

## Dossier IRSN

# Accident de la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi

## *Etat des lieux deux ans après l'événement*

Mars 2011 - Mars 2013 : deux ans après l'accident de la centrale nucléaire japonaise de Fukushima-Daiichi, l'IRSN fait un point sur la situation au Japon ainsi que sur les actions européennes et internationales engagées afin de prévenir la survenue d'un autre accident nucléaire et ses conséquences radiologiques ; les éléments de ce dossier ont été établis à partir des données disponibles à la fin du mois de janvier ou février 2013.

Le présent dossier d'information propose une synthèse des principales actions engagées.

# Sommaire

## I. La situation au Japon et en Europe : rappel 2011

### 1. L'accident

### 2. L'action de l'IRSN

- Des calculs d'endommagement des installations
- Des modélisations de déplacement des masses d'air contaminé
- Des simulations de dispersion des radionucléides en milieu marin
- L'information des ressortissants français présents au Japon et le contrôle radiologique des voyageurs rentrant du Japon
- L'information de la presse et du public

### 3. Les tests de résistance des installations nucléaires : évaluations complémentaires de sûreté et *stress tests* européens

## II. La situation au Japon deux ans après l'accident

### 1. L'évolution de la gouvernance en matière de gestion du risque nucléaire

### 2. L'état de la centrale de Fukushima-Daiichi : point de la situation au mois de janvier 2013

- La stabilisation des installations accidentées
- Les premières phases de reprise du contrôle des installations
- Les actions de maîtrise des rejets
- Le phasage du plan d'actions de TEPCO
- La gestion des déchets résultant de l'accident et de ses conséquences

### 3. L'impact sanitaire et environnemental de l'accident, et la gestion de la phase post-accidentelle

- L'évolution des zones d'évacuation et de restrictions d'accès
- L'évolution des restrictions alimentaires
- Les actions de décontamination en cours
- Les études épidémiologiques de suivi de la population au Japon

### 4. L'action de l'IRSN

- L'évaluation des doses potentiellement reçues par les populations
- Le renforcement de la coopération franco-japonaise en matière d'accidents graves
- La participation au *Fukushima Dialogue*

## III. La contribution de l'IRSN au renforcement de la sûreté nucléaire et de la radioprotection

### 1. A l'international

- Le Forum des TSO de l'AIEA
- Le plan d'actions de l'AIEA
- L'état de l'art des connaissances en matière de radioprotection réalisé par l'UNSCEAR
- L'évaluation par l'OMS du risque pour la santé au Japon et en dehors

### 2. En Europe

- Les *stress tests* du parc nucléaire européen
- Les guides ETSON d'évaluation de sûreté
- Les travaux menés par WENRA
- Donner la priorité à la sûreté dans la recherche nucléaire européenne

### 3. En France

- Les évaluations complémentaires de sûreté
- Les enseignements de l'accident de Fukushima-Daiichi pour l'expertise et la recherche à l'IRSN
- Les premières estimations du coût d'un accident affectant un réacteur nucléaire en France

# I. La situation au Japon et en Europe : rappel 2011

## 1. L'accident

Située sur la côte est de l'île de Honshu, dans la préfecture de Fukushima, la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi, exploitée par Tokyo Electric Power Company (TEPCO), se compose de six réacteurs à eau bouillante (REB) :

Réacteur	Puissance	Constructeur	Mise en service
N°1	460 MWe	General Electric	1971
N°2	784 MWe	General Electric	1974
N°3	784 MWe	Toshiba	1976
N°4	784 MWe	Hitachi	1978
N°5	784 MWe	Toshiba	1978
N°6	1 100 MWe	General Electric	1979

Le 11 mars 2011, à 14h46 heure locale (06h46 heure française), un séisme de magnitude 9 survient à 80 km au large des côtes de l'île de Honshu, déclenchant un tsunami qui pénètre jusqu'à 10 km à l'intérieur des terres et détruit partiellement ou totalement de nombreuses villes et zones portuaires. La combinaison de ces événements naturels d'une ampleur exceptionnelle dévaste le site de la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi, entraînant la perte de refroidissement des cœurs des réacteurs et de plusieurs piscines d'entreposage de combustibles usés. Les cœurs de trois réacteurs entrent en fusion, tandis que des explosions, provoquées par la production d'hydrogène lors de la dégradation des combustibles, endommagent les bâtiments des réacteurs 1 à 3. Les réacteurs 5 et 6, construits sur une plate-forme située une dizaine de mètres plus haut, ne sont pas affectés.

Des rejets massifs dans l'environnement ont lieu à partir du 12 mars 2011 et, de manière plus modérée mais persistante, pendant plusieurs semaines. L'accident est classé au niveau 7 de l'échelle INES<sup>1</sup>.

## 2. L'action de l'IRSN

Dès 11h00 (heure française) le 11 mars 2011, l'IRSN crée son centre technique de crise où plus de 150 experts se relaient jour et nuit, pendant plus de trois semaines. Les équipes analysent en continu les informations, parfois incomplètes, fournies par l'exploitant et les autorités japonaises. Elles s'emploient à évaluer et à anticiper l'évolution de la situation sur le site de l'accident et les rejets probables dans l'atmosphère. L'Institut transmet en tant qu'expert public, cette analyse de la situation aux décideurs publics et aux médias, voire au public, via son portail Internet ([www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)). L'IRSN établit également un lien particulièrement actif avec l'ambassade de France au Japon et les ressortissants français, conseillant les conduites à tenir.

### Des calculs d'endommagement des installations

Dès le début de l'accident, l'IRSN effectue des calculs à partir des informations disponibles et arrive rapidement à la conclusion que le combustible des cœurs des réacteurs 1 à 3 a partiellement fondu du fait de la perte de refroidissement survenue et que l'étanchéité des cuves et des enceintes n'est plus garantie.

Les analyses menées depuis par TEPCO concluent :

- à la fusion totale du cœur et à la percée de la cuve du réacteur 1, avec épandage de corium<sup>2</sup> dans le fond de l'enceinte de confinement ;
- à une dégradation importante des cœurs des réacteurs 2 et 3, avec la possibilité d'une relocalisation significative de corium dans le fond de la cuve et d'un écoulement de corium dans le fond de l'enceinte de confinement.

