

## **L'ACCIDENT NUCLÉAIRE DE FUKUSHIMA**

### **SITUATION ACTUELLE ET CONSÉQUENCES À MOYEN ET LONG TERME**

#### **RÉSUMÉ**

Après la stabilisation de la situation des 4 réacteurs accidentés acquise au 2<sup>ème</sup> semestre 2011, avec notamment l'arrêt des rejets atmosphériques et la mise en place de moyens de refroidissement pérennes, l'exploitant TEPCO a entrepris de remettre en état les superstructures des réacteurs et des piscines endommagés de manière à permettre le transfert des éléments combustibles en bon état vers des lieux de stockage sûrs d'ici 2031.

La reprise des éléments combustibles endommagés n'est pas possible pour l'instant : elle nécessite tout d'abord une connaissance approfondie de l'environnement et de l'accessibilité de ces éléments, ce qui impose la mise en œuvre de robots spécialisés intervenant en environnement fortement irradiant : ces actions sont en cours et la date de leur achèvement n'est pas connue.

La mise en place de moyens de refroidissement permanents, la récupération des eaux d'infiltration et la non étanchéité des sous-sols des bâtiments a entraîné la récupération et le stockage de grandes quantités d'eau contaminée. TEPCO a mis en place des dispositifs de décontamination (sauf pour le tritium) ce qui a permis d'envisager leur rejet en mer par dilution. Après des études complexes sur les impacts sanitaires potentiels, TEPCO a été autorisé à procéder à ces rejets à partir de l'été 2023. Ces rejets se poursuivront plusieurs années et font l'objet d'une surveillance soutenue.

Un plan de gestion des entreposages de déchets solides a été élaboré par TEPCO qui prend en compte les prévisions de production de déchets solides pour les 10 prochaines années. Ce plan est mis à jour tous les ans pour tenir compte de l'état d'avancement des opérations de démantèlement.

L'objectif affiché par TEPCO était de réaliser le démantèlement des installations endommagées sur 30 à 40 ans. Toutefois les difficultés rencontrées dès la préparation de ces opérations et une meilleure connaissance de la situation réelle des zones accidentées vont conduire à rendre ces opérations encore plus complexes qu'initialement envisagé, et donc à reporter le début, et probablement aussi la durée de cette étape.

Le gouvernement japonais a mis en œuvre un programme ambitieux de décontamination des zones habitables en dehors du site, de manière à permettre un retour rapide des populations évacuées en 2011. Cette phase est officiellement terminée depuis mars 2018. La définition et les modalités d'accès aux zones contaminées ont évolué à plusieurs reprises depuis la décision initiale d'évacuation des populations situées à proximité de la centrale accidentée. Actuellement les zones dont l'accès reste interdit ont été fortement réduites, et les populations qui ont été évacuées sont fortement encouragées à retourner dans leur habitation, mais le pourcentage des retours demeure faible.

Étant donné le faible niveau moyen d'exposition aux rayonnements ionisants, il est attendu que les potentiels effets sanitaires dus aux radiations soient très faibles et difficilement discernables par des études épidémiologiques au sein des populations touchées par l'accident de Fukushima, y compris chez les travailleurs. Malgré cela, un suivi épidémiologique est maintenu pour ces populations, notamment pour répondre à leurs interrogations et surveiller leur santé.

L'accident de Fukushima a eu des impacts profonds sur les programmes électronucléaires au Japon et dans le monde, notamment par la vérification du bon comportement des installations en cas d'évènements extrêmes et la prise en compte de ces évènements dans la conception et l'exploitation des réacteurs. Il s'en est suivi également une remise en cause de ces programmes, dans le contexte des investissements massifs dans les moyens de production " renouvelables " tels que l'éolien et le photovoltaïque. Cette tendance s'est récemment inversée avec la prise de conscience de leur fragilité en matière d'indépendance énergétique et d'approvisionnement.

## 1. GESTION DU SITE ET DE SES INSTALLATIONS

### 1.1. ÉTAT DES INSTALLATIONS À LA FIN 2024

La situation actuelle dans les réacteurs n° 1, 2 et 3 est stabilisée (température, concentration d'hydrogène dans les bâtiments, pression, etc.). Pour ce faire, de l'eau douce est toujours injectée en permanence (débit de l'ordre de 3 m<sup>3</sup>/h par réacteur) dans les cuves des réacteurs, ce qui permet de maintenir une température inférieure à 20 °C en partie basse des cuves. Du fait de la non étanchéité des cuves et des enceintes de confinement des réacteurs n° 1 à 3, l'eau douce injectée s'écoule dans les sous-sols des bâtiments où elle se mélange aux infiltrations d'eaux souterraines et aux résidus d'eau mer présents dans ces locaux.

La quantité d'eau qui s'infiltré à l'intérieur des bâtiments (infiltration via les sous-sols, précipitations) est estimée à 120 m<sup>3</sup>/jour (valeur moyenne observée en mars 2020).

Le volume d'eau contaminée généré (non réinjecté dans les réacteurs), qui nécessite un traitement en vue d'être entreposé sur le site, est de l'ordre de 150 m<sup>3</sup>/jour (valeur à fin 2020).

Par ailleurs, une injection d'azote est effectuée en permanence dans les cuves des réacteurs 1 à 3 et en tant que de besoin dans les enceintes de confinement pour maintenir un inertage et éviter ainsi tout risque de combustion ou d'explosion d'hydrogène.



