

## L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA

### 1. LE DÉROULEMENT

#### 1.1. LE DÉCLENCHEMENT DE L'ACCIDENT

Le **11 mars 2011** à 14h 46<sup>1</sup>, un séisme de magnitude 8,9 s'est produit à 80 km à l'Est de l'île d'Honshu au Japon à 25 km de profondeur. Dans les 4 centrales nucléaires<sup>2</sup>, situées à moins de 150 km de l'épicentre, les 11 réacteurs en fonctionnement se sont mis à l'arrêt automatiquement.

A la centrale de Fukushima Dai-ichi (6 REB\* : R1 de 460 MWe; R2 à R5 de 784 MWe; R6 de 1100 MWe<sup>3</sup>), l'alimentation électrique est détériorée par le tremblement de terre, et le personnel de TEPCO<sup>4</sup> met en service le refroidissement de secours des réacteurs (MWe = mégawatt électrique).

Mais le tsunami, qui résulte de la rupture de la faille en mer sur plusieurs centaines de kilomètres, atteint une heure plus tard (à 15h 41) Fukushima Dai-ichi avec une vague haute de 14 m qui submerge le site, dimensionné pour une vague de 6,5 m. Les générateurs diesel de secours sont rendus inutilisables (sauf celui de R5).

L'autonomie des batteries de secours n'est que de 30 minutes, très rapidement les salles de commande ne sont plus éclairées et les systèmes de contrôle-commande sont inopérants. La station de pompage est touchée, ce qui conduit à la perte de la source froide.

Les 3 réacteurs (R1, R2, R3) qui étaient en fonctionnement<sup>5</sup> ne sont plus refroidis, ni les 7 piscines de combustibles usés<sup>6</sup>. Or la chaleur résiduelle due à la radioactivité<sup>7</sup> requiert un refroidissement permanent, y compris à l'arrêt.

#### 1.2. LA DÉGRADATION DE LA SITUATION

Les REB (**réacteur à eau bouillante** (voir annexe 1)) sont munis d'une turbine de secours fonctionnant avec la vapeur produite dans le réacteur qui se condense dans le collecteur de décompression à condition que T<100°C. Son fonctionnement s'est arrêté, faute de source froide : le 11 mars à 16h 36 dans R1, le 13 mars à 2h 44 dans R3 (batteries vides), le 14 mars à 13h25 dans R2.

**Le 12 mars**, à 15h 36, soit 24 heures après le séisme, une **explosion d'hydrogène intervient dans le réacteur N°1 (R1)**, causant la destruction de la partie supérieure du bâtiment et l'effondrement du toit. Les valeurs maximales de débit de dose sont de l'ordre de 1 mSv/h dans l'environnement à proximité de la centrale. La population est évacuée dans un rayon de 20 km<sup>8</sup>. Que s'est-il passé ?

Faute de refroidissement, la pression de la vapeur augmente dans la cuve du réacteur ; pour protéger l'intégrité de la cuve primaire<sup>9</sup>, l'opérateur ouvre le 12 mars à 14h 30 la vanne de décharge vers le collecteur humide, ce qui provoque la baisse du niveau de l'eau dans le cœur.

Quand le cœur est dénoyé aux 2/3, la température du combustible dépasse 900°C, entraînant la rupture du gainage des crayons combustibles et le relâchement des produits de fission radioactifs.

<sup>1</sup> Les temps sont donnés en heure locale

<sup>2</sup> Du nord au sud : Onagawa (3 réacteurs) ; Fukushima Dai-ichi (6 réacteurs) ; Fukushima Dai-ni (4 réacteurs) ; Tokai-Mura (1 réacteur)

<sup>3</sup> La puissance thermique est 3 fois supérieure

<sup>4</sup> TEPCO : Tokyo Electric Power Corporation, exploite 3 centrales nucléaires au Japon (17 réacteurs)

<sup>5</sup> Les réacteurs R4, R5 et R6 avaient été vidés de leur combustible usé pour rechargement

<sup>6</sup> Leur remplissage en éléments combustibles irradiés est le suivant : R1 : 292 ; R2 : 587 ; R3 : 514 ; R4 : 1331 ; R5 : 946 ; R6 : 876. La piscine commune du site contient de l'ordre de 6200 assemblages

<sup>7</sup> La chaleur du cœur chute à 1% du nominal thermique au bout d'un jour, et 0,5 % au bout de 5 jours ; cela représente par réacteur plusieurs MW à évacuer

<sup>8</sup> Simultanément, la population autour de Dai-ni est évacuée dans un rayon de 10 km, car le tsunami a créé des dégâts importants.