Concernant les piscines d'entreposage de combustibles usés, les éléments disponibles (contrôles par caméras vidéo de l'intérieur des piscines et mesures de la contamination de l'eau) confortent l'hypothèse selon laquelle il n'y aurait pas eu de dégradation importante des combustibles

<sup>1</sup> Echelle internationale des événements nucléaires / International Nuclear Event Scale.

<sup>2</sup> Mélange de matériaux (combustible, gainage et matériaux de structure) issu de la fusion du cœur du réacteur.

entreposés. En revanche, des matériaux sont tombés dans les piscines des réacteurs 1, 3 et 4 à la suite des explosions, ce qui compliquera l'extraction des combustibles présents.

### Des modélisations de déplacement des masses d'air contaminé

En coopération avec Météo France, l'IRSN modélise le déplacement prévisionnel des masses d'air à travers l'hémisphère Nord. Les travaux réalisés permettent d'anticiper correctement le survol du territoire français par les masses d'air contaminé et de quantifier les niveaux - très faibles - de la contamination attendue, niveaux que les mesures en laboratoire viennent ensuite confirmer. Les indications fournies par le réseau de balises Téléray, réparties en métropole et en outre-mer, sont diffusées en temps réel sur le portail Internet de l'Institut ([www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)), permettant à chacun d'accéder aux données de surveillance de sa région.

### Des simulations de dispersion des radionucléides en milieu marin

Les rejets de produits radioactifs dans la mer depuis la centrale de Fukushima-Daiichi représentant la pollution radioactive marine la plus importante à ce jour, l'IRSN s'attache, dans les jours suivant l'accident, à en estimer l'impact sur les activités de pêche dans l'océan Pacifique, afin de pouvoir se prononcer sur d'éventuelles mesures de contrôle des activités dans certaines zones de pêche. L'Institut effectue une estimation du terme source<sup>3</sup> à partir des concentrations présentes dans l'eau de mer de radionucléides tels que l'iode 131, le césium 134 et le césium 137. Il réalise en outre des simulations de la dispersion des radionucléides émis vers l'océan (tant par voie atmosphérique que liquide) permettant d'estimer le degré de dilution des rejets radioactifs par les courants marins et d'évaluer les activités attendues dans les espèces marines, en particulier celles consommées par l'homme.

### L'information des ressortissants français présents au Japon et le contrôle radiologique des voyageurs rentrant du Japon

Peu de temps après l'accident de Fukushima-Daiichi, l'IRSN dépêche auprès de l'ambassade de France à Tokyo des experts en radioprotection afin de dialoguer avec la communauté française présente au Japon, inquiète des évolutions de l'accident et de ses conséquences. L'Institut installe par ailleurs au sein de l'ambassade des sondes Téléray de nouvelle génération destinées à la surveillance radiologique de l'environnement.

Au-delà du soutien apporté aux ressortissants français présents au Japon, l'IRSN confie à l'équipe de la cellule santé de son Centre technique de crise, dès le 14 mars 2011, la réalisation de mesures de contamination par anthropogammamétrie<sup>4</sup> auprès des personnes ayant séjourné au Japon au moment de l'accident et dans les semaines suivantes. Au total, près de 400 examens (corps entier et thyroïde) seront réalisés auprès de journalistes, personnels navigants et ressortissants français au Japon. Dans un cas sur deux, les examens révèlent la présence de traces de radioactivité, conduisant l'IRSN à procéder à des évaluations de doses. Celles-ci montrent qu'aucune inquiétude n'est à nourrir au plan sanitaire.

### L'information de la presse et du public

Pendant les premières semaines qui suivent l'accident de Fukushima-Daiichi, l'IRSN émet un bulletin quotidien de suivi de l'évolution de la situation des réacteurs accidentés et de l'impact radiologique des rejets radioactifs correspondants. Ces bulletins font partie de l'information mise en ligne, en continu, sur le portail Internet de l'Institut ([www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)). Ce dernier est aménagé pour permettre une diffusion aussi large que possible des informations et analyses disponibles. Avec parfois plus de 600 000 consultations quotidiennes, il devient un instrument majeur de l'information du public.

---

<sup>3</sup> Expression de la nature, de la quantité et la cinétique de rejet de produits radioactifs d'une installation nucléaire, en conditions de fonctionnement normales ou accidentelles.

<sup>4</sup> Technique de mesure physique de la radioactivité du corps humain, l'anthropogammamétrie permet de mesurer principalement la charge en radioéléments émetteurs de rayonnements gamma.

### 3. Les tests de résistance des installations nucléaires : évaluations complémentaires de sûreté en France et *stress tests* en Europe

Dès le 23 mars, le Premier ministre demande la réalisation d'un « audit » des installations nucléaires françaises. Le 25 mars, une déclaration du Conseil européen impose la réalisation de *stress tests* sur l'ensemble des réacteurs électrogènes d'Europe. L'IRSN s'implique largement tout au long de l'année dans ces deux actions.

En France, l'Institut est rapidement sollicité par l'ASN pour contribuer à la rédaction du cahier des charges qui servira de canevas tant aux *stress tests* européens, qu'aux évaluations complémentaires de sûreté (ECS) réalisées en France. Pour les ECS en France, le champ des installations à examiner est plus large puisqu'il doit concerner toutes les installations nucléaires, à classer selon trois catégories de priorités. Celles-ci ont pour objet d'évaluer le comportement des installations dans des situations extrêmes d'origine naturelle et en cas de perte totale de sources de refroidissement ou d'alimentation électrique de longue durée pouvant affecter plusieurs installations d'un même site. Elles ont également pour objet d'évaluer la disponibilité de l'organisation et des moyens de gestion de crise dans ces situations. Pour mener ces travaux, un groupe de travail « post-Fukushima » est constitué au sein de l'IRSN. Il s'attache à définir les éléments attendus dans les rapports des exploitants.

