



**MÉMOIRE
ET RETOUR D'EXPÉRIENCES**

Centrale nucléaire de Cruas-Meysses © IRMa - Sébastien Gominet

LA SÛRETÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES FRANÇAISES DIX ANS APRES L'ACCIDENT DE LA CENTRALE DE FUKUSHIMA DAIICHI

Olivier Dubois, IRSN, directeur adjoint de l'expertise de sûreté.

Le 11 mars 2011, un séisme suivi d'un tsunami ravage une partie de la côte est du Japon. Les réacteurs de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi sont privés de leurs moyens de refroidissement. La fusion de trois cœurs de réacteurs ne peut être évitée et entraîne des rejets radioactifs importants dans l'environnement et l'évacuation de populations. En France et en Europe, la sûreté des installations nucléaires est réévaluée pour des aléas naturels extrêmes et des améliorations de sûreté sont définies. Dix ans plus tard, leur mise en œuvre est en cours de déploiement dans les réacteurs électronucléaires d'EDF.

LE DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA

La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi comporte six réacteurs à eau bouillante dont trois étaient en fonctionnement le 11 mars 2011. À 14h46, un séisme de magnitude 9 a frappé la région, entraînant l'arrêt automatique des réacteurs en fonctionnement ainsi que la perte des alimentations électriques externes. Les groupes électrogènes de secours permettent d'évacuer, comme prévu, la puissance dite

« résiduelle » générée par les produits de fission présents dans les cœurs des réacteurs.

Ce séisme a également entraîné un tsunami. Moins d'une heure plus tard, plusieurs vagues successives, dont une de quatorze mètres, inondent le site (figure 1), endommageant des prises d'eau en mer et entraînant la perte des groupes électrogènes de secours. La fusion du cœur du réacteur 1 se produit le 11 mars. Elle est suivie par la fusion du cœur des réacteurs 3 puis 2, respectivement les 13 et 14 mars, après la perte des systèmes de

refroidissement encore disponibles.

En effet, à la suite de la perte de ces systèmes, les cœurs des trois réacteurs qui étaient en fonctionnement s'échauffent. L'oxydation des gaines métalliques du combustible par la vapeur d'eau produit de grandes quantités d'hydrogène et de chaleur. Les combustibles contenus dans les cœurs fondent. Le corium formé par la fusion du combustible et des matériaux des structures s'écoule vers le fond des cuves et les perce. L'éventage des enceintes de confinement des réacteurs (par

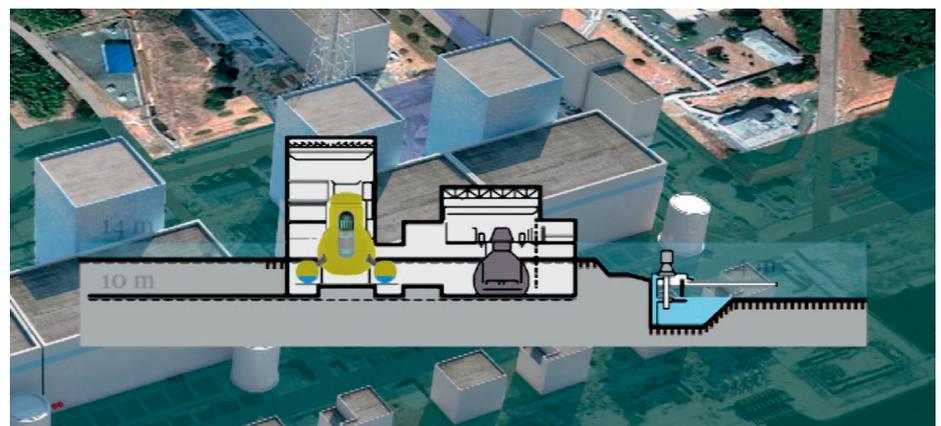


Figure 1 : Inondation des 4 premiers réacteurs de la centrale de Fukushima Daiichi, le 11 mars 2011 © IRSN

ouverture d'une tuyauterie donnant sur l'extérieur) est décidé pour réduire leur pression. Des explosions d'hydrogène endommagent les bâtiments. Parallèlement, les piscines d'entreposage des combustibles usés situées en partie haute des bâtiments s'échauffent ; des appoints en eau réalisés par des moyens d'urgence mobiles maintiennent les combustibles sous eau.¹

LES CONSÉQUENCES DE L'ACCIDENT SUR L'ENVIRONNEMENT ET LES POPULATIONS

Les opérations d'éventage des enceintes et surtout la rupture de l'enceinte du réacteur 2 entraînent des rejets radioactifs importants dans l'environnement, en particulier des gaz rares, de l'iode 131 et du césium 137. Les autorités décident d'évacuer 80 000 personnes dans un rayon de 20 km et de mettre à l'abri la population située dans la zone de 20 à 30 km. Les rejets les plus significatifs durent trois semaines et contaminent principalement une zone située au nord-ouest du site (figure 2). L'accident conduit également à une contamination radioactive du milieu marin.