<sup>9</sup> L'épaisseur d'acier est 3 cm, la pression admissible : 4 à 5 bar ; or elle a atteint 8 bar

Quand le cœur est dénoyé aux 3/4, la température du combustible dépasse 1200°C, ce qui provoque une réaction Zr-H<sub>2</sub>O et la production d'hydrogène (la réaction est exothermique et s'auto-entretient). L'hydrogène H<sub>2</sub> est alors poussé par la pression à travers le collecteur humide jusqu'à l'enceinte étanche.

Dans R1, on estime à 300 - 600 kg la quantité d'hydrogène produite, or il n'y a pas de ventilation (faute d'électricité) permettant de l'évacuer au fur et à mesure.

Cinq heures après l'explosion, à 20h 20, (soit après un délai de 27h sans eau), l'exploitant arrive à installer une injection d'eau de mer chargée en acide borique dans le R1.

Le 13 mars, l'exploitant dépressurise le circuit primaire de R3 à 8h 41 et branche le refroidissement à l'eau de mer boratée à 9h 38 (le cœur est resté 7h sans eau).

Le porte-parole du gouvernement évoque la possibilité d'une défaillance d'une vanne du réacteur n°3, ce qui pourrait expliquer que le niveau de l'eau ne remonte pas comme prévu malgré l'injection d'eau de mer.

**Le 14 mars à 11 h, une explosion hydrogène dans R3** entraîne des dégâts considérables.

On évalue à 300 – 1 000 kg la quantité d'hydrogène produit. Des camions citernes sont endommagés, et il n'est plus possible d'injecter de l'eau de mer dans 3 réacteurs simultanément. La salle de contrôle reste opérationnelle, mais on annonce 11 blessés.

A noter que ces explosions, qui détruisent les toits en tôle, sont spectaculaires mais n'ont heureusement qu'un faible impact sur la tenue du bâtiment réacteur en béton armé. La balise MP3 au nord ouest du site affiche 230 µSv/h le 14 mars à 14h 30. (Voir schéma ci-après.)

Sur **R2**, la dépressurisation de la cuve primaire est effectuée dès le 13 mars à 0h 00. Le toit est percé le 14 mars pour éviter une explosion. Il se produit une combustion de l'hydrogène dans le bâtiment réacteur endommageant le collecteur de condensation, conduisant à des rejets radioactifs de produits de fission (on note des pics locaux de radioactivité de 400 mSv/h, qui conduisent à une évacuation momentanée du site. L'eau de mer est branchée le 14 mars à 16h 34 (7h sans eau).

**Le 15 mars**, les autorités informent l'AIEA d'une explosion vers 6h 20 et d'une perte de la pression dans le tore de R2, indiquant une **perte d'étanchéité du circuit primaire**.

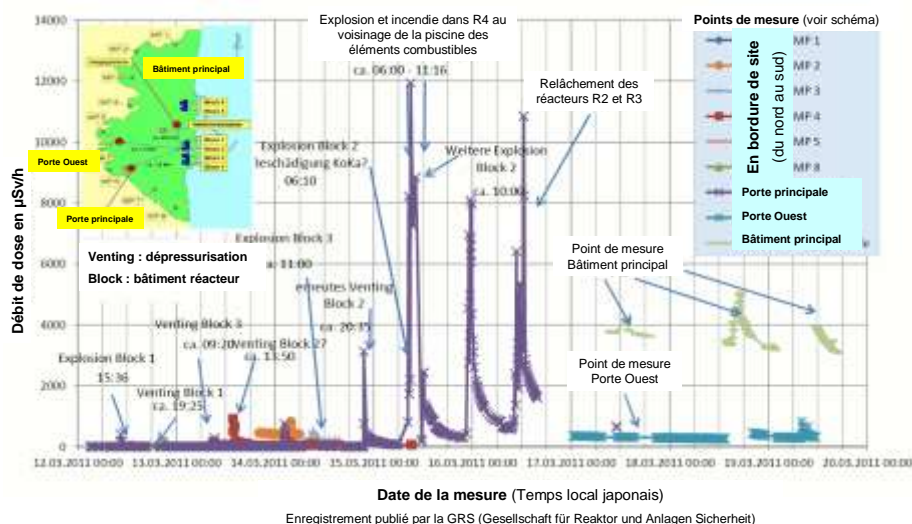
Au final, on estime que :

- R3 (et aussi R2, R1) a atteint 1 800°C, avec fusion des gaines et des structures d'acier
- R2 (et R1) a atteint 2 500°C avec rupture des éléments combustibles, et débris dans le cœur
- R1 a atteint 2 700°C avec fusion de l'eutectique uranium-zirconium et risque de percement de la cuve primaire

**Le 15 mars à 6h**, on observe **dans le réacteur R4** une **explosion qui endommage le toit**, suivie le 16 mars d'incendies, éteints à 12h 25. Le cœur était déchargé, tout le combustible étant dans la piscine. La radioactivité est relâchée directement dans l'atmosphère.

