaire.

Il a pour dimensions en plan 121,00m (direction ouest-est) par 85,00m (direction nord-sud).

Les caractéristiques du sol d'assise sont les suivantes :

- Module de Young statique : 30 GPa moyen
- Module de cisaillement dynamique : 11 GPa moyen
- Capacité portante de 2,5 MPa à l'état limite de service et 3,75 MPa sous action accidentelle.

Sous séisme, les combinaisons des actions considérées, à l'état limite ultime, sont les suivantes :

$$G + Q_{qp} + E_d$$

$$G + Q_{qp} + E_d + 0,50 G_{sh} \text{ (retrait)}$$

La contrainte maximale du béton est limitée à $0,6 f_{ck} = 18 \text{ MPa}$

La contrainte des armatures longitudinales est limitée à $0,8 f_{yk} = 400 \text{ MPa}$

Pour ce qui concerne les armatures longitudinales sur chaque face et chaque direction, la situation dimensionnante est celle aux états limites de service avec une limitation de la contrainte des armatures à 250 MPa ($0,5 f_{yk}$).

Marge relative aux armatures longitudinales sur chaque face et dans chaque direction.

Dans le tableau ci-après sont indiquées les sections d'armatures en cm^2/m pour les combinaisons suivantes :

- combinaison ULS.e : $G + Q_{qp} + E_d$ – (colonne 1)
- combinaison ULS.e : $G + Q_{qp} + E_d + 0,50 G_{sh}$ – (colonne 2)
- combinaison ULS.F : $1,35G + 1,5 QK$ – (colonne 3)
- combinaison SLS.qp : $G + Q_{qp}$ – (colonne 4)
- combinaison SLS.qp : $G + Q_{qp} + 0,7 * G_{sh}$ – (colonne 5)
- Sections des aciers mis en place – (colonne 6)

Combinaison		1	2	3	4	5	6
Condition de sol		Val. Basse	Val. Haute	Val. Basse	Val. Basse	Val. Basse	
G élastomère		1,5 MPa	1,5 MPa				Armatures en place
Nappes inférieures	AX	56,1	72,5	61,8	61,8	99,6	100,5
	AY	61,1	65,3	65,0	65,0	76,1	80,4

Nappes supérieures	AX	30,7	47,1	32,6	32,6	69,9	80,4
	AY	28,6	46,0	29,9	29,9	68,9	80,4

Tableau 24 : sections d'armatures en cm²/m pour les différentes combinaisons

Le tableau suivant présente les armatures nécessaires, en partie courante, pour des niveaux de séisme : SL-2, 2*SL-2 et 2,5*SL-2 et pour les combinaisons :

G + Qqp + Ed

G + Qqp + Ed + 0,50 Gsh

Combinaison		G + Qqp + Ed			G + Qqp + Ed + 0,50 Gsh		
		Val. Basse	Val. Basse	Val. Basse	Val. Haute	Val. Haute	Val. Haute
Conditions sol							
G élastomère		1,5 MPa	1,5 MPa	1,5 MPa	1,5 MPa	1,5 MPa	1,5 MPa
Niveaux de séisme		1*SL-2	2*SL-2	2,5*SL-2	1*SL-2	2*SL-2	2,5*SL-2
Nappes inférieures	AX	56,1	68,0	74,1	72,5	84,5	90,5
	AY	61,1	75,8	83,1	65,3	80,0	87,4
Nappes supérieures	AX	30,7	38,0	41,8	47,1	54,5	58,2
	AY	28,6	36,0	39,5	46,0	53,3	57,0

Tableau 25 : armatures nécessaires en partie courante pour différentes combinaisons

Il y a un dépassement des armatures calculées, dans la direction Y et en nappe inférieure, sous l'état limite de service, pour un niveau de séisme 2,5*SL-2. En considérant la marge de dimensionnement de 1,25 due à la limitation de la contrainte des armatures à 0,8 fyk, nous revenons à des sections d'armatures inférieures à celles mise en place.

Cas du poinçonnement au droit des plots

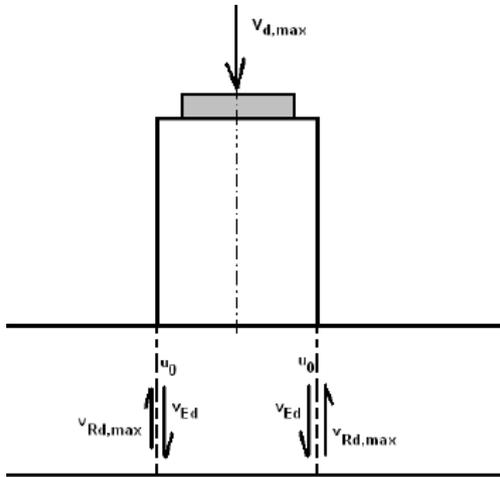
Nous considérons les valeurs des charges verticales suivantes par plot pour différents niveaux de séisme :

Niveau séisme	1*SL-2	2*SL-2	2,5*SL-2
Vd,max (MN)	11,67	14,34	16,00

Tableau 26 : charges verticales par plot

D'où les vérifications ci-après.

- Vérification de la contrainte de cisaillement au droit du plot

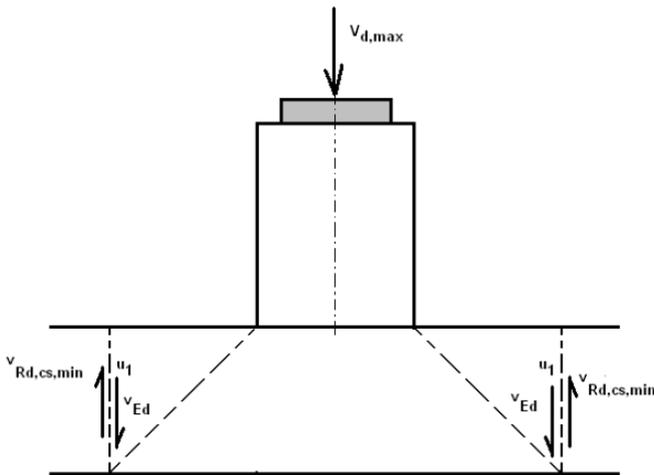


$\tau_{Ed} = \beta * V_d / u_0 * d$ à comparer à $V_{Rd,max}$.

Niveau séisme	1*SL-2	2*SL-2	2,5*SL-2
τ_{Ed} (MPa)	1,88	2,31	2,60
$V_{Rd,max}$ (MPa)	4,54	4,54	4,54

Tableau 27 : Vérification de la contrainte de cisaillement au droit du plot

- Vérification de la contrainte de cisaillement avec les armatures transversales de 7,06 cm²/m



En considérant un angle d'inclinaison de 39° et d= 1,372m

$\tau_{Ed} = V_d / u_1 * d$ à comparer à $V_{Rd,cs}$

$u_1 = 15,84m$

Niveau séisme	1*SL-2	2*SL-2	2,5*SL-2
τ_{Ed} (MPa)	0,54	0,66	0,74

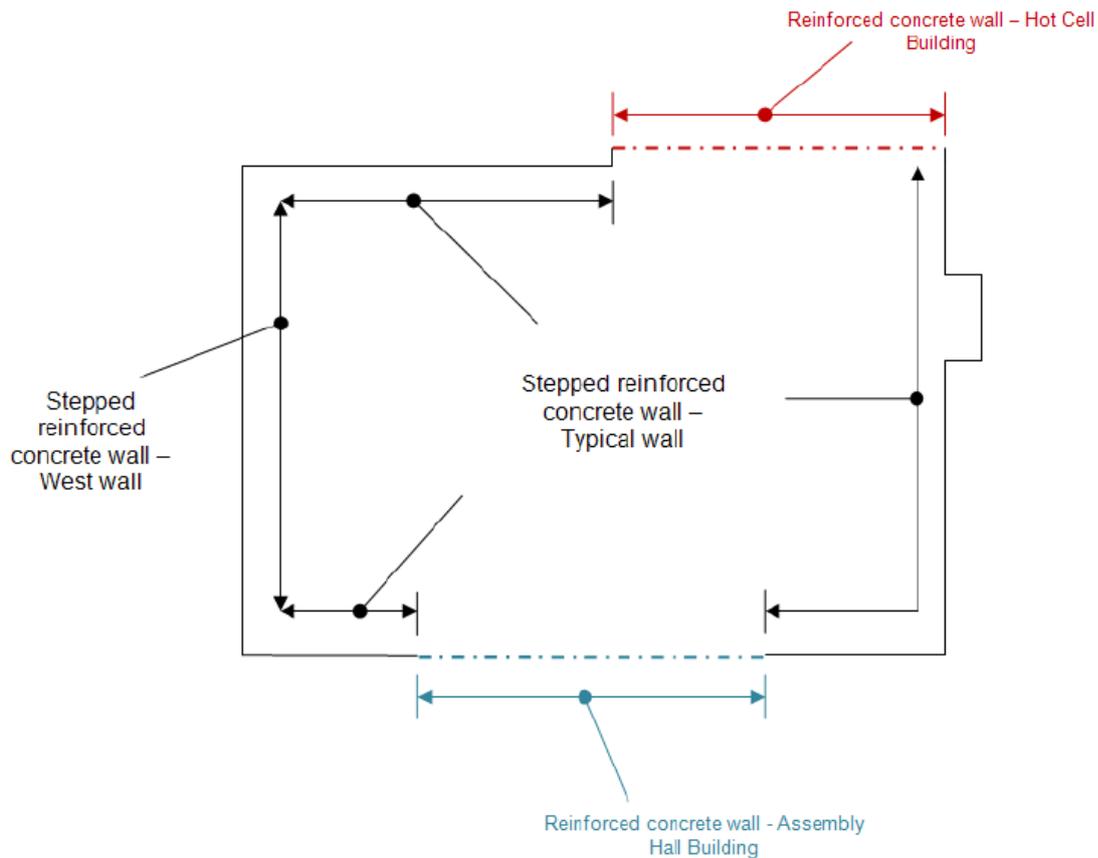
$V_{Rd,max.}$ (MPa)	0,78	0,78	0,78
---------------------	------	------	------

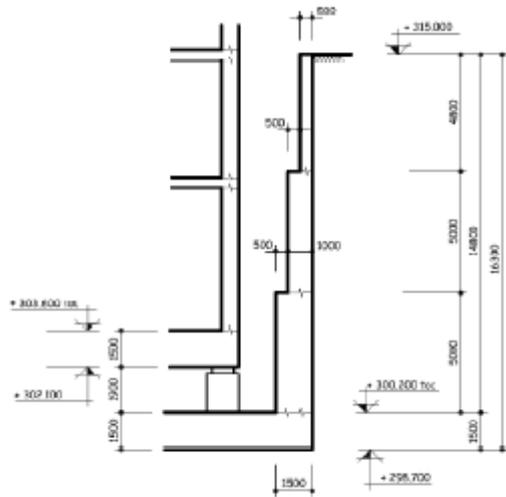
Tableau 28 : Vérification de la contrainte de cisaillement avec les armatures transversales de 7,06 cm²/m
 En conclusion, pour ce qui concerne le pré-radier, l'exigence de stabilité est satisfaite jusqu'à un niveau de séisme de **2,5*SL-2**.

Par ailleurs, il convient de noter qu'il est défavorable de considérer l'effet du retrait pour une exigence de stabilité ; le phasage des travaux et la fissuration du béton limite fortement cet effet.

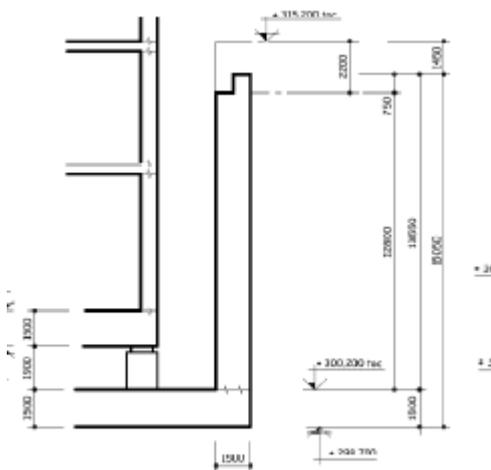
d) Les murs de soutènement périphériques

Il y a trois types de murs de soutènement, compte tenu de la présence du bâtiment des cellules chaudes au nord et du hall d'assemblage au sud, comme présenté dans les vues ci-dessous.

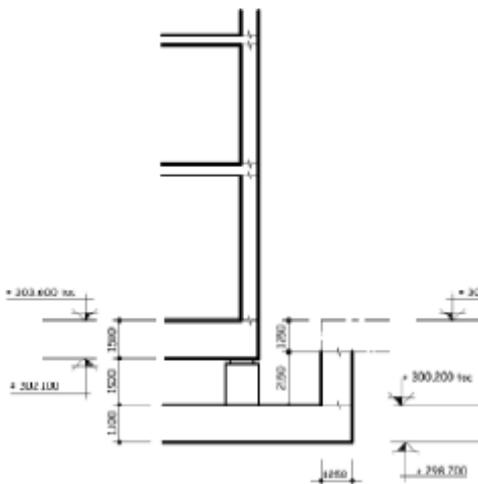




Partie courante : hauteur 14,80m en trois éléments d'épaisseur 1,50m, 1,00m et 0,50m pour des hauteurs de 5,00m, 5,00m et 4,80m



Hall d'assemblage: hauteur de 12,80m, épaisseur de 1,50m. Ce mur prend appui sur l'extrémité du radier du hall d'assemblage



Bâtiment de cellules chaudes : hauteur de 2,15m et épaisseur de 1,50m ; l'extrémité nord du bâtiment des cellules chaudes est en tête du mur.

Figure 17 : Murs de soutènement périphériques

Sous séisme, l'exigence est la stabilité et la non interaction avec les structures internes.

La combinaison d'action considérée est la combinaison ULSe : $G + Q_{pp} + E_d$, en prenant une contrainte des armatures égale à la limite élastique : $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Pour ce qui concerne l'action du sol, il a été considéré le schéma suivant :

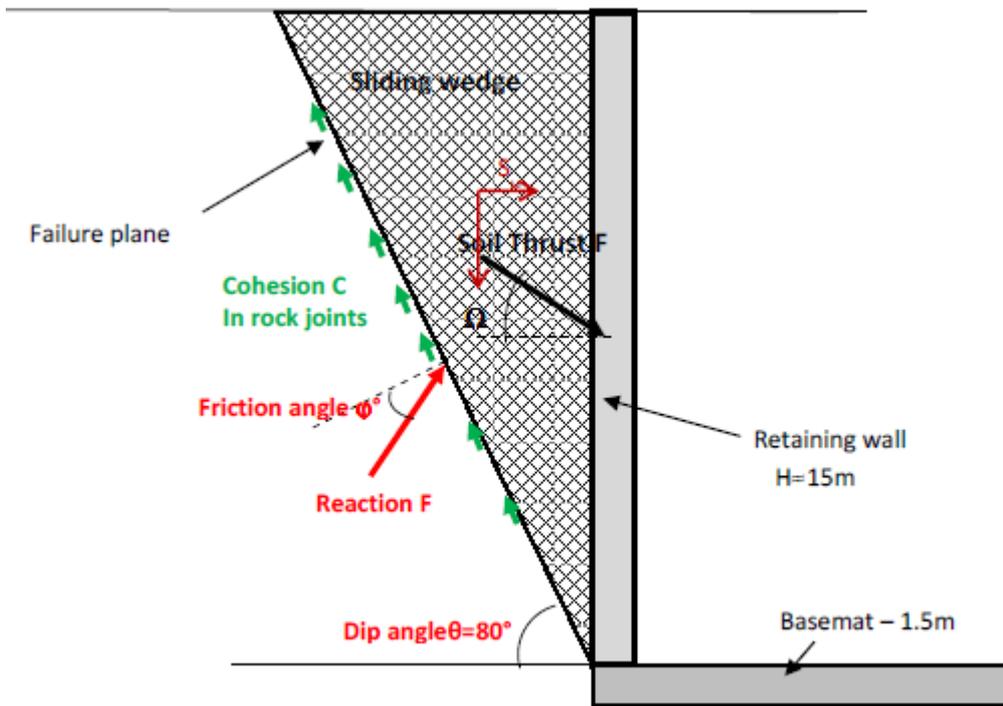


Figure 18 : action du sol

Par ailleurs, l'angle Ω d'inclinaison de la poussée sur la parement interne est pris égal à 0 sous l'action sismique, ce qui est défavorable.

Les actions sismiques sur la masse du coin de rocher sont prises égales à :

- Coefficient horizontal : $k_{ah} = 1,2 * 0,315g = 0,378g$
- Coefficient vertical : $k_{av} = 1,2 * 0,156g = 0,189g$

Selon les différentes configurations du mur, il est considéré les actions statiques et dynamiques des bâtiments mitoyens et proches.

Il convient de noter que le niveau de la nappe phréatique T_{10} à cumuler aux actions sismiques est inférieur à la sous face du radier et n'engendre donc aucune surpression sur les structures de l'encuvement.

Deux analyses ont été effectuées : une en deux dimensions et une à partir d'un modèle 3D. Il a été pris en compte l'enveloppe des efforts obtenus par ces deux approches.

Les déplacements en tête des murs sont présentés dans le tableau suivant :

Coté	Typologie	G+Qqp+E	G+Qqp	Séisme E_d
Nord	Epaisseur variable	11,3 cm	4,3 cm	7,0 cm
Ouest	Epaisseur variable	16,3 cm	5,0 cm	11,3 cm
Sud zone 1 (hors assemblage)	Epaisseur variable	5,9 cm	2,0 cm	3,9 cm
Sud zone 2 (assemblage)	Epaisseur constante de 1,50m	0 cm	0 cm	0 cm
Est	Epaisseur variable	8,8 cm	2,9 cm	5,9 cm

Tableau 29 : déplacements en tête des murs

Des marges sont prises sur les hypothèses de dimensionnement (schéma de poussée, angle Ω , angle de frottement, majoration de 20% des coefficients de l'action sismique).

La disposition des armatures, en particulier, à la connexion avec le pré-radier permet un fonctionnement ductile et la formation de rotules plastiques. Il est possible d'admettre une rotation plastique de l'ordre de 0,01 radian.

Les armatures transversales (épingles réparties) conduit à une valeur V_{Rd} bien supérieure à la valeur de l'effort tranchant (1*SL-2). Pour un niveau de séisme **2*SL-2**, les efforts tranchants restent inférieure à V_{Rd} .

En conséquence l'exigence de stabilité reste acquise pour un niveau de **2*SL-2**. Toutefois, il est considéré un niveau de **1,5*SL-2** pour limiter le déplacement maximal du mur coté ouest où à proximité se trouvent des ouvrages de génie civil.

Les déplacements sous le niveau de séisme 1,5*SL-2 sont indiqués dans le tableau suivant.

Coté	Typologie	G+Qqp+1,5*SL-2	G+Qqp	Séisme 1,5*SL-2
Nord	Epaisseur variable	14,8 cm	4,3 cm	10,5 cm
Ouest	Epaisseur variable	22,0 cm	5,0 cm	17,0 cm
Sud zone 1 (hors assemblage)	Epaisseur variable	7,9 cm	2,0 cm	5,9 cm
Sud zone 2 (assemblage)	Epaisseur constante de 1,50m	0 cm	0 cm	0 cm
Est	Epaisseur variable	11,8 cm	2,9 cm	8,9 cm

Tableau 30 : déplacements sous le niveau de séisme 1,5*SL-2

e) Le complexe tokamak

Le dimensionnement est conduit en utilisant un modèle tridimensionnel aux éléments finis et les méthodes de calcul sont conformes à celles recommandées pour les ouvrages nucléaires.

Les principaux résultats de l'analyse modale sont rappelés ci-après pour chaque direction X (ouest-est) et Y (nord-sud), et pour les valeurs basses et hautes du module de cisaillement dynamique des appuis (G min. et G max.)

Mode	G min.	G max.	
3	0,463 Hz	0,598 Hz	Translation Y et rotation autour de l'axe vertical Z
4	0,465 Hz	0,600 Hz	Translation X

Tableau 31 : Fréquences des modes fondamentaux

Niveau	Ux (ouest vers est) m		UY (sud vers nord) m	
	G min.	G Max.	G min.	G Max.
B2	0,089	0,074	0,087	0,072
L4	0,091	0,076	0,089	0,074
R1	0,091	0,079	0,090	0,074
Pont roulant	0,097	0,081	0,089	0,074

Tableau 32 : Déplacement maximal à différents niveaux, sans considérer le retrait

Niveau	X		Y	
	G min.	G Max.	G min.	G Max.
B2	0,720	0,99	0,74	1,02
L4	0,74	1,02	0,75	1,03
R1	0,747	1,03	0,75	1,03
Pont roulant	0,767	1,06	0,75	1,03

Tableau 33 : Accélérations horizontales en m/s^2 à différents niveaux

Les fréquences des modes fondamentaux du bâtiment sont celles des appuis parasismiques.

L'ouvrage se comporte comme un bloc rigide sans amplification des déplacements et accélérations entre le niveau du radier et le niveau d'appui de la poutre du pont roulant. La valeur de l'accélération pour G max est de $1 m/s^2$ (0,1g) ; pour un niveau de séisme 2,5*SL-2, elle sera de $2,5m/s^2$ (0,25g) qui est une valeur faible pour laquelle la stabilité reste assurée.

Le dimensionnement des éléments structuraux est réalisé à partir des efforts enveloppes issus des combinaisons des actions, en limitant la contrainte élastique des armatures.

Par ailleurs, le pourcentage minimal des armatures est de 0,125% par face et par direction dans les éléments qui ne délimitent pas une zone confinée et de 0,25% par face et par direction dans les éléments qui délimitent une zone de confinement. En outre dans le volume de connexion des éléments structuraux un chaînage est mis en place avec un pourcentage minimal des armatures.

Il convient de noter que le dimensionnement aux états limites sous l'action sismique, des éléments structuraux qui participent au confinement (cellules de traversées, Vault, local des injecteurs de neutres, galeries, local des cuves de drainage) est effectué en considérant une contrainte des armatures de $0,8 \cdot f_{yk} = 400$ MPa pour les éléments fléchis et de $0,50 f_{yk} = 250$ MPa pour les éléments tendus.

Les dispositions précitées favorisent la limitation de l'ouverture des fissures même pour un niveau de séisme 2,5*SL-2.

4.4.1.2.2.4 Récapitulatif de l'évaluation des marges vis-à-vis du SL-2

Ouvrage	Exigences de sûreté		
	Stabilité	Confinement, supportage d'équipements	Non interaction –Limitation déplacement
Pré-radier	2,0		
Murs de soutènement	2,0		1,5 (cas du mur ouest)
Appuis parasismiques	2,5		1,5 (interaction avec le hall d'assemblage)
Complexe tokamak	>2,5	2,0	1,5 (interaction avec le hall d'assemblage)

Tableau 34 : Récapitulatif de l'évaluation des marges

4.4.1.2.3 Analyse du hall d'assemblage – 13

4.4.1.2.3.1 Description

Le hall d'assemblage se situe au sud du Complexe tokamak, en continuité avec le hall du complexe tokamak.

Sa fondation est constituée d'un radier en béton armé d'épaisseur variable :

- 2,20m au droit des poteaux des portiques et des poteaux support des poutres des ponts roulants (niveau supérieur : 315,20NGF et niveau inférieur : 313,00)
- 1,20m dans la partie centrale du radier,
- 0,60m dans la partie centrale au sud dans la zone de supportage des rails venant du bâtiment 17.

Les dimensions en plan du radier sont de 60,90m (direction ouest-est) par 98,65m (direction nord-sud) ; il s'appuie sur un sol rocheux (calcaire) ; les dépôts du Miocène de la zone sud ont été remplacés par un béton de remplissage pour retrouver une rigidité homogène du sol d'assise.

Le hall est une structure en charpente métallique constituée de onze portiques espacés de 9,30m dont la portée entre axes des poteaux est de 58,88m. Vers l'intérieur au droit des poteaux du portique se trouvent les poteaux support des poutres des ponts roulants jusqu'au niveau +40,010. La ferme est une poutre à treillis de hauteur 5,538m au raccordement avec les poteaux des portiques. La hauteur du hall est de 56,88m au droit des poteaux et d'environ 59m au faite du toit.

Le système de contreventement est constitué comme suit :

- Des palées de stabilité dans la direction nord-sud, situées au nord sur une largeur de $3 \times 9,30\text{m} = 27,90\text{m}$.
- Des portiques dans la direction ouest-est ;
- De poutres au vent en toiture.

Ce hall est séparé du complexe tokamak par un joint d'ouverture 0,20m.

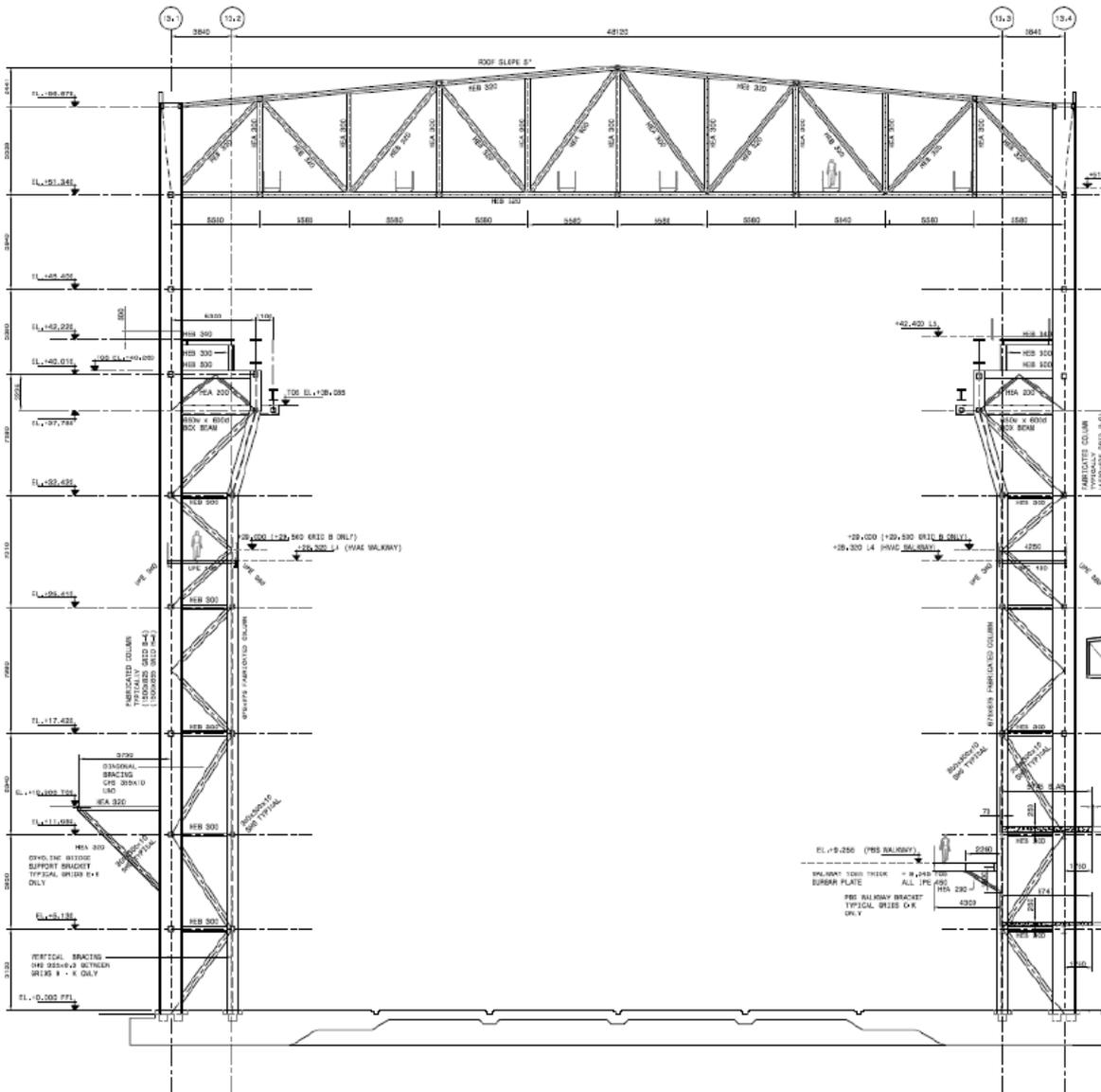


Figure 19 : Hall assemblage

4.4.1.2.3.2 Exigences de sûreté et de comportement

Les exigences de sûreté attribuées au hall d'assemblage sont indiquées dans le Tableau 35.

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Éléments concernés	Critères de conception
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité	Structure du hall d'assemblage à l'égard du complexe tokamak. Classe SC2	Document (1) Part. 1 :C3+§4.9.6
		Non interaction avec les ouvrages et bâtiments mitoyens		

Tableau 35 : exigences de sûreté attribuées au hall d'assemblage

Il convient de noter que le hall d'assemblage de classe SC2 est dimensionné sous l'action du séisme SL-2 selon les critères précités.

4.4.1.2.3.3 Analyse de la robustesse et des marges

Exigence de stabilité

L'analyse sismique du hall d'assemblage a été effectuée à partir d'un modèle aux éléments finis dans le domaine élastique. Pour cette analyse les ponts roulants sont en position de garage (deux ponts principaux de 750t et deux ponts auxiliaires de 50t).

Le système de contreventement et les assemblages des éléments métalliques sont conformes aux principes de conception des règles parasismiques. Compte tenu de la seule exigence de stabilité, le guide ASN 2/01 admet l'utilisation de méthodes statiques linéaires simplifiées qui traduisent l'incursion dans le domaine plastique. La structure métallique du hall a une capacité de déformation plastique qui conduit à une marge au-delà du niveau de séisme SL-2 à l'égard de sa stabilité. Cette marge peut être estimée au moins à **3*SL-2** en se fondant sur les valeurs des coefficients de comportement issus de l'Eurocode EN 1998-1 pour des structures métalliques de classe de ductilité DCM.

Exigence de non interaction

Pour respecter cette exigence à l'égard du complexe tokamak, il y a lieu d'évaluer le niveau de séisme n*SL-2 pour lequel il n'y a pas d'interaction entre le hall d'assemblage et le complexe tokamak. Cette exigence non interaction est vérifiée au niveau des poutres de roulement des ponts roulants (niveau + 42,22m)

En considérant les déplacements dans la direction nord-sud Uy de chacun des ouvrages, nous vérifions pour un niveau de séisme que $[(UY \text{ tokamak})^2 + (UY \text{ hall})^2]^{1/2} < 0,20\text{m}$ étant donné que les structures ne vibrent pas en phase.

Niveau séisme	UY tokamak (c)	UY Assemblage (m)	$[(UY \text{ tokamak})^2 + (UY \text{ hall})^2]^{1/2} < 0,20\text{m}$
SL-2	0,094	0,071	0,112
1,7*SL-2	0,16	0,12	0,20
1,6*SL-2	0,15	0,114	0,188
1,5* SL-2	0,141	0,09	0,167
2,0*SL-2	0,19	0,14	0,24

Tableau 36 : vérification de l'exigence de non interaction

Pour respecter l'exigence d'interaction, nous retenons une marge de 1,5 par rapport au niveau SL-2. Il convient de noter que cette évaluation est défavorable. Pour évaluer une marge supérieure à 1,5, il serait nécessaire de vérifier qu'une interaction entre la charpente métallique du hall et la structure en béton du complexe tokamak ne met pas en cause les exigences de sûreté attribuées au complexe tokamak.

D'où le récapitulatif des marges relatives au hall d'assemblage :

Ouvrages ou bâtiments	Classe sismique	Stabilité	Non interaction
Hall d'assemblage	SC2	3,0	1,5

Tableau 37 : récapitulatif des marges relatives au hall d'assemblage

4.4.1.2.4 Analyse du bâtiment des cellules chaudes – 21

4.4.1.2.4.1 Description

Le bâtiment des cellules chaudes est mitoyen avec les ouvrages suivants :

- Complexe tokamak au sud (11), joint de séparation de 0,20m
- Les bâtiments de traitement des déchets radioactifs (23) et d'accès en zone contrôlée (24) à l'ouest, le joint de séparation est de 0,10m.

Il a pour dimensions en plan : 61,00m dans la direction est-ouest par 64,00m dans la direction nord-sud. Il a une hauteur de 32,00m et comporte 4 niveaux, comme indiqué ci-après.

Repère	Désignation	Niveau
B2	Niveau supérieur du radier d'épaisseur 1,5m	-11,60
B1		-5,25
L1		+ - 0,00
L2		+5,38
L3		+10,56
R1	Niveau dalle de toiture	+20,40

Tableau 38 : Niveaux du bâtiment des cellules chaudes

Il est fondé sur le calcaire par l'intermédiaire d'un radier d'épaisseur 1,5m. Ce radier prend appui au niveau 303,40NGF sur une partie du mur de soutènement nord de l'encuvement du complexe tokamak. Le bâtiment des cellules chaudes a une forme régulière en plan et en élévation au sens du règlement EN 1998-1. Son système de contreventement est constitué :

- d'un réseau de voiles en béton armé répartis suivant les directions ouest-est et nord-sud ; leur élancement géométrique de 1/3 conduit à un fonctionnement de cisaillement dans leur plan sous l'action des forces inertielles dues au séisme ;
- de dalles de plancher jouant le rôle de diaphragmes horizontaux.