L'IRSN analyse dès réception les dossiers présentant les démarches des exploitants visant à répondre au cahier des charges de l'ASN. Cette analyse est présentée aux groupes permanents d'experts, pour les réacteurs et pour les laboratoires et usines, le 6 juillet 2011. Trois grands constats se dégagent :

- quelques installations nucléaires présentent des écarts de conformité aux exigences de sûreté qui leur sont applicables. Des actions correctives sont en cours et seront accélérées ;
- les évolutions des connaissances doivent conduire à réexaminer certaines exigences de manière anticipée. C'est particulièrement le cas de la prise en compte des séismes, pour lesquels les connaissances ont beaucoup progressé ces dernières années ;
- la question du comportement des installations nucléaires en cas de phénomènes naturels extrêmes est posée.

Face à des scénarios exceptionnels - mais néanmoins envisageables - l'IRSN recommande l'adoption d'un « noyau dur ». Celui-ci regroupe un certain nombre de structures, systèmes et composants qui doivent répondre à des exigences de sûreté renforcées. Il garantit la pérennité des fonctions vitales des installations nucléaires le temps que des moyens externes au site puissent intervenir.

Au plan européen, le Conseil européen demande les 24 et 25 mars aux États membres de réaliser des *stress tests* sur leurs installations nucléaires de production d'électricité. Les *stress tests* sont définis comme une réévaluation ciblée des marges des centrales nucléaires, à la lumière des événements qui ont eu lieu à Fukushima-Daiichi. Les scénarios considérés incluent les situations accidentelles pouvant survenir, éventuellement de façon simultanée, dans les réacteurs et dans les piscines d'entreposage du combustible usé d'un même site. Il appartient aux exploitants d'effectuer les réévaluations et aux autorités de sûreté de se prononcer sur ces dernières. Le 15 septembre, l'ensemble des pays transmet à la Commission des rapports intermédiaires, concernant principalement la description des méthodes mises en œuvre par les exploitants pour réaliser les *stress tests*. Le 9 décembre, une synthèse est présentée au Conseil européen. Le 31 décembre, les rapports nationaux établis par les autorités de sûreté nationales, découlant de l'évaluation des rapports des exploitants, sont remis au Groupement européen des autorités de sûreté nucléaire (ENSREG).

## II. La situation au Japon deux ans après l'accident

Deux ans après l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi, le paysage nucléaire japonais est profondément transformé. Le parc électronucléaire est à l'arrêt, à l'exception des réacteurs 3 et 4 de la centrale de Ohi ; une nouvelle gouvernance en matière de gestion des risques nucléaires se met en place tandis que, sur le site de Fukushima-Daiichi, TEPCO progresse dans l'avancement d'un plan d'action visant à gérer les conséquences de l'accident. L'IRSN continue de s'impliquer, au travers de coopérations dans les différents aspects - scientifiques, techniques, humains, etc. - de cette phase post-accidentelle.

### 1. L'évolution de la gouvernance en matière de gestion du risque nucléaire

Les commissions d'investigation mises en place au Japon à la suite de l'accident des réacteurs de Fukushima-Daiichi, exploités par TEPCO, ont mis en lumière la nécessité d'une indépendance accrue de l'autorité de sûreté nucléaire. Le Gouvernement japonais a donc décidé une refonte du contrôle de la sûreté nucléaire. Ainsi, la Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA), auparavant rattachée au ministère de l'industrie (METI) a laissé place, mi-septembre 2012, à la Nuclear Regulation Authority (NRA), qui dépend désormais du ministère de l'environnement (MOE). Cette nouvelle autorité regroupe les fonctions régaliennes autrefois réparties dans plusieurs agences et ses prérogatives portent à la fois sur la sûreté, la sécurité, le contrôle des matières et la surveillance de la radioactivité dans l'environnement. Elles ne se limitent pas aux seuls réacteurs de puissance. Elle a également vocation à intégrer en son sein l'institut d'expertise JNES (Japan Nuclear Energy Safety organisation), sans que celle-ci ne soit effective en ce début d'année 2013.

La NRA a engagé des travaux en vue de l'établissement d'une nouvelle réglementation. Les projets concernent les réacteurs électrogènes à eau légère et devraient aboutir au mois de juillet 2013, après une consultation publique.

### 2. L'état de la centrale de Fukushima-Daiichi : point de la situation au mois de janvier 2013

#### La stabilisation des installations accidentées

Après être parvenu à abaisser à un seuil inférieur à 100 °C la température de l'eau dans les réacteurs 1 à 3, TEPCO indique que ceux-ci sont désormais maintenus à une température comprise entre 20 et 50 °C par injection permanente d'eau douce (débit inférieur à 10 m<sup>3</sup>/h). Du fait de l'inétanchéité des cuves et des enceintes de confinement, l'eau injectée s'écoule dans les sous-sols des bâtiments d'où elle est reprise pour être traitée et réutilisée afin d'assurer le refroidissement des réacteurs. Par ailleurs, les températures dans les piscines d'entreposage d'éléments combustibles - refroidies en circuit fermé - sont nettement inférieures à 30 °C. Afin d'éviter tout risque de combustion d'hydrogène, une injection d'azote est en outre effectuée, en tant que de besoin, dans les enceintes de confinement et les cuves des réacteurs 1 à 3, maintenant ainsi leur inertage.

Dans le but de stabiliser la situation des installations, TEPCO met en œuvre des moyens redondants et des dispositifs de secours pour les alimentations électriques. De plus, certains matériels sont installés dans des zones surélevées et une protection anti-tsunami est mise en place en bordure du site. Enfin, une surveillance des paramètres essentiels - température d'eau, teneur en hydrogène dans les enceintes, niveaux d'eau, etc. - est assurée.

#### Les premières phases de reprise du contrôle des installations

TEPCO considère que les premières phases de reprise du contrôle des installations sont désormais réalisées dans la mesure où, d'une part, le refroidissement des réacteurs et des piscines est assuré, avec le maintien d'une température basse de l'eau dans les installations et, d'autre part, les rejets résiduels sont maintenus à des niveaux faibles. Les actions de nettoyage du site se poursuivent, notamment pour permettre les travaux futurs. Le plancher supérieur du bâtiment du réacteur 4 a été libéré des éléments et gravats qui s'y trouvaient et les travaux équivalents devraient être prochainement terminés sur la tranche 3.

