

Un document de synthèse de la Société Française d'Énergie Nucléaire

FUKUSHIMA 2014 : état des lieux et perspectives

En 10 questions

Le 11 mars 2011, un tsunami d'ampleur exceptionnelle, provoqué par un séisme de forte intensité, dévastait la côte nord – est de Honshu, la grande île du Japon, sur plusieurs centaines de kilomètres. La conjugaison de ces deux cataclysmes faisait 18 000 victimes et provoquait sur la centrale nucléaire côtière de Fukushima – Daiichi un accident majeur. La SFEN et la RGN en ont très largement traité. Trois ans après l'événement nous revenons une nouvelle fois sur le sujet et proposons ci-après, en 10 questions/réponses, une synthèse actualisée de l'état des lieux et des perspectives d'évolution de la situation sur le site de la centrale et dans les zones contaminées, évacuées ou non.

Concernant l'accident en lui-même et l'enchaînement des séquences il se confirme que les réacteurs ont correctement réagi au séisme, en se mettant en arrêt automatique. C'est le tsunami qui a été l'événement initiateur de l'accident, noyant le site et coupant brutalement l'alimentation de la centrale en eau et en électricité. Cette dégradation subite et singulière a été à la base des réflexions et des actions conduites par les pays "nucléaires" et notamment la France pour réviser leur démarche de sûreté et mettre en œuvre des moyens renforcés pour faire face à de telles situations exceptionnelles.

Le site, entré maintenant dans une longue phase d'assainissement, a réduit à des niveaux très faibles ses rejets atmosphériques mais continue de "produire" de grandes quantités d'eau contaminée du fait de son utilisation pour le refroidissement des réacteurs. C'est là un des problèmes que doit gérer Tepco, même si les eaux contaminées atteignant les rivages ne provoquent qu'une contamination réduite de l'océan.

Un des autres grands problèmes à gérer et à surmonter est bien sûr celui de la décontamination des territoires. Un gigantesque effort est accompli en ce sens, et qui commence à porter ses fruits : en effet pour la première fois l'ordre

d'évacuation a été levé sur une commune située dans la zone d'exclusion des 20 km : à compter du mois d'avril, les habitants de Tamura sont autorisés à rentrer chez eux. C'est le début d'un processus de retour qui gagnera en ampleur dans la prochaine période mais que les autorités n'entendent pas précipiter.

Ce n'est pas parce que les opérations de décontamination sont longues et difficiles que l'on doit en déduire que les habitants de la région ont été fortement contaminés par les rejets radioactifs de la centrale. En fait les doses absorbées par ces populations ont été faibles comme l'a montré l'étude de référence présentée par l'OMS en 2013 et comme le confirment toutes les autres enquêtes publiées sur le sujet et notamment celle de l'Université de Kyoto qui vient d'être rendue publique fin février 2014. La conséquence de cette dosimétrie réduite est que l'impact sanitaire de l'accident est estimé comme devant être très limité.

C'est probablement une des raisons qui expliquent que le programme électronucléaire n'est pas frappé d'ostracisme par l'opinion publique japonaise et que le gouvernement de M. Abe présente le nucléaire dans le "Basic Energy Plan" rendu public le 24 février 2014 comme devant être une des "énergies de base" du pays. Il est vraisemblable que plusieurs réacteurs seront redémarrés dans les mois qui viennent, ce qui mettra fin à la période de 3 ans durant laquelle toutes les centrales nucléaires du pays ont été arrêtées.

F.S.

La SFEN remercie vivement son groupe d'experts et tout particulièrement Bertrand Barré et Jean-Pierre Pervès pour leur contribution à l'élaboration de ce document.

Nos remerciements vont aussi à Christophe Xerri Conseiller nucléaire de l'Ambassade de France au Japon et Thibault Clément, Assistant, pour les informations apportées.

Infographie : Boris Le Ngoc ; coordination : Francis Sorin.

1. A-t-on progressé dans l'analyse et la compréhension de l'accident ?

Rien n'est venu remettre en cause l'interprétation générale de l'accident que nous présentons de façon synthétique ci-après. L'analyse se poursuit cependant pour préciser dans le détail l'enchaînement des séquences accidentelles dans chacune des tranches 1, 2 et 3. C'est ainsi, notamment, que la situation du corium du réacteur 3 est désormais considérée comme plus détériorée qu'on ne le pensait avant fin 2013. Dans l'ensemble il se confirme que les réacteurs ont correctement réagi au séisme – en se mettant en arrêt automatique – et que l'événement initiateur de l'accident a été le tsunami de forte ampleur qui a dévasté le site, interrompant l'alimentation de la centrale en eau et en électricité.