4.4.1.2.4.2 Exigences de sûreté et de comportement et critères de dimensionnement

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Éléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité	L'ensemble des éléments structuraux	Document (1) Part 1 : C3+§4.9.6
		Confinement dans les zones chaudes	Éléments structuraux qui délimitent les zones chaudes (liner mis en place)	Document (1) Part 1 : C3+§4.6.1

Tableau 39 : Exigences de sûreté et de comportement et critères de dimensionnement du bâtiment des cellules chaudes

Il convient de noter que le dimensionnement aux états limites sous l'action sismique, des éléments structuraux qui participent au confinement, est effectué en considérant une contrainte des armatures de $0,8 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa}$ pour les éléments fléchis et de $0,50 \cdot f_{yk} = 250 \text{ MPa}$ pour les éléments tendus.

4.4.1.2.4.3 Evaluation des marges

Dimensionnement

La considération d'une limitation des contraintes des armatures pour les éléments qui participent au confinement procure une marge de 1,25 à l'égard de la stabilité de ces éléments. Par ailleurs, dans les zones qui participent au confinement, il est mis en place un liner.

Par ailleurs, il convient de noter des marges dues à la quantité d'armatures mise en place par rapport à celle demandée sous séisme SL-2.

Ainsi pour les éléments structuraux extérieurs, telle la dalle de toiture, l'action dimensionnante est la chute d'avion de l'aviation générale. Pour cette dalle de toiture, la combinaison des actions comprenant la chute d'avion donne une quantité d'armatures (~320 kg/m³) qui est le double de celle déduite des combinaisons d'actions comprenant le séisme SL-2 (163 kg/m³).

Les déplacements maximaux sous séisme SL-2 sont les suivants :

Déplacement X (ouest est)	7,5mm
Déplacement Y (nord sud)	8,3mm

Tableau 40 : déplacements maximaux sous séisme SL-2

Comportement au séisme

Compte tenu de sa conception de forme régulière et du système de contreventement, le comportement sous séisme est robuste et la stabilité reste assurée au-delà du niveau de séisme de dimensionnement ; le règlement EN 1998-1 traduit ce comportement au moyen d'un coefficient de comportement au moins de 3. Par ailleurs, il y a un facteur de marge dû au dimensionnement. Pour ce système de contreventement nous évaluons la marge à un coefficient d'au moins 3,0 sans considérer le facteur de marge de dimensionnement, pour ce qui concerne l'exigence de stabilité.

Pour ce qui concerne l'exigence de confinement, en dimensionnement la contrainte des armatures a été minorée et un liner a été mis en place dans les zones concernées. Nous considérons une marge de 2,5*SL-2, d'où un déplacement en tête de 2,5*8,3mm = 20,8mm. La distorsion maximale correspondante est de 0,07% ; cette valeur faible conduit à une fissuration maîtrisée.

Le Tableau 41 donne une évaluation des marges en fonction de l'exigence requise.

Exigence	Stabilité	Confinement et supportage d'équipements
Marge	3,0	2,5
Niveau de séisme	3*0,34g=1,02g	2,5*0,34g=0,85g

Tableau 41 : évaluation des marges en fonction de l'exigence requise

4.4.1.2.5 Bâtiment de traitement des déchets radioactifs - 23

4.4.1.2.5.1 Description

Le bâtiment (23) contenant l'installation de gestion des déchets est situé à l'est du bâtiment cellules chaudes dont il est séparé par un joint de largeur 0,1m. Au sud, il est mitoyen au bâtiment d'accès en zone contrôlée - PACB (24) dont il est séparé par un joint de largeur 0,1m.

Sa partie enterrée a en plan des dimensions de 22,00m dans la direction ouest-est par 33,00m dans la direction nord-sud. Au niveau du sol, les dimensions en plan sont de 22,00m par 49,00m dues à l'ajout d'un sas camion au nord.

Il comporte quatre niveaux (B2, B1, L1 et L2) et deux niveaux de toiture à +9 ,00 et +12,00m.

Repère	Désignation	Niveau
B2	Niveau supérieur du radier d'épaisseur 0,80m	-11,60
B1		-5,25
L1		+ - 0,00
L2		+5,38
R1	Niveaux de toiture	+9,00m et +12,00m

Tableau 42 : Niveaux du bâtiment de traitement des déchets radioactifs

Au niveau B2, il est fondé sur un sol calcaire par l'intermédiaire d'un radier en béton armé d'épaisseur 0,80m. Au niveau du sol L1, un sas camion est fondé sur un radier (épaisseur : 0,80m) en prolongement de la dalle de plancher du niveau L1.

La vue au niveau L1 est présentée ci-après.

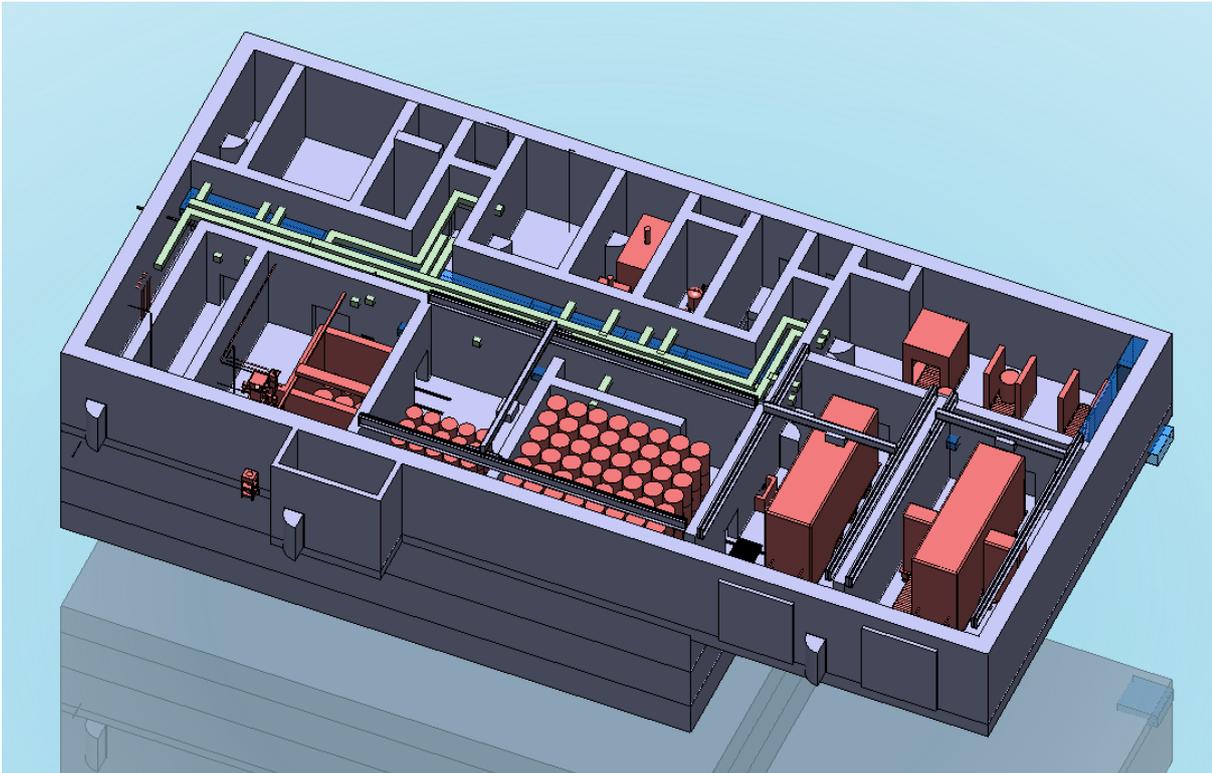


Figure 20 : Niveau L1 du bâtiment de traitement des déchets radioactifs

Le bâtiment est de forme moyennement régulière en élévation (ajout du sas camion au nord) et régulière en plan. Le système de contreventement est constitué des éléments structuraux suivants en béton armé :

- Un réseau de voiles dans les directions ouest-est et nord-sud ;
- Les radiers et dalles de plancher qui jouent le rôle de diaphragmes horizontaux ;

Les voiles extérieurs ont une épaisseur de 0,90m, les voiles intérieurs ont une épaisseur de 0,60m et les dalles de plancher ont une épaisseur de 0,60m. Celles-ci sont dimensionnées pour des protections

biologiques. Par ailleurs les voiles de façade et les dalles de toiture sont soumis à l'action de l'aviation générale.

4.4.1.2.5.2 Exigences de sûreté et de comportement, et critères de dimensionnement

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Éléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité	L'ensemble des éléments structuraux	Document (1) Part 1 : C3+§4.9.6
		Confinement	Éléments structuraux qui délimitent les zones chaudes (liner mis en place)	Document (1) Part 1 : C3+§4.6.1

Tableau 43 : Exigences de sûreté et de comportement, et critères de dimensionnement du bâtiment de traitement des déchets radioactifs

Il convient de noter que le dimensionnement aux états limites sous l'action sismique, des éléments structuraux qui participent au confinement, est effectué en considérant une contrainte des armatures de $0,8 \cdot f_{yk} = 400$ MPa pour les éléments fléchis et de $0,50 \cdot f_{yk} = 250$ MPa pour les éléments tendus.

4.4.1.2.5.3 Evaluation des marges

Pour cette évaluation, la démarche suivie est similaire à celle considérée pour le bâtiment des cellules chaudes et nous obtenons le même niveau de marge, comme indiqué dans le tableau suivant.

Exigence	Stabilité	Confinement et supportage d'équipements
Marge	2,5	2
Niveau de séisme	$2,5 \cdot 0,34g = 0,85g$	$2 \cdot 0,34g = 0,68g$

Tableau 44 : évaluation des marges pour le bâtiment de traitement des déchets radioactifs

4.4.1.2.6 Bâtiment d'accès en zone contrôlée -24

4.4.1.2.6.1 Description

Ce bâtiment est mitoyen à l'ouest avec le bâtiment des cellules chaudes et au nord avec le bâtiment de traitement des déchets radioactifs. Le sol d'assise a un module de cisaillement moyen d'environ $G = 0,45$ GPa.

La fondation est un radier en béton armé d'épaisseur environ 0,50m d'épaisseur, ayant pour dimensions en plan : 38,45m dans la direction ouest-est par 25,44m dans la direction nord-sud.

Ce bâtiment à ossature métallique (poteaux et poutres) a un niveau rez-de-chaussée et un étage ; les niveaux sont les suivants:

- Niveau rez-de-chaussée L1= +0,00
- Niveau plancher L2= +4,50

- Niveau de toiture à 8,20

Les poteaux sont répartis suivant une trame de 6,00m dans la direction ouest-est et de 6,00m à 9,00m dans la direction nord-sud. Le plancher du niveau L2 et la toiture sont constitués d'une poutraison métallique qui supporte une dalle en béton armé de 0,19m d'épaisseur.

Le système de contreventement est constitué de palées de stabilité à croix de Saint André sur les longs pans et sur les pignons, et des dalles en béton armé qui jouent le rôle de diaphragmes horizontaux qui transfèrent les efforts vers les palées.

4.4.1.2.6.2 Exigences de sûreté et de comportement, et critères de dimensionnement

Elles sont rappelées ci-après pour l'action sismique SL-2 (SMS et paléoséisme)

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Éléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité pour non interaction avec les bâtiments mitoyens	L'ensemble des éléments structuraux	Document (1) Part 1 :C3+§4.9.6
		Confinement	Structure de la salle de commande de secours	Document (1) Part 1 :C3+§4.6.1

Tableau 45 : Exigences de sûreté et de comportement, et critères de dimensionnement du bâtiment d'accès en zone contrôlée

Il convient de noter que la salle de commande de secours devrait être située dans l'angle sud-ouest au niveau L1. Les éléments structuraux qui délimitent cette salle sont en béton armé (voiles et dalle en plafond), les critères retenus et les dispositions d'armatures conduisent à limiter les déformations et la fissuration de ces éléments structuraux en béton armé.

4.4.1.2.6.3 Analyse sismique

Pour ce qui concerne la structure de la salle de commande de secours, il est considéré une limitation de la contrainte des armatures (de 0,5 à 0,8 f_{yk}). La disposition des armatures et le respect d'un pourcentage minimal répartissent et limitent l'ouverture des fissures.

L'analyse sismique est une analyse modale spectrale en considérant une fourchette des valeurs du module de cisaillement du sol d'assise et sur la base d'un modèle tridimensionnelle aux éléments finis. Le dimensionnement se situe dans le domaine élastique ce qui procure une marge par rapport au respect des exigences requises.

4.4.1.2.6.4 Evaluation des marges

Pour ce qui concerne la stabilité, le comportement d'une ossature métallique contreventée par des palées de stabilité à croix de Saint André possède une marge pouvant aller jusqu'à 4.

Pour ce qui concerne le supportage d'équipements et le confinement de la salle de commande de secours, la marge est de 2 pour limiter les déformations et la fissuration des éléments structuraux en béton armé.

Par ailleurs, un déplacement horizontal maximal de 0,04m à 0,05m sous séisme SL-2, au niveau de la toiture a été calculé. Le joint de séparation avec le bâtiment des cellules chaudes a une largeur de 0,10m. Pour

éviter une interaction entre ces deux bâtiments, il faut limiter le facteur de marge à 2. En effet, les déplacements en toiture du bâtiment d'accès en zone contrôlée sont de 0,08m à 0,10m sous 2*SL-2.

Exigence	Stabilité	Confinement, interaction
Marge	>2,5	2
Niveau de séisme	>2,5*SL-2g=0,85g	2*SL-2=0,68g

Tableau 46 : Evaluation des marges du bâtiment d'accès en zone contrôlée

4.4.1.2.7 Bâtiment contrôle - 71

4.4.1.2.7.1 Description

Le bâtiment contrôle a pour dimensions en plan : 72m dans la direction nord-sud par 48m dans la direction est-ouest.

Il comporte trois étages avec les niveaux suivants :

Repère	Désignation	Niveau
B1	Niveau supérieur du radier	-4,050
L1	Salle de commande	+ - 0,00 / -1.00
L2		+4.50
R	Niveaux des toitures	+8,50 et +13,80

Tableau 47 : Niveaux du bâtiment contrôle

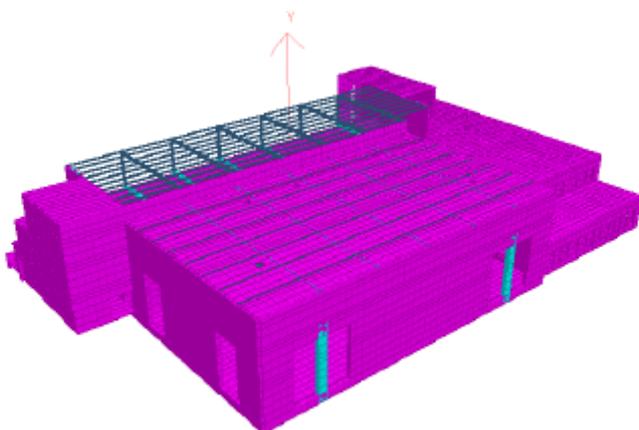


Figure 21 : Bâtiment contrôle

Le sol d'assise est constitué de remblais bien compactés au-dessus de dépôts du Miocène ; le module de cisaillement moyen varie de 300MPa à 600 MPa.

La partie en sous-sol ne règne qu'au nord-ouest et a pour dimensions en plan environ : 28m par 20m. Au nord une galerie enterrée relie le bâtiment 71 au bâtiment 72 (bureaux).

Aux niveaux B1 et L1, une dalle au sol en béton armé joue le rôle de fondation aux éléments structuraux verticaux et répartissant les efforts pour transfert au sol d'assise. Cette dalle a une épaisseur variable de 0,30m ; 0,50m et 0,65m suivant les efforts à transférer.

Les niveaux des toitures sont variables selon les zones : +4,50 ; +8,50 ; +11,61 ; +13,80.

La salle de commande principale et la salle de commande expérimentale se trouvent en partie sud-ouest. Elles ont pour dimensions en plan 43m par 25m et une hauteur de 1,61m. La toiture est constituée de poutres métalliques à treillis de 25m de portée dans la direction ouest-est.

Au sud-ouest, entre les niveaux +4,50 et +13,80, la structure est constituée d'une ossature métallique poteaux poutres sur un surface de 43x17m².

Le reste des éléments structuraux (voiles, poutres et dalles) est en béton armé.

Le système de contreventement est constitué par les voiles de façade, quelques voiles dans la direction ouest-est et des noyaux au droit des circulations verticales (cages d'escalier). Il convient de noter le peu d'éléments de contreventement verticaux avec des distances importantes entre ces éléments : par exemple les voiles des files C et O de la salle de commande dans la direction est-ouest sont espacés de presque 44m. Au sens de l'EN 1998-1, la conception d'ensemble est irrégulière : deux niveaux de fondation, plusieurs niveaux de toiture, structure mixte en éléments de béton armé et métallique, peu d'éléments verticaux de contreventement.

4.4.1.2.7.2 Exigences de sûreté et de comportement, et critères de dimensionnement

Elles sont rappelées ci-après pour l'action sismique SL-2 (SMS et paléoséisme)

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Eléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité	L'ensemble des éléments structuraux	Document (1) Part 1 :C3+§4.9.6

Tableau 48 : Exigences de sûreté et de comportement, et critères de dimensionnement du bâtiment contrôle

Il convient de noter que cette exigence de stabilité est requise pour d'autres actions accidentelles que le séisme, à savoir :

- Explosion externe,
- Actions climatiques accidentelles,
- Inondation due aux eaux d'extinction d'un incendie.

4.4.1.2.7.3 Analyse sismique

L'analyse sismique est similaire à celle décrite précédemment.

4.4.1.2.7.4 Evaluation des marges

Le facteur de marge est principalement dû au dimensionnement dans le domaine élastique, aux facteurs de réduction des contraintes des matériaux et au choix de section d'armatures et de profilés métalliques supérieurs aux valeurs calculées.

Par sécurité nous considérons le facteur de marge dû au dimensionnement élastique. L'évaluation se fonde sur la considération d'une incursion dans le domaine plastique par le biais d'un coefficient de comportement selon l'EN 1998. Etant donné le système de contreventement et la conception irrégulière, il est évalué à $80\% \times 2 = 1,6$.

Exigence	Stabilité
Marge	$1,6 * SL-2$
Niveau de séisme	$1,6 * 0,34g = 0,54g$

Tableau 49 : Evaluation des marges du bâtiment contrôle

4.4.1.2.8 Bâtiments des résistances et des réseaux de décharge - 75

4.4.1.2.8.1 Description

Cette installation comporte cinq bâtiments d'un seul niveau. Leur implantation est présentée ci-après : trois bâtiments ont des éléments structuraux en béton armé (repérés 1, 2 et 3, et tracés en bleu) et deux bâtiments ont une ossature métallique (repérés 4 et 5, et tracés en rouge). Ces bâtiments sont indépendants les uns des autres et sont séparés par des joints de largeur 0,10 m pour éviter une interaction sous les différentes combinaisons d'actions.

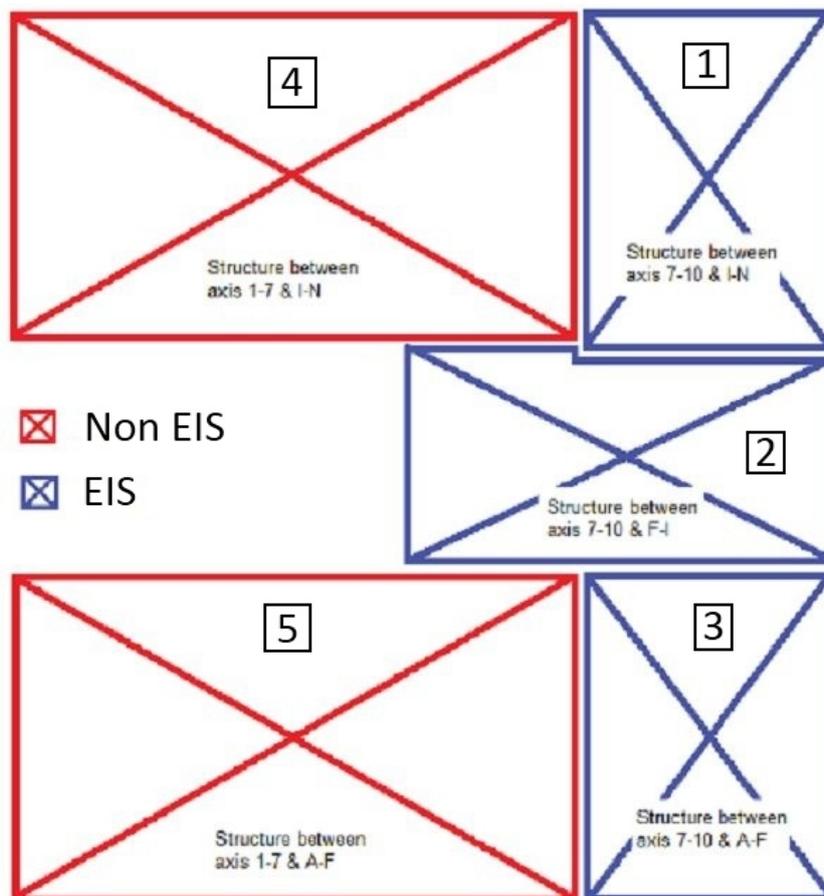


Figure 22 : Bâtiments des résistances et des réseaux de décharge

Les dimensions en plan de ces bâtiments sont environ les suivantes :

- Bâtiments 1 et 2 : 26m (nord-sud) par 16m (ouest-est) ;
- Bâtiment 3 : 12m (nord-sud) par 25m (ouest-est) ;
- Bâtiment 4 : 25m (nord-sud) par 34m (ouest-est) ;
- Bâtiment 5 : idem que le bâtiment 4.

Le sol d'assise est du rocher (calcaire).

Les fondations sont des radiers en béton armé séparés par un joint de largeur 0,10m. L'épaisseur de chaque radier est de 0,50m avec un épaissement au droit des voiles de façade. Par ailleurs, les voiles de façade : nord et est (bâtiment 1), est (bâtiment 2), et est et sud (bâtiment 3) sont prolongés dans le sol par des poutres de 0,80m de large et d'une hauteur d'au moins la hauteur de la galerie enterrée.

Les bâtiments 1, 2 et 3 à structures en béton armé ont une forme régulière ; le système de contreventement est constitué par des voiles dans les deux directions horizontales nord-sud et ouest-est, ainsi que par le radier et la toiture (poutres et dalles en béton armé) qui jouent le rôle de diaphragmes rigides répartissant les forces inertielles vers les voiles.

Les bâtiments 4 et 5 ont une ossature métallique s'appuyant sur un radier en béton armé ; le contreventement est assuré dans la direction nord-sud par des portiques espacés de 5,00m et par des palées de stabilité à croix de Saint André dans la direction ouest-est ; en outre, une poutre au vent en toiture transfère les efforts vers les portiques et les palées.

Cette conception de forme régulière pour des bâtiments de un niveau fondé sur un sol rocheux est favorable à un comportement sismique qui offre des marges significatives au-delà du niveau de séisme de dimensionnement.

4.4.1.2.8.2 Exigences de sûreté et de comportement, et critères de dimensionnement

Les bâtiments 1, 2 et 3 contiennent des équipements importants pour la sûreté (EIS) et sont classés sismiques SC2.

Les bâtiments 4 et 5 ne contiennent pas des équipements importants pour la sûreté ; leur seule exigence est la non-agression des bâtiments 1, 2 et 3.

D'où les exigences rappelées ci-après pour l'action sismique SL-2 (SMS et paléoséisme)

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Eléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité (supportage EIS) et non interaction avec les bâtiments mitoyens	L'ensemble des éléments structuraux des bâtiments 1, 2 et 3	Document (1) Part 1 : C3+§4.9.6
		Stabilité et non interaction avec les bâtiments mitoyens	Bâtiments 4 et 5	

Tableau 50 : Exigences de sûreté et de comportement, et critères de dimensionnement des bâtiments des résistances et des réseaux de décharge

4.4.1.2.8.3 Analyse sismique

Cette analyse est une analyse modale spectrale dans le domaine élastique à partir de modèles aux éléments finis. Les principaux résultats sont présentés ci-après pour chaque bâtiment.

Bâtiment		D.X ouest-est (m)	D.Y nord-sud (m)	D.Z (m)
Bâtiment 1 ou 3	Minimum	-0,003	-0,004	-0,006
	Maximum	0,003	0,004	0,002
Bâtiment 2	Minimum	-0,005	-0,003	-0,014
	Maximum	0,004	0,003	0,002
Bâtiment 4 ou 5	Minimum	-0,035	-0,035	-0,068
	Maximum	0,036	0,035	0,004

Tableau 51 : Déplacements au niveau de la toiture

D'où la vérification de la non interaction au niveau des toitures des bâtiments 1-4 ou 3 -5 dans la direction ouest-est, et 2-4 ou 2-5 dans la direction nord-sud pour différents niveaux de séismes. Les interactions entre les bâtiments 2-1 et 2-3 sont moins défavorables. Pour cette vérification, on considère que les déplacements entre les bâtiments en béton armé et métalliques ne sont pas en phase (cumul quadratique des déplacements).

Bâtiments 1-4		D. X (m)		D. X total (m)
		Bâtiment 1	Bâtiment 4	
	SL-2	0,003	0,036	0,036
	1,5*SL-2	0,002	0,054	0,054
	2,0*SL-2	0,006	0,072	0,072
	2,3*SL-2	0,006	0,083	0,083
	2,5*SL-2	0,007	0,090	0,090
Bâtiments 2-1		D. Y (m)		D. Y total (m)
	SL-2	0,003	0,036	0,036
	1,5*SL-2	0,005	0,054	0,054
	2,0*SL-2	0,006	0,072	0,072
	2,3*SL-2	0,007	0,083	0,083
	2,5*SL-2	0,008	0,090	0,090

Tableau 52 : vérification de la non-interaction au niveau des toitures des bâtiments

Les déplacements restent inférieurs au joint entre bâtiments égal à 0,10m.

4.4.1.2.8.4 Evaluation des marges

Les facteurs de marges sont essentiellement la conception (régularité, faible élancement, système de contreventement) et le dimensionnement (méthodes, domaine linéaire, sections des armatures et des profilés métalliques retenues).

Ils se traduisent par un facteur de comportement qui compte tenu de la conception pourrait être de 3. Compte tenu d'une amplification dynamique verticale en toiture des bâtiments 1, 2 et 3, nous retiendrons le même facteur de marges de 2,5 que pour la non interaction.

Facteur de marges	comportement	Stabilité, supportage	Non interaction
	Niveau sismique	2,5 2,5*SL-2=0,84g	2,5 2,5*SL-2=0,84g

Tableau 53 : Evaluation des marges des bâtiments des résistances et des réseaux de décharge

4.4.1.2.9 Installation d'alimentation électrique des injecteurs de neutres - 37

4.4.1.2.9.1 Description

Cette installation comprend les structures de bâtiments suivantes de l'ouest vers l'est :

- Un petit bâtiment annexe,
- Un bâtiment DNB
- Deux bâtiments identiques HV 1 et 2

Ce sont des bâtiments à ossature métallique, d'un seul niveau, s'appuyant sur un radier en béton armé.

Le bâtiment DNB est un hall métallique ayant pour dimensions en plan 28,00m dans la direction nord-sud (Y) par 19,50m dans la direction ouest-est (X). La hauteur au niveau de la toiture est de 14,30m. Il est constitué de cinq portiques de portée 18,00m entre axes des éléments verticaux et espacés de 7,50m, 2 fois 6,50m et 7,50m. Les éléments verticaux et la ferme sont des éléments à treillis, la ferme ayant une hauteur de 1,80m.

Le contreventement est assuré par les portiques dans la direction ouest-est et par des palées de stabilité dans la direction nord-sud.

Chaque bâtiment HV a pour dimensions en plan 28,00m dans la direction nord-sud par 29,00m dans la direction ouest-est ; la hauteur est de 25,45m au niveau du faite de la toiture. La structure comporte cinq portiques de portée 26,61m entre axes des éléments verticaux et espacés de 7,25m (quatre espacements de 7,25m). Les éléments verticaux et la ferme sont des éléments à treillis. Le contreventement est assuré par les portiques dans la direction nord-sud et par des palées de stabilité dans la direction ouest-est.

4.4.1.2.9.2 Exigences de sûreté et critères de dimensionnement

Ce bâtiment est classé SC2 sous séisme.

Les exigences attribuées à ces bâtiments sous séisme sont rappelées dans le tableau ci-après.

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Eléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité et non interaction avec les bâtiments et systèmes EIS mitoyens et proches	L'ensemble des éléments structuraux	Document (1) Part 1 : C3+\$4.9.6

Tableau 54 : Exigences de sûreté et critères de dimensionnement de l'installation d'alimentation électrique des injecteurs de neutre

4.4.1.2.9.3 Analyse sismique

L'analyse du comportement de ces bâtiments sous séisme est une analyse modale, à partir de modèles aux éléments finis, dans le domaine linéaire.

Les directions de séismes ont été combinées selon la méthode de Newmark.

Les déplacements en toiture sous séisme sont les suivants :

- Bâtiments HV 1 ou HV 2 :
 - Direction ouest-est (X), UX = 20,2mm
 - Direction nord-sud (Y), UY = 29,54mm
- Bâtiment DNB :
 - Direction ouest-est (X), UX = 35,5mm
 - Direction nord-sud (Y), UY = 36mm

4.4.1.2.9.4 Evaluation des marges

Ces bâtiments à ossature métallique qui sont conçus et dimensionnés à un niveau de séisme (1*SL-2) selon des critères en cohérence avec des règles parasismiques dans un domaine linéaire élastique ont des marges à l'égard de l'exigence de stabilité. Ces marges proviennent de la conception et de la capacité de ces structures à se déformer au-delà du comportement élastique (capacité ductile).

Le règlement traduit cette possibilité d'incursion dans le domaine plastique par le biais de coefficients de comportement. Pour ce type de structure, le règlement EC8-1 admet un coefficient de comportement allant jusqu'à 4.

En se fondant sur cette valeur réglementaire et sur les valeurs des déplacements qui restent limités, la marge peut être **évaluée à 3, à l'égard d'une stabilité d'ensemble**.

Les déplacements sont alors les suivants pour ce niveau de 3*SL-2 :

- Bâtiments HV 1 ou HV 2 :
 - Direction ouest-est (X), UX = 60,6mm
 - Direction nord-sud (Y), UY = 88,62mm
- Bâtiment DNB :
 - Direction ouest-est (X), UX = 106,5mm
 - Direction nord-sud (Y), UY = 36mm

Facteur de marges	Comportement	Stabilité, supportage
	Niveau sismique	3
		3*SL-2=1,02g

Tableau 55 : Evaluation des marges des bâtiments d'alimentation électrique des injecteurs de neutres

4.4.1.2.10 Bâtiments des alimentations de secours – 44 (train A) et 45 (train B)

4.4.1.2.10.1 Description

Les bâtiments des alimentations de secours 44 et 45 ont une conception identique.

Le bâtiment 44 se trouve à l'est du complexe tokamak avec au sud de celui-ci le bâtiment de moyenne tension du train A.

Le bâtiment 45 se trouve à l'ouest du complexe tokamak le long du mur de soutènement ouest de l'encuvement ; au nord de celui-ci il y a le bâtiment de moyenne tension du train B.

Le bâtiment 44 comprend deux blocs dits « phase 1 et phase 2 ». Ces deux blocs sont des ouvrages en béton armé fondés sur un radier d'épaisseur 0,80m. Le bloc phase 1 le plus à l'ouest a pour dimensions : 16,50m de large (3 fois 5,50m) dans la direction nord-sud, 18,52m de long dans la direction ouest-est (3 fois 6,175) et une hauteur de 13,50m. Il comporte trois niveaux de planchers : +4,00m, +7,50m et +11,50m. Le contreventement est assuré par les voiles de façade et par un voile intermédiaire dans la direction nord-sud ainsi que par les dalles de plancher. Les voiles ont une épaisseur de 0,40m et les dalles de plancher de 0,30m.

Le bloc phase 2 est séparé du bloc phase 1 par un joint de largeur 0,20m. Il a pour dimensions : 13,00m de large (3,00m ; 7,00m et 3,00m) dans la direction ouest-est, 16,50m de long dans la direction nord-sud et une hauteur de 13,50m ; il a un seul niveau (une dalle de toiture de largeur 3,00m à +4,00m et une dalle de toiture de largeur 10,00m à +11,50m. Son système de contreventement est similaire à celui du bloc phase 1.

Ces deux blocs, de par leur système de contreventement et leur forme régulière, ont un comportement sismique favorable qui procure des marges par rapport au niveau de séisme de dimensionnement.

Pour cette typologie de bâtiment, il convient de noter que selon les règles parasismiques EC8-1, il est admis un coefficient de comportement de 3 qui traduit l'incursion dans le domaine plastique.

Toutefois ces deux blocs ont un élancement géométrique (hauteur/largeur) de 0,9 pour le bloc phase 2 et de 0,7 pour le bloc phase 1 qui peut conduire sous séisme à des soulèvements significatifs de la fondation et à un comportement non-linéaire au contact avec le sol d'assise.

4.4.1.2.10.2 Exigences de sûreté et critères de dimensionnement

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Eléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité (supportage EIS) et non interaction avec les bâtiments mitoyens	L'ensemble des éléments structuraux des bâtiments	Document (1) Part 1 : C3+\$4.9.6

Tableau 56 : Exigences de sûreté et critères de dimensionnement des bâtiments des alimentations de secours

4.4.1.2.10.3 Evaluation des marges

En se fondant sur les facteurs de marges dus d'une part à la conception et au dimensionnement dans la domaine élastique, d'autre part à un coefficient de comportement réglementaire traduisant une incursion dans la domaine plastique, la marge au-delà du niveau sismique SL-2 pourrait être évaluée à au moins 2,5.