L'IRSN relève l'importance des moyens déployés par TEPCO pour la surveillance des installations, mais souligne le contexte toujours difficile lié à une connaissance encore limitée de leur état, à

une accessibilité réduite dans les bâtiments accidentés et au niveau de fiabilité des moyens mis en œuvre. Eu égard au temps nécessaire au démantèlement des installations, l'IRSN rappelle que ces actions vont s'inscrire dans la durée. Malgré les efforts mis en œuvre par TEPCO, une grande vigilance reste nécessaire, incluant une démarche de ré-interrogation et d'amélioration continues.

### Les actions de maîtrise des rejets

Compte tenu des dégradations très importantes subies par les barrières de confinement des matières radioactives, l'IRSN estime que de faibles rejets se poursuivent de manière continue dans l'atmosphère, de même que, très vraisemblablement, dans le sol et les eaux souterraines. Par ailleurs, des fuites sont régulièrement constatées sur les installations complémentaires mises en place à la suite de l'accident (circuits de traitement des eaux, de refroidissement des piscines...). Selon TEPCO, ces fuites ont, pour la plupart, pu être maîtrisées rapidement. Au fur et à mesure de leur avancement, les travaux de protection et de consolidation des installations entrepris par TEPCO ont vocation à réduire ces rejets.

### Le phasage du plan d'actions de TEPCO

A fin 2011, l'opérateur de la centrale de Fukushima-Daiichi était parvenu à reprendre progressivement le contrôle des opérations sur le site, maîtrisant les installations, engageant le « nettoyage » du site, mettant en place des protections contre les agressions, etc.

Aujourd'hui, 3 grandes actions sont en cours avec un objectif de réalisation à fin 2014.

- *La première est la reprise des combustibles entreposés dans la piscine 4.* Il s'agit tout d'abord d'évacuer les quelque 1 500 assemblages combustibles présents en piscine, dans un bâtiment accidenté, et pouvant être soumis à de nouvelles agressions naturelles. Ensuite, les 300 à 600 assemblages combustibles entreposés dans les piscines 1, 2 et 3 doivent également être repris.
- *Deuxième action en cours : la caractérisation des bâtiments réacteurs.* L'enjeu est ici de préparer les interventions ultérieures par le renforcement des moyens de surveillance et le maintien des apports d'eau et d'azote.
- *Enfin, TEPCO s'est attaqué à la gestion des eaux accumulées,* dans un objectif de purge des fonds de bâtiments et de maîtrise des rejets vers la nappe phréatique. Soulignons que ces opérations portent sur des centaines de milliers de tonnes d'eau.

A plus long terme, deux grandes phases sont envisagées à l'issue des actions en cours :

- la première, jusqu'au début du retrait du combustible dégradé des réacteurs (objectif à 10 ans) ;
- la seconde, jusqu'au retrait complet du combustible endommagé et au démantèlement complet des installations (objectif à 30-40 ans)

### La gestion des déchets résultant de l'accident et de ses conséquences

L'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi a généré un important volume de déchets à deux niveaux :

- *sur site* : plus de 100 000 m<sup>3</sup> d'eau hautement radioactive, 700 conteneurs de fret remplis de débris et autres déchets, ainsi que de l'ordre de 2 000 t de combustibles usés (provenant des réacteurs et piscines d'entreposage). La gestion de ces déchets se heurte aux difficultés liées à l'indisponibilité des moyens de traitement, noyés au moment de l'accident, au manque de capacités d'entreposage et à l'ampleur des volumes de déchets générés en peu de temps.
- *hors site* : 30 millions de m<sup>3</sup> de matières contaminées - constituées pour une large part de sols pollués - issues des opérations de nettoyage et 25 millions de tonnes d'eaux polluées. La difficulté tient ici aux maigres possibilités offertes par les incinérateurs et sites d'enfouissement techniques municipaux, donc aux problèmes d'entreposage et de stockage final de ces déchets. Là encore, ceux-ci ont été générés en masse, sur un court laps de temps.

### 3. L'impact sanitaire et environnemental de l'accident, et la gestion de la phase post-accidentelle

#### L'évolution des zones d'évacuation et de restrictions d'accès

Le soir même de l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi, à 19:03, le gouvernement japonais décrète l'état d'urgence nucléaire et la préfecture de Fukushima ordonne l'évacuation des personnes situées dans un rayon progressivement élargi (de 2 km à 3 km, puis 10 km et enfin 20 km) entre le 11 et le 12 mars, la zone de confinement étant portée jusqu'à 30 km à partir de la centrale. Le 21 avril, le Premier ministre japonais Naoto Kan modifie les consignes de protection des populations, instaurant des restrictions d'accès dans un rayon de 20 km autour de l'installation et l'interdiction d'accès au site.

Trois types de zones sont ainsi définis en fonction du débit de dose présenté :

- les zones *vertes* (débit de dose inférieur à 20 mSv/an), où le gouvernement autorise de circuler sans restriction et de travailler sans équipement de protection, à condition de quitter la zone la nuit,
- les zones *orange* (débit de dose compris entre 20 et 50 mSv/an), accessibles au public pour y accomplir des tâches spécifiques, sans avoir besoin de porter des équipements protecteurs ou des dosimètres,
- les zones *rouges* (débit de dose supérieur à 50 mSv/an), accessibles pour des raisons d'intérêt public, à condition de porter des équipements protecteurs et des dosimètres.

A partir du dernier trimestre 2011 et tout au long de 2012, les autorités lèvent progressivement les interdictions d'accès sur une partie de la zone d'évacuation :

- le 1<sup>er</sup> avril 2012 : Minamisoma (au nord de la zone) ainsi que Tamura et Kawauchi (à l'ouest),
- le 17 juillet : Iitate (au nord-ouest de la zone),
- le 15 août : Naraha (au sud de la zone),
- début décembre : Okuma (au centre de la zone).

Les communes de Namie et Futaba, situées directement sous le vent de la centrale accidentée, ainsi que celle de Tomioka demeurent soumises à la consigne d'évacuation.