L'ÉTAT DU SITE ET DES TERRITOIRES DIX ANS APRÈS

Les conditions sont actuellement stabilisées dans les réacteurs accidentés, moyennant l'injection permanente d'eau pour refroidir les cœurs. Cette situation conduit à la production d'environ 170 m³ d'eau contaminée par jour. Au total, près de 1,2 million de m³ d'eau contaminée sont entreposés sur le site, dont la capacité maximale d'entreposage est à ce jour d'un peu moins de 1,4 millions de m³.

Autour du site, les opérations de réhabilitation des territoires contaminés ont conduit à la collecte de 20 millions de m³ de déchets contaminés. Répartis dans plus de 1300 sites, ils sont en cours d'acheminement vers un entreposage centralisé situé à côté de la centrale accidentée.

Les habitants de la préfecture de Fukushima continuent de faire l'objet d'un suivi médical. Des effets sanitaires indirects sont observés (diabète, dysfonctions rénales ou hépatiques, obésité, alcoolisme), dans un contexte de stress post-traumatique. En ce qui concerne les effets radio-induits, les études publiées à ce jour ne montrent pas de lien entre les doses reçues et la fréquence des cancers de la thyroïde dans la préfecture de Fukushima. Il est encore prématuré de se prononcer sur une éventuelle

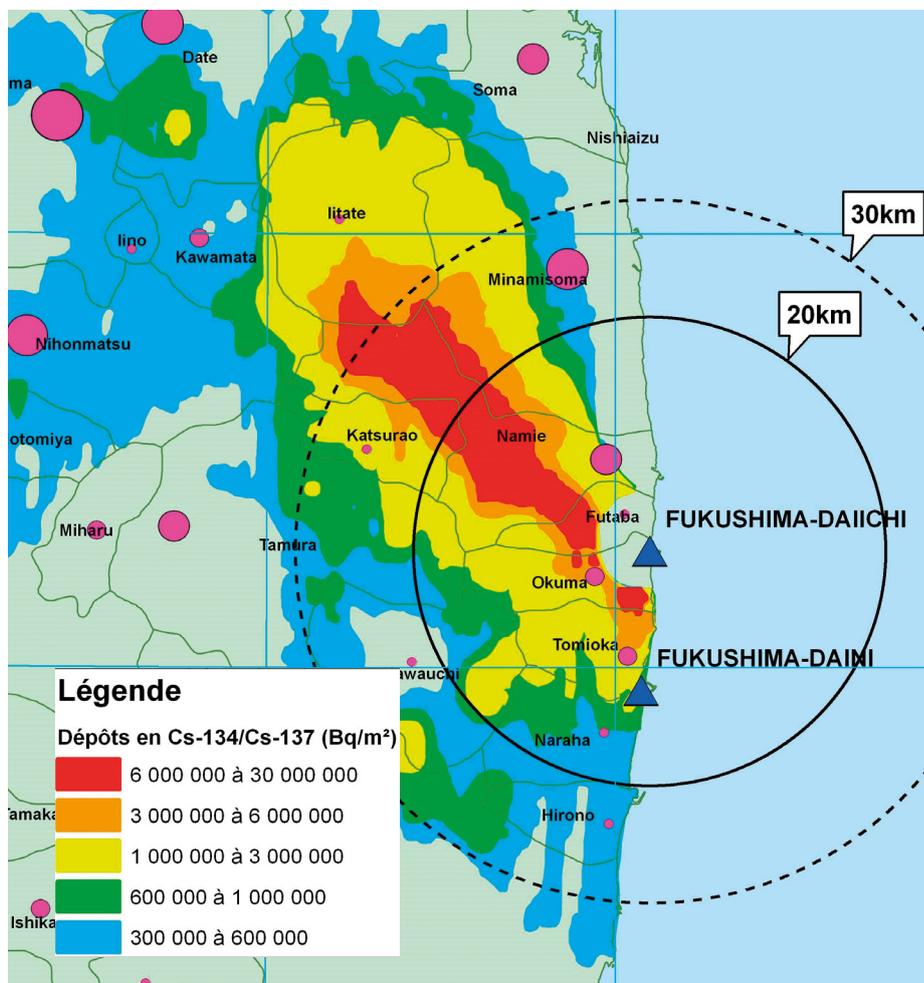


Figure 2 : dépôts en césium 134 et 137 estimés par l'IRSN après l'accident de Fukushima © IRSN