Toutefois au stade actuel, à défaut d'analyse détaillée, pour limiter le soulèvement de la fondation sous séisme, la marge est limitée à **2*SL-2**.

Facteur de marges	Comportement	Stabilité, supportage
	Niveau sismique	2
		2*SL-2=0,68g

Tableau 57 : Marges sur les bâtiments des alimentations de secours

4.4.1.2.11 Ouvrages de stockage du carburant – 42 (train A) et 43 (train B)

4.4.1.2.11.1 Description

Chacun de ces ouvrages comprend deux ouvrages en béton armé de forme prismatique séparés par un joint de largeur 0,10m. Ils sont disposés dans une excavation qui est ensuite remblayée après leur construction, comme indiqué sur la vue ci-après.

A ce jour, Le premier ouvrage qui contient une cuve de 100m³ a pour dimensions : 7,00m de large par 18,72m et 5,45m de haut. Les éléments structuraux comportent un radier de 0,50m d'épaisseur et quatre voiles périphériques de 0,50m d'épaisseur. La couverture est constituée de dalles amovibles d'épaisseur 0,50m ; elles ont portée de 6,20m et s'appuie sur les voiles longitudinaux par l'intermédiaire de corbeaux en béton armé.

Le second ouvrage est de conception similaire au premier ouvrage. Il contient une cuve de 30m³ et a pour dimensions : 7,00m de large par 10,55m de long avec une hauteur des voiles périphériques de 5,45m.

Les figures ci-après présentent la vue en plan et une coupe relatifs au premier ouvrage.

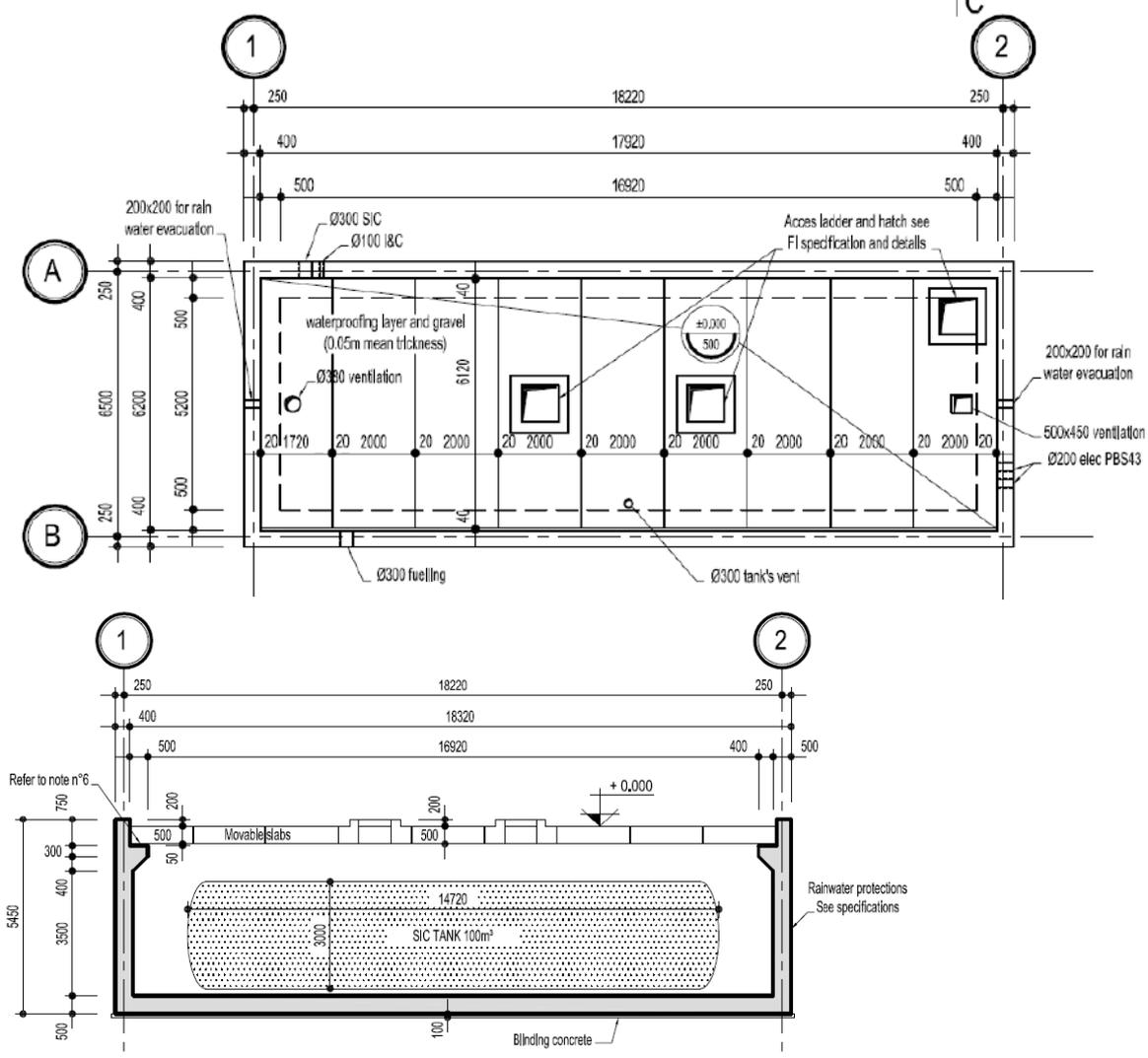


Figure 23 : Ouvrages de stockage du carburant

4.4.1.2.11.2 Exigences de sûreté et critères de dimensionnement

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Eléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité (supportage EIS) et non interaction avec les bâtiments mitoyens	L'ensemble des éléments structuraux des bâtiments	Document (1) Part 1 : C3+§4.9.6

Tableau 58 : Exigences de sûreté et critères de dimensionnement des ouvrages de stockage des carburants

4.4.1.2.11.3 Analyse sismique

Il est effectué une analyse modale spectrale à partir d'un modèle 3D aux éléments finis dont les principaux résultats relatifs au premier ouvrage sont les suivants :

L'axe X est dans la direction longitudinale et l'axe Y dans la direction transversale.

Accélération maximale en tête des voiles		
AX m/s ²	AY m/s ²	AZ m/s ²
6,12	11,82	2,49

Tableau 59 : Accélération maximale en tête des voiles

Dans la direction transversale, le voile longitudinal appuyé sur trois côtés et de longueur 18,00m a un mode de vibration propre ; l'accélération en tête est de 1,2g.

	Déplacements en tête des voiles		
	D.X (mm)	D.Y (mm)	D.Z (mm)
Minimum	-1	-21	-5
Maximum	2	20	-2

Tableau 60 : Déplacements en tête des voiles

4.4.1.2.11.4 Evaluation des marges

Ces ouvrages enterrés de forme simple et régulière présente un comportement robuste à l'égard du séisme.

En se fondant sur les facteurs de marges dus d'une part à la conception et au dimensionnement dans le domaine élastique, d'autre part à un coefficient de comportement réglementaire traduisant une incursion dans le domaine plastique, la marge au-delà du niveau sismique SL-2 peut être évaluée à **au moins 2**. Le dimensionnement et les dispositions des armatures des corbeaux seront adaptés à ce niveau de séisme. Par ailleurs, il y aura lieu de considérer l'effet de butée des voiles au niveau des dalles de toiture.

Facteur de marges	Comportement	Stabilité, supportage
	Niveau sismique	2
		2*SL-2=0.68g

Tableau 61 : Marges sur les ouvrages de stockage des carburants

4.4.1.2.12 Bâtiments de distribution électrique moyenne tension – 46 et 47

4.4.1.2.12.1 Description

Ces ouvrages se trouvent l'un au nord-ouest du complexe tokamak près du mur de soutènement ouest, l'autre à l'est du complexe tokamak. Ils sont de conception identique.

Chaque ouvrage comporte un seul niveau (niveau toiture à +3,60m). Il est constitué des éléments en béton armé suivants :

- Un radier d'épaisseur 0,50m, ayant pour dimensions en plan 24,10m par 14,95m,
- Une structure occupant une partie de la surface du radier, de dimensions en plan 15,00m par 14,95m et comportant :
 - Des poteaux de dimensions 0,40m par 0,40m selon une trame de 3,90m par 3,00m
 - Un voile de longueur 14,95m et d'épaisseur 0,40m,
 - Un voile de cage d'escalier et un voile d'angle d'épaisseur 0,40m,
 - Une dalle de toiture d'épaisseur 0,30m au niveau 3,60m.

Le système de contreventement est constitué des voiles et de la dalle de toiture.

La vue en plan est présentée ci-après.

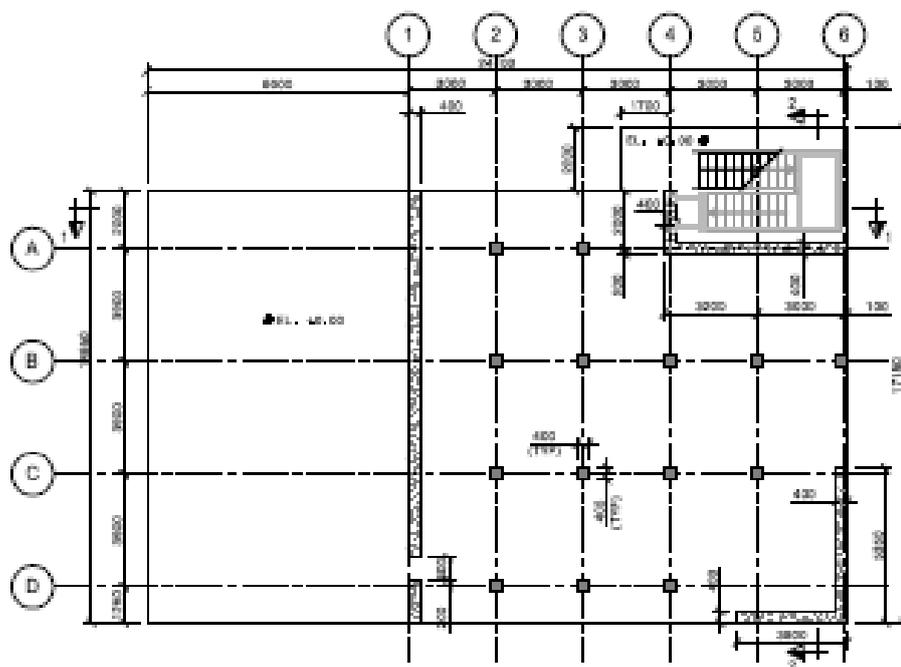


Figure 24 : Bâtiment de distribution électrique moyenne tension

4.4.1.2.12.2 Exigences de sûreté et critères de dimensionnement

Condition	Cat.	Exigences sûreté et comportement	Eléments concernés	Critères de dimensionnement
Accidentelle Séisme SL-2 (SMS, paléoséisme)	IV	Stabilité et non interaction avec les bâtiments et systèmes EIS mitoyens et proches	L'ensemble des éléments structuraux	Document (1) Part 1 : C3+\$4.9.6

Tableau 62 : Exigences de sûreté et critères de dimensionnement des bâtiments de distribution de moyenne tension

4.4.1.2.12.3 Dimensionnement

Cet ouvrage a été dimensionné au séisme SL-2 (SMS et Paléoséisme) selon le code EN 1998-1 en considérant un coefficient de comportement d'au moins 2.

Le déplacement maximal en toiture est de 5,85mm, ce qui représente une faible distorsion de 0,17%.

4.4.1.2.12.4 Evaluation des marges

Ces ouvrages d'un niveau contreventé par des voiles présentent une robustesse de par leur conception. Les dispositions d'armatures conformes aux recommandations de l'EN 1998-1 permettent une incursion dans le domaine plastique qui a été considérée en partie par le biais d'un coefficient de comportement.

Compte tenu de la robustesse de conception et du faible déplacement, il subsiste une marge substantielle à l'égard du respect des exigences de sûreté qui est évaluée à $1,5 \cdot SL-2$.

Facteur de marges	Comportement	Stabilité, supportage
	Niveau sismique	1,5
		$1,5 \cdot SL-2 = 0.51g$

Tableau 63 : Marges sur les bâtiments de distribution de moyenne tension

4.4.1.2.13 Synthèse des marges au-delà du niveau de séisme de dimensionnement

La synthèse des marges au-delà du niveau de séisme de dimensionnement SL-2 pour chacun des ouvrages et bâtiments de l'installation ITER présentant une exigence de sûreté, est présentée dans le tableau ci-après.

Ouvrages ou bâtiments		Classe sismique	Exigences			observations
			Stabilité	Confinement statique Supportage équipements	Non interaction : limitation des déplacements	
12	Pré-radier du complexe tokamak	SC1(S)	2			
12	Murs de soutènement du complexe tokamak	SC2	2		1,5	Déplacement en tête du mur ouest
12	Plots supportant les appuis parasismiques	SC1(S)	2			
19	Appuis parasismiques	SC1(S)	2,5			
11-14-74	Complexe tokamak : tokamak, tritium, diagnostic	SC1(S)	2,5	2	1,5	Non interaction avec le hall d'assemblage
13	Hall d'assemblage	SC2	2		1,5	Non interaction avec le complexe tokamak
21	Bâtiment des cellules chaudes	SC1(S)	3	2,5		Liner participant au confinement
23	Bâtiment de traitement des déchets radioactifs	SC1(S)	2,5	2		Liner participant au confinement
24	Bâtiment d'accès à la zone contrôlée	SC1(S)	2,5	2		
71	Bâtiment contrôle	SC1(S)	1,6			
75	Bâtiments des résistances et des réseaux de décharge	SC2	2,5		2,5	
37	Bâtiments d'installation électrique des injecteurs de neutre	SC2	3			
44-45	Bâtiments des alimentations de secours	SC2	2			
42-43	Ouvrages de stockage des	SC2	2,0			

	carburants					
46-47	Ouvrages de distribution électrique moyenne tension	SC2	1,5			

Tableau 64 : Synthèse des marges au-delà du niveau de séisme de dimensionnement

Les marges précitées sont par rapport au niveau de séisme SL-2 caractérisé par le SMS et le paléoséisme du site de Cadarache selon la RFS 2001-01.

4.4.2 Marges sur les équipements

Afin de protéger les équipements essentiels contre ces agressions, ITER a prévu de mettre en œuvre les dispositions suivantes :

- le maintien dans toutes les situations d'une dernière barrière de confinement robuste, interposée entre les matières radioactives et l'environnement. Le niveau d'étanchéité de cette barrière est susceptible d'être dégradé dans ces conditions extrêmes au regard des conditions initiales de dimensionnement, mais l'intégrité de la barrière sera maintenue de sorte à limiter les rejets de matières radioactives pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, avec une marge minimale de 50% ;
Par ailleurs, il est retenu une approche graduée de qualification sismique des équipements et d'appliquer une qualification des lignes cryogéniques inférieures à celle des lignes avec matières radioactives. Ainsi les circuits cryogéniques seront qualifiés à un séisme de type SL-2, avec une marge d'environ 10%.
- la protection des équipements essentiels contre toutes les agressions internes et externes extrêmes de sorte à les maintenir disponibles dans toutes les situations ;
- une résistance mécanique des équipements de structure pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, une marge de 50% est actuellement prévue à cet égard ;
- une exigence de maintien de l'intégrité des équipements essentiels ayant une fonction de confinement des matières radioactives, pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, avec une marge de 50% ;
- La mise en place de batteries d'ultime secours avec une autonomie de 2 heures, qualifiées pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, avec une marge de 50%, permettant de raccorder les équipements essentiels nécessitant une alimentation interrompue, via des câbles de secours disponibles.

Le tableau récapitule par exigence de sûreté les marges sur les équipements essentiels :

Sc.*	Bât**	Eléments essentiel	Alimentation électrique nécessaire	Classe sismique	Confinement Après séisme	Opérabilité après séisme
1	11	Igniteurs et alimentation électrique dans le bâtiment tokamak (batterie, câbles, tableaux, etc)		SC1(SF)		1,5*SL-2

Sc.*	Bât**	Éléments essentiel	Alimentation électrique nécessaire	Classe sismique	Confinement Après séisme	Opérabilité après séisme
1	11	Vannes d'isolement de la chambre à vide		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
1	11	Vannes d'isolation des traversées (y compris les portes) du bâtiment tokamak sur toutes les faces (NB cell et vault)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
2	11	Vanne d'isolement et obturateur rapide entre la NBI et la chambre à vide		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
2	11	Vannes d'isolation des traversées (y compris les portes) du bâtiment tokamak sur toutes les faces (NB cell)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
3	11-14	Vannes d'isolement des traversées des lignes d'injection/soutirage du tritium		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
4	14	Vannes d'isolement du circuit SDS		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
4	14	Sectorisation incendie des locaux SDS du bâtiment tritium (clapets coupe-feu)		SC1(SF)		1,5*SL-2
4	14	Organes d'isolement des traversées (y compris les portes) de génie civil (du local SDS et de la dernière barrière de confinement du bâtiment tritium)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
4	14	Extinction (y compris les réserves d'eau)				1,5*SL-2
5	14	Système de brassage de l'air du local ISS et alimentation électrique dans le bâtiment tokamak (câbles, tableaux, etc)	nécessaire	SC1(SF)		1,5*SL-2
5	14	Vannes d'isolement des traversées (y compris les portes) de la dernière barrière de confinement du bâtiment tritium sur toutes les faces		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2

Sc.*	Bât**	Eléments essentiel	Alimentation électrique nécessaire	Classe sismique	Confinement Apres séisme	Opérabilité après séisme
6	21	Vannes d'isolement des traversées (y compris les portes) des zones rouges (1 ^{er} système de confinement) du bâtiment des cellules chaudes sur toutes les faces		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
6	21	Filtres THE des systèmes de ventilation du bâtiment des cellules chaudes et tronçons de gaines de ventilation (HVAC)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
7	23	Vannes d'échappement de la ventilation procédé (cuve de stockage des résines usées ou de concentrats)		SC1(SF)		1,5*SL-2
7	23	Vannes d'isolement des traversées (y compris les portes) du bâtiment de traitement des déchets radioactifs sur toutes les faces (locaux des résines usées et des concentrats)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
8	11	Vannes de drainage du VVPSS et actionnement associé déporté (manuel)		SC1(SF)		1,5*SL-2
9	23	Cuvelage de rétention sous les cuves de résines et de concentrats du bâtiment de traitement des déchets radioactifs		SC1(SF)	1,5*SL-2	
9	23	Vannes d'isolation des traversées (y compris les portes) du bâtiment de traitement des déchets radioactifs (locaux des résines usées et des concentrats)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
11	11	Ligne de décharge du VVPSS située entre la connexion au NBI et le réservoir VVPSS		SC1(SF)	1,5*SL-2	
11	11	Composants de la ligne de décharge ie disque de		SC1(SF)		1,5*SL-2 (position

Sc.*	Bât**	Eléments essentiel	Alimentation électrique nécessaire	Classe sismique	Confinement Apres séisme	Opérabilité après séisme
		rupture, vannes...				ouverte)
12	14	Organes d'isolement des traversées (y compris les portes) des locaux du procédé		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
12	14	Sectorisation incendie des locaux du bâtiment tritium (clapets coupe-feu)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
12	14	Système d'extinction incendie (y compris les réserves d'eau)	nécessaire	SC1(SF)		1,5*SL-2
1-5-12	x	Groupe électrogène ultime et câbles associés		SC1(SF)		1,5*SL-2
1-5-12	x	Batteries ultimes		SC1(SF)		1,5*SL-2
1-5-12	x	Stockage carburant pour groupe ultime		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2

Avec :

*Sc. : référence du scénario considéré

**Bât. : Numéro du bâtiment considéré (11 : bâtiment tokamak, 14 : bâtiment tritium, 21 : bâtiment des cellules chaudes, 23 : bâtiment de traitement des déchets radioactifs)

Qualification pour le niveau de séisme SL-2

Pour le niveau de séisme SL-2, la qualification par analyse se fera avec des critères de dimensionnement et les spectres de plancher pris à proximité de l'emplacement final de l'équipement. Les spectres de plancher de référence seront identiques pour la qualification par essais. Pour des équipements uniques dans le bâtiment, le spectre de plancher au point le plus proche sera considéré. Par soucis de simplification, pour des équipements identiques situés à plusieurs endroits du bâtiment (vannes des circuits hydrauliques, armoires électriques, système anti-incendie, etc...), des spectres enveloppes seront pris comme référence (spectre enveloppe pour le bâtiment). Si les équipements identiques sont situés à un seul niveau, seuls les spectres de ce niveau seront pris en compte pour la détermination des spectres de référence (spectre enveloppe pour l'étage).

Qualification pour le niveau d'agression majoré

Une attention particulière sera portée aux équipements essentiels. Dans la mesure du possible, les équipements essentiels (noyaux durs) seront implantés aux endroits où les spectres transférés sont les plus faibles (par exemple, à proximité des murs et non pas aux centres des dalles). En outre, pour ces équipements, les spectres de plancher seront déterminés en ne tenant pas compte de certains facteurs pris pour le niveau SL-2 tels que l'interaction sol-structure et l'effet de l'incohérence spatiale mouvement sismique. Pour chaque équipement essentiel, le spectre à proximité sera pris en compte. Pour les

équipements ne pouvant pas être calculés, des essais de qualification seront effectués uniquement si les niveaux de spectre sont supérieurs à ceux du séisme SL-2 et si ces équipements ne sont pas inclus dans la base de données SQUG (<http://squg.mpr.com/>). Pour les équipements dont la démonstration de tenue se fera par calcul, on s'autorisera l'utilisation des critères admis pour les réévaluations sismiques [3]. On notera toutefois qu'en raison de l'isolation sismique, la ductilité ne confère pas à l'équipement de marges supplémentaires notables par rapport aux excitations sismiques horizontales : le chargement sismique horizontal est un effort imposé (et non pas un déplacement imposé) pour les équipements dont les fréquences sont supérieures à la fréquence de coupure. On évitera donc de prendre en compte les facteurs de réduction due à la ductilité pour leur justification.

Toutes ces dispositions d'aménagement, méthodologique ou calculatoires permettront de dégager des marges intrinsèques supplémentaires pour les équipements essentiels.

5 INONDATION EXTERNE

Le site ITER est situé sur le bassin versant du Verdon non loin de la confluence avec la Durance.

Sur le site ITER, l'eau est drainée principalement par deux talwegs appelés vallons du Prionnet et de la Verrerie.

La situation du site d'ITER est représentée en Figure 25.

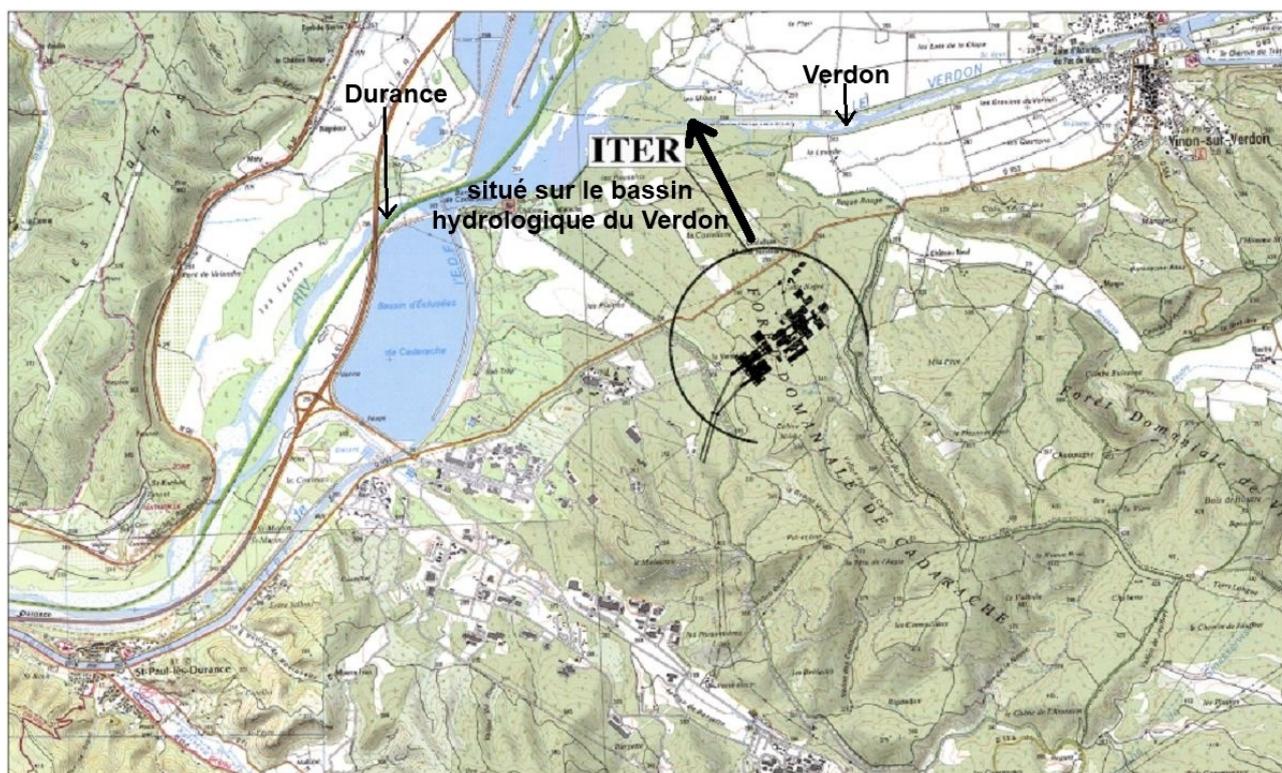


Figure 25 : Localisation du site de Cadarache

Le bassin versant affecté par le projet ITER a été découpé en 3 sous bassins versants (voir Figure 26) :

- le bassin versant nord (bassin versant n°1),
- le bassin versant sud (bassin versant n°2),
- le bassin versant de la zone ITER.

Les caractéristiques de ces sous- bassins sont indiquées dans le Tableau 65.

	Bassin versant n°1 nord	Bassin versant n°2 sud	Bassin versant zone ITER
Superficie (ha)	94,5	99,6	68,8
Longueur du drain principal (m)	1880	1875	1415
Pente (m/m)	0,064	0,06	0,059

Tableau 65 : Caractéristiques des sous-bassins versants

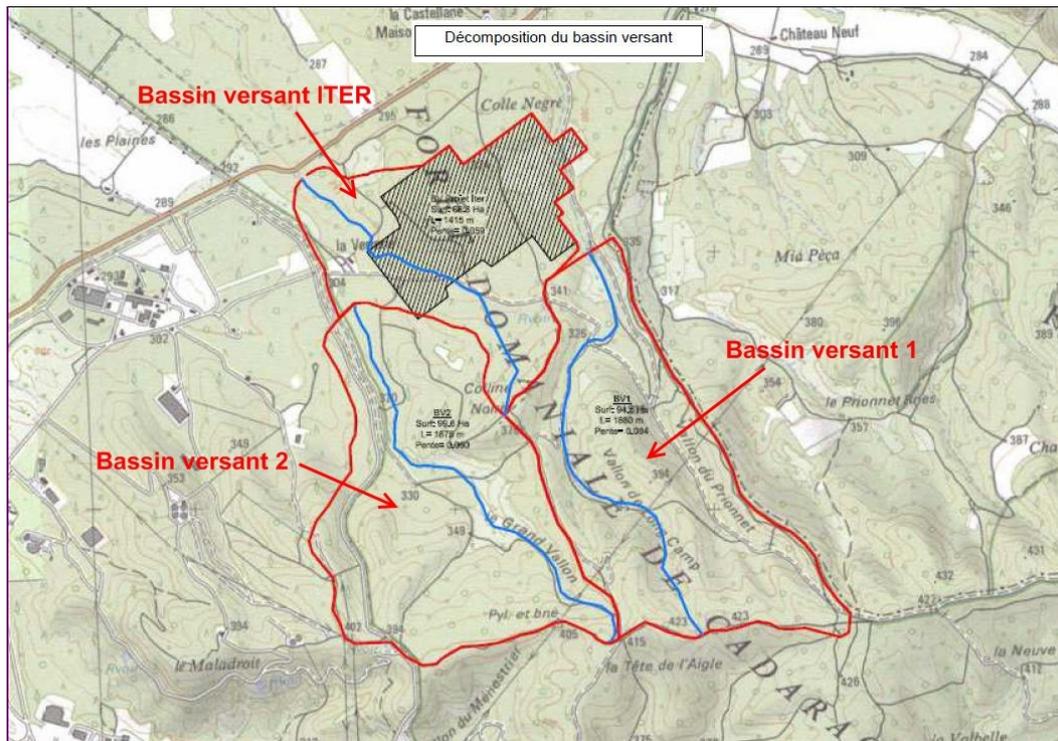


Figure 26 : Schéma d'implantation des sous-bassins versants du terrain ITER

Sur ITER, le risque d'inondation externe peut être lié à :

- Des événements externes au site : Remontée de nappe phréatique (transferts karstiques), pluies et orages, crue centennale de la Durance associée à une dégradation d'ouvrages hydrauliques en amont du site ITER (rupture du barrage de Serre-Ponçon),
- La perte des moyens de protection du site à l'égard des inondations : rupture du bassin d'orage, rupture du bassin de contournement sud,
- Aux ruptures des ouvrages du site pouvant conduire à un risque inondation : rupture du bassin des tours de refroidissement, rupture de canalisations d'adduction d'eau, rupture des circuits d'eau de refroidissement.

5.1 DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

5.1.1 Remontée de la nappe phréatique

Les études piézométriques (entre octobre 2001 et janvier 2008) donnent les résultats suivants :

- le niveau général varie entre 260 (niveau faible) et 285 (niveau élevé) m NGF,
- le niveau maximal atteint est de 297 m NGF, et le niveau maximum de la crue décennale est de 294 m NGF
- l'extrapolation d'une crue centennale donne un niveau de 305 m NGF.

Le complexe tokamak repose dans un encuvement constitué d'un radier et de murs de soutènements. L'encuvement est à la cote de 298,5 m NGF. La cote maximale des murs de soutènements est à 315,3 m NGF. Cet encuvement est principalement requis pour supporter les charges imposées par les

bâtiments et services du complexe tokamak. Il est également conçu pour résister aux poussées du sol et à la pression hydrostatique, avec un niveau d'eau équivalent à une inondation centennale.

L'espace entre le bâtiment du complexe tokamak et les murs de soutènements sera couvert afin de prévenir toute entrée d'eau pluviale. Toute entrée d'eau sera récupérée et transférée vers le réseau d'eau pluviale.

Les autres bâtiments nucléaires (bâtiments des cellules chaudes et de traitement des déchets radioactifs) disposent d'un complexe d'étanchéité afin d'assurer une protection contre les entrées d'eaux pluviales et souterraines.

5.1.2 Eaux pluviales

5.1.2.1 Les pluies de référence

L'occurrence retenue pour l'ensemble des études est la pluie centennale.

Les historiques de pluies disponibles sur le site de Cadarache ne sont pas assez anciens pour être exploités de manière statistique afin d'extrapoler des valeurs d'intensité à l'occurrence désirée. Une étude climatologique a alors été confiée à Météo France en 2005.

Elle donne les résultats de l'exploitation statistique des mesures pluviométriques relevées en diverses stations pour la caractérisation de la pluie centennale. Des écarts notables entre stations trouvent leur origine dans les effets géomorphologiques de site. Il a donc été décidé de prendre en compte un modèle générique de quantification d'intensité de pluie. En application des prescriptions de l'instruction technique ministérielle 77, il est préconisé d'utiliser un modèle théorique donnant l'intensité de la pluie en fonction de la durée de l'évènement pluvieux. Il s'agit du modèle de Montana pour la Région III (quart sud-est de la France) qui a été retenu comme pluie de référence du site de Cadarache et qui traduit le fait que plus la durée de l'évènement pluvieux est brève, plus l'intensité de la pluie est intense.

Telle que présentée sur la Figure 27, la pluie centennale de Montana Région III apparaît donc comme étant majorante par rapport à la pluviométrie réelle au niveau des stations Météo France les plus proches du Centre de Cadarache.

L'extrapolation vers les pluies centennales est réalisée par l'application d'un facteur deux.

De plus, la courbe peut être étendue au-delà de deux heures (limite de validité du code Montana) en appliquant la formule recommandée dans le guide de construction des réseaux pluviaux (STU 1983) qui est basé sur la méthode Keifer. L'histogramme, appelé « double triangle », est basé sur une intense période de pluie et les pics de précipitations sont de même fréquence (100 ans) sans prendre en compte la durée centrée sur le pic (voir Figure 28).