Figure 1 : Vue générale du site en 2024 – TEPCO

### 1.2. TRAVAUX DE REMISE EN ÉTAT DES SUPERSTRUCTURES DES RÉACTEURS

Ces éléments ont été fortement endommagés lors des explosions dues à l'accumulation puis l'explosion d'hydrogène à l'intérieur des bâtiments. Cette situation a fortement contribué au relâchement de produits radioactifs et à la contamination du site et de l'environnement extérieur. La remise en état de ces éléments a donc constitué une priorité pour TEPCO. À la fin 2024, la situation pour les 4 bâtiments réacteurs est la suivante :

- Réacteur n°1 : Les débris métalliques et les gravats de béton issus de l'endommagement du bâtiment du réacteur sont en cours de reprise. Une structure assurant le confinement, équipée de moyens de manutention, sera mise en place en partie supérieure du réacteur d'ici 2025.
- Réacteur n°2 : Le bâtiment réacteur, endommagé par l'explosion du réacteur n°1, a été remis en état en mars 2013. La mise en place des moyens de reprise des éléments combustibles a été achevée en 2024.
- Réacteur n°3 : La construction d'un nouveau dôme situé au-dessus de la piscine d'entreposage des éléments combustibles, équipé d'un pont de manutention et d'une machine de chargement /déchargement, a été achevée en novembre 2018.
- Réacteur n°4 : La remise en état des structures de confinement du réacteur n°4 a été achevée en juillet 2013.



Figure 1 : Vue de la structure recouvrant le bâtiment du réacteur n°3 et des moyens de manutention du combustible qui y sont implantés – Source TEPCO.

### 1.3. INSTALLATIONS DE GESTION DES ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES SUR LE SITE DE FUKUSHIMA

Les piscines d'entreposage des éléments combustibles des réacteurs sont refroidies en circuit fermé de sorte que les températures de l'eau des piscines est inférieure ou de l'ordre de 30 °C. L'objectif affiché par l'exploitant TEPCO est de procéder à la reprise de l'ensemble des combustibles usés entreposés dans les piscines des 6 réacteurs du site d'ici à la fin de l'année 2031 et de les transférer dans les installations d'entreposage du site.

Une nouvelle installation d'entreposage à sec des éléments combustibles usés, constituée de modules en béton pouvant accueillir un colis chacun, a été mise en service en avril 2013. Elle est conçue pour pouvoir accueillir à ce stade 50 colis (pouvant comprendre 37 ou 52 éléments combustibles selon le modèle de colis) et 15 emplacements supplémentaires. L'approvisionnement de nouveaux emballages et l'augmentation des capacités d'entreposage à sec restent des besoins identifiés par TEPCO pour la gestion des combustibles sur le site.

Pour ce qui concerne la piscine d'entreposage sous eau centralisée du site, dont le taux de remplissage était de 93 % au moment de l'accident, des travaux ont été nécessaires pour remettre en état la machine de manutention des éléments combustibles. Le transfert des éléments combustibles de la piscine centralisée vers la nouvelle installation d'entreposage a débuté en juin 2013 afin de libérer des emplacements pour le rapatriement des éléments combustibles des réacteurs 1 à 4 vers la piscine centralisée.

#### **1.4. ACTIONS DE MAÎTRISE DES EAUX D'INFILTRATION**

Pour maîtriser les flux d'eaux souterraines, TEPCO a implanté en 2014 un dispositif de pompage en amont des bâtiments pour réduire les flux d'eaux entrant en contact avec la radioactivité contenue dans les bâtiments des réacteurs. Après pompage, l'eau est rejetée en mer, après contrôles, en accord avec les autorités du pays et les associations locales de pêcheurs.

TEPCO a également déployé un dispositif de congélation des terrains, sur une trentaine de mètres de profondeur, autour des réacteurs 1 à 4 (périmètre d'environ 1 500 mètres). Entre juin 2014 et octobre 2015, TEPCO a ainsi réalisé 1 552 forages de congélation. Ce dispositif de congélation est complété par un pompage des eaux souterraines situé en périphérie des bâtiments qui sont traitées puis rejetées en mer (mêmes critères de rejet que pour les eaux pompées en amont du « mur » de congélation). Ces différents systèmes ont permis de réduire le débit d'eau s'infiltrant dans les sous-sols des bâtiments réacteurs à environ 120 m<sup>3</sup>/jour.

Pour éviter que les eaux souterraines polluées n'atteignent l'océan, TEPCO a par ailleurs mis en place une barrière d'étanchéité disposée le long de la zone portuaire du site, longue de près de 780 m et haute d'environ 30 m. Un dispositif de pompage y est également associé par lequel les eaux qui arrivent à sa hauteur sont traitées et contrôlées avant d'être rejetées en mer.

#### **1.5. GESTION DES EAUX CONTAMINÉES SUR LE SITE DE FUKUSHIMA**

Le volume des eaux contaminées collectées a pratiquement doublé de mai 2015 à avril 2020, passant de 600 000 m<sup>3</sup> à 1 116 000 m<sup>3</sup>. Ces eaux font l'objet (via notamment l'installation ALPS), soit d'un traitement complet visant à séparer les traces des radioéléments (essentiellement le césium et le strontium) sauf le tritium. Elles sont ensuite entreposées dans des cuves de capacité unitaire de 1000 m<sup>3</sup> (977 cuves étaient en service en février 2020).

Les capacités maximales d'entreposage du site devant être atteintes d'ici l'été 2026, TEPCO a engagé une phase d'étude très approfondie des options pour l'élimination finale de ces eaux contaminées : dilution en mer, évaporation dans l'air, injection dans le sol, rejet sous forme de tritium gazeux, ou solidification des eaux en vue d'un stockage.

Pour des raisons réglementaires et d'acceptation sociale, c'est la dilution en mer a été choisie. Une fois traitée par l'ALPS, l'eau est diluée de manière à ce que la concentration en tritium atteigne des valeurs en cohérence avec les normes de rejet en mer. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande une valeur ne dépassant pas 10 000 Bq/l pour le tritium dans l'eau buvable, consommée quotidiennement. À Fukushima, la concentration ne dépasse pas 1500 Bq/l.

