

dossier.

Fukushima – Analyse et enseignements

FEVRIER 2012 (actualisation)

Impressum

Forum nucléaire suisse

Secrétariat

Case postale 1021, 3000 Berne 14

www.forumnucleaire.ch

L'essentiel en bref

- Le séisme le plus violent jamais enregistré dans l'histoire du Japon a déclenché une série de tsunamis qui ont causé la mort de plus de 20'000 personnes environ.
- Sur toutes les centrales nucléaires touchées par le séisme, les objectifs de protection de «mise à l'arrêt», de «refroidissement avec les groupes diesel» et de «confinement des matières radioactives dans le bâtiment de réacteur» ont été réalisés immédiatement après la secousse sismique.
- Alors que 11 des 15 tranches nucléaires ont résisté aux tsunamis qui ont suivi sans accident, la situation dans les blocs 1 à 4 de Fukushima-Daiichi s'est dégradée jusqu'à la défaillance totale de l'alimentation électrique de secours. Les réacteurs n'ont dès lors plus pu être refroidis et le combustible nucléaire a commencé à fondre.
- Par la suite, les opérateurs n'ont pas été en mesure de limiter l'ampleur de l'accident. Il s'est produit des explosions dans trois bâtiments de réacteur qui ont largement contribué à la dispersion de substances radioactives. La population des environs avait été évacuée auparavant.
- Jusqu'à aujourd'hui, les habitants des régions concernées et le personnel dans les centrales n'ont montré aucun signe d'atteinte à leur santé.
- Dans son évaluation globale provisoire, le gouvernement japonais aboutit à la conclusion que la culture de sécurité était insuffisante.
- Les installations de Fukushima-Daiichi n'avaient fait l'objet depuis leur construction d'aucune amélioration fondamentale dans le domaine de la sécurité. Le danger présenté par les tsunamis a été sciemment massivement sous-estimé et les systèmes de sécurité n'étaient pas protégés suffisamment contre une submersion.
- Le principe central de «défense en profondeur» qui guide la sûreté nucléaire dans le monde entier n'a pas été respecté sur les installations nucléaires de Fukushima-Daiichi. Il a ainsi été possible à une cause unique, les tsunamis, de neutraliser d'un coup l'ensemble des systèmes de sécurité et de secours.
- La nouvelle analyse des centrales nucléaires suisses réaffirme que nos installations disposent de tout ce qui manquait à Fukushima-Daiichi pour la maîtrise de l'accident, car tous les systèmes nécessaires ont été prévus en Suisse dès la conception ou ont fait l'objet d'une mise à niveau tout au début des années 1990.

La sûreté nucléaire constitue une astreinte permanente. Elle doit être vérifiée sans relâche, tout comme après la catastrophe naturelle survenue à la mi-mars 2011 au Japon. Le 7 juin 2011, le gouvernement japonais a publié un premier rapport exhaustif sur l'accident grave survenu à la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi.

Depuis, d'autres rapports permettant de fournir des aperçus plus clairs des événements ont été publiés. Ils décrivent le déroulement de l'accident, identifient les lacunes en matière de préparation des situations d'urgence et pointent du doigt le manque d'indépendance de l'autorité de sûreté nucléaire japonaise.

Ce dossier rassemble les rapports disponibles jusqu'à ce jour et fait le lien avec la sécurité des centrales nucléaires suisses. Il est démontré que les installations suisses sont considérablement mieux protégées grâce notamment à des mesures de prévention, et sont davantage en mesure de maîtriser un événement extrême de ce type sans occasionner de dommage pour la population et l'environnement.

La catastrophe naturelle et des effets immédiats

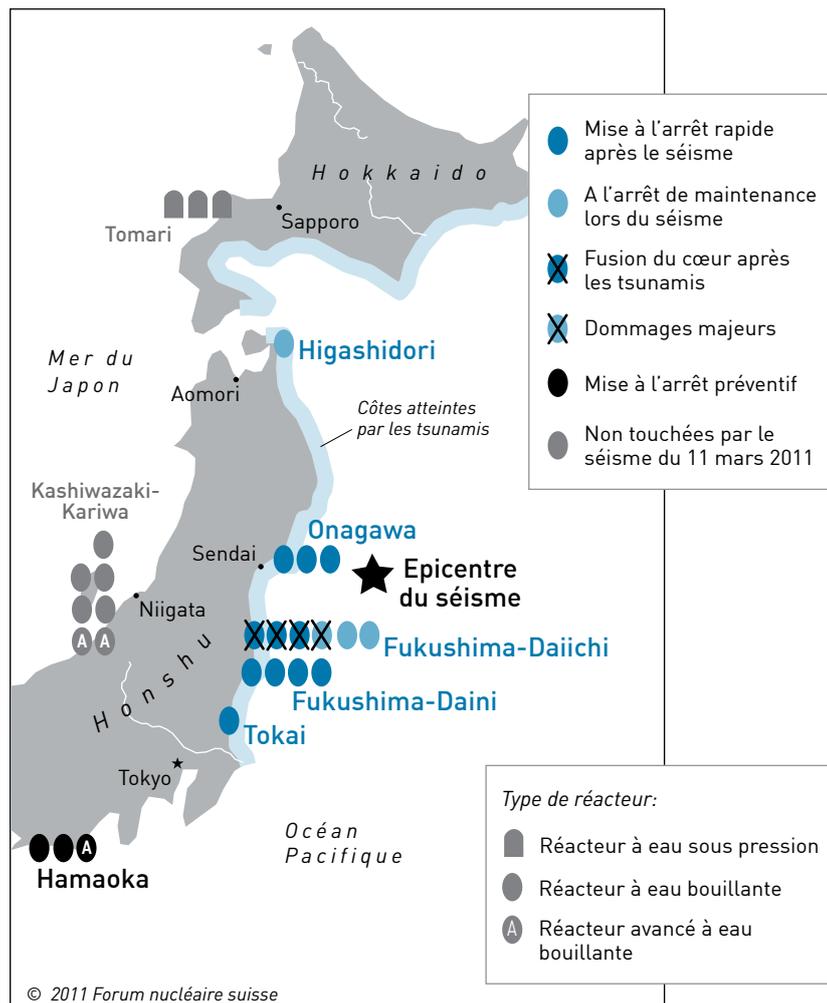
Séisme

Il s'est produit au Japon le 11 mars 2011 vers 14h46 locales le plus violent séisme jamais enregistré dans l'histoire de l'archipel. L'épicentre de ce séisme de magnitude 9,0 a été situé dans l'océan Pacifique, à près de 130 km au nord-est de l'île principale japonaise de Honshu. Du fait de la secousse initiale et des centaines de répliques, dont certaines très importantes, le fond de l'océan a été déplacé de près de 25 m vers l'est. La zone côtière limitrophe du Japon s'est affaissée de jusqu'à 1,2 m.

Le mouvement des plaques tectoniques a déclenché une série de sept tsunamis qui ont frappé la côte nord-est du Japon et submergé près de 560 km² de territoire. Ces catastrophes naturelles ont causé dans les zones côtières dévastées la mort de plus de 20'000 personnes environ. 792'000 bâtiments ont été endommagés ou détruits.

Mises à l'arrêt rapide

Sur les côtes touchées par la catastrophe naturelle, cinq sites comptaient au total 15 tranches nucléaires (voir carte et tableau à la page 5). Au moment du séisme, onze de ces installations fonctionnaient en production et quatre étaient à l'arrêt pour travaux d'entretien programmés. Les secousses sismiques ont entraîné la mise à l'arrêt rapide automatique de toutes les installations en fonctionnement. Cette procédure prévoit la descente des barres de commande en quelques secondes afin d'arrêter immédiatement la fission du combustible nucléaire qu'est l'uranium. Ces mises à l'arrêt rapides ont fonctionné partout, comme prévu dans un tel cas.



Production de chaleur après la mise à l'arrêt

Mais après une mise à l'arrêt rapide, un réacteur continue à produire de la chaleur. Celle-ci résulte de la désintégration spontanée des produits de fissions de l'uranium présents dans le réacteur. Immédiatement après l'arrêt, la puissance du réacteur chute à environ 6% de sa valeur nominale. Après une heure, le dégagement de chaleur est encore de 1,5% et chute à moins de 0,7% une journée plus tard. Cette importante quantité de chaleur doit être évacuée en continu, même après l'arrêt du réacteur. Ceci était assuré dans l'installation nucléaire de Fukushima-Daiichi par refroidissement du combustible nucléaire par plusieurs circuits intermédiaires refroidis à l'eau de mer. Ceci suppose toutefois la disponibilité d'énergie électrique pour les pompes et autres équipements ainsi qu'un accès à la mer pour le pompage de l'eau de refroidissement.

Sur toutes les centrales nucléaires touchées par le séisme, les objectifs de protection de «mise à l'arrêt», de «refroidissement avec les groupes diesel de secours» et de «confinement des matières radioactives dans le bâtiment de réacteur» ont tous été réalisés immédiatement après la secousse sismique initiale.