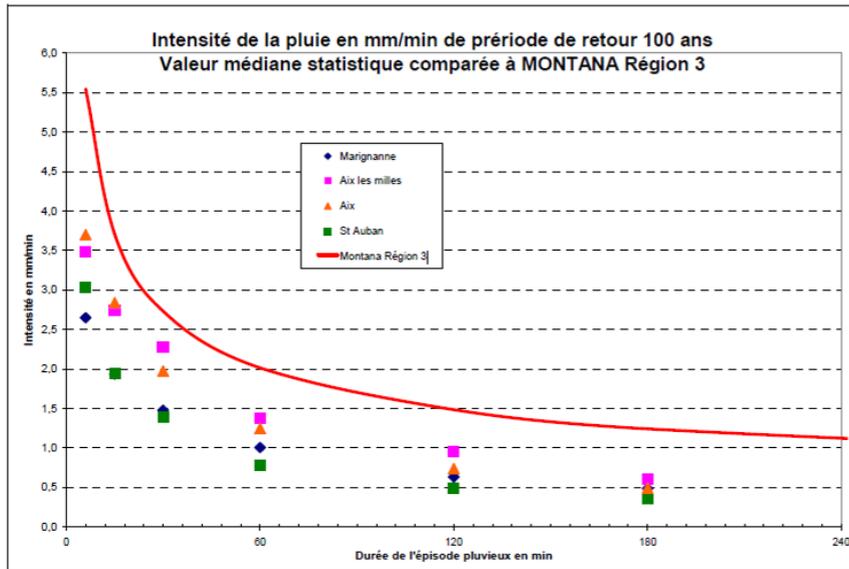


Figure 27 : Comparaison de la pluie centennale de Montana par rapport à la pluviométrie réelle issue des données Météo France

(Hauteur de pluie en mm en fonction du temps en minutes)

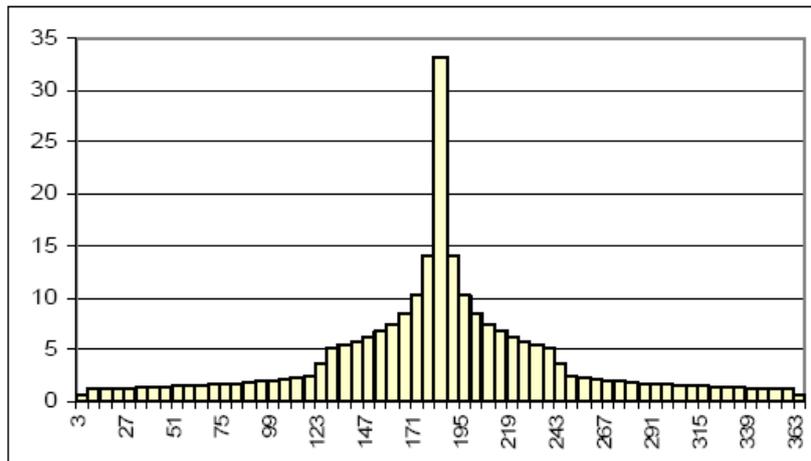


Figure 28 : Pluie centennale de projet selon la courbe de Montana région III

5.1.2.2 Conception du réseau pluvial

Le modèle de dimensionnement des réseaux d'évacuation est le modèle d'écoulement qui prend en compte la rugosité des canalisations, appelé modèle de Strickler et classiquement utilisé en hydraulique à surface libre. Adaptable à toute morphologie d'ouvrage, il permet d'évaluer une capacité d'évacuation des réseaux en y associant un taux de remplissage. Ce modèle associe à la nature de l'ouvrage un coefficient (de Strickler) dont la valeur dépend de la rugosité du matériau de l'ouvrage et de son niveau de maintenance.

Les réseaux sont conçus à partir des hypothèses suivantes :

- coefficient Strickler : conduite béton = 70; canal de terre = 30
- remplissage maximum des conduits circulaires : 80% de la section transversale,

5.1.2.3 Modèles de ruissellement des surfaces et coefficients d'imperméabilité

Deux modèles de ruissellement des surfaces différents ont été utilisés pour prendre en compte les spécificités des bassins versants qui sont étudiés :

- pour les bassins naturels en amont de la zone ITER : un modèle de ruissellement de conservation des sols (SCS) utilisant le logiciel de calcul hydrologique HEC-HMS,
- pour la zone ITER : la formule de Caquot sur la base de la conception du réseau pluvial.

Les coefficients d'imperméabilité suivants ont été pris en compte pour respecter le rapport entre les eaux de pluie qui ruissèlent et celles qui s'infiltrent dans le sol (Figure 29) :

- Modèle SCS : CN (curve number) = 27 pour les massifs forestiers,
- Modèle Caquot :
 - Toiture C = 1
 - Routes et zones piétonnières C = 0,9
 - Zones techniques $0,5 < C < 0,7$
 - Sous-station électrique (granulats de carrières compactés) : C = 0,4
 - Couverture gravier C = 0,3
 - Massifs forestiers C = 0,1

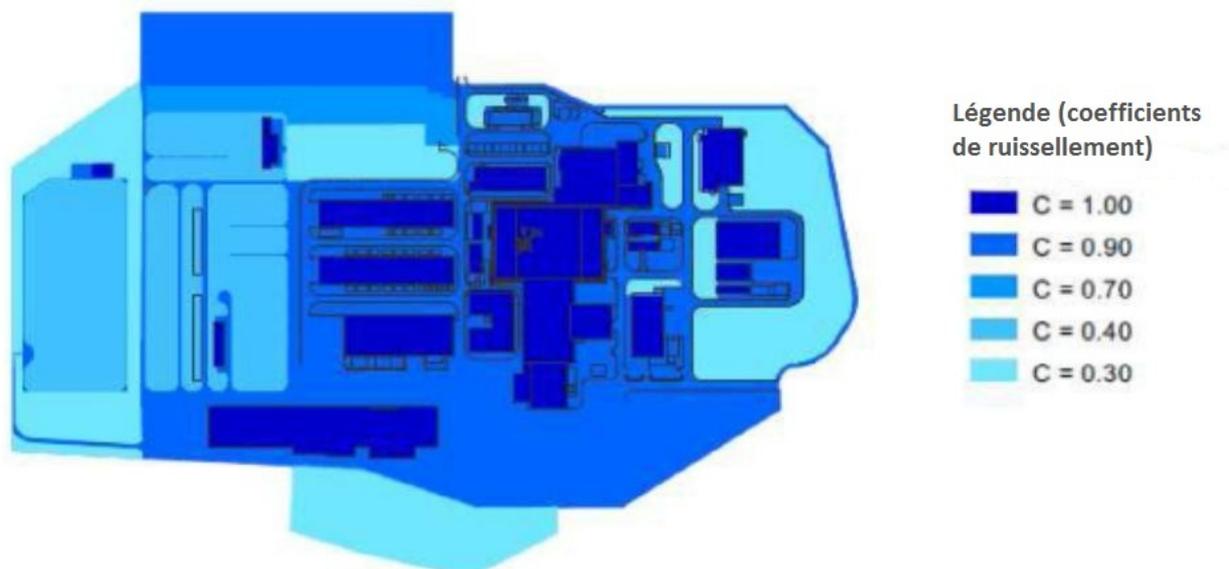


Figure 29 : Cartographie des coefficients pris en compte dans le dimensionnement

5.1.2.4 Ouvrages assurant la protection de la plate-forme

Il existe sur le site ITER différents ouvrages de gestion et de collecte des eaux de ruissellement.

- Le bassin de rétention sud (voir Figure 30) consiste en une digue disposée en travers du talweg existant et stockant les eaux de ruissellement en amont de la plate-forme (bassin versant n°2) pour assurer la régulation du débit de ruissellement avant leur rejet dans le fossé périphérique et éviter le risque induit d'inondation par ruissellement. La digue, qui a une hauteur maximale de 4 m et une crête calée à la cote 312,50 m NGF, a été aménagée pour assurer la collecte efficace des eaux de pluie de l'ensemble du bassin versant amont et garantir une capacité minimum de 6000 m³. Le bassin a un point bas de 308 m NGF et est destiné à protéger des

parties extérieures à l'INB d'un événement d'occurrence centennale. Le bassin est combiné avec une conduite d'évacuation qui s'évacue dans le thalweg naturel de l'autre côté de la route départementale 952.

- Le bassin d'orage à la limite aval du site, chargé d'assurer une rétention et une régulation du débit de rejet en sortie. Le bassin d'orage est une structure de remblai (capacité minimale de 19 100 m³ – voir Figure 30). Il est conçu pour recevoir les eaux d'un orage décennal d'une durée d'une heure sans déversement. Le bassin est équipé d'un ouvrage de déversement de surcharge pour prendre en compte des orages d'intensité plus importante que la pluie décennale. Pour ces types d'évènements, cette conduite de surcharge dirige le volume en trop vers la conduite d'évacuation du bassin de rétention sud, assurant ainsi la stabilité du remblai. L'évacuation de fuite du bassin d'orage est reliée au Ravin de la Bête via une conduite de 800 mm de diamètre intégrant toutes les possibilités de surveillance et de maintenance. L'eau évacuée en cas de surverse est canalisée dans un thalweg situé sous la route départementale 952.
- Le réseau de canalisation situé en aval de la plate-forme qui achemine les eaux depuis les points de rejets existants du bassin versant zone ITER jusqu'au bassin d'orage. Le réseau est dimensionné pour une pluie d'occurrence centennale.
- Le fossé périphérique et son collecteur (chenal de contournement n°1 pour le bassin versant n°1 - Figure 30) chargés de collecter les eaux de ruissellement venues de l'amont, et de certaines zones à l'est de la plate-forme. Ce canal de dérivation est en terre le long de la clôture et situé en dehors du site, il s'évacue dans le thalweg naturel après avoir traversé la route départementale 952.

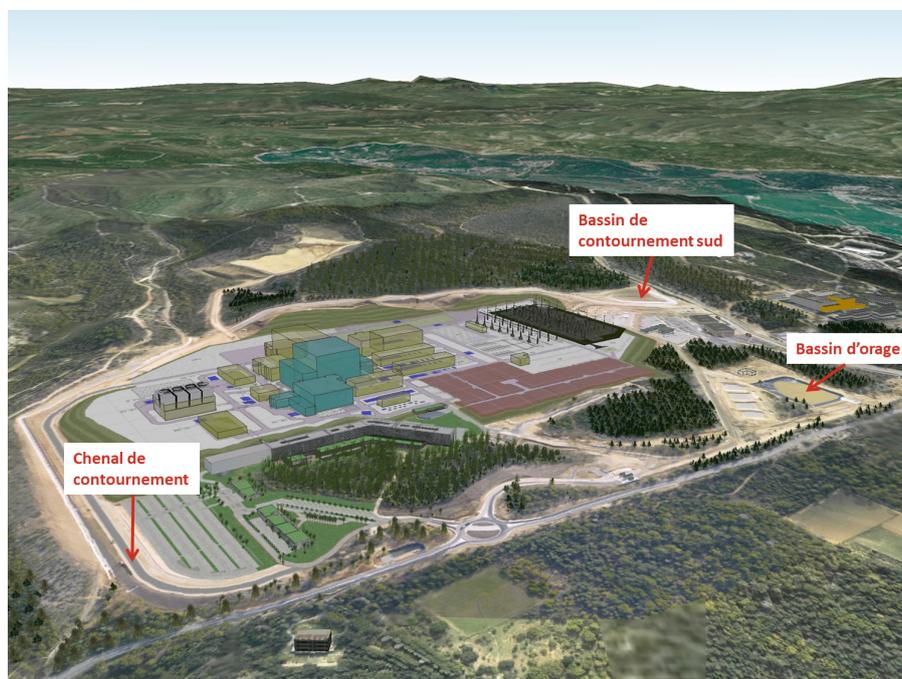


Figure 30 : Localisation des ouvrages hydrauliques du site

5.1.3 Dégradation d'ouvrages hydrauliques en amont de Cadarache

Les barrages pris en compte sont les barrages EDF de Serre-Ponçon, de Sainte-Croix et d'Esparron-sur-Verdon.

Les calculs ont été effectués en prenant les conditions les plus défavorables qui correspondent à une onde de submersion se propageant sur lit sec. L'onde de submersion résulterait de l'effacement total mais progressif du barrage du fait de l'apparition d'un renard hydraulique.

Les modifications intervenues dans le lit de la Durance telles que la construction de l'autoroute A51 et l'aménagement du bassin d'écluse ont été prises en compte.

Il s'avère que l'onde de submersion la plus pessimiste en terme de surélévation du plan d'eau correspond à la rupture du barrage de Serre-Ponçon. Cette onde atteindrait Cadarache 5 h 40 min après la rupture du barrage. Elle se traduirait par un pic de débit de l'ordre de 60 000 m³/s avec une largeur à mi-hauteur de quelques heures. A noter qu'une crue centennale simultanée représenterait un débit supplémentaire de 5 000 m³/s ce qui ne modifierait pas sensiblement la cote maximale atteinte par l'onde de submersion.

La cote maximale atteinte serait de 265 m NGF selon la PGSE de Cadarache relative à l'étude générale du site de Cadarache et de son environnement.

Les cotes minimales de 298 m NGF pour l'ensemble de l'installation ITER et 315 m NGF pour la plate-forme sont largement au-dessus de la cote majorée de sécurité.

Compte tenu de ces éléments, l'inondation induite par la remontée des eaux suite à la rupture d'un barrage sur la Durance ou le Verdon n'est pas retenue pour ITER (voir aussi le paragraphe 6.2.1).

5.1.4 Crues de la Durance

Comme indiqué au paragraphe précédent, une crue centennale représenterait un pic de débit de 5000 m³/s à comparer aux 60 000 m³/s correspondant à la dégradation du barrage EDF de Serre-Ponçon.

La proximité de la Durance n'a donc pas d'impact sur l'installation ITER du site en cas de crue.

5.1.5 Rupture du bassin d'orage

Le bassin d'orage est situé à 293 m NGF, inférieur au niveau d'installation des bâtiments nucléaires (315 m NGF).

En cas de rupture du bassin d'orage, toute l'eau s'écoulant de la brèche suivrait la pente naturelle du terrain en direction du nord-ouest de la plate-forme ITER (talweg situé sous la départementale 952) et ne menacerait pas les bâtiments contenant des éléments importants pour la sûreté.

5.1.6 Rupture du bassin de rétention sud

Le niveau maximal de la retenue du bassin de contournement sud (312,50 m NGF) étant inférieur au niveau de la plate-forme (315 m NGF), l'inondation liée la rupture de la digue ne peut pas aggraver les bâtiments s'y trouvant.

Le niveau d'eau provoqué par la rupture du bassin de contournement sud étant inférieur au niveau de calage de la plate-forme, le scénario de la rupture du bassin de contournement sud n'est donc pas susceptible de provoquer des remontées d'eau par les tunnels et galeries techniques.

L'inondation, provoquée dans la zone entreprise, par la rupture du bassin de contournement sud, n'est pas susceptible d'entraîner une saturation du bassin d'orage ITER qui perturberait l'évacuation des eaux pluviales de la plate-forme ITER.

Du fait de sa position par rapport à la plate-forme ITER et du dimensionnement des ouvrages hydrauliques, la rupture du bassin de contournement sud n'aurait aucun impact sur les éléments importants pour la sûreté de l'INB.

5.1.7 Rupture du système d'évacuation de la chaleur (bassins des tours de refroidissement)

Le risque associé au système d'évacuation de la chaleur concerne une rupture des bassins « chaud » et « froid » du système d'évacuation de la chaleur.

Ces bassins enterrés sont situés à l'est du complexe tokamak. L'eau s'écoulant de la brèche se dirigerait en direction du nord-est de la plate-forme ITER vers l'extérieur et ne menacerait pas les bâtiments contenant des éléments importants pour la sûreté.

5.1.8 Rupture de canalisations d'adduction d'eau (réseau SCP)

Une rupture de canalisations d'adduction d'eau (réseau SCP) liée à un séisme est envisagée. Les scénarios considérés sont indiqués au paragraphe 6.2.2.

5.1.9 Rupture des circuits d'eau de refroidissement

Une rupture des circuits d'eau de refroidissement liée à un séisme est envisagée. Les scénarios considérés sont indiqués au paragraphe 6.2.3. Ce paragraphe présente le cumul d'une pluie centennale majorée, d'une défaillance du système d'évacuation des eaux pluviales et d'un séisme entraînant la rupture des canalisations situées sur le site ITER.

5.2 DISPOSITION DE PROTECTION DU DIMENSIONNEMENT

5.2.1 Principales dispositions de conception

La conception d'un réseau d'assainissement, notamment pour un projet d'installation nucléaire, doit intégrer le risque d'inondation du site. La situation géographique, topographique et géologique de la plate-forme ITER exclut les risques d'inondation par débordement de cours d'eau et/ou par remontée de nappe et par apport des bassins versants amont. ITER doit donc uniquement se prémunir d'un risque d'inondation au niveau de la plate-forme.

Par contre, le risque lié à un événement pluvieux exceptionnel et/ou à un dysfonctionnement du réseau d'assainissement est à prendre en compte lors de la conception du projet. Cela se traduit par des mesures de prévention tendant à diminuer le risque, et par des mesures de correction permettant une gestion adaptée de la situation.

Ces mesures préventives portent sur les hypothèses prises en compte lors de du dimensionnement du réseau. Dans le cadre du projet ITER, elles se sont traduites par :

- Le choix de positionner le site ITER éloigné du réseau hydrographique et de la zone impactée par les ruptures d'ouvrages hydrauliques majeurs (barrages de la Durance et du Verdon).
- Le choix de positionner la plate-forme ITER entre 2 bassins versants permettant alors un contournement topographiquement aval des eaux amont.
- Le choix de dissocier les ouvrages de gestion des eaux de ruissellement du bassin versant amont de ceux collectant les eaux de la plate-forme. Cette disposition limite l'influence de l'impluvium sur le fonctionnement du réseau de la plate-forme, et notamment le risque de mise en charge des réseaux.
- Le choix de l'événement d'occurrence centennale majoré de 20% comme pluie de référence.
- Le choix d'un modèle de pluie enveloppe des pluies régionales.
- Le choix des coefficients de ruissellement qui doit tenir compte de l'aménagement prévisionnel de la plate-forme, mais aussi permettre une évolution à long terme du projet

Par ailleurs, la prévention du risque d'inondation se fait également lors de la conception du réseau. Ainsi, pour le projet ITER, le réseau est constitué de canalisation dont la pente est la plus constante possible. Elle permet d'éviter au maximum les chutes et de les limiter aux seuls croisements avec les galeries techniques. Enfin, ces mesures préventives ont une incidence sur la nature des ouvrages. Sur le projet ITER, le système de caniveau à fente a ainsi été préférée aux regards ou grilles avaloirs. Ce système permet de répartir la capacité d'engouffrement du réseau sur toute la longueur de la voie, contrairement aux regards avaloirs qui la concentre en un seul point. Cela limite les risques de dysfonctionnement lié au colmatage de l'avaloir (déchets, débris végétaux).

Si les mesures préventives interviennent pour diminuer l'aléa, les mesures correctives vont permettre de réduire le risque d'inondation. Il s'agit d'intégrer dans la conception globale du projet la prise en compte du risque d'inondation de la plate-forme, et de veiller à ce qu'en ce cas de figure, la masse d'eau s'écarte des bâtiments, et notamment les bâtiments sensibles. Pour cela, il a été décidé sur le projet ITER :

- D'exclure les équipements de contrôle et de sécurité des niveaux de sous-sol,
- De ne pas positionner les accès aux bâtiments en point bas,
- Mettre en place des surbaux aux points d'accès,
- De gérer l'inondation de la plate-forme via le nivellement des voies.

Pour ce dernier objectif, la conception des voies a été faite de manière à ce qu'elles puissent jouer le rôle de collecteur et de surverse des eaux excédentaires.

Ainsi, leur profil en travers est en « v » (Figure 31), marquant ainsi un point bas à l'axe de la chaussée, et non pas sur ses bords. Cette mesure permet de canaliser les flots pour qu'ils restent sur la chaussée. Le dévers de la chaussée et la bordure de trottoir assure ainsi une garde de 21 cm pour une voie de 7 m de large.

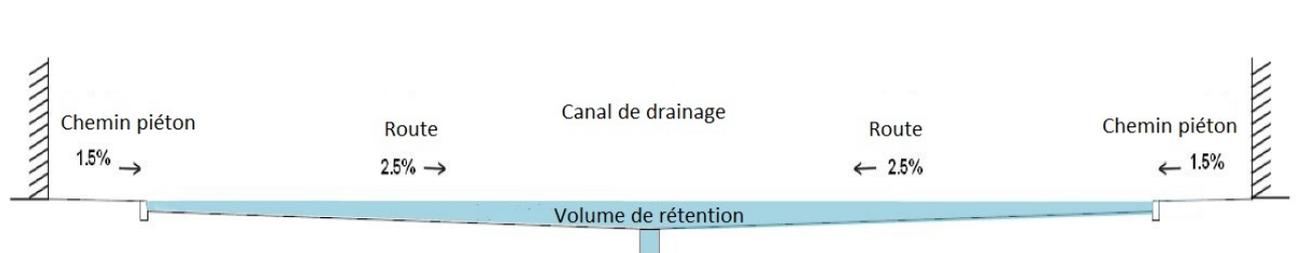


Figure 31 : Profil des chaussées

Le nivellement des abords des bâtiments est étudié pour permettre de renvoyer systématiquement les eaux vers la chaussée la plus proche.

Une fois concentrées au niveau de la chaussée, les eaux pluviales vont être acheminées à l'extérieur de la plate-forme par ruissellement le long des voies. Les pentes des voies ont donc été augmentées en créant une série de point bas, facilitant ainsi le ruissellement sur chaussée. En ces points, des regards à grille viennent compléter la capacité d'absorption du caniveau à fente.

Le profil des voies est donc une succession de points hauts et de points bas. Afin de permettre en cas de dysfonctionnement du réseau, un écoulement libre en surface, l'altimétrie des points est décroissante en allant du centre vers les bords de la plate-forme.

Ce principe de nivellement est appliqué en particulier sur les voies principales entourant le complexe tokamak. Ce secteur regroupant en effet la majorité des bâtiments sensibles, il est nécessaire d'assurer une évacuation des eaux pluviales tant en fonctionnement normal qu'en mode dégradé.

L'efficacité des caniveaux et canalisations pluviales est assurée par l'entretien préventif des réseaux effectué par les services spécialisés.

L'imperméabilisation de la plate-forme du site autour des ouvrages après réalisation du réseau de voiries contribue également à limiter les risques d'alimentation d'une nappe phréatique perchée. Les éléments de revêtement de surface autour des bâtiments nucléaires dirigent les eaux de ruissellement vers le système de drainage des eaux pluviales.

Enfin, des dispositions d'étanchéité ont été mises en place dans les zones susceptibles d'être inondées, notamment les toitures, les murs et les ouvertures.

Le collecteur d'évacuation de la zone du radier en dessous des fondations du complexe tokamak est conçu pour résister à un débit lié à une pluie centennale plus 20 % de marge.

Pour les zones qui pourraient être inondées, les pentes sont fixées aux points d'accès de ces zones (bâtiments du hall d'assemblage et d'accès) et un revêtement d'étanchéité est fixé sur le toit, le radier de fondation, les parois et les ouvertures, en particulier au niveau des interfaces du complexe tokamak avec les bâtiments du hall d'assemblage et des cellules chaudes.

Les traversées électriques ou de fluides sont obturées vis-à-vis de l'extérieur.

Les ouvertures de ventilation en toiture sont directement dirigées vers le bas ou dans le cas contraire sont protégées.

Les parties enterrées des bâtiments du complexe tokamak sont, par conception, étanches aux infiltrations d'eau. D'après la norme NFP 11-221-1 DTU 14.1, le taux de fuite dans le cas d'une pluie centennale a été estimée à 1 l/j/m². En cas de pluie centennale, ce taux de fuite conduirait à un film de 1,3 mm d'eau sur l'ensemble de la surface du radier. Au niveau des bâtiments des cellules chaudes et de traitement des déchets radioactifs, les exigences d'étanchéité sont obtenues par la mise en place d'un complexe d'étanchéité.

5.2.2 Dispositions de surveillance et de limitation des conséquences

Durant l'exploitation de l'installation, la surveillance du niveau des eaux souterraines sera effectuée périodiquement au niveau des piézomètres. Il s'agit des piézomètres utilisés initialement, lorsqu'ils n'ont pas été détruits par la construction de la plate-forme, et par des piézomètres supplémentaires représentatifs (de 5 à 10 prévus à ce jour) inscrits au plan de surveillance.

En fonction de l'évolution du niveau de la nappe phréatique, la périodicité de ces contrôles pourra être renforcée.

Des détecteurs d'inondation reportés en salle de commande permettent d'alerter l'exploitant d'infiltration d'eau dans les bâtiments abritant des éléments importants pour la sûreté.

L'espace entre le bâtiment du complexe tokamak et les murs de soutènements sera couvert afin de prévenir toute entrée d'eau pluviale. Toute entrée d'eau sera récupérée et transférée vers le réseau d'eau pluviale.

5.3 CONFORMITÉ DE L'INSTALLATION

Afin de garantir la conformité l'installation, des maintenance périodiques et des tests sont prévus sur les différents réseaux, notamment le réseau de drainage des eaux pluviales.

Des regards sont prévus au niveau des circuits de drainage des eaux pluviales pour permettre l'accès pour la maintenance et les inspections. Les regards sont requis à chaque changement de direction et a minima à des intervalles n'excédant pas 50 m.

L'arrêté n°15-2007-EA du 15 février 2008 autorisant au titre du Code de l'Environnement la réalisation des travaux de préparation et de viabilisation du site du projet ITER sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance décrit les moyens d'analyses, de surveillance et de contrôle des ouvrages hydrauliques.

Ainsi ITER devra maintenir en bon état de fonctionnement en permanence l'ensemble des ouvrages hydrauliques. Des rondes périodiques seront effectuées pour vérifier l'état des ouvrages assurant la protection de la plate-forme contre l'inondation.

Tout déchet ou dépôt risquant à terme de perturber le bon fonctionnement des ouvrages devra être enlevé par les services spécialisés. Un cahier d'entretien sera mis à jour et tenu à la disposition du service chargé de la police de l'eau.

En plus d'un contrôle régulier (au moins annuel), les ouvrages devront faire l'objet d'une inspection et d'un nettoyage après chaque pluie importante. Les séparateurs à hydrocarbures feront l'objet d'une attention particulière.

Un bilan annuel sera fourni au service chargé de la police de l'eau. Il fera état :

- des problèmes et incidents rencontrés durant l'année d'exploitation et les solutions apportées ;
- des interventions dans le cadre de l'entretien régulier ou exceptionnel des ouvrages ;
- du fonctionnement des ouvrages hydrauliques lors des événements pluvieux à caractère exceptionnel ;
- des accidents ayant entraîné un déversement de produit polluant, les conséquences pour le milieu naturel, l'efficacité des dispositifs préventifs et les mesures particulières mises en œuvre ainsi que les enseignements à en tirer ;
- des résultats des analyses de la qualité des eaux souterraines et des eaux superficielles.

5.4 EVALUATION DES MARGES

5.4.1 Niveau d'inondation conduisant à l'enclenchement d'actions relevant de situations accidentelles.

Pour chacune des situations considérées (remontée de nappe phréatique, pluies et orages, dégradation d'ouvrages hydrauliques en amont du site ITER, crues de la Durance, rupture des ouvrages du site et canalisations d'eau), l'impact sur les éléments importants pour la sûreté, les marges prises au dimensionnement, et la nécessité d'enclencher des actions relevant de situations accidentelles sont décrites dans le Tableau 66.

Situation	Impact sur les éléments importants pour la sûreté	Marges	Enclenchement d'action (situation accidentelle)	Moyen externe d'intervention
Remontée de la nappe phréatique	Non (pris en compte dans le dimensionnement de l'encuvement)	Niveau max atteint : 297 m NGF Extrapolation du niveau maximal atteint à la crue centennale : 305 m NGF Niveau de fondation inférieur : 295 m NGF Haut du mur de soutènement : 315,3 m NGF	Non	Non
Pluies et orages	Non (pris en compte dans le dimensionnement des bâtiments et des ouvrages de protection contre l'inondation)	Pluie centennale considérée Et marge de 20%	Non	Non
Dégradation d'ouvrages hydrauliques en amont du site ITER	Non	Cote maximale atteinte : 265 m NGF Niveau de la plateforme : 315 m NGF	Non	Non
Crues de la Durance	Non	Cote maximale atteinte : < 265 m NGF Niveau de la plateforme : 315 m NGF	Non	Non
Rupture du bassin d'orage	Non	Cote max. du bassin : 293 m NGF Niveau de la plateforme : 315 m NGF	Non	Non
Rupture du bassin de rétention sud	Non	Cote max. du bassin : 312,5 m NGF Cote de la plateforme : 315 m NGF	Non	Non
Rupture du système d'évacuation de la chaleur (bassins des tours de refroidissement)	Non	Bassin enterré	Non	Non

Tableau 66 : impact sur les éléments importants pour la sûreté, marges, actions relevant de situations accidentelles et moyens externes pour les scénarios liés à l'inondation externe

Les scénarios liés à l'inondation externe, considérés dans ce paragraphe (remontée de nappe phréatique, pluies et orages, dégradation d'ouvrages hydrauliques en amont du site ITER, crues de la Durance, rupture des ouvrages du site et canalisations d'eau), ne menacent pas les bâtiments contenant des éléments importants pour la sûreté dont les seuils de porte se situent à une élévation minimale de 315,2 m NGF.

Ils ne conduisent donc pas à l'enclenchement d'action relevant de situations accidentelles. Ils ne nécessitent pas d'équipements mobiles entreposés à l'extérieur du site.

5.4.2 Points faibles et effets falaise

Les effets falaises à éviter sont ceux pour lesquels :

- les conséquences dépassent celles retenues pour la définition du plan particulier d'intervention (PPI), soit lorsque la dose engagée pour le public est supérieure à 10 mSv ;
- il y a une pollution de la nappe phréatique ;
- le niveau d'exposition aux rayonnements ionisants interdit toute intervention humaine.

Aucun risque d'effet falaise n'est identifié.

5.5 CONCLUSION : DISPOSITIONS COMPLÉMENTAIRES ENVISAGÉES

Etant donné qu'aucun effet falaise n'a été identifié, aucune disposition complémentaire par rapport à celles prises en compte dans le dimensionnement de l'installation n'est envisagée.

6 AUTRES PHENOMENES NATURELS EXTRÊMES

6.1 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES LIÉES À L'INONDATION

6.1.1 Événements et combinaison d'événements pris en compte

D'un point de vue général, les événements météorologiques extrêmes non liés à l'inondation et pris en compte sont les suivants :

- neige et vent,
- températures extrêmes,
- grêle,
- foudre.

Dans le cas particulier de l'occurrence combinée d'une inondation externe et de phénomènes climatiques extrêmes, le chapitre 5 a montré que l'évènement prépondérant au regard de l'aléa Inondation est la pluie centennale. Cette dernière peut être accompagnée de grêle, de vents forts et de foudre.

6.1.2 Neige et vent

Les exigences de prise en compte des chargements dus au vent et à la neige sont basées sur les règles de l'Eurocode EN 1991 définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions.

Concernant les charges dues à la neige, le site ITER se trouve en région A2, région définie par des charges caractéristiques de 57 daN/m² en conditions normales maximales et de 100 daN/m² en conditions accidentelles extrêmes. Les surcharges nominales et extrêmes qui doivent être prises en compte lors de la conception de la structure sont les suivantes :

- surcharge normale égale à 80 daN/m²,
- surcharge exceptionnelle égale à 150 daN/m².

Les conditions de fortes chutes de neige pourraient entraîner nombre de conséquences telles que :

- le risque de surcharge des surfaces horizontales, ce qui pourrait endommager l'intégrité des structures,
- l'obstruction des entrées d'air des systèmes de ventilation et des générateurs diesel de secours.

La fonte de neige pourrait entraîner des volumes d'eau supplémentaires mais il est fort peu probable qu'une pluie dépassant la pluie centennale se produise juste après un épisode de neige intense.

Les vents associés à des pluies intenses peuvent être forts, mais bien moins que les vents extrêmes susceptibles de se produire sur site en dehors de ces conditions de pluie. En dehors de l'effet des vents sur les bâtiments, faisant l'objet des dispositions issues du dimensionnement aux règles décrites ci-après, les vents seraient susceptibles d'entraîner des objets qui viendraient gêner l'évacuation des eaux pluviales.

Concernant les charges dues au vent, le site ITER se trouve en région 3, et l'environnement du site correspond à la catégorie III b. Toutefois, l'application d'une marge entraîne la nécessité de l'exigence selon laquelle la conception des bâtiments de l'installation ITER doit être réalisée de manière à ce qu'ils puissent résister à une charge de vent 10 % supérieure à la valeur de référence, soit à 29 m/s, à un niveau de référence de 10 m au-dessus du sol.

Les conditions de vent fort et les dépressions associées pourraient entraîner certaines conséquences :

- le risque de surcharge des surfaces, ce qui pourrait endommager l'intégrité des structures,
- l'effondrement des structures en hauteur telles que la cheminée,
- les débris emportés par le vent.

Les dispositions suivantes sont prises vis-à-vis des risques induits :

- les bâtiments nucléaires sont dimensionnés pour résister aux conditions extrêmes,
- les entrées d'air de la ventilation et des générateurs diesel de secours sont protégées du risque d'obstruction causé par la neige,
- la cheminée de rejet est dimensionnée aux conditions de vent du site.

Les conditions extrêmes de neige et de vent ne remettent pas en cause le fonctionnement et plus particulièrement la sûreté de l'installation. Un état sûr peut être atteint et maintenu. Ce risque n'entraîne aucune conséquence radiologique pour le personnel et l'environnement.

De plus, le chapitre 6.2.3. montre l'absence d'effet falaise pour des pluies supérieures à la pluie centennale, même en considérant un cumul avec des ruptures de tuyauteries additionnelles, qui ne conduiraient qu'à une hauteur transitoire de quelques centimètres d'eau sur la plate-forme. Ces éléments montrent la robustesse de l'installation au regard de ces événements climatiques.

6.1.3 Grêle

La grêle peut être un initiateur de bouchage partiel des systèmes d'évacuation des eaux pluviales en combinaison avec une inondation d'origine pluviale. Néanmoins, même en ne considérant pas d'évacuation des eaux pluviales, la quantité d'eau présente sur site ne remettrait pas en cause la sûreté de l'installation cf. paragraphe 3.2.5.1.