Elle est finalement rejetée au large en mer, où les courants accentuent la dilution. En outre, le tritium ne se concentre pas dans les organismes et dans la chaîne alimentaire d'une part et il disparaît rapidement à l'échelle des océans, par décroissance radioactive (demi-vie de 12,3 ans). Ce processus, décrit à la figure 2, est particulièrement suivi, notamment par l'AIEA. TEPCO a finalement été autorisée en août 2023 par le gouvernement japonais à commencer à évacuer en mer ces eaux, malgré les plaintes exprimées par les riverains (les pêcheurs japonais, sud-coréens et chinois notamment).

#### **1.6. GESTION DES DÉCHETS SOLIDES PRODUITS OU PRÉSENTS SUR LE SITE**

Un plan de gestion des entreposages de déchets solides a été élaboré par TEPCO qui prend en compte les prévisions de production de déchets solides pour les 10 prochaines années.

Ce plan est mis à jour tous les ans pour tenir compte de l'état d'avancement des opérations de démantèlement. Les déchets sont identifiés en fonction de leur origine :

- déchets métalliques, béton, gravats ;
- déchets végétaux issus de la taille et de la coupe des arbres ;
- déchets technologiques (tenues, bottes, etc.) ;

- terres contaminées ;
- déchets solides divers entreposés en vrac issus des opérations de remise en état des installations boues issues du traitement des eaux contaminées.

TEPCO a estimé que, à la fin 2020, les volumes actuels des déchets de ces types sont compatibles avec les capacités de stockage sur le site, sauf pour le volume estimé des terres contaminées qui devrait atteindre la valeur de 40 000 m<sup>3</sup> d'ici 10 ans.

TEPCO prévoit, d'une part de créer de nouvelles installations d'entreposage de déchets sur le site, d'autre part de traiter et de conditionner ces déchets afin d'en réduire sensiblement le volume dans les années à venir. Les procédés retenus (réduction de volume par incinération/compactage/découpe) sont en service depuis 2022. Pour les déchets actuellement entreposés sur des aires extérieures du site, l'opérateur prévoit, d'ici 2028, le transfert de l'ensemble de ces déchets dans de nouvelles installations d'entreposage.

## **2. PLAN DE DÉMANTÈLEMENT DES INSTALLATIONS**

### **2.1. REPRISE DES ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES PRÉSENTS DANS LES PISCINES DES RÉACTEURS**

Cette étape a débuté en 2014, date du début effectif du retrait des premiers éléments combustibles de la piscine du réacteur n°4. La situation pour chaque réacteur est la suivante :

- La reprise des éléments combustibles des piscines des réacteurs n° 1 et 2 devrait débuter respectivement à partir de 2024 et 2027. Le réacteur n°1 a fait actuellement l'objet d'importants travaux : une structure adaptée a été construite en 2023 pour permettre la reprise des éléments combustibles
- TEPCO a construit une structure recouvrant le bâtiment réacteur n°3, ainsi que l'installation des dispositifs de manutention nécessaires au déchargement des éléments combustibles de la piscine. La reprise des éléments combustibles s'est achevée en 2021.
- La reprise des éléments combustibles de la piscine du réacteur n°4, la plus chargée en éléments combustibles, s'est achevée en décembre 2014. Le transfert de l'ensemble des éléments combustibles du réacteur (transférés pour partie dans la piscine centralisée et pour autre partie dans la piscine du réacteur n°6) a également été achevé fin 2014. Il n'y a donc plus d'éléments combustibles dans le bâtiment réacteur n°4 (ni dans le cœur, ni dans la piscine). Il n'est donc plus nécessaire d'assurer une fonction de refroidissement pour ce réacteur.
- La reprise des éléments combustibles des réacteurs n° 5 et 6 sera réalisée en fonction du calendrier de reprise des combustibles des réacteurs n°1 et 2 qui reste prioritaire ; la reprise a débuté en 2022 pour le réacteur n°6.

La reprise de l'ensemble des éléments combustibles des piscines des réacteurs devrait, selon TEPCO, s'achever en 2031.

### **2.2. PRÉPARATION DES OPÉRATIONS DE RETRAIT DES COMBUSTIBLES FONDUS DANS LES CUVES DES RÉACTEURS N° 1 À 3.**

Un vaste programme de recherche a été initié en 2013 pour identifier et concevoir les moyens nécessaires pour la reprise des combustibles fondus, appelé "corium". Il vise d'abord à développer des moyens d'investigation permettant de connaître plus précisément l'état des installations, puis à identifier et concevoir les moyens nécessaires pour la reprise des combustibles fondus.

TEPCO a ainsi réussi à introduire à partir de 2018 plusieurs robots dans le bâtiment du réacteur n°2 pour identifier les éléments résultant de la dégradation du cœur du réacteur, puis réaliser des essais de retrait des combustibles fondus à partir de 2021. Cette étape devait s'achever en 2023 ; toutefois les difficultés d'accès et l'agressivité du milieu ambiant, notamment les niveaux des rayonnements, rendent l'intervention des robots beaucoup plus difficile qu'initialement envisagée.

Les mesures réalisées in-situ (télévisuel, dimensionnel, radioactivité, prélèvements) ont permis d'avoir une première évaluation de la masse de corium (matériaux fondus constitués par un mélange des éléments combustibles gaine + matières fissile – et de certains éléments métalliques présents dans les cuves) et de constitution.

### **2.3. DÉMANTÈLEMENT COMPLET DES INSTALLATIONS**

Cette étape sera mise en œuvre progressivement selon les étapes suivantes :

- analyse des scénarii possibles et sélection des techniques nécessaires ;
- conception des dispositifs et outils de démantèlement ;
- réalisation des travaux de démantèlement.

L'objectif affiché par TEPCO était de la réaliser sur 30 à 40 ans. Toutefois les difficultés rencontrées dès la préparation de ces opérations et une meilleure connaissance de la situation réelle des zones accidentées (cf § 2.2), vont conduire à rendre ces opérations encore plus complexes qu'initialement envisagées, et donc à reporter le début, et probablement aussi la durée de cette étape.