augmentation des cancers de la thyroïde consécutive à l'accident chez les enfants présents en 2011 dans la préfecture de Fukushima. Le retour de la population dans les zones évacuées atteint un taux moyen de 20 %, avec de grandes disparités (2 à 75 % selon les communes).

LES CONCLUSIONS DES ÉVALUATIONS COMPLÉMENTAIRES DE SÛRETÉ EN FRANCE

En France, les centrales nucléaires ont été conçues pour résister à des agressions naturelles, comme les séismes, les inondations, ou les températures extrêmes. Pour cela, des aléas de dimensionnement ont été définis, en considérant notamment les données historiques. Certains événements (grands froids entre 1985 et 1987, inondation partielle du site du Blayais en 1999, canicules de 2003 et 2006) ont conduit à renforcer les protections. Cependant, l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi a souligné que l'occurrence d'agressions naturelles dépassant les aléas de dimensionnement ne pouvait être totalement écartée.

En 2011, des Évaluations complémentaires de sûreté (ECS) ont été menées, à la demande du

Premier ministre, par les exploitants nucléaires afin d'apprécier le comportement de leurs installations en situation de perte totale des alimentations électriques et de la source de refroidissement. Les résultats des ECS ont été expertisés par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Ils ont tout d'abord confirmé que les centrales nucléaires sont en mesure de faire face aux agressions naturelles prises en compte dans leur conception, sous réserve toutefois de l'état de conformité des installations. Les ECS ont ainsi mis en exergue la nécessité de veiller au maintien de cette conformité dans le temps, préoccupation au cœur des expertises techniques de l'IRSN, notamment dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe.

Les ECS ont par ailleurs montré le besoin de renforcer la robustesse des centrales nucléaires à l'égard des effets d'agressions naturelles de très fortes intensités. EDF a alors défini un « noyau dur » de dispositions matérielles, humaines et organisationnelles visant à éviter la fusion du cœur, à en limiter les conséquences si elle venait malgré tout à se produire, et à

¹ IRSN. (2012). Le déroulement de l'accident de Fukushima Daiichi : <https://youtu.be/gF19Ukb4S-I>



Quels sont les premiers dispositifs clés du « noyau dur » ?

Prévenir un accident avec fusion du combustible ou ralentir sa progression, limiter les rejets massifs et permettre à l'exploitant de gérer la crise. Voici les trois objectifs du « noyau dur » dont les centrales françaises s'équipent après Fukushima pour résister aux aléas extrêmes. À l'origine de cette initiative, l'Institut expertise sa conception et sa mise en œuvre. Au-delà de 72 heures, la Force d'action rapide nucléaire prend le relais pour assister le site. Zoom sur ses premiers dispositifs.

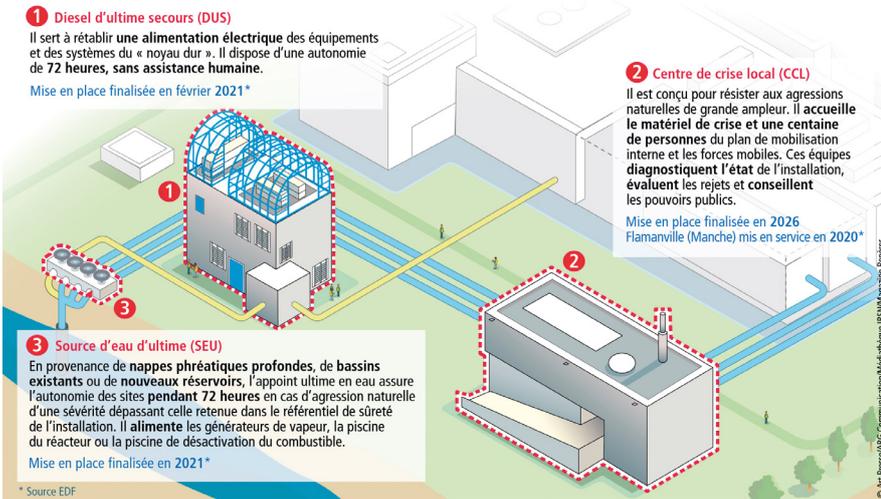


Figure 3 : Les principaux éléments du noyau dur pour les réacteurs d'EDF - © IRSN

assurer les missions incombant à l'exploitant en situation d'urgence, jusqu'à l'arrivée de la Force d'action rapide du nucléaire (FARN).