Ce sont ces rejets des 15 et 16 mars qui ont conduit aux dépôts de radiocésium qui impacteront les populations avoisinantes (voir § 5.1).

Les nouvelles secousses sismiques de magnitude 6,6 enregistrées le 11 avril à 8h 16 GMT et le 12 avril à 5h 07 créent une rupture momentanée de l'alimentation électrique mais pas de dommage supplémentaire important.



## 2. LES DÉGATS

Situation au 24 mars (Le Point N°2010) NB : la photo publiée était à l'envers



Réacteur 4	Réacteur 3	Réacteur 2	Réacteur 1
Le bâtiment est endommagé. Une 1 <sup>ère</sup> ébullition de la piscine a été stoppée.	Son cœur est endommagé. Crainte d'un incendie dans la piscine qui contient du combustible MOX.	33% du cœur du réacteur est détérioré. L'enceinte de confinement est endommagée mais toujours étanche. La piscine est en ébullition.	Le cœur est endommagé à 70%, mais son refroidissement est toujours assuré et l'enceinte de confinement résiste. Fuite probable de la piscine de stockage du combustible.

Dans les salles de commande, le niveau de radiations est très important, limitant le temps de présence des intervenants.

## 3. LES CAUSES

### 3.1. LA PROTECTION CONTRE LES TSUNAMIS

La réglementation japonaise prévoit que le radier d'un réacteur nucléaire repose sur la roche ; de ce fait, les fondations des 4 premiers réacteurs de Dai-ichi sont pratiquement au niveau de la mer. La plate-forme est surélevée à 6,5 m, le tsunami qui a été pris comme référence étant celui du Chili de 1960 (consécutif à un séisme de magnitude 9,5).

Certains spécialistes japonais considèrent que les réacteurs ont été construits pendant une période de faible sismicité, or la situation a évolué à partir de 1995 (catastrophe de Kobé). Les réacteurs N°5 et 6 ont été construits plus en hauteur, et le générateur diesel de R5 a résisté à la vague.

### 3.2. LA PROTECTION CONTRE L'ACCUMULATION D'HYDROGÈNE

Suite à l'accident de TMI, les REP français ont été munis de recombineurs d'hydrogène. Cette mise à niveau de la sûreté ne semble pas faire partie des pratiques japonaises. (En France, la sûreté des installations est réévaluée tous les 10 ans).

Les missiles issus de l'explosion de R1 ont endommagé R3, qui a explosé ultérieurement : l'exploitant ne semble pas avoir tiré de leçon de l'explosion de R1, ou n'avoir pas eu les moyens de le faire compte tenu de la situation. Cette remarque est à modérer par le fait que pour R2, dont le toit a été percé préventivement, les dégâts causés par l'incendie semblent in fine avoir eu des conséquences radiologiques aussi pénalisantes pour ce qui est des rejets.



### 3.3. LA CONCEPTION DES PISCINES

Le fait d'équiper chaque réacteur d'une piscine de stockage du combustible en partie supérieure facilite l'exploitation de la centrale mais a gravement compliqué la gestion de l'accident. Leur perte d'étanchéité est attribuée au tremblement de terre.

## 4. LA LENTE RÉCUPÉRATION DE LA SITUATION

On distingue (voir annexe 2) les phases principales suivantes :

- refroidissement par l'eau de mer, jusqu'au 25 mars, par de l'eau douce ensuite
- reprise par les diesels sur R5 et R6
- récupération de la puissance électrique : les salles de commande sont réalimentées dans la période du 22 au 29 mars, ce qui permet de rétablir des mesures en ligne et de procéder à des actions à distance ; les travaux de renforcement sont conduits jusqu'au 19 avril
- vidange vers des baches de l'eau contaminée du collecteur torique, pour y récupérer l'eau de la cuve primaire fortement contaminée
- commence à partir du 19 avril le traitement de l'eau sur l'installation construite spécialement, ce qui permet notamment à l'opérateur de recouvrer l'accès aux locaux inférieurs des bâtiments
- la feuille de route de TEPCO prévoit :
  - dans les 3 mois : l'objectif est de diminuer progressivement le niveau radiologique, de fiabiliser le refroidissement des réacteurs et des piscines, de prévenir une extension de la contamination des eaux et du sol (fixation de la contamination en césium radioactif pour permettre la circulation du personnel)
  - dans un délai de 6 à 9 mois maximum : réduction significative du niveau radiologique, notamment par le renforcement et le recouvrement des bâtiments réacteurs endommagés.