### 3. GESTION DES POPULATIONS ÉVACUÉES

La configuration "d'arrêt à froid" (besoins en refroidissement quasi nuls) a été atteinte pour les trois réacteurs accidentés (R1, R2 et R3) à la fin 2011. En conséquence, le gouvernement a levé l'ordre d'évacuation sur 5 localités situées entre 20 et 30 km. Par ailleurs, les résidents ont reçu l'autorisation de se rendre dans la zone interdite, jusqu'à trois kilomètres de la centrale, mais pas encore d'y séjourner. Les restrictions d'accès ont été allégées fin septembre 2011, et les interdictions d'accès sont progressivement levées sur une partie importante de la zone d'évacuation.

Une étape intermédiaire en août 2012 a permis d'alléger encore les contraintes d'accès en créant 3 zones correspondant à des niveaux de dose et non plus à une distance à la centrale accidentée :

- une zone verte avec un débit de dose inférieur à 20 mSv/an ; circulations et travail autorisés mais pas le séjour la nuit ;
- une zone orange où le débit de dose est compris entre 20 et 50 mSv/an : l'accès en journée est restreint mais sans avoir besoin de porter des équipements protecteurs ou des dosimètres ;
- une zone rouge où le débit de dose est supérieur à 50 mSv/an, et ne devrait pas retomber en dessous de 20 mSv/an avant mars 2016 ; l'accès y est possible pour des raisons d'intérêt public, mais les personnes qui s'y rendent doivent utiliser des équipements protecteurs et des dosimètres.

Suite aux opérations de décontamination menées dans ces 3 zones, les ordres d'évacuation des zones verte et orange ont été progressivement levés entre 2014 et 2017. La superficie des zones évacuées y est ainsi passée de 1150 km<sup>2</sup> (8,3 % de la superficie de la préfecture de Fukushima) en 2013 à 336 km<sup>2</sup> (2,5 % de la superficie de la préfecture de Fukushima) en mars 2020. Il est à noter que le gouvernement japonais a décidé la création de « bases de reconstruction spécifiques et de revitalisation » au sein de la zone "rouge". Il s'agit de procéder localement à des actions de décontamination et de reconstruire des infrastructures pour les services publics et d'aide à la personne (gares, magasins, bâtiments municipaux...).

D'autres localités situées dans la zone rouge ont bénéficié en mars 2020 de la levée de l'ordre d'évacuation, compte tenu de la diminution des débits de dose, notamment grâce aux travaux de décontamination.

Au total, près de 160 000 personnes ont été évacuées obligatoirement ou sont parties volontairement, dès le mois de mars 2011. Le taux de retour volontaire des personnes évacuées (soit 95 000 personnes) à la suite de la levée successive des ordres d'évacuation varie entre 0 % (pour une commune totalement incluse dans la zone rouge) et 75 % pour des communes situées en zone verte. Sur l'ensemble des zones, le taux de retour des habitants est de 25 %, 13 ans après l'accident.

## 4. GESTION DES SITES CONTAMINÉS À L'EXTÉRIEUR DU SITE

### 4.1. EXPÉRIMENTATIONS INITIALES

Des actions de décontamination ont été menées de façon expérimentale de mai à juin 2011 dans différentes villes japonaises situées en dehors des zones à accès réglementé, puis étendues à 16 sites pilotes sur une surface totale de 221 hectares. Elles ont permis de tester différentes techniques de nettoyage sur différents milieux (bâti, forestier, agricole, etc).

Concernant les routes, la plus grande quantité du césium est présente dans la couche de revêtement n'excédant pas quelques millimètres. Il est ainsi possible d'atteindre un taux élevé de décontamination tout en ne produisant qu'un faible volume de déchets en enlevant cette couche de revêtement.

Concernant les terres agricoles, dans la plupart des cas, 80 % ou plus du césium répertorié est présent dans une couche superficielle du sol d'une épaisseur d'environ 5 cm. Une technique efficace consiste à évaluer la distribution en profondeur du césium radioactif, puis à déterminer la profondeur pratique et la méthode la plus efficace d'intervention : soit un simple labour, soit un décapage et l'évacuation de la terre de surface, soit enfin l'enfouissement de la terre de surface et son remplacement par une terre de sous-sol.

Les maisons d'habitation et autres bâtiments comportent d'importantes quantités de césium localisées dans les endroits où des matériaux solides transportés par l'eau de pluie se sont accumulés. Concernant les toits, la capacité d'adhérence du césium radioactif dépend du matériau de toiture et il tend à se concentrer à certains endroits (« points chauds »). Une décontamination efficace doit être menée en ces endroits. Enfin la décontamination des espaces entourant les bâtiments (après leur décontamination) permet également de réduire la radioactivité.

Enfin concernant les forêts limitrophes des lieux de résidence, l'élimination de la couche de litière dans une bande de forêt d'une largeur d'environ 10 m en bordure de zone habitée semble efficace pour réduire l'exposition aux rayonnements des résidents. L'enlèvement des feuilles mortes, de l'humus et de la terre végétale est efficace pour décontaminer les feuillus et les forêts à feuilles persistantes. Par ailleurs, lors de l'enlèvement du revêtement de surface des pistes, il est nécessaire de prévenir l'érosion qui peut en découler.

## 4.2. LES OPÉRATIONS DE DÉCONTAMINATION EN DEHORS DE LA CENTRALE

Elles se sont achevées en mars 2018. Elles ont conduit à la création de 1328 sites de stockage temporaires de déchets (sols, végétaux), localisés dans les communes ayant fait l'objet de ces opérations. Le volume total de déchets générés par cette décontamination est de 17 millions de m<sup>3</sup>. Le coût total de ces opérations de décontamination est estimé (à la fin mars 2019) à environ 25 milliards d'euros.

