

## FUKUSHIMA, 3 ans après la catastrophe

### 1. INTRODUCTION

La catastrophe, provoquée par le séisme suivi d'un tsunami qui a dévasté la région de Tohoku, a fait l'objet de la [Fiche GASN N° 47](#) qui relate les événements. Trois ans après, cette fiche fait la synthèse des articles parus sur l'état du site nucléaire et l'état de l'environnement ainsi que l'impact sanitaire sur les travailleurs et la population.

### 2. L'ÉTAT DU SITE

Le tsunami, qui a noyé les diesels de secours, a provoqué la fusion des réacteurs N° 1, 2, et 3, qui étaient chargés en combustible, et à l'arrêt suite au séisme, ainsi que la perte de refroidissement notamment de la piscine du réacteur n°4, pleine car le réacteur venait d'être déchargé de son combustible. Des explosions sont intervenues dans les bâtiments réacteurs N°1, 3 et 4, en raison de l'hydrogène produit par la réaction entre les gaines de zircaloy et l'eau, et de l'hydrogène transféré dans le réacteur n°4 via les auxiliaires communs avec le réacteur n°3.

Du point de vue de la sûreté, les enjeux sont désormais les suivants :

- limiter puis arrêter les relâchements de radioactivité à l'atmosphère, ce qui nécessite de refroidir les combustibles des réacteurs et des piscines et d'établir les confinements détruits par les explosions
- limiter puis arrêter les relâchements de radioactivité dans les eaux souterraines qui débouchent dans la mer, ce qui implique de faire recirculer l'eau de refroidissement des cœurs en la décontaminant et d'établir des barrages souterrains
- procéder au retrait du combustible sain, puis dégradé, première étape du démantèlement des installations, en vue d'assainir et de libérer progressivement le site, ce qui, dans l'attente, oblige à sécuriser le site vis-à-vis de l'éventualité de nouveaux événements catastrophiques : typhons, séismes, tsunamis.

De fait, **un travail considérable a été accompli en trois ans** : déblaiement pour accès aux bâtiments, rétablis-sement du refroidissement des cœurs et des piscines, rehausse de la digue anti-tsunami, décontamination des eaux, sécurisation de la piscine du réacteur 4, couverture des réacteurs n°1 et n°4, début d'évacuation des combustibles entreposés dans la piscine n°4, cartographie des zones les plus radioactives, envoi de sondes pour diagnostiquer l'état réel des enceintes de confinement, etc [1].



Fig. 1 – Nouvelles enceintes de confinement en cours de montage [1]  
Réacteur n°1 (terminé en oct. 2012) Piscine n°4 (terminé en oct. 2013)

## 2.1. REFROIDISSEMENT ET CONFINEMENT DES RÉACTEURS

Les réacteurs N° 1, 2 et 3 sont refroidis à 20-50°C de façon permanente avec de l'eau douce (5 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, où elle se mélange aux infiltrations d'eaux souterraines puis est reprise pour être traitée et partiellement réutilisée pour assurer le refroidissement des réacteurs.

Les piscines d'entreposage des éléments combustibles sont refroidies en circuit fermé pour maintenir une température inférieure à 30°C. Certains matériels sont conçus pour résister au séisme et sont surélevés pour pallier le risque d'inondation [2a].

Pour limiter les rejets atmosphériques, les enceintes de confinement détruites sont en cours de reconstruction (terminé pour le réacteur n° 1, en cours pour le réacteur n° 3). Une injection d'azote est effectuée en tant que de besoin dans les enceintes de confinement et les cuves des réacteurs N°1 à 3 pour maintenir leur inertage et éviter ainsi tout risque de combustion d'hydrogène.

Ces précautions permettent de garantir que les rejets sont désormais sans conséquence notable sur l'environnement de la centrale [1].

## 2.2. TRAITEMENT DES EAUX CONTAMINÉES

Il existe 3 sources de contamination des eaux. Elles proviennent du refroidissement des réacteurs nucléaires, dont la cuve primaire fuit ; des entreposages, qui atteignent une capacité de 470 000 m<sup>3</sup> et présentent des inétanchéités ; et enfin des installations maritimes, les installations de pompage et de rejet ayant été détruites par le tsunami et les galeries envahies par des liquides très radioactifs, suite à la fusion des cœurs.