Dommages causés par le séisme

Le réseau électrique du nord-est du Japon a pour l'essentiel cessé de fonctionner du fait des dégâts provoqués par la secousse sismique. Toutes les lignes haute tension extérieures aboutissant aux installations d'Higashidori, de Fukushima-Daiichi et de Tokai ont été coupées. Une ligne haute tension est restée active pour les installations d'Onagawa et de Fukushima-Daini.

Sur toutes les tranches touchées par la coupure du réseau électrique (Higashidori, Onagawa tranche 1, Fukushima-Daiichi tranches 1 à 6 et Tokai) les groupes diesel de secours prévus pour palier une telle situation ont normalement démarré et alimenté les installations en énergie électrique. Deux incendies qui ont éclaté dans les installations d'Onagawa et de Fukushima-Daini ont pu être rapidement maîtrisés et éteints.

En certains points des sites d'Onagawa, de Fukushima-Daiichi et de Tokai, il a été enregistré des accélérations causées par le séisme qui ont dépassé les valeurs prises en compte pour le dimensionnement¹. A Fukushima-Daiichi, des valeurs d'accélération mesurées isolément ont dépassé de jusqu'à 25% les hypothèses de dimensionnement; à Onagawa où les hypothèses de dimensionnement avaient été fixées à des valeurs supérieures, les critères de dimensionnement ont été dépassés de 10%.

Marges de sécurité

Compte tenu des grandes marges de sécurité ajoutées, les centrales nucléaires sont capables de résister à des séismes violents dont les effets dépassent les critères de dimensionnement. Il n'a pas encore pu être éclairci dans le détail si sur les installations touchées, et notamment à Fukushima-Daiichi, le séisme n'a tout de même pas contribué à endommager certaines composantes critiques pour la sûreté. Mais dans l'état actuel des connaissances, la secousse sismique n'a entraîné sur aucune installation une situation menaçant la sûreté.

A Fukushima-Daini, un collaborateur a été coincé et tué dans une grue du fait du séisme. Deux autres collaborateurs ont trouvé la mort à Fukushima-Daiichi du fait des tsunamis.

¹ Dimensionnement: valeur technique dont la grandeur est déterminée à partir de l'analyse de sécurité afin de pouvoir maîtriser les incidents. Une valeur de dimensionnement intègre par ailleurs d'autres marges de sécurité.

Tsunamis

Le premier de plusieurs tsunamis a frappé la côte 30 à 40 minutes après la secousse sismique principale. Les lames de flot ont eu des effets très diversifiés sur les installations nucléaires:

Higashidori (exploitant: Tohoku Electric Power Co.):

L'installation était à l'arrêt pour interventions de maintenance lorsque le séisme s'est produit. Ni la secousse sismique, ni le tsunami n'ont eu d'effets significatifs sur la sûreté. Jusqu'au rétablissement du réseau électrique extérieur, les groupes diesel de secours ont alimenté l'installation en énergie électrique.

Onagawa (exploitant: Tohoku Electric Power Co.):

Cette installation est située le plus près de l'épicentre du séisme principal. La tranche 1 a vu son alimentation électrique interrompue après le séisme du fait d'un court-circuit sur un transformateur, mais a pu être alimentée par les groupes diesel de secours.

A Onagawa, la hauteur de submersion du fait d'un tsunami avait été estimée à 13,6 m au-dessus du niveau moyen de la mer. L'installation a été réalisée à une hauteur de 14,8 m. La secousse sismique a abaissé les sols de près d'un mètre, réduisant ainsi la hauteur à 13,8 m. Le tsunami pourrait avoir atteint une hauteur de 13 m. Mais le flot a tout de même réussi à envahir les galeries de câbles souterraines des installations et a endommagé quelques systèmes critiques pour la sûreté, mais les systèmes qui ont résisté ont été suffisamment nombreux pour assurer la fonction de refroidissement de l'ensemble des tranches.

² «Cold Shutdown»

L'autorité de surveillance nucléaire japonaise (Nisa) définit l'«arrêt à froid» pour les réacteurs accidentés suite au séisme et au tsunami comme suit:

- Les températures à l'intérieur de la cuve du réacteur sont stabilisées en-dessous de 100°C.
- Plus aucune réaction en chaîne ne peut se produire.
- La dose du rayonnement mesurée à la clôture de la centrale nucléaire est inférieure à 1 millisievert par an.
- Le refroidissement stable du combustible et éventuellement des fragments fondus sont assurés et en mesure de résister contre d'autres dysfonctionnements.

Le 12 mars 2011, vers 1h17 locale, toutes les tranches avaient atteint l'état «d'arrêt à froid»², ce qui signifie que la cuve de réacteur avait été ramenée à la pression atmosphérique et que la température de l'eau était inférieure à 100°C. Le 7 avril 2011, l'installation a été à nouveau ébranlée par une réplique de magnitude 7,1, avec l'enregistrement d'accélération supérieures aux critères de dimensionnement, mais qui n'a pas causé de dégâts supplémentaires.

Le combustible nucléaire est resté intact dans toutes les tranches. Aucune substance radioactive n'a été libérée tout au long des événements. Tohoku Electric Power Co. a annoncé vouloir appliquer des mesures constructives destinées à empêcher les infiltrations d'eau dans les installations et à augmenter les réserves de sécurité.

Tokai (exploitant: Japan Atomic Power Co.):

Le tsunami a envahi le site jusqu'à une hauteur de 5,4 m au-dessus du niveau moyen de la mer. Il avait été pris en compte à Tokai une hauteur de submersion maximale de 4,9 m, et la plupart des bâtiments sont situés à 8 m au-dessus du niveau de la mer. Le tsunami a submergé l'un des trois groupes diesel de secours, celui destiné à l'alimentation des pompes d'eau de mer, car les cloisons d'étanchéité contre les effets des tsunamis étaient en cours de construction, mais n'étaient pas encore achevées. Jusqu'au rétablissement du réseau électrique extérieur, les deux groupes diesel de secours restés intacts ont alimenté l'installation en énergie électrique. Le réacteur a atteint l'état «d'arrêt à froid» le 15 mars 2011 vers 0h40.

Le combustible nucléaire est resté intact. Aucune substance radioactive n'a été libérée tout au long des événements. L'installation fera ultérieurement l'objet d'une transformation visant à améliorer les réserves de sécurité contre les inondations.

Caractéristiques des
15 tranches de réacteur
directement concernées par
la catastrophe naturelle

	Puissance électrique (Mégawatts)	Premier couplage au réseau	Etat à fin mars 2011
Fukushima-Daiichi (Fukushima I), exploitant: Tokyo Electric Power Co. (Tepco)			
Tranche 1	460	1970	Fusion du cœur et dommages subis par les assemblages combustibles stockés en bassin, bâtiment de réacteur gravement endommagé ³
Tranche 2	784	1973	Fusion du cœur et dommages subis par les assemblages combustibles stockés en bassin, enceinte de confinement et bâtiment de réacteur endommagés ³
Tranche 3	784	1974	Fusion du cœur et dommages subis par les assemblages combustibles stockés en bassin, bâtiment de réacteur gravement endommagé ³
Tranche 4	784	1978	Dommages subis par les assemblages combustibles stockés en bassin, bâtiment de réacteur gravement endommagé ³
Tranche 5	784	1977	Arrêt à froid
Tranche 6	1100	1979	Arrêt à froid
Tokai, exploitant: Japan Atomic Power Co.			
Tranche 2	1100	1978	Arrêt à froid
Fukushima-Daini (Fukushima II), exploitant: Tokyo Electric Power Co. (Tepco)			
Tranche 1	1100	1981	Arrêt à froid
Tranche 2	1100	1983	Arrêt à froid
Tranche 3	1100	1984	Arrêt à froid
Tranche 4	1100	1986	Arrêt à froid
Onagawa, exploitant: Tohoku Electric Power Co.			
Tranche 1	524	1983	Arrêt à froid
Tranche 2	825	1994	Arrêt à froid
Tranche 3	825	2001	Arrêt à froid
Higashidori, exploitant: Tohoku Electric Power Co.			
Tranche 1	1100	2005	Arrêt à froid

³Arrêt à froid atteint
en mi-décembre 2011

Fukushima-Daini (exploitant: Tokyo Electric Power Co., Tepco):

Pour cette installation, la hauteur de submersion maximale prise en compte était initialement de 3,1 à 3,7 m au-dessus du niveau de la mer. La référence de dimensionnement était constituée par un tsunami en 1960 qui avait atteint le Japon après un séisme de magnitude 9,5 survenu à 15'000 km de là au Chili, et qui constituait la secousse sismique la plus forte jamais enregistrée au monde. Une réévaluation effectuée par la Japan Society of Civil Engineers (JSCE) a abouti en 2002 à des valeurs maximales de 5,1 à 5,2 m pour un séisme de magnitude 8,0 dont l'épicentre se trouvait devant la côte japonaise. L'installation a été érigée sur une plate-forme située 12 m au-dessus du niveau de la mer.