Le traitement des eaux concerne :

- les 100 000 tonnes d'eau provenant principalement des soubassements des bâtiments des turbines : elles seront traitées par un procédé de coprécipitation mis au point par AREVA à La Hague et mis en œuvre par VEOLIA, dans une usine mise en service le 17 juin<sup>10</sup>
- les 120 tonnes d'eau primaire, qui seront traitées en boucle, suivant un procédé mis au point pour TMI par la société Kurion pour récupérer le césium radioactif

Le CEA a fourni les données qu'il a établies concernant les procédés de traitement d'une pollution radioactive : captation de césium et d'iode en milieu salin (eau de mer), polymères absorbants de matières radioactives, plantes pour la phytoremédiation des sols.

En juillet 2011, le gouvernement japonais autorise la remise en service des réacteurs arrêtés par précaution (seuls 17 réacteurs sur 54 étaient restés en fonctionnement depuis le 11 mars).

## 5. LES CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES

### 5.1. POUR LES POPULATIONS

Très tôt, les autorités japonaises ont pris des mesures pour protéger les populations.

Le **11 mars** à 19h, le gouvernement déclare l'état de crise nucléaire. A 21h 23, les directives sont prises pour évacuer la population dans un rayon de 3 km, et confiner celles incluses dans un rayon de 10 km.<sup>11</sup>

Le **12 mars**, les autorités décident à 5h 44 l'évacuation de la population dans le rayon de 10 km.

Cette mesure est mise en œuvre 12 heures plus tard pour les centrales de Dai-ni (10 km) et Dai-ichi (20 km).

Le **15 mars**, la directive sur l'administration d'iode stable est émise par la cellule de crise locale.

Le **21 mars**, le transport des épinards, du kakina et du lait sont suspendus au niveau national.

Le **25 mars**, l'évacuation des résidents de la zone des 30 km est promue sur la base du volontariat.

Le **12 avril**, l'accident affectant R1, R2 et R3 de Dai-ichi est reclassé du niveau 5 au niveau 7.

Le **21 avril**, la mesure d'évacuation de la population avoisinant Dai-ni est ramenée à 8 km, tandis que la zone d'évacuation des 20 km autour de Dai-ichi devient zone interdite à la population.

<sup>10</sup> Construite en un temps record, cette usine de 40m x 15m x 20m de haut sera capable de traiter 50 tonnes par heure avec un facteur de décontamination 1000 à 10.000. L'eau décontaminée sera recyclée dans les circuits de refroidissement

<sup>11</sup> Des mesures similaires sont prises le 12 mars à 7h45 pour la centrale de Dai-ni

Rejets (en PBq) <sup>12</sup>	Tchernobyl	Fukushima Dai-ichi	On estime les rejets de Fukushima Dai-ichi à 10 % de ceux de <u>Tchernobyl</u> . Mais contrairement à la centrale soviétique qui avait subi l'explosion et l'incendie de son cœur, dispersant les rejets contaminés en altitude avec des retombées sur un vaste territoire, les rejets de la centrale nipponne sont restés concentrés au niveau du sol.
Gaz rares	7000	2000	
131 I	1500	90	
137 Cs	35	10	

Les vents qui, dans un premier temps, soufflaient vers le nord-est et l'océan, ont tourné au nord-ouest, laissant une bande contaminée de 450 km<sup>2</sup> (les taches de contamination se répartissent sur un ruban de 45 km de long et 10 km de large).

L'IRSN a établi très tôt une estimation des doses que la population recevrait au bout d'un an, de 10 ans et sur la vie. La population affectée pourrait atteindre près de 70 000 personnes hors zone d'exclusion (voir annexe 3), soit un quart de l'effectif concerné par Tchernobyl, pour une surface nettement moindre (874 km<sup>2</sup> contre 10 300 km<sup>2</sup>).

La description des mesures spécifiques de protection des populations vis-à-vis du risque radioactif, qui seront prises par les autorités japonaises quand les plaies de l'inondation catastrophique auront été pansées, fera l'objet d'un suivi de leur efficacité, et de mises à jour de cette fiche par le GAENA.