Fin mars 2019, environ 550 sites de stockage temporaires avaient été réhabilités c'est-à-dire que les déchets avaient été évacués soit vers des centres de traitements (incinération, recyclage, ...), soit vers le site d'entreposage intermédiaire créé par le gouvernement japonais autour de la centrale de Fukushima Daiichi. Ce site, destiné à fonctionner jusqu'en 2045, est destiné à accueillir, après traitements, les déchets les plus contaminés (notamment les terres). Un site localisé en dehors de la préfecture de Fukushima, doit être identifié par le gouvernement japonais pour le stockage définitif de ces déchets après 2045.

## 5. BILAN DES IMPACTS SANITAIRES

### 5.1. DESCRIPTION DES ÉTUDES SANITAIRES MISES EN PLACE AU JAPON

Dès la fin du mois de juin 2011, les autorités sanitaires japonaises ont conçu et mis en place un programme d'études épidémiologiques et de suivi sanitaire afin d'évaluer l'état de santé des personnes qui ont été exposées aux rejets radioactifs de l'accident et de suivre son évolution au cours du temps. Ces études sont basées sur un questionnaire complété, dans certains cas, par la réalisation d'examens médicaux.

Ces études consistent en la réalisation :

- d'une enquête de base à destination de tous les habitants de la préfecture de Fukushima : cette enquête a pour objectif d'estimer la dose externe qu'elles ont reçue et d'identifier celles pour lesquelles un suivi médical renforcé s'avère nécessaire ; cette enquête concerne environ 2 050 000 personnes.
- d'un bilan thyroïdien réalisé pour tous les enfants âgés de 18 ans ou moins qui résidaient à proximité de la centrale : cette étude a pour objectif d'évaluer une potentielle augmentation des cancers de la thyroïde au cours des années et décennies à venir, à l'instar de l'étude menée à la suite de l'accident de Tchernobyl; elle concerne environ 360 000 enfants nés avant le 1er avril 2011.
- de bilans médicaux spécifiques chez les personnes qui ont été évacuées des zones les plus exposées aux retombées radioactives : cette étude concerne environ 210 000 personnes et permet de recueillir des informations relatives à leur style de vie. L'incidence de base de pathologies telles que les cancers solides, les leucémies, le diabète et les troubles hépatiques et rénaux est également évaluée sur la base d'examens cliniques et biologiques.
- d'un suivi des femmes ayant déclaré une grossesse entre le 1er août 2010 et le 31 juillet 2011 et résidant dans la préfecture de Fukushima (ou ayant accouché dans cette préfecture ainsi qu'un suivi des éventuelles anomalies génétiques et congénitales diagnostiquées chez les enfants nés de ces femmes : cette étude concerne environ 16 000 femmes.
- d'une étude de cohorte sur les travailleurs en situation d'urgence menée par TEPCO et dénommée NEWS pour « Nuclear Emergency Workers Study ». Des informations sur la santé des travailleurs ont été ou sont encore recueillies, par le biais de questionnaires et d'échantillons biologiques (sang, urine, prélèvements). L'enquête de base de cette étude a commencé en 2016 : l'étude NEWS devrait donc fournir des premiers résultats sur la santé des travailleurs dans les prochaines années.

### 5.2. BILAN OU POINT D'AVANCEMENT DE CES ÉTUDES EN 2022

#### 5.2.1. L'enquête de base pour l'estimation des doses externes reçues

Selon le bilan réalisé au 31 mars 2018, un quart de la population de la préfecture de Fukushima a répondu au questionnaire destiné à évaluer les doses de rayonnement reçues au cours des 4 premiers mois qui ont suivi l'accident (560 000 habitants, dont environ 9 000 travailleurs de la centrale).

Environ 60 % de cette population questionnée avait reçu une dose externe inférieure à 1 mSv et seules 315 personnes (essentiellement des travailleurs qui sont intervenus sur le site dans les premières semaines après l'accident) auraient reçu des doses supérieures à 15 mSv. La dose externe maximale est estimée à 25 mSv.

Une étude spécifique réalisée par l'UNSCEAR a montré que la dose efficace moyenne individuelle reçue par plus de 20 000 travailleurs d'urgence ayant participé aux travaux d'assainissement et de nettoyage de mars 2011 à la fin

mars 2012, était d'environ 13 mSv. Environ 36 % ont reçu une dose efficace supérieure à 10 mSv, tandis que 0,8 % (174 travailleurs) ont été évalués comme ayant reçu plus de 100 mSv durant cette période.

### 5.2.2. Le bilan thyroïdien pour les enfants

Afin d'évaluer la fonction thyroïdienne des enfants exposés aux rejets radioactifs, l'Université de Médecine de Fukushima a débuté en avril 2011 une vaste campagne de réalisation d'échographies de la thyroïde à destination des quelques 360 000 enfants âgés de 18 ans ou moins au 1er avril 2011 exposés aux rayonnements émis suite à l'accident.

Plusieurs campagnes d'échographies thyroïdiennes ont été réalisées entre octobre 2011 et mars 2022. Elles avaient pour objectif d'évaluer la prévalence de base des cancers de la thyroïde chez les enfants et de dénombrer les nouveaux cas incidents de cancer de la thyroïde et ainsi de vérifier si ce nombre augmentait au cours du temps. Sur les 360 000 enfants suivis, au total 7707 enfants ont subi des examens complémentaires (prélèvements notamment), et 215 cas de cancers ont été finalement confirmés, qui ont conduit à l'ablation de la thyroïde dans la plupart des cas.

Les taux d'incidence constatés sont supérieurs aux taux constatés pour des populations similaires, mais non concernées par l'accident, et pour lesquelles les cas constatés ne résultent pas de campagnes systématiques de dépistage. Ce phénomène lié au caractère systématique d'un dépistage est appelé « *facteur de dépistage* ». Il a été clairement mis en évidence en Corée du Sud qui avait mis en place à partir de 1999 un dépistage du cancer de la thyroïde par échographie chez l'adulte : la comparaison des chiffres de 1993 à ceux de 2011 montre que le taux de cancer de la thyroïde a été multiplié par un facteur de 15 du fait de la mise en place de ce dépistage.