Les tsunamis ont atteint à Fukushima-Daini une hauteur de submersion de 6,5 à 7 m du côté tourné vers la mer, mais 14 à 15 m lors du retour de la masse d'eau du côté de la montagne. Sur toutes les tranches à l'exception de la tranche 3, les pompes d'eau de mer ont été immergées et détruites par des défauts électriques. Cette défaillance a interrompu l'évacuation de la chaleur par la voie normale. Les groupes diesel de secours ont été submergés pour les tranches 1 et 2 et se sont arrêtés, tandis que ceux des deux autres tranches sont restés fonctionnels. De plus, une ligne d'alimentation électrique extérieure était restée intacte et fonctionnelle.

Le refroidissement a ainsi pu être rétabli dans des conditions suffisantes par le recours aux groupes diesel de secours restants, par la pose de deux câbles électriques vers les tranches 1 et 2 et par le remplacement des moteurs de pompe endommagés. La tranche 3 a ainsi atteint «l'arrêt à froid» le 12 mars 2011 vers 12h15, la tranche 1 le 14 mars 2011 vers 17h00, la tranche 2 le 14 mars 2011 vers 18h00, et la tranche 4 le 15 mars 2011 vers 7h15.

Le combustible nucléaire est resté intact dans toutes les tranches. Aucune substance radioactive n'a été libérée tout au long des événements. Cette installation va également faire l'objet de mesures complémentaires pour obtenir des marges de sécurité plus importantes contre les inondations.

Fukushima-Daiichi (exploitant: Tokyo Electric Power Co., Tepco):

Cette installation a été le plus fortement endommagée par les tsunamis, ce qui a entraîné la libération de quantités importantes de substances radioactives dans l'environnement.

Comme pour l'installation sœur plus récente de Fukushima-Daini, la hauteur de submersion maximale prise en compte à Fukushima-Daiichi était initialement de 3,1 à 3,7 m au-dessus du niveau de la mer. Une réévaluation également effectuée par la Japan Society of Civil Engineers (JSCE) en 2002 a abouti à des valeurs maximales de 5,4 à 5,7 m pour un séisme de magnitude 8,0. De ce fait, Tepco a rehaussé certains éléments d'installations, dont une partie du groupe diesel de secours, sur la tranche 6 (et sur cette seule tranche).

Les tranches 1 à 4 sont situées sur une plate-forme à 10 m au-dessus du niveau de la mer; les tranches 5 et 6 à 13 m. Le séisme a provoqué un affaissement de près de 0,8 m de la zone côtière près de Fukushima. Selon des estimations, le front de lame du tsunami le plus élevé observé au môle brise-lame du port atteignait au moins 10 m et a submergé les terres sur une hauteur de 15 à 16 m.

Défaillance de l'alimentation électrique

Immédiatement après la secousse sismique, l'alimentation électrique des six tranches a reposé sur les groupes diesel de secours (en fonctionnement) dans la mesure où toutes les lignes électriques reliant la centrale au réseau étaient coupées. Les flots ont ensuite submergé les pompes d'eau de mer de l'installation, les postes de distribution électrique, tous les groupes diesel de secours (deux par tranche) et les batteries d'accumulateurs. Il se peut que l'eau se soit avant tout introduite par les galeries de conduites et de câbles situées sous l'installation et qui n'étaient pas suffisamment étanches.

Seul un groupe diesel de secours refroidi par air de la tranche 6 a échappé aux flots, car installé à un niveau supérieur. Ce groupe est resté le seul en état de fonctionner. Deux groupes similaires sont tombés en panne au niveau des tranches 2 et 4 en raison du fait que les installations de distribution électrique avaient également été submergées. L'ensemble des tranches, à l'exception de la tranche 6, ont été coupées de

toute alimentation en courant alternatif. Il ne subsistait plus que du courant continu fourni par des batteries d'accumulateurs. Par la suite, il a été possible d'alimenter la tranche 5 en courant alternatif à partir de la tranche 6 voisine et d'installer une pompe d'eau de mer neuve. Ces deux tranches ont ainsi pu être suffisamment refroidies et mises le 20 mars 2011 dans un état sûr («arrêt à froid»).

Chronologie de l'accident à Fukushima-Daiichi

Fusion du cœur

Le refroidissement des tranches 1 à 3 de Fukushima-Daiichi est rapidement devenu insuffisant du fait de la défaillance des pompes d'eau de mer et des groupes diesel de secours. Toutes les tentatives de rétablissement précaire d'une alimentation en énergie électrique ont échoué.

Au niveau de la tranche 1, l'inondation a également endommagé les batteries, ce qui a rapidement entraîné le dysfonctionnement d'importants systèmes de défaillance, de vannes motorisées et de l'éclairage de la salle de commande, et petit à petit la perte de contrôle de l'équipe sur place. L'épuisement de l'énergie des batteries d'accumulateurs des tranches 2 et 3 a ensuite engendré une défaillance des systèmes auxiliaires de refroidissement de secours fonctionnant à la vapeur et indépendant de l'alimentation en courant alternatif.

Le refroidissement de secours indépendant de l'alimentation en courant alternatif de la tranche 1 a cessé de fonctionner dès le 11 mars 2011 avant minuit en raison d'une erreur opérateur, associée au dysfonctionnement précoce des batteries. Suite à cela, le cœur du réacteur ait commencé à fondre. Sur la tranche 3, les possibilités de refroidissement indépendantes de l'alimentation en courant alternatif n'ont été épuisées que le 13 mars 2011 vers 3h00, et la fusion du cœur a vraisemblablement débuté à ce moment-là. Le même état a été atteint sur la tranche 2 le 14 mars 2011 vers 16h30 environ. L'exploitant Tepco considère que sur ces trois tranches une partie du combustible nucléaire en fusion s'est accumulé sur le fond de la cuve de réacteur.

Décharge de pression

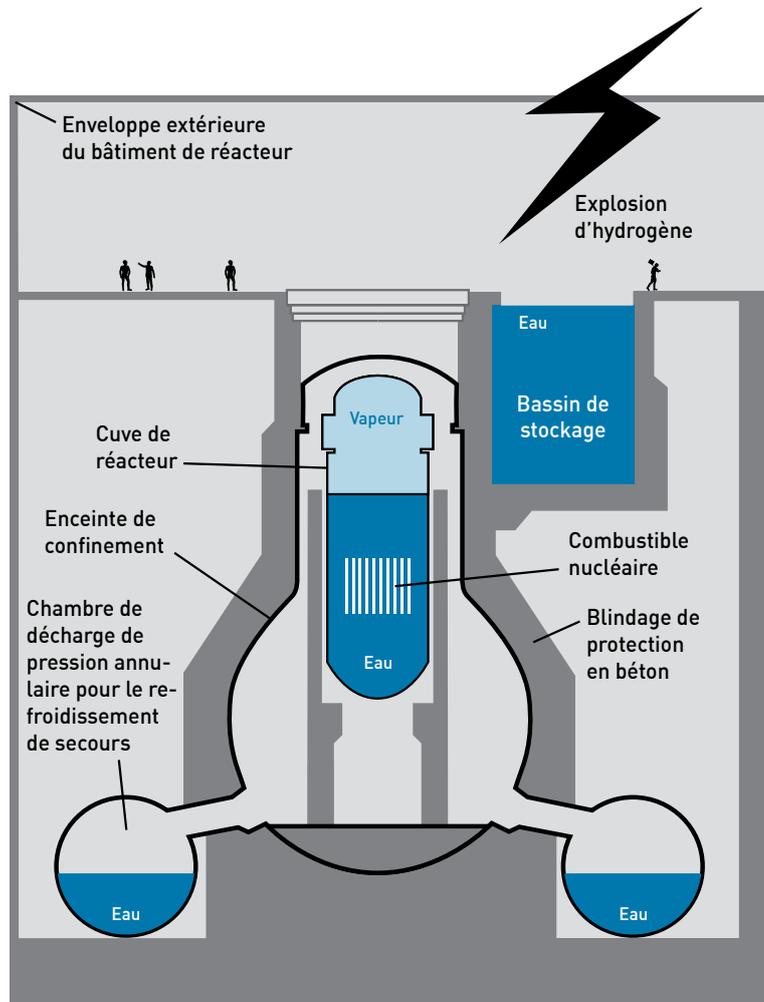
Du fait de l'insuffisance de refroidissement et de l'évaporation continue de l'eau, la pression régnant dans les systèmes de réacteur des tranches 1 à 3 a commencé à augmenter. Compte tenu de l'absence d'énergie électrique, les opérateurs ont éprouvé de grandes difficultés à réduire à temps ces accroissements de pression par l'ouverture contrôlée des soupapes de sécurité et de décharge⁴. La pression a été évacuée de manière incontrôlée et incomplète via des soupapes automatiques de sécurité, dans un premier temps vers la chambre de décharge de pression (voir schéma à la page suivante), puis vers l'enceinte de confinement. De plus, la surchauffe du combustible nucléaire a provoqué le dégagement d'importants volumes d'hydrogène.

