



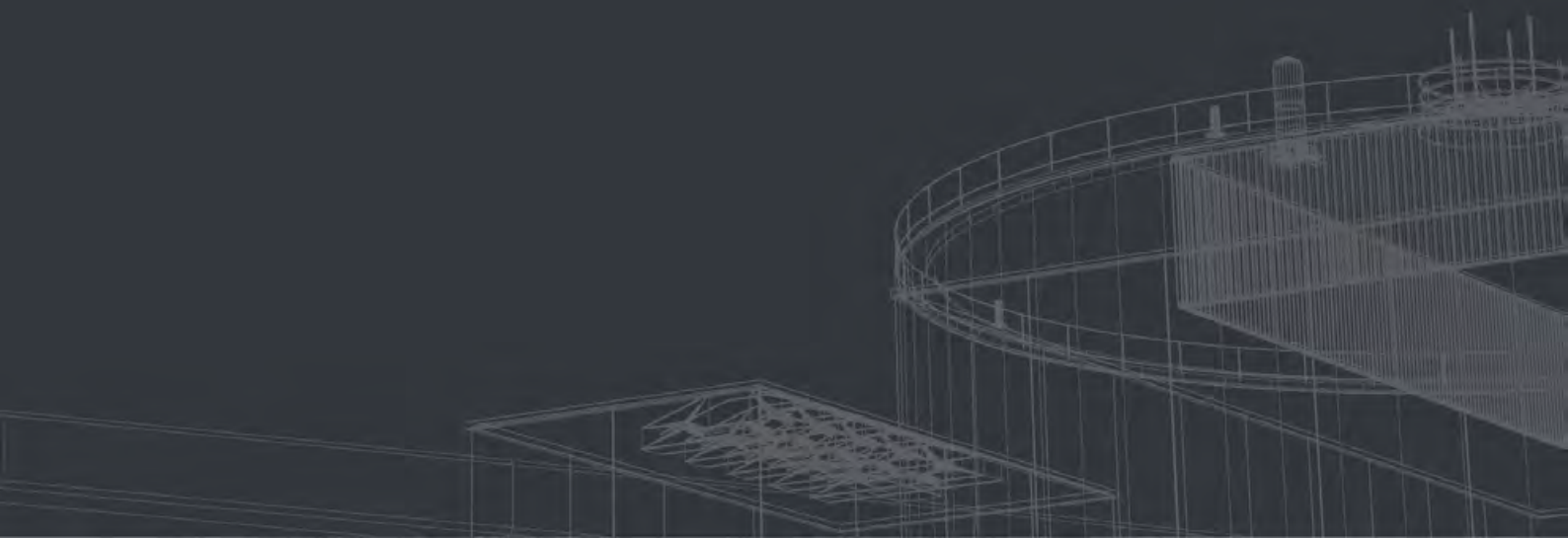
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN

Déroulement Fukushima 11032011

Chronologie des événements
à Fukushima Daiichi et Daini à la suite du
séisme Tohoku Chihou Taiheiyou Oki
du 11.03.2011



Fukushima

37° 25' 26.57" N, 141° 1' 56.87" E

11.03.2011

Introduction

Tout de suite après que les premières images en direct de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi aient été diffusés le 11 mars 2011 dans le monde entier, l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) a mis en place un groupe d'experts au niveau interne composé d'ingénieurs, de géophysiciens, de physiciens nucléaire et de psychologues.

Cette «équipe Japon» interdisciplinaire s'est vu confier la mission de collecter et d'analyser les données et les informations provenant du Japon et du monde entier sur l'accident de la centrale nucléaire japonaise pour en tirer d'éventuelles conclusions applicables à la sécurité des centrales nucléaires en Suisse.

Sur la base des premiers constats tirés des circonstances de l'accident par l'équipe Japon, l'IFSN a décidé le 1er avril 2011 que les exploitants des centrales nucléaires en Suisse avaient jusqu'à la fin du mois de juin pour apporter la démonstration de la maîtrise d'une « crue extrême très improbable ». Fin juin, la centrale nucléaire de Mühleberg a alors été déconnectée du réseau plus tôt que prévu pour pouvoir réaliser les travaux de la révision annuelle.

Les exploitants ont remis leurs rapports dans les délais fixés. Le 7 septembre 2011, l'IFSN publiera officiellement les résultats du réexamen de ces données.

L'IFSN propose maintenant, sous forme de dossier de base, un rapport en trois parties sur les événements qui se sont déroulés dans

les deux centrales nucléaires japonaises de Fukushima Daiichi (Fukushima I) et de Fukushima Daini (Fukushima II). Le présent document constitue la première partie du rapport de l'IFSN et retrace la chronologie détaillée des événements.

Le site www.ifsun.ch présente également les commentaires de Hans Wanner, directeur de l'IFSN, à ce sujet : «La gestion des connaissances est l'activité de base de l'IFSN».

Le lundi 29 août 2011, l'IFSN a publié la 2e partie de son analyse sur Fukushima : «Facteurs Organisationnel et Humain», puis une 3e partie dans la seconde moitié de septembre : «Enseignements tirés» (lessons learned).

Fukushima

37° 25' 26.57" N, 141° 1' 56.87" E
11.03.2011



Sommaire

1	Déroulement des événements à Fukushima Daiichi	6
1.1	Généralités sur les événements	6
1.2	Tranche 1	11
1.2.1	Réacteur	11
1.2.2	Piscine des assemblages combustibles usés (spent fuel pool)	19
1.3	Tranche 2	20
1.3.1	Réacteur	20
1.3.2	Piscine des assemblages combustibles usés (spent fuel pool)	24
1.4	Tranche 3	26
1.4.1	Réacteur	26
1.4.2	Piscine des assemblages combustibles usés (spent fuel pool)	29
1.5	Tranche 4	30
1.6	Tranches 5 et 6	33
1.7	Piscine commune des assemblages combustibles usés (common spent fuel pool)	34
1.8	Dépôt de stockage à sec d'assemblages combustibles (Dry Storage Cask Facility)	34
2	Déroulement des événements à Fukushima Daini	36
2.1	Généralités sur les événements	36
2.2	Tranche 1	39
2.3	Tranche 2	40
2.4	Tranche 3	41
2.5	Tranche 4	41
3	Abréviations	44
4	Bibliographie	46

Illustrations

Figure 1	Fukushima Daiichi, vues aériennes avant/après l'accident	6
Figure 2	Alerte tsunami 2011-03-11, 14 h 50	7
Figure 3	Bulletin prévisionnel de hauteur du tsunami 2011-03-11, 14 h 50	7
Figure 4	Comparaison entre les hauteurs estimées et observées 2011-03-11	7
Figure 5	Représentation schématique en coupe des altitudes, tranches 1-4	8
Figure 6	Perte de la source froide (Daiichi)	9
Figure 7	Perte de l'alimentation électrique interne des auxiliaires (Daiichi)	10
Figure 8	Vue d'ensemble du système d'éventage (venting) de la tranche 1	15
Figure 9	Vues de la tranche 1 après l'explosion d'hydrogène	16
Figure 10	Groupe électrogènes mobiles ayant servi à l'injection d'eau de mer	17
Figure 11	Système de mesure des niveaux de la cuve du REB, exemple de la tranche 1	21
Figure 12	Vue d'ensemble du système d'éventage (venting) des tranches 2 et 3	22
Figure 13	Décombres ayant chuté dans le bassin de stockage de la tranche 3	29
Figure 14	Vue des tranches 3 et 4 après les explosions d'hydrogène	30
Figure 15	Débordement de H ₂ de la tranche 3 vers la tranche 4	31
Figure 16	Bassin de stockage de la tranche 4 le 29/04/2011	32
Figure 17	Fukushima Daini, vue d'ensemble	36
Figure 18	Figure 18 : Comparaison des conditions de submersion sur les centrales de Fukushima Daiichi et Daini	37

1 Déroulement des événements à Fukushima Daiichi

1.1 Généralités sur les événements

Avant le séisme, la situation de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (composée de Réacteur à Eau Bouillante (REB)) était la suivante:

Tranche 1

REB/3, 1380 MW_{th}, Mark I,
Fournisseur: GE (1967 – 1971)

Tranche 2

Tranche 2: REB/4, 2381 MW_{th}, Mark I,
Fournisseur : GE/Toshiba (1969 – 1974)

Tranche 3

Tranche 3: REB/4, 2381 MW_{th}, Mark I,
Fournisseur: Toshiba (1970 – 1976)

en production et couplées au réseau;

Tranche 4

REB/4, 2381 MW_{th}, Mark I,
Fournisseur: Hitachi (1973 – 1978)

Tranche 5

REB/4, 2381 MW_{th}, Mark I,
Fournisseur: Toshiba (1972 – 1978)

Tranche 6

REB/5, 3293 MW_{th}, Mark II,
Fournisseur: GE/Toshiba (1973 – 1979)

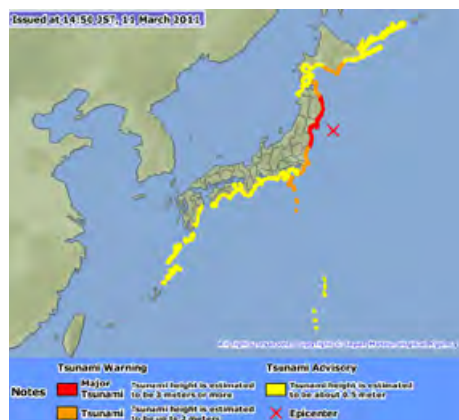
en révision ou plutôt en transformation
(tranche 4, remplacement de l'enveloppe du cœur).

TEPCO (Tokyo Electric Power Company)
est l'exploitant de ces installations.



Figure 1: Fukushima Daiichi, vues aériennes avant/après l'accident
Source: TEPCO

Le séisme Tohoku Chihou Taiheiyou Oki survenu le 11/03/2011 à 14h46 a atteint une magnitude de 9 sur l'échelle des magnitudes instantanées (MW=9.0) et a eu pour conséquence de déclencher la mise à l'arrêt automatique des réacteurs (AAR/SCRAM) des tranches 1 à 3 (voir source 1). En outre, la secousse a entraîné la perte subséquente du réseau d'alimentation électrique externe (Loss of Off-Site Power LOOP) et donc la perte de l'alimentation électrique interne des auxiliaires ; ce qui a entraîné le déclenchement de l'isolation du confinement primaire des tranches 1 à 3 et le démarrage des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel (voir source 1). Peu après le séisme, les installations se trouvaient donc en «situation d'alimentation électrogène de secours». Bien que l'amplitude du séisme ait dépassée les critères de conception des installations, celles-ci se sont jusque-là, d'après les déclarations de TEPCO (voir source 26), comportées selon les prévisions. Le 11/03/2011 à 14h49, l'agence météorologique japonaise (JMA) a émis une alerte tsunami, suivie à 14 h 50 d'une première annonce concernant l'arrivée et la hauteur de ce dernier (pour le 11 mars 2011, les prévisions pour la préfecture de Fukushima faisaient état d'un tsunami estimé à 3m environ, vers 15h10 voir Source 27). Des messages postérieurs de la JMA ont corrigé à la hausse la hauteur attendue du tsunami (voir figure 4).



Tsunami Forecast Region	Estimated Tsunami Arrival Time	Estimated Tsunami Height
IWATE PREF.	(*1)	3 m
MIYAGI PREF.	15:00 JST 11 Mar	6 m
FUKUSHIMA PREF.	15:10 JST 11 Mar	3 m
CENTRAL PART OF PACIFIC COAST OF HOKKAIDO	15:30 JST 11 Mar	1 m
PACIFIC COAST OF AOMORI PREF.	15:30 JST 11 Mar	1 m
IBARAKI PREF.	15:30 JST 11 Mar	2 m
KUJUKURI AND SOTOBO AREA, CHIBA PREF.	15:20 JST 11 Mar	2 m
IZU ISLANDS	15:20 JST 11 Mar	1 m
EASTERN PART OF PACIFIC COAST OF HOKKAIDO	15:30 JST 11 Mar	0.5 m
WESTERN PART OF PACIFIC COAST OF HOKKAIDO	15:40 JST 11 Mar	0.5 m

Figure 3: bulletin prévisionnel de hauteur du tsunami 201/03/11, 14h50
Source: 43

Tsunami Forecast Region	Estimated Tsunami Arrival Time and Height						Observed Tsunami Arrival Time and Height of Initial and Maximum Tsunami			
	Issued at 14:49* JST 11 Mar (3 minutes after the earthquake)		Updated at 15:14 JST 11 Mar (28 minutes after the earthquake)		Updated at 15:30* JST 11 Mar (44 minutes after the earthquake)		Initial Tsunami		Maximum Height Tsunami	
	Estimated Tsunami Arrival Time	Estimated Tsunami Height	Estimated Tsunami Arrival Time	Estimated Tsunami Height	Estimated Tsunami Arrival Time	Estimated Tsunami Height	Observed Time	Observed Tsunami Height	Observed Time	Observed Tsunami Height
PACIFIC COAST OF AOMORI PREF.	15 : 30	1m	Arrival of tsunami confirmed	3m	Arrival of tsunami confirmed	8m	Hachinohe 15 : 22	(-) 0.8m	Hachinohe 16 : 57	4.2m or higher
IWATE PREF.	Arrival of tsunami inferred	3m	Arrival of tsunami confirmed	6m	Arrival of tsunami confirmed	10m or higher	Kamaishi 14 : 45 Miyako 14 : 48 Ofunato 14 : 46	(-) 0.1m (+) 0.2m (-) 0.2m	Kamaishi 15 : 21 Miyako 15 : 26 Ofunato 15 : 18	4.1m or higher 8.5m or higher 8.0m or higher
MIYAGI PREF.	15 : 00	6m	Arrival of tsunami confirmed	10m or higher	Arrival of tsunami confirmed	10m or higher	Ayukawa 14 : 46	(+) 0.1m	Ayukawa 15 : 26	8.6m or higher
FUKUSHIMA PREF.	15 : 10	3m	Arrival of tsunami confirmed	6m	Arrival of tsunami confirmed	10m or higher	Soma 14 : 55	(+) 0.3m	Soma 15 : 51	9.3m or higher
IBARAKI PREF.	15 : 30	2m	15 : 30	4m	Arrival of tsunami inferred	10m or higher	Oarai 15 : 15	(+) 1.8m	Oarai 16 : 52	4.2m
KUJUKURI AND SOTOBO AREA, CHIBA PREF.	15 : 20	2m	15 : 20	3m	Arrival of tsunami confirmed	10m or higher	Choshi 15 : 13	(+) 0.5m	Choshi 17 : 22	2.4m

Figure 4: comparaison entre les hauteurs estimées et observées 2011/03/11 Source: 43

Le **11/03/2011 à 15h27**, la première vague atteignait le site de la centrale nucléaire. A 15h35, certaines parties des installations étaient submergées par une deuxième vague (voir source 44). Ceci a entraîné la destruction de l'infrastructure et des équipements ainsi que la perte de la source froide ultime (voir source 1) et donc la perte générale de l'alimentation en réfrigérant secondaire (Common Cause Failure CCF - Critère de Défaillance Unique CDU) ainsi que la destruction des stations de pompage d'eau de refroidissement. De plus, la submersion a directement entraîné la perte systématique (CCF) des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel et donc la défaillance totale d'éléments électriques importants pour la sûreté. Les groupes électrogènes de secours à moteur Diesel des tranches 1 à 5 étaient tous disposés au niveau le plus bas de la salle des machines. La défaillance des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel refroidis à l'eau aurait également indirectement suivi la perte des capacités de refroidissement (alimentation en eau de refroidissement des auxiliaires). La coupure de l'alimentation électrique du réseau externe et la perte des

groupes électrogènes de secours à moteur Diesel a engendré la perte totale de l'alimentation en courant alternatif (Loss of AC-Power) et donc un black-out total de la centrale (SBO).

Le **11/03/2011 à 15h42** l'état d'urgence était déclaré à Fukushima Daiichi (voir source 44).

Des vues aériennes du site prises le **11/03/2011 vers 15h57** montrent que l'eau s'était déjà en grande partie retirée des installations (voir source 31). La durée totale de submersion était donc de 22 minutes environ.

Le mur de protection contre les tsunamis de Fukushima Daiichi avait subi en 2002 une élévation de 3,1 m par rapport à la hauteur de conception initiale (tsunami de référence : Chili 1960, magnitude 9,4, hauteur au Japon 3,2 m) pour l'adapter à une hauteur maximale de vague de 5,7 m. En tenant compte de l'altitude de fondations de 10 m, la hauteur de sécurité était donc de 4,3 m.