6.1.4 Températures extrêmes

Les températures extrêmes mesurées sur le site ITER sont de -21°C (janvier 1960) et 40,1°C (juillet 1982), ce qui correspond aux valeurs de conceptions des équipements de sûreté externes.

Néanmoins, il paraît impossible d'imaginer qu'une inondation liée à la pluie soit possible lors d'une situation de froid extrême.

Il est également possible d'exclure la simultanéité d'une vague de chaleur exactement au même moment qu'une forte pluie, la pluie n'étant susceptible de se produire qu'après une légère décrue des températures. De plus, l'action d'une température élevée n'entraînerait aucun effet dommageable supplémentaire (la fonction de refroidissement n'étant pas une fonction de sûreté sur ITER).

Le cumul d'une température extrême avec une inondation n'entraînera ainsi pas d'effet falaise.

6.1.5 Risque foudre

L'installation ITER respecte la réglementation en vigueur l'arrêté du 31/12/1999, celui du 15/1/2008 et l'application de normes relatives à la foudre. Les bâtiments de l'INB ITER doivent être protégés conformément à la norme NF EN 62305. Les dispositifs du système de protection foudre seront mis en œuvre et maintenus conformément à ces normes.

La foudre peut entraîner les effets suivants :

- effets indirects, tels que des surtensions dans les câbles électriques ou les liaisons de transmission, des perturbations électromagnétiques et des anomalies dans le fonctionnement des éléments importants pour la sûreté appartenant aux dispositifs de contrôle, de contrôle commande ou des alimentations électriques de secours,
- effets directs causés par un foudroiement, lorsque la foudre touche un bâtiment ou une zone spécifique, causant des dommages importants, en particulier un incendie.

Par conséquent, le système de protection foudre assurera une protection contre les effets directs et indirects de la foudre. La foudre ne peut endommager aucun confinement et il n'y a donc aucune conséquence de rejet de matières radioactives.

6.2 SEISME ET INONDATION

Les risques liés à une inondation sont abordés au chapitre 5 du document. Dans ce chapitre sont abordés les risques liés à la combinaison d'une inondation extrême avec un séisme entraînant notamment la rupture de barrages hydrauliques en amont du site ITER (déjà évoqués au chapitre 5) et de canalisations situées sur le site ITER.

6.2.1 Risque de rupture de barrages en amont de Cadarache

Les failles potentiellement sismogéniques du sud-est de la France sont des failles "intraplaques" présentant des dimensions relativement modestes comparées aux failles présentes en bordures des plaques tectoniques. Ces failles "régionales" présentent des longueurs de rupture potentielle de l'ordre de la vingtaine de kilomètres. On ne peut "physiquement" pas envisager un séisme dont les mouvements destructeurs toucheraient, au cours de la même séquence sismique, le site ITER et un ouvrage éloigné d'une centaine de kilomètres ; à titre d'illustration, un séisme à Cadarache avec une intensité de 6,5 verrait l'accélération du sol diminuer d'un facteur 10 à 100 km.

Les principaux barrages de la région susceptibles de concerner Cadarache sont :

- les barrages situés sur le Verdon et éloignés de moins de 30 km de Cadarache (Sainte-Croix et Esparron/Gréoux) ; on ne peut pas exclure la possibilité de dommages sur ces ouvrages consécutifs à un séisme sur le Centre de Cadarache,
- le barrage de Serre-Ponçon implanté sur la Durance et situé à plus de 95 km de Cadarache ; compte tenu de son éloignement, sa rupture consécutive à un séisme ayant lieu sur Cadarache n'est pas envisageable.

Ainsi, les barrages pris en compte sont le barrage EDF de Serre-Ponçon, le barrage de Sainte Croix et le barrage d'Esparron-sur-Verdon.

Les calculs ont en effet été effectués en prenant les conditions les plus défavorables qui correspondent à une onde de submersion se propageant sur lit sec. L'onde de submersion résulterait de l'effacement total mais progressif du barrage du fait de l'apparition d'un renard hydraulique.

Les modifications récentes intervenues dans le lit de la Durance telles que la construction de l'autoroute A51 et l'aménagement du bassin d'écluse ont été prises en compte.

La cote maximale atteinte serait de 250 m NGF, si l'on considère la rupture du barrage d'Esparron/Gréoux avec un temps d'arrivée du front d'onde de 1h 30 min.

Les côtes maximales atteintes seraient de 254 m NGF, si l'on considère la rupture simultanée de Sainte-Croix et du barrage aval d'Esparron/Gréoux ; le temps d'arrivée du front d'onde serait de 1h 50 min.

Il s'avère que l'onde de submersion la plus pessimiste en termes de surélévation du plan d'eau correspond à la rupture du barrage de Serre-Ponçon. Cette onde atteindrait Cadarache 5 h 40 min après la rupture du barrage; elle se traduirait par un pic de débit de l'ordre de 60 000 m³/s avec une largeur à mi-hauteur de quelques heures. A noter qu'une crue centennale simultanée représenterait un débit supplémentaire de 5 000 m³/s ce qui ne modifierait pas sensiblement la cote maximale atteinte par l'onde de submersion. La cote maximale atteinte serait de 265 m NGF selon la PGSE de Cadarache relative à l'étude générale du site de Cadarache et de son environnement.

La cote minimale 298m NGF de l'installation ITER et celle de 315.2 m NGF du seuil des bâtiments nucléaires de la plate-forme sont largement au-dessus de la cote majorée de sécurité.

Compte tenu de ces éléments, l'inondation induite par la remontée des eaux suite à la rupture d'un barrage sur la Durance ou le Verdon n'entraîne aucune conséquence pour ITER.

6.2.2 Risques d'inondation induits par une rupture du canal de Provence suite à un séisme

Le canal de Provence est alimenté, via le canal mixte EDF/SCP, par la retenue de Gréoux Les Bains. L'étude de cette situation a été également demandée par le courrier ASN CODEP-DRC-2012-024230 du 11 juin 2012.

Il n'existe pas d'infrastructure hydraulique situé sur l'ensemble du bassin versant amont à la plate-forme ITER. Néanmoins, en imaginant que cela puisse être le cas, les évaluations suivantes peuvent être formulées.

En aval du canal mixte, dans la commune de Vinon-sur-Verdon (lieu-dit : Boutre), sont disposés des ouvrages de la société du Canal de Provence tels que un canal d'amenée à ciel ouvert puis une galerie enterrée alimentant le site du CEA de Cadarache, à partir d'une connexion sur le canal appelée « prise du médecin ». Au niveau de Boutre, le canal est également à ciel ouvert et le niveau des plus hautes eaux est à la cote de 353.7 m NGF, avec des berges à 354 m NGF en point haut.

En cas de séisme susceptible de faire rompre les ouvrages du canal de Provence, la partie aérienne du canal (cf. Figure 34) serait susceptible d'être l'origine de l'inondation (en supposant que le canal ne se déverse qu'à cet endroit).

Le réseau hydrographique (cf. Figure 32) montre que Boutre se situe dans une cuvette de rétention naturelle et l'eau s'arrêterait à cet endroit, protégeant le site d'ITER.

Quand bien même le niveau d'eau viendrait à augmenter, un écoulement naturel en direction du lit de la Durance, écoulement contournant complètement la plate-forme d'ITER, se créerait. De ce fait, les installations d'ITER seraient totalement protégées lors d'un tel événement.

Ainsi, un séisme qui créerait une rupture du canal de Provence n'entraînerait pas de conséquences sur la plate-forme d'ITER.

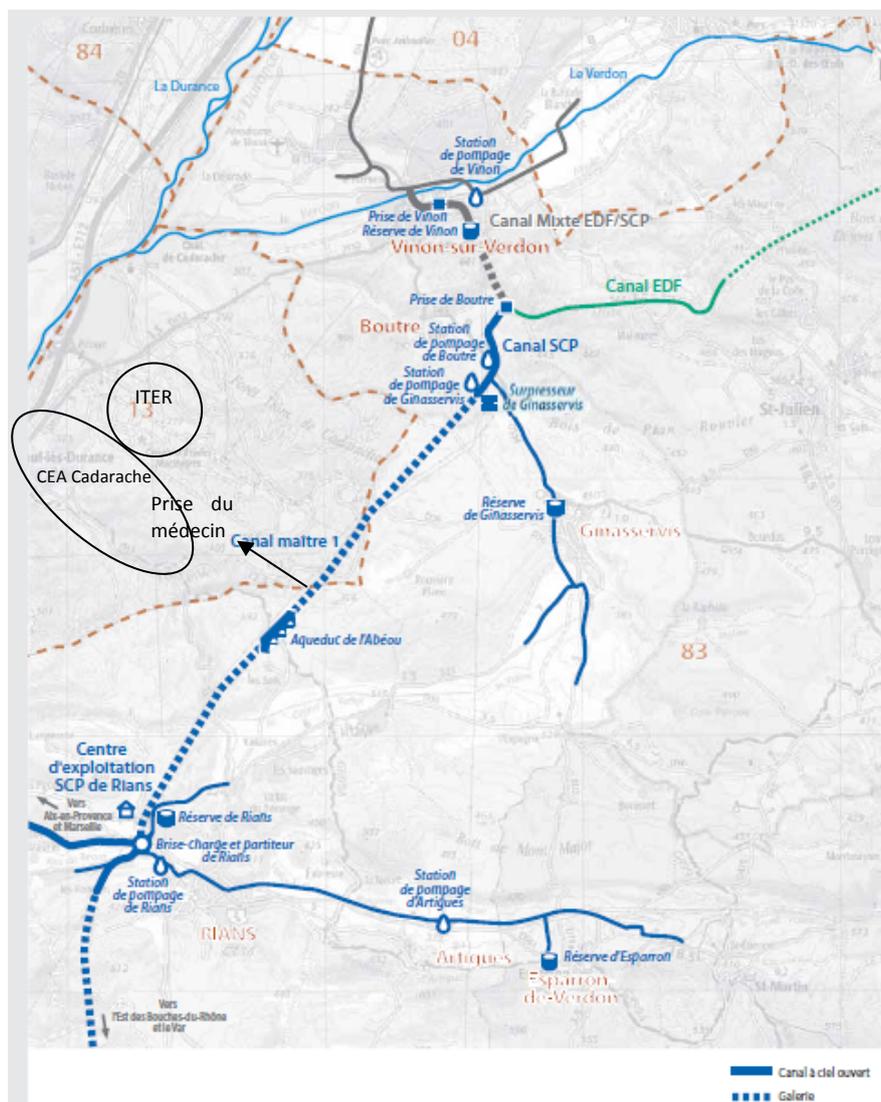


Figure 33: Canalisations du canal de Provence



Figure 34: Canal répartiteur de Boutre

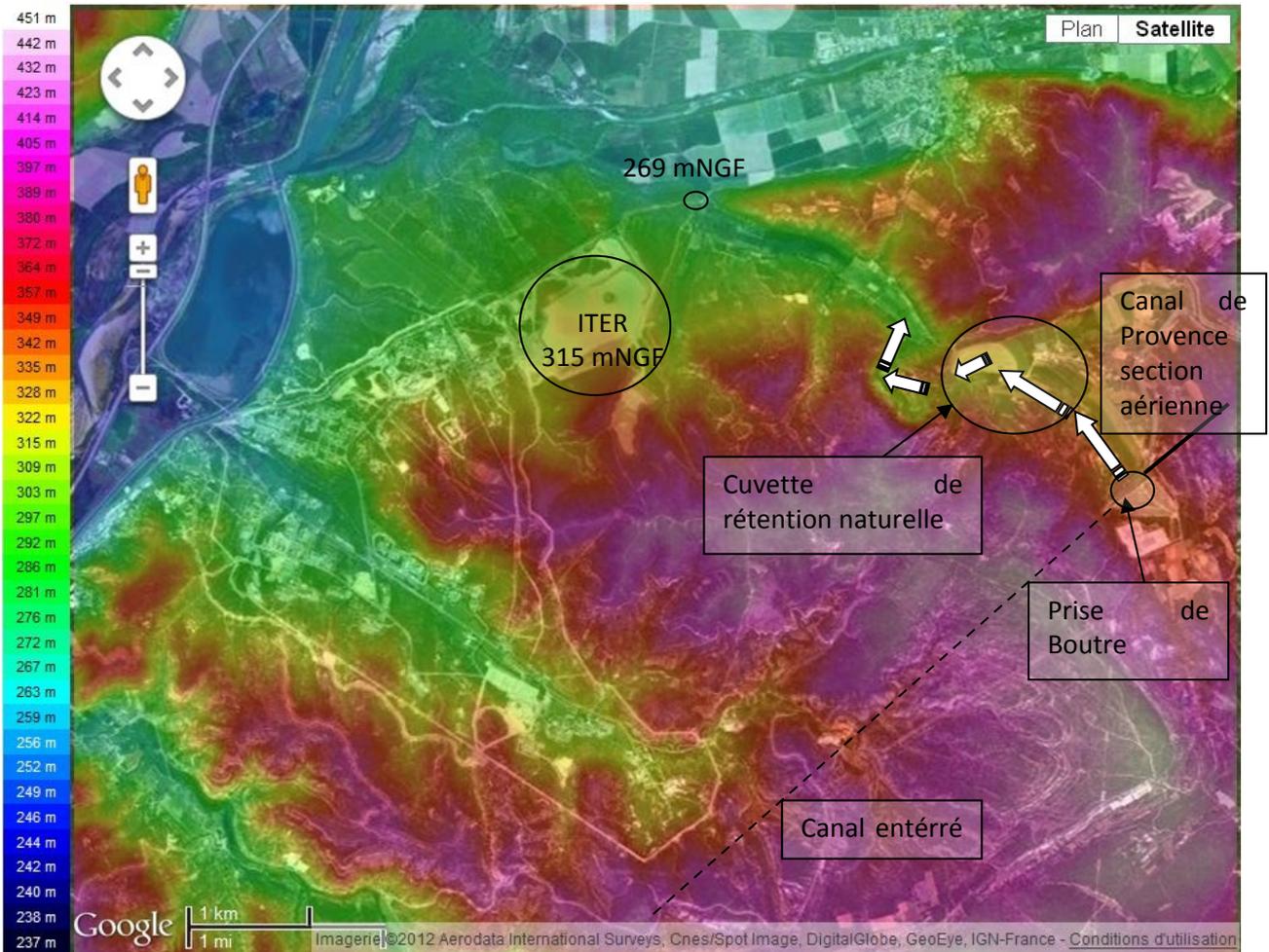


Figure 35: altimétrie et réseau hydrographique autour de la région de Vinon-sur-Verdon

6.2.3 Risques d'inondation induits par l'occurrence d'une pluie centennale majorée, d'une défaillance du système d'évacuation des eaux pluviales et d'un séisme entraînant la rupture des canalisations situées sur le site ITER

Cette situation considère l'occurrence d'une pluie centennale majorée de 20%, d'une défaillance du système d'évacuation des eaux pluviales et d'un séisme entraînant la rupture des canalisations situées sur le site ITER. L'étude de cette situation a été également demandée par le courrier ASN CODEP-DRC-2012-024230 du 11 juin 2012.

Les réseaux pour lesquels une rupture guillotine est prise en compte sont l'ensemble des ouvrages présents sur site, qu'ils soient ou non conçus pour résister à un séisme.

En particulier, les réseaux d'eau potable d'eau d'incendie, d'eau de refroidissement, d'eau industrielle ou les canalisations de la société du canal de Provence sont pris en compte pour l'estimation des marges, même s'il est vraisemblable que plusieurs de ces systèmes tiennent et/ou que leur fuite ne se produise pas sur le site ITER (réseaux d'eau potable, canal SCP...) :

- Sources extérieures au site d'ITER
 - canalisations d'eau potable (station en eau potable avec capacité de 11 500 m³ située sur le centre CEA de Cadarache en hauteur par rapport à la plate-forme),
 - canalisations du canal de Provence (SCP) (avec un débit de 6100 m³/h),
- Sources situées sur le site d'ITER
 - circuits de refroidissement avec tours aéroréfrigérantes (bassin tampon de 20 000 m³, en dessous du niveau de la plate-forme),
 - circuit de d'eau industrielle (capacité maximale inférieure à 1000 m³).
 - canalisations d'eau d'incendie (besoins de 180 m³/h, compris dans les réserves d'eau potable)

Afin de déterminer le niveau de marge, le système d'évacuation pluviale des eaux de la plate-forme est considéré comme défaillant avant l'occurrence de la pluie, par exemple par un bouchage des réseaux.

La pluie centennale est présentée au chapitre 5.1.2, notamment via l'application du modèle de Montana, appliqué à la région du quart sud-est de la France (cf. Figure 28). Le pic d'orage correspond ainsi aux 6 minutes de pluie intense pour lesquelles la quantité d'eau déversée atteint 33 mm.

Le seuil des bâtiments nucléaires ou de ceux contenant des équipements EIS sur la plate-forme d'ITER sont situés exactement au niveau de 315,20 m NGF.

6.2.3.1 *Canalisations dont les sources sont extérieures au site*

Les canalisations venant de sources externes à la plate-forme sont les réseaux d'eau potable, d'incendie et celle d'adduction en eau brute du Centre de Cadarache. Ces réseaux ont un écoulement gravitaire et sont de ce fait considéré dans l'analyse.

Le risque identifié est la fuite sur les ouvrages pouvant être à l'origine d'une inondation pour les installations situées à l'aval hydraulique.

Les deux réseaux d'incendie et d'eau potable viennent de réserves d'eau provenant du site CEA de Cadarache et situées sur le centre de Cadarache. Leur volume total est de 1500 m³. Il est considéré que l'ensemble de ce volume ne se déverse que sur la plate-forme ITER.

Le réseau d'eau SCP (1,7 m³/s) d'adduction en eau brute du Centre de Cadarache, mise en exploitation courant 2015, sera une conduite enterrée. Elle correspond au triple de la somme des débits de tous les autres réseaux et est considéré comme restant alimentées pendant tout le pic d'orage induit par la pluie centennale.

La localisation des conduites est présentée dans les Figure 36 et Figure 37.

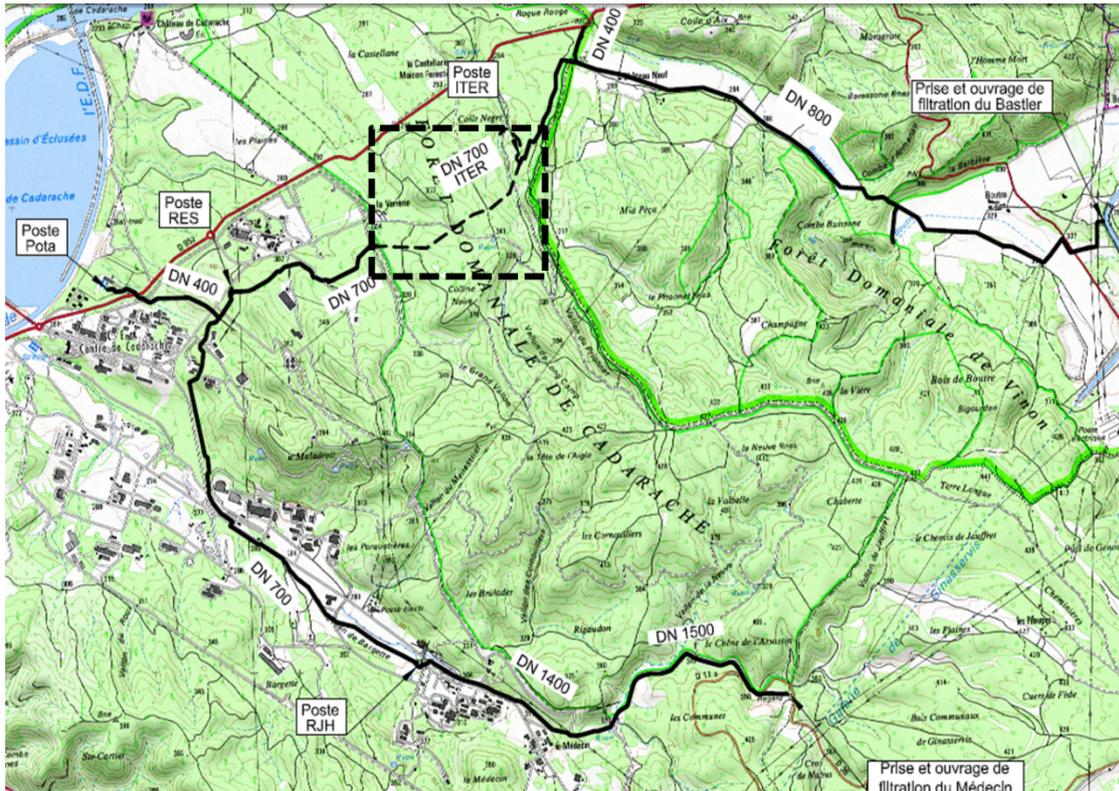


Figure 36: Réseau SCP desservant le site ITER

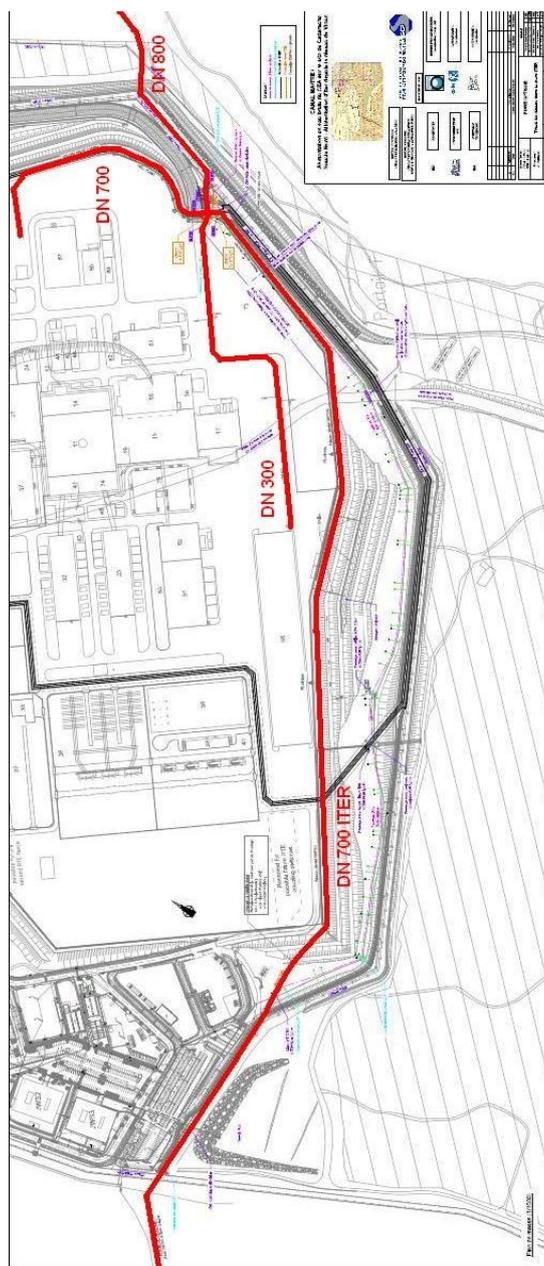


Figure 37 : Localisation du réseau SCP vis-à-vis de la plate-forme

6.2.3.2 Tuyauteries présentes uniquement sur site

Les tuyauteries présentes sur site sont les circuits de refroidissement secondaire (système d'eau réfrigérée (CHWS), système de refroidissement des composants (CCWS), système d'évacuation de la chaleur (HRS)...). Les réservoirs enterrés en dessous du niveau de la plate-forme ne sont pas considérés.

Leur volume total est d'environ 5000 m³.

De plus, il est considéré que le débit de vidange de ces canalisations sur la plate-forme correspond à celui imposé par les débits imposés par les moyens de pompage, même si ces moyens sont perdus au cours du scénario.

Le schéma suivant (Figure 38) montre la localisation des circuits sans source externe.

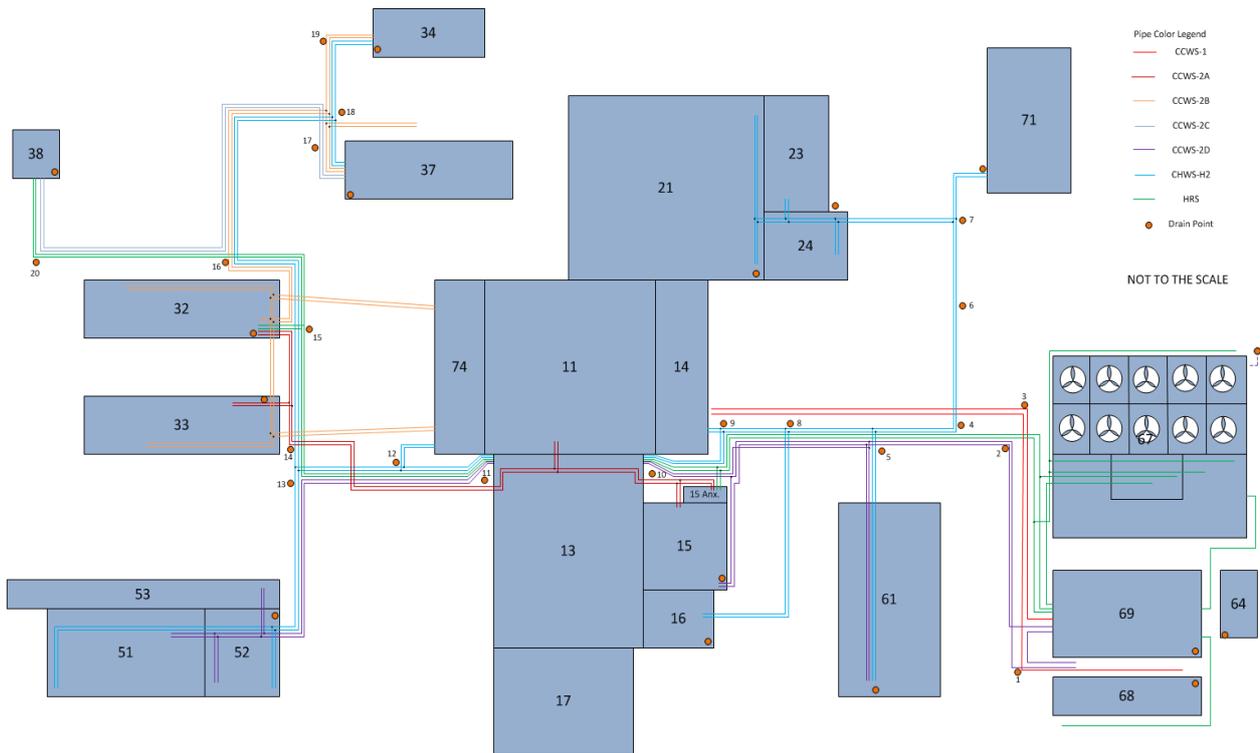


Figure: Drain locations of Cooling Water System on ITER Site

Figure 38 : localisation des réseaux d'eau sur site

6.2.3.3 Résultats

Les résultats présentés dans ce chapitre considèrent l'occurrence simultanée des événements suivants :

- Pluie centennale majorée de 20%,
- Séisme entraînant la rupture de toutes les canalisations d'eaux présentes sur site,
- Défaillance du système d'évacuation des eaux pluviales.

La plate-forme a été subdivisée en 30 sous-bassins, comme exposé dans le schéma ci-après, pour lesquels ont été considérés la pluie et les circuits en fonction de leurs emplacements respectifs.

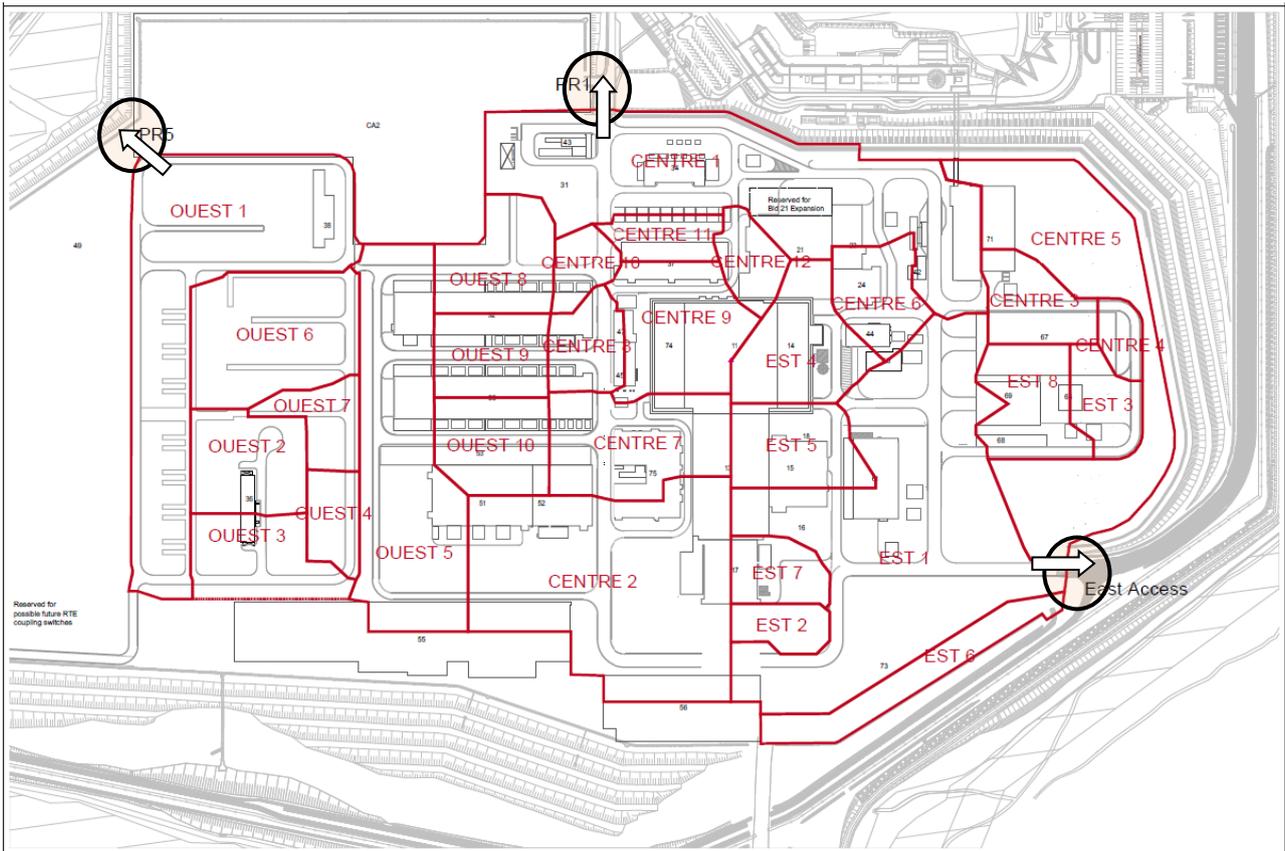
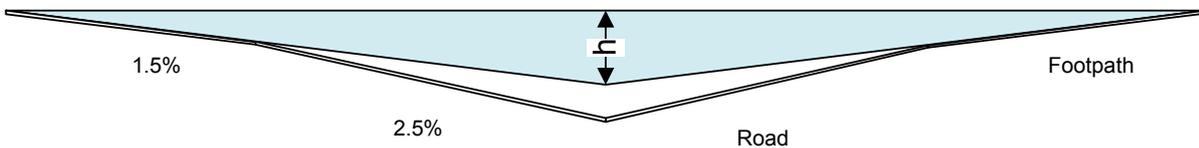


Figure 39 : subdivision de la plate-forme en sous-bassins et exutoires considérés.

Les exutoires considérés sont ceux naturels via les routes d'accès de l'accès est, accès nord et l'accès nord-ouest. Les exutoires ont été considérés en fonction des formes des routes, comme le montre un exemple ci-après.

 Profil sélectionné pour le calcul de hauteur d'eau



Les débits des exutoires naturels sont évalués en fonction de la formule de Bazin (Bernouilli).

$$Q_s = \mu.S.\sqrt{2.g.H}$$

Avec,
 Qs : le débit au niveau du seuil déversoir (m³/s)

μ : le coefficient de seuil

S : la section d'écoulement (m²)

g : la constante gravitationnelle = 9,81 m/s²

H : la hauteur de charge au-dessus du seuil déversoir (m)

Dans un tel cas, le volume maximum d'eau sur la plate-forme atteinte au cours d'une pluie centennale avec marges serait de 315,19 mNGF.

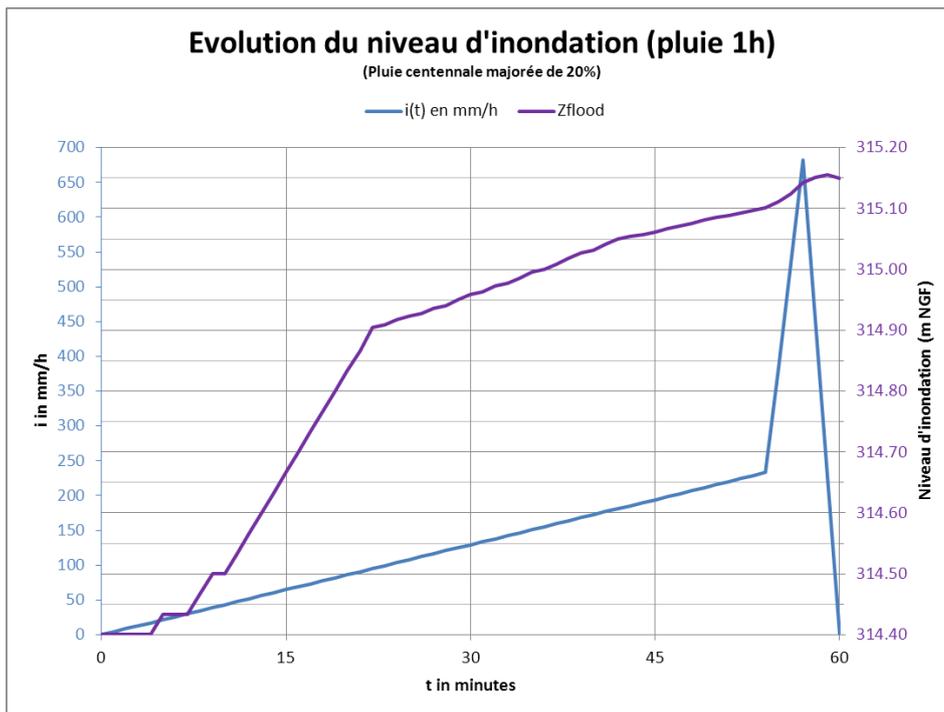


Figure 40 : Evolution du niveau d'inondation

Or, l'ensemble des seuils des bâtiments avec matières radioactives ou contenant des équipements EIS sont situés à la côte de 315,2 m NGF.