L'enjeu est de résorber les volumes d'effluents, en traitant à la fois les effluents entreposés, les eaux souterraines pompées et les effluents produits chaque jour dans les bâtiments nucléaires, et d'atteindre une efficacité suffisante de décontamination pour pouvoir rejeter dans l'océan les eaux ainsi traitées, après obtention des autorisations correspondantes. (Voir les dossiers IRSN [2c] & [2d]).

### 2.2.1 Traitement des eaux de refroidissement des réacteurs

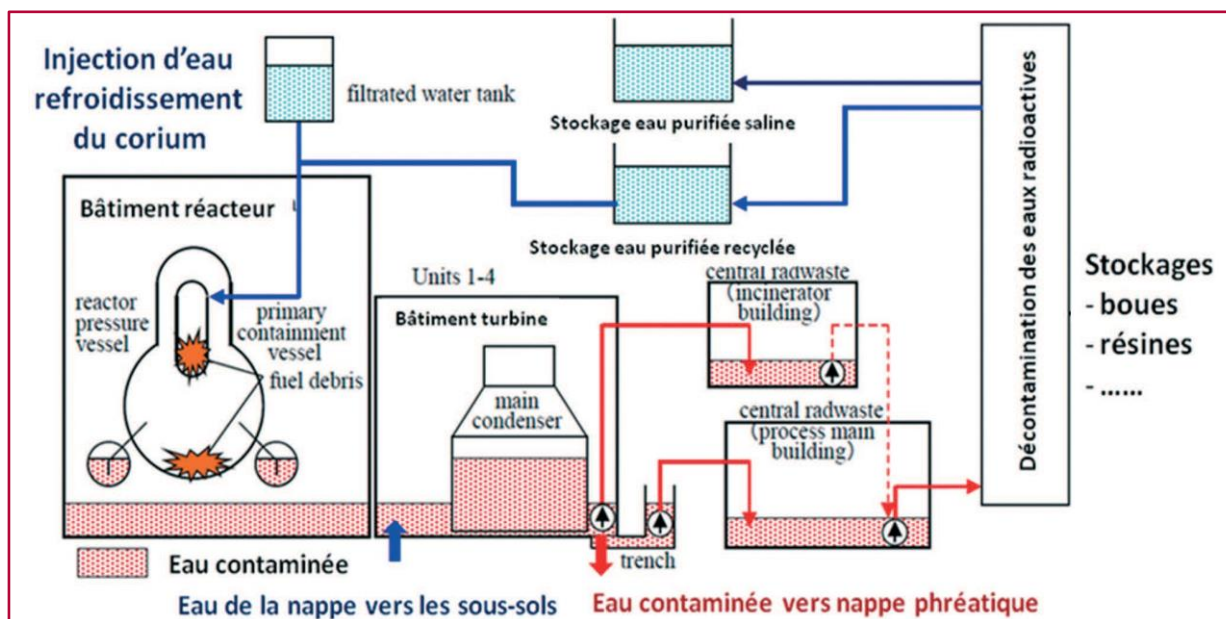


Fig. 2 – Circuit des eaux des réacteurs accidentés : injection d'eau de refroidissement dans l'enceinte de confinement des cœurs, collecte aux points bas des bâtiments, et épuration [1]

L'eau collectée dans les caniveaux et les puits est traitée afin d'en extraire les contaminants radioactifs (le **césium** en particulier), et le sel. L'eau purifiée dessalée est ensuite réinjectée dans le circuit de réfrigération des cœurs. Le débit nécessaire est désormais faible car la puissance résiduelle est très basse (25 kW pour le réacteur n°1 et 50 pour les 2 autres), mais environ 350 m<sup>3</sup> d'eau souterraine entrent quotidiennement dans les sous-sols contaminés.