Explosions d'hydrogène

Dans la première journée qui a suivi le séisme, soit le 12 mars 2011 vers 15h36, une explosion d'hydrogène a détruit la partie supérieure du bâtiment de réacteur de la tranche 1, après que de l'hydrogène s'est échappé de l'enceinte de confinement vers l'intérieur du bâtiment de réacteur, au lieu d'être évacué par la haute cheminée prévue à cet effet. Le dispositif de dépressurisation de l'enceinte de confinement sans filtre mis à niveau à la fin des années 1990 aurait dû éviter la défaillance de l'enceinte de confinement en acier sous l'effet de la surpression dans un tel cas d'évènement. Or, il n'était de toute évidence pas dimensionné pour ce type d'évènement. Dans

⁴ En cas d'urgence, afin qu'il soit possible de pomper l'eau dans le réacteur à l'aide de tuyaux des sapeurs-pompiers, la pression doit être maintenue basse à l'intérieur du réacteur.

Croquis en coupe très simplifié des tranches de réacteur de Fukushima-Daiichi
(Source: VGB Power Tech)



les réacteurs à eau bouillante japonais, le système de dépressurisation est relié à des éléments du système d'évacuation de l'air. De ce fait, et en raison de l'absence totale d'alimentation électrique, des soupapes d'arrêt importantes situées entre les deux systèmes peuvent être avoir été ouvertes. En outre, la chaleur importante dégagée peut avoir occasionné un défaut d'étanchéité de la fermeture supérieure de l'enceinte de confinement, entraînant la pénétration d'une grande quantité de gaz hydrogène dans le bâtiment de réacteur, ce qui occasionna des explosions d'hydrogène. D'autres études sont toujours en cours.

Le 14 mars 2011, le même accident s'est produit sur la tranche 3 vers 11h00. Les explosions ont fait 16 blessés et les dommages occasionnés ainsi que le rayonnement élevé ont rendu très difficiles les travaux de stabilisation. L'alimentation électrique et le système de refroidissement d'urgence provisoires déjà en place ont été détruits et ont dû être reconstruits. Un temps précieux a été perdu pour maîtriser l'accident.

Le 15 mars 2011 vers 6h00, une explosion, vraisemblablement d'hydrogène, s'est produite dans la chambre de décharge de pression de la tranche 2, ce qui a entraîné l'endommagement de l'enceinte de confinement. Le bâtiment de réacteur est resté intact. Le 15 mars 2011 également, vers 6h00, une explosion a endommagé le bâtiment de réacteur de la tranche 4. Cette tranche était à l'arrêt pour entretien programmé; son combustible avait été intégralement déchargé de la cuve de réacteur et transféré dans le bassin de stockage contigu. Tepco émet l'hypothèse que de l'hydrogène issu de la tranche 3 a probablement été acheminé vers la tranche 4 par l'intermédiaire des conduites de la cheminée d'évacuation commune. Le bassin de désactivation de la tranche 4 avec les assemblages combustibles retirés de la cuve de réacteur était ainsi exposé à ciel ouvert.

Du fait de la défaillance totale de l'alimentation en énergie électrique, le refroidissement des bassins de stockage des tranches 1 à 4 chargés d'assemblages combustibles usés était aussi interrompu pour une durée prolongée, avec pour conséquence la montée en température progressive de l'eau de ces bassins, suivie d'un abaissement progressif du niveau de l'eau par évaporation.

Refroidissement avec des moyens de sapeurs-pompiers

La solution de secours retenue a été d'utiliser des moyens de sapeurs-pompiers et des pompes à béton pour pomper en partie de l'eau de mer dans les systèmes des réacteurs et dans les bassins de stockage. Les inspections effectuées ont montré que dans l'ensemble des bassins, le combustible était resté continuellement sous l'eau. Aucun dommage important n'a pour l'heure été découvert à ce niveau, mais il est possible que les fragments tombés aient occasionné des dégâts.

Ce déroulement des événements à Fukushima-Daiichi a entraîné la rupture de toutes les barrières techniques destinées à empêcher la sortie de substances radioactives.

Les conséquences de la libération de substances radioactives

Evacuation

Il s'est produit du 12 au 25 mars 2011 d'importants dégagements répétés de substances radioactives hors de l'installation de Fukushima-Daiichi, avec une pointe significative les 15/16 mars 2011, à la suite des explosions d'hydrogène. Depuis, les émissions dans l'environnement sont revenues à des taux faibles. Dès le soir du 11 mars 2011, l'autorité de surveillance nucléaire japonaise (Nisa) déclarait une situation d'urgence nucléaire. C'est pourquoi il a été procédé dès le soir du 11 mars 2011 à l'évacuation de la population dans un rayon de 3 km autour de la centrale. Le 12 mars 2011 au matin, cette zone a été étendue à 10 km, puis à 20 km dans la soirée de ce même jour.

Le 15 mars 2011, les habitants de la zone comprise entre 20 et 30 km de la centrale ont été invités à ne pas quitter si possible leurs maisons et de s'y calfeutrer en fermant portes et fenêtres. Le 22 avril 2011, cette instruction a été à nouveau levée, mais avec la définition d'une autre zone d'évacuation vers le nord-ouest, en dehors de la zone interdite des 20 km, c'est-à-dire comprenant tous les endroits où la dose équivalente cumulée dans la première année après l'accident excédera probablement 20 millisieverts (voir carte à la page suivante).

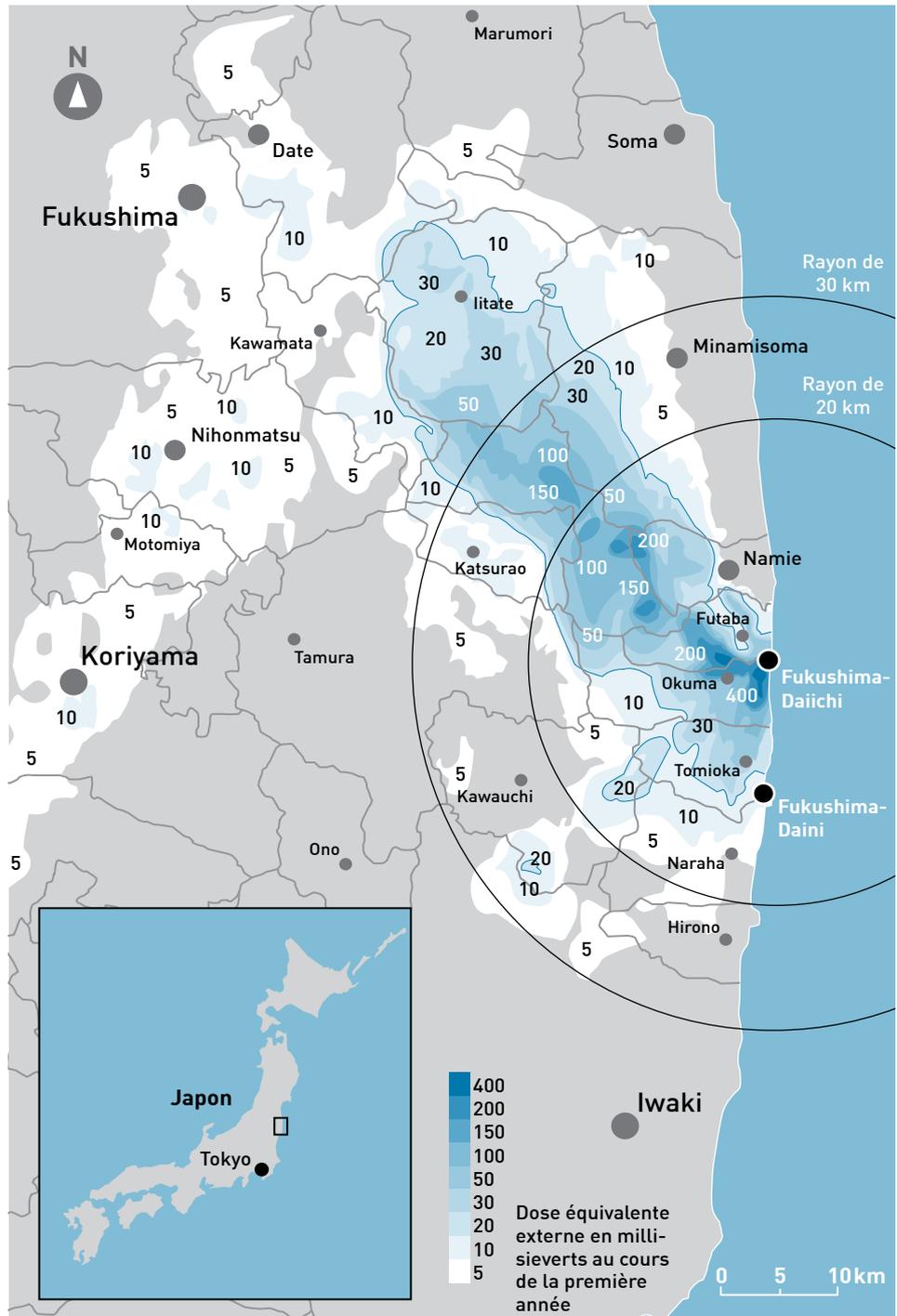
Compte tenu de la situation douteuse régnant alors dans la centrale de Fukushima-Daiichi, la population a également été évacuée à titre préventif dans un rayon de 3 km autour des installations nucléaires aux premières heures de la matinée du 12 mars 2011. La zone d'évacuation devait être étendue à un rayon de 10 km le soir même, pour être réduite à 8 km le 21 avril 2011. Près de 78'200 personnes habitaient dans la zone des 20 km et près de 62'400 personnes dans la zone comprise entre 20 et 30 km.