#### L'évolution des restrictions alimentaires

A partir du 21 mars 2011, le gouvernement japonais interdit la vente d'un nombre croissant de produits en provenance de la préfecture de Fukushima - brocolis, choux-fleurs, choux, épinards, lait cru, etc. - et étend les tests menés sur les produits alimentaires à dix autres préfectures autour de la centrale de Fukushima-Daiichi. Au mois de décembre, il décide la mise en place de nouvelles normes de radioactivité pour le césium dix à vingt fois plus strictes que les normes internationales : 50 Bq/litre<sup>5</sup> pour la nourriture pour bébés et le lait, 100 Bq/litre pour les autres aliments.

#### Les actions de décontamination en cours

Le gouvernement japonais engage au mois d'octobre 2011 une première phase de décontamination visant à traiter 110 000 habitations dans la préfecture de Fukushima. En outre, il classe en zones spéciales de décontamination onze municipalités de la même préfecture. L'objectif des actions de décontamination des habitations et des terres est de ramener, en deux ans, les émissions à un seuil conduisant à une exposition externe maximale de 10 mSv/an à l'intérieur de la zone d'évacuation, puis de 5 mSv/an dans une seconde étape et enfin de 1 mSv/an à la fin du

---

<sup>5</sup> Unité de mesure de l'activité d'un radionucléide, le becquerel (Bq) correspond à une désintégration par seconde. L'ancienne unité de radioactivité était le curie (Ci), équivalente à 37 GBq.

processus. A ce jour, le gouvernement n'a communiqué aucune prévision quant à la durée de ce processus, ni d'estimation des volumes de déchets additionnels susceptibles d'être générés par les actions à mener pour atteindre ces cibles.

#### Les études épidémiologiques de suivi de la population au Japon

Fin juin 2011, les autorités sanitaires japonaises conçoivent et mettent en place des études épidémiologiques afin d'évaluer l'état de santé des personnes exposées aux rejets radioactifs et de suivre son évolution au cours du temps. Différents groupes de personnes sont définis. En fonction du groupe concerné, ces études sont basées sur un questionnaire, complété dans certains cas par la réalisation d'examen médicaux.

Les résultats de ces études épidémiologiques permettront de disposer d'informations sur l'incidence de certaines pathologies au sein de la population japonaise (cancers, leucémies, troubles psychologiques, thyroïdiens, hépatiques, rénaux, diabète, etc.) et d'évaluer les éventuelles conséquences sanitaires de l'exposition de la population aux retombées radioactives. Prévues pour une durée d'environ 30 ans, ces études sont pilotées par l'université médicale de Fukushima, en collaboration avec d'autres centres médicaux japonais.

#### 4. L'action de l'IRSN

##### L'évaluation des doses potentiellement reçues par les populations

Après une première campagne de caractérisation de la contamination de l'environnement dans un rayon de 80 km autour de la centrale accidentée de Fukushima-Daiichi, menée par un consortium d'universités japonaises sous la coordination de l'Agence japonaise de l'énergie atomique (JAEA), une seconde campagne est effectuée en décembre 2011, à laquelle participe d'ailleurs l'IRSN. L'Institut y a dépêché une équipe de sept personnes dotées d'un important équipement de spectrométrie gamma. Se fondant dans le dispositif japonais mis en place et suivant des protocoles de mesures et de prélèvements définis localement, cette équipe participe à une série de spectrométries gamma *in situ* couvrant un territoire de 1 000 km<sup>2</sup> et prend part à des mesures par spectrométrie gamma embarquée, couvrant 1 000 km de routes en une dizaine de jours.

A partir des données locales d'observation, l'IRSN mène une évaluation des doses potentiellement reçues par les populations résidant dans les territoires les plus touchés par les dépôts radioactifs. L'Institut estime que des doses efficaces dépassant 50 mSv<sup>6</sup> auraient pu être atteintes à l'intérieur d'un rayon de 20 km autour de la centrale de Fukushima-Daiichi pendant la phase de rejet (du 12 au 25 mars 2011), en raison de l'inhalation de substances radioactives (de 70 à 80 % de l'exposition totale selon le lieu) et, secondairement, de l'exposition à des dépôts radioactifs (de 15 à 20 % de l'exposition totale). L'Institut considère qu'au cours de cette période, compte tenu des conditions météorologiques, les doses estimées auraient commencé à devenir significatives à partir du 15 mars 2011, date à laquelle les autorités japonaises annoncent avoir achevé l'évacuation d'urgence des quelques 80 000 personnes qui résidaient dans la zone d'exclusion des 20 km, décidée dès le 12 mars. Ainsi, il est probable que les doses les plus importantes ont pu être évitées pour cette population susceptible d'être la plus exposée. Il s'agit là d'une différence importante par rapport à ce qui s'est passé autour du site de Tchernobyl lors de l'accident de 1986.

Pour la population résidant dans les territoires les plus contaminés, situés au nord-ouest de la centrale accidentée, au-delà la zone d'évacuation des 20 km, l'IRSN estime que les doses par irradiation externe due aux dépôts radioactifs, en tenant compte de la protection apportée par les bâtiments, auraient pu atteindre, voire dépasser, 25 mSv, sans tenir compte des doses dues à

---

<sup>6</sup> Niveau d'intervention applicable en France pour l'évacuation d'urgence des populations.

l'exposition au panache radioactif entre le 12 et le 25 mars, ni de celles dues à la consommation éventuelle de denrées contaminées. Compte tenu du fait que l'évacuation de la population vivant dans ces territoires n'a débuté qu'après le 22 avril, l'Institut n'exclut pas que de tels niveaux de doses aient pu être effectivement atteints. Bien qu'inhabituelle pour une exposition de masse de populations, l'IRSN rappelle néanmoins que cette valeur est proche de la limite annuelle fixée pour une gestion optimisée des personnes travaillant sous rayonnement ionisants.

L'IRSN estime que, sous réserve du maintien d'un dispositif de contrôle de la qualité radiologique des denrées produites dans les territoires impactés par l'accident, les doses susceptibles d'être reçues par les consommateurs de denrées locales devraient encore diminuer dans les années à venir. Ce sont donc principalement les doses dues à l'exposition externe aux dépôts qui vont contraindre dans la durée la gestion des territoires contaminés et la reconquête des zones évacuées.