Après exploitation des analyses effectuées sur place, TEPCO a annoncé que l'accident avait endommagé les cuves des réacteurs

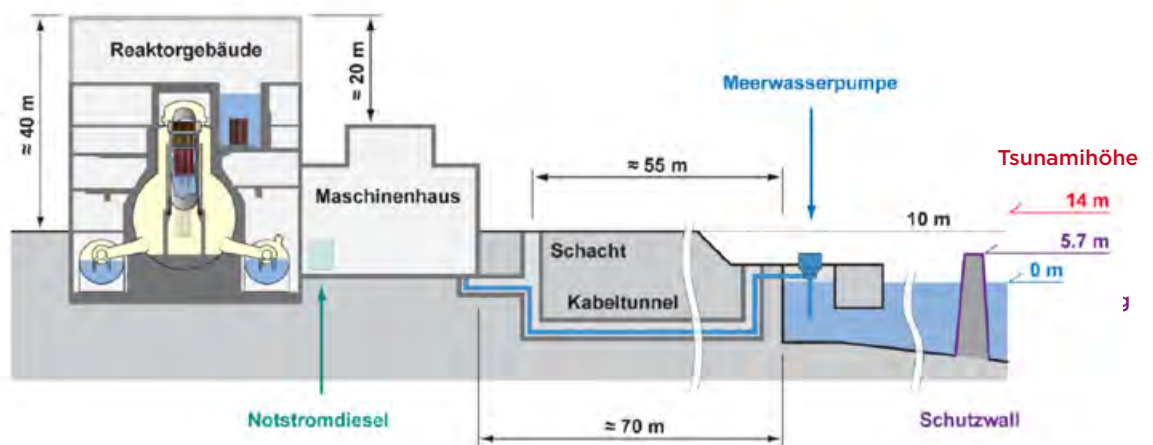


Figure 5:
représentation schématique en coupe des altitudes, tranches 1-4
Source: VGB

ainsi que le confinement primaire des tranches 1 à 3 (voir source 33 ainsi que source 42). La température régnant dans la cuve de la tranche 1 était encore de 400°C environ le 23/03/2011 (voir source 33).

Remarque 1

Un réseau d'alimentation électrique diversifié (réseau externe, réseau de secours extérieur, etc.), utilisant d'autres tracés de lignes électriques aurait probablement pu contribuer à limiter l'ampleur des conséquences de l'accident.

Remarque 2

Une alimentation en eau diversifiée (nappe phréatique, bassin de rétention, etc.) aurait probablement pu contribuer à limiter l'ampleur des conséquences de l'accident.

Remarque 3

Une séparation spatiale sûre à l'intérieur des stations de pompage d'eau de mer aurait probablement pu assurer une meilleure protection des systèmes auxiliaires de refroidissement par eau des installations nucléaires.

Remarque 4

Une meilleure protection contre l'inondation des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel (disposés plus en hauteur dans des bâtiments bétonnés et étanches) aurait probablement pu contribuer à limiter l'ampleur des conséquences de l'accident.

Remarque 5

Les revues exécutées dans le cadre des missions d'équipe d'examen de la sécurité en exploitation (OSART) et de l'association mondiale des exploitants de centrales nucléaires (WANO) auraient également dû identifier les points faibles de l'installation. Ces revues ne font pas état du dimensionnement des installations. Il est toutefois possible de s'interroger indirectement sur la conception et le rééquipement de l'installation à l'aune d'importants enseignements tirés de

l'exploitation chez les entreprises membres dans le cadre des «Operating Experience» (OE) par ex. lors de missions OSART par le biais des rapports IRS (par ex. 7342 ou 7788) ou encore lors de missions WANO par le biais des Significant Operating Experience Reports (SOER). Les entreprises membres de la WANO se sont engagées à la vérification particulière des recommandations de la WANO SOER et à faire vérifier l'application des mesures qui en découlent lors de revues de pairs (Peer Reviews). Il s'agit là de la responsabilité propre des exploitants et il n'existe pas d'obligation de transparence vis-à-vis de l'extérieur. Les choses sont un peu différentes pour les équipes d'examen de la sécurité en exploitation (OSART), bien que le manque d'obligation d'application des pays vis-à-vis de l'AIEA soit à souligner. Dans le cadre des examens périodiques de sécurité, l'état des installations devrait être contrôlé tous les 10 ans. Mais là encore, les procédures et les références mondiales sont différentes. Toutefois, l'association de ces trois instruments pourrait, dans le cadre d'un processus continu obligatoire, augmenter mondialement le niveau de sécurité des installations nucléaires.



Figure 6: représentation schématique en coupe des altitudes, tranches 1-4. Source: Uni Japan

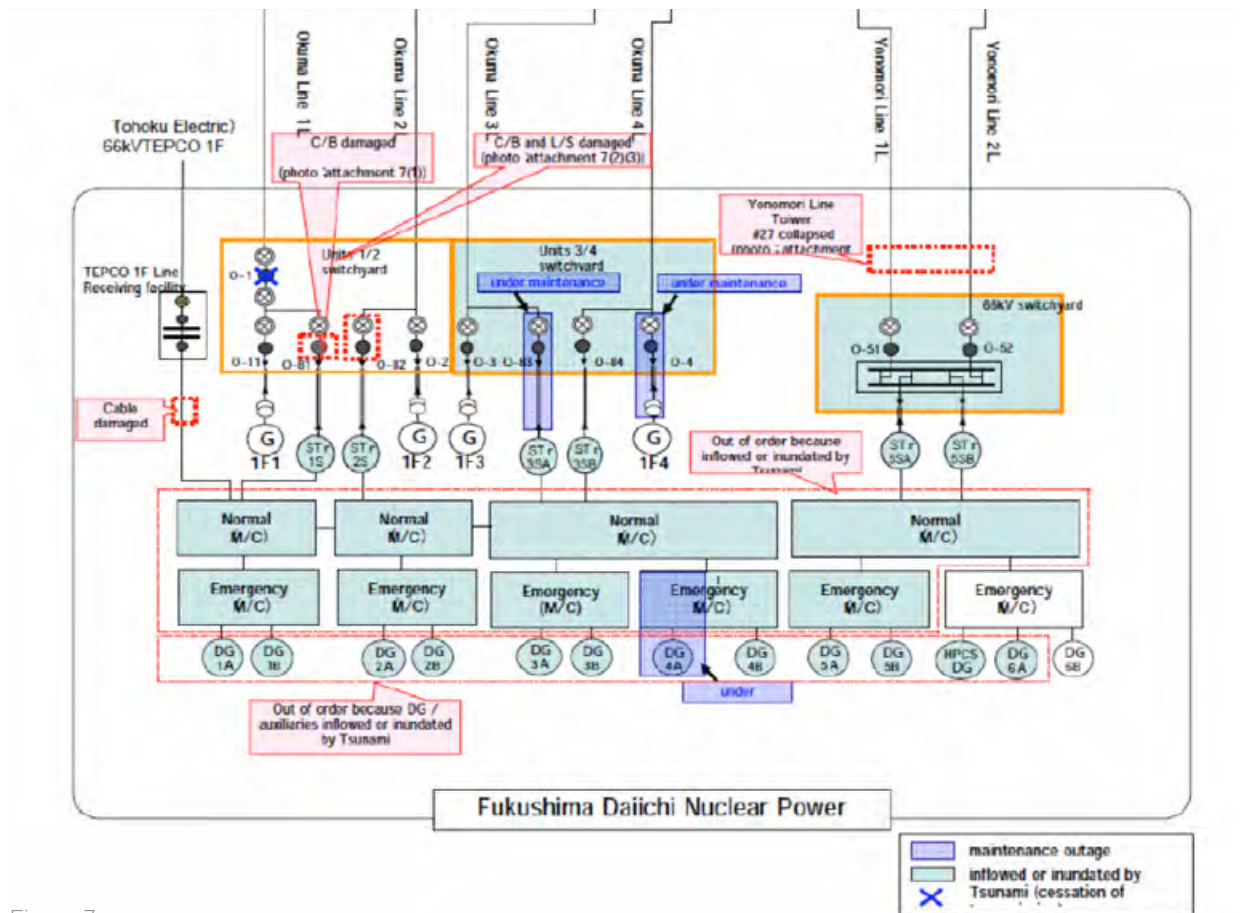


Figure 7:
perte de l'alimentation électrique interne des auxiliaires (Daiichi).
Source: TEPCO

1.2 Tranche 1

1.2.1 Réacteur

Après l'arrêt automatique du réacteur (SCRAM) et le déclenchement de l'alimentation électrique de secours (à 14 h 47 – voir source 44) en conséquence de la perte de l'alimentation électrique externe (Loss of Off-Site Power LOOP), l'évacuation de la chaleur résiduelle a d'abord été assurée comme prévu, sur la tranche 1, par le condenseur d'isolement (IC) (voir source 2) dont la mise en circuit automatique a eu lieu à 14 h 52 (voir source 44). La réalimentation en eau de refroidissement par la pompe d'alimentation pour l'injection de caloporteur à haute pression (HPCI) était disponible pour refaire l'appoint de caloporteur en cas de baisse du niveau de remplissage de la cuve du réacteur (voir source 44). Compte tenu de la forte variation de température accompagnée d'une chute de pression de 70 à 45 bars environ, le condenseur d'isolement a été arrêté manuellement environ 10 minutes après le début des événements (15 h 03 - voir source 44), afin de respecter le gradient maximal de $\Delta T \leq 55$ K/h imposé par les prescriptions d'exploitation (voir source 26). Un des circuits de l'IC (circuit A) a été utilisé pour assurer la régulation de la pression dans la cuve du réacteur (voir source 44). D'après TEPCO (voir source 26), un accident de perte de réfrigérant (LOCA) ne serait pas la conséquence directe du séisme.

La mise hors fonction du condenseur d'isolement a entraîné une montée en pression dans la cuve et le déclenchement du dispositif de décompression entre 60 et 70 bars environ, tandis que la cuve du réacteur était maintenue en circuit sous haute pression (arrêt à chaud) (voir source 44). Dans la plage des hautes pressions, l'injection nécessaire de caloporteur aurait été assurée par le système HPCI. Mais le niveau de remplissage du réacteur n'a toutefois pas atteint le seuil de déclenchement automatique (niveau très bas, LL : 148 cm au dessous du bord inférieur du séparateur de vapeur) (voir source 43).

Le 11/03/2011 à 15 h 35, la deuxième vague du tsunami a entraîné la destruction de la station de pompage d'eau de mer, entraînant ainsi la perte, par effet mécanique, de la source froide d'ultime secours. De plus, la défaillance des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel (noyés) a entraîné la perte des circuits nécessaires à l'échange thermique de la chaleur résiduelle vers la source froide d'ultime secours (refroidissement par de l'eau de mer) puis à 15 h 37 le SBO (voir source 43). Il ne restait donc plus que le torus pour absorber la chaleur résiduelle (le condenseur d'isolement ayant été mis hors fonction manuellement avant la submersion des installations).

En raison de la défaillance simultanée des alimentations électriques de secours des tranches 1 et 2 (moteur diesel et couplages transversaux), il n'a pas été possible de secourir la tranche 1 à partir de la tranche 2 (voir chapitre IV-39 source 43).

Compte tenu de l'indisponibilité des affichages en salle de commande, TEPCO a considéré que le système HPCI n'était plus en mesure d'assurer sa fonction. De même, les affichages concernant la position des valves de l'IC n'étaient plus disponibles non plus (voir source 44).

Suite à la persistance de l'émission d'énergie thermique résiduelle, au manque d'évacuation de la chaleur résiduelle par l'IC et à la défaillance de la réalimentation en caloporteur le niveau d'eau n'a cessé de baisser dans la cuve du réacteur avec pour conséquence le dénoyage des assemblages combustibles. La limitation de la pression s'est vraisemblablement effectuée par ouverture des valves dans la chambre de condensation (torus), mais à l'heure actuelle, aucune information précise n'est disponible à ce sujet. Ces circonstances ainsi que la puissance résiduelle restant à évacuer ont entraîné une

augmentation de température dans le torus, et donc de la pression régnant dans ce dernier, puis dans le drywell lorsque la température d'ébullition a été atteinte dans le torus. Les informations disponibles ne permettent pas de déterminer si une décompression automatique de la cuve du réacteur s'est produite en raison du faible niveau de remplissage. La perte du réseau en courant continu alimenté par accumulateurs a pu entraîner un incident de fonctionnement technique du contrôle-commande (défaillance notamment de l'enregistrement graphique des données de surveillance du cœur).

Remarque 6

La pertinence des actions effectuées dans les 30 premières minutes doit encore être déterminée. L'intervention manuelle de «mise hors fonction du condenseur d'isolement» a interrompu le processus de décompression de la cuve du réacteur et l'installation est ainsi revenue en mode «haute pression». L'objectif premier dans une situation d'urgence est d'amener l'installation dans un état à pression atmosphérique, immergé, et donc capable d'assurer un refroidissement résiduel. Compte tenu de l'alerte d'une hauteur de tsunami attendue de 3 m (bien que la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi se situe à la limite de la région de Miyagi pour laquelle une alerte de hauteur de 6 m a été émise (voir source 27), il n'y avait pas lieu de procéder rapidement à la décompression de la cuve du réacteur ainsi qu'à son noyage. Une telle opération aurait néanmoins contribué à coup sûr à une évolution beaucoup moins grave de la situation. Les messages d'alerte tsunami de la JMA ont été actualisés à 15 h 14 puis à 15 h 30 (voir source 6).

Le raccordement du groupe électrogène mobile (power supply vehicle GEM/PSV) pour soutenir l'action des accumulateurs n'a pas pu être réalisé immédiatement ; ou plus exactement, la mise en place de ce véhicule semble avoir été retardée par la présence de débris dus au séisme (voir source 6).

Remarque 7

L'application des mesures d'urgence n'a donc pas pu s'effectuer immédiatement. Les GEM nécessaires étaient disponibles et prêts à fonctionner. Une des raisons de leur non-utilisation immédiate doit être recherchée dans la destruction partielle des postes électriques. On peut également supposer un entraînement insuffisant aux mesures d'urgence, puisque TEPCO venait d'ordonner, peu avant l'accident, un entraînement dans ce domaine pour toutes ses centrales nucléaires (par ex. Daini, voir source 41).

Le 11/03/2011 à 15 h 50, l'alimentation électrique de l'instrumentation a été perdue dans son intégralité (voir source 44).

Le 11/03/2011 à 16 h 36, pendant 10 minutes, la surveillance du niveau de remplissage de la cuve du réacteur a été perdue (voir source 28). A 17 h 07, cette même surveillance du niveau de remplissage de la cuve du réacteur a subi une panne totale définitive (voir source 44).

Remarque 8

La raison de la panne totale du système de mesure du niveau de remplissage de la cuve du réacteur peut être liée aux difficultés d'alimentation électrique. Avec une surveillance de niveau à nouveau en état de fonctionnement, le faible niveau de remplissage de la cuve aurait dû être détecté. Il n'est pas possible de savoir si une décompression manuelle rapide de la cuve du réacteur a été effectuée. Comme à ce moment là le niveau de remplissage de la cuve du réacteur devait déjà être très insuffisant, le manuel d'exploitation comportait très certainement des prescriptions quant à l'exécution d'une manœuvre de décompression. Si les possibilités de commande électrique des soupapes de sécurité (Safety Relief Valves SRV) n'étaient plus disponibles, des procédures de secours ad hoc auraient dû être prévues. L'application de la mesure «alimentation en eau externe» rend une telle capacité de décompression nécessaire.

Le 11/03/2011 à 17 h 12 l'équipe de crise conseille la mise en place d'une injection alternative d'eau par les canalisations du système de lutte contre l'incendie dans le système d'arrosage à eau diffusée du cœur du réacteur. Une pompe à incendie entraînée par moteur diesel est prête à fonctionner à 17 h 30, mais les vannes d'alimentation du système d'arrosage à eau diffusée doivent être ouvertes à la main. Cette injection d'eau aurait été possible avec une pression à l'intérieur de la cuve du réacteur ramenée à environ 6,9 bars (voir source 44).

Le 11/03/2011 à 20 h 07, la pression relevée sur place dans la cuve du réacteur est de 69 bars (voir source 44).

Le 11/03/2011 à 20 h 49 l'éclairage a été temporairement rétabli dans la salle de commande principale (voir source 44).

Le 11/03/2011 à 21 h 00, d'autres pompes à incendie étaient prêtes à injecter de l'eau dans la cuve du réacteur (voir source 6).

Le 11/03/2011 à 21 h 19, l'alimentation en courant continu du dispositif de mesure du niveau d'eau dans la cuve du réacteur a été rétablie un bref instant ; à ce moment-là la jauge indiquait +200 mm au-dessus du haut râtelier du combustible (Top of Active Fuel (TAF)) (voir source 44).

Le 11/03/2011 à 21 h 30, un circuit de l'IC (circuit A) a à nouveau été ouvert (voir source 44). L'efficacité et les effets de cette mesure restent peu clairs. D'après le JAIF - Earthquake Report du 18/08/2011, l'IC aurait été refermé manuellement environ 5 heures après le début des événements, sans que le chef de l'équipe d'exploitation en soit informé (voir source 48).

Le 11/03/2011 à 21 h 40, TEPCO a estimé que le niveau de l'eau allait s'abaisser jusqu'au haut râtelier du combustible et qu'il était possible de s'attendre à des premiers dommages au cœur vers 22 h 20 (voir source 6).

Compte tenu de cette supposition affectant la tranche 1, le gouvernement a décidé le 11/03/2011 à 20 h 50 l'évacuation d'une zone de 2 km autour de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (voir source 3). Selon des estimations plus récentes (voir source 33), il se pourrait que le niveau de l'eau se soit abaissé au niveau du haut râtelier du combustible déjà 3 heures après l'arrêt automatique, soit vers 17 h 50, et que le cœur se soit retrouvé totalement découvert sur toute sa hauteur environ 4,5 heures après le SCRAM (soit vers 19 h 20 environ).