Rejet de substances radioactives

Depuis le 16 mars 2011, le ministère japonais de la formation, de la culture, des sports, des sciences et de la technologie (Mext) compétent en la matière effectue régulièrement des mesures radiologiques de l'air, du sol et de l'eau. Les différentes méthodes de relevé ont fourni des données concordantes. La Nisa a évalué à l'aide de différents modèles de calcul les quantités totales de substances radioactives rejetées par les quatre tranches de réacteur accidentées. Ces calculs ont entraîné le classement de l'accident au niveau 7 le plus élevé de l'échelle internationale d'évaluation des accidents (Ines). Selon la Nisa et l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), les rejets ont toutefois été dix fois plus faibles que ceux de l'accident de 1986 à Tchernobyl.

Dose équivalente d'exposition externe estimée pour un être humain séjournant en permanence à l'extérieur au cours de la première année écoulée après l'accident (jusqu'au 11 mars 2012).

[Source: Mext, ministère japonais de la Formation, de la Culture, des Sports, des Sciences et de la Technologie, 11 octobre 2011]



En comparaison:

Dose équivalente moyenne d'exposition en Suisse (radon naturel et examens médicaux compris): 4,0 à 5,6 millisieverts par an (selon pondération du radon)

Examen tomographique électronique du corps entier: jusqu'à 20 millisieverts par enregistrement

Dose équivalente légalement admissible pour le personnel exposé professionnellement à des rayonnements ionisants dans les centrales nucléaires et en médecine (Japon et Suisse): 20 millisieverts par an

Dose équivalente maximale naturelle d'exposition locale dans certaines régions du sud de l'Inde du fait de la géologie: 55 millisieverts par an

Dose équivalente maximale naturelle d'exposition locale dans l'est du Brésil du fait de la géologie: 175 millisieverts par an

Césium et iode

Les deux substances les plus importantes rejetées à Fukushima-Daiichi sont l'iode¹³¹ et le césium¹³⁷. L'iode¹³¹ présente une période, donc une demi-durée de vie, de huit jours et se désintègre rapidement en atomes non radioactifs. Aux alentours de fin avril 2011, l'exposition à l'iode ¹³¹ s'est normalisée et a atteint des valeurs similaires aux valeurs standard sur le Plateau suisse.

L'iode s'accumule essentiellement dans la glande thyroïde, les enfants y étant les plus sensibles. La prise d'iode non radioactif permet de saturer la thyroïde et d'empêcher que de l'iode radioactif s'y accumule. Une prise unique d'iode non radioactif a été recommandée à certains groupes de personnes, mais les autorités ont toutefois mis la population en garde contre toute utilisation non contrôlée de cette préparation. L'évacuation de la population ayant précédé le rejet des substances, cette mesure n'a pas été nécessaire pour la plupart des personnes concernées. Les écoles et les jardins d'enfants ont fait jusqu'à aujourd'hui l'objet d'une surveillance toute particulière.

Le Mext a également décelé de très faibles quantités de strontium⁹⁰ (dont la période est d'un peu moins de 29 ans) qui peuvent s'accumuler dans les os. Tepco a trouvé des traces de plutonium à proximité immédiate de la centrale, qui peuvent résulter du rapport isotopique d'un des réacteurs. Cependant, les concentrations sont très faibles et de l'ordre de celles qui peuvent être enregistrées en Suisse à la suite des essais nucléaires des années 1950 et 1960. A la différence du césium, ces émissions n'ont aucune importance radiologique.

Chaîne alimentaire

Tandis que l'iode radioactif se désintègre rapidement, le césium présente quant à lui une période de près de 30 ans. Depuis fin avril 2011, il est la substance dominante du rayonnement présent dans la zone contaminée. Il se niche dans le sol et peut s'introduire dans la chaîne alimentaire humaine par les plantes et les animaux herbivores.

De ce fait, les autorités japonaises décident au cas par cas de restrictions concernant la consommation et la vente de denrées alimentaires contaminées. Dans le cadre d'un contrôle de 23'000 exploitations de culture de riz, des valeurs de césium supérieures à celles admises ont été découvertes dans 38 cas. La contamination de l'eau potable est en revanche partout très inférieure aux valeurs limites admissibles. Grâce aux mesures adoptées, la dose de rayonnement additionnelle résultant de la consommation de denrées alimentaires est de moindre importance pour la population.

Jusqu'à la fin mai 2011, les examens pratiqués sur 195'345 personnes n'ont montré aucun signe d'atteinte à leur santé. Chez aucun des 1'080 enfants examinés, il n'a été décelé d'augmentation de dose équivalente d'iode radioactif dans la thyroïde. De même, il n'a encore été détecté aucune absorption de strontium radioactif chez des êtres humains.

Contamination des sols

Compte tenu des conditions de vent et des chutes de pluie lors de la phase initiale de l'accident, une zone d'environ 50 km de long et de 20 km de large située au nord-ouest des installations nucléaires a été plus fortement contaminée. La carte à la page 10 montre la répartition des doses externes absorbées attendues dans la première année après l'accident, sur la base des mesures effectuées jusqu'à présent.

Mext a défini une zone de 40x15 kilomètres présentant une dose équivalente supérieure à 20 millisieverts par an (correspond à la valeur légalement admissible en Suisse pour le personnel exposé professionnellement). Cependant, sur la plus grande partie du terrain concerné par l'accident, la dose est très en deçà de cette valeur. Sur cette surface moins contaminée de quelque 2600 kilomètres carrés (cor-

respond à un carré de 50 kilomètres de côté), les doses absorbées sont en effet comprises entre 5 et 20 millisieverts par an pour chaque personne qui resterait en extérieur tout au long de l'année.

Entre-temps, le retour de la population a été autorisé sur un grand secteur en-dehors de la zone interdite des 20 kilomètres.

Il n'est actuellement pas encore possible de déterminer l'étendue de la zone dans laquelle l'agriculture devra être soumise à des restrictions pendant une durée en tout état de cause très longue. Le taux d'absorption du césium radioactif par les plantes dépend en effet du type de sol. Des analyses des sols sont en cours. La contamination varie en effet très fortement d'un endroit à l'autre. Ainsi, des «Hot spots» sont enregistrés notamment là où les eaux de pluie se sont accumulées.

Le gouvernement japonais a mis sur pied un programme de décontamination ambitieux pour l'année 2012, qui prévoit notamment l'assainissement progressif des zones d'habitation ainsi que de certaines zones naturelles. Les premiers travaux de décontamination locale ont été lancés.

Contamination de l'océan

Du fait de l'accident, des eaux fortement contaminées issues des bâtiments de réacteur ont été déversées à la mer début avril 2011. Entre-temps, les fuites ont été colmatées. Dès l'été 2011, les concentrations de substances radioactives dans l'eau de mer se situent en-dessous de la limite de détection. Des valeurs sensiblement supérieures ont été enregistrées par endroit dans le fond marin à proximité de la centrale.

L'impact sur les poissons et fruits de mer devrait être considérablement moins important que dans le cas d'une contamination directe de l'eau de mer. A ce jour, des valeurs de césium 137 supérieures à la valeur limite ont été trouvées de manière isolée dans certains produits de la pêche.

Rayonnements ionisants à l'intérieur des installations

Contrairement à ce qui a été constaté dans les environs de la centrale de Fukushima-Daiichi, la radioactivité à l'intérieur des bâtiments des réacteurs et des turbines des tranches 1 à 4 reste très élevée. De plus, les puits et les locaux situés en profondeur sous les installations contiennent une eau fortement contaminée par endroits.

Un liant spécial a été pulvérisé sur le terrain des installations afin de retenir les particules radioactives très volatiles (poussière, etc.). Au début du mois de mai 2011, Tepco a installé des systèmes de filtre pour traiter l'air rejeté des bâtiments de réacteurs: ceci permet de ventiler les bâtiments sans disperser de nouvelles substances radioactives dans l'environnement. Il a également été mis en place à l'été 2011 des dispositifs de recyclage et de filtre de l'eau de refroidissement des réacteurs dans un circuit fermé. Cela permet de séparer les substances radioactives, de les stocker provisoirement sous forme de déchets bétonnés et de garantir une décontamination progressive et une protection des environs.

Afin de garantir une sécurité à long terme de l'installation, les tranches fortement endommagées ont été entourées d'une construction métallique recouverte d'une protection plastique étanche renforcée. Ces travaux ont été terminés avec succès fin octobre 2011 pour la tranche 1. Selon les indications de Tepco, la protection des tranches 3 et 4 commencera au plus tôt à l'été 2012, étant donné que les fragments doivent avoir été évacués au préalable.

Rayonnements ionisants du personnel de la centrale

Jusqu'à fin septembre 2011, au total 14'800 personnes ayant pénétré sur le terrain de la centrale dans le cadre de travaux de sécurité ont fait l'objet d'examens médicaux. 99 ont reçu une dose cumulée de plus de 100 millisieverts, dont 14 une dose

comprise entre 200 et 250 millisieverts et 6 une dose supérieure à 250 millisieverts. La dose individuelle maximale enregistrée jusqu'à présent sur un employé est d'environ 670 millisieverts.