En conclusion, ces éléments montrent que les principaux enjeux dosimétriques se concentrent sur la période de rejet (phase d'urgence, tant que la situation n'est pas maîtrisée sur le site accidenté) et au cours des deux mois qui suivent la formation des dépôts radioactifs. Ces conclusions, tirées de l'interprétation des observations faites au Japon, confirment celles déduites des scénarios accidentels étudiés en France dans le cadre des travaux du CODIRPA<sup>7</sup>.

### Le renforcement de la coopération franco-japonaise

Outre sa coopération avec JAEA et le ministère japonais de l'éducation, de la culture, des sports, de la science et de la technologie (MEXT) pour la surveillance radiologique de l'environnement dans la région de Fukushima, l'IRSN développe ses collaborations au Japon, notamment dans le cadre du Comité franco-japonais sur l'énergie nucléaire.

A l'occasion d'une première réunion de ce Comité au mois de février 2012, en présence du ministre français en charge de l'énergie, Eric Besson, l'IRSN identifie avec ses partenaires japonais plusieurs thèmes de coopération portant sur les études de sûreté, notamment sur les accidents graves, le suivi des conséquences environnementales et sanitaires de l'accident de Fukushima-Daiichi, la gestion post-accidentelle et la formation à la gestion de crise.

Dans le domaine de l'évaluation des effets biologiques des radionucléides relâchés suite à l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi, l'IRSN décide de lancer fin 2011 un projet dénommé FREEBIRD, co-financé par l'Agence nationale pour la recherche (ANR) et par la Japan Science and Technology Agency (JST) afin d'évaluer les effets d'un gradient de contamination radioactive sur les populations d'oiseaux vivant dans une zone de 100 km autour de la centrale accidentée. Les premières estimations de débits de dose totale (interne et externe) conduites à partir de campagnes d'échantillonnage effectuées de juin à juillet 2012, montrent que les débits de dose interne sont très différents d'un organisme à l'autre, soulignant la nécessité de mesurer le débit de dose interne afin de déterminer avec précision la dose totale. Les valeurs calculées pour cette dernière se révèlent proches ou supérieures au seuil sans effet d'exposition chronique des écosystèmes. Ce résultat a des implications majeures pour la gestion de la biodiversité des forêts et rizières, notamment pour la protection de la flore et la faune associées à ces milieux.

### La participation au « Fukushima Dialogue »

L'IRSN prend également une part active au *Fukushima Dialogue*, série de rencontres organisées périodiquement par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) avec les parties prenantes japonaises de la région de Fukushima. Dans ce cadre, l'IRSN apporte son savoir-faire en matière d'interaction entre experts et parties prenantes pour aider le public à construire ses réponses aux défis de la restauration des conditions de vie après l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi et de la réhabilitation sur le long terme des territoires contaminés.

---

<sup>7</sup> Mis en place au mois de juin 2005 par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), le Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire ou d'une situation d'urgence radiologique (CODIRPA) est chargé d'élaborer les éléments de doctrine correspondants.

### III. La contribution de l'IRSN au renforcement de la sûreté nucléaire et de la radioprotection

Les enseignements tirés de l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi - en ce qui concerne particulièrement le renforcement de la robustesse de la sûreté nucléaire tant au plan technique qu'organisationnel - ont inspiré des initiatives majeures en matière de sûreté et de radioprotection, à la fois à l'échelon international, européen et national. L'IRSN s'est attaché à apporter ses compétences et ses moyens, parfois en tant que pilote des actions menées, afin de faire de la sûreté et de la radioprotection des priorités, notamment dans le domaine de la recherche.

#### 1. A l'international

##### Le Forum des TSO de l'AIEA

A l'occasion de sa 55<sup>e</sup> conférence générale, tenue à Vienne au mois de septembre 2011, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) annonce la création d'un forum mondial des TSO, initiative à laquelle le réseau européen ETSO des TSO (dont est membre l'IRSN) apporte son soutien. Ce Forum - qui réunit les réseaux européen ETSO, asiatique ANSN, hispanophone FORO, arabe ANNUR et africain FNRBA - a pour vocation d'encourager le partage d'information, d'expérience, de leçons et de culture de sûreté ainsi que l'harmonisation des pratiques en sûreté nucléaire sur la base des plus hauts standards existants.

L'IRSN a participé à la session plénière du Forum des TSO, organisée à Vienne le 18 septembre dans le cadre de la 56<sup>e</sup> conférence générale de l'AIEA. Président du Forum, le directeur général de l'IRSN fait le point des activités lancées l'année précédente et se fait le porte-parole du Forum auprès des pays intéressés par la coopération des TSO et invite ces derniers à y adhérer, soulignant le rôle important que jouent les TSO dans les activités de l'AIEA et la contribution qu'ils pourront apporter à son plan d'action sur la sûreté nucléaire.

##### Le plan d'actions de l'AIEA

A la demande de la Conférence ministérielle sur la sûreté nucléaire, au mois de juin 2011, l'AIEA prépare un plan d'actions sur la sûreté nucléaire avec l'aide d'experts de différents États-membres, dont un expert de l'IRSN mis à disposition de l'Agence. Adopté par l'ensemble des États-membres au mois de septembre, à l'occasion de la 55<sup>e</sup> conférence générale, ce plan comprend les tests de résistance (*stress tests*) réalisés sur le parc nucléaire européen ainsi qu'une analyse des retours d'expérience de l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi et de la gestion de cette crise, avec l'ambition d'une coopération internationale renforcée.

L'IRSN apporte un appui à ce plan d'actions, qui s'inscrit en cohérence avec les objectifs français en la matière. Il offre en effet des moyens d'action et des leviers visant à obtenir, dans le monde, des progrès en sûreté par une dynamique internationale couvrant tous les aspects de la sûreté, de la radioprotection et de la gestion des situations d'urgence. Le renforcement de l'action internationale en matière de sûreté nucléaire repose sur la participation des États membres de l'AIEA à ce plan d'actions avec, pour priorités, l'application plus complète du cadre existant, un suivi régulier au travers des revues par les pairs et l'élargissement des coopérations, notamment en cas de crise.