Face à l'aggravation de la situation sur la tranche 1, le gouvernement a décidé le 11/03/2011 à 21 h 23 l'évacuation d'une zone de 3 km de rayon autour de la centrale et a donné l'ordre aux habitants de ne pas quitter leur maison dans un rayon de 10 km autour de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (voir source 3).

Remarque 9

Des interrogations subsistent encore sur la raison pour laquelle il n'a pas été possible d'injecter de l'eau pour compenser le manque de caloporteur dans la cuve du réacteur. A cet instant (soit 5 h environ après la submersion des installations), tous les systèmes nécessaires à l'alimentation en eau étaient hors service. De plus, il était impossible d'estimer quand pourrait avoir lieu le rétablissement rapide de l'alimentation en énergie électrique et de l'alimentation en eau de refroidissement (groupes électrogènes de secours à moteur Diesel noyés, destruction de la station de pompage d'eau de mer). Enfin, la compétence de l'exécution de ces mesures, contrairement à l'éventage de l'enceinte de confinement primaire (containment venting), relevait probablement de l'exploitant.

Le 11/03/2011 à 21 h 51, en raison d'un débit de dose local trop élevé, l'accès au bâtiment réacteur a été interdit. A 23 h 00, un débit de dose local de 1,2 mSv/h (voir source 44) a été mesuré dans le bâtiment de la halle des machines, au niveau du sas d'accès au bâtiment réacteur (sas nord, 1^{er} étage).

Le 11/03/2011, vers minuit, voire tôt le matin du 12/03/2011 plusieurs véhicules munis de groupes électrogènes sont arrivés en provenance d'autres sites (voir source 44). Cette arrivée de plusieurs GEM capables d'assurer une production de secours en Haute et basse tension a été retardée par les difficultés de circulation et les destructions subies par les infrastructures routières. Toute tentative d'assurer le transport de ces équipements par des hélicoptères des forces armées a échoué en raison du poids considérable de ces groupes (voir source 44).

Le 12/03/2011 à 00 h 49, la pression régnant dans le confinement primaire a commencé à augmenter (selon la source 44), la pression relevée dans le drywell atteignait déjà plus de 6 bars_{abs} le 11/03/2011 à 23 h 50. A ce même instant, la puissance résiduelle correspondait encore à 0,8% de la puissance thermique nominale de 1380 MW. Il n'a plus été ajouté de caloporteur dans la cuve du réacteur. Cette puissance résiduelle a probablement été directement évacuée sous la forme d'une surpression dans la chambre de condensation (torus) par les valves de décompression. Compte tenu de la perte définitive de la possibilité d'évacuer la chaleur du torus vers la source froide d'ultime secours qu'est la mer, la pression régnant dans le confinement primaire (drywell) a progressivement augmenté. Simultanément, l'absence d'injection de caloporteur dans la cuve du réacteur n'a fait qu'accentuer l'abaissement progressif du niveau d'eau dans ladite cuve.

L'oxydation des gaines en zirconium des crayons des assemblages combustibles en atmosphère de vapeur surchauffée entraîne la

formation d'hydrogène
($Zr + 2 H_2O \rightarrow ZrO_2 + H_2$).

Lors de l'équilibrage de pression du torus vers le drywell, cet hydrogène s'est accumulé en partie haute, sous le couvercle du drywell. En raison de fuite; probablement favorisées par la pression élevée régnant dans le drywell, l'hydrogène (H_2) s'est accumulé dans le bâtiment réacteur (voir aussi source 43). La pression dans le drywell a augmenté au-delà de sa pression de dimensionnement de 50-60 PSIG (soit env. 3,45 - 4,14 bars, voir source 34).

Il est donc à supposer qu'une rupture du couvercle ou du joint de couvercle du drywell s'est produite, mais les investigations actuelles ne permettent pas encore de le déterminer avec certitude. Le 12/03/2011 à 01 h 48, une panne de la pompe incendie entraînée par moteur Diesel (alors en veille) s'est produite; une tentative de redémarrage après avoir effectué l'appoint et remplacé l'accumulateur de démarreur s'est soldée par un échec. Il a donc fallu préparer le raccordement de GEM aux canalisations de lutte contre l'incendie. Compte tenu de la destruction d'un véhicule par le tsunami et l'impraticabilité des voies d'accès aux tranches 5 et 6, un seul de ces GEM était disponible au début des opérations (voir source 44).

La très haute pression régnant dans le confinement primaire, qui avait atteint le double de la valeur de conception, imposait d'urgence une décompression de l'enceinte (venting/éventage). Une telle opération était en effet devenue indispensable pour éviter toute défaillance incontrôlée du confinement primaire sous l'action de cette surpression.

Le 12/03/2011 à 01 h 30, il a donc été demandé au Premier ministre, à l'Agence de Sécurité Industrielle et Nucléaire (NISA) et au Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI) l'autorisation d'exécuter l'éventage (venting). L'autorisation du METI et de la cellule de crise (headquarters task force) n'est donnée qu'à 03 h 00 sous réserve de l'achèvement de

l'évacuation de la population ordonnée précédemment (voir source 44).

A **03 h 06**, TEPCO annonce dans le cadre d'une conférence de presse, la préparation d'une décompression filtrée de l'enceinte (voir source 3). Le **12/03/2011 vers 03 h 00** la pression régnant dans le confinement primaire était déjà, selon les diagrammes de la NISA et du JAIF, bien supérieure à la pression de dimensionnement avec des valeurs comprises entre 6 et 8,4 bars (la source 44 confirme l'existence d'une pression de 8,4 bars dans le drywell à **02 h 30**).

Le **12/03/2011 à 05 h 00**, tout le personnel en salle de commande a ordre de porter des masques respiratoires à cartouche filtrante au charbon actif. Compte tenu de l'augmentation du débit de dose local dans la salle de commande de la tranche 1, toute l'équipe de quart est évacuée vers la tranche 2 (voir source 44).

Le **12/03/2011 à 05 h 44**, le gouvernement ordonne l'évacuation de la population dans une zone d'un rayon de 10 km autour de la centrale nucléaire (voir source 3).

Le **12/03/2011 à 08 h 30**, le directeur de la centrale annonce le début de l'opération d'éventage pour **09 h 00**.

Le **12/03/2011 à 09 h 04**, deux opérateurs sont envoyés sur place pour ouvrir manuellement, de 25%, la valve principale en amont du disque de rupture (MO) ; opération qui s'est achevée à **09 h 15**. A **09 h 24** un deuxième groupe est envoyé sur place pour ouvrir la «petite» valve de décompression du torus (AO90). Mais compte tenu de l'important débit de dose local (DDL) mesuré, l'opération est interrompue vers **09 h 30**. Dans le cadre de ces travaux préparatoires à l'éventage, un travailleur a accumulé une dose équivalente supérieure à 100 mSv (voir source 3). En raison du DDL très élevé, l'ouverture manuelle sur place est donc interrompue et l'on tente alors d'ouvrir ces valves avec de l'air comprimé depuis la salle de commande. Entre **10 h 17 et 11 h 15**, il a ainsi été tenté d'ouvrir la valve AO90 (voir source 44). Après cela, il a été décidé le **12/03/2011**

à **14 h 00** de brancher un compresseur pour l'ouverture pneumatique de la «grande» valve AO72 de décompression du torus (voir source 44).

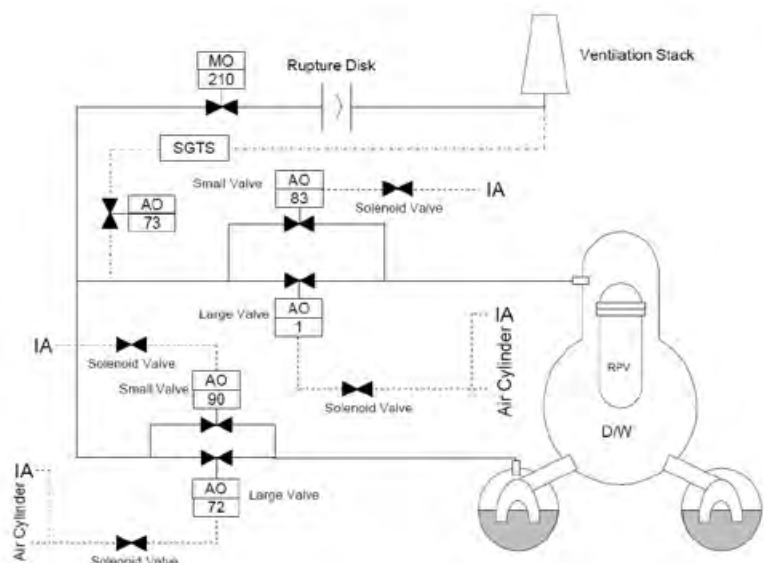


Figure 8: vue d'ensemble du système d'éventage (venting) de la tranche 1. Voir source 43: Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations -

Selon la source 4, cette décompression a réussi le **12/03/2011 à 14 h 30**, avec une chute de la pression régnant dans le drywell de 7,5 bars à 5,8 bars, d'après la source 44.

La période relativement longue qui s'est écoulée entre le début des préparatifs et le début de l'éventage s'explique à la fois par des raisons techniques (préparation, approvisionnement du matériel, entraînement) et par des raisons administratives (évacuation, communication, autorisation).

Remarque 10

Sur les installations de GE, l'éventage est conçu sous la forme d'un système «actif». L'ouverture des valves nécessite un système auxiliaire. Cet-

te énergie n'était plus disponible après la submersion des installations. L'accès pour l'ouverture manuelle des valves a été rendu difficile par les débits de dose locaux très élevés (ce qui vaut également en cas de fuite de caloporteur dans le drywell). Il est probable que le personnel sur place ne disposait d'aucun moyen de réduction de l'exposition radiologique pour faciliter la manœuvre manuelle des valves de décompression.

Selon des informations communiquées par TEPCO (voir source 44), le **12/03/2011 à 14 h 53**, environ 80 000 L d'eau douce avaient déjà pu être injectés dans le réacteur par une pompe haute pression branchée aux canalisations d'incendie. Mais ce volume était loin de couvrir les besoins en eau nécessaires à l'évacuation de la chaleur résiduelle.

Le **12/03/2011 vers 15 h 30**, l'alimentation électrique du système d'injection de bore de secours, un système à haute pression, a pu être assurée par raccordement d'un GEM au poste électrique principal de la tranche 2. A **15 h 36**, les préparatifs pour une injection d'eau à partir du système d'injection de bore de secours étaient achevées (voir source 44).

Le **12/03/2011 à 15 h 36**, une explosion d'hydrogène dans la partie supérieure du bâtiment réacteur s'est produite, endommageant la structure du bâtiment. La cause de l'allumage de l'hydrogène accumulé dans le bâtiment du réacteur reste inconnue. Il est supposé qu'une réplique sismique (voir source 5) a provoqué une décharge disruptive qui a entraîné l'allumage de l'hydrogène. Le rétablissement de l'alimentation électrique du système d'injection de bore de secours a également pu (court-circuit, surtension) être la cause de l'allumage du mélange explosif.

La détection de césium radioactif sur le site de la centrale nucléaire après l'éventage de l'enceinte de confinement secondaire (**12/03/2011 à 14 h 49**, voir source 1), ainsi que l'augmentation du débit de dose ap-



Figure 9:
vues de la tranche 1 après l'explosion d'hydrogène
Source: TEPCO

rès l'explosion, constituent des preuves de l'endommagement d'assemblages combustibles ou d'une fusion du cœur. TEPCO part du principe que pratiquement tous les assemblages combustibles avaient déjà été touchés par la fusion du cœur dès 06 h 50 environ, le **12/03/2011** (voir source 10). Selon des estimations plus récentes (voir source 33), tous les assemblages combustibles semblent avoir fondu **16 h** après le SCRAM, avec accumulation du corium dans la partie basse de la cuve du réacteur.

Le **12/03/2011 à 18 h 25**, à la suite de l'explosion d'hydrogène et de l'augmentation du débit de dose local sur le site de la centrale nucléaire, l'évacuation de la population dans une zone d'un rayon de 20 km autour de la centrale ainsi que le calfeutrement à domicile dans une zone d'un rayon de 30 km (voir source 1) ont été décidés. D'après la source 1, le gouvernement conseillait à la population, le **25/03/2011**, d'évacuer sur la base du volontariat une zone de 30 km autour de la centrale.

Le **12/03/2011 à 19 h 04**, de l'eau de mer a commencé à être injectée à l'aide de trois GEM raccordés en série.

L'injection d'eau de mer borée dans la cuve du réacteur à partir des canalisations d'incendie a commencé le **12/03/2011 à 20 h 45** (voir source 3). Il n'est pas possible à l'heure actuelle d'expliquer le long délai qui s'est écoulé entre l'achèvement des préparatifs d'injection de bore et le début de l'injection en elle-même. Il est supposé que ce délai tient à des sujétions d'ordre administratif et que ce n'est qu'après promulgation d'une directive par des représentants du gouvernement le **12/03/2011 à 19 h 55** (voir source 3) et autorisation de l'opération par la NISA le **12/03/2011 à 20 h 05** que l'injection d'eau borée a pu commencer. Sur la base d'informations communiquées par la source 43 et la source 44, l'injection d'eau de mer avait également commencé avant même d'avoir été ordonnée par les autorités. D'après la source 43, ces retards seraient dus à des déficits de communication. Il n'est actuellement pas connu si l'injection d'eau de mer était prévue dans les directives de gestion d'accident grave (Severe Accident Management Guidelines SAMG).

Remarque 11

Les délais importants qui se sont écoulés avant l'injection d'eau de mer et les retards qui ont affecté l'opération d'éventage (venting) ne s'expliquent toujours pas clairement. Si cela tient à des circuits décisionnels démesurément étendus, il convient de vérifier la chaîne de décision prévue en cas d'accidents graves. A partir de quel moment les opérateurs présents sur place peuvent-ils prendre des initiatives ? Pourquoi est-il nécessaire d'obtenir l'aval d'autres décideurs ? Comment s'assurer, ce faisant, que les décisions soient prises au moment opportun ?



Figure 10:
groupes Electrogènes Mobiles ayant servi à
l'injection d'eau de mer
Source: 44

Le **20/03/2011**, l'alimentation électrique externe de la tranche 1 a pu être rétablie à partir de la tranche 2 (voir source 40). L'éclairage a été rétabli de manière permanente dans la salle de commande le **24/03/2011 à 11 h 30** (voir source 12).

D'un point de vue de la défense en profondeur pour la tranche 1, il convient de citer les éléments suivants :

- Il convient de se poser la question de la nécessité d'interventions manuelles dans des systèmes de sécurité 10 minutes déjà après le début des événements. Il est appliqué au niveau international le critère des 30 minutes (pas d'intervention de la part d'opérateur avant 30 minutes ; enseignements tirés de l'accident de Three Mile Island (TMI) en 1979).
- Situation d'alimentation électrique de secours et maintient en «circuit haute pression» : l'objectif doit être de parvenir à l'état d'arrêt à froid et non pas de maintenir l'installation en état d'arrêt à chaud. Tout programme de simulation d'entraînement standard doit traiter de la «situation d'alimentation électrique de secours» mais également du «Station Black-out» (perte totale de l'alimentation électrique). Il n'est pas possible à l'heure actuelle de savoir quels programmes de formation (ainsi que leur contenu) sont prescrits au Japon pour les installations nucléaires et si TEPCO dispose de simulateurs spécifiques à chacune de ses centrales nucléaires.
- La noyade des installations par le flot du tsunami est un événement hors critères de conception.
- Après la submersion des installations, les mesures d'urgence correctes et nécessaires ont été prises ou préparées. Peu après la submersion, la mise en fonction de l'alimentation de secours par accumulateurs a commencé et la possibilité d'injection d'eau dans la cuve du réacteur était prête environ 6 heures après le début des événements. Néanmoins, des difficultés ont rapidement été rencontrées lors de l'exécution de la mesure d'urgence

de raccordement des groupes électrogènes mobiles. L'injection d'eau dans la cuve du réacteur avant que le niveau de caloporteur ne descende en-dessous du haut râtelier du combustible n'a pas pu être réalisée assez efficacement, bien que la destruction de la source froide d'ultime secours et la perte totale de l'alimentation électrique par les groupes électrogènes de secours à moteur Diesel devaient être connues à ce moment-là.

- L'échec préalable du rétablissement du niveau de caloporteur et la nécessité persistante d'évacuation de la chaleur résiduelle ont entraîné l'augmentation de la pression régnant dans le confinement primaire. Tout comme pour l'injection d'eau, l'exécution de l'éventage a été retardée.

Ce sont donc au moins trois barrières techniques et organisationnelles de parade, voire de limitation des conséquences d'un accident, qui ont failli dans le cadre de la défense en profondeur après la submersion des installations. Il n'est toutefois pas encore possible de déterminer dans quelle mesure des activités interfonctionnelles inhérentes à la situation «d'installation multitranches» (équipes d'exploitation, équipe de crise, maintenance, etc.) ont pu jouer un rôle (voir source 47).