LE DÉPLOIEMENT PROGRESSIF DE LA FARN ET DU NOYAU DUR DANS LES CENTRALES D'EDF

La FARN d'EDF dispose de moyens (alimentation en eau, en électricité et en air comprimé, moyens de transport et de franchissement) pour rétablir les fonctions de sûreté essentielles, même en conditions dégradées. Pleinement opérationnelle depuis 2015, elle peut intervenir dans un délai de 24h.

Les modifications post-Fukushima sont déployées en phases successives. La première, achevée depuis 2015, a consisté en la mise en place de moyens mobiles de secours et en des adaptations permettant la connexion des moyens de la FARN. La deuxième phase comporte l'installation de groupes électrogènes diesels d'ultime secours, de sources d'eau ultimes et de centres locaux de crise, dont les fonctions sont détaillées sur la figure 3. Les diesels d'ultime secours sont opérationnels sur tous les réacteurs en fonctionnement. Pour les sources d'eau ultimes, EDF a retenu, selon les sites, diverses solutions techniques (puits en nappes phréatiques, bassins existants, nouveaux réservoirs). Tous les réacteurs doivent être équipés d'une source d'eau ultime, au besoin par une solution provisoire, d'ici fin 2021. Le centre local de crise du site de Flamanville est

achevé ; ceux des autres sites seront construits entre 2022 et 2026.

Enfin, la dernière phase de modifications s'effectue au rythme des quatrièmes visites décennales des réacteurs (ou des troisièmes visites décennales pour les réacteurs les plus récents). Il s'agit d'améliorations visant à rapprocher le niveau de sûreté des réacteurs existants de celui des réacteurs de nouvelle génération, comme l'EPR de Flamanville. Dans ce cadre, un nouveau circuit « ultime » est installé pour extraire la chaleur de l'atmosphère de l'enceinte de confinement des réacteurs et pour refroidir le corium en cas de fusion du cœur. Il permettra de limiter la montée en pression dans l'enceinte et participe à réduire le risque de percée du radier en béton du réacteur par le corium en fusion. Actuellement, les réacteurs n°1 du Tricastin et n°2 du Bugey sont équipés de ce système. La fin du déploiement de cette ultime phase de modifications sur l'ensemble du parc nucléaire en fonctionnement devrait s'étaler jusqu'au milieu des années 2030.

AU-DELÀ DES RENFORCEMENTS MATÉRIELS, QUELLES PERSPECTIVES POUR AMÉLIORER LA SÛRETÉ ?

La conception et l'exploitation d'une installation nucléaire répondent à des règles visant à assurer une maîtrise satisfaisante des risques et la protection des populations et de l'environnement. Ces règles

sont basées sur l'analyse des scénarios susceptibles d'affecter l'installation. L'accident de la centrale de Fukushima Daiichi interroge sur la capacité d'anticipation des événements susceptibles d'affecter les installations nucléaires et sur le caractère suffisant des hypothèses de conception des systèmes de sûreté. Nonobstant les renforcements en cours de déploiement, toutes les combinaisons d'événements et de défaillances imaginables ne peuvent pas être retenues comme bases de conception.

La gestion des événements à la centrale de Fukushima Daiichi, mais également à la centrale de Fukushima Daini située à proximité, a montré que la capacité de réponse et d'adaptation des équipes du site est déterminante dans la gestion d'une situation inattendue. Cette résilience, précieuse pour faire face à la diversité des situations envisageables, devient déterminante en cas de situation imprévue. Des travaux de recherche en sciences humaines et sociales montrent que si une part de la capacité d'adaptation se forme au cours de la situation accidentelle, un travail d'anticipation permet d'identifier des conditions et des ressources favorables à la résilience des équipes.

Ainsi, en complément des efforts mis en œuvre pour garantir l'état de conformité des installations et pour dimensionner et installer des systèmes de sûreté plus résistants, travailler au renforcement de la résilience des hommes et des organisations face à une situation imprévue est une piste que l'IRSN s'attachera à poursuivre.