Des résultats similaires ont été obtenus en Ukraine après l'accident de Tchernobyl : ils montrent qu'un dépistage systématique par échographie peut entraîner un accroissement de l'incidence observée du cancer thyroïdien d'un facteur 7.

À ce stade, un consensus s'est établi dans le milieu médical japonais pour estimer que la fréquence élevée de nodules tumoraux thyroïdiens observés chez les enfants présents en 2011 dans la préfecture de Fukushima lors de l'accident nucléaire est liée à l'effet statistique du dépistage plutôt qu'à un effet des rayonnements ionisants.

### 5.2.3. Suivi psychologique des femmes enceintes au moment de l'accident et de leurs enfants

Les enquêtes menées comparent les informations recueillies dans le cadre du suivi des femmes venues consulter dans un centre médical de la préfecture de Fukushima au moment de la déclaration de leur grossesse, l'accouchement pouvant avoir eu lieu ensuite ailleurs pour certaines d'entre elles. Parmi les 7 260 femmes ayant répondu au questionnaire en 2013, 1 101 ont exprimé le souhait d'un soutien psychologique par téléphone ou dans le cadre d'une consultation.

Au fil des années, les consultations téléphoniques étaient principalement centrées sur les problèmes mentaux et physiques (santé mentale ou physique des mères et/ou des enfants ; vie de famille ; éducation des enfants liée à l'alimentation des bébés, pleurs nocturnes, constipation, vaccination). Le nombre de consultations téléphoniques a diminué avec le temps.

Après une légère augmentation du taux d'avortements entre 2011 et 2012 (0,06 % en juillet 2011 et 0,08 % en juillet 2012), ce taux était à la baisse en 2013 (0,04 %). Il n'y a pas eu d'évolution majeure du taux de fausses couches qui est resté de 0,8 % pour les grossesses déclarées entre août 2010 et juillet 2013.

Ces études n'ont pas mis en évidence une augmentation des cas de malformations à la naissance par comparaison avec des populations similaires mais non affectées par l'accident de Fukushima.

### 5.2.4. Suivi de l'état de santé des enfants nés juste après l'accident

En 2018, l'IRSN n'a pas noté l'existence d'études spécifiques sur ce sujet. Il convient donc de se reporter aux études mentionnées dans les paragraphes suivants concernant l'ensemble de la population qui ne mettent pas en évidence d'augmentation du taux d'occurrence de maladies radio-induites, en dehors du cas des cancers de la thyroïde (sujet traité au § 4.2.2) pour laquelle l'augmentation apparente du taux d'occurrence semble être plutôt la conséquence du dépistage systématique que d'un effet néfaste de l'irradiation auxquels ces enfants ont été soumis.

### 5.2.5. Étude de l'état de santé général des personnes évacuées

Les informations ci-dessous sont basées sur les bilans réalisés par l'Université de Médecine de Fukushima qui ont été reprises par l'IRSN. Les personnes qui ont été évacuées dans les semaines suivant l'accident sont conviées une fois par an pour un bilan médical approfondi. Avec le temps, les personnes se présentent de moins en moins pour réaliser leur bilan médical.

La première étude menée entre janvier et mars 2012, a montré que, parmi les personnes évacuées, la proportion de personnes en surpoids/obèses, en hypertension, diabétique ou présentant une dyslipidémie (taux élevé de lipides dans le sang) a augmenté après l'accident: Les résultats montrent que les personnes évacuées en cas de catastrophe peuvent être plus prédisposées aux maladies cardiovasculaires, telles que l'infarctus du myocarde et les accidents cérébrovasculaires. Cette dégradation consécutive à l'évacuation s'est progressivement atténuée au fil des années.

### **5.2.6. Etat de la santé mentale des personnes évacuées**

Une étude a été menée annuellement par l'envoi et le dépouillement d'un questionnaire spécifique, y compris les enfants. En 2011, 14,6 % des participants âgés de 16 ans et plus étaient susceptibles d'avoir des troubles affectifs ou anxieux tels que la dépression et avaient besoin d'un soutien. Ce pourcentage a diminué de manière continue depuis 2012 et était inférieur à 8 % en 2014.

À l'image de ce qui est observé pour les bilans de l'état général de santé, une diminution régulière du taux de participation est constatée sur l'enquête ayant pour objectif d'évaluer l'impact de l'accident sur la santé mentale des personnes évacuées. Un soutien téléphonique a été mis en place pour les personnes en ayant exprimé le besoin. Par ailleurs, il y a de grandes attentes en ce qui concerne les conseils sur la gestion du stress et les questions liées au mode de vie.

### **5.2.7. Conclusions provisoires sur les études sanitaires au Japon**

Suite à l'accident de Fukushima, aucune réaction tissulaire (notamment les cancers et leucémies) n'a été observée chez les travailleurs intervenant sur le site de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, contrairement à l'accident de Tchernobyl. À ce jour, en l'absence d'association observée avec la distribution de dose de radiation, la fréquence élevée observée de nodules tumoraux thyroïdiens détectés chez les enfants et adolescents résidant dans la préfecture de Fukushima au moment de l'accident est considérée comme étant attribuable au dépistage systématique mis en place dans la préfecture.

Après l'accident de Fukushima, l'impact sanitaire de l'évacuation de la population locale a été le problème majeur au cours des premiers mois, en particulier parmi les personnes les plus vulnérables telles que les personnes âgées. Suite à ce changement de mode de vie à grande échelle, de nombreux problèmes sont apparus à moyen et long terme : défaillances des infrastructures et des services médicaux, isolement social, perte de motivation dans la vie, conflits entre générations, perturbation du régime alimentaire, entraînant des troubles psychologiques (dépression, anxiété), l'aggravation de maladies chroniques comme le diabète, ainsi que des diagnostics et des prises en charge de maladies plus tardifs.