1.2.2 Piscine des assemblages combustibles usés (spent fuel pool)

Le SBO a également entraîné, sur la tranche 1, la perte du refroidissement de la piscine de stockage des assemblages combustibles usés. En raison de l'explosion du 12/03/2011 à 15 h 36 de la poche d'hydrogène présente dans le bâtiment réacteur et du soufflage de la toiture, la piscine des éléments usés s'est trouvée directement exposée à ciel ouvert. Compte tenu du manque de refroidissement, la température de l'eau a augmenté, entraînant un abaissement du niveau de remplissage du bassin par évaporation. Le dernier remplacement d'assemblages combustibles usés sur la tranche 1 avait eu lieu le 27/09/2010 dans le cadre de l'arrêt programmé pour révision annuelle 2010.

Le 31/03/2011 de 13 h 03 à 16 h 04, il a été pour la première fois possible d'ajouter de l'eau douce dans la piscine de stockage au moyen d'un camion pompe à béton.

A l'heure actuelle, aucune information n'est disponible sur l'état des 392 assemblages combustibles et du bassin de stockage en lui-même. On ne sait pas non plus si des éléments de la machine de manutention des assemblages, ou encore des éléments du pont roulant du bâtiment sont tombés dans le bassin de stockage. Compte tenu du volume important des déblais (voir figure 9), il n'est pas possible d'évaluer l'état actuel de la piscine.

1.3 Tranche 2

1.3.1 Réacteur

Après l'arrêt automatique du réacteur à **14 h 47** et en situation d'alimentation électrique de secours, en conséquence de la perte de l'alimentation électrique externe, l'évacuation de la chaleur résiduelle sur la tranche 2 a été assurée comme prévu par le Reactor Core Isolation Cooling System (RCIC) mis en fonction manuellement ; un système qui fonctionne grâce à la vapeur produite par le réacteur et qui ne nécessite pas d'alimentation par le réseau triphasé. Mais en raison de la réception du signal «Niveau de remplissage du réacteur haut», le système RCIC s'est arrêté automatiquement à plusieurs reprises. L'injection d'eau à partir du torus et du réservoir des condensats froids a permis de maintenir ce mode de refroidissement jusqu'au **14/03/2011** aux environs de **12 h 00** (voir source 43). La perte du refroidissement du réacteur a été signalée à **13 h 25** (voir source 7).

Le **11/03/2011 à 15 h 35**, la deuxième vague du tsunami a entraîné la destruction de la station de pompage d'eau de mer, entraînant ainsi la perte de la source froide d'ultime secours. De plus, la défaillance des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel par noyade a entraîné la perte des circuits nécessaires à l'échange thermique de la chaleur résiduelle vers la source froide d'ultime secours (refroidissement par de l'eau de mer) puis le SBO. Il ne restait donc plus que le torus pour absorber la chaleur résiduelle.

Le **11/03/2011 à 15 h 39**, soit 4 minutes après l'arrivée de la deuxième vague du tsunami, le système RCIC a été remis en service manuellement (voir source 44).

Le **11/03/2011 à 20 h 49** l'éclairage a été temporairement rétabli dans la salle de commande principale. A **21 h 50**, un niveau d'eau de +3400 mm au-dessus du haut râtelier du combustible a été mesuré, et à **23 h 25** la

pression régnant dans le drywell était de 1,41 bars_{abs} (voir source 44).

Le **12/03/2011 à 02 h 55**, le fonctionnement du RCIC a été confirmé et la priorité a été accordée à la décompression de la tranche 1. D'après la source 43, l'injection de caloporteur a été basculée du réservoir des condensats sur le torus. Le **12/03/2011 à 17 h 30**, le directeur de la centrale annonce le début des préparatifs de l'éventage (voir source 44).

Le **13/03/2011 à 08 h 10**, la valve principale en amont du disque de rupture (MO271) est ouverte de 25% (voir figure 12). A **11 h 00**, la «grosse» valve (AO205) de décompression du torus a également été ouverte afin d'assurer la continuité du circuit de décompression du confinement primaire jusqu'au disque de rupture. D'après la source 44, le disque de rupture est taré pour se rompre à 4,27 bars (de surpression), soit 5,28 bars_{abs}.

L'incident ou plutôt la perte de l'alimentation électrique des accumulateurs a pu entraîner un incident de fonctionnement dans le domaine des fonctions techniques de contrôle-commande (défaillance notamment de l'enregistrement graphique des données de surveillance du cœur). Il convient, en outre, de faire attention aux jauges de niveau de la cuve du réacteur (voir figure 11). Comme il s'agit de mesures de pressions différentielles, il se peut que les colonnes de mesure aient été affectées par des évaporations ou des ébullitions de sous-refroidissement du caloporteur. Il n'est actuellement pas possible de savoir s'il existait des possibilités de mesures diversifiées (par ex. pour les températures du cœur à l'aide d'instrumentation « In Core » et de sondes de mesure en sortie de cœur).

Il est important de savoir que d'après les informations actuellement disponibles, de l'eau a été injectée dans la cuve du réacteur. Mais la quantité injectée s'est révélée insuffisante.

Remarque 12

Les difficultés d'affichage de jauges lors des transitoires de grande ampleur sont connues. C'est pour cette raison que des sondes de mesure de la température du cœur à l'instrumentation « In Core » ainsi que des sondes de mesure de la température en sortie de cœur en principe insensibles aux effets d'accidents avaient en partie été ajoutées suite à des retours d'expérience. Il est donc essentiel de savoir si cette instrumentation de situation accidentelle était encore capable de fonctionner pour garantir l'indispensable qualité de l'information.

Le 14/03/2011 à 11 h 01, l'explosion qui s'est produite sur la tranche 3 a entraîné la fermeture de la «grosse» valve de décompression du torus du fait de la perte du fluide de commande (air comprimé). De plus, l'explosion a entraîné la perte de la canalisation d'injection d'eau qui venait d'être préparée et l'endommagement de l'un des GEM nécessaires à cette opération (voir source 43 et source 44). La pression régnant alors dans le drywell était de 4,5 bars_{abs}.

Le 14/03/2011 à 12 h 30, la pression dans le wetwell (torus) atteignait 4,86 bars_{abs}, tandis que la température s'élevait à 149,3 °C (voir source 44).

Le 14/03/2011 des brèches ont été ouvertes dans la toiture du bâtiment réacteur afin d'éviter de nouvelles explosions d'hydrogène (voir source 3).

Après la perte du refroidissement du réacteur et de son alimentation en eau à 13 h 25, le moment d'atteinte du dénoyage du haut râtelier du combustible a été estimé à 16 h 30 le 14/03/2011. Le niveau de caloporteur du haut râtelier du combustible a été effectivement atteint à 17 h 17 (voir source 44).

Le 14/03/2011 à 16 h 34, ont commencé les préparatifs d'injection d'eau de mer dans la cuve du réacteur après décompression de cette dernière (voir source 1).

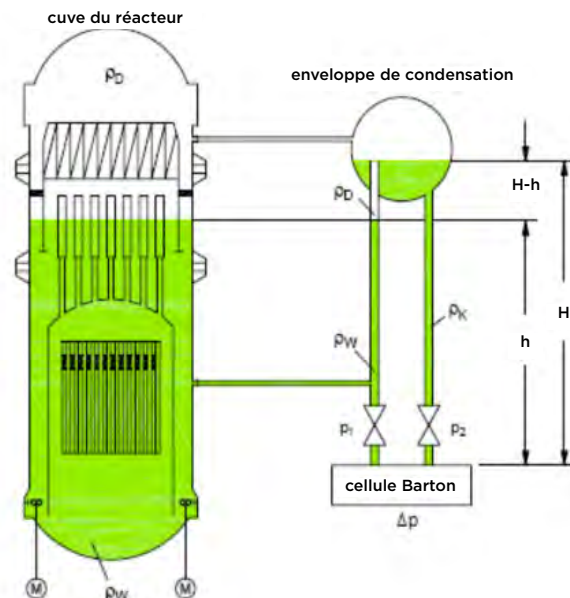
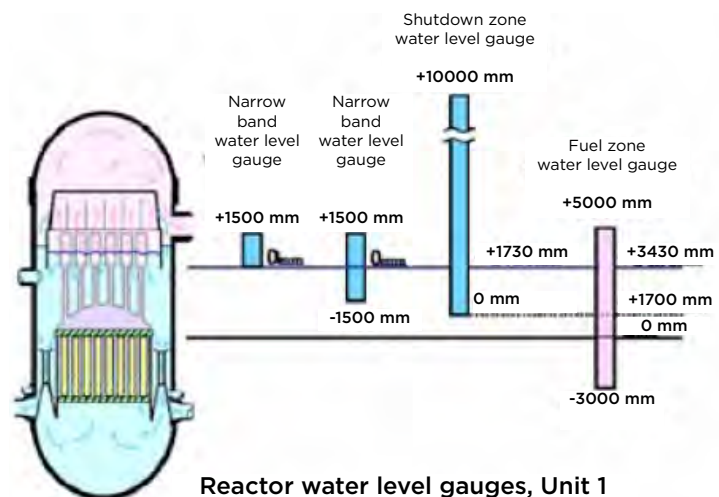


Figure 11:
Système de mesure des niveaux de la cuve du REB,
exemple de la tranche 1
Source: TEPCO

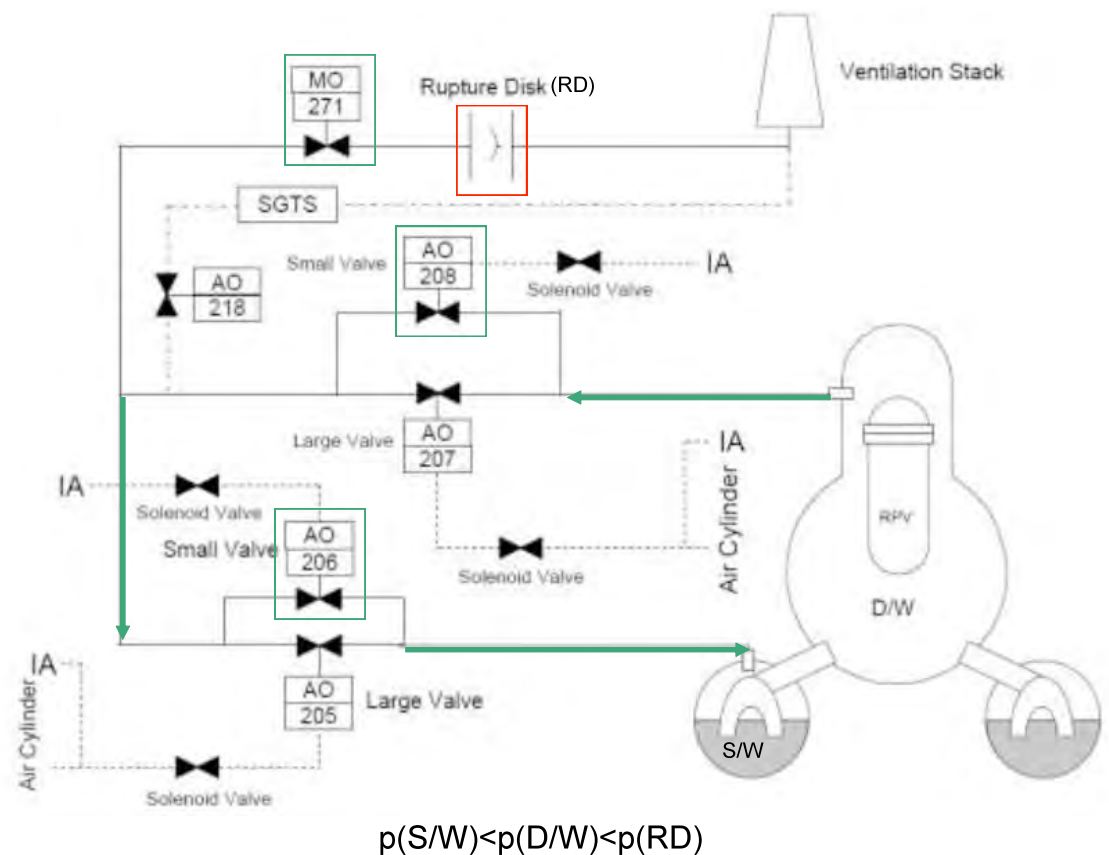


Figure 12:

Vue d'ensemble du système d'éventage (venting) des tranches 2 et 3

Source 43: Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations

Par une opération de décompression de la cuve vers **18 h 03** (60,7 bars), la pression y régnant a pu être ramenée à 6,3 bars jusqu'à environ **19 h 03** (voir source 44), tandis que le niveau de remplissage du réacteur descendait à la cote -3700 mm sous le haut râtelier du combustible (**18 h 22**, voir source 43). De plus, la pression a augmenté de manière significative dans le confinement primaire (drywell).

Le **14/03/2011**, l'injection d'eau de mer dans la cuve du réacteur a cessé entre **19 h 20 et 19 h 54** par manque de carburant (gazole) pour le GEM (voir source 44). Entre **13 h 25 et 19 h 54**, soit durant 6 heures environ, la cuve n'a pas reçu d'apport de caloporteur. D'après les estimations de l'AIEA, le niveau de remplissage de la cuve est passé sous le combustible

(Bottom of Active Fuel – BAF) environ 76 heures après l'arrivée du tsunami (voir source 46).

Le **14/03/2011 à 21 h 00**, la «petite» valve de décompression du torus (AO206) a été ouverte pour réduire la pression (voir source 44). Entre **21 h 20 et 22 h 50**, une nouvelle décompression de la cuve par ouverture des soupapes de sécurité (SRV) a été menée. A **22 h 50**, la pression régnant dans le drywell était inférieure à la pression de tarage du disque de rupture (4,27 bars de surpression). La pression du drywell était alors stable dans une plage de 3-4 bars_{abs} (voir source 44).

Le **15/03/2011 à 00 h 02**, la «petite» valve (AO208) de décompression du drywell a été ouverte pendant quelques minutes. La source

44 confirme que le disque de rupture ne s'est pas rompu. La pression dans le drywell est restée stable à 7,5 bars_{abs} (voir source 44). Une autre tentative de réduction de pression, effectuée vers 03 h 00, s'est soldée par un échec.

Le 15/03/2011 à 06 h 14, le bâtiment réacteur était ébranlé par une explosion interne d'hydrogène. Compte tenu de la chute de pression postérieure dans le torus, les hypothèses penchent vers une explosion dans la zone de ce dernier (voir source 3).

L'explosion semble imputable à l'insuffisance d'apport de caloporteur, avec pour résultat l'oxydation des gaines des crayons dans le cœur de réacteur. L'hydrogène ainsi libéré a été cédé au torus par le système de décompression de la cuve du réacteur. Il n'est à l'heure actuelle pas possible de déterminer si le torus a subi des dommages initiaux par de la condensation brutale (injection de vapeur chaude dans une eau déjà en ébullition) ou s'il a été endommagé par l'explosion. On peut émettre l'hypothèse que, du fait de la surpression régnant dans le drywell et de la non rupture du disque de rupture, ou encore du maintien à l'état fermé de la valve (MO271) située en amont du disque de rupture, des volumes supplémentaires d'hydrogène ont pu être refoulés dans le torus (voir figure 12). Dans le cas où la valve MO271 serait restée fermée, il est également envisageable que la surpression ait provoqué la rupture de la conduite, avec allumage consécutif de la poche d'hydrogène présente.

Le 15/03/2011 à 11 h 25, la pression régnant dans le drywell s'élevait à 1,55 bars_{abs} (voir source 44).

Le 20/03/2011 à 15 h 46, l'alimentation électrique externe a pu être rétablie (voir source 35).

Le 20/04/2011, une visite de l'installation par des robots a permis de relever des températures et des taux d'humidité importants dans le bâtiment réacteur (voir source 29), qui pourraient résulter d'un endommagement du torus (voir source 3).

Remarque 13

L'apport insuffisant de caloporteur pour compenser l'évaporation résulte des trop faibles volumes d'eau disponibles pour injection. Il n'est à l'heure actuelle pas possible de savoir si ces injections d'eau avaient été prévues dans les lignes directrices de gestion en cas d'accident grave (Severe Accident Management Guidelines SAMG) ni comment celles-ci ont été vérifiées. De plus, on ne sait pas avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires.

Remarque 14

Le retard important apporté à la réalisation de l'éventage ne s'explique pas non plus clairement. Si cela tient à des circuits décisionnels démesurément étendus, il convient de vérifier la chaîne de décision prévue en cas d'accidents graves. A partir de quel moment les opérateurs présents sur place peuvent-ils prendre des initiatives ? Pourquoi est-il nécessaire d'obtenir l'aval d'autres décideurs ? Comment s'assurer, ce faisant, que les décisions soient prises au moment opportun ?

1.3.2 Piscine des assemblages combustibles usés (spent fuel pool)

Le SBO a également entraîné sur la tranche 2, la perte du refroidissement de la piscine de stockage des assemblages combustibles usés. Compte tenu de la persistance de l'apport calorifique résiduel, la température de l'eau a augmenté, entraînant un abaissement du niveau de remplissage du bassin par évaporation. Le dernier remplacement d'assemblages combustibles usés sur la tranche 2 avait eu lieu le 18/11/2010 dans le cadre de l'arrêt programmé pour révision annuelle 2010.