## 5.2. POUR LES OPÉRATEURS

Pour les 800 opérateurs de la centrale, la situation mesurée par dosimètre individuel au 29 avril était la suivante : 29 (dont 3 sous-traitants) ont été exposés à une dose supérieure à 100 mSv.

Aucun n'a été exposé à une dose externe supérieure à 250 mSv corps entier, limite maximale admise en intervention, sauf deux opérateurs accidentellement exposés à une eau très contaminée, à un niveau de 2 à 3 Sv au niveau de la jambe.

A la mi-juin ont été publiés les résultats concernant les prises de sang : sur 2367 travailleurs examinés (sur un total de 3726) 8 ont été exposés à une dose comprise entre 250 et 680 mSv (au dosimètre : seulement 2 dépassaient 250 mSv), en raison de l'exposition interne (masque mal ajusté) que le dosimètre ne mesure pas. Deux opérateurs ont été contaminés au niveau de la thyroïde par l'iode-131 : leur exposition est de 580 mSv.

Mentionnons que des traces de plutonium ont été détectées sur le site, au niveau de contamination des retombées des essais atmosphériques nord-coréens. Un tiers des points de contamination identifiés semble imputable à une contamination due à l'accident.

## 6. LES LEÇONS TIRÉES

Cet accident, classé au niveau 7 de l'échelle INES, n'a pas fait de victime nucléaire : 2 opérateurs sont morts noyés, un écrasé par une grue, un autre d'un accident cardiaque, alors que les ouvriers réalisaient des opérations de maintenance au moment du séisme.

Soulignons aussi la bonne résistance des réacteurs à un séisme de magnitude 9 sur l'échelle de Richter, avec une accélération de 0,3 g, alors qu'ils avaient été dimensionnés pour une magnitude 7 : les marges prises pour les calculs ont montré là leur pertinence.

Par contre, **l'importance des tsunamis a été fortement sous-évaluée : il s'en est produit 10 importants au Japon entre 1605 et 1933, totalisant 95 000 victimes, les plus meurtriers étant ceux de 1707 (30 000 victimes) et de 1896 (25 000 victimes).**

Il sera important que les autorités japonaises établissent les responsabilités quand elles auront pansé les plaies de la catastrophe. Déjà, l'agence de sûreté (NISA) qui dépendait du ministère de l'industrie (METI) a été transformée en autorité de sûreté indépendante.

On ne peut qu'approuver les choix faits après Tchernobyl pour l'EPR (il est dimensionné pour contenir la fusion du cœur), malgré les critiques en raison des surcoûts qui constituent une des causes de la perte du marché des Emirats.

En matière d'agression naturelle, il apparaît qu'on n'a pas pris en compte de défense en profondeur, ni prévu de combinaison d'agressions (séisme / incendie / inondation).

Il faut en toute circonstance<sup>13</sup> assurer une autonomie en alimentation électrique et en source froide d'autant que, lors d'un cataclysme naturel, on ne peut guère compter sur une réponse rapide de l'extérieur<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> Un pétabecquerel (PBq) signifie 10<sup>15</sup> becquerels, ou 27000 curies

<sup>13</sup> Comme illustration, lors de la remise à niveau de sûreté de Phénix, l'hypothèse a été prise en compte d'une perte de la source froide occasionnée par le changement de lit du Rhône à la suite d'un séisme majeur.

<sup>14</sup> Il a fallu 2 jours pour amener du matériel lourd de Tokyo distante de 250 km à la centrale, compte tenu des dégâts sur les voies de circulation.

Des évaluations de résistance aux catastrophes naturelles sont organisées en Europe d'ici fin 2011 par l'association ENSREG<sup>15</sup> à laquelle s'est jointe l'Ukraine.

Alors que certains pays remettent en cause la poursuite du nucléaire, d'autres se positionnent sur une relance avec des normes de sûreté renforcées et acceptées au plan international.

## BIBLIOGRAPHIE

IRSN : publications ([www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)) – d'où sont tirées les figures présentées

IRSN/DRPH rapport N°2011/10 : Évaluation au 66ème jour des doses externes projetées pour les populations vivant dans la zone de retombée nord-ouest de l'accident nucléaire de Fukushima

Roland MASSE : « Fukushima, quels risques sanitaires ? » ; Risques N°86, juin 2011

RGN N°2 Mars-Avril 2011, notamment : Luc Oursel, « Fukushima, premiers regards sur l'accident »

SFEN Bulletin de liaison N°373 (juillet 2011)