• Dès le premier mois qui l'a suivi, les principales causes de l'accident de Fukushima Daiichi ont été clairement identifiées :

Le grand séisme de Tohoku a provoqué l'arrêt automatique des trois réacteurs en marche sur le site (tranches 1, 2 et 3) et provoqué la rupture des lignes à haute tension qui raccordaient la centrale au réseau électrique japonais. Les 13 diesels de secours ont pris le relais, comme prévu, pour assurer la continuité du refroidissement des six réacteurs du site.

Environ trois quarts d'heures plus tard, les vagues successives du tsunami, dont la plus haute atteignait 14 mètres, ont envahi le site, provoquant l'inondation des diesels (sauf un), des tableaux électriques et des batteries de secours, la destruction des réservoirs de fuel et l'obstruction plus ou moins complète des prises d'eau de refroidissement. Le seul diesel survivant a permis de maintenir le refroidissement des tranches 5 et 6, à l'arrêt et situées plus haut que les autres par rapport au niveau de la mer. Le cœur du réacteur 4 avait été déchargé dans la piscine pour des opérations de maintenance planifiées.

Privées d'alimentation électrique normale et de secours, les tranches 1, 2 et 3 n'ont plus été en mesure d'évacuer la puissance résiduelle de leurs cœurs (celle que continuent à dégager en se désintégrant les produits radioactifs, après l'arrêt de la réaction en chaîne) et leur combustible a surchauffé. D'abord, les gaines ont réagi avec la vapeur d'eau pour produire de grandes quantités d'hydrogène, puis le combustible lui-même a fondu. L'hydrogène a diffusé jusqu'au sommet des bâtiments des réacteurs 1, 3 et 4, provoquant des explosions très destructrices.

Le cœur du réacteur 1 a probablement fondu en totalité, et le "corium" a traversé le fond de cuve pour s'étaler sur le radier en béton à l'intérieur de l'enceinte de confinement (qui, dans les réacteurs à eau bouillante, est une structure différente du bâtiment réacteur lui-même). Le corium du réacteur 2 est probablement resté dans la cuve, et la situation du réacteur 3 est intermédiaire entre les deux.

Comme la cuve du réacteur 4 était vide, l'explosion d'hydrogène a d'abord fait croire que la piscine avait perdu son eau et que son combustible s'était dégradé comme celui des cœurs 1 à 3, mais on a pu constater en mai 2011 que celui-ci était intact : l'hydrogène qui a explosé en haut de la tranche 4

provenait en fait du réacteur 3, les deux tranches partageant la même cheminée d'évacuation.

2. Où en sont les aménagements de sûreté engagés en France à la lumière des enseignements tirés de l'accident ?

En janvier 2012, l'ASN avait estimé que l'état des Installations Nucléaires de Base françaises (INB) ne justifiait pas leur arrêt mais qu'il était nécessaire de procéder aussi rapidement que raisonnablement possible aux renforcements proposés dans le cadre des réflexions de sûreté "post-Fukushima".

Ces réflexions avaient été engagées durant l'été 2011 dans le cadre commun européen des "stress tests"¹ qui a vu les opérateurs français d'installations nucléaires de base (INB), EDF, AREVA et le CEA, procéder à des Evaluations Complémentaires de Sûreté (ECS). Ces ECS ont conduit les opérateurs à proposer à l'autorité de sûreté (ASN) des mesures de renforcement de la robustesse de leurs installations face à des agressions plus violentes que celles qui avaient été prises en compte lors de la conception de celles-ci, ainsi que des mesures d'amélioration de la gestion d'un accident, aux plans local et national.

• Envisager des hypothèses extrêmes

En conséquence, comme après les accidents de Three Mile Island en 1979 et de Tchernobyl en 1986, la doctrine de sûreté française a été révisée avec prise en compte de marges de protection supplémentaires contre les agressions possibles (séismes, inondations par exemple), mais plus encore en décidant de faire l'hypothèse d'une fusion de tous les cœurs des réacteurs d'un site, -même sans avoir pu identifier un scénario réaliste² conduisant à un tel accident - et en considérant que dans cette circonstance il ne devait pas y avoir de contamination durable des territoires voisins.

• Noyau dur

En ce qui concerne les centrales d'EDF, la principale mesure de renforcement de leur robustesse est l'identification d'un "noyau dur" de systèmes qui doivent être protégés beaucoup plus que le reste de l'installation car leur survie empêcherait un accident de devenir "grave", c'est-à-dire d'avoir des conséquences au-delà du site. Il s'agit surtout de sécuriser l'alimentation des réacteurs en eau et en électricité, quelle que soit l'agression considérée.

• La FARN, Force d'Action Rapide Nucléaire

En matière de gestion des crises, la grande nouveauté proposée par EDF est la constitution d'une Force d'Action Rapide Nucléaire, la FARN, composée de professionnels mobilisables rapidement et équipés de moyens d'intervention et de transport leur permettant d'intervenir sur tout le territoire français en moins de 24 heures, en soutien, puis, si nécessaire, en substitution, aux opérateurs devant faire face à un accident.