Le **20/03/2011 à partir de 15 h 05**, de l'eau de mer a pu être injectée pour la première fois dans la piscine des assemblages combustibles usés par la canalisation de refroidissement du bassin. A partir du 29/03/2011, l'eau de mer a à nouveau été remplacée par de l'eau douce (source 3).

Des prélèvements d'eau effectués le **16/04/2011** dans le bassin de stockage de la tranche 2 ont permis de détecter la présence des nucléides I131, Cs134 et Cs137. Il n'est pas à l'heure actuelle possible de savoir

si la présence de ces nucléides est due à l'endommagement d'assemblages combustibles présents dans le bassin. De même, aucune information certifiée n'est à disposition quant à l'état du bassin de stockage.

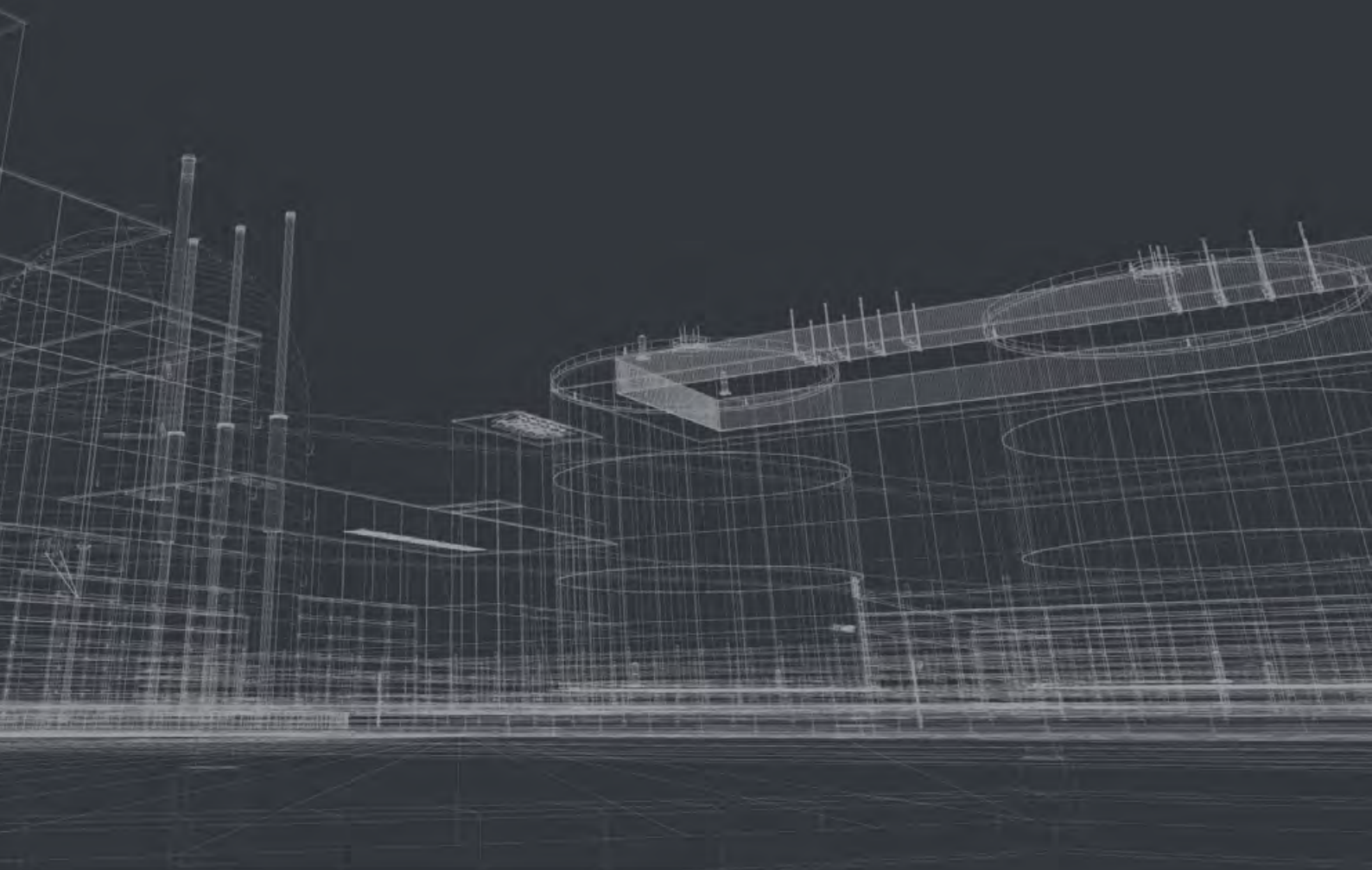
Remarque 15

Il n'est à l'heure actuelle pas possible de savoir si, ni comment les injections d'eau nécessaires dans le bassin de stockage étaient prévues dans les lignes directrices de gestion en cas d'accident grave (SAMG) ni comment celles-ci ont été vérifiées. De plus, il n'est pas possible de savoir avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires. Enfin, il n'est pas non plus possible de savoir si les affichages nécessaires (température et niveau de remplissage du bassin) étaient encore disponibles.

Fukushima

37° 25' 26.57" N, 141° 1' 56.87" E

11.03.2011



1.4 Tranche 3

1.4.1 Réacteur

Après l'arrêt automatique du réacteur (SCRAM) à **14 h 47**, la turbine principale a été arrêtée manuellement (voir source 44). Du fait de la situation d'alimentation électrique de secours établie après la perte de l'alimentation électrique externe (Loss of Off-Site Power LOOP), l'évacuation de la chaleur résiduelle a été assurée comme prévu par la mise en service manuelle du Reactor Core Isolation Cooling System (RCIC), relayé plus tard par la pompe d'alimentation pour injection de caloporteur sous haute pression (High Pressure Coolant Injection HPCI). En raison de la réception du signal «Niveau élevé de remplissage de réacteur», le système RCIC a été arrêté automatiquement à plusieurs reprises.

Le **11/03/2011 à 15 h 35**, la deuxième vague du tsunami a entraîné la destruction de la station de pompage d'eau de mer, entraînant ainsi la perte de la source froide d'ultime secours. De plus, la défaillance des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel (noyés) a entraîné la perte des circuits nécessaires à l'échange thermique de la chaleur résiduelle vers la source froide d'ultime secours (refroidissement par de l'eau de mer) puis à **15 h 38** le SBO (voir source 43). Il ne restait donc plus que le torus pour absorber la chaleur résiduelle.

Le **11/03/2011 à 16 h 03**, le RCIC a été mis en fonction manuellement. Le **11/03/2011 à 21 h 58**, l'éclairage a été temporairement rétabli dans la salle de commande principale. Le **12/03/2011 à 11 h 36**, le RCIC s'est automatiquement mis hors fonction, tandis que la HPCI s'est lancée automatiquement à **12 h 35** en raison d'un niveau d'eau insuffisant dans la cuve du réacteur (voir source 44).

Le **12/03/2011, entre 12 h 30 et 19 h 00**, la pression régnant dans la cuve du réacteur chute de plus de 60 bars, puis se stabilise à 10 bars environ (voir source 43). Une telle

chute de pression laisse supposer qu'il s'est produit une fuite de vapeur vive sur le système HPCI (voir source 43).

Compte tenu de l'évacuation de la chaleur résiduelle dans le torus et de la perte de sa fonction de décompression en raison de températures excessives, la pression a augmenté dans le confinement primaire. TEPCO a donc préparé l'éventage du confinement primaire (voir source 4).

Le **12/03/2011 à 17 h 30**, le directeur de la centrale annonce le début des préparatifs d'éventage (voir source 44).

La HPCI cesse de fonctionner le **13/03/2011 à 02 h 42**. A **05 h 10**, TEPCO annonce que plus aucune fonction d'injection d'eau n'est disponible (voir source 8). Entre **02 h 30 et 04 h 00**, la pression régnant dans la cuve du réacteur augmente de 10 bars environ à 70 bars. Le soupçon de fuite de vapeur vive sur le système HPCI est donc confirmé par cette nouvelle élévation de pression dans la cuve du réacteur.

A partir de ce moment-là, la décompression de la cuve n'était plus assurée que par les soupapes de sécurité (SRV). Aucun signal de jauge pour la cuve n'était disponible au moment de l'arrêt de la HPCI. L'alimentation en courant continu de l'instrumentation a pu être rétablie à **03 h 51** ; la jauge de cuve affichait alors un niveau de -1600 mm sous le haut râtelier du combustible (Top of active fuel - TAF) (voir source 43).

D'après des estimations de TEPCO, le niveau de remplissage de la cuve atteint la face supérieure du cœur le **13/03/2011 à 04 h 15** (voir source 44). Selon la source 45, le niveau de remplissage de la cuve passe sous le haut râtelier du combustible vers **08 h 00**.

Le **13/03/2011 à 05 h 15**, le directeur de la centrale annonce le début des préparatifs d'éventage jusqu'au disque de rupture (voir

source 44). Il était prévu d'ouvrir la «grosse» valve AO205 à **05 h 23** pour réduire la pression dans le torus, mais l'énergie nécessaire (air comprimé) pour cette ouverture faisait défaut. La valve a pu être ouverte après basculement sur un autre réservoir d'air comprimé (voir source 44).

L'arrosage à eau du confinement primaire a commencé le **13/03/2011 à 07 h 39** (voir source 44).

A **08 h 35**, la valve principale MO271 en amont du disque de rupture est ouverte de 15% selon la procédure prévue (voir source 44). Le **13/03/2011 à 08 h 41**, les préparatifs d'éventage du confinement primaire (drywell) étaient achevés (voir source 36 et source 44).

Le **13/03/2011**, à partir de 09 h 20 et jusqu'à 12 h 20 environ de l'eau douce borée a été injectée après exécution d'une opération manuelle de décompression de la cuve du réacteur (09 h 08), puis de l'eau de mer, par les canalisations d'incendie (13 h 12) (voir source 3 et source 44). Durant 7 h environ, soit entre **02 h 42 et 09 h 20**, la cuve n'a reçu aucun apport de caloporteur (voir source 46).

Le **13/03/2011 à 09 h 24**, la pression régissant dans le drywell a chuté de 6,37 bars_{abs} (09 h 10) à 5,4 bars_{abs}. TEPCO en a déduit le succès de l'éventage (disque de rupture ouvert). En raison de fuites dans la conduite d'alimentation en air comprimé, la valve AO205 se referme, mais il est possible de la rouvrir à 12 h 30 après basculement sur un autre réservoir d'air comprimé. Compte tenu du soufflage permanent des soupapes de sécurité (SRV), des températures élevées régissant dans le local, et des fortes vibrations ressenties au niveau du torus, il n'a pas été possible de bloquer manuellement cette valve en position ouverte (voir source 44).

Le **13/03/2011 à 15 h 28**, un débit de dose de 12 mSv/h est mesuré dans la salle de commande ; les opérateurs sont alors évacués vers la tranche 4 (voir source 44).

Le **13/03/2011 à 17 h 52**, un compresseur mobile a été raccordé au réseau de distribution d'air comprimé. Ce compresseur a été mis en place dans le bâtiment réacteur par le sas d'accès du matériel au moyen d'un camion grue. Compte tenu de la chute de la pression régnant dans le drywell (20 h 10), TEPCO a considéré que la «grosse» valve (AO205) de décompression du torus avait pu être ouverte au moyen du compresseur.

Après une nouvelle perte de l'alimentation en air comprimé, la valve s'est refermée et la pression dans le drywell est remontée de 2,65 bars (02 h 00) à 3,15 bars (03 h 00) (voir source 44).

Le **14/03/2011 de 01 h 10 à 03 h 20** (voir source 3), un manque d'eau dans le réservoir d'alimentation intermédiaire a entraîné l'interruption de l'alimentation en eau de mer.

Malgré l'alimentation en eau continue, le niveau de remplissage de la cuve s'est abaissé, et la pression y régnant a augmenté. Ceci laisse supposer une insuffisance des volumes d'eau injectés dans la cuve. Compte tenu du débit de dose élevé mesuré dans le drywell (environ 140 Sv/h), l'endommagement du cœur lié au dénoyage des assemblages combustibles a été estimé à 30% (voir source 43).

Remarque 16

L'apport insuffisant de caloporteur pour compenser l'évaporation résulte des trop faibles volumes d'eau disponibles pour injection. Il n'est à l'heure actuelle pas possible de savoir si ces injections d'eau avaient été prévues dans les lignes directrices de gestion en cas d'accident grave (SAMG) ni comment celles-ci ont été vérifiées. De plus, on ne sait pas avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires.

Remarque 17

Il n'a pas pu être déterminé avec certitude si l'instrumentation de situation accidentelle était encore disponible pour garantir l'indispensable qualité de l'information.

Le 14/03/2011 à 05 h 20, les préparatifs d'une nouvelle décompression du confinement primaire ont commencé (voir source 36).

Le 14/03/2011 à 06 h 10, la «petite» valve de décompression du torus (AO206) a été ouverte pour réduire la pression. La valve s'est refermée après une nouvelle perte de l'alimentation en air comprimé ; plusieurs tentatives de réouverture de cette valve ont échoué (voir source 44). La pression dans le drywell était de 4,6 bars_{abs} à 06 h 10, de 5,3 bars_{abs} à 06 h 50 (voir source 12) et de 4,9 bars_{abs} à 09 h 05 (voir source 43).

La cuve était périodiquement décompressée par les soupapes de sécurité, ce qui a entraîné le découvrement des assemblages combustibles ainsi que l'oxydation des gaines de crayons avec libération d'hydrogène.

Dans ce cas également, il est supposé que l'hydrogène s'est introduit dans le bâtiment réacteur par des fuites du drywell (par ex. joint de couvercle, traversées de cloisons, etc.) à nouveau favorisées par l'importante pression régnant dans le drywell.

Le 14/03/2011 à 11 h 01 (voir source 3) s'ensuit une explosion d'hydrogène dans le bâtiment réacteur qui a provoqué d'importants dégâts aux bâtiments de la tranche, et à ses équipements (grue automotrice du bâtiment réacteur) ainsi qu'au bardage du bâtiment de la tranche 4. La cause de l'allumage de l'hydrogène accumulé dans le bâtiment du réacteur reste peu claire.

L'explosion a blessé 11 personnes (4 employés de TEPCO, 3 sous-traitants et 4 soldats). L'onde de choc, ou plutôt les débris qu'elle a projetés ont engendré des dommages sur des GEM, des conduites et des tuyaux, provoquant l'interruption de l'injection ou plutôt l'alimentation en eau de mer. La présence de décombres fortement irradiés a accentué la difficulté, déjà grande, d'intervention. L'explosion a également interrompu les interventions sur la tranche 2 (par ex. alimentation en air comprimé, éventage – voir chapitre 1.3.1) (voir source 44).

D'après la source 43, le 14/03/2011 à 11 h 25 la pression était de 1,85 bar dans la cuve du réacteur, de 3,6 bars dans le drywell et de 3,8 bars dans le torus.

1.4.2 Piscine des assemblages combustibles usés (spent fuel pool)

Le SBO a également entraîné la perte du refroidissement de la piscine de stockage des assemblages combustibles usés de la tranche 3. Le dernier remplacement d'assemblages combustibles usés sur la tranche 3 avait eu lieu le 23/09/2010 dans le cadre de l'arrêt programmé pour révision annuelle 2010. Compte-tenu de la persistance de l'apport calorifique résiduel, la température de l'eau a augmenté, entraînant un abaissement du niveau de remplissage du bassin par évaporation. Le **16/03/2011 à 09 h 48**, les équipes ont réussi pour la première fois, par largage à partir d'un hélicoptère, à ajouter de l'eau de mer dans le bassin de stockage, opération qui sera poursuivie plus tard au moyen de lances (voir source 3).

Compte tenu des graves dommages subis par le bâtiment réacteur et des décombres qui se sont effondrés dans le bassin de stockage (figure 13, voir source 18), il convient de considérer que les assemblages combustibles présents ont subi des dommages mécaniques. L'augmentation des débits de dose locaux (jusqu'à environ 11 mSv/h) à l'entrée principale ou plus précisément à l'entrée ouest, après les émissions de vapeur du bassin de stockage les 16/03/2011 et 21/03/2011 (voir source 19), laissent également supposer des dommages aux assemblages combustibles. Les analyses spécifiques de nucléides des 08 et 09/05/2011 ont confirmé une forte concentration de radionucléides (essentiellement Cs134 et Cs137) dans le bassin en comparaison aux valeurs de référence du 02/03/2011 (voir source 37). Ceci confirme également l'endommagement d'assemblages combustibles.

Anmerkung 18

Il n'est à l'heure actuelle pas possible de savoir si, ni comment les injections d'eau nécessaires dans le bassin de stockage étaient prévues dans les lignes directrices de gestion en cas d'accident grave (SAMG) ni comment celles-ci ont été vérifiées. De plus, on ne sait pas avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires. Enfin, il n'est pas non plus possible de savoir si les affichages nécessaires (température et niveau de remplissage du bassin) étaient encore disponibles.



Figure 13:
Décombres ayant chuté dans le bassin de stockage de la tranche 3
Source: 18

1.5 Tranche 4

Au moment de la secousse sismique et du SBO qui a suivi, la tranche 4 était en révision depuis le 29/11/2010 pour remplacement de l'enveloppe du cœur. La cuve du réacteur avait été intégralement vidée pour procéder à ce remplacement. La charge complète du cœur était donc stockée dans la piscine des assemblages combustibles. La décontamination du circuit primaire était achevée au moment des événements.