B. Barré, présentation du 27 avril 2011 à ICSM (Marcoule)

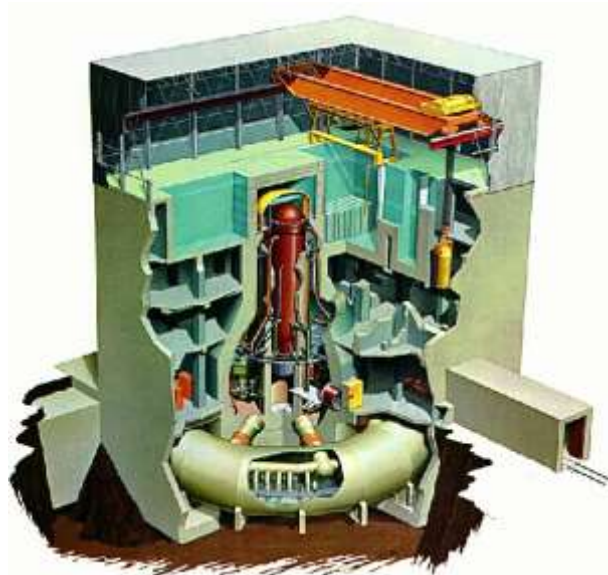
B. Bigot, entretien au Midi Libre du 8 avril 2011

Matthias Braun, Fukushima accident, AREVA-NP GmbH

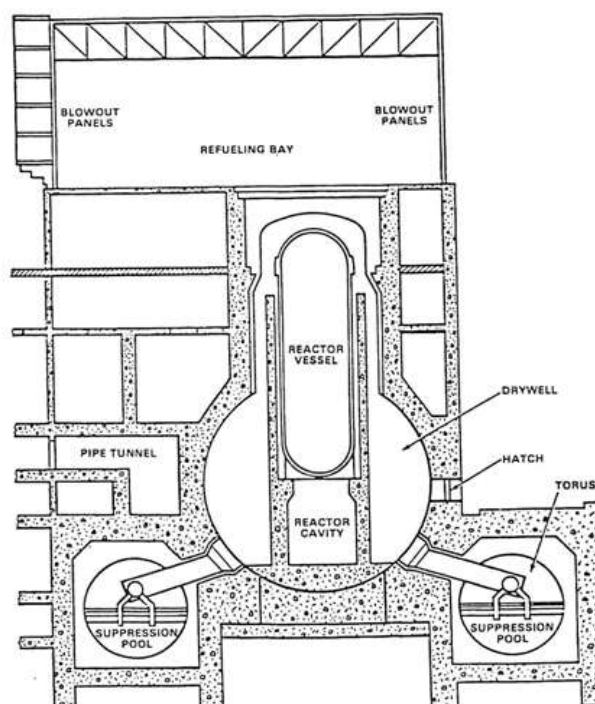
Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA) : "The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Pacific Earthquake and the seismic damage to the NPPs" April, 2011 ; Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES)

## ANNEXE 1

### LES REB (RÉACTEUR À EAU BOUILLANTE) OU BWR (BOILING WATER REACTOR)



REACTOR VESSEL : cuve primaire ; DRYWELL =  
enceinte de confinement  
SUPPRESSION POOL = collecteur (torique) de  
décompression



Lors d'un éventuel accident faisant croître la pression dans l'enceinte (DRYWELL), les gaz incondensables sont prélevés dans la chambre torique de décompression (SUPPRESSION POOL) dont l'eau joue le rôle de pré-filtre intérieur (piégeage par barbotage). Ce système ne nécessite aucune action humaine, ni aucune énergie externe pour fonctionner en cas d'accident, mais son autonomie est limitée à quelques heures (turbopompe alimentée par la vapeur produite dans le coeur), tant que la température du collecteur n'atteint pas les 100°C. Au-delà, il est possible de procéder à un rejet contrôlé à travers un filtre dédié (HATCH) de façon à limiter la montée en pression dans l'enceinte étanche.

Les caractéristiques des REB les ont fait écarter en France au début des années 1970, lors du choix de réacteur devant succéder aux UNGG : pression plus basse donc rendement thermodynamique moindre, absence de circuit secondaire, conduisant à une irradiation accrue du personnel, croix de contrôle poussées de bas en haut par des vérins (la partie supérieure de la cuve primaire est occupée par le système de traitement de la vapeur (sècheur, surchauffeur) nécessaire avant d'attaquer la turbine, ce qui ne permet pas d'installer des

<sup>15</sup> European Nuclear Safety Regulators

barres d'arrêt fonctionnant par chute gravitaire), pas de contrôle de la réactivité par eau borée à cause de la turbine (sauf urgence).