¹ En fait les demandes de l'ASN à EDF dépassaient un peu le cadre strict des stress tests, notamment en matière de maintenance

² L'accident de Fukushima correspondait à un scénario réaliste puisque la possibilité d'un tsunami de grande ampleur avait été identifiée mais non prise en compte lors de réévaluations de sûreté de la centrale, postérieurement à sa construction

La FARN est déjà largement constituée, et les différents éléments des noyaux durs sont en cours d'installation, par phases successives :

- 2012-2015 : couvrir à court terme des situations de pertes eau et électricité plus sévères qu'aujourd'hui (multi-tranches, longue durée), par des moyens de crise et des moyens provisoires de conception
- 2016-2019 : couvrir à moyen terme des situations de pertes eau et électricité plus sévères qu'aujourd'hui, par des moyens de conception définitifs (Eléments du Noyau Dur)
- 2020-2023 : filet ultime "noyau dur" permettant, dans les situations déterministes les plus extrêmes très au-delà des référentiels, d'éviter des rejets massifs et durables.

3. Où en est la situation sur le site ?

Un travail considérable a été accompli en trois ans :

Déblaiement pour accès aux bâtiments, rétablissement du refroidissement des cœurs et piscines, rehausse de la digue anti-tsunami, décontamination des eaux³, sécurisation de la piscine du réacteur 4, couverture des réacteurs 1 et 4, début d'évacuation des combustibles entreposés dans la piscine 4, cartographie des zones les plus radioactives, envoi de sondes pour diagnostiquer l'état réel des enceintes de confinement, etc.

Plusieurs mesures complémentaires sont développées pour permettre le détournement des eaux souterraines qui pénètrent dans le sous-sol des bâtiments, en particulier un by-pass (pompage en amont) qui est opérationnel et des premiers essais de gel du sous-sol qui sont en cours.

Quoique pratiquement intacts, les réacteurs 5 et 6 ont été mis à l'arrêt définitif.

Il y aura encore de nombreuses années de travail avant le démantèlement définitif des réacteurs accidentés, mais le calendrier initial est presque respecté.

4 - Le site rejette-t-il encore de la radioactivité vers l'extérieur, territoires et océan ?

Les rejets atmosphériques sont désormais très faibles, les enceintes de confinement ayant été restaurées (3 réacteurs) ou étant proches de l'être (un réacteur) et les cœurs de réacteurs étant désormais bien réfrigérés. Les rejets vers le milieu marin, bien que très diminués, restent préoccupants et décision a été prise de tenter de rendre étanche la totalité du sous-sol des 4 installations accidentées. La gestion de volumes très importants de liquides contaminés pourrait être résolue avec la mise en service en 2013 d'installations de traitement permettant de porter la pureté des eaux traitées à un niveau tel qu'elles puissent être rejetées dans l'océan sans aucune conséquence dommageable.

Rappelons que l'environnement de Fukushima a été touché par des émissions radioactives vers l'atmosphère, les réacteurs ayant perdu leurs installations de ventilation et de filtration des émissions gazeuses, et par des fuites d'eau contaminée vers le sous-sol et la mer en raison de la dispersion des eaux de réfrigération des cœurs vers les sous-sols des bâtiments turbine.

• Rejets atmosphériques très faibles

Les rejets atmosphériques sont largement maîtrisés, d'une part parce que la température des coriums⁴ est maintenant inférieure à 50 °C et que ceux-ci sont stabilisés, et d'autre part parce que de nouvelles enceintes de confinement ventilées enferment les réacteurs 1 et 4, une troisième étant en cours de montage pour le réacteur 3 (le réacteur 2 a conservé son enceinte de confinement). Les rejets sont très faibles et désormais sans conséquences notable sur l'environnement de la centrale.



Fig. 1 Nouvelles enceintes de confinement en cours de montage
Réacteur N°1 : terminé en octobre 2012 Piscine réacteur N°4 : terminé en octobre 2013

• Rejets liquides contaminés

La production d'eau fortement contaminée reste importante. En effet, comme le montre le schéma simplifié ci-dessous, l'eau injectée pour refroidir le corium est mélangée à de l'eau qui provient des eaux souterraines (en bleu : le niveau d'eau dans les réacteurs est maintenu plus bas que celui de la nappe phréatique pour limiter la pollution de celle-ci) et aux eaux pluviales. L'eau se répand dans toutes les parties basses de l'installation et une partie fuit vers la nappe souterraine (en rouge) et vers la mer.

• Contamination faible de l'eau de mer

La contamination de l'eau de mer, hors la zone portuaire de la centrale, est très faible car le principal contaminant, le césium, se dépose avec les matières en suspension. Il en résulte essentiellement une contamination supplémentaire des sédiments marins le long de la côte à proximité de la centrale. Il faut également noter que les rivières locales véhiculent vers la côte des sédiments entraînés par les précipitations.