Parmi les groupes électrogènes de secours à moteur Diesel disponibles, l'un était à l'arrêt pour révision et le second a démarré automatiquement après le séisme (voir source 43). Tous les travaux et inspections sur la tranche 4 ont immédiatement été arrêtés après le séisme (voir source 43).

Le 11/03/2011 à 15 h 35, la deuxième vague du tsunami a entraîné la destruction de la station de pompage d'eau de mer, entraînant ainsi la perte de la source froide d'ultime secours. De plus, la défaillance des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel (noyés) a entraîné la perte des circuits nécessaires à l'échange thermique de la chaleur résiduelle vers la source froide d'ultime secours (refroidissement par de l'eau de mer) puis à 15 h 38 le SBO (voir source 43). Ce dernier a entraîné l'arrêt du refroidissement du bassin de stockage des assemblages combustibles. L'énergie thermique résiduelle des 1535 assemblages combustibles (capacité maximale du bassin de stockage : 1590 assemblages – voir source 43) a entraîné l'augmentation de la température de l'eau et un lent abaissement du niveau de remplissage.

Le 14/03/2011 à 04 h 08, la source 3 mentionne une température de l'eau de 84°C.

Le 15/03/2010, une explosion s'est produite dans le bâtiment réacteur de la tranche 4 qui a provoqué des dégâts à la structure du bâtiment. L'origine de l'explosion reste encore controversée. Le déclenchement

d'une explosion de l'hydrogène dégagé par l'oxydation des gaines de crayons comme sur les tranches 1 à 3 paraît peu plausible compte tenu de la chronologie des faits et du volume d'eau présent dans la piscine de stockage. L'hypothèse de l'équipe d'analyse de l'IFSN, que le séisme aurait pu endommager le bassin avec des pertes d'eau plus rapides, a été réfutée par la source 9, TEPCO confirmant l'intégrité des bassins de stockage des assemblages combustibles.



Figure 14:
Vue des tranches 3 et 4 après les explosions d'hydrogène
Source: TEPCO

Des hypothèses selon lesquelles de l'hydrogène en provenance d'autres sources, par ex. l'éventage de la tranche 3 (voir chapitre 1.4.1) et la liaison des conduits de ventilation des tranches 3 et 4 au pied de la cheminée (voir source 10), ou encore la formation d'un mélange explosif constitué de gaz de soudage/coupage (dépose de l'enveloppe du cœur) puisse être responsable de l'explosion, ne sont toujours pas vérifiées (voir aussi source 43). Des rapports plus récents considèrent toutefois que de l'hydrogène provenant de la tranche 3 a pu s'introduire par la conduite d'évacuation commune et «l'Emergency gas treatment facility» de la tranche 4 dans la partie supérieure du

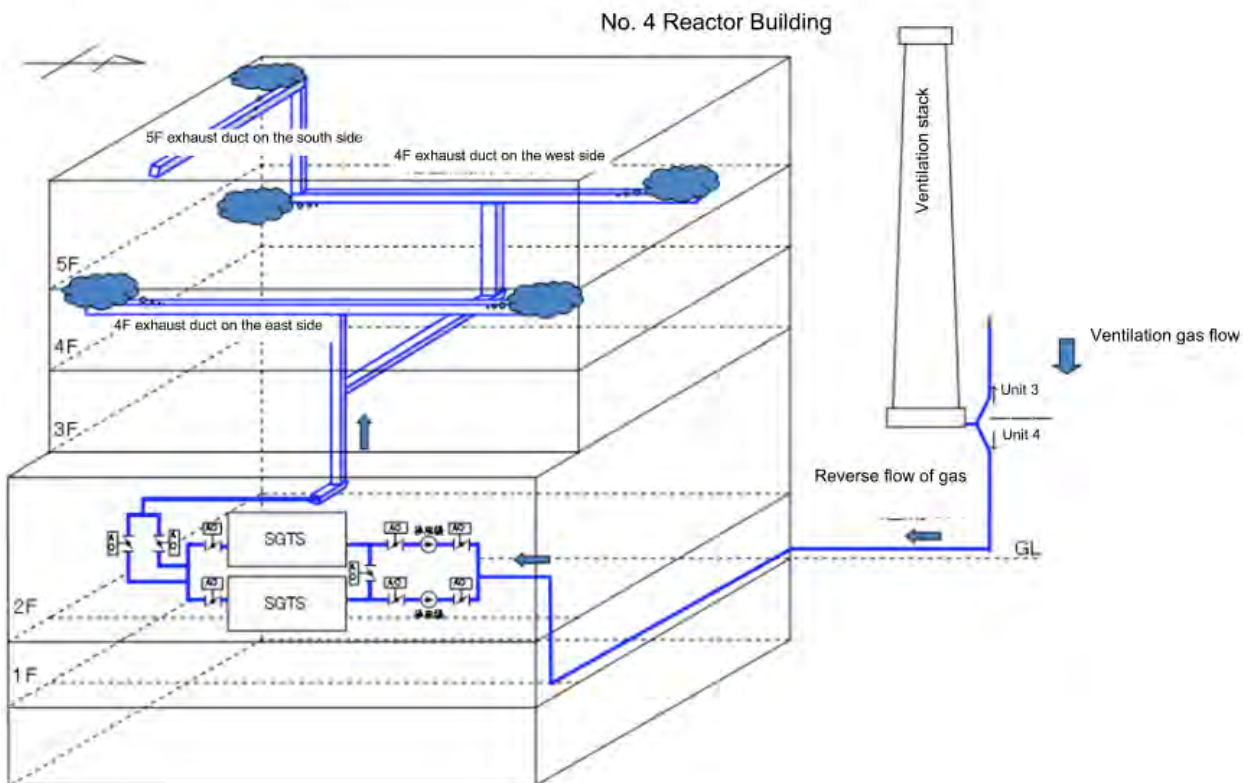


Figure 15:
Débordement de H_2 de la tranche 3 vers la tranche 4
Voir figure IV-5-10, Source: 43

bâtiment réacteur 4 (figure 15). Il se peut que «l'Emergency gas treatment facility» ne soit pas doté de clapets anti-retour qui auraient pu empêcher une telle circulation des gaz (IV-90/IV-96 source 43).

La cause présumée des incendies signalés dans le bâtiment réacteur les **15/03/2011 à 09 h 38** et **16/03/2011 à 05 h 45** (voir source 1) tient à l'heure actuelle à une fuite d'huile (voir source 10).

Le **21/03/2011 de 06 h 37 à 08 h 41**, il a été procédé pour la première fois à un ajout d'eau par des lances mobiles pour assurer le refroidissement du bassin de stockage des

assemblages combustibles et la compensation de l'évaporation (voir source 3). Cette alimentation en eau s'est poursuivie ultérieurement à l'aide de pompes à incendie ou d'une pompe à béton.

La source 21 montre le faible encombrement du bassin de stockage de la tranche 4 par des décombres projetés par l'explosion d'hydrogène (voir figure 16). Les analyses spécifiques de nucléides des 08/05/2011 et 09/05/2011 ont confirmé une concentration accrue de radionucléides (essentiellement Cs134 et Cs137) dans le bassin en comparaison aux valeurs de référence du 04/03/2011 (voir source 38). Il n'est, aujourd'hui, pas encore déterminé si ces nucléides proviennent de dommages subis par les assemblages combustibles de la tranche 4 ou s'ils proviennent d'autres tranches.

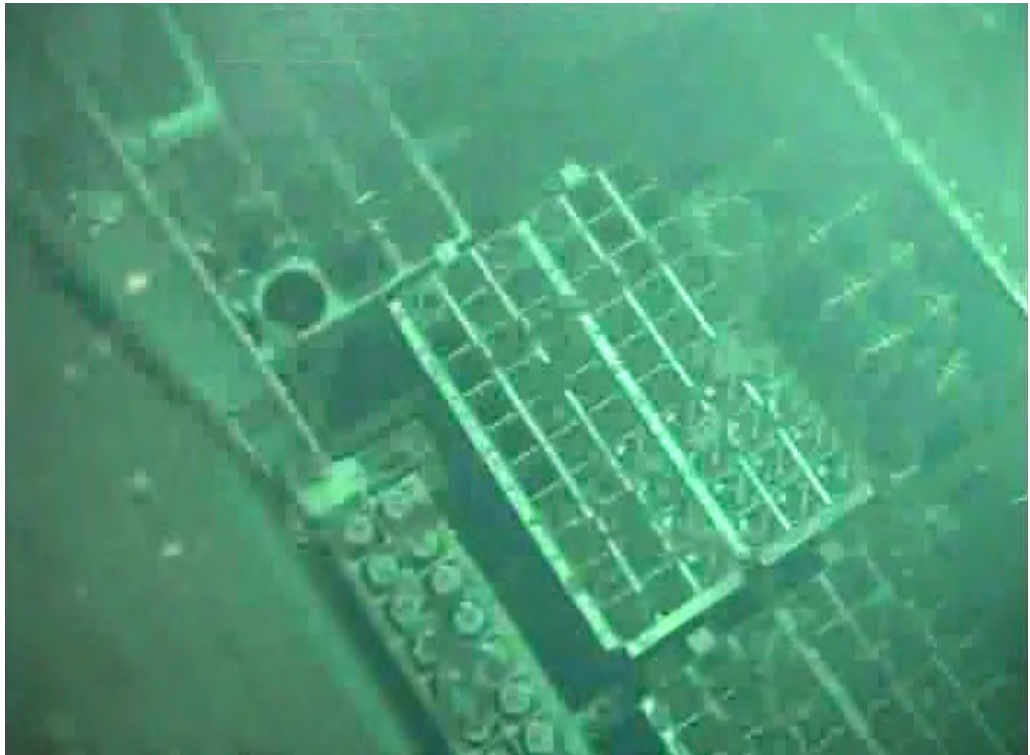


Figure 16:
bassin de stockage de la tranche 4 le 29/04/2011
Source: TEPCO

Compte tenu de la concentration relativement faible de nucléides dans l'eau du bassin et d'après les inspections visuelles effectuées, il est considéré d'après la source 43 que les assemblages sont pour l'essentiel intacts (nearly undamaged).

Remarque 19

Il n'est à l'heure actuelle pas possible de savoir si, ni comment les injections d'eau nécessaires dans le bassin de stockage étaient prévues dans les lignes directrices de gestion en cas d'accident grave (SAMG) ni comment celles-ci ont été vérifiées. De plus, on ne sait

pas avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires. Enfin, il n'est pas non plus possible de savoir si les affichages nécessaires (température et niveau de remplissage du bassin) étaient encore disponibles.

1.6 Tranches 5 et 6

Le **11/03/2011 à 15 h 35**, la deuxième vague du tsunami a entraîné la destruction de la station de pompage d'eau de mer, entraînant ainsi la perte de la source froide d'ultime secours. De plus, la défaillance des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel (noyés) a entraîné la perte des circuits nécessaires à l'échange thermique de la chaleur résiduelle vers la source froide d'ultime secours (refroidissement par de l'eau de mer) puis à **15 h 38** le SBO (voir source 43). Les tranches 5 et 6 de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi étaient en révision périodique au moment du SBO, mais avec des cuves de réacteurs intégralement chargées. Alors que la tranche 6 était en état d'«arrêt à froid», la tranche 5 était en train de subir un test d'étanchéité (voir source 43).

Le troisième groupe électrogène de secours à moteur Diesel de la tranche 6, refroidi par air, n'a pas été noyé par le tsunami. Ce groupe électrogène de secours à moteur Diesel qui n'a pas été pénalisé par la perte de l'alimentation en eau de refroidissement est donc resté fonctionnel (voir source source 32).

Compte tenu du test d'étanchéité en cours (épreuve de pression) sur la tranche 5, la pression régnant dans la cuve du réacteur avait été élevée à 72 bars au moment où s'est produit le SBO. La puissance résiduelle a brièvement fait augmenter cette pression de cuve à environ 80 bars. Il a donc fallu procéder le **12/03/2011 à 06 h 06** à une décompression de la cuve du réacteur. Une augmentation de la pression a également été constatée sur la tranche 6. Compte tenu de la plus faible puissance résiduelle due au fait que le réacteur était arrêté depuis plus longtemps, cette pression a augmenté plus lentement que sur la tranche 5 (voir source 43).

Le **14/03/2011 à 05 h 00**, l'alimentation électrique de la tranche avait été rétablie pour

l'injection d'eau à partir du réservoir du condensat froid. La décompression des deux tranches s'est effectuée par les soupapes de sûreté (SRV) et la réalimentation en eau à partir des réservoirs de condensats froids (voir source 43).

A la suite des diverses défaillances de bon nombre d'équipements en raison du tsunami, les systèmes de refroidissement des piscines des assemblages combustibles ont cessé de fonctionner. Compte-tenu de la persistance de l'apport calorifique résiduel, la température de l'eau a augmenté, entraînant un abaissement du niveau de remplissage du bassin (voir source 1). D'après la source 1, le **16/03/2011 vers 08 h 00**, la température de l'eau avait dépassé 60°C dans les deux bassins de stockage des assemblages combustibles.

Le **19/03/2011** des brèches ont été ouvertes dans la toiture du bâtiment de réacteur afin d'éviter de nouvelles explosions d'hydrogène (voir source 39).

L'injection d'eau dans la cuve du réacteur et dans le bassin de stockage s'est tout d'abord effectuée à l'aide du troisième groupe électrogène de secours à moteur Diesel indemne de la tranche 6 (groupe diesel refroidi à l'air) à partir de la réserve constituée par le réservoir des condensats froids (système d'apoint de caloporteur) (voir source 3). Le **19/03/2011**, le deuxième groupe électrogène de secours à moteur Diesel de la tranche 6 a pu être remis en fonctionnement après réparation. L'alimentation électrique des pompes des circuits d'évacuation de la chaleur résiduelle des tranches 5 et 6 était alors à nouveau assurée et le refroidissement des bassins de stockage a pu reprendre (voir source 3).

Le **20/03/2010 à 14 h 30**, la tranche était amenée à l'état d'«arrêt à froid» (voir source 3).

Le **22/03/2011 à 19 h 41**, tous les consommateurs électriques étaient raccordés au réseau électrique externe (voir source 36).

1.7 Piscine commune des assemblages combustibles usés (Common Spent Fuel Pool)

A la suite de la perte de l'alimentation électrique externe, la piscine de désactivation commune (common spent fuel pool) s'est également trouvée en situation de perte de système de refroidissement de l'eau du bassin. La charge thermique résiduelle de 6375 assemblages combustibles (capacité de stockage de 6840 assemblages) (voir source 43) a entraîné une lente augmentation de la température de l'eau du bassin (environ 30°C le 11/03/2011 d'après la source 43); 57°C le 19/03/2011 à 09 h 00, (voir source 3) L'alimentation en eau par des GEM le 21/03/2011 de 10 h 37 à 15 h 30, de même que le rétablissement de la fonction de refroidissement des bassins de stockage le 24/03/2011 à 18 h 05 (voir source 3) a permis la réduction progressive de la température de l'eau des bassins pour la stabiliser dans une plage inférieure à 30°C.