La figure suivante présente les niveaux d'eau atteints sur la plate-forme, ainsi que les hauteurs d'eau maximales. Cette figure montre que les bâtiments avec matières radioactives et/ou composants EIS ne seraient pas atteints par une entrée d'eau et que la hauteur d'eau maximale sur les voies d'accès (induites par les pentes naturelles de la plate-forme) n'excéderait pas 30-40 cm, avec un point à 63 cm en partie nord, ce qui ne compromettrait pas un éventuel accès des secours.

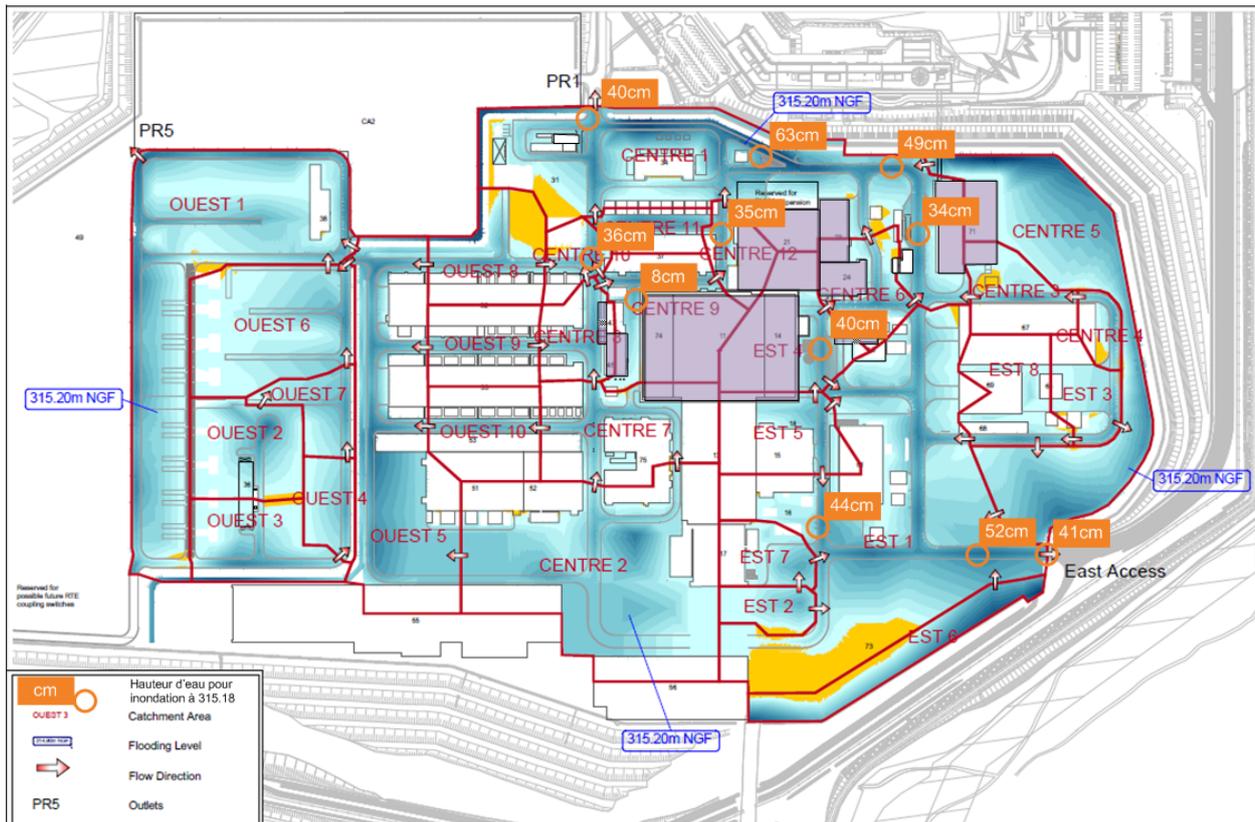


Figure 41 : niveaux et hauteur maximale d'eau sur la plate-forme

Le caractère favorable du niveau d'eau sur la plate-forme en dessous des seuils d'entrée des bâtiments est rendu possible de par la situation haute de la plate-forme au regard des terrains avoisinants et de par les écoulements naturels via toutes les voies d'accès à la plate-forme. Il ne peut pas être exclu que de l'eau n'entre dans l'espace entre radier de propriété et le radier du complexe tokamak. Quand bien même l'eau entrerait dans cet espace, les exigences d'étanchéité du radier de l'installation au regard des liquides empêcheront une remontée d'eau via le radier et la mise en état sûr préalable de l'installation permettra d'éviter toute dispersion de matières radioactives.

De ce fait, il peut être conclu que les risques associés à un séisme entraînant une rupture concomitante des canalisations sur le site ITER, cumulée à une pluie centennale majorée de 20% et la perte du système d'évacuation des eaux pluviales seraient sans impact sur l'installation.

Aucune action ne serait nécessaire au regard de la hauteur d'eau atteinte sur la plate-forme dans cette situation d'inondation extrême.

Cette situation n'aurait ainsi aucune conséquence sur la sûreté (niveau d'eau inférieur au seuil d'entrée des bâtiments, mise en arrêt sûr de l'installation, encuvement étanche des bâtiments, faible hauteur transitoire d'eau ...) et donc n'entraînerait aucun effet falaise.

7 PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES ET DES SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT

Ce chapitre décrit l'architecture des circuits d'alimentation électrique d'ITER ainsi que les types d'alimentation électrique des équipements identifiés comme Eléments Importants pour la Sûreté (EIS).

Ce chapitre décrit les conséquences sur l'installation de la perte des circuits électriques.

Le dernier chapitre se concentre sur la perte de la fonction de refroidissement de l'enceinte à vide.

7.1 ARCHITECTURE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES DE L'INSTALLATION

Le système d'alimentation électrique d'ITER comprend deux sous-systèmes :

- un sous-système de distribution de puissance pulsée, alimenté par une double ligne externe spécifique de 400 kV, qui permet de :
 - fournir la puissance nécessaire à l'ensemble des aimants qui assure le réglage et le contrôle des paramètres du plasma,
 - fournir la puissance nécessaire aux sources d'ondes électromagnétiques des systèmes de chauffage du plasma,
- un réseau de puissance électrique distribuée de manière permanente (réseau SSEN), qui alimente l'ensemble des auxiliaires de la machine qui fonctionnent ou qui doivent être en mesure de fonctionner même en dehors des phases d'exploitation avec plasma, tels que les systèmes de refroidissement et de cryogénie.

Réseau de puissance électrique distribuée de manière permanente (SSEN):

Le réseau SSEN est divisé en 2 trains A et B, indépendants, séparés géographiquement, électriquement et mécaniquement sauf pour le système de haute tension à 400 kV. La puissance est distribuée sur le site grâce à un réseau de 22 kV. Les charges électriques sont alimentées à 2 niveaux de tension : 6,6 kV pour la moyenne tension et 400/230 V pour la basse tension.

Il existe 3 types de charges électriques différentes en fonction de la classification de sûreté:

- Les charges importantes pour la sûreté classées EIS bénéficient de la redondance des trains A et B
- Les éléments de protection de l'investissement
- Les charges normales non liées à la sûreté

Les charges électriques sont alimentées en fonction de leur tension de fonctionnement et de leur classification par les réseaux de distribution de classe I et II, III et IV. La classe IV n'alimente que les charges normales non liées à la sûreté.

Les charges classifiées EIS sont alimentées par les réseaux de distribution de classe I et II, III:

- Classe I: 110V CC pour le contrôle commande et les vannes
- Classe II: 220V AC pour le contrôle commande, les vannes et les petites charges électriques
- Classe III: 6 kV et 400V pour les charges électriques de puissance

Les classes I et II sont dotées d'un système d'alimentation non interruptibles (UPS : Uninterruptible Power Supply).

L'architecture est décrite dans le paragraphe 2.2.5.

La connexion du site ITER au réseau électrique est réalisée par une station électrique située à Boutre et une autre située à Tavel (voir Figure 6). Ceci permet d'obtenir une redondance du réseau électrique extérieur

relié au système de connexion de 400 kV ; chaque ligne étant capable de fournir l'énergie nécessaire pour les différentes charges électriques d'ITER. Ces charges sont aussi alimentées par une ligne supplémentaire de 15 kV fournie par le CEA à Cadarache. Cette ligne est elle-même alimentée par une ligne de distribution locale de 63 kV indépendante du réseau de 400 kV. La ligne de 15 kV alimente, par un transformateur 15/6,6 kV, la barre de bus de 6,6 kV de chaque train de classe III. La puissance disponible est de 7 MW. Cette ligne a deux fonctions : dans le cas d'entretien d'un des générateurs, la ligne de 15 kV est capable d'alimenter la charge électrique demandée et donc de prévenir toute dégradation des alimentations de secours des EIS. Elle offre également une alimentation potentielle aux charges électriques de classe III. Les alimentations de secours, qualifiées EIS-1, sont organisées en deux trains complètement redondants. Les diesels de secours dans la figure ci-dessous de chaque train A et B, sont isolés géographiquement, classés sismiques, protégés des risques d'inondation et disposent d'une autonomie de carburant de 3 jours.

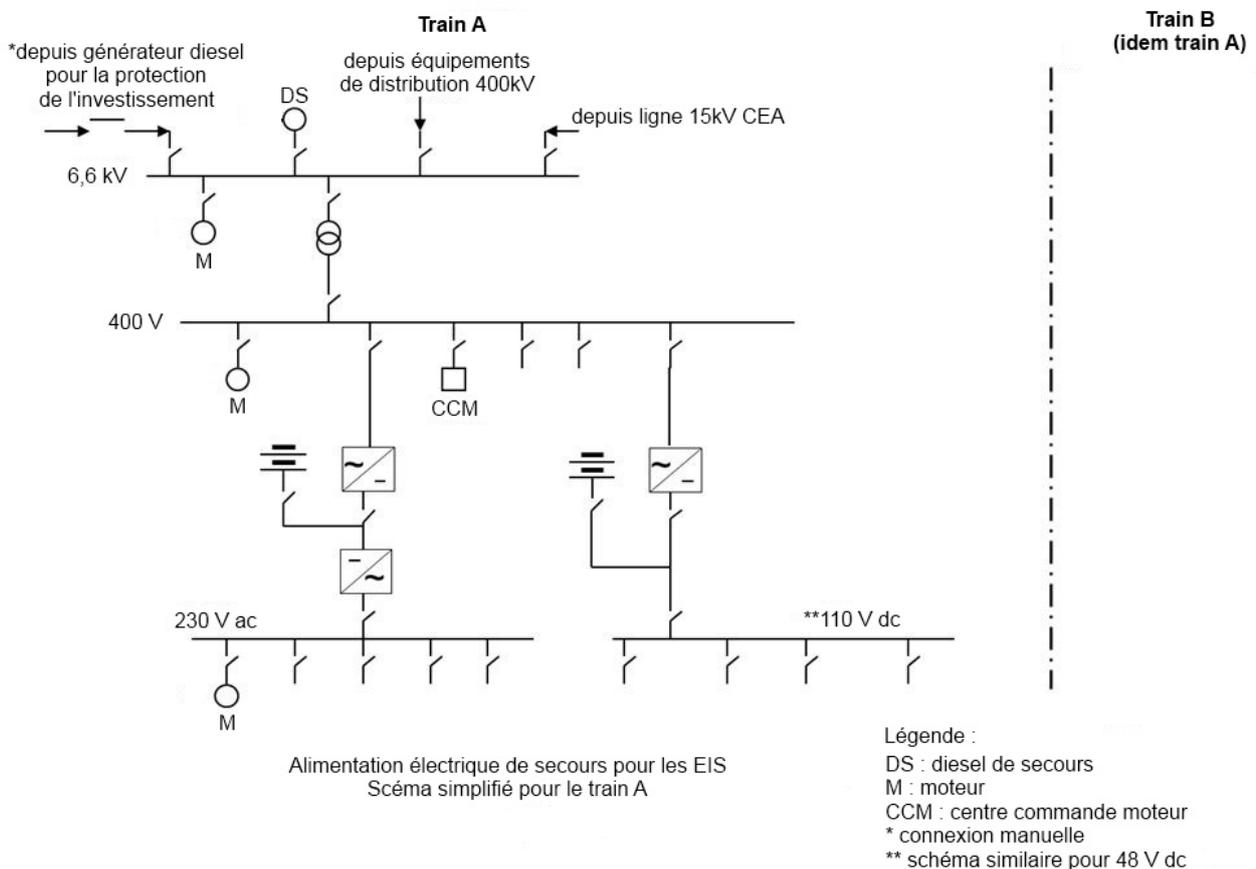


Figure 42 : architecture des alimentations électriques

7.2 PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES EXTERNES

La perte de l'alimentation électrique externe se caractérise par la perte des deux lignes de 400 kV et de la ligne CEA de 15 kV.

Les charges électriques EIS de classe I et II ne subiront aucune discontinuité d'énergie car elles sont alimentées en continu par les batteries disposant d'une autonomie de 4h pour les charge de 110 V/CC et 1h00 pour les charges 220 V/AC (dispositif UPS).

ITER dispose de 2 diesels de secours indépendants, séparés géographiquement de part et d'autre du complexe tokamak, et protégés contre les agressions externes. Ces diesels sont notamment qualifiés pour résister à un séisme SL-2. Chaque diesel de secours est capable d'alimenter la ligne de bus de 6,6 kV et donc les charges électriques de classe I, II et III.

Les diesels de secours sont activés entre 30 et 90 secondes après le signal de départ via la ligne de 6,6 kV et alimentent les charges électriques de classe III. La réalimentation des charges électriques se fait donc séquentiellement en moins de 90s. Cela permet de restaurer l'ensemble des charges électriques d'ITER et des fonctions de sureté associées.

La perte des alimentations électriques externes n'induit pas de conséquence au regard des accidents de dimensionnement et hors dimensionnement définies dans le rapport de sûreté. Il n'a pas été identifié, non plus, d'accident provoqué directement et uniquement par la perte du réseau électrique secouru par les diesels de secours.

Pour ce type de scénario, il n'a pas été identifié d'éléments susceptibles de provoquer un accident à effet falaise.

7.3 PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES

7.3.1 Perte des alimentations électriques externes et des alimentations de secours conventionnelles

Dans le cas étudié, les 2 diesels de secours sont automatiquement postulés défaillants, malgré le haut niveau d'exigence dont ils disposent (redondance, séparation géographique, réserves de fioul séparées géographiquement, limitation des modes commun...).

Les charges électriques de classe III ne sont plus alimentées. Les classes électriques de classe I et II disposent d'une connexion aux batteries de secours avec une autonomie de 1h pour les charges en courant alternatif et de 4h pour les charges en courant continu.

Plus aucun système nécessitant une alimentation électrique conventionnelle ne sera alors alimenté, hormis ceux alimentés par les sources ininterrompibles (batteries).

Au regard du confinement des matières radioactives, n'étant plus alimenté électriquement, le système de détritiation ne fonctionne plus. Les valves d'isolement sont automatiquement enclenchées en position de sécurité fermées (position par défaut). Le confinement statique est ainsi assuré.

Comme mentionné au chapitre 3, il n'a pas été identifié d'accident provoqué directement et uniquement par la perte de l'alimentation principale et de la défaillance des 2 diesels de secours.

En outre, la fonction de refroidissement utilisée pour l'extraction de la puissance stockée dans les éléments internes de la chambre à vide n'est plus disponible. Ce scénario est décrit au paragraphe 7.5 et n'entraîne pas d'effet falaise.

Finalement, les seuls scénarios pouvant conduire à des rejets avec risque d'effet falaise, concernent des scénarios d'explosion susceptibles de créer une pressurisation sur la seconde barrière de confinement.

La disponibilité des batteries permet d'assurer le fonctionnement de deux éléments importants pour éviter ce type d'accident:

- les igniteurs de la chambre à vide permettant d'éviter une explosion hydrogène susceptible de créer une explosion de poussières,
- le ventilateur de brassage de l'air du local ISS qui permet de diluer l'hydrogène et donc d'éviter la combustion d'hydrogène (pas d'accumulation d'hydrogène dans le local ISS qui permettrait d'atteindre les limites d'inflammabilité).

Afin d'éviter un incendie dans les locaux procédés tritium, les équipements électriques nécessaires à l'extinction doivent être disponible. En effet, un incendie dans ces locaux pourrait avoir pour conséquence de relâcher du tritium dans le bâtiment. Sans confinement dynamique, les rejets pourraient être conséquents. Afin d'éviter un accident à effet falaise, un diesel d'ultime secours, protégé contre un séisme supérieur au SL-2 et des risques d'inondation, permettra d'alimenter les pompes d'injection d'eau et donc d'éteindre tout départ de feu.

Dans ces conditions, aucun accident à effet falaise n'est à craindre pour ce type de scénario de perte des alimentations électriques externes et des alimentations de secours conventionnelles

7.3.2 Perte des alimentations électriques externes et de toutes les alimentations de secours

Ce scénario est dérivé du scénario précédent en considérant en plus la perte des batteries de secours. En effet, si dans le temps imparti à l'autonomie des batteries, les diesels de secours ne sont pas récupérés, les igniteurs de la chambre à vide et le ventilateur de l'ISS deviennent indisponible. Ces scénarios sont discutés au paragraphe 3. On peut citer par exemple :

- Scénario 1 : Explosion d'hydrogène et poussières dans la chambre à vide cumulée à la perte de la détritiation (DS)
- Scénario 5 : Explosion au sein du système de séparation isotopique (ISS),
- Scénario 12 : Extinction incendie dans le bâtiment tritium.

Afin d'éviter un accident à effet falaise, le diesel d'ultime secours, protégé contre un séisme supérieur au SL-2 et des risques d'inondation, permettra de recouvrer la fonctionnalité des igniteurs et du ventilateur de l'ISS ainsi que la disponibilité des pompes d'injection d'eau du réseau anti-incendie.

Dans ces conditions, aucun accident à effet falaise n'est à craindre pour ce type de scénario.

7.4 PERTE DU SYSTEME DE RÉFROIDISSEMENT

Les systèmes de refroidissement du dispositif expérimental ITER permettent d'évacuer la puissance thermique de la réaction de fusion.

Les composants refroidis sont :

- ceux localisés dans la chambre à vide comme le divertor, la couverture et la première paroi, et les diagnostics,
- les composants situés à l'interface de la chambre à vide comme les bouchons de traversées et leurs systèmes de diagnostic, les systèmes de chauffage additionnels, etc...

Le système d'évacuation de la puissance thermique est un élément important pour la sûreté uniquement au titre du confinement des matières radioactives qu'il contient (produits de corrosion activés, tritium) mais pas au titre de la fonction de refroidissement des composants.

Les paragraphes suivants présentent les conséquences associées à la perte de cette fonction.

7.4.1 Perte du système de refroidissement principal, cumulée avec la perte de la source froide de secours

La fonction de refroidissement a pour objectif de récupérer la puissance de fusion (500 MW) et d'évacuer la puissance résiduelle des matériaux activés. La capacité d'extraction des circuits de refroidissement est de 1200 MW, correspondant à la puissance du plasma, la puissance résiduelle des matériaux activés et la puissance des particules issues de la réaction de fusion

Pour mémoire, la fonction de refroidissement n'est pas une fonction de sûreté pour l'installation ITER. Le schéma suivant présente le circuit de refroidissement de la chambre à vide :

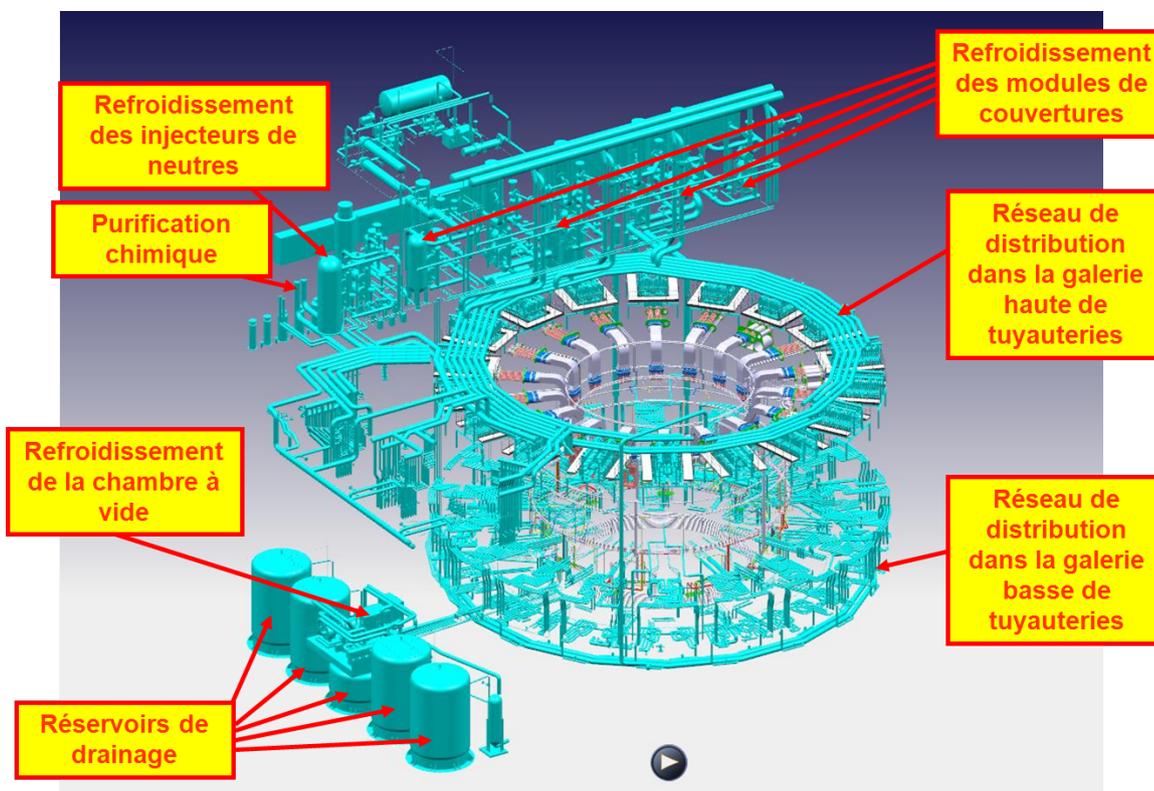


Figure 43 : circuits de refroidissement du tokamak

La perte de la source de froide principale peut être causée par plusieurs évènements :

- La perte d'un ou plusieurs composants des circuits de refroidissement comme la pompe, l'échangeur de la chaleur, la défaillance d'une vanne ou la rupture d'une tuyauterie principale,
- La perte des alimentations électriques externes qui alimentent les pompes principales.

Ces circuits sont refroidis par le système de refroidissement « secondaire » (CCWS-1) disposant d'échangeurs eau/eau, lui-même refroidi par un circuit « tertiaire » équipé de tours aéroréfrigérantes.

La perte du système secondaire et/ou tertiaire (tours aéro-réfrigérantes par exemple) peut agir comme un mode commun pour cette fonction de refroidissement, rendant inopérants toutes les circuits refroidis par

eau. Cette perte n'a cependant aucune conséquence sur la sûreté, car cela n'entraîne pas l'atteinte de températures susceptibles d'endommager la première barrière de confinement. En effet, la puissance à évacuer chute très rapidement après l'arrêt du plasma. Sans refroidissement actif, la puissance résiduelle n'étant plus évacuée, elle est stockée dans les composants internes de la chambre à vide et, de façon mineure, dans l'eau des circuits de refroidissement. Il s'ensuit une augmentation de la température des composants qu'il convient d'analyser afin d'examiner s'ils peuvent être endommagés, sachant que l'objectif est de maintenir une température inférieure à la température de dégradation des matériaux (des marges conséquentes sont disponibles puisque la température de démarrage de l'oxydation du Be est de 500°C et celle du tungstène de 700°C).

Les courbes ci-après, calculées avec le logiciel MELCOR, correspondent à la perte de toutes les sources froides. A partir de 6 jours, un palier de température est observé pour les composants faisant face au plasma (courbes BL et FW correspondant aux modules de couverture) et du divertor (courbe DV). Les échanges par rayonnement sont suffisants pour maintenir une température quasi-stationnaire. Dans le scénario présenté ci-dessous, il convient de noter que le divertor est le composant soumis à la plus haute température et que sa température est stationnaire en environ 5 jours, de l'ordre de 260°C au maximum. Dans le scénario présenté ci-dessous, une ouverture sur le cryostat est effectuée dix jours après le début de la perte de la source froide. Cette ouverture permet l'entrée d'air à l'intérieur du cryostat. L'échange thermique convectif qui s'ensuit avec la chambre à vide et les masses froides des composants présents à l'intérieur du cryostat permettent de diminuer la température des éléments internes.

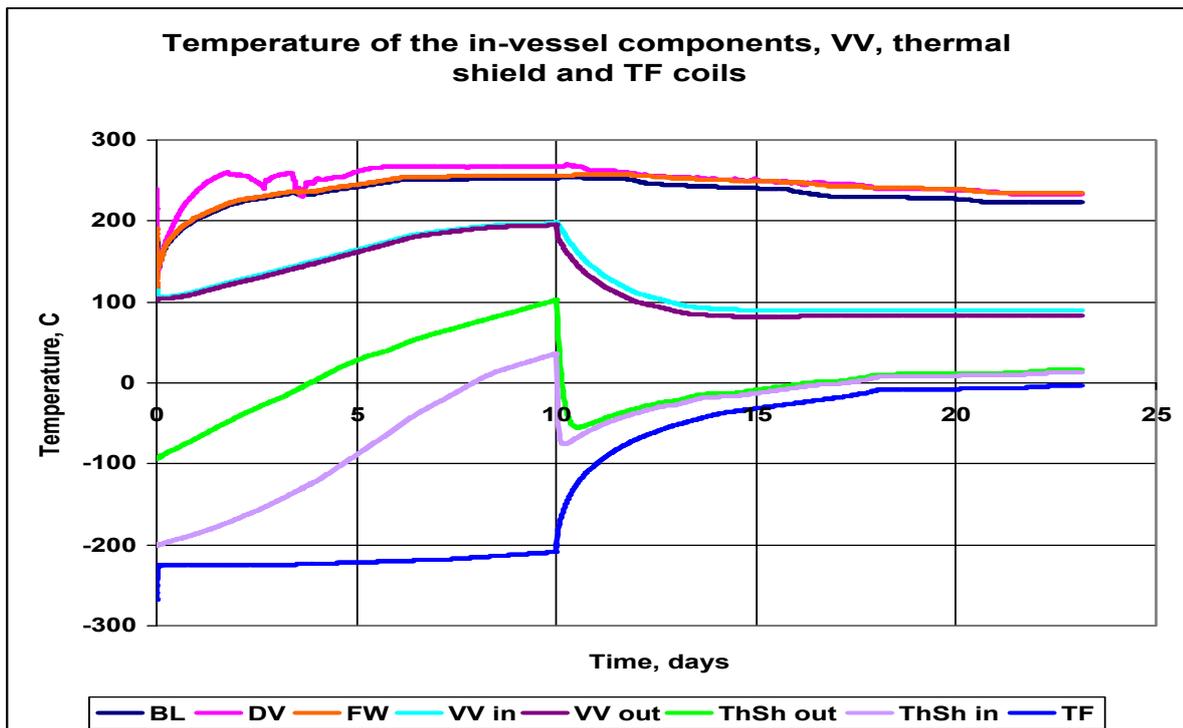


Figure 44 : Température des composants après une perte totale de la source froide et avec une entrée d'air dans le cryostat 10 jours après le début de la perte de la source froide.

Ainsi, il peut être conclu que, quelle que soit la situation de perte du refroidissement, les phénomènes de convection naturelle et de rayonnement dans le cryostat suffisent à extraire la puissance résiduelle de la chambre à vide, montrant que cette fonction n'a absolument aucun impact sur la sûreté d'ITER. De plus,

au vue de l'évolution quasi-stationnaire des températures, l'ouverture du cryostat n'est soumise à aucune contrainte temporelle.

7.5 PERTE TOTALE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES ET DE LA FONCTION DE REFROIDISSEMENT CUMULÉE A UNE FUITE DE TOUS LES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT

Le cas de perte totale de la fonction refroidissement et de l'ensemble des alimentations électriques externes et de secours (diesels pourtant alimentés de façon redondantes, protégés du risque d'inondation, classés au séisme, séparés géographiquement...) vient en complément du cas abordé au paragraphe précédent. En sus, une brèche sur le circuit de refroidissement de la chambre à vide est postulée.

Dans le cas de l'installation expérimentale ITER, la perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours entraîne, de facto, la perte de tous les systèmes de refroidissement, y compris ceux qui ne sont pas dédiés à l'évacuation de l'énergie de fusion, mais qui pourrait être des fonctions support d'autres systèmes. Le postulat d'une brèche sur le circuit de refroidissement n'impacte en rien la perte de la fonction de refroidissement, la puissance étant dissipée principalement dans les différentes structures.

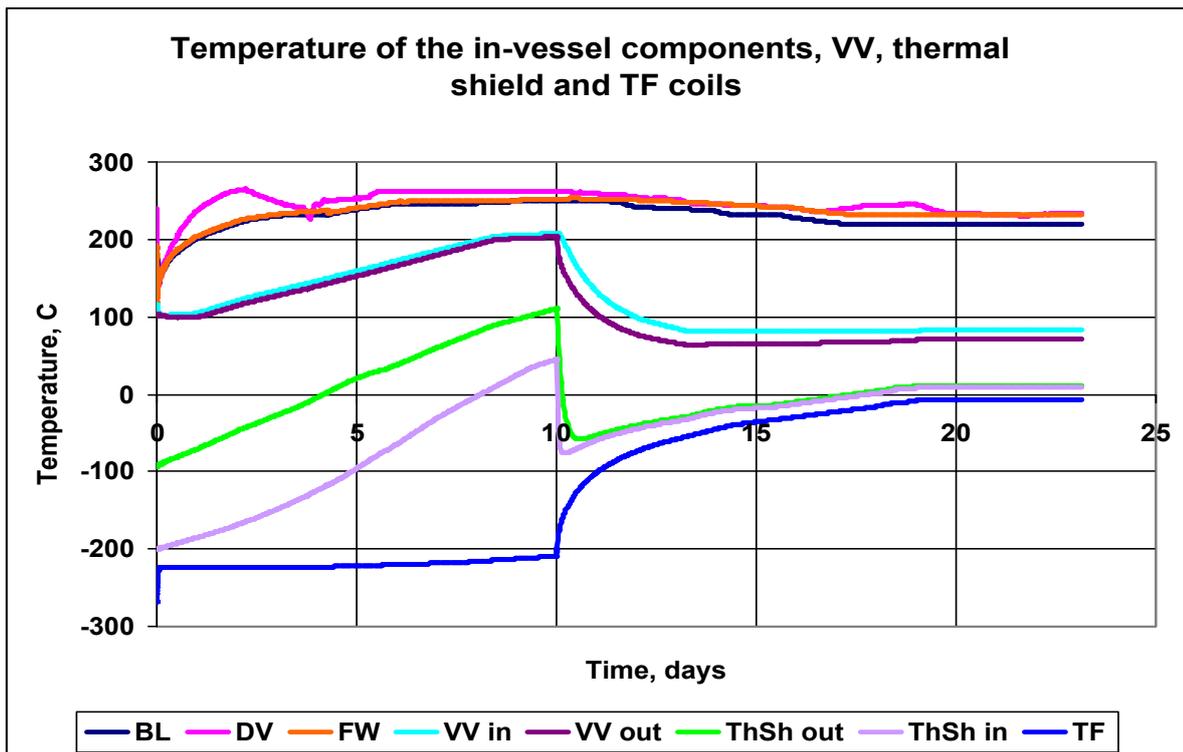


Figure 45 : Température des composants après une perte totale de la source froide et avec une entrée d'air dans le cryostat 10 jours après le début de la perte de la source froide, et rupture des boucles de refroidissement

Au regard de la perte des systèmes ayant pour objectif d'évacuer la puissance résiduelle, cette perte n'entraînera aucune conséquence sur la sûreté, y compris en cas de fuite du circuit de refroidissement de la chambre à vide

Aucun scénario à effet falaise ne peut être entraîné par la perte totale des alimentations électriques, la perte du refroidissement et une fuite du circuit de refroidissement de la chambre à vide.