L'apparition ou l'aggravation de ces problèmes sont aujourd'hui attribuées à un manque de soutien social et à des changements au niveau sociétal et communautaire, plutôt qu'à des facteurs individuels tels que la perception du risque lié à l'exposition aux radiations.

## **5.3. IMPACTS SANITAIRES EN DEHORS DU JAPON**

L'évaluation actuelle des rejets radioactifs ayant eu lieu en 2011 a conduit à une estimation de leur répartition à l'échelle mondiale, puis à une estimation des débits de dose en résultant. Il apparaît que ces débits ont atteint des valeurs mesurables en dehors du Japon jusqu'à la fin 2011, bien qu'à des niveaux très faibles pour lesquels l'ensemble des études menées, notamment par l'UNSCEAR, concluent à l'absence d'impact sanitaire mesurable.

## **6. IMPACTS SUR LES PROGRAMMES NUCLÉAIRES**

### **6.1. IMPACTS AU JAPON**

Dès mars 2011, le Japon avait mis à l'arrêt les 33 réacteurs de son parc nucléaire. Les réacteurs respectant les nouvelles prescriptions de sécurité ont été progressivement remis en service depuis 2015 : en octobre 2024, 13 réacteurs nucléaires sont opérationnels. Parmi les 20 réacteurs maintenus à l'arrêt, il est possible que certains puissent redémarrer quand les travaux et modifications nécessaires auront été réalisés, mais cela devient de plus en plus improbable, notamment pour des raisons économiques.

En mai 2011, le Japon avait annoncé une réorientation de sa politique énergétique vers une plus grande sécurité des centrales et un développement accru des énergies renouvelables pour diminuer la part du nucléaire. Comme dans beaucoup de pays, les retards pris dans la mise en place de ces nouveaux moyens de production et les inquiétudes croissantes concernant l'équilibre du réseau électrique ont conduit le Japon à investir dans l'urgence dans de nouveaux moyens de production utilisant le gaz, voire le charbon.

La position géographique du pays le rend moins dépendant des conséquences immédiates de la guerre en Ukraine pour ces approvisionnements, mais la prise de conscience de la possibilité d'autres changements géostratégiques majeurs et rapides affectant ces approvisionnements a conduit en 2024 le gouvernement japonais à revoir sa politique énergétique en affichant la volonté de reprendre l'augmentation de son parc nucléaire, malgré une forte opposition de la société japonaise.

Au moment de l'accident, l'Agence de sûreté nucléaire et industrielle (NISA) était, au Japon, une subdivision du ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie (METI) chargée de superviser le respect de la réglementation dans le domaine de la sûreté nucléaire. Elle a été critiquée, notamment après l'accident nucléaire de Fukushima, pour avoir des conflits d'intérêts avec le METI qui faisait la promotion du nucléaire. Le 20 juin 2012, le gouvernement japonais a donc décidé de la dissoudre et de la remplacer par une Commission de réglementation de l'énergie nucléaire (NRA), une autorité administrative indépendante qui est rattachée au ministère de l'Environnement (MOE).

## 6.2. IMPACTS DANS LE MONDE

Dès juin 2011, des « *tests de résistance* » ont été réalisés dans de nombreux pays. Ils étaient destinés à évaluer le comportement des installations et des exploitants en cas d'agressions globales et inattendues, tels que des séismes et les inondations, et d'accidents graves. Ils ont donné lieu à de nombreuses améliorations de la conception et de l'exploitation des réacteurs.

Ce retour d'expérience a aussi conduit les autorités de radioprotection et de sûreté européennes à considérer qu'il fallait améliorer leur coordination en situations d'urgence, en particulier transfrontalières. Elles ont aussi considéré qu'il fallait se préparer à la gestion de situations extrêmes pour lesquelles peu d'informations seraient disponibles. Globalement, toutes ces améliorations ont conduit à une augmentation des coûts de la filière nucléaire.

L'accident de Fukushima a conduit de nombreux pays à reconsidérer la part, voire l'existence même, du nucléaire dans leur production électrique nationale. Si certains pays dont les Etats-Unis, la Russie, la Chine, l'Inde, la Finlande, la France, le Royaume-Uni, la Pologne et la Suède affichent un maintien de l'option nucléaire, d'autres dont l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, l'Italie et la Suisse ont décidé d'abandonner la filière ou confirment de ne pas s'y engager. Les conséquences de ces choix, notamment les fermetures de réacteurs, se sont poursuivies jusqu'au début des années 2020.

L'impact de la guerre en Ukraine en 2022 a mis en évidence la fragilité des choix énergétiques fait implicitement en privilégiant les énergies "renouvelables", notamment l'importance prise par les approvisionnements en gaz destinés à garantir l'adéquation entre les quantités d'électricité produites et celles consommées, et de l'impossibilité de garantir au moins à moyen terme la stabilité des réseaux électriques. Il s'en est suivi un revirement violent et rapide des politiques énergétiques dans de nombreux pays européens, à l'exception notable de l'Allemagne, se traduisant par l'arrêt des fermetures de réacteurs (cas de la Belgique), et la suppression des obstacles législatifs s'opposant à la mise en place ou au renouvellement des moyens de production nucléaires (pays de l'Est européen, Suède).

## 6.3. IMPACTS EN FRANCE

### 6.3.1. Impacts court terme

En France, ces « *tests de résistance* » se sont déroulés dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) demandées aux exploitants nucléaires français le 5 mai 2011 par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). (voir [La fiche argumentaire GAENA "Qu'avons-nous appris en France des accidents de réacteurs dans le monde ?"](#) donne des informations complémentaires sur les dispositions prises en France.