Comme fait aggravant dans le cas des réacteurs japonais, les piscines de stockage de combustible sont placées dans le bâtiment réacteur au-dessus de l'enclaustrée étanche.

Contrairement aux REP, les REB ont dû beaucoup évoluer pour se mettre au niveau des normes de sûreté de la génération 3 ; sur 61 réacteurs en construction en 2011, 53 sont des REP.

## ANNEXE 2

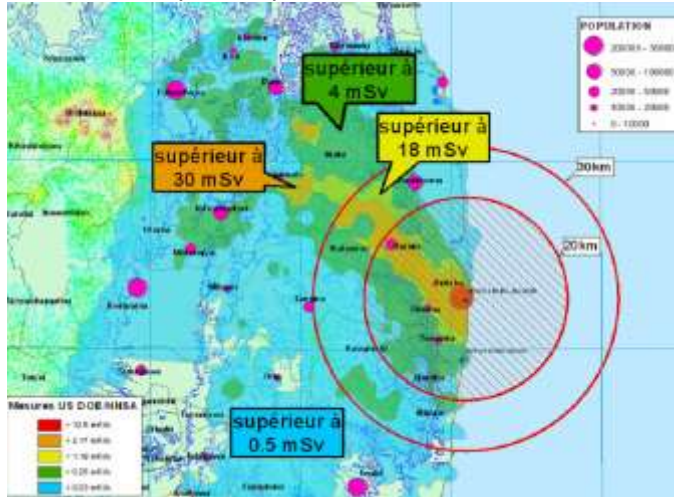
### DÉROULEMENT DE LA PHASE DE RÉCUPÉRATION DE L'ACCIDENT DU 16 MARS AU 23 AVRIL

Date	Réacteur	Situation et actions de récupération
16 mars 21 mars	R3 R2	Production continue de fumée blanche qui subsiste sur R2 jusqu'au 31 mars
17-20 mars	R3	Tentatives d'aspersion depuis l'extérieur : 4 lâchers d'eau par hélicoptères ; Aspersion par camions munis de lances à incendie
20-27 mars	R4	Aspersion par camions munis de lances à incendie puis de tuyau à ciment
20 mars 23 mars	R2 R3	Injection d'eau de mer dans la piscine de stockage des éléments irradiés
22 mars	R1	Montée de la température (383°C) qui ne redescendra à 144° que le 26 mars
23 mars	R1	Alimentation en eau (7m3/h) en complément de la ligne d'incendie.
22 mars 24 mars 26 mars 29 mars	R3 R1 R2 R4	L'éclairage de la salle de commande est rétabli
25 mars	R1, R3	Début de l'injection d'eau douce
25 mars 27 mars 28 mars	R1 R2 R3	La cuve primaire est alimentée directement par une pompe complémentaire
27 mars	R3	Aspersion d'eau par camion muni d'un tuyau servant à déverser du ciment
29 mars	R2	Basculement du refroidissement de la piscine d'eau de mer en eau douce
28 mars 29 mars 31 mars	R3 R2 R1	Début du transfert de l'eau de la bache du collecteur des condensats (CST) vers la bache de décharge de l'eau du tore de décompression (SPT) pour : sur R3 : vider l'eau accumulée dans le bâtiment des turbines, sur R2 : vider l'eau accumulée dans le bâtiment réacteur, sur R1 : vider l'eau du collecteur des condensats,
2 avril	R2	On collecte de l'eau entraînant un débit de dose > 1 Sv/h dans le puisard du canal d'alimentation de R2.
2 avril 3 avril	R2 R1	Jusqu'au 9 avril ) vidange de l'eau du collecteur des condensats Jusqu'au 10 avril ) dans sa bache.
3 avril	R1, R2	Alimentation de la pompe de secours du cœur par le réseau électrique
6 avril	R1 R2, R3	Injection d'azote dans la cuve primaire ; un générateur d'azote sera mis en œuvre le 9 avril ; il fonctionnera jusqu'au mois de mai pour écarter tout risque d'explosion d'hydrogène, ainsi que dans R2 et R3
11 avril	R1, R2	Perte momentanée d'alimentation électrique en raison de la secousse sismique
17 avril 18 avril	R1, R3 R2	Inspection du bâtiment réacteur par robot.
18 avril	R2	Injection de produits coagulants (polymères absorbants) dans la tranchée des câbles électriques.
19 avril	R2	Début du transfert de l'eau très fortement radioactive du bâtiment réacteur à l'installation de traitement.
19 avril	R1, R2, R3, R4	Fin des travaux de renforcement de la connexion électrique entre les tranches 1-2 et 3-4 de la centrale
22 avril	R1, R2, R3	Le réacteur et sa piscine de stockage sont alimentés normalement en eau douce.