Pour empêcher les infiltrations souterraines, il est prévu de créer une jupe de rétention étanche autour des réacteurs jusqu'à atteindre la couche géologique étanche située à 27 m de profondeur, en gelant localement le sol, en vue de vidanger les bâtiments nucléaires et de restaurer leur étanchéité. Cela permettrait de limiter la dimension du parc d'entreposage des eaux contaminées [1].

### 2.2.2 Entreposage des eaux contaminées

Les volumes présents d'eaux et de boues contaminées sont considérables (environ 430 000 m<sup>3</sup>) et les réservoirs posent des problèmes d'étanchéité. La présence d'eau polluée a été relevée en périphérie de la zone d'entreposage lors du passage du typhon Whipa (16 octobre 2013) avec des teneurs en tritium et en strontium-90 de l'ordre de 700 kBq/L, obligeant TEPCO à pomper dans la nappe phréatique pour diminuer la contamination. La capacité du parc d'entreposage des eaux contaminées atteindra 800 000 m<sup>3</sup> en 2015.

La nouvelle installation d'épuration (ALPS) mise en service en 2013, prévue pour traiter l'ensemble des produits radioactifs, devrait permettre d'amener la radioactivité résiduelle des effluents à un niveau compatible avec les autorisations de rejet.

Les autorités japonaises pourront alors autoriser des rejets vers la mer pour débloquer le parc d'entreposage, mais cette décision devra être acceptée par la population, les pêcheurs en particulier.

### 2.2.3 Installations maritimes

Les installations en contact avec le front de mer : stations de pompage, galeries, caniveaux, conduites, ont été à l'origine d'une bonne partie de la pollution radioactive encore observée actuellement dans les sédiments et dans l'eau du port.

TEPCO a initié un programme de vidange et de bouchage de ce réseau de galeries, met en place un écran d'étanchéité côté océan, et envisage de placer une barrière absorbant spécifiquement le strontium.

Ces dispositifs locaux seront complétés d'ici septembre 2014 par une barrière d'étanchéité souterraine (dénommée « mur » dans la Fig. 3) de 900 m le long de la façade maritime.



Fig. 3 – Mur d'étanchéité en construction [2d]

### 2.3. ÉVACUATION DU COMBUSTIBLE

La reprise du combustible de la piscine du réacteur n° 4 est en cours et devrait être terminée fin 2014.

Il a fallu, pour recevoir les moyens de déchargement des combustibles et des débris tombés sur la piscine lors de l'explosion des superstructures du réacteur n° 4, construire un bâtiment complémentaire afin de ne pas solliciter le bâtiment accidenté pendant ces opérations de manutention.

L'IRSN a consacré un dossier à cette opération délicate [2b].

Le retrait du combustible de la piscine du réacteur n° 3 débutera en 2015 ; pour les piscines des réacteurs N° 1 et 2, il faudra attendre 2017.

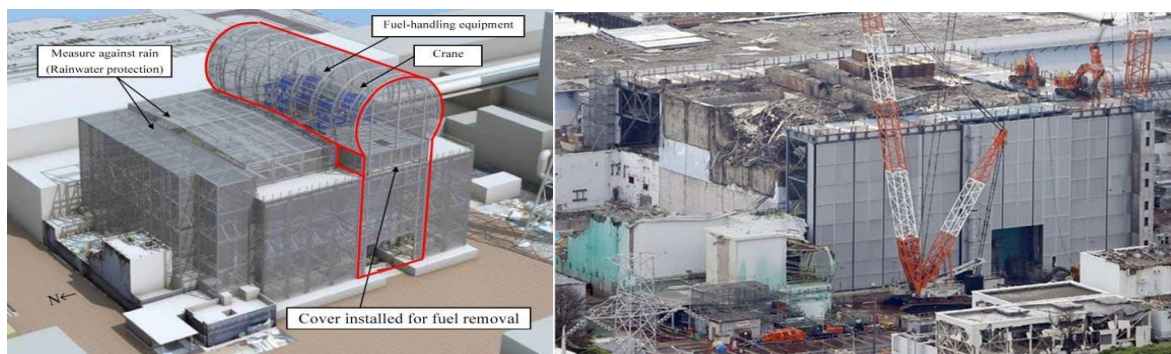


Fig. 4 – Réacteur 3 : Projet de couverture du bâtiment ; état à l'été 2013 [2a]

Pour le retrait des combustibles dégradés, des moyens d'investigation et de reprise sont en cours d'étude. Les opérations devraient débuter au début des années 2020.