La valeur limite préconisée au niveau international pour des interventions en situation d'urgence est fixée à 100 millisieverts sur une année. Pour les travaux destinés à empêcher l'extension des effets de l'accident, les autorités japonaises ont autorisé des doses équivalentes atteignant 250 millisieverts.

Jusqu'à présent, on ne déplore aucun décès ou atteinte grave à la santé de personnels irradiés dans les installations de Fukushima-Daiichi. L'évacuation dans les temps et les dispositifs de radioprotection au sein de la centrale rendent peu probable l'apparition ultérieure d'atteintes à la santé, aussi bien pour le personnel que pour la population.



Sécurité à long terme: la mise en place de la protection de la tranche 1 a été terminée fin octobre 2011. (Photo: Tepco)

Analyse de la chronologie de l'accident

Cause de l'accident

La cause initiale de la fusion des cœurs, des dommages probables subis par les assemblages combustibles stockés en piscine et des rejets massifs de substances radioactives à Fukushima-Daiichi réside dans la perte prolongée de toute l'alimentation en énergie électrique. Le «black out» s'est produit après que 11 des 12 groupes diesel de secours et les circuits de commande des pompes d'eau de mer ont été submergés par le tsunami et ont connu une défaillance simultanée. Les systèmes de refroidissement de secours indépendants de toute alimentation électrique n'ont pas pu empêcher longtemps l'évaporation de l'eau contenue dans les cuves de réacteur. Le niveau d'eau s'est abaissé dans les cuves, les assemblages combustibles laissés à découvert ont surchauffé et se sont mis à fondre. Le gouvernement japonais aboutit à la conclusion suivante:

Pour toutes les tranches nucléaires concernées par la catastrophe naturelle, les systèmes critiques pour la sécurité ont tous résisté au séisme et correctement fonctionné comme prévu pour ce cas. Le danger présenté par les tsunamis a été en revanche massivement sous-estimé et les systèmes de sécurité n'étaient pas protégés contre les inondations.

Statistiques de tsunamis

Les tsunamis ayant présenté une hauteur de front de lame de plus de 10 m ne sont pas une rareté au Japon. Des documents historiques permettent de constater qu'au

moins 14 cas analogues de submersion massive se sont produits au cours des 500 dernières années, soit en moyenne une fois tous les 30 ans. Les deux grands tsunamis les plus récents se sont produits en 1993 dans le nord-est du Japon (31 m de hauteur environ) et en 1994 dans les îles Kouriles voisines (11 mètres de hauteur)⁵.

Dans son rapport du 7 juin 2011, le gouvernement japonais constate que les mesures préventives contre les tsunamis étaient insuffisantes. Au cours de ces 20 dernières années, des scientifiques et des experts en sécurité ont mis à de nombreuses reprises l'exploitant Tepco en garde qu'il était très probable qu'il se produise des tsunamis bien plus importants que ceux pris en compte lors de la conception et de la réalisation des installations de Fukushima. Mais ces avertissements n'ont pas entraîné pour autant l'apport d'améliorations sensibles de la capacité de résistance des installations.

Les installations de Fukushima n'ont jamais été mises à niveau du point de vue de la sécurité technique depuis leur construction. Les raisons pour lesquelles le danger évident d'un tsunami majeur sur la côte de Fukushima n'a jamais été pris en compte au cours des décennies passées, tant par l'exploitant que par l'autorité de surveillance, restent toujours obscures.

Surveillance par l'autorité

A la lumière des accidents des centrales nucléaires de Three Mile Island (Etats-Unis) et de Tchernobyl (en ex-Union soviétique), les directives de sécurité pour le cas d'accidents graves ont été refondues au Japon en 1992. Ces directives ont été élaborées par les exploitants et n'ont jamais été modifiées depuis. Leur application au Japon tient du bon vouloir des exploitants et n'est pas imposée par la loi. Ceci en opposition flagrante avec la pratique d'autres pays tels que la Suisse, l'Allemagne, les Etats-Unis ou la France, dans lesquels les directives sont élaborées par les autorités et doivent être impérativement appliquées et contrôlées.

Avant d'être réorganisée suite à l'accident à Fukushima, l'autorité de surveillance nucléaire japonaise (Nisa) était directement intégrée au ministère de l'Economie (Meti) et relevait donc hiérarchiquement du ministre de l'Economie. Le Premier ministre de son côté était conseillé par la Commission de sûreté nucléaire (NSC) qui remettait ses rapports au ministre de l'Economie. Le flux d'informations entre la NSC et la Nisa ne s'écoulait pas en direct, mais transitait par le ministre de l'Economie. L'indépendance exigée par l'AIEA à Vienne entre l'autorité de surveillance et les instances gouvernementales dont relève l'énergie nucléaire n'était donc pas satisfaite au Japon.

Enseignements tirés par le gouvernement japonais

Sur la base de sa première analyse, le gouvernement japonais a tiré une série d'enseignements:

«Défense en profondeur»

- Le principe vital essentiel de la sûreté des installations consiste à assurer une «défense dite en profondeur». Selon ce principe, une centrale nucléaire doit être conçue, réalisée, équipée et organisée de manière que les systèmes de sécurité multiples indépendants les uns des autres et les dispositions à appliquer en cas d'urgence soient échelonnés en profondeur afin que la défaillance d'un système

⁵ www.tsunami-alarm-system.com

puisse être compensée par les autres et qu'un incident de fonctionnement ne puisse jamais évoluer en accident, et encore moins en catastrophe.

Ce principe central n'avait pas été respecté pour les installations nucléaires de Fukushima-Daiichi. C'est ce qui a rendu possible qu'une cause unique, les tsunamis, a pu neutraliser d'un coup l'ensemble des systèmes de sécurité et de secours.

A Fukushima-Daiichi, il s'agit là du cas classique du défaut dit de «common cause» (un défaut découlant d'une cause commune). Ce type de défaut est connu depuis plus de 30 ans et a fait l'objet d'études approfondies dans le cadre de programmes internationaux. Des mesures appropriées permettant de les contrer sont en place depuis longtemps et ont contribué dans de nombreux pays à l'amélioration des installations.

Le gouvernement japonais en tire l'enseignement que les systèmes critiques du point de vue de la sécurité doivent être impérativement protégés de manière efficace contre ce type de défaut (concrètement dans ce cas: contre la pénétration d'eau suite à un tsunami)..

Diversification

- Ni l'alimentation de secours en énergie électrique, ni les «puits de chaleur» n'étaient diversifiés. Les groupes diesel de secours, les locaux pour batteries et les installations de commutation se situaient tous au même niveau, avec le même degré de protection contre la submersion. Du fait de leur défaillance totale et simultanée sous l'effet des tsunamis, il n'existait plus aucune source de courant alternatif, mis à part sur la tranche 6.

Le seul puits de chaleur est constitué par l'océan. Après la défaillance des pompes d'eau de mer, il n'existait en effet plus d'autre puits de chaleur de refroidissement de secours alternatif, par exemple par pompage dans la nappe phréatique ou par aéroréfrigérant pour évacuer la chaleur résiduelle de la poursuite de la désintégration de produits de fission dans les réacteurs.

Le gouvernement japonais en tire l'enseignement qu'il est indispensable de disposer de sources de production d'énergie électrique supplémentaires de techniques diverses disposées en des endroits différents. Il est de même désormais exigé l'installation de puits de chaleur de refroidissement de secours constituant des solutions de remplacement.

Evacuation des surpressions et de l'hydrogène

- Après la défaillance des systèmes de refroidissement, il n'a pas été possible de lutter efficacement contre l'augmentation de la pression dans les systèmes de réacteurs avant la fusion du cœur car les systèmes de dépressurisation n'avaient pas été suffisamment dimensionnés pour un tel usage. L'état dépressurisé des réacteurs n'a pas été atteint à temps et il a été impossible d'utiliser les pompes à incendie pour l'alimentation en eau afin d'immerger le cœur du réacteur.

D'autre part, après la fusion du cœur, les systèmes de réduction de la pression de l'enceinte de confinement n'étaient pas suffisants pour limiter les conséquences de l'accident. En 2009, le ministère de l'Intérieur avait reconnu la nécessité de mettre en place des systèmes de dépressurisation filtré, mais la Nisa n'a rien entrepris de concret pour remédier à ces lacunes. Ces systèmes auraient permis de retenir la majeure partie des substances radioactives.

De plus, les bâtiments de réacteur n'étaient pas non plus équipés de systèmes d'évacuation de l'hydrogène; il n'existait ici non plus aucune disposition au sens

d'une «défense en profondeur». Ces défauts majeurs doivent désormais être supprimés sur les autres centrales nucléaires par la mise en place des systèmes correspondants.