3 D'abord, élimination du césium puis, dans un deuxième temps, des autres éléments radioactifs sauf le tritium.

4 Le corium est une sorte de lave qui résulte de la fusion de tout ce qui se trouvait dans la cuve : c'est un mélange du combustible nucléaire, du zircaloy (gaine des crayons combustible), d'acier des structures métalliques de supportage du cœur et de la cuve et même de béton dissout dans le mélange

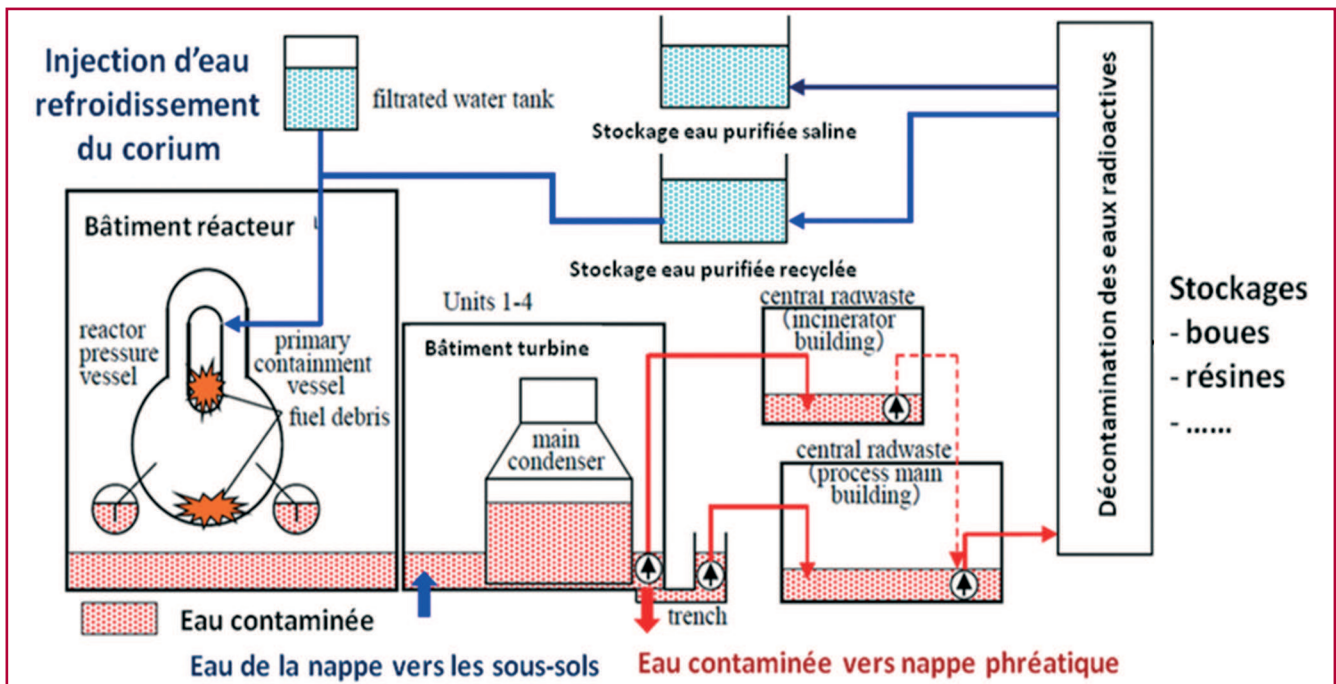


Fig. 2 - Circuit des eaux des réacteurs accidentés : injection d'eau de refroidissement dans l'enceinte de confinement des cœurs, collecte aux points bas des bâtiments et épuration

• **Traitement et stockage de quantités d'eau considérables**

L'eau collectée dans les caniveaux et puisards, saline, est traitée afin d'en extraire les contaminants radioactifs (le césium en particulier), et le sel. L'eau purifiée désalinisée est ensuite réinjectée dans le circuit de réfrigération des coriums. Le débit nécessaire est désormais faible car la puissance résiduelle est très basse⁵, mais environ 300 m³ d'eau

souterraine entrent quotidiennement dans les sous-sols et se trouvent contaminés. Les volumes présents, qu'il s'agisse de l'eau fortement contaminée des premiers mois, de liquides épurés salins ou non, ou de boues issues de l'épuration sont considérables, environ 400 000 m³. Leur stockage envahit le site et complique sa gestion comme on peut le constater sur la photo ci dessous. Une autre difficulté résulte de la qualité insuffisante des cuves de stockage, l'opérateur de la centrale ayant dû les approvisionner alors

que de nombreuses entreprises avaient été dévastées par le tsunami et le séisme. C'est pourquoi des fuites ont du être prises en charge en catastrophe, des moyens de les détecter ayant manqué. L'équipement de l'ensemble des cuves en détecteurs de niveau est en cours.