TEPCO prévoit que le démantèlement complet des installations nécessitera 30 à 40 ans. A noter que, bien qu'ils soient pratiquement intacts, les réacteurs N° 5 et 6 ont été mis à l'arrêt définitif, alors qu'à Tchernobyl, les réacteurs N° 1 et 2 avaient été maintenus en activité jusqu'en l'an 2000.

### 3. L'IMPACT SANITAIRE SUR LES TRAVAILLEURS ET LA POPULATION

#### 3.1. SUIVI DES TRAVAILLEURS SUR LE SITE

Après une première année où la limite de dose acceptable a été relevée à 250 mSv, les travaux de déblaiement des débris et de nettoyage des sols et des bâtiments ont permis, depuis fin 2011, de ramener les doses maximales à 25 mSv/an.

Pour les 6 500 personnes qui se relayent en travaillant à distance selon le principe ALARA, les doses moyennes sont de 0,8 à 1,4 mSv/an.

Il faut rappeler que ces équipes ont été par ailleurs durement touchées par les destructions du séisme et du tsunami et par les évacuations de leurs familles et des habitants [1]. Il a été observé 7 décès de travailleurs, aucun n'étant attribuable à une exposition aux rayonnements ionisants : 2 par l'inondation du 11 mars 2011, 3 par arrêt cardiaque, 1 d'une leucémie aiguë alors que la dose externe reçue jusqu'à son décès le 7/8/11 n'était que de 0,5 mSv, et 1 d'un abcès rétropéritonéal alors qu'il n'avait reçu qu'une dose externe de 5 mSv et aucune contamination interne.

Un fichier informatique a été mis en place pour le suivi du personnel d'intervention avec un suivi particulier des risques de cataracte pour ceux qui dépassent 50 mSv et un suivi des organes (thyroïde, poumon, estomac, colon) pour ceux qui dépassent 100 mSv [2h].

#### 3.2. ESTIMATION DES DOSES POTENTIELLEMENT REÇUES PAR LA POPULATION IMPACTÉE

Lors de l'accident, la phase principale de rejets a duré du 12 au 25 mars, avec un épisode important les 15-16 mars et moindre du 20 au 23 mars.

Les retombées ont eu un impact faible sur l'agriculture, du fait de la saison (sols encore enneigés) et des pratiques d'élevage en stabulation, au moyen de fourrage importé.

L'évacuation précoce de la population (80 000 personnes) vivant dans la zone des 20 km a permis d'éviter une dosimétrie élevée, contrairement à Tchernobyl.

Des territoires jusqu'à 60 km ce sont révélés ensuite impactés, et leur population n'ayant été évacuée que le 22 avril, elle a pu recevoir jusqu'à plus de 25 mSv.

Depuis, les doses sont dues à l'exposition externe provoquée par les dépôts radioactifs à vie moyenne (césiums 134 et 137).

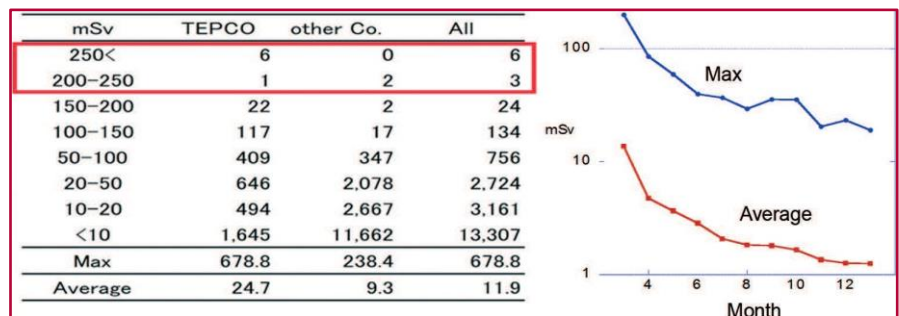


Fig. 5 – Evolution de la dosimétrie des travailleurs (TEPCO et sous-traitants) dans la première année : doses maximales (en bleu) et moyennes (en rouge) [1]