Etanchéité contre les intrusions d'eau

- Le danger d'inondation par les tsunamis a été massivement sous-estimé. Le gouvernement japonais en tire l'enseignement que les systèmes de sécurité centraux doivent également être protégés contre de submersions qui peuvent être sensiblement supérieures à celles prises en compte lors du dimensionnement initial et de la construction des installations. La clé réside dans la nécessité de concevoir les systèmes de sécurité essentiels sous forme étanche à l'eau. Dans ce contexte le gouvernement japonais exige pour les installations que soit assurée l'étanchéité à l'eau des bâtiments, portes, pompes de refroidissement exposées du côté de l'eau, ainsi que l'étanchéité des galeries souterraines de conduites et de câbles.

Etat d'alerte pour cas d'urgence

- L'état d'alerte qui constitue également un élément de la «défense en profondeur» était insuffisant. Il n'existait que des plans de gestion de cas d'urgence incomplets pour assurer le refroidissement suffisant des systèmes de réacteurs et des bassins de stockage par des alimentations en eau alternatives ou par refroidissement par air, par exemple au moyen de manches à incendie ou de conduites d'eau indépendantes des pompes à eau de mer noyées. De nombreuses difficultés pratiques ont découlé du fait que les installations ne disposaient d'aucune possibilité prévue d'alimentation de secours en eau dans le cadre de la gestion de cas d'urgence.

La gestion des cas d'urgence au Japon ne relève pas de la loi ou des autorités, mais est simplement soumise au volontarisme et au sens des responsabilités de l'exploitant. Les directives applicables aux cas d'urgence élaborées par l'exploitant étaient incomplètes et n'avaient pas été révisées depuis 1992. Il y manquait notamment toutes les exigences approuvées officiellement en matière de maîtrise d'incidents graves. C'est ainsi qu'il n'existait aucune instruction contraignante imposant l'organisation périodique d'exercices de cas d'urgence dans les centrales nucléaires japonaises.

De plus, les voies de prise de décisions ni rodées, ni définies clairement entre l'installation, Tepco, la préfecture et les autorités gouvernementales ont entraîné des retards considérables lors de la lutte contre les effets de l'accident.

Le gouvernement japonais en a tiré l'enseignement qu'il était indispensable de renforcer et de gérer professionnellement la gestion des cas d'urgence à tous les niveaux pour le cas d'un accident grave. Le gouvernement va préparer et promulguer une gestion de cas d'urgence ayant force de loi pour les centrales nucléaires.

Installation multitranches

- La catastrophe naturelle a entraîné une situation d'urgence simultanée dans plusieurs tranches de réacteurs étroitement proches les unes des autres, ce qui a imposé un partage des maigres moyens disponibles en équipements de secours et en personnel après le passage du tsunami. Cette situation a entraîné une utilisation sous-optimale des moyens de lutte et d'énormes pertes de temps. Enfin, les différentes tranches n'étaient pas efficacement séparées physiquement les unes des autres en raison de leur conception, ce qui a permis une extension rapide des difficultés d'une tranche à l'autre.

Le gouvernement en a tiré l'enseignement que sur un site les différentes tranches doivent être physiquement séparées les unes des autres lors de leur conception technique, et que le personnel affecté à chaque tranche doit être en mesure d'appliquer lui-même les mesures prévues en cas d'urgence, en toute indépendance des équipes de quart des autres tranches.

Autorités de surveillance

- La subordination de la Nisa au ministère japonais de l'Economie ne satisfait pas non plus aux exigences internationales d'indépendance des autorités de sûreté. A compter de début avril 2012, la Nisa sera détachée du Meti et sera placée sous la tutelle du ministère de l'Environnement en tant que service indépendant. Le champ d'action de la Commission de sûreté nucléaire (NSC) sera également réexaminé.

Mesures immédiates

En juillet 2011, le gouvernement japonais a décidé de procéder à un test de résistance en deux phases dans toutes les centrales nucléaires du pays. Dans un premier temps, les réserves sécuritaires en cas d'événements naturels plus importants que les bases prises pour la conception des réacteurs sont contrôlées. La seconde phase concerne un contrôle de la sécurité similaire au test de résistance de l'UE. La mise en évidence des réserves de sécurité est la condition pour le redémarrage d'une installation après arrêt pour inspection. La seconde partie a pour objectif l'amélioration du niveau de sécurité. Ce processus est suivi par l'AIEA, et les résultats des tests de résistance vérifiés par elle.

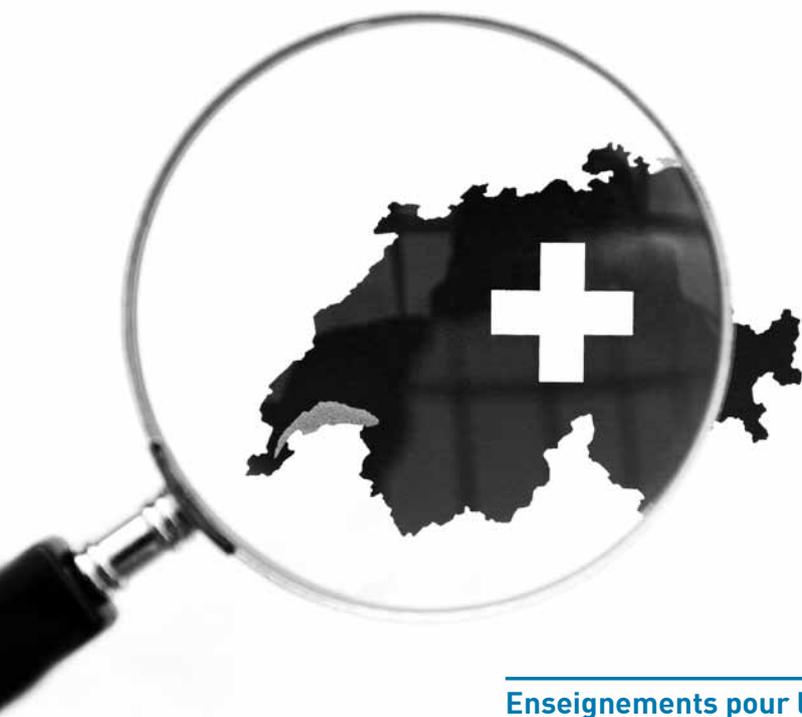
L'évaluation globale des événements montrent que l'accident de Fukushima-Daiichi ne constitue sans doute pas le «risque résiduel de l'énergie nucléaire» tel que cité ainsi à de nombreuses reprises.

Défaillance du système japonais

L'accident n'aurait pas eu lieu si la NSC, la Nisa et l'exploitant avaient reconnu le risque manifestement très important de tsunamis de grande ampleur, et avaient fait périodiquement transformer leurs installations au cours de ces dernières décennies afin qu'elles correspondent au niveau le plus évolué des techniques de sécurité. S'il avait également été appliqué d'emblée une gestion de cas d'urgence plus efficace imposée par les autorités, on aurait assisté sans aucun doute à une évolution bien moins grave et à des effets bien moindres pour l'environnement.

Dans son appréciation globale, le gouvernement japonais aboutit à la conclusion que la culture de sécurité était insuffisante dans le domaine de l'énergie nucléaire. L'une des conséquences les plus amères de ces insuffisances a été que l'appréciation des risques n'a jamais été remise en cause, ni par l'exploitant, ni par l'autorité de sûreté nucléaire, et que l'évolution des connaissances techniques n'avait pas trouvé son application dans une mise à niveau appropriée des installations.

La raison pour laquelle la commission de sûreté, les autorités de surveillance et l'exploitant de la centrale nucléaire de Fukushima ont pendant si longtemps ignoré l'appréciation correcte du risque effectif des tsunamis et omis de prendre toutes les mesures de prévention nécessaires reste toujours un mystère.



Enseignements pour la Suisse

Les centrales nucléaires suisses sont bien mieux préparées à subir une grave catastrophe naturelle que les installations de Fukushima-Daiichi. L'objectif de la politique de prévention suisse a toujours été qu'un accident grave survenant dans une centrale nucléaire, même si une telle probabilité reste infime, puisse être maîtrisé rapidement afin d'éviter à la population et à l'environnement de subir des dommages importants du fait de la libération de radioactivité.

Culture de sécurité

En Suisse, la sûreté des installations nucléaires constitue une obligation permanente aussi bien pour les exploitants que pour les autorités de surveillance. La sûreté est contrôlée en permanence par l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) indépendante et par les exploitants eux-mêmes, tandis que les installations ont été, sont et seront mises à niveau de façon continue, en fonction des connaissances nouvelles acquises.

Le maintien de l'état le plus évolué de la technique est expressément exigé par la loi sur l'énergie nucléaire⁶ et les centrales nucléaires suisses font en outre l'objet d'audits de sûreté réguliers selon un cycle décennal. Ce faisant, les événements même les plus improbables tels que les catastrophes naturelles extrêmes font partie du spectre de risque retenu.

Prévention et mises à niveau

Ce processus de mise à niveau a été lancé en Suisse dès les années 1970, c'est-à-dire peu après la mise en service des premières centrales nucléaires. Au cours des décennies passées et notamment après l'accident de fusion de cœur à la centrale nucléaire américaine de Three Mile Island en 1979, les exploitants des centrales nucléaires suisses ont procédé à des travaux de modernisation pour des montants de plusieurs milliards.