Après une première phase, une nouvelle installation d'épuration, efficace pour l'ensemble des produits radioactifs a été mise en service en 2013. Ses performances devraient permettre d'amener la radioactivité résiduelle des effluents à un niveau inférieur à celui exigé pour un rejet. Les autorités japonaises pourraient alors autoriser des rejets vers la mer pour débloquer le site, mais cette décision, difficile à prendre politiquement, devra être expliquée à la population et aux pêcheurs en particulier.

• **Un rempart de sol gelé**

Afin de réduire les volumes produits, résultant de l'entrée des eaux souterraines dans les bâtiments, et de diminuer drastiquement les départs d'eau contaminée vers la mer, il a été décidé d'isoler le sous-sol de la centrale en l'enfermant entièrement dans une jupe de sol gelé pénétrant jusqu'à une couche géologique étanche à environ 27 m de profondeur. La réalisation de ce projet, très ambitieux,



Fig. 3 - Vue du site avec en haut les bidons et en bas dans le port les barges de stockage

⁵ Environ 25 kW pour le réacteur 1 et 50 kW pour chacun des réacteurs 2 et 3)

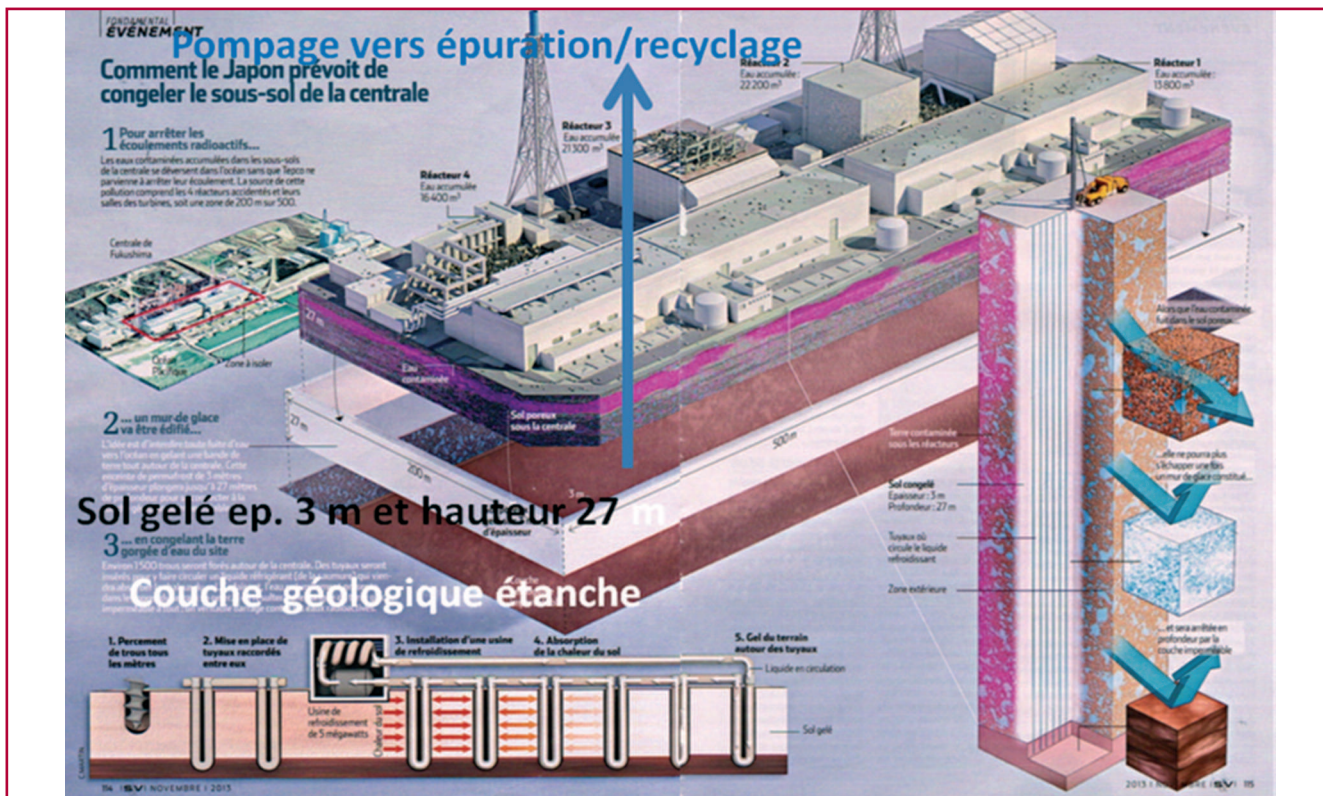


Fig. 4 - Un mur de "permafrost" de 3 m d'épaisseur et de 27 m de hauteur va entourer la centrale sur 1400 m et isoler son sous sol des arrivées d'eau de la nappe amont et bloquer les fuites vers la mer. (Schéma Sciences et Vie)

décrit dans la figure ci-dessus, devrait commencer cette année et s'achever en 2015. Il serait alors possible de pomper et épurer les eaux présentes sous la centrale.