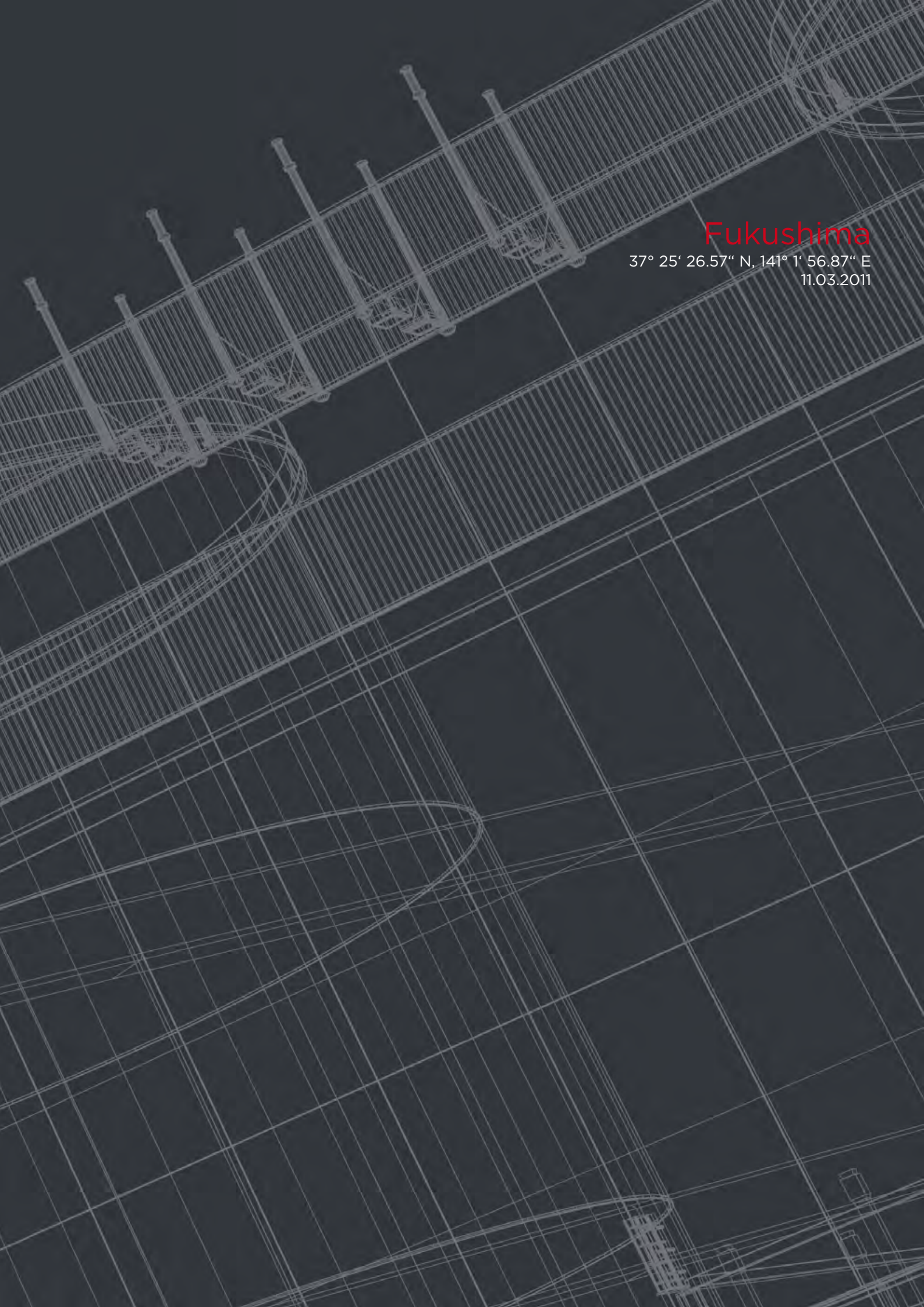
Des échantillons d'eau ont été prélevés le 13/05/2011 dans la piscine de désactivation commune pour vérifier l'intégrité des assemblages combustibles. Ces échantillons ont permis de détecter une augmentation d'activité du Cs134 et du Cs137 par rapport aux valeurs de référence de février 2011 (voir source 22). Des vérifications sont actuellement en cours pour déterminer si ces valeurs d'activité sont dues à des dommages subis par les assemblages combustibles.

1.8 Dépôt de stockage à sec d'assemblages combustibles (Dry Storage Cask Facility)

En raison du SBO le dépôt de stockage à sec (dry storage cask facility) a également subi une panne de tous ses systèmes électriques. Or, le dépôt de stockage à sec des conteneurs dispose toutefois d'une ventilation naturelle (voir source 11), le refroidissement des conteneurs de transport ou plutôt des assemblages combustibles n'a donc pas été pénalisé.

L'exploitant a procédé le 17/03/2010 à une inspection visuelle de ce stock. Il n'a été constaté aucun écart par rapport à l'état normal (voir source 12).

On ne sait pas à l'heure actuelle si l'inspection détaillée évoquée par la source 12 a eu lieu ; aucun résultat de cette inspection (du site de stockage et des conteneurs) n'étant actuellement disponible.

An aerial photograph of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, showing the containment domes and surrounding infrastructure. The image is overlaid with a white grid and several white circles, likely representing seismic activity or data points. The word "Fukushima" is written in red in the upper right corner.

Fukushima

37° 25' 26.57" N, 141° 1' 56.87" E
11.03.2011

2 Déroulement des événements à Fukushima Daini

2.1 Généralités sur les événements

Avant le séisme, la situation de la centrale nucléaire de Fukushima Daini était la suivante

Tranche 1

REB/5, 3293 MW_{th}, Mark II,
fournisseur: Toshiba (1975 – 1982)

Tranche 2

REB/5 advanced, 3293 MW_{th}, Mark II,
fournisseur: Hitachi (1979 – 1984)

Tranche 3

REB/5 advanced, 3293 MW_{th}, Mark II,
fournisseur: Toshiba (1980 – 1985)

Tranche 4

REB/5 advanced, 3293 MW_{th}, Mark II,
fournisseur: Hitachi (1980 – 1987)

en production et couplées au réseau.

TEPCO (Tokyo Electric Power Company) est également l'exploitant de ces installations.



Figure 17:
Fukushima Daini, vue d'ensemble
Source: TEPCO

Le séisme Tohoku Chihou Taiheiyou Oki survenu le 11/03/2011 à 14 h 46 (magnitude $M_w=9.0$) a entraîné la mise à l'arrêt automatique des réacteurs (AAR/SCRAM) des tranches 1 à 4 (voir source 1).

Contrairement au site de Fukushima Daiichi, le séisme n'a pas provoqué de coupure de l'alimentation électrique externe (voir source 14). Il convient toutefois de considérer que de brèves coupures d'alimentation ainsi que des pointes de surtension se sont produites puisque des signaux déclencheurs ont été émis pour le lancement des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel et pour la fermeture du confinement.

Le tsunami a également généré sur le site de Daini une submersion partielle du terrain et des dommages à des installations (systèmes auxiliaires de refroidissement par eau des tranches 1, 2 et 4). Selon les informations

communiquées par TEPCO le 30/03/2011, les deux groupes électrogènes de secours à moteur Diesel de la tranche 1 ont été irrémédiablement endommagés par la submersion. Malgré leur submersion, les groupes électrogènes de secours à moteur Diesel de la tranche 2 ont pu être remis en service après réparation et rétablissement de l'alimentation en eau de refroidissement à partir du 14/03/2011. Les deux groupes électrogènes de secours à moteur Diesel de la tranche 3 et un groupe électrogène de secours à moteur Diesel de la tranche 4 sont restés fonctionnels. Les autres groupes électrogènes de secours à moteur Diesel de la tranche 4 ont pu être remis en service après rétablissement de l'alimentation en eau de refroidissement à partir du 14/03/2011 (voir source 43).

Grâce à une position surélevée de près de 2 m de l'assise des installations et une disposition plus favorable des bâtiments, les dommages subis lors de la submersion ont été moindres (voir figure 18).

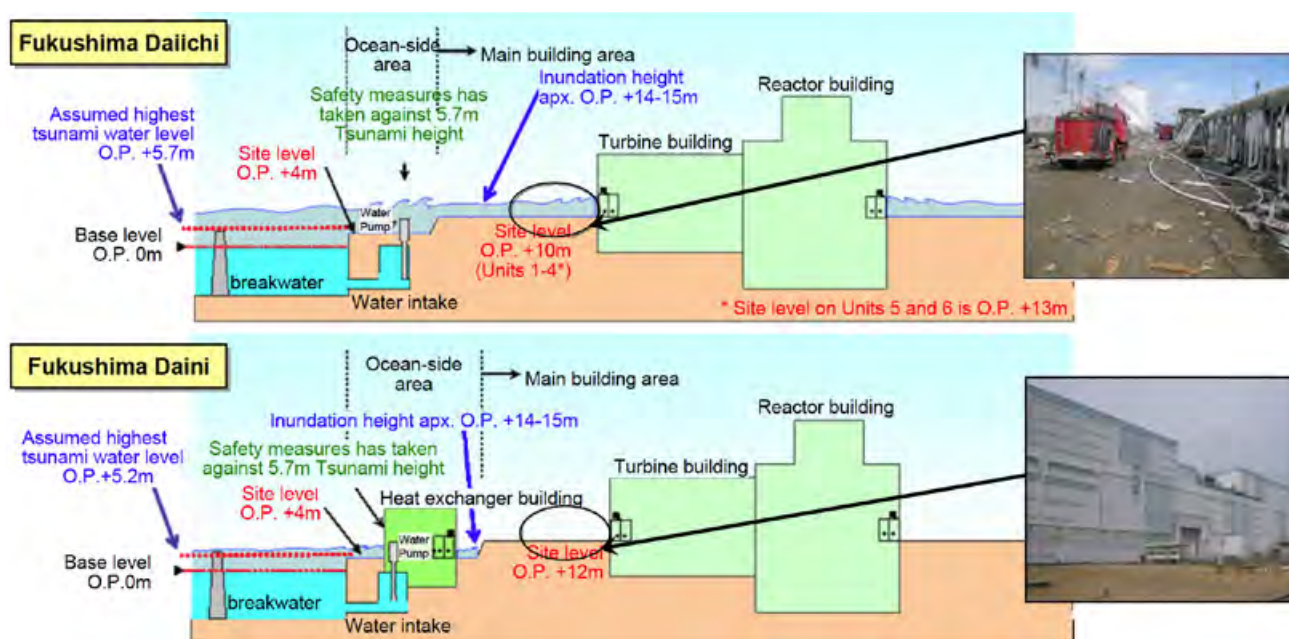


Figure 18:
comparaison des conditions de submersion sur les centrales de
Fukushima Daiichi et Daini
Source: TEPCO

Remarque 20

Il n'est à l'heure actuelle pas possible de savoir ni, si des mesures de situation d'urgence avaient été prévues pour l'alimentation des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel en eau de refroidissement, ni de quelle manière ces mesures figuraient dans les lignes directrices de gestion en cas d'accident grave (SAMG) ni comment celles-ci ont été vérifiées. De plus, on ne sait pas avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires. Il se peut que les affichages nécessaires (température et niveau de remplissage du bassin) fussent encore disponibles en raison de l'alimentation électrique externe.

Remarque 21

Une alimentation en eau diversifiée (puits dans la nappe phréatique, bassin de rétention, etc.) aurait influencé positivement l'évolution des événements.

Remarque 22

Une séparation spatiale sécurisée à l'intérieur des stations de pompage d'eau de mer aurait probablement pu assurer une meilleure protection des systèmes auxiliaires de refroidissement par eau des installations nucléaires.

Remarque 23

Les revues exécutées dans le cadre des missions d'équipe d'examen de la sécurité en exploitation (OSART) et de l'association mondiale des exploitants de centrales nucléaires (WANO) auraient également dû identifier les points faibles de l'installation. Ces revues ne font pas état de la conception des installations. Il est toutefois possible de s'interroger indirectement sur la conception et la mise à niveau de l'installation à l'aune d'importants enseignements tirés de l'exploitation chez les entreprises membres dans le cadre des «Operating Experience» (OE) par ex. lors de missions OSART par le biais des rapports IRS (par ex. 7342 ou 7788) ou encore lors de missions WANO par le biais des Significant Operating Experience Reports (SOER). Les entreprises membres de la WANO se sont engagées à la vérification particulière des recommandations de la WANO SOER et de faire vérifier l'application des mesures qui en découlent lors de revues de pairs (Peer Reviews). Il s'agit là de la responsabilité propre des exploitants et il n'existe pas d'obligation de transparence vis-à-vis de l'extérieur. Les choses sont un peu différentes pour les équipes d'évaluation de la sécurité en exploitation (OSART), bien que le manque d'obligation d'application des pays vis-à-vis de l'AIEA soit à souligner. Dans le cadre des examens périodiques de sécurité, l'état des installations devrait être contrôlé tous les 10 ans. Mais là encore, on se heurte à des procédures et des références mondiales différentes. Toutefois, l'association de ces trois instruments pourrait, dans le cadre d'un processus continu obligatoire, augmenter mondialement le niveau de sécurité des installations nucléaires.

2.2 Tranche 1

Après l'arrêt automatique du réacteur, l'évacuation de la chaleur résiduelle a été assurée comme prévu par le système RCIC. L'alimentation électrique externe a été maintenue.

Le 11/03/2011 à 15 h 38 environ, le tsunami a entraîné la destruction partielle des prises d'eau de mer, entraînant ainsi la perte de la source froide d'ultime secours.

L'augmentation de la pression régnant dans l'enveloppe de confinement primaire (cuve) a entraîné le lancement automatique du système de refroidissement d'urgence du cœur (Emergency Core Cooling Systems ECCS). TEPCO soupçonne qu'une fuite de caloporteur vers le confinement primaire (perçement de la cuve) se soit produite à cet instant (voir source 13). Après arrêt du système RCIC (12/03/2011, 03 h 48) de l'eau de refroidissement a été injectée à partir du réservoir des condensats froids.

Le 12/03/2011 à 05 h 22, il n'était plus possible d'assurer la décompression en raison de l'ébullition de l'eau contenue dans la chambre de condensation (voir source 14). Mais le soupçon de fuite de caloporteur ne s'est pas confirmé. L'opération d'arrosage à eau diffusée du drywell a débuté le 12/03/2011 à 07 h 10 (voir source 43).

Suite à l'annonce de la «perte de la fonction de décompression», le gouvernement ordonne le 12/03/2011 à 07 h 45 l'évacuation d'une zone d'un rayon de 3 km autour de la centrale et le calfeutrement de la population dans les habitations dans un rayon de 10 km autour de la centrale de Daini. Le 12/03/2011 à 17 h 39, il est ordonné une évacuation dans un rayon de 10 km autour de Daini (voir source 3).

Le 12/03/2011 à 08 h 19, un message d'alarme signale qu'une grappe de commande n'est pas totalement entrée dans le cœur. Cette alarme a été levée à 10 h 43 après vérification que toutes les grappes étaient correctement entrées (voir source 14).

Le 12/03/2011 entre 09 h 43 et 18 h 00, TEPCO a effectué les préparatifs d'éventage du confinement (voir source 14).

Le 14/03/2011 à 01 h 24, le refroidissement du réacteur a pu reprendre après le rétablissement des systèmes de refroidissement de secours et d'évacuation de l'énergie thermique résiduelle par remplacement des moteurs d'entraînement des pompes des circuits auxiliaires de refroidissement. Les tableaux électriques correspondants ayant subi des dommages irréparables, l'alimentation électrique des pompes a dû être assurée par un câblage de fortune (voir source 43).

Le 14/03/2011 à 10 h 15, la température régnant dans le torus avait chuté en dessous de 100°C (voir source 43).

Compte tenu du rétablissement de la fonction d'alimentation en eau de refroidissement des auxiliaires, la nécessité d'éventage du confinement était devenue caduque (voir source 17).

Le 14/03/2011 à 17 h 00, le réacteur était amené en état d'arrêt à froid (voir source 15).

Le 15/03/2011 entre 15 h 20 et 16 h 25, un incident dans l'alimentation électrique des pompes du circuit auxiliaire de refroidissement entraînait l'interruption temporaire du refroidissement de secours et d'évacuation de la charge thermique résiduelle (voir source 16).

Remarque 24

En l'absence de défaillance du réseau électrique externe et du fait du rétablissement rapide des circuits auxiliaires d'alimentation en eau de refroidissement des installations nucléaires, il ne s'est pas produit de relâchement de radioactivité. Ici également, il convient de s'interroger sur les mesures prévues en matière d'alimentation en eau de refroidissement en situation d'urgence et leur présence dans les lignes directrices de gestion en cas d'accident grave (SAMG). De plus, on ne sait pas avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires.

2.3 Tranche 2

Après l'arrêt automatique du réacteur, l'évacuation de la chaleur résiduelle a été assurée comme prévu par le système RCIC. L'alimentation électrique externe a été maintenue.

Le 11/03/2011 à 15 h 38 environ, le tsunami a entraîné la destruction partielle des prises d'eau de mer, entraînant ainsi la perte de la source froide d'ultime secours.

Le 12/03/2011 à 04 h 50, le RCIC a cessé de fonctionner et de l'eau de refroidissement a été injectée dans la cuve du réacteur à partir du réservoir des condensats froids (voir source 14).

Le 12/03/2011 à 05 h 32, il n'était plus possible d'assurer la décompression en raison de l'ébullition de l'eau contenue dans la chambre de condensation (voir source 14).

Le 12/03/2011 entre 10 h 33 et 22 h 58, TEPCO a effectué les préparatifs d'un éventage du confinement (voir source 14).

Le 14/03/2011 à 07 h 13, le refroidissement du réacteur a pu reprendre après le rétablissement des systèmes de refroidissement de secours et d'évacuation de l'énergie thermique résiduelle par remplacement des moteurs d'entraînement des pompes des circuits auxiliaires de refroidissement. Les tableaux électriques correspondants ayant subi des dommages irréparables, l'alimentation électrique des pompes a dû être assurée par un câblage de fortune (voir source 43).

Le 14/03/2011 à 15 h 52, la température régissant dans le torus avait chuté au dessous de 100°C (voir source 43).

Compte tenu du rétablissement de la fonction d'alimentation en eau de refroidissement des auxiliaires, la nécessité d'un éventage du confinement était devenue caduque (voir source 17).

Le 14/03/2011 à 18 h 00, le réacteur était amené en état d'arrêt à froid (voir source 15).

Remarque 25

En l'absence de défaillance du réseau électrique local et du fait du rétablissement rapide des circuits auxiliaires d'alimentation en eau de refroidissement des installations nucléaires, il ne s'est pas produit d'émissions de radionucléides. Ici également, il convient de s'interroger sur les mesures prévues en matière d'alimentation en eau de refroidissement en situation d'urgence et leur présence dans les lignes directrices de gestion en cas d'accident grave (SAMG). De plus, on ne sait pas avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires.

2.4 Tranche

Après l'arrêt automatique du réacteur, l'évacuation de la chaleur résiduelle a été assurée comme prévu par le système RCIC, tandis que l'appoint en caloporteur était assuré à partir du réservoir des condensats froids.