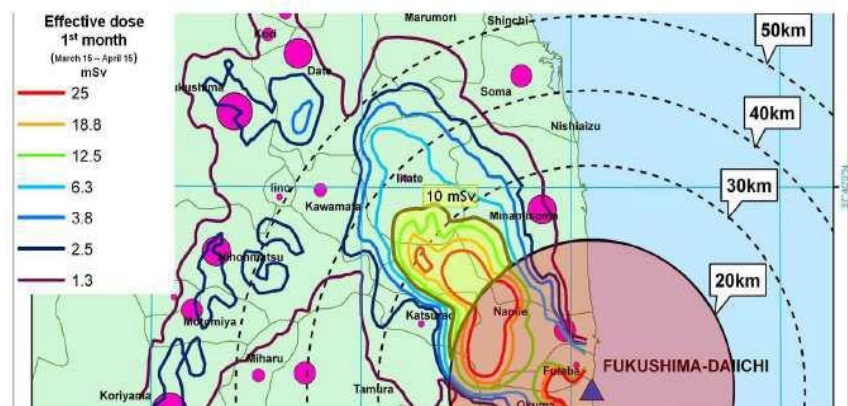


Fig. 6 – Zone en jaune : doses > 10 mSv au terme du 1er mois [2f]

Une nette diminution (40%) du débit de dose aérien a été constatée dans les 16 mois entre le 5/11/2011 et le 11/03/2013 dans la zone des 80 km autour de la centrale, pour moitié due à la décroissance du césium-134, et le reste par la pénétration dans le sol.

Sur la base de cette exposition externe, les autorités japonaises distinguent 3 zones (voir Fig. 7) :

- une zone de 320 km<sup>2</sup> (en rouge) où le retour n'est pas envisageable à moyen terme
- une zone de 300 km<sup>2</sup> (en brun) où il est interdit de résider, mais où l'accès est permis temporairement
- une zone de 460 km<sup>2</sup> (en vert) où on prépare le retour des populations. Dans cette zone qui représente 40% du territoire évacué, la dose annuelle pour les personnes qui reviendraient y vivre serait inférieure à 20 mSv.

### 3.3. SUIVI SANITAIRE DES POPULATIONS

Plus de 2 millions de personnes ont fait l'objet d'une enquête dosimétrique, parmi lesquelles près d'un quart a répondu (voir article GASN N°25 « Conséquences sanitaires de FUKUSHIMA 2 ans après l'accident »).

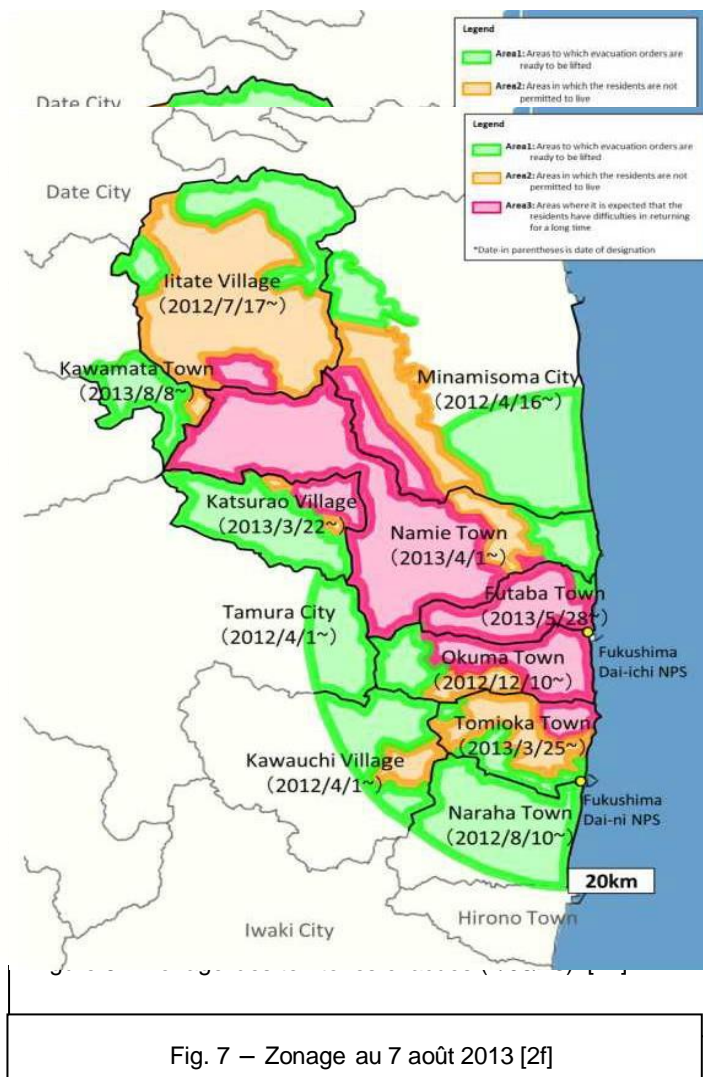
Compte tenu des mesures d'évacuation, seules 11 personnes auraient reçu des doses externes supérieures à 15 mSv (hors travailleurs du site), ce qui est très faible.