5 - Quelles sont les conditions de travail et la situation des personnels travaillant sur le site ?

Le chantier de mise en sécurité et de démantèlement sera long et difficile. Le déblaiement des débris et le nettoyage des sols et des bâtiments a permis, depuis fin 2011, de respecter les normes japonaises de dosimétrie des travailleurs, avec des milliers d'individus se relayant. Travail à distance, télé-interventions, programmation des chantiers pour minimiser les risques sont les clés d'un chantier sûr pour les intervenants. Il faut bien mesurer aussi que ces équipes ont été par ailleurs durement touchées par les destructions du tsunami et du séisme et par les évacuations.

Les salariés du site sont confrontés à un chantier extrêmement complexe, à des risques inédits et très certainement à un stress très important. Il ne faut pas oublier que leur environnement a été dévasté par le tsunami et leur vie rendue

complexe par les évacuations. Mais ils bénéficient de l'environnement scientifique, médical, technique et industriel d'un pays très développé et on peut constater que des réalisations majeures ont été achevées dans des délais très courts : par exemple la consolidation du réacteur 4 et la construction d'un hall de manutention au-dessus de sa piscine de stockage des combustibles usés, qui a permis d'en commencer l'évacuation en novembre 2013.

L'exploitant a été conduit dans les premiers mois (de mars à mi-décembre 2011) de porter de 50 mSv par an⁶, dose maximale légale pour les travailleurs du nucléaire au Japon, à 250 mSv la dose acceptable – étant admis que de telles augmentations des limites peuvent être envisageables dans des situations d'accident. Dans les premières semaines 6

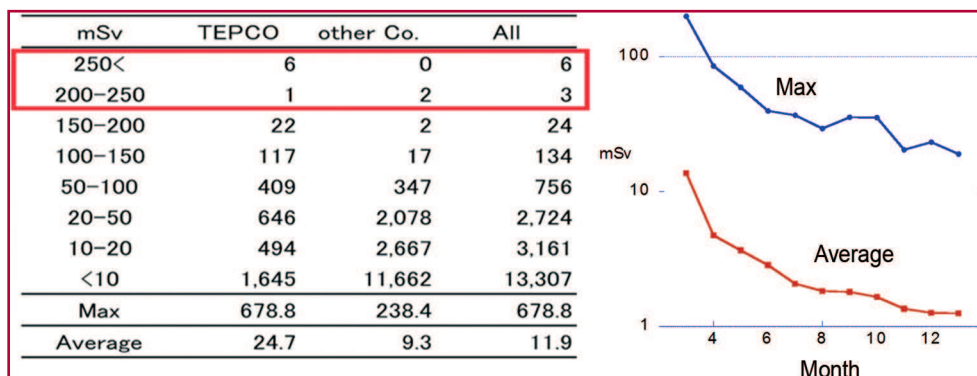


Fig. 5 - Evolution de la dosimétrie des travailleurs (TEPCO et sous-traitants) dans la première année : doses maximales (en bleu) et moyennes (en rouge)

⁶ La dose légale (50 mSv en un an et 100 mSv en 5 ans) est exprimée en sievert, avec le milli sievert (1/1000 Sv)

employés ont reçu des doses corps entier supérieures à 250 mSv et environ 2000 personnes des doses thyroïde supérieures à 100 mSv.

Lors des mois suivants 1200 personnes au total ont reçu des doses supérieures à 50 mSv mais la dosimétrie a été rapidement réduite par une action déterminée de décontamination du territoire de la centrale. Depuis janvier 2012 les doses légales sont respectées, avec des doses maximales de 20 à 25 mSv et des doses moyennes de 0,8 à 1,4 mSv, les effectifs suivis étant de 6500 personnes environ chaque mois.

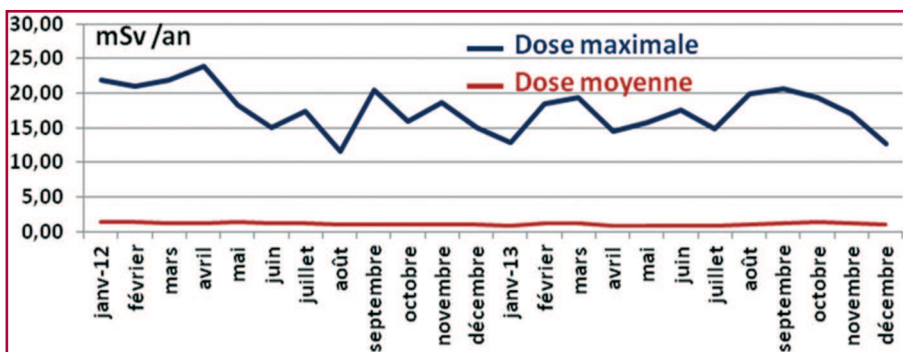


Fig. 6 - Dosimétrie travailleurs de janvier 2012 à décembre 2013

6 - Comment le démantèlement des équipements accidentés est-il préparé et engagé ?