8 GESTION DE CRISE

8.1 ORGANISATION DE LA CRISE

L'organisation de crise d'ITER est en cours de définition, compte tenu qu'ITER doit d'ici deux ans, en réponse au courrier ASN CODEP-DRC-2012-030439 du 15 juin 2012 :

- compléter la liste des situations accidentelles d'origine interne présentées dans l'étude de dimensionnement du PUI en y intégrant l'ensemble des locaux susceptibles de conduire à un accident nécessitant le déclenchement d'un plan d'urgence interne et en étudiant, pour chaque accident, l'ensemble des aggravants susceptibles de se produire ;
- compléter la liste des situations accidentelles d'origine externe présentées dans l'étude de dimensionnement du plan d'urgence interne. Cette liste doit comprendre, notamment, les situations accidentelles susceptibles de se produire sur les installations voisines (celles présentes sur le site du CEA de Cadarache, y compris les installations en construction, le poste de transformation du réseau de transport d'électricité RTE...), l'agression de l'installation ITER par les aléas naturels, les chutes d'avion et les actes de malveillance ;
- évaluer les conséquences de toutes les situations accidentelles présentées ou qui seront présentées dans l'étude de dimensionnement du plan d'urgence interne à terme, qu'elles soient d'origine interne ou externe ;
- justifier, au regard des situations accidentelles de l'étude de dimensionnement du plan d'urgence interne, le dimensionnement des principaux moyens de crise, notamment l'accessibilité, la localisation et la résistance des locaux de crise, de regroupement et de repli.

Les conclusions de ces analyses permettront de préciser l'organisation de crise d'ITER notamment dans le cadre du plan d'urgence interne (PUI).

L'organisation de crise mise en place par ITER repose sur le principe suivant :

- un poste de commandement de direction (PCD), localisé au poste de garde principal (bâtiment B03) excepté dans les situations de vent sud, avec repli possible au bâtiment 71. Les conventions entre exploitants pourront permettre d'offrir plusieurs possibilités de repli pour le PCD au sein de locaux de substitution en cas d'indisponibilité des moyens nominaux, un poste de commandement (PC) localisé dans la salle de conduite « PC Opérationnel » (bâtiment 71) d'ITER avec repli possible dans la salle de conduite de secours (bâtiment 24). Le schéma 33 ci-après présente la situation de ces postes. L'emplacement des bâtiments 03, 24 et 71 a été sélectionné en fonction de la quasi-absence de vent en direction de ces bâtiments au cours de l'année (bâtiments 03, 24 et 71 moins de 2% de l'année).
- le personnel technique intervenant sur l'installation (contrôle, logistique, secours, ...)

Placé sous l'autorité du Directeur Général ou de son représentant, le PCD est en liaison étroite et permanente avec le PC. Le PCD, point de contact des pouvoirs publics et des responsables des autorités de sûreté nationales. Il est notamment chargé d'arbitrer les choix stratégiques, consolider et diffuser l'information vers les pouvoirs publics nationaux, les médias et le personnel.

Le PC, placé sous l'autorité du chef d'installation ou de son représentant, est en charge de contrôler, surveiller l'installation et de superviser et coordonner les interventions d'ITER qui permettent de décliner les décisions prises par le PCD.

Les équipes techniques de crise (ETC) ont pour mission, en appui du PCD, de :

- valider le diagnostic de l'accident,
- étudier l'évolution prévisible de la situation, et fournir un pronostic de l'état de l'installation, les conséquences des rejets dans l'environnement, ainsi que les parades envisageables,
- anticiper les aggravations éventuelles de la situation en les identifiant et en proposant des parades préventives au niveau de l'installation.

Afin de garantir une réactivité optimale en cas de situation d'urgence, ITER s'appuie sur la présence permanente de personnel sur le site 24h/24, pour motif de sécurité, constitué de personnels prêts à intervenir 24h/24 et à se mobiliser dans les plus brefs délais.

En cas de crise sur l'INB ITER, le chef d'installation, ou son représentant, informe le Directeur Général d'ITER, qui informe à son tour le Directeur du Centre CEA de Cadarache.

Des exercices aux scénarii orientés pour prendre en compte le retour d'expérience de Fukushima seront proposés dans le futur, en liaison avec les autorités compétentes.

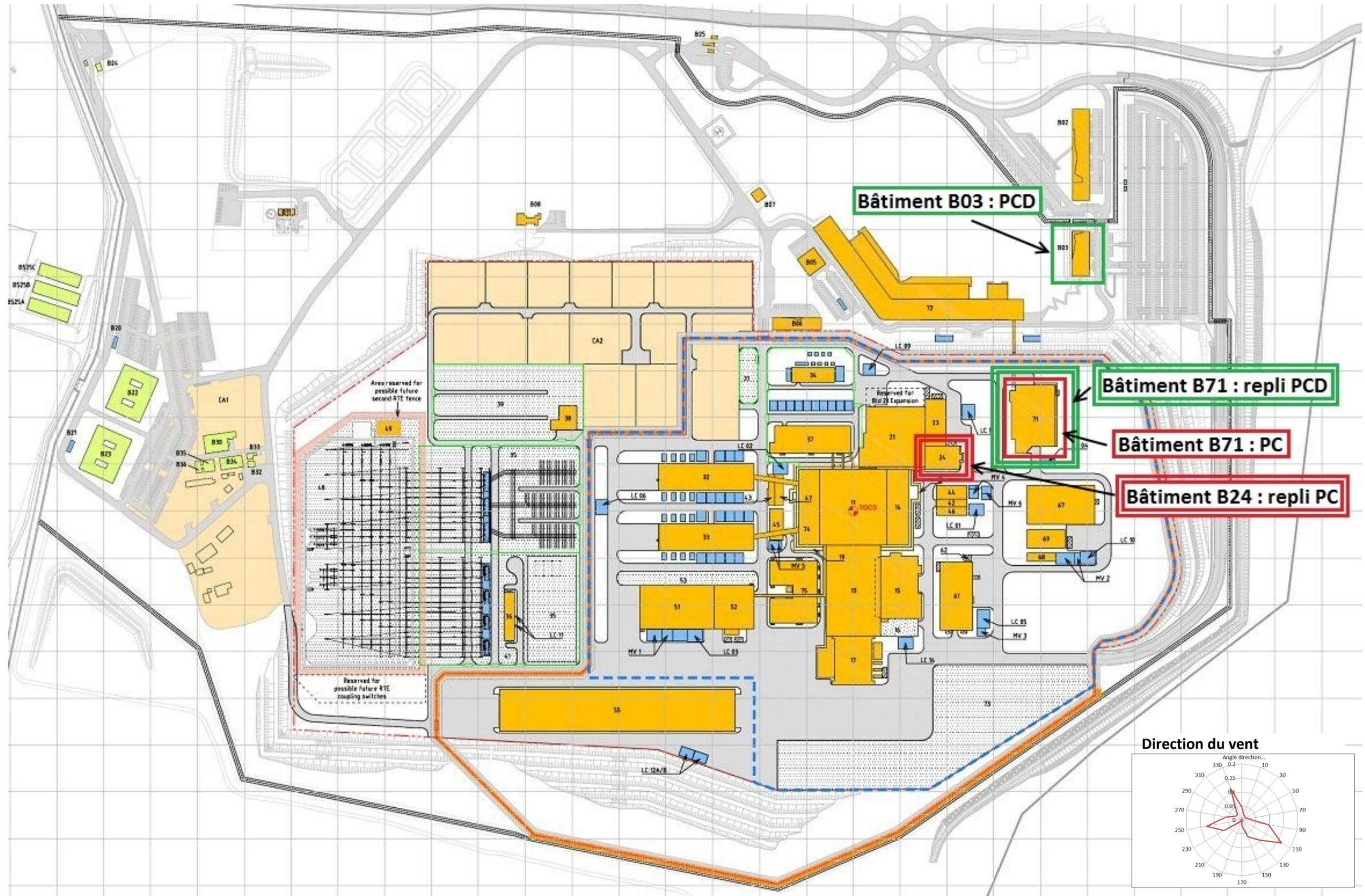


Figure 46 : Schéma d'implantation des PCD et PC d'ITER

8.2 MOYENS DE GESTION DE LA SITUATION DE CRISE

Le plan d'urgence interne (PUI) est une organisation de gestion de crise activée en cas d'accident susceptible d'avoir des conséquences nécessitant l'application des mesures qui dépassent le cadre de l'installation accidentée. Le PUI complète donc les consignes et les dispositions d'urgence de chaque installation en cas d'accident important survenu ou menaçant l'installation. Ces dispositions visent à circonscrire le sinistre, à mettre l'installation dans un état sûr, à secourir et à protéger les personnes et l'environnement, à évaluer les conséquences et l'évolution du sinistre, à informer le personnel, les autorités et les élus locaux.

Les relations entre les divers organismes impliqués dans la gestion de crise sont gérées au travers de protocoles et de conventions entre ITER, le CEA, l'ASN et l'IRSN.

Le plan particulier d'intervention (PPI) est une organisation de gestion de crise activée en cas d'accident susceptible d'avoir des conséquences à l'extérieur d'un site industriel ou nucléaire important. Il est placé sous la responsabilité du Préfet qui organise l'intervention des secours pour la protection de la population et l'environnement à l'extérieur du site.

8.2.1 Moyens humains mis en œuvre pour gérer une situation de crise

Le Directeur Général d'ITER est le responsable de la sécurité générale du site, il définit la réglementation interne, exerce les pouvoirs de contrôle et de discipline générale et définit les objectifs à atteindre en application de la politique sécurité.

Il lui appartient :

- De gérer la fonction sécurité générale sur le site, c'est à dire l'application de la politique générale de sécurité et des textes règlementaires en vigueur dans les différents domaines de la sécurité,
- De contrôler que la sécurité est correctement assurée dans tous les bâtiments du site.

Pour cela il est assisté par des équipes spécialisées notamment :

- **Les secouristes et équipe locale de première intervention**
Dans les bâtiments présentant des risques industriels importants et/ou des risques radiologiques, une équipe locale de première intervention (ELPI), composée de personnes travaillant dans l'installation et comportant un ou plusieurs secouristes du travail, est constituée et entraînée pour prendre les premières mesures en cas d'accident ou de sinistre avant l'arrivée des équipes d'intervention du site d'ITER.
La liste des agents est affichée dans tous les bâtiments à proximité des postes téléphoniques.
- **Le service de radioprotection et de surveillance de l'environnement**
Le service radioprotection est constitué de personnels compétents et formés pouvant intervenir rapidement pour assister les équipes d'exploitation.
- **Les équipes d'intervention et de gestion de crise locales d'ITER**
Les équipes d'intervention d'ITER sont composées de personnel d'astreinte ayant les compétences sur toutes les disciplines liées à la sûreté, à la maîtrise de l'état sûr de l'installation et à la surveillance radiologique et chimique dans et hors de l'installation. Ces équipes, organisées à partir

de la salle de commande principale ou de secours, comportent des personnes capables d'effectuer si nécessaire des actions locales (exemple de lignage de circuits ou de connexion d'équipements).

- **Les équipes de commandement et de direction locales d'ITER**

Les équipes de commandement et de direction sont composées de personnel d'astreinte et de direction ayant les compétences pour prendre toute décision nécessaire à gérer la crise sur l'installation. Ces équipes sont basées au poste de direction (bâtiment 03) ou de secours (bâtiment 71). Elles comportent également des équipiers d'astreinte permettant d'effectuer des actions de logistique (gestion des relèves, gestion des réserves de fioul, approvisionnement de matériel...).

En cas d'évènement à caractère incidentel ou accidentel, nucléaire ou non, ITER assure la gestion de la situation incidentelle ou accidentelle par ses moyens propres ou en faisant appel, le cas échéant, aux services du Centre CEA de Cadarache ou autre Centre Nucléaire dans le cadre des conventions qui seront établies entre les différents établissements.

8.2.2 Modalités de déclenchement et de diffusion de l'Alerte

8.2.2.1 Alerte au niveau de l'installation accidentée et du site

La mise en œuvre de la protection du personnel en cas d'accident repose sur l'information rapide par le réseau d'alarmes

Les différentes alertes possibles sont:

- les signaux lumineux (sur tableaux locaux de téléalarme, tableaux de contrôle, portes d'accès aux locaux...),
- les signaux sonores (klaxon indiquant la mise en application des mesures de secours prévues par les consignes de sécurité, klaxon ordonnant le rassemblement du personnel, sirène stridente ordonnant l'évacuation du personnel),
- les messages pré-enregistrés.

La diffusion de l'état d'alerte sur l'ensemble du site peut se faire :

- au moyen d'une sirène,
- au moyen de messages transmis par hauts parleurs.

La fin de l'état d'alerte est signifiée avec les mêmes moyens.

Tous les bâtiments d'ITER sont reliés au système de diffusion générale. Ce système sera utilisé pour la diffusion d'annonces de sécurité et d'alertes, les caractéristiques restant à définir.

Le réseau d'alerte par haut-parleurs est directement connecté au Système de Contrôle Commande, et permet l'émission prioritaire d'annonces sur l'ensemble du site.

Le réseau d'alerte par haut-parleurs est également relié au Système d'Alerte Incendie qui génère automatiquement des messages vocaux d'alerte en cas d'incident.

Le réseau d'alerte par haut-parleurs est relié au système de sûreté centralisé (CSS) pour permettre le déclenchement d'autres actions, soit par les systèmes adéquats implantés dans l'installation soit par le personnel de l'installation ou intervenant sur l'installation. Ce réseau sera conçu selon les critères types des systèmes d'alerte au personnel et d'alarmes vocales.

Il est composé d'amplificateurs, de haut-parleurs et de connectique et composants résistants au feu. Le système peut émettre des annonces localisées ou générales. La diffusion des messages, émanant de la salle

principale de conduite, est prioritaire sur celle des messages locaux. Le réseau est aussi doté de tonalités différentes en fonction du type d'alerte pour garantir la bonne reconnaissance des diverses alarmes. Un microphone multi-zone est installé dans le bâtiment d'accès en zone contrôlée (PACB) pour l'émission de messages localement ou dans toutes les zones des bâtiments nucléaires.

Les installations et établissements voisins et la population sont informés de l'éventualité de la mise en place de contre-mesures les concernant (mise à l'abri, évacuation, ..) dans le cas d'un accident nécessitant le déclenchement du PPI.

8.2.2.2 Déclenchement des dispositifs d'urgence relevant du PUI et alerte des organismes officiels

La décision de déclencher le PUI appartient exclusivement au Directeur Général d'ITER ou à son représentant.

Lorsque le Directeur Général ou son représentant décident de déclencher l'organisation de crise, l'appel de l'ensemble des membres de l'organisation de crise se fait via un système d'appel automatique complété par des appels téléphoniques.

Des dispositions sont mises en place pour l'alerte des interlocuteurs extérieurs au site :

- la Direction Générale du CEA et du Centre de Cadarache,
- les pouvoirs publics : Préfecture des Bouches-du-Rhône, Sous-Préfet d'Aix-en-Provence et DREAL,
- l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) qui a en charge l'information de l'IRSN,
- la gendarmerie, le SDIS.

Dans les salles de commande et les bâtiments 71 et 03, il est prévu un téléphone à liaison satellite bénéficiant d'une autonomie renforcée permettant de garantir les moyens de communication.

8.2.2.3 Alertes relatives à l'environnement proche du site

Les entreprises, établissements et populations environnantes sont alertés sans délai en cas de déclenchement du PPI, et ce sous la responsabilité du Préfet.

Les maires des sept communes inscrites dans le périmètre du PPI (Beaumont-de-Pertuis, Corbières, Ginasservis, Jouques, Rians, Saint-Paul-lez-Durance et Vinon-sur-Verdon) sont informés du déclenchement du PUI et de son évolution.

Le sinistre, son développement, ses conséquences et sa gestion font l'objet d'une communication externe de la part d'ITER vers les autorités compétentes.

8.2.3 Exercices et formations

Les activités concernant la formation et l'entraînement du personnel à la sécurité comprennent des séances d'instruction et des exercices destinés à informer le personnel de la conduite à tenir en cas d'incident, d'accident ou de sinistre.

8.2.3.1 Exercices particuliers dans les installations

L'entraînement du personnel aux interventions courantes est assuré par l'exécution d'exercices particuliers, ces exercices font intervenir :

- le personnel de l'installation,
- l'équipe locale de première intervention du bâtiment ou, à défaut les secouristes de l'installation,
- les équipes d'intervention du site.

Ces exercices permettent de contrôler :

- l'application des règles d'intervention,
- la diffusion intérieure et extérieure de l'alerte,
- l'action de l'équipe locale de première intervention du bâtiment,
- l'action des équipes d'intervention du site,
- la coordination des actions.

8.2.3.2 Exercices généraux

Ces exercices font intervenir, en plus du personnel d'une ou plusieurs installations supposées sinistrées, l'organisation de gestion de crise du site et mettent en œuvre des services d'intervention. Certains de ces exercices pourront être organisés au niveau national en liaison avec l'autorité de sûreté et les Préfectures.

Ils ont pour but de vérifier l'application des instructions et consignes dans le cadre du plan d'urgence interne du site et en particulier :

- la bonne diffusion des ordres à tous les secteurs d'alerte,
- la mise en sécurité des installations,
- la mise en œuvre des moyens de transport pour l'évacuation du personnel,
- la mise en place des moyens de contrôle du personnel provenant des installations évacuées.

8.2.3.3 Formation du personnel à la sécurité

La formation du personnel à la sécurité comprend plusieurs volets :

- la formation initiale à la sécurité dispensée par ITER complétée par une formation à la sécurité au poste de travail,
- une formation spécifique à la sécurité liée à la prévention d'un risque particulier (risque chimique, risque de manutention, risque électrique...). Ces formations, obligatoires pour certains postes, font souvent l'objet de stages donnant lieu à une habilitation,
- les « journées sécurité » comprenant :
 - des exposés généraux sur la prévention des risques rencontrés dans l'installation,
 - un exercice de sécurité,
 - un entraînement à l'utilisation des extincteurs.

8.2.3.4 Formation des acteurs à la gestion de crise

L'ensemble des acteurs de la gestion de crise bénéficie d'une formation spécifique à la gestion de crise à l'occasion de leur prise de fonction puis périodiquement.

La formation prend en compte les dispositions de prise en charge sociale et psychologique des équipiers de crise pour gérer les conditions de travail stressantes associées à la gestion de ces situations accidentelles. Cette formation prend également en compte l'environnement familial des personnes amenées à gérer la crise.

8.2.4 Contrôles techniques de sécurité

Les matériels utilisés dans le cadre des interventions ainsi que les réseaux de diffusion d'ordres font l'objet de contrôles techniques de sécurité dont la périodicité est définie soit par la réglementation soit par des dispositions internes au site.

8.3 ROBUSTESSE DES MOYENS D'INTERVENTION ET D'ACCES

8.3.1 Moyens généraux d'intervention

Mesures générales en cas de dissémination de matières radioactives sur le site

Les mesures générales de protection du personnel, en cas d'accident entraînant un risque radiologique, sont les suivantes :

- interdiction de circulation sur le site sauf pour les équipes participant à l'organisation des secours,
- interdiction d'entrée et de sortie du site, sauf autorisation spéciale du Directeur Général,
- balisage de la zone sinistrée,
- gardiennage de la zone sinistrée,
- mise à l'abri du personnel se trouvant à l'extérieur des bâtiments,
- mise en place dans chaque bâtiment des mesures de protection du personnel,
- évacuation immédiate des secteurs se trouvant en zone dangereuse,
- préparation à une éventuelle évacuation des secteurs se trouvant en zone suspecte,
- mise en œuvre des moyens de protection individuelle du personnel,
- contrôle et pré-décontamination du personnel,
- décontamination du personnel,
- contrôle des véhicules de transports,
- regroupement du personnel pour son transport vers les localités d'habitations.

Salles de commandes

ITER dispose de deux salles de commande différentes (bâtiment 71 = salle de commande principale, bâtiment 24 = salle de commande de secours). Ces deux salles de commande sont alimentées par chacun des trains électriques (voies A et B), toutes les deux résistantes à des séismes SL-2 et protégées des risques d'inondation et permettant de suivre les paramètres de l'installation et de l'amener à un état sûr.

Toutes les fonctions de sûreté sont surveillées et gérées depuis chacune des salles de commande.

Aucune de ces deux salles de commande n'est exposée aux vents fréquents susceptibles d'amener de la contamination issue d'ITER vers ces salles de commande (environ 1% du temps pour la salle de commande de secours, environ 2% du temps pour la salle de commande principale). En outre, la salle de commande

de secours dispose d'un système de filtration de l'air soufflé (filtres à très haute efficacité et pièges à iode). Des moyens de protection individuelle sont également disponibles dans chacune des salles de commande.

Les infrastructures des bâtiments abritant les salles de commande principale et de secours (71 et 24) permettent la relève du personnel : douches, dortoirs aménageables, réserves de nourriture et protections individuelles en nombre suffisant.

Ainsi, l'habitabilité long terme d'une des salles de commande est toujours assurée en permanence.

Protections individuelles

Les protections individuelles disponibles dans les locaux de gestion de crise comportent :

- au regard des aérosols radioactifs, des masques avec filtre à aérosols, disponibles pour l'ensemble du personnel présent sur site,
- au regard des iodes radioactifs susceptibles d'être générés dans le cas d'accidents situés dans les installations du CEA de Cadarache, des masques avec cartouche d'iode disponibles pour les seules personnes présentes dans les locaux de crise pour mettre en état sûr l'installation ITER,
- au regard du tritium, des tenues ventilées avec adjonction d'air pour les seules personnes présentes pour gérer la crise et pour leur relève.

Moyens d'accès

Le site ITER est accessible par la route via le nord-est (Vinon-sur-Verdon), via l'ouest (St-Paul-lez-Durance), et même via une route reliant l'intérieur du centre de Cadarache à la partie ouest du site ITER. Le centre de CEA de Cadarache est accessible via St-Paul-lez-Durance mais également via le sud (Ginasservis). Dans ces conditions, il y aurait en permanence des voies d'accès pour faciliter les transports de personnel et l'acheminement / approvisionnement de matériels.

Si les routes étaient totalement inaccessibles (séisme destructeur des voies routières, inondation des routes), des moyens aéroportés seraient utilisés.

De plus, certaines actions du PCD peuvent être réalisées à distance (alerte, déclenchement du PPI, ...).

En cas de situation de crise, dans l'attente de l'arrivée des personnels d'astreinte et de renforts, la crise est gérée plus longtemps par les équipes en place 24H/24 et 7j/7, conseillée à distance.

Ces personnes peuvent être maintenues sur site plusieurs jours, une base vie avec dortoirs, douches, réserves de nourriture et des protections individuelles étant disponibles.

Relèves de personnel

Les conditions radiologiques dans les zones des plus proches populations restent limitées pour l'ensemble des situations, rendant ainsi l'accès au site toujours possible au regard de l'ambiance radiologique. Pour les scénarios où les conditions radiologiques dans l'installation seraient importantes, des protections

individuelles adaptées sont disponibles dans les locaux utilisés pour la gestion de crise. La surveillance de l'installation par du personnel peut ainsi toujours être assurée.

Le personnel mobilisé sur site pour assurer la mise en sécurité des installations est composé d'équipiers d'astreinte formés spécialement aux risques de l'installation.

Si la situation l'exige, des relèves de personnel pourront être réalisées après analyse de la situation accidentelle avec le service de protection radiologique et de surveillance de l'environnement. Dans ce cas, le personnel de relève est également composé d'équipes d'astreinte formées spécialement aux risques de l'installation. Le personnel est acheminé par voie terrestre sur l'installation.

En cas de perte totale des voies d'accès routière, le personnel de relève pourra être acheminé par voie aérienne.

Les infrastructures des bâtiments abritant les salles de commande principale et de secours (71 et 24) permettent la relève du personnel : douches, dortoirs aménageables, réserves de nourriture et protections individuelles en nombre suffisant.

Mesures de surveillance radiologique et de surveillance de l'environnement

Le service en charge de la surveillance radiologique et chimique joue un rôle prépondérant dans le cadre des interventions en cas d'incident ou d'accident, notamment :

- Mesures et surveillance à l'aide de différents matériels : véhicule d'intervention et de surveillance atmosphérique, stations mobiles de prélèvement et remorque de décontamination,
- Evaluation des impacts à l'aide de code de calcul,
- Conseil et participation à la mise en sécurité des personnes,
- Assistance à la prise de décision auprès du PCD lors du déclenchement du PUI.

Par ailleurs, le service de protection radiologique et de surveillance de l'environnement dispose de moyens de mesures « embarquées » qui permettent de façon urgente et limitée, d'établir un premier relevé de mesures radiologiques sur les lieux jugés les plus pertinents en situation accidentelle, compte tenu des conditions météorologiques.

A la suite d'un accident sur ITER, le risque de dissémination atmosphérique et/ou liquide de matières radioactives en dehors du périmètre de la plate-forme ITER est surveillé. Des prélèvements dans l'environnement sont réalisés et analysés si besoin avec des camions mobiles, suivant un plan de surveillance environnementale particulier prélevant les différentes matrices environnementales.

8.3.2 Moyens spécifiques aux différentes situations

Le chapitre 3.2 de la présente étude étudie les scénarios susceptibles d'entraîner des effets faibles. Les mesures de gestion relatives à ces différents scénarios sont présentées ci-après.

8.3.2.1 Inondation extrême

Le chapitre 5 a montré que l'emplacement de la plate-forme ITER (côte au-dessus de la cote majorée) ainsi que les dispositions en place sur la plate-forme ITER :

- permettent de limiter la montée d'eau sur la plate-forme,
- permettent l'accès au site et aux équipements EIS SSC par les moyens de secours extérieur,
- assurent l'absence de montée d'eau dans les locaux abritant des éléments importants pour la sûreté.

En cas d'alerte Météo France, confirmée par une montée d'eau autour de la plate-forme, une vérification de la fermeture des portes de l'ensemble des locaux sera effectuée.

En cas de cumul du séisme et d'une inondation, une mise à l'état sûr de l'installation est effectuée.

Aucune disposition relative à l'acheminement de moyens mobiles, à la relève de personnel ou l'approvisionnement en carburant n'est nécessaire dans une telle situation.

8.3.2.2 Perte des alimentations électriques normales, des deux alimentations électriques de secours et des batteries de secours

Diesels de secours

Les éléments importants pour la sûreté dont le fonctionnement est nécessaire sont alimentés grâce aux générateurs diesels de secours, prévus dans le cadre du dimensionnement, après reprise sur batteries de ceux constituant le contrôle commande. Ces diesels ont les propriétés suivantes :

- Redondants (train A et train B),
- Dimensionnés à un séisme SL-2,
- Séparés géographiquement ainsi que les cuves de stockage de carburant, permettant d'éviter tout mode commun, y compris dans le cas d'une chute d'avion,
- Autonomie de 3 jours, permettant ainsi de disposer d'un délai suffisant pour le réapprovisionnement en carburant.

Diesel d'ultime secours

En cas de perte postulée des deux diesels de secours, malgré les exigences présentées ci-avant, un groupe électrogène fixe additionnel est mis en place sur le site. Ce groupe d'ultime secours est protégé notamment des effets d'un séisme plus grand que SL-2, des inondations extrêmes (situé à une hauteur supérieure à 315,2 mNGF) et des autres agressions climatiques extérieures.

Ce groupe ne démarrera pas sur une action automatique mais de façon manuelle depuis les salles de commande et localement en cas de défaillance de la mise en service depuis la salle de commande.

Des câbles de secours seront également disponibles pour connecter ce diesel à une prise de connexion sur chacun des bâtiments abritant des équipements essentiels disposant d'une alimentation électrique en cas de défaillance des tranchées entre ce diesel et les bâtiments. Une action manuelle consistera à alimenter les équipements essentiels avant la fin de l'autonomie des batteries d'ultime secours (2 heures).

Batteries de secours

Les batteries électriques disposent d'une autonomie de 4 heures pour alimenter l'ensemble des équipements EIS nécessitant une source électrique ininterrompue.

Ces batteries ont les propriétés suivantes :

- Redondantes (train A et train B),

- Dimensionnées à un séisme SL-2,
- Séparées géographiquement, permettant d'éviter tout mode commun, y compris dans le cas d'une chute d'avion,
- Autonomie de 4 heures.

En cas de défaillance de ces batteries de secours, une autre batterie, d'ultime secours, d'autonomie 2 heures permet de reprendre les équipements essentiels actifs. Cette batterie est protégée des agressions externes au même titre que le diesel d'ultime secours.

Approvisionnement en carburant

ITER dispose de 2 cuves de carburant, classées éléments importants pour la sûreté, résistantes à un séisme SL-2, séparées géographiquement de part et d'autre du complexe tokamak pour éviter une perte par mode commun. Les cuves sont destinées au fonctionnement des groupes électrogènes pour une marche pendant 72 heures. Une autre cuve est également disponible pour des diesels utilisés uniquement pour des besoins de protection de l'investissement.

En parallèle, une personne au sein de la logistique au poste de direction sera chargée d'assurer le réapprovisionnement en carburant de ce diesel d'ultime secours, en utilisant tous les moyens de transport utiles pour cette réalimentation.

8.3.3 Gestion de crise au niveau du site en cas de séisme

Alerte :

L'élément déclencheur de la gestion de crise en cas de séisme est la réception en salle de conduite d'une information selon laquelle un séisme a eu lieu sur le site ou dans son environnement immédiat, cette information peut y parvenir:

- Par une alerte donnée par une personne ayant ressenti une secousse et qui contacte la salle de commande par téléphone,
- Par une alerte donnée par les accéléromètres implantés sur le site qui signalent en salle de commande le dépassement de l'un des deux seuils prédéfinis.

Organisation de la crise :

La mise en œuvre des moyens matériels et humains pour la mise à l'état sûr des installations du site est soumise à l'appréciation :

- du Directeur Général suite au diagnostic et avis du chef d'installation si l'évènement a lieu en heures ouvrables,
- de l'astreinte de Direction avec avis du cadre de permanence, du chef de service radioprotection et surveillance environnementale et des équipes de secours si l'évènement a lieu en heures non ouvrables et si les moyens de communications sont opérationnels
- du cadre de PMS avec avis du chef de service radioprotection et surveillance environnementale et des équipes de secours présentes si l'évènement a lieu en heures non ouvrables et dans le cas où le cadre de Direction n'est pas joignable.

Moyens disponibles :

Les moyens disponibles suite à un séisme et donc résistants au séisme sont :

- les moyens nécessaires pour donner l'alerte,

- les moyens de communication, notamment téléphones à liaison satellite bénéficiant d'une autonomie renforcée permettant de garantir les moyens de communication externe,
- un groupe électrogène d'ultime secours, disponible après séisme avec une autonomie de 3 jours,
- les moyens de radioprotection mobiles.

Gestion de la crise :

La stratégie d'intervention après établissement du poste de commandement et moyens généraux non dégradés est la suivante :

- Réalisation d'action immédiate de mise en sécurité si nécessaire
- Recueil des informations (bilan sur la présence de personnel, état de la télésurveillance, réalisation de mesures radiologiques,
- Identification externe de l'état de l'installation
- Détermination des besoins d'intervention
- Identification interne de l'état de l'installation
- Enfin intervention du personnel sur site et/ou d'équipes spécialisées telles que le SDIS ou les équipes d'intervention propres au Centre de Cadarache selon la convention établie,
- la Direction Générale peut faire appel à des moyens d'intervention d'autres centres nucléaires selon les conventions établies.

Dans le cas d'une gestion de crise dégradée, le personnel présent sur site informe de l'état des installations à la Direction, qui fera intervenir des moyens extérieurs.

8.3.4 Risques liés aux installations industrielles avoisinantes

Les installations industrielles importantes se situent à plus de 50 km (usine chimique ARKEMA à Saint-Auban, SANOFI à Sisteron, les industries situées au sud et à la périphérie de l'Etang de Berre).

Dans un rayon de 20 km autour du centre de Cadarache se sont développées des zones industrielles de taille plus modeste qui accueillent beaucoup d'entreprises de prestations de service. Elles sont situées à Saint-Paul-lez-Durance et Vinon-sur-Verdon, mais aussi à Manosque et Sainte-Tulle.

Il est à noter également à Manosque la présence d'un centre de stockage souterrain pour les hydrocarbures ou le méthane dans des cavités de sel. La liaison avec l'artère principale qui passe au sud d'Aix-en-Provence s'effectue par une canalisation de 68 km de long qui transporte du méthane humide à la pression de 80 bar, dont le cheminement passe à 1,5 km de la limite ouest du site du CEA, l'INB la plus proche se situant à plus de 2 km de la canalisation. Deux pipelines passent par ailleurs à plus de 15 km au nord-ouest du site ITER et relie la zone de Fos-sur-Mer à Manosque.

Aucune de ces activités industrielles n'est susceptible de générer des risques qui pourraient compromettre les actions de gestion de la crise menées par ITER, comme cela est démontré dans le rapport préliminaire de sûreté d'ITER.

8.3.5 Risques liés aux installations du CEA de Cadarache

Les INB du Centre CEA de Cadarache, pour lesquelles le plan d'urgence Interne (PUI) d'ITER pourrait être enclenché suite à un accident dans l'une d'entre elles sont : l'INB 92 (réacteur PHEBUS), l'INB 39 (installation MASURCA) et le réacteur RES.

De plus, les situations suivantes survenant sur le site CEA de Cadarache peuvent également enclencher le PUI d'ITER :

- un incendie dans une INB présentant un risque radiologique suffisant,
- une chute d'avion sur un bâtiment nucléaire,
- une détection d'une anomalie importante lors de la surveillance des rejets dans l'environnement,
- le déclenchement du plan d'urgence sur le site CEA de Cadarache suite à un accident toxique.