Sur les quelque 360 000 enfants présents dans la Préfecture de Fukushima au moment de l'accident, 225 537 ont fait l'objet d'examen thyroïdiens : 59 enfants présentaient des nodules ou des kystes et 27 ont dû subir une ablation chirurgicale de la thyroïde qui a confirmé pour 26 d'entre eux un cancer de type adénocarcinome papillaire.

Parmi les 59 cas douteux, 21 enfants avaient répondu au questionnaire dosimétrique : l'estimation était inférieure à 1 mSv pour 12 enfants et comprise entre 1 et 2 mSv pour 9 enfants.

Pour ce qui est des adultes, il est trop tôt pour pouvoir conclure à l'absence de cancers détectables, compte tenu du temps de latence pour le développement de la maladie.

Par contre, les méfaits psychosomatiques (stress émotionnel, changement d'habitudes alimentaires, moindre activité physique) de l'évacuation des populations est détectable (tout comme après Tchernobyl) : obésité et perturbation du métabolisme des graisses, hypertension (chez les enfants) et dysfonctionnements hépatiques (chez les adultes) [2h].



## 5. PERSPECTIVES

### 5.1. ASSAINISSEMENT DU SITE

Le confinement des installations détruites par les explosions est en bonne voie, ce qui permettra d'évacuer d'ici 2020 le combustible des piscines.

Le traitement des eaux contaminées est un vrai challenge : d'une part, construire des barrières pour protéger l'environnement (autour des réacteurs, et en front de mer) et d'autre part décontaminer les eaux entreposées.

Ce n'est qu'une fois ces travaux de stabilisation effectués qu'il sera possible de commencer la récupération du combustible dégradé et le démantèlement des réacteurs.