C'est un chantier de dizaines d'années qui s'annonce ainsi, pour lequel le gouvernement japonais a créé un Institut international de recherche pour le déclassé nucléaire (IRID). Celui-ci a lancé en 2013 un concours de projets pour l'élimination des déchets des cœurs des trois réacteurs détruits lors de l'accident : environ 200 propositions des plus grands spécialistes mondiaux, déposées en janvier 2014, sont en cours d'analyse.

Depuis deux ans l'essentiel des efforts a été consacré à assainir le site pour faciliter les interventions humaines, à évacuer les débris dispersés par les explosions, à gérer une énorme quantité de déchets et effluents liquides radioactifs. A titre d'exemple les photos des figures 7 et 8 montrent le chantier d'évacuation des débris du hall du réacteur 3 :



Fig. 7 - Réacteur 3 : juillet 2011



Fig. 8- Réacteur 3 : fin 2013

Un second programme prioritaire concernait la piscine de stockage des combustibles du réacteur 4, qui contenait 1533 assemblages, avec un inventaire très important de césium 137. Cette piscine, ébranlée par l'explosion, a été rapidement renforcée en 2011/2012 dans la perspective de répliques du séisme, puis le hall de manutention reconstitué. L'évacuation des combustibles a commencé en novembre 2013 (308 évacués le 10 février 2014) avec un pont de manutention télécommandé. Elle devrait s'achever avant la fin de l'année.

Parallèlement l'opérateur, après avoir sécurisé les cœurs en assurant leur réfrigération, a engagé un programme d'exploration des zones interdites avec des robots permettant diagnostics, imagerie et télé-interventions, afin de préciser ce que pourraient être les conditions d'intervention sur les coriums. L'accès des opérateurs au cœur des installations restera cependant impossible dans la période actuelle.

7 - Où en sont les travaux de décontamination entrepris sur les territoires, zone d'évacuation et au-delà ?

Un programme très structuré d'assainissement des territoires contaminés (qu'ils aient vu leur population évacuée ou non) a été mis en place et progresse conformément aux objectifs. Les niveaux de contamination sont ainsi fortement diminués, ce qui va permettre, dans les zones évacuées, un retour progressif des habitants. Il reste que dans certaines zones, notamment les forêts, la décontamination est plus difficile à mettre en œuvre.

A la demande du gouvernement japonais, l'Agence Internationale de l'Energie Atomique AIEA a envoyé en octobre 2013 une mission d'experts internationaux chargés d'évaluer les actions de décontamination. De leur rapport, publié en janvier 2014, on peut retenir les points suivants :

• Plusieurs zones de décontamination

La décontamination des zones affectées par l'accident est fondée sur la définition de deux catégories :

Dans la *Zone de Décontamination Spéciale*, les populations ont été évacuées. C'est le gouvernement qui développe le programme de nettoyage et choisit les entreprises chargées du travail. Celles-ci peuvent exécuter des tests pour sélectionner les méthodes les plus efficaces.

Dans la *Zone de Surveillance Poussée de la Contamination* : les populations n'ont pas été

⁷ Le césium 137 dont la demie vie est de 30,1 ans (temps pour que la radioactivité soit réduite d'un facteur 2) est de loin le principal polluant radioactif résultant de l'accident : il était essentiel de sécuriser l'installation, car un défaut de réfrigération de la piscine aurait pu provoquer des relâchements massifs de césium.

évacuées en raison d'un impact radioactif faible mais des travaux de décontamination sont cependant nécessaires. Ce sont les municipalités qui font effectuer la décontamination, guidées en cela par des instructions (Guidelines) du Ministère de l'Environnement. De novembre 2011 à mars 2013, 62 technologies de décontamination ont été démontrées et évaluées, et 11 autres sont en cours d'évaluation.

L'autorité de sûreté (NRA) a démontré que le risque d'exposition interne due à la contamination dans les zones habitées (non évacuées) est très faible. En fait, 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 au sol et aériennes.

• Travaux de décontamination de grande ampleur menés à bien ou entrepris

En octobre 2013, 400 cours d'école ont été correctement décontaminés. La Zone de Décontamination Spéciale couvre 11 communes : un plan de nettoyage a été mis au point pour 10 d'entre elles et largement engagé. Il vient d'être achevé dans de bonnes conditions pour Tamura, la première municipalité où l'ordre d'évacuation devait être levé et le retour des habitants autorisé à compter de début avril 2014.

La deuxième zone comprend 100 communes, dont la population n'a pas été évacuée : 94 avaient publié leur plan

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.