Nouvelle évaluation du risque sismique

La prévention se poursuit: La Suisse a lancé dès 2000 une nouvelle évaluation du risque sismique sur la base de l'évolution des connaissances scientifiques dans ce domaine; l'analyse prend ainsi en compte des séismes d'une extrême rareté dont la

⁶ Loi sur l'énergie nucléaire, art. 22 g: Le détenteur de l'autorisation d'exploiter «doit rééquiper l'installation dans la mesure où les expériences faites et l'état de la technique du rééquipement l'exigent, et au-delà si cela contribue à diminuer encore le danger et pour autant que ce soit approprié».

probabilité de survenue est d'un cas tous les dix millions d'années. Ces nouvelles connaissances viennent s'intégrer à l'amélioration continue des installations.

Depuis la construction des premières centrales nucléaires en Suisse, à la fin des années 1960, la culture de la sûreté suisse a permis d'obtenir aujourd'hui un niveau de sécurité cent fois supérieur dans les centrales plus anciennes. Sécurité et rentabilité vont de paire, et seule une installation sûre est une installation rentable.

Cinq différences fondamentales

Les centrales nucléaires suisses se distinguent de l'installation accidentée de Fukushima-Daiichi sur cinq points fondamentaux:

1. Les analyses de sécurité ont été effectuées de manière régulière et correspondent à l'état actuel de la science et de la technique. Elles prennent également en considération les événements naturels d'une rare ampleur tels que des scénarios de séismes et d'inondations susceptibles de survenir une fois tous les 10'000 ans, d'après les données actuellement disponibles.
2. Le risque d'inondation est pris en compte dès la phase de conception. Les dernières études de site actualisées dans le cadre de la planification de centrales de remplacement en 2009, ont confirmé essentiellement les dernières suppositions et les derniers résultats.
3. Toutes les centrales nucléaires suisses disposent déjà de systèmes de refroidissement de maintien et de secours multiples, indépendants les uns des autres et de types différents. De plus, toutes les installations sont équipées en outre de systèmes de poste de contrôle-commande de secours bunkérisés contre les séismes importants, les inondations, la chute d'aéronefs et les attentats terroristes. Ces systèmes restent encore pleinement opérationnels, alors que tous les autres systèmes de refroidissement de maintien et de secours connaîtraient des défaillances.
4. Il y a 20 ans, les centrales suisses ont également été dotées de systèmes absorbant ou évacuant l'hydrogène avant qu'il ne puisse exploser. Les mises à niveau ont également concerné le montage d'un système, indépendant et résistant aux effets d'incidents, de dépressurisation filtrée de l'enceinte de confinement par lequel, dans un cas d'urgence extrême, la vapeur peut être rejetée dans l'environnement par la cheminée, avec un filtrage efficace retenant plus de 99% des substances radioactives contenues dans les gaz rejetés. Ces systèmes permettent également en cas d'extrême urgence (défaillance simultanée de l'ensemble des dispositifs d'alimentation électrique de secours) de dégager la chaleur de désintégration dans l'atmosphère environnante sur une longue échéance, de manière passive et indépendamment de l'alimentation en courant.
5. Les mesures préparatoires aux situations d'urgence ont un niveau d'exigence élevé dans les centrales nucléaires suisses, et regroupent de nombreuses procédures solides destinées à prévenir un endommagement du cœur du réacteur. Des exercices d'urgence sur la base de scénarios d'accidents particulièrement graves engendrant des dommages au cœur sont effectués plusieurs fois par an sous la surveillance des autorités.

Comme les centrales nucléaires suisses ont déjà tiré des accidents de Three Mile Island (1979) et de Tchernobyl (1986) et appliqué les leçons essentielles concernant les mesures de prévention et de mise à niveau de protection contre les accidents graves, elles n'ont que peu d'enseignements fondamentaux nouveaux à tirer de l'accident de Fukushima.

Mesures après Fukushima

Suite à l'accident survenu au Japon, l'IFSN a exigé en tant que mesure immédiate l'aménagement d'un dépôt externe d'équipements de secours. Celui-ci a été mis à disposition par les exploitants dans les délais impartis, soit le 1^{er} juin 2011. Il se trouve dans un ancien bunker de l'armée capable de résister aux séismes et aux inondations. Ce dépôt abrite notamment des générateurs de secours, des pompes, du carburant, et divers équipements qui seraient, si nécessaires, transportés sur le site concerné par hélicoptère.

A la lumière de l'analyse des événements de Fukushima-Daiichi, l'IFSN a identifié d'autres mesures préventives qui vont être progressivement appliquées aux centrales nucléaires jusqu'à fin mars 2012. Parmi celles-ci en particulier, une nouvelle analyse approfondie des conséquences possibles d'une panne inopinée de longue durée de l'alimentation externe en énergie électrique et de la maîtrise d'un tel cas d'urgence pour ce qui concerne le refroidissement des réacteurs et des bassins de stockage des éléments combustibles usés.

Pour ce faire, l'IFSN a validé les décisions correspondantes le 5 mai 2011. Ces nouvelles dispositions obligent les exploitants des centrales nucléaires à vérifier l'existence de nouvelles possibilités d'amélioration de leurs installations dans le domaine de la maîtrise des effets de séismes et d'inondations d'extrême rareté (1 événement tous les 10'000 ans), mais aussi des effets de la combinaison de séismes et de rupture de barrages.

Comme premier résultat de ce processus, la centrale nucléaire de Mühleberg a procédé à la modification de la prise d'eau du système de refroidissement de secours et a mis pour cela ses installations à l'arrêt pour deux mois environ au cours de l'été 2011.

«Tests de résistance» de l'UE

L'IFSN a également obligé les exploitants de soumettre leurs installations aux «tests de résistance» exigés par l'UE pour déterminer les réserves de sécurité effectivement disponibles. Près de 160 centrales nucléaires de la zone Europe ont ainsi été soumises à ces tests au cours de l'année 2011. Le test de résistance de l'UE a une nouvelle fois confirmé les normes de sécurité élevées des centrales nucléaires suisses. L'IFSN a cependant identifié de nouveaux points où un potentiel d'amélioration subsiste encore. L'autorité exige des exploitants qu'ils effectuent un contrôle de ces points avant fin 2012 et proposent des améliorations le cas échéant.

L'IFSN a fait la liste de 37 autres points de contrôle, indépendamment des tests de résistance de l'UE. Ces points concernent entre autres les mesures de protection d'urgence. Ils devront être revus et mis en œuvre d'ici 2015.

Un coup d'œil exempt de préjugés sur les centrales nucléaires suisses montre que nos installations disposent de tout ce qui manquait à Fukushima-Daiichi pour la maîtrise de l'accident, car tous les systèmes indispensables dans un tel cas ont été prévus en Suisse dès la conception ou ont fait l'objet d'une mise à niveau tout au début des années 1990.

Plusieurs institutions japonaises ont également reconnu ces faits. Elles se rendent actuellement dans les centrales suisses et dans les locaux de l'IFSN afin d'étudier notre technique de sécurité et notre culture de sûreté. Les centrales suisses sont également citées comme exemple dans les pays dans lesquels le test de résistance a mis en évidence un potentiel d'amélioration.

La culture de sûreté pratiquée en Suisse, aussi bien du côté des autorités que du côté des exploitants, sera garante à l'avenir également de l'application des mesures pratiques qui découleraient d'enseignements nouveaux éventuels tirés de l'accident de Fukushima, et contribue ainsi à la poursuite de l'amélioration de la sûreté des centrales nucléaires suisses déjà reconnue comme de très haut niveau.

Le processus d'apprentissage est encore loin d'être terminé.

Sources:

Le Forum nucléaire suisse exprime tous ses remerciements à Johannes Nöggerath, président de la Société suisse des ingénieurs nucléaires (SOSIN), pour son assistance professionnelle étendue lors de la préparation de ce dossier.

Government of Japan, Nuclear Emergency Response Headquarters: The accident at Tepcos Fukushima Nuclear Power Stations. Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety. Tokyo, June 2011, ~ 750 p.
<http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report/>

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat: Ensi-Berichte zu Fukushima (I: Chronologie, II: Mensch und Organisation, III: Lessons Learned, IV: Radiologische Auswirkungen). Brugg, 2011.
<http://www.ensi.ch/de/dossiers/fukushima-2/>

Nöggerath J., Geller R.J. & Gusiakov V.K.: Fukushima: The myth of safety, the reality of geoscience. Bulletin of the Atomic Scientists. September/October 2011, vol. 67 no. 5, 37-46.
<http://bos.sagepub.com/content/67/5/37>

Japan Nuclear Technology Institute: Review of Accident at Tokyo Electric Power Company Incorporated's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station and Proposed Countermeasures (Summary). Tokyo, October 2011, 23 p.
www.gengikyo.jp/english/shokai/Tohoku_Jishin/summary.pdf

Institute of Nuclear Power Operations (INPO): Special Report on the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Atlanta, GA/USA, November 2011, 97 p.
<http://www.nei.org/resourcesandstats/documentlibrary/safetyandsecurity/reports/>

Investigation Committee on the Accidents at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company: Executive Summary of the Interim Report. Tokyo, 26 December 2011, 22 p.
<http://icanps.go.jp/eng/111226ExecutiveSummary.pdf>