Le rejet accidentel de substances radioactives à partir des installations du Centre CEA de Cadarache n'est pas, en lui-même, susceptible d'affecter la sûreté de l'installation ITER mais il pourrait affecter le personnel. Les autres accidents ne représentent pas de risque pour l'installation ITER.

En cas de rejet accidentel de substances radioactives, ITER est informé notamment :

- soit via le déclenchement du PUI de l'installation concernée,
- soit via les balises de mesure sur le site d'ITER,
- soit via une information provenant du CEA.

Les actions suivantes sont réalisées afin de limiter les conséquences sur le personnel :

- Mise en état sûr de l'installation si nécessaire,
- Arrêt des opérations en cours,
- Regroupement et confinement du personnel présent sur site sous la surveillance du service de radioprotection et de surveillance de l'environnement,
- Evacuation du personnel non nécessaire à la mise en sécurité de l'installation par les moyens de secours. L'évacuation se fera avec des moyens de protections individuelles adaptées au risque radiologique de l'accident.

Chacune des salles de commande dispose de protections individuelles adaptées au risque radiologique de l'accident.

La salle de commande de secours dispose de dispositifs de filtration de l'air (filtres à très haute efficacité, pièges à iode) permettant d'assurer l'habitabilité long terme de la salle de commande.

8.3.6 Mesure de gestion d'une explosion hydrogène et poussières dans la chambre à vide cumulée à une perte de la détritiation (DS).

8.3.6.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, il est redouté une entrée d'air dans la chambre à vide qui créerait une explosion d'hydrogène, qui créerait une mise en suspension de poussière liées à l'érosion des composants faisant face au plasma, elle-même créant une explosion de poussière qui endommagerait la chambre à vide, cumulée à une perte des systèmes de détritiation (DS).

Les phénomènes de génération et de libération de l'hydrogène dans la chambre à vide en cas d'entrée d'air sont des phénomènes lents. De ce fait, les igniteurs (classés parmi les éléments essentiels de sûreté) sont initialement alimentés pour permettre d'oxyder ces lents dégagements d'hydrogène, et donc ainsi de protéger la première barrière de confinement.

Tous les moyens permettant d'éviter cette situation sont déjà disponibles sur site pendant 3 jours (batteries électriques d'ultime secours, diesels d'ultime secours, y compris leur réserve en carburant).

Aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cet accident pendant ces trois premiers jours. Si cet accident était cumulé à des conditions extrêmes liées à des agressions externes qui seraient susceptibles d'entraîner une perte des liaisons électriques entre le diesel d'ultime secours et les bâtiments, la seule opération manuelle consisterait à brancher les câbles électriques de secours, disponibles sur site, sur la connexion disponible sur le bâtiment tokamak pour permettre une réalimentation des igniteurs.

Au-delà de 3 jours, des approvisionnements en carburant seront nécessaires pour continuer d'alimenter les igniteurs.

L'accident d'explosion pourrait ainsi être évité sans créer d'effet falaise au titre de la méthodologie des études complémentaires de sûreté développées par l'ASN.

Cependant, dans un souci de défense en profondeur, notamment en cas de non possibilité de réapprovisionnement, il a été analysé la perte additionnelle des igniteurs, afin de disposer de lignes de défense supplémentaires.

Dans ce cas, l'explosion ne pourrait plus être évitée et la phénoménologie de l'accident créerait une ouverture des éléments les plus faibles de la première barrière de confinement. De ce fait, des dispositions de confinement statique de la dernière barrière de confinement de l'installation, sont mises en place au cas où ces igniteurs ne seraient pas opérationnels. Cette pressurisation aurait une cinétique rapide mais le retour à des conditions de pression normales s'effectuerait également très rapidement, en moins de quelques minutes. Ainsi, compte tenu des exigences d'étanchéité de la dernière barrière de confinement, les rejets vers l'extérieur de l'installation resteraient limités et n'entraîneraient aucun effet falaise pour les populations les plus proches.

Ainsi, même si aucune action manuelle n'était effectuée, aucun effet falaise ne serait à craindre pour les populations les plus proches.

8.3.6.2 Disponibilité et acheminement des moyens mobiles

Les moyens disponibles sur site utilisés pour gérer la situation sont suffisants pour éviter un effet falaise.

Pour éviter néanmoins l'explosion, les seuls moyens mobiles nécessaires consisteraient à un acheminement de réserves en carburant au bout de 3 jours, via un des moyens d'accès décrits au paragraphe 8.3.1 (pour lesquels il existe toujours une solution nord/ouest ou sud pour accéder au site par une des routes nord, sud et ouest ou via des moyens aéroportés).

8.3.6.3 *Gestion des relèves de personnel*

Dans cette situation, aucune relève de personnel n'est nécessaire pour éviter un effet falaise car même si l'évènement redouté (l'explosion) se produit, il ne conduira pas à générer un effet falaise.

Néanmoins, pour éviter une explosion, une relève pourrait s'avérer nécessaire pour effectuer la seule action manuelle à effectuer par les équipes de relève : réapprovisionner le diesel d'ultime secours.

La gestion des relèves de personnel figurant au paragraphe 8.3.1 montre que celle-ci peut s'effectuer dans tous les cas.

8.3.6.4 *Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes*

Une personne chargée de la logistique au sein du poste de direction a également en charge le réapprovisionnement en carburant du groupe électrogène d'ultime secours.

Le réapprovisionnement en carburant peut effectuer par un des moyens d'accès décrits au paragraphe 8.3.1 (pour lesquels il existe toujours une solution nord/ouest ou sud pour accéder au site par une des routes nord, sud et ouest ou via des moyens aéroportés).

8.3.7 Incendie généralisé de la passerelle haute tension du système d'injection de neutre (NBI HV Deck) vers la cellule des injecteurs de neutre (NB Cell)

8.3.7.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, on postule un incendie qui prendrait naissance dans le local de la passerelle haute tension (local dénommé « HV deck ») et qui se propage vers la cellule d'injecteur de neutres. Dans ce cas, l'évènement redouté est la perte de l'enveloppe mécanique des injecteurs de neutres et la non-fermeture des organes isolant les injecteurs de neutre de la chambre à vide.

Dans ce scénario, aucun système actif n'est nécessaire, seules des dispositions passives de confinement des matières radioactives (obturateur rapide et vannes d'isolement des injecteurs de neutres, dernière barrière de confinement statique) étant nécessaires.

De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

L'isolement des injecteurs de neutre permet d'éviter les rejets radioactifs associés aux matières présentes dans la chambre à vide.

8.3.7.2 *Disponibilité et acheminement des moyens mobiles*

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation spécifique.

8.3.7.3 *Gestion des relèves de personnel*

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.7.4 *Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes*

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise dans cette situation spécifique. Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.8 Rupture totale des lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak

8.3.8.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, il est postulé de façon déterministe la rupture totale de l'ensemble des lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak malgré la conception robuste de ces lignes cryogéniques dans le bâtiment tokamak notamment vis-à-vis de séismes SL-2. La perte totale des lignes cryogéniques présentes dans les galeries et dans le cryostat ne serait possible que pour un séisme dépassant le niveau de séisme de dimensionnement. Ceci entraînerait des chargements à l'intérieur de la 2^{ème} barrière de confinement qui remettraient en question ses exigences de sûreté (confinement et stabilité), sans toutefois générer de relâchement de matières radioactives susceptibles de créer un effet falaise ; en effet, les lignes d'alimentation et de soutirage en tritium sont les seules matières présentes dans les galeries et sont conçues pour résister à des niveaux de séisme supérieurs à ceux du dimensionnement.

Dans ce scénario, aucun système actif n'est nécessaire. De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.8.2 *Disponibilité et acheminement des moyens mobiles*

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation spécifique.

8.3.8.3 *Gestion des relèves de personnel*

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.8.4 *Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes*

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise. Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.9 Dégradation du premier système de confinement du système d'entreposage et de distribution (SDS) couplée à un incendie

8.3.9.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, il est redouté la perte du premier système de confinement du système d'entreposage et de distribution du tritium, cumulée à un incendie dans les locaux susceptible d'agresser plusieurs secteurs de feu et de dégazer les inventaires en tritium du système SDS.

Dans ce scénario, aucun système actif n'est nécessaire, l'utilisation de systèmes passifs (vannes d'isolement, sectorisation incendie, dernière barrière de confinement) étant suffisante pour éviter un effet falaise. De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.9.2 *Disponibilité et acheminement des moyens mobiles*

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.9.3 *Gestion des relèves de personnel*

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.9.4 *Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes*

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise. Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.10 Explosion au sein du système de séparation isotopique (ISS)

8.3.10.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, il est redouté l'explosion des isotopes d'hydrogène du système ayant le plus grand inventaire en tritium gazeux (ISS).

L'utilisation de systèmes de brassage de l'air des locaux, éléments essentiels tenant à des séismes supérieurs au SL-2 et secourus par des batteries et des diesels d'ultime secours, est nécessaire pour éviter ce scénario.

Néanmoins, si ce scénario se produisait malgré tout, la dernière barrière de confinement (résistance mécanique des locaux ISS, confinement statique procuré par le bâtiment tritium) permettrait d'éviter des rejets créant un effet falaise. Dans ce cas, la pressurisation due à l'explosion aurait une cinétique rapide mais le retour à des conditions de pression normales s'effectuerait également très rapidement, en moins de quelques minutes. Ainsi, compte tenu des exigences d'étanchéité de la dernière barrière de confinement, les rejets vers l'extérieur de l'installation resteraient limités et n'entraîneraient aucun effet falaise pour les populations les plus proches.

Aucune action manuelle n'est nécessaire pour ce scénario. En cas de défaillance additionnelle du câblage électrique entre le diesel d'ultime secours et le bâtiment tritium, une action manuelle consisterait à aller

brancher avec les câbles disponibles le diesel au bâtiment tritium en moins de 2 heures. Les conditions radiologiques n'empêcheront pas la réalisation de ces actions.

De plus, même si aucune action manuelle n'était effectuée, aucun effet falaise ne serait à craindre pour les populations les plus proches.

8.3.10.2 *Disponibilité et acheminement des moyens mobiles*

Les moyens disponibles sur site utilisés pour gérer la situation sont suffisants pour éviter un effet falaise.

Pour éviter néanmoins l'explosion, les seuls moyens mobiles nécessaires consisteraient à un acheminement de réserves en carburant au bout de 3 jours, via un des moyens d'accès décrits au paragraphe 8.3.1 (pour lesquels il existe toujours une solution nord/ouest ou sud pour accéder au site par une des routes nord, sud et ouest ou via des moyens aéroportés).

8.3.10.3 *Gestion des relèves de personnel*

Dans cette situation, aucune relève de personnel n'est nécessaire pour éviter un effet falaise car même si l'évènement redouté (l'explosion) se produit, il ne conduira pas à générer un effet falaise.

Néanmoins, pour éviter une explosion, une relève pourrait s'avérer nécessaire pour effectuer la seule action manuelle à effectuer par les équipes de relève : réapprovisionner le diesel d'ultime secours.

La gestion des relèves de personnel figurant au paragraphe 8.3.1 montre que celle-ci peut s'effectuer dans tous les cas.

8.3.10.4 *Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes*

Une personne chargée de la logistique au sein du poste de direction a également en charge le réapprovisionnement en carburant du groupe électrogène d'ultime secours.

Le réapprovisionnement en carburant peut effectuer par un des moyens d'accès décrits au paragraphe 8.3.1 (pour lesquels il existe toujours une solution nord/ouest ou sud pour accéder au site par une des routes nord, sud et ouest ou via des moyens aéroportés).

8.3.11 Explosion dans le bâtiment des cellules chaudes couplée à une perte de la détritiation (DS)

8.3.11.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, il est redouté l'explosion du four du système de récupération du tritium dans les cellules chaudes, couplé à une perte de la détritiation.

Dans ce scénario, aucun système actif n'est nécessaire, le confinement statique de l'installation étant à lui seul capable d'éviter un effet falaise.

De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.11.2 Disponibilité et acheminement des moyens mobiles

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.11.3 Gestion des relèves de personnel

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.11.4 Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise. Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.12 Explosion liée au risque de radiolyse dans la cuve de stockage des résines usées du bâtiment de traitement des déchets radioactifs couplée à une perte de ventilation**8.3.12.1 Déroulement/cinétique du scénario**

Dans ce scénario, il est redouté l'explosion d'une cuve de stockage des résines usées dans le bâtiment de traitement des déchets radioactifs, en parallèle à la perte du système de ventilation de ce bâtiment.

Dans ce scénario, aucun système actif n'est nécessaire. De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.12.2 Disponibilité et acheminement des moyens mobiles

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.12.3 Gestion des relèves de personnel

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.12.4 Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise. Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.13 Accident entraînant le transfert de produits d'activation vers le réservoir de vidange de la chambre à vide (suite à un accident de catégorie IV)

8.3.13.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, il est redouté un accident de catégorie IV (entrée d'eau dans la chambre à vide) entraînant le transfert de produits d'activation vers le réservoir de vidange de la chambre à vide. L'événement redouté est l'exposition externe de personnel.

Dans ce scénario, il serait demandé au personnel d'évacuer l'installation, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation. Même si le personnel était amené à rester, aucun système actif n'est nécessaire, la protection radiologique étant suffisante pour éviter des doses au personnel.

8.3.13.2 *Disponibilité et acheminement des moyens mobiles*

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation spécifique.

8.3.13.3 *Gestion des relèves de personnel*

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.13.4 *Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes*

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise.

Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.14 Rupture de cuve de stockage des résines usées

8.3.14.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, il est redouté la perte du confinement d'une cuve de stockage de résines usées située au sous-sol du bâtiment de traitement des déchets radioactifs et son déversement sur le sol du local. Le risque identifié serait ainsi l'atteinte hypothétique de la nappe phréatique.

Dans ce scénario, aucun système actif n'est nécessaire. De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.14.2 *Disponibilité et acheminement des moyens mobiles*

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation spécifique.

8.3.14.3 *Gestion des relèves de personnel*

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.14.4 *Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes*

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise.

Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.15 Etude d'une inondation externe liée à une pluie centennale cumulée à un séisme provoquant la rupture des capacités de liquide

8.3.15.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, il est redouté une pluie centennale du site, majorée de 20%, cumulée à un séisme entraînant la rupture de l'ensemble des ouvrages d'eau du site et à la perte des systèmes d'évacuation des eaux pluviales (par exemple en cas de bouchage).

Dans ce scénario, aucun système, ni actif, ni passif, n'est nécessaire. De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.15.2 *Disponibilité et acheminement des moyens mobiles*

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation spécifique.

8.3.15.3 *Gestion des relèves de personnel*

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.15.4 *Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes*

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise dans cette situation spécifique. Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.16 Etude d'incendies multiples dans le bâtiment tritium

8.3.16.1 *Déroulement/cinétique du scénario*

Dans ce scénario, aucun système actif n'est nécessaire. De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.16.2 *Disponibilité et acheminement des moyens mobiles*

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation spécifique.

8.3.16.3 Gestion des relèves de personnel

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.16.4 Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise. Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

8.3.17 Etude du cumul de scénarios accidentels divers dans le bâtiment tokamak**8.3.17.1 Déroulement/cinétique du scénario**

Dans ce scénario, aucun système actif n'est nécessaire. De ce fait, aucune action manuelle n'est nécessaire pour gérer cette situation.

8.3.17.2 Disponibilité et acheminement des moyens mobiles

Aucun moyen mobile, ni groupe électrogène n'est nécessaire pour gérer cette situation spécifique.

8.3.17.3 Gestion des relèves de personnel

Le personnel n'est pas nécessaire pour gérer la situation. Néanmoins, la relève du personnel sera effectuée juste pour surveiller l'installation, sa mise en état sûr, et pour surveiller l'environnement.

8.3.17.4 Approvisionnement en carburant pour les groupes électrogènes

Aucun groupe électrogène n'est nécessaire pour éviter l'effet falaise. Néanmoins, le groupe électrogène d'ultime secours sera utilisé pour des missions de surveillance de l'installation et de l'environnement.

9 CONDITIONS DE RECOURS AUX ENTREPRISES PRESTATAIRES

ITER n'étant pas encore en exploitation, la problématique du recours aux entreprises prestataires ne concerne pas les opérations d'exploitation et de maintenance.

Une des spécificités d'ITER est que la construction de l'installation est réalisée pour 90% de ces équipements et composants par des contributions en nature. Ces équipements sont fournis par les pays membres, agences domestiques (DA) tel que prévu par l'accord ITER (cf. § 2.2).

Pour les activités de conception et de construction, ITER a recours aux agences domestiques et à des fournisseurs spécialisés (ingénierie, industriels, entreprises de travaux et de montage). Les agences domestiques et les fournisseurs sont tenus d'appliquer en particulier de l'Arrêté Qualité du 10 Août 1984 en vigueur.

Les agences domestiques sous-traitent à des entreprises selon leurs règles, tout en respectant les exigences imposées par ITER comme l'application de l'Arrête du 10 août 1984 pour la chaîne des sous-traitants. Ces fournisseurs sont sélectionnés à partir de critères de compétence et d'aptitude qui exigent entre autres la maîtrise des référentiels nucléaires, en particulier de l'Arrêté Qualité du 10 Août 1984.

L'évaluation des sous-traitants est effectuée avant et après l'attribution d'un marché.

ITER fournit les données de base pour l'élaboration des accords de fourniture (PA : procurement arrangements) signés avec les agences domestiques.

Dans le cadre de ces accords de fourniture, les critères de sélection des fournisseurs sont indiqués par ITER :

- Capacités et compétences techniques et professionnelles à effectuer le travail,
- Expérience démontrée dans la fourniture de biens et services similaires,
- Capacité financière.

Ces éléments sont renseignés et justifiés par les agences domestiques dans les documents descriptifs des fournitures (procurement description).

Lorsque ces accords sont liés à des éléments importants pour la sûreté, la participation d'ITER à la sélection des sous-traitants et prestataires est requise. Un représentant d'ITER participe donc à l'évaluation technique des offres.

Avant l'attribution d'un marché, les accords de fourniture définissent clairement le processus que les agences domestiques doivent suivre dans le processus d'appel d'offres. Les points de notification spécifiques et les points d'arrêt sont définis pour assurer la participation d'ITER. L'application de l'Arrêté Qualité du 10 Août 1984 est exigée via les accords de fournitures.

Chaque agence domestique établit un plan d'assurance qualité pour les éléments et les services qu'elle doit fournir qui mentionne le processus devant être suivi par elle-même pour l'évaluation et la sélection des sous-traitants.

Après l'attribution d'un marché, chaque accord de fourniture indique qu'ITER doit désigner des inspecteurs habilités afin de réaliser les inspections relatives aux sous-traitants de l'agence domestique pour vérifier la conformité avec la réalisation d'activités liées à la qualité. Ces inspections seront réalisées conformément aux plans d'inspection et de fabrication. Les inspecteurs peuvent être des employés d'ITER ou des inspecteurs spécialisés embauchés à ces fins.

ITER a établi des procédures permettant de traiter les anomalies et les non conformités, émises par les agences domestiques ou les prestataires qui les soumettent à ITER.

Ainsi, ITER en tant qu'exploitant nucléaire assure la maîtrise de la conception et de la réalisation permettant de garantir la qualité finale de l'installation, de sa conformité aux référentiels et du respect des exigences de sûreté. ITER gère les écarts et les non-conformités, contrôle la chaîne des sous-traitants suivant un programme d'audits annuel et d'inspections, vérifie la qualité de la réception et accepte le produit s'il est conforme aux exigences techniques et de sûreté. ITER assure la bonne propagation des exigences de sûreté.

Lors des opérations d'exploitation et de maintenance, ITER pourra avoir recours à des entreprises de sous-traitance. Les conditions de recours aux entreprises prestataires à savoir les champs d'activité concernés, les modalités de choix des prestataires, les conditions d'intervention des prestataires et la surveillance des

activités sous-traitées seront décrits dans les règles générales d'exploitation. Les entreprises prestataires seront tenues d'appliquer en particulier de l'Arrêté Qualité du 10 Août 1984.

Comme indiqué dans le rapport de l'Autorité de Sûreté Nucléaire sur les évaluations complémentaires de sûreté, ITER assure la surveillance des sous-traitants exécutant des activités importantes pour la sûreté (la surveillance ne pouvant pas être déléguée) et veille à ce que les entreprises prestataires susceptibles d'intervenir dans la gestion de crise adoptent des exigences similaires à celle de l'exploitant en matière de préparation et de formation de leur personnel.

L'ensemble du dispositif de contrôle et de surveillance mis en place par ITER est régulièrement inspecté par une équipe interne dédiée.

10 SYNTHESE

10.1 BILAN DE L'ÉVALUATION COMPLÉMENTAIRE DE LA SÛRETÉ

L'évaluation complémentaire de la sûreté de l'installation ITER a permis de mettre en évidence des marges de sûreté significatives à la lumière des événements qui ont eu lieu à Fukushima, à savoir des phénomènes extrêmes (séismes, inondations, leur cumul et les effets secondaires du type perte totale électrique) mettant à l'épreuve les fonctions de sûreté et conduisant à un accident grave. Les situations avec risques effet de falaise ont été identifiées et présentées dans ce rapport. Leur analyse a conduit à l'identification des équipements essentiels, dits « noyaux durs » pour lesquels des dispositions complémentaires de résistance pourraient être proposées (cf. paragraphe 10.2).

Vis-à-vis du séisme,

Concernant les ouvrages et bâtiments, le tableau ci-après présente les marges par rapport au niveau de séisme SL-2 caractérisé par le SMS et le paléoséisme du site de Cadarache selon la RFS 2001-01.

Ouvrages ou bâtiments		Classe sismique	Exigences			observations
			Stabilité	Confinement statique Supportage équipements	Non interaction : limitation des déplacements	
12	Pré-radier du complexe Tokamak	SC1(S)	2			
12	Murs de soutènement du complexe Tokamak	SC2	2		1,5	Déplacement en tête du mur ouest
12	Plots supportant les appuis parasismiques	SC1(S)	2			
19	Appuis parasismiques	SC1(S)	2,5			
11-14-74	Complexe Tokamak : Tokamak, Tritium, Diagnostic	SC1(S)	2,5	2	1,5	Non interaction avec le hall d'assemblage
13	Hall d'assemblage	SC2	2		1,5	Non interaction avec le complexe Tokamak

21	Bâtiment des cellules chaudes	SC1(S)	3	2,5		Liner participant au confinement
23	Bâtiment de traitement des déchets radioactifs	SC1(S)	2,5	2		Liner participant au confinement
24	Bâtiment d'accès à la zone contrôlée	SC1(S)	2,5	2		
71	Bâtiment contrôle	SC1(S)	1,6			
75	Bâtiments des résistances et des réseaux de décharge	SC2	2,5		2,5	
37	Bâtiments d'installation électrique des injecteurs de neutre	SC2	3			
44-45	Bâtiments des alimentations de secours	SC2	2			
42-43	Ouvrages de stockage des carburants	SC2	2,0			
46-47	Ouvrages de distribution électrique moyenne tension	SC2	1,5			

Concernant les équipements essentiels identifiés au paragraphe 3.2, le tableau ci-après présente les marges de qualification que ITER spécifiera dans les contrats d'approvisionnement des dits équipements.

Sc.*	Bât**	Eléments essentiel	Alimentation électrique nécessaire	Classe sismique	Confinement Après séisme	Opérabilité après séisme
1	11	Igniteurs et alimentation électrique dans le bâtiment tokamak (batterie, câbles, tableaux, etc)		SC1(SF)		1,5*SL-2
1	11	Vannes d'isolement de la chambre à vide		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
1	11	Vannes d'isolation des traversées (y compris les portes) du bâtiment tokamak sur toutes les faces (NB cell et vault)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
2	11	Vanne d'isolement et obturateur rapide entre la		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2

Sc.*	Bât**	Éléments essentiel	Alimentation électrique nécessaire	Classe sismique	Confinement Apres séisme	Opérabilité après séisme
		NBI et la chambre à vide				
2	11	Vannes d'isolation des traversées (y compris les portes) du bâtiment tokamak sur toutes les faces (NB cell)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
3	11-14	Vannes d'isolement des traversées des lignes d'injection/soutirage du tritium		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
4	14	Vannes d'isolement du circuit SDS		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
4	14	Sectorisation incendie des locaux SDS du bâtiment tritium (clapets coupe-feu)		SC1(SF)		1,5*SL-2
4	14	Organes d'isolement des traversées (y compris les portes) de génie civil (du local SDS et de la dernière barrière de confinement du bâtiment tritium)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
4	14	Extinction (y compris les réserves d'eau)				1,5*SL-2
5	14	Système de brassage de l'air du local ISS et alimentation électrique dans le bâtiment tokamak (câbles, tableaux, etc)	nécessaire	SC1(SF)		1,5*SL-2
5	14	Vannes d'isolement des traversées (y compris les portes) de la dernière barrière de confinement du bâtiment tritium sur toutes les faces		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
6	21	Vannes d'isolement des traversées (y compris les portes) des zones rouges (1 ^{er} système de confinement) du bâtiment des cellules chaudes sur toutes les faces		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
6	21	Filtres THE des systèmes de ventilation du bâtiment		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2

Sc.*	Bât**	Eléments essentiel	Alimentation électrique nécessaire	Classe sismique	Confinement Apres séisme	Opérabilité après séisme
		des cellules chaudes et tronçons de gaines de ventilation (HVAC)				
7	23	Vannes d'échappement de la ventilation procédé (cuve de stockage des résines usées ou de concentrats)		SC1(SF)		1,5*SL-2
7	23	Vannes d'isolement des traversées (y compris les portes) du bâtiment de traitement des déchets radioactifs sur toutes les faces (locaux des résines usées et des concentrats)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
8	11	Vannes de drainage du VVPSS et actionnement associé déporté (manuel)		SC1(SF)		1,5*SL-2
9	23	Cuvelage de rétention sous les cuves de résines et de concentrats du bâtiment de traitement des déchets radioactifs		SC1(SF)	1,5*SL-2	
9	23	Vannes d'isolation des traversées (y compris les portes) du bâtiment de traitement des déchets radioactifs (locaux des résines usées et des concentrats)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
11	11	Ligne de décharge du VVPSS située entre la connexion au NBI et le réservoir VVPSS		SC1(SF)	1,5*SL-2	
11	11	Composants de la ligne de décharge ie disque de rupture, vannes...		SC1(SF)		1,5*SL-2 (position ouverte)
12	14	Organes d'isolement des traversées (y compris les portes) des locaux du procédé		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2
12	14	Sectorisation incendie des locaux du bâtiment tritium (clapets coupe-feu)		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2

Sc.*	Bât**	Eléments essentiel	Alimentation électrique nécessaire	Classe sismique	Confinement Apres séisme	Opérabilité après séisme
12	14	Système d'extinction incendie (y compris les réserves d'eau)	nécessaire	SC1(SF)		1,5*SL-2
1- 5- 12	x	Groupe électrogène ultime et câbles associés		SC1(SF)		1,5*SL-2
1- 5- 12	x	Batteries ultimes		SC1(SF)		1,5*SL-2
1- 5- 12	x	Stockage carburant pour groupe ultime		SC1(SF)	1,5*SL-2	1,5*SL-2

Avec :

*Sc. : référence du scénario considéré

**Bât. : Numéro du bâtiment considéré (11 : bâtiment tokamak, 14 : bâtiment tritium, 21 : bâtiment des cellules chaudes, 23 : bâtiment de traitement des déchets radioactifs)

Vis-à-vis de l'inondation externe,

Les scénarios liés à l'inondation externe, considérés dans ce rapport (remontée de nappe phréatique, pluies et orages, dégradation d'ouvrages hydrauliques en amont du site ITER, crues de la Durance, rupture des ouvrages du site et canalisations d'eau), ne menacent pas les bâtiments contenant des éléments importants pour la sûreté dont les seuils de porte se situent à une élévation minimale de 315,2 m NGF.

Ils n'ont pas d'impact sur le plan de la sûreté et ne conduisent donc pas à l'enclenchement d'action relevant de situations accidentelles. Ils ne nécessitent pas d'équipements mobiles entreposés à l'extérieur du site.

Etant donné qu'aucun effet falaise n'a été identifié, aucune disposition complémentaire par rapport à celles prises en compte dans le dimensionnement de l'installation n'est envisagée.

Vis-à-vis du séisme et de l'inondation externe,

Cette situation n'aurait ainsi aucune conséquence sur la sûreté (niveau d'eau inférieur au seuil d'entrée des bâtiments, mise en arrêt sûr de l'installation, encuvement étanche des bâtiments, faible hauteur transitoire d'eau ...) et donc n'entraînerait aucun effet-falaise.

Vis-à-vis de la perte totale des alimentations électriques et de la fonction de refroidissement

Dans le cas de l'installation expérimentale ITER, la perte des alimentations électriques externes et des alimentations internes de secours entraîne, de facto, la perte de tous les systèmes de refroidissement. Le postulat d'une brèche des circuits de refroidissement n'impacte en rien la sûreté de l'installation, la puissance étant dissipée principalement dans les différentes structures.

10.2 BILAN DES DISPOSITIONS COMPLÉMENTAIRES QUI POURRAIENT ÊTRE MISES EN PLACE AU REGARD DE L'AMÉLIORATION QU'ELLES SERAIENT SUSCEPTIBLES D'APPORTER EN TERMES DE RÉSISTANCE DES COMPOSANTS, DE RENFORCEMENT DE L'INDEPENDANCE ENTRE LES DIFFÉRENTS NIVEAUX DE DÉFENSE DE L'INSTALLATION OU DE GESTION DE L'ACCIDENT

La décision ASN n° 2011-DC-0215 du 5 mai 2011 prescrit à ITER ORGANIZATION de procéder à une évaluation complémentaire de la sûreté de l'installation nucléaire au regard de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi.

D'une manière générale, les installations nucléaires sont construites en prenant des marges importantes sur les bâtiments et les équipements par rapport à la meilleure évaluation des risques encourus ; par ailleurs, ces installations sont équipées de systèmes de sauvegarde redondants. L'ensemble de ces mesures permet de faire face à des phénomènes extérieurs inhabituels ou à des défaillances matérielles ou humaines.

L'évaluation complémentaire de la sûreté, a consisté à réévaluer ces marges à la lumière des événements qui ont eu lieu à Fukushima Daiichi, à savoir des phénomènes naturels extrêmes mettant à l'épreuve la sûreté des installations.

De manière plus détaillée, les situations examinées résultent des événements ou aléas extrêmes suivants :

- séisme au-delà du séisme « majoré », inondation au-delà de la crue majorée, autres phénomènes naturels extrêmes (dont l'inondation qui serait causée par le séisme « majoré »),
- pertes postulées des alimentations électriques internes et externes,
- la gestion des accidents dans ces situations extrêmes.

Cette évaluation a permis de confirmer:

- que le dimensionnement de l'installation ITER tel que prévu présente un ensemble de marges intrinsèques permettant d'ores et déjà de résister à des situations plus sévères que celles induites par les événements pris en compte dans le dimensionnement de l'installation,
- le non-impact sur le plan de la sûreté en cas de perte totale des systèmes de refroidissement et ce, quels que soient les événements initiateurs (séisme et inondation, perte des alimentations électriques et de la source froide),
- l'absence d'effet de falaise en cas de séisme et d'inondation,
- la mise en état sûr de l'installation avec peu de moyens actifs et complexes,
- une autonomie importante vis-à-vis des utilités extérieures (sources électriques, source froide),
- une implantation judicieuse des postes de gestion de crise tenant compte notamment des contraintes liées à l'accessibilité dans toutes les situations, du personnel intervenant.

ITER/O a prévu de mettre en œuvre les dispositions suivantes :

- le maintien dans toutes les situations d'une dernière barrière de confinement robuste, interposée entre les matières radioactives et l'environnement; le niveau d'étanchéité de cette barrière est susceptible d'être dégradé dans ces conditions extrêmes au regard des conditions initiales de dimensionnement, mais l'intégrité de la barrière sera maintenue de sorte à limiter les rejets de matières radioactives pour un séisme allant au-delà du séisme de type SL-2, avec une marge de 50%;

Par ailleurs, il est retenu une approche graduée de qualification sismique des équipements et d'appliquer une qualification des lignes cryogéniques inférieures à celle des lignes avec matières radioactives. Ainsi les circuits cryogéniques seront qualifiés à un séisme de type SL-2, avec une marge d'environ 10%.

- la protection des équipements essentiels contre toutes les agressions internes et externes extrêmes de sorte à les maintenir disponibles dans toutes les situations,
- une résistance mécanique des équipements essentiels pour un séisme allant au-delà du séisme de type SL-2, une marge de 50% est actuellement prévue à cet égard,
- une exigence de maintien de l'intégrité des équipements essentiels ayant une fonction de confinement des matières radioactives, pour un séisme allant au-delà du séisme de type SL-2, avec une marge de 50%,
- la mise en place de batteries d'ultime secours avec une autonomie de 2 heures, qualifiées pour un séisme allant au-delà du séisme SL-2, avec une marge de 50%, permettant de raccorder les équipements essentiels nécessitant une alimentation interrompue, via des câbles de secours disponibles,
- une gestion crise adaptée et tenant compte des contraintes d'accessibilité du personnel.

11 RÉFÉRENCES

[1] « Code Pour la Conception des Bâtiments ITER (I-SDCB) - Partie 1 - critères de dimensionnement »

[2] « Règles de Dimensionnement des Ouvrages Génie-Civil de l'INB ITER »

[3] IAEA-TECDOC-1333, Earthquake experience and seismic qualification by indirect methods in nuclear installations