L'IRSN soutient l'AIEA dans la mise en œuvre de son plan au travers d'une quinzaine d'actions qui, pour la plupart, s'appuient sur des contributions d'experts techniques. Des experts de l'Institut participent ainsi aux comités de l'Agence sur les normes de sûreté, à différentes manifestations relatives à des travaux de recherche et de modélisation, à des sessions de formation ainsi qu'à des missions de revues par les pairs. L'Institut a également formulé des propositions concrètes pour renforcer les capacités du centre de crise de l'AIEA, qui sont actuellement en cours d'étude. Enfin, un expert de l'IRSN intègre l'équipe de l'AIEA chargée d'assurer la coordination des activités menées dans le cadre du plan d'actions.

## L'état de l'art des connaissances en matière de radioprotection réalisé par l'UNSCEAR

Le Comité des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) a pour vocation de dresser un état des connaissances relatives aux effets de l'exposition humaine aux sources naturelles et artificielles de rayonnements ionisants, afin de développer des points de consensus scientifique et de formuler en conséquence des voies d'amélioration souhaitables des doctrines de radioprotection.

Lors de sa session annuelle de mai 2011, il décide d'entreprendre la rédaction d'un rapport consacré à l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi et de ses conséquences pour la santé des personnes exposées aux retombées radioactives.

A la tête de la délégation française de l'UNSCEAR, l'IRSN contribue activement aux différents travaux du comité chargé de publier, d'ici 2014, un état de l'art des connaissances relatives aux effets biologiques de l'uranium ou du tritium, deux radionucléides dont l'impact sur les populations et les travailleurs continue de faire débat. L'Institut participe à d'autres projets, relatifs aux effets de l'exposition aux rayonnements ionisants sur les enfants, considérés plus radiosensibles que les adultes, ou aux incertitudes - aujourd'hui très importantes - et à la présomption d'imputabilité subsistant entre l'apparition d'un effet sanitaire donné et l'exposition à des rayonnements ionisants.

L'objectif de ces travaux est d'apporter des éléments de réponse à la question très sensible des conséquences sanitaires d'une exposition chronique aux rayonnements ionisants, notamment pour les populations vivant sur les territoires contaminés à la suite d'accidents comme ceux de Tchernobyl ou de Fukushima-Daiichi.

## L'évaluation par l'OMS du risque pour la santé au Japon et en dehors

En tant qu'autorité internationale pour les questions de santé, l'Organisation mondiale pour la santé (OMS), institution spécialisée de l'ONU pour la santé publique, est chargée d'évaluer au plan mondial les risques pour la santé liés aux situations d'urgence radiologique. Peu de temps après l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi, l'OMS a engagé une « évaluation formelle du risque pour la santé » visant à en estimer les conséquences sanitaires. Elle s'est attachée à établir une estimation des risques résultant d'une exposition aux rejets radioactifs de la centrale de Fukushima-Daiichi, en support notamment aux efforts d'identification des besoins et actions prioritaires en matière de santé publique. Il s'agissait en l'espèce d'évaluer les *risques sanitaires* de l'exposition radiologique et non ses *effets sur la santé*. Le *risque sanitaire* exprime la probabilité d'apparition d'un effet sur la santé dans des circonstances données, tandis que ce dernier traduit un changement de l'état de santé d'un individu ou d'une population, identifiable à partir de diagnostics ou d'études épidémiologiques.

L'évaluation effectuée par l'OMS englobait la population au Japon et en dehors de l'archipel, ainsi que les équipes de secours de la centrale elle-même. Elle a été publiée début mars 2013.

## 2. En Europe

### Les *stress tests* du parc nucléaire européen

Au premier semestre 2012, l'IRSN s'implique dans la revue par les pairs (peer review) des conclusions de l'examen indépendant, mené par chaque autorité de sûreté nationale, des dossiers de tests de résistance remis en 2011 par les exploitants européens d'installations nucléaires. Complétée par des visites de site, cette revue aboutit à l'établissement d'un rapport par pays et d'un rapport général, approuvés par la Commission européenne et l'ENSREG. L'implication de l'IRSN dans ce processus se situe à deux niveaux : d'une part l'évaluation des dossiers des autres pays, d'autre part la fourniture d'un appui à l'ASN lors de la revue concernant la France (cf. § III.3).

La revue par les pairs conclut que les *stress tests* ont identifié des « améliorations concrètes ». Le rapport global souligne en effet que des mesures significatives pour améliorer la robustesse des

centrales nucléaires, à l'égard non seulement des agressions mais aussi des situations de perte totale des sources de refroidissement ou des alimentations électriques, ont été décidées ou sont en cours d'examen, notamment par la définition d'équipements renforcés et par une préparation appropriée de la gestion de crise. En complément, le rapport édicte quatre recommandations portant sur le besoin de lignes directrices complémentaires pour l'évaluation des risques naturels, sur la promotion des réexamens périodiques de sûreté, sur la mise en œuvre de dispositions destinées à protéger l'intégrité du confinement ainsi qu'à renforcer la prévention des accidents et la limitation de leurs conséquences. L'IRSN s'impliquera aux côtés de l'ASN dans les prochaines étapes prévues au niveau européen : suivi de la mise en place des dispositions sur les réacteurs, harmonisation des approches selon les pays...

### Les guides ETSO d'évaluation de sûreté

Le réseau européen ETSO des organismes techniques de sûreté nucléaire, dont l'IRSN est membre fondateur, a pour objectif principal le partage et la mutualisation des pratiques d'évaluation de sûreté nucléaire en Europe ainsi que leur harmonisation. Dans ce cadre, le réseau rédige des guides techniques décrivant les meilleures pratiques à appliquer dans le domaine de l'évaluation de la sûreté nucléaire, sur la base de l'expérience de ses membres.

Les trois premiers guides, publiés début 2013<sup>8</sup>, traitent de l'analyse des accidents graves et de leurs précurseurs, des facteurs humains et organisationnels ainsi que de l'analyse déterministe des accidents graves. Une dizaine d'autres guides est en préparation au sein des différents groupes d'experts d'ETSON. Ces guides sont destinés aux experts en sûreté qui travaillent au sein des différents organismes techniques de sûreté nucléaire, aux autorités de sûreté nucléaires en Europe ainsi qu'aux différentes entités européennes (Commission, Parlement...) et internationales (AIEA, AEN...).