**ANNEXE 3**

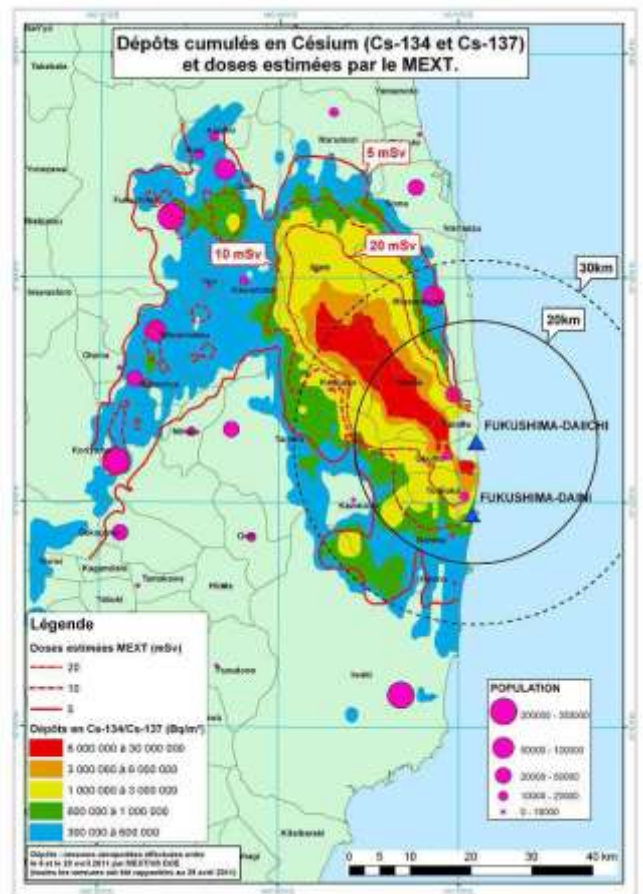
**ESTIMATIONS DES DOSES AU VOISINAGE DE FUKUSHIMA DAI-ICHI**

Doses calculées pour une irradiation externe  
la première année  
Carte publiée par l'IRSN le 12 avril 2011



L'IRSN a établi très tôt une estimation des doses que la population recevrait au bout d'un an, de 10 ans, et sur la vie. Il s'avère que les doses ainsi calculées atteignent des valeurs significatives, supérieures à 200 mSv, qui ne sont plus dans le champ des « faibles doses » selon la terminologie de l'UNSCEAR.

La population affectée pourrait atteindre près de 70 000 personnes hors zone d'exclusion, soit un quart de l'effectif concerné par Tchernobyl, pour une surface nettement moindre (874 km<sup>2</sup> contre 10 300 km<sup>2</sup>).



MEXT : Ministère de l'Education, de la Culture, des Sports, des Sciences et des Technologies

**Doses externes et populations concernées en fonction des dépôts de radio césiums**

Dépôts de césium (137 + 134) (source MEXT)	> 300 000 Bq/m <sup>2</sup>	> 600 000 Bq/m <sup>2</sup>	> 1 million Bq/m <sup>2</sup>	> 3 millions Bq/m <sup>2</sup>	6 - 30 millions Bq/m <sup>2</sup>
<b>Dose externe 1ère année</b> (16,6 mSv par MBq/m <sup>2</sup> )	> 5 mSv	> 10 mSv	> 16 mSv	> 50 mSv	100 - 500 mSv
<b>Dose externe 10 ans</b> (63 mSv par MBq/m <sup>2</sup> )	> 19 mSv	> 38 mSv	> 63 mSv	> 190 mSv	380 - 1900 mSv
<b>Dose externe vie (70 ans)</b> (136 mSv par MBq/m <sup>2</sup> )	> 41 mSv	> 82 mSv	> 136 mSv	> 408 mSv	816 - 4080 mSv
<b>Population hors zone d'exclusion</b> (nombre d'habitants)	292 000	43 000	21 100	3 100	2 200
			<b>69 400</b>		

L'évacuation des populations concernées réduirait de façon drastique l'impact dosimétrique : de 82 % si les mesures étaient prises dans un délai de 3 mois, de 59 % si elles étaient prises au bout d'un an. Rappelons que la CIPR<sup>16</sup> recommande un seuil d'évacuation à 20 mSv/an.

<sup>16</sup> Commission Internationale pour la Protection Radiologique