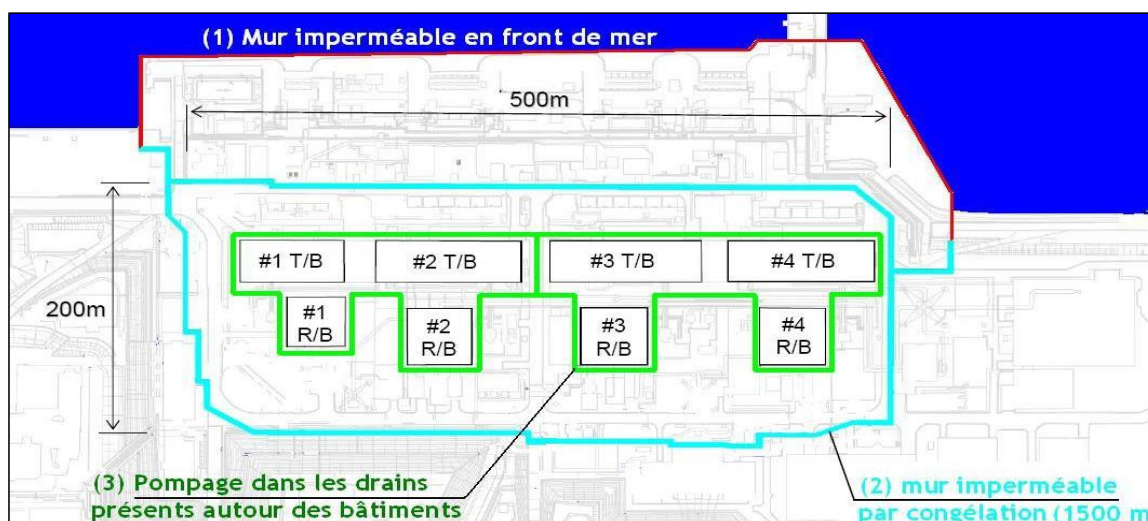


Fig. 8 – Projet de traitement des eaux souterraines du site [2d]

## 5.2. RETOUR DE LA POPULATION ÉVACUÉE

La décontamination de la zone spéciale dont les populations ont été évacuées est exécutée sous maîtrise d'ouvrage gouvernementale. L'objectif est de diminuer les débits de dose initiaux de 50 à 20 mSv/a en 2014, et de 20 à 1 mSv/a en 2016 [1].

Dans la zone de surveillance dont les populations n'ont pas été évacuées, des travaux de décontamination sont ponctuellement nécessaires. Ils sont effectués par les municipalités.

Les autorités ont pu constater que la population avait la capacité de gérer sa contamination : les doses réellement mesurées par les dosimètres personnels, largement distribués, sont très inférieures (de 2,6 à 7 fois) aux estimations basées sur les mesures terrestres et aériennes.

Ce constat permet d'augurer favorablement du retour progressif des populations dans les territoires à mesure de leur décontamination, en programmant – pour que la vie y soit possible – l'accessibilité à tous les services liés à la vie du village (administratifs, sociaux, scolaires, culturels, commerciaux, etc.).

Néanmoins, 25 % des personnes interrogées refusent de revenir.

Concernant l'agriculture, plus de 18 000 hectares de terre agricole ont été décontaminés et remis en production (de riz, essentiellement). Le chiffre devrait dépasser 26 000 ha fin 2014. Un contrôle strict de la nourriture a montré que la quasi-totalité des terrains décontaminés produisent de la nourriture dont la radioactivité est en-dessous des niveaux autorisés. Dans la préfecture de Fukushima, sur toute l'année 2012, seuls 71 sacs de riz sur 10 millions dépassaient la norme de 100 Bq/kg. Les terres contaminées collectées seront entreposées sur un site, décidé par l'État, d'une surface de 3 à 5 kilomètres carrés et pour une durée d'environ 30 ans [3].

## 6. RÉFÉRENCES

- [1] Fukushima 2014 : état des lieux et perspectives, en 10 questions ; RGN N°1 Janvier-Février 2014, p. 84-95 ; [http://www.sfen.org/IMG/pdf/fukushima\\_3\\_2014\\_150.pdf](http://www.sfen.org/IMG/pdf/fukushima_3_2014_150.pdf)
- [2] Accident nucléaire de Fukushima Daiichi ; dossier IRSN (mars 2014) [http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations\\_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2014/Pages/fukushima-daiichi-en-2014-sommaire.aspx](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2014/Pages/fukushima-daiichi-en-2014-sommaire.aspx)
- [2a] Point de la situation
- [2b] Évacuation du combustible présent dans la piscine d'entreposage
- [2c] Gestion des eaux radioactives provenant des réacteurs accidentés
- [2d] Eaux souterraines sous le site
- [2e] Les conséquences sanitaires de l'accident
- [2f] Estimation des doses potentiellement reçues par la population japonaise
- [2g] Bilan des études épidémiologiques conduites sur les habitants de la préfecture de Fukushima
- [2h] Situation des travailleurs impliqués dans les opérations menées à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi
- [3] J-P Pervès : « Où en sont les travaux de décontamination ? » <http://energies.sfen.org/le-debat-sur-la-transition-energetique/ou-en-sont-les-travaux-de-decontamination-entrepris-sur-les-territoires-zone-devacuation-au-dela>