• Un site de stockage pour les résidus

Les terres contaminées collectées sont entreposées provisoirement à proximité des chantiers de décontamination. L'État japonais a décidé en décembre 2013 de prendre en charge, à la place de l'opérateur de la centrale accidentée, la création d'un site de stockage à moyen terme. Il s'agira de stocker, sur une surface de 3 à 5 kilomètres carrés et pour une durée d'environ 30 ans la terre, les feuilles et herbes radioactives récupérées dans la région polluée par les rejets de la centrale

• Plusieurs méthodes de décontamination mises en œuvre

Les méthodes recommandées sont celles qui réduisent cette exposition interne et que l'on peut mettre en œuvre à grande échelle, c'est à dire l'élimination de la contamination radioactive de l'environnement humain : raclage du sol et des feuilles mortes, lavage ou essuyage de la surface contaminée d'objets divers, etc. On peut aussi recouvrir les sols contaminés par de la terre saine ou labourer champs et jardins (tableau 1).

Élément à décontaminer	Technique recommandée
Toits et gouttières	Essuyage et Kärcher après évacuation des matériaux déposés
Murs extérieurs	idem
Caniveaux	Kärcher après évacuation des matériaux déposés
Bassins de rétention	idem
Jardins et autres sols végétaux	Tonte de l'herbe avec récupération, élagage, raclage du sol, labourage, dépose de nouvelle pelouse
Parkings et autres sols durs	Kärcher, décapage superficiel (sablage, etc.)
Terrains de sport	raclage
Routes (macadam et pavés)	Kärcher

Tableau 1 – Technique recommandée en fonction de l'élément à décontaminer

de nettoyage en mars 2013, en hiérarchisant les zones à décontaminer en priorité. La mise en œuvre de ce plan est en cours, mais prendra de 2 à 3 ans (jusqu'à 5 ans dans la préfecture de Fukushima)

Alors que l'objectif initial était centré sur les niveaux de contamination du sol, indépendamment du temps de résidence d'habitants sur ces sols, l'objectif est maintenant recentré sur la dose effective accumulée par le public (on reste moins longtemps en pleine forêt que dans les champs, par exemple, la décontamination peut donc y être moins poussée, au moins dans un premier temps⁸).

Notons enfin que plus de 18 000 hectares de terre agricole ont été décontaminés et remis en production (de riz, essentiellement). Le chiffre devrait dépasser 26 000 en fin 2014. Un contrôle strict de la nourriture a montré que la quasi-totalité

8 - Qu'en est-il du retour des populations vers leurs lieux d'habitation évacués ?

Les premiers retours viennent d'être autorisés pour le début du mois d'avril 2014 dans la municipalité de Tamura située à l'intérieur de la zone d'évacuation des 20 km. (voir carte de la figure 10). Des premiers retours étaient prévus dès cette année mais, au-delà des travaux de décontamination, il faut pouvoir offrir aux populations qui reviennent les infrastructures et les services publics et sociaux auxquels elles ont droit. Cela est fortement compliqué par les conséquences du séisme et du tsunami qui ont dévasté la région.

Dans les jours qui ont suivi l'accident, les populations ont été progressivement évacuées sur la base d'une évaluation des contaminations reposant sur des mesures aériennes et l'observation de la météorologie réelle. Celle-ci a un rôle

⁸ Voir les "guidelines" disponibles en Anglais sur http://www.nsr.go.jp/english/library/data/special-report_20140204.pdf



Fig. 9 - Demonstration of some decontamination methods utilized in the remediation works

particulièrement important car, en cas de précipitations, la contamination atmosphérique est rabattue sur le sol. Les surfaces concernées par les évacuations étaient de 515 km², dont 10 habités, 88 cultivés et environ 410 occupés par des forêts. Elles ont été, après une campagne plus détaillée de mesures, classées en trois catégories selon les délais espérés de retour des populations, après décontamination (voir question 7). Des zones éloignées de 60 km sous le vent ont du être évacuées car elles avaient reçu des pluies abondantes au moment des rejets principaux.

Les populations évacuées (170 000 personnes) ont été logées dans des villages temporaires de préfabriqués et indemnisées.

Le gouvernement a défini en avril 2012 le zonage suivant :

• **Zones où la levée de l'évacuation est en cours de préparation ou imminente** : la dose externe susceptible

d'être reçue est inférieure à 20 mSv/an. Les personnes seront donc autorisées à revenir dans la région, en observant quelques précautions élémentaires et à y reprendre certaines activités industrielles et agricoles. Les premiers retours ont été autorisés pour le début avril 2014.

• **Zones où le retour des populations est envisagé à plus long terme** : la dose externe susceptible d'être reçue est supérieure à 20 mSv/an. Seuls des retours ponctuels des populations sont autorisés, en attendant la levée de ces restrictions lorsque le niveau de dose aura été ramené à des valeurs suffisamment basses.

• **Zone où le retour des