Les exploitants (essentiellement EDF, Orano et le CEA) ont transmis les résultats de ces évaluations à l'ASN le 15 septembre. Ces résultats ont été analysés par l'IRSN par un rapport rendu public le 17 novembre 2011. En juin 2012 l'ASN a promulgué 32 décisions dites "post fukushima" qui imposent aux exploitants de définir et mettre en œuvre des dispositifs pour faire face à des situations extrêmes :

- la mise en œuvre de dispositifs pour améliorer la gestion des situations de perte des alimentations électriques ou perte de refroidissement affectant l'ensemble du site ;
- la définition d'un « noyau dur » constitué par des dispositions matérielles et organisationnelles visant, en cas de conditions extrêmes, à prévenir un accident avec fusion du combustible ou à en limiter la progression, ainsi qu'à limiter les rejets massifs ;
- le renforcement des moyens de gestion de crise sur chacun des sites ;
- la mise en œuvre d'une force d'action rapide du nucléaire (FARN pour CEA et EDF, FINA pour Orano), permettant d'intervenir en urgence sur un site nucléaire accidenté.

La mise en œuvre de ces décisions est assortie de délais qui font l'objet d'un suivi régulier par l'ASN. Certaines dispositions, notamment la mise en place des groupes diesel d'ultime secours, ont fait l'objet de demandes de prolongation des délais par EDF, mais dans l'ensemble ce programme est exécuté conformément aux demandes de l'ASN.

L'enquête publique sur l'EPR de Penly qui était prévue en 2011 a été repoussée en 2012 dans l'attente des résultats de ces évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima ; le projet de ce nouvel EPR a finalement été annulé en 2012, au profit du projet de l'implantation à Flamanville.

### 6.3.2. Impacts Moyen-long terme

Dorénavant, la prise en compte des aléas climatiques extrêmes est intégrée aux réévaluations de sûreté réalisées tous les 10 ans pour justifier la poursuite de l'exploitation des réacteurs français. On peut considérer que le niveau de la sûreté de ces installations a progressé sur les points suivants :

- la mise en place de moyens et de procédures adaptés aux situations extrême ;
- la prise en compte des effets "falaise" durant lesquels une accumulation d'incidents à impact modéré peut conduire à une situation catastrophique ;
- la prise en compte des effets collatéraux entre réacteurs d'un même site, notamment via la défaillance d'infrastructures communes (refroidissement, alimentations électriques, systèmes d'acquisition et d'affichage des données, ..) ;
- l'amélioration de la formation des exploitants en situations extrêmes.

## 7. CONCLUSION

L'accident de Fukushima a relancé les interrogations sur l'intérêt de poursuivre l'exploitation, voire l'expansion, du parc nucléaire français, notamment dans le contexte des décisions prises pour fortement développer les moyens de production d'électricité à l'aide de moyens dits "renouvelables", essentiellement l'éolien et le photovoltaïque.

C'est ainsi que l'ADEME et RTE ont produit plusieurs études portant sur la possibilité de réduire, voire d'annuler à terme, la part du nucléaire dans le mix électrique français. Ces études concluaient à la possibilité théorique de se passer des moyens de production d'électricité d'origine nucléaire à moyen et long terme, moyennant des hypothèses fortes sur la mise en place de moyens d'interconnexion et de renforcement des réseaux de distribution, et des changements drastiques des modes de vie passant par une sobriété volontaire ou imposée des besoins.

À partir de 2012, ces objectifs ont été repris dans divers textes réglementaires et législatifs (Loi de transition énergétique pour la croissance verte, Programme Pluriannuel de l'Énergie, Stratégie Nationale Bas Carbone par exemple) fixant des objectifs de réduction de la part du nucléaire de 75 à 50 % à l'horizon 2030, avec la fermeture de 14 réacteurs d'ici 2025.

La prise de conscience progressive, à la fin des années 2010, des risques forts que feraient peser l'abandon à terme du programme nucléaire français a conduit à des reports dans le temps en plusieurs étapes de ces objectifs, puis à leur disparition lors de la mise à jour en 2023 de ces textes. Seule a été mise en œuvre la fermeture, en 2020 des 2 réacteurs de Fessenheim, alors que l'ASN avait estimé en 2020 que « *...Les performances en matière de sûreté nucléaire du site de Fessenheim, dans la continuité des années précédentes, se distinguent de manière favorable par rapport à la moyenne du parc* ».

La prise de conscience de l'avantage majeur en matière d'indépendance énergétique apporté par la filière électronucléaire a conduit à partir de 2022 à plusieurs décisions de nature politique allant dans le sens de la relance et la modernisation de la filière nucléaire : annonce de la construction de 6 réacteurs EPR2, voire de 8 ultérieurement, et extension des installations du cycle du combustible.

## 8. RÉFÉRENCES

- IRSN : diverses publications accessibles sur le site de l'IRSN : [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)
- AIEA : communiqués de presse émis depuis 2012, accessibles sur son site
- UNSCEAR : publications accessibles sur le site <https://www.unscear.org/unscear/en/areas-of-work/fukushima.html>, et plus spécifiquement le lien [https://www.unscear.org/unscear/uploads/res/areas-of-work/fukushima\\_html/UNSCEAR\\_Brochure\\_-\\_Single\\_Page\\_-\\_Final\\_incl\\_fonts.pdf](https://www.unscear.org/unscear/uploads/res/areas-of-work/fukushima_html/UNSCEAR_Brochure_-_Single_Page_-_Final_incl_fonts.pdf) pour les impacts sanitaires
- ASN : notamment <https://www.asn.fr/l-asn-informe/publications/les-cahiers-de-l-asn/>
- RTE : études prospectives sur les besoins en électricité aux horizons 2035 et 2050, sur les moyens techniques pour y parvenir, et des besoins en financement correspondants : accessibles sur le site de RTE