### Les travaux menés par WENRA

Une recommandation européenne issue des *stress tests* demande à l'Association des autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest (WENRA) d'établir des lignes directrices en termes de prise en compte des risques naturels. WENRA a élargi cette réflexion à la mise à jour de ses *reference levels*, qui constituent les exigences à appliquer aux réacteurs en exploitation. L'IRSN est associé à ces travaux, en particulier lorsqu'il s'agit des groupes de travail à forte composante technique comme celui relatif à la prise en compte des risques d'agressions externes.

### Donner la priorité à la sûreté dans la recherche nucléaire européenne

L'IRSN est membre de la plate-forme dénommée Sustainable Nuclear Energy Technological Platform (SNETP), qui réunit les acteurs européens du nucléaire afin de définir une vision stratégique des besoins en recherche et développement dans le domaine de la fission nucléaire à l'horizon 2020-2050. A ce titre, l'Institut s'est attaché à ce que soit privilégiée la sûreté nucléaire parmi les priorités de recherche de la plate-forme. L'Institut agit aux côtés des organismes techniques de sûreté nucléaire (TSO) européens qui sont ses partenaires au sein du réseau ETSO. Cette implication s'est traduite par la création, début 2012, de l'association européenne Nuclear Gen II & III Association (NUGENIA), dont l'Institut coordonne certains groupes de travail, notamment le groupe Accidents graves (qui se consacre aux études probabilistes de sûreté de niveau 2 ainsi que la gestion de crise) et le groupe Harmonisation des méthodes (qui couvre les domaines des marges de sûreté, du vieillissement des réacteurs, de la recherche prénormative et des codes de calcul). NUGENIA a pour objectif de coordonner la R&D de moyen et long termes consacrée aux réacteurs de générations II et III.

## 3. En France

### Les évaluations complémentaires de sûreté

Le rapport consacré à la France recommande essentiellement de mener à bien le déploiement des améliorations proposées par EDF ou demandées par l'ASN, en particulier la mise en œuvre d'un « noyau dur post-Fukushima » visant, pour les situations extrêmes étudiées dans le cadre des ECS, à :

- prévenir un accident avec fusion du combustible ou en limiter la progression ;
- limiter les rejets radioactifs massifs ;

<sup>8</sup> <http://www.etsn.eu/InformationCenter/Pages/Reports-Publications.aspx>

- permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise. Par ailleurs, quelques recommandations sont formulées concernant notamment la prise en compte des phénomènes naturels.

L'analyse, par l'IRSN, du dossier d'EDF remis le 30 juin 2012 en réponse à la demande de l'ASN a été présentée au groupe permanent le 13 décembre 2012. Le groupe permanent a estimé que l'objectif retenu par EDF en termes de limitation des conséquences d'un accident dû à une catastrophe naturelle extrême n'était pas assez ambitieux. Il a également demandé à EDF de revoir le contour du noyau dur afin d'y intégrer la prévention de la fusion du cœur dans tous les états de fonctionnement des réacteurs du parc en exploitation. Les dispositions de limitation des conséquences d'un accident grave à l'étude dans le cadre de l'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs de 900 MWe et qui seront ensuite mises en œuvre sur les autres réacteurs devraient, pour partie, être intégrées au noyau dur.

### Les enseignements de l'accident de Fukushima-Daiichi pour l'expertise et la recherche à l'IRSN

A la lumière des enseignements tirés à ce jour de l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi, des axes d'amélioration sur lesquels travaillait déjà l'IRSN se trouvent confortés, notamment en ce qui concerne les accidents entraînant la fusion du cœur d'un réacteur. Il s'agit en particulier :

- de la consolidation des connaissances relatives au déroulement de ce type d'accident, avec une extension au cas particulier des dénoyages de piscines. L'IRSN entend poursuivre les travaux engagés sur la quantification des rejets radioactifs, notamment sur le long terme et/ou en présence d'air, ou encore sur l'extension des études probabilistes de sûreté aux agressions externes ;
- de l'acquisition de connaissances portant sur les mécanismes et dispositions/dispositifs susceptibles d'arrêter la progression d'un tel accident et de limiter les rejets dans l'environnement. Liés aux précédents, ces travaux permettront d'analyser la pertinence des moyens proposés par l'exploitant à cette fin.

Cet accident a également conduit l'IRSN à revoir quelques unes de ses priorités de recherche en sûreté afin de renforcer certaines de ses activités. Dans ce contexte, l'Institut et ses partenaires ont déposé un ensemble de propositions en réponse à l'appel à projets intitulé *Recherche en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection* (RSNR) du programme d'investissements d'avenir de l'Agence nationale de la recherche (ANR). Ces propositions - pour certaines d'entre elles en lien direct avec les accidents de fusion du cœur d'un réacteur - ont été évaluées par l'ANR, qui a arrêté, en mai 2013, la liste des 23 projets retenus, parmi lesquels 14 sont déposés ou soutenus par l'IRSN.

### Les premières estimations du coût d'un accident affectant un réacteur nucléaire en France

Soucieux de quantifier le coût potentiel d'un accident grave (classé au niveau 6 de l'échelle INES) ou majeur (classé au niveau 7) survenant dans un pays comme la France, l'IRSN mène jusqu'à fin 2012 des études relatives au coût d'un accident nucléaire. Il ressort de ces évaluations :

- qu'un accident grave, comportant des rejets radioactifs partiellement filtrés, engendrerait un coût global situé dans une fourchette de 50 à 250 milliards d'euros, selon notamment l'orientation des masses d'air contaminé ;
- qu'un accident majeur, provoquant des rejets précoces et non filtrés, pourrait porter ce coût à plus de 400 milliards d'euros (soit environ 20 % du PIB annuel français) en raison du nombre de réfugiés radiologiques à évacuer de la zone d'exclusion.

⇒ En savoir plus : [Annexe I : Notes complémentaires](#)  
[Présentation des travaux de l'IRSN sur le coût économique des accidents nucléaires entraînant des rejets radioactifs dans l'environnement](#)