Le 11.03.2011, la vague du tsunami de 15 h 38 n'a pas entraîné la perte de la source froide d'ultime secours et le circuit B d'évacuation de la chaleur résiduelle (residual heat removal system [RHR]) est resté fonctionnel (voir source 43).

Le 12/03/2011 entre 12 h 08 et 12 h 13, TEPCO a préparé, à titre préventif, un éventage du confinement qui s'est révélé par la suite caduque (voir source 14).

Le 12/03/2010 à 12 h 15, le réacteur était amené à l'état d'«arrêt à froid» (voir source 14).

2.5 Tranche 4

Après l'arrêt automatique du réacteur, l'évacuation de la chaleur résiduelle a été assurée comme prévu par le système RCIC. L'alimentation électrique externe a été maintenue.

Le 11/03/2011 à 15 h 38 environ, le tsunami a entraîné la destruction partielle des prises d'eau de mer, entraînant ainsi la perte de la source froide d'ultime secours.

Le 12/03/2011 (l'heure exacte n'est pas connue), le RCIC a cessé de fonctionner et de l'eau de refroidissement a été injectée dans la cuve du réacteur à partir du réservoir des condensats froids (voir source 14).

Le 12/03/2011 à 06 h 07, il n'était plus possible d'assurer la décompression en raison de l'ébullition de l'eau contenue dans la chambre de condensation (voir source 14). L'opération d'arrosage à eau diffusée du drywell a débuté le 12/03/2011 à 07 h 35 (voir source 43).

Le 12/03/2011 entre 11 h 44 et 11 h 52, TEPCO a effectué les préparatifs d'une décompression de l'enceinte de confinement secondaire (voir source 14).

Le 12/03/2011 à 12 h 43, un message d'alarme signale qu'une grappe de commande n'est pas totalement entrée dans le cœur. Cette alarme n'est toutefois pas confirmée et l'arrêt du réacteur s'est effectué correctement (voir source 23).

Le 14/03/2011 à 15 h 42, le refroidissement du réacteur a pu reprendre après rétablissement de la fonction des systèmes de refroidissement de secours et d'évacuation de la charge thermique résiduelle par remplacement des moteurs d'entraînement des pompes des circuits de refroidissements des auxiliaires. Les tableaux électriques correspondants ayant subi des dommages irréparables, l'alimentation électrique des pompes a dû être assurée par un câblage de fortune (voir source 43).

Compte tenu du rétablissement de la fonction d'alimentation en eau de refroidissement des auxiliaires, la nécessité d'un éventage du confinement était devenue caduque (voir source 16).

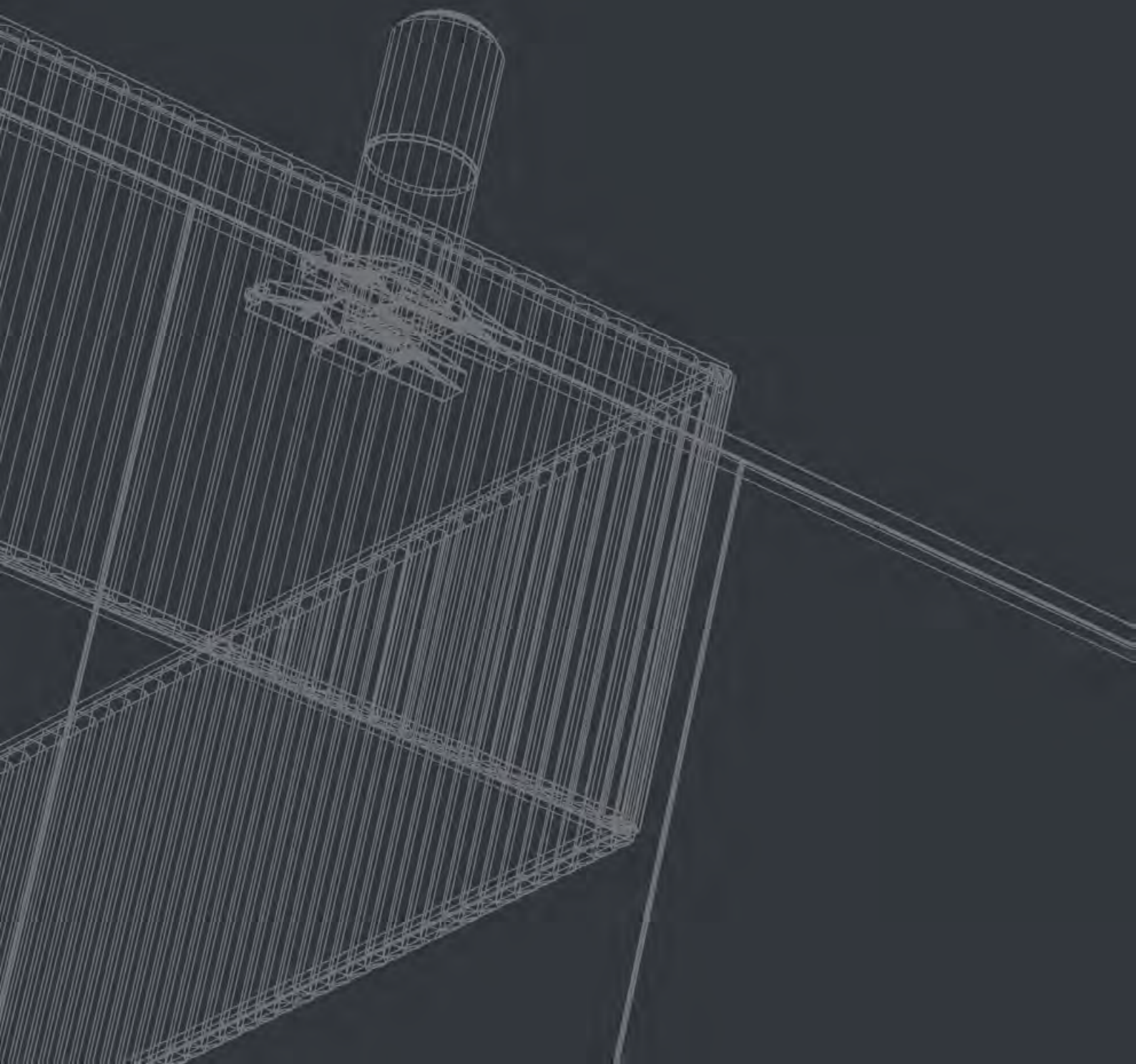
Le 15/03/2010 à 07 h 15, le réacteur était amené à l'état d'«arrêt à froid» (voir source 43).

Remarque 26

En l'absence de défaillance du réseau électrique local et du fait du rétablissement rapide des circuits auxiliaires d'alimentation en eau de refroidissement des installations nucléaires, il ne s'est pas produit d'émissions de radionucléides. Ici également, il convient de s'interroger sur les mesures prévues en matière d'alimentation en eau de refroidissement en situation d'urgence et leur présence dans les lignes de directrices de gestion en cas d'accident grave (SAMG). De plus, on ne sait pas avec précision si les opérateurs disposaient sur place d'un matériel suffisant pour appliquer les mesures d'urgence nécessaires.

Fukushima

37° 25' 26.57" N, 141° 1' 56.87" E
11.03.2011



3 Abréviations

AAR	Arrêt Automatique du Réacteur Safety Control Rod Axe Man (SCRAM)
AC	Courant alternatif triphasé Alternate Current
AIEA	Agence Internationale pour l'Energie Atomique International Atomic Energy Agency (IAEA)
BAF	Bottom of Active Fuel
CDU	Critère de défaillance Unique Common Cause Failure (CCF)
DC	Courant continu Direct Current
DDL	Débit de dose local
DW	Drywell
ECCS	Système de refroidissement d'urgence du coeur Emergency Core Cooling System
GE	General Electric Company
GEM	Groupe Electrogène Mobile Power Supply Vehicles (PSV)
HPCI	Pompe d'alimentation pour injection de caloporteur sous haute pression High Pressure Coolant Injection
IC	Condenseur d'Isolément Isolation Condenser
IRS	Incident Reporting System
JAIF	Forum de l'Industrie Atomique du Japon Japan Atomic Industrial Forum Inc.
JMA	Agence météorologique du Japon Japan Meteorological Agency
JST	Japan Standard Time
LL	Low Low - Niveau très bas
LOCA	Accident de perte de réfrigérant Loss of Coolant Accident
LOOP	Perte du réseau d'alimentation électrique extérieur Loss of Off-Site Power
METI	Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie Ministry of Economy, Trade and Industry
MW _{th}	Mega Watt thermique
NISA	Agence de Sécurité Industrielle et Nucléaire Nuclear and Industrial Safety Agency

OE	Operating Experience
OSART	Equipe d'examen de la sûreté en exploitation Operational Safety Team
RCIC	Reactor Core Isolation Cooling
REB	Réacteur à Eau Bouillante
RHR	Evacuation de la chaleur résiduelle Residual Heat Removal
SAMG	Lignes directrices de gestion en cas d'accident grave Severe Accident Management Guidelines
SOER	Significant Operating Experience Reports
SRV	Soupape de sûreté Safety Relief Valve
SBO	Station Blackout
TAF	Haut râtelier du combustible Top of Active Fuel
TEPCO	Tokyo Electric Power Company
TMI	Three Mile Island
USNRC	United States Nuclear Regulatory Commission
WANO	Association mondiale des exploitants de centrales nucléaires World Association of Nuclear Operators

4 Bibliographie

- 1 Sequence of Developments at Nuclear Power Stations Affected by the Earthquake Japan Atomic Industrial Forum Inc (JAIF) 2011-03-18 <http://www.jaif.or.jp/english/aij/member/2011/2011-03-18c.pdf>
- 2 Boiling Water Reactor, GE BWR/4, Technology Advanced Manual, Chapter 6.0, BWR Differences, USNRC Technical Training Centre Rev. 1195 <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0230/ML023010606.pdf>
- 3 Seismic Damage Information (80th release), Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA) 2011-04-08 <http://www.nisa.meti.go.jp/english/files/en20110411-1.html>
- 4 Press Release (Mar 12, 2011), Impact to TEPCO's Facilities due to Miyagiken-Oki Earthquake (as of 3PM), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-12 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031222-e.html>
- 5 Press Release (Mar 12, 2011), White smoke around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 1, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-12 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031225-e.html>
- 6 Current Status of Units 1 to 4 at Fukushima Daiichi NPS (as of noon, March 17, 2011), Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-03-18 <http://www.jaif.or.jp/english/aij/member/2011/2011-03-18a.pdf>
- 7 Press Release (Mar 14, 2011), Occurrence of a Specific Incident (Failure of reactor cooling function) Stipulated in Article 15, Clause 1 of the Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-14 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031403-e.html>
- 8 Press Release (Mar 13, 2011), Occurrence of a Specific Incident Stipulated in Article 15, Clause 1 of the Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-13 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031303-e.html>
- 9 Earthquake Report No.66: 20:00, April 28, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-04-28 http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1303986888P.pdf
- 10 Earthquake Report No.83: 18:00, May 16, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-05-16 http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1305536094P.pdf
- 11 Integrity Inspection of Dry Storage Casks and Spent Fuel at Fukushima Daiichi, ISSF 2010 Session 6, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2010-11-16
- 12 Press Release (Apr 18, 2011), Status of TEPCO's Facilities and its services after the Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Oki Earthquake (as of 4:00PM, April 18th), Past Progress Report, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-04-18 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11041804-e.html>
- 13 Press Release (Mar 11, 2011), Occurrence of a Specific Incident Stipulated in Article 10, Clause 1 of the Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness (Fukushima Daiichi), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-11 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031104-e.html>

- 14 Press Release (Mar 12, 2011), Plant Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (as of 11pm March 12th), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-12 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031233-e.html>
- 15 Press Release (Mar 15, 2011), Plant Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (as of 7:15 am Mar 15th), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-15 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031501-e.html>
- 16 Press Release (Mar 16, 2011), Impact to TEPCO's Facilities due to Tohoku-Taiheiyou-Oki Earthquake (as of 2:00PM), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-16 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031608-e.html>
- 17 Press Release (Mar 18, 2011), Status of TEPCO's Facilities and its services after Tohoku-Taiheiyou-Oki Earthquake (as of 10:00AM), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-18 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031802-e.html>
- 18 Status of the Spent Fuel Pool of Unit 3 of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, (video on May 8th, 2011), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-08 <http://www.tepco.co.jp/en/news/110311/index-e.html>
- 19 Japan's Nuclear Accident - Update Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) 2011-05-02
- 20 Earthquake Report No.84: 18:00, May 17, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-05-17 http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1305623138P.pdf
- 21 Status of the Spent Fuel Pool of Unit 4 of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-08 <http://www.tepco.co.jp/en/news/110311/index-e.html>
- 22 Press Release (May 15, 2011), Results of nuclide analyses of radioactive materials in water taken in common spent fuel pool of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-15 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11051510-e.html>
- 23 Press Release (Mar 13, 2011), Plant Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (as of 8pm March 13th), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-13 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031311-e.html>
- 24 Press Release (Mar 12, 2011), Plant Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (as of 8pm March 12th), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-12 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031230-e.html>
- 25 Press Release (Apr 01, 2011), Plant Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (as of 4:00 pm April 1st), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-04-01 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11040104-e.html>
- 26 Earthquake Report No.91: 18:00, May 24, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-05-24 http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1306229916P.pdf
- 27 Tsunami Information (Estimated Tsunami arrival time and Height), Japan Meteorological Agency 2011-03-11, 14:49 http://www.jma.go.jp/en/tsunami/info_04_20110311145026.html

- 28 Press Release (Mar 11, 2011), Occurrence of a Specific Incident Stipulated in Article 15, Clause 1 of the Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness (Fukushima Daiichi), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-11 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11031103-e.html>
- 29 Earthquake Report No.58: 20:00, April 20, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-04-20 http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1303298461P.pdf
- 30 Press Release (Apr 20, 2011), Status of TEPCO's Facilities and its services after the Tohoku-Chihou-Taiheiyoku-Oki Earthquake (as of 9:00AM, April 20th), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-04-20 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11042001-e.html>
- 31 Pictures of Tsunami that hit the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (pictured on March 11, 2011), Place: North side of Radiation Waste Treatment Facility taken from 4th floor, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-19 <http://www.tepco.co.jp/en/news/110311/index-e.html>
- 32 Press Release (May 16, 2011), Submission of report to the Ministry of Economy, Trade and Industry on the damage of electric facilities inside and outside of Fukushima Daiichi NPS and the situation of recovering offsite power supply through emergency measures since the Tohoku-Taiheiyoku-Oki Earthquake Report regarding Collection of Reports pursuant to the Provisions of Article 106, Paragraph 3 of the Electricity Business Act, esp. Appendix 5, Damages to electric facilities at Fukushima Dai-ichi, Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-16 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11051613-e.html>
- 33 Reactor Core Status of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station Unit 1, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-15 http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/110515e10.pdf
- 34 Mark I Containment Report, Nuclear Energy Institute (NEI) 2011-03-19 http://www.nei.org/filefolder/Report_-_BWR_Mark_I_Containment_03192011_2.pdf
- 35 Press Release (Mar 20, 2011), Plant Status of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (as of 6:00 PM Mar 20th), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-03-20 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11032009-e.html>
- 36 Information on Status of Nuclear Power Plants in Fukushima, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-06-01 http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1306898792P.pdf
- 37 Press Release (May 10, 2011), Results of Nuclide Analyses of (Radioactive Materials in the) Water in Spent Fuel Pool of Unit 3 at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-10 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11051009-e.html>
- 38 Press Release (May 09, 2011), Results of analysis of spent fuel pool water of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Unit 4 (2nd continued report), Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-09 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11050905-e.html>
- 39 Informationen zur Lage in Japan: Stand 05.04.2011, 12:30 Uhr (MESZ), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH 2011-04-05 <http://fukushima.grs.de/kommunikation-medien/japan-status-meldung-stand-05-04-2011-1230>

- 40 Status of nuclear power plants in Fukushima as of 21:00 March 22 (Estimated by JAIF), Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-03-22 http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1300796691P.pdf
- 41 Press Release (May 20, 2011), Report to Nuclear and Industrial Safety Agency on emergency countermeasures for safety at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-20 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11052017-e.html>
- 42 Status of cores at Units 2 and 3 in Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-05-23
- 43 Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations - June 7, 2011 http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html
- 44 Press Release (Jun 18, 2011), First Response at Tohoku Chihou Taiheiyoku Oki Earthquake in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (TEPCO) 2011-06-18 <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11061805-e.html>
- 45 Recommendations for enhancing reactor safety in the 21st century, The near-term task force review of insights from the Fukushima Dai-ichi accident, United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC) July 12, 2011 <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1118/ML111861807.pdf>
- 46 IAEA International fact finding expert mission of the Fukushima Dai-ichi NPP accident following the great east Japan earthquake and tsunami, International Atomic Energy Agency (IAEA) June 16, 2011 http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2011/cn200/documentation/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf
- 47 Earthquake Report No.177: 12:00, August 18 Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF) 2011-08-18 http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1313640580P.pdf



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN

Swiss Confederation

Editeur

Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Service d'information
CH-5200 Brugg
Téléphone 0041 (0)56 460 84 00
Téléfax 0041 (0)56 460 84 99
info@ensi.ch
www.ensi.ch

ENSI-AN-7995
Publié le 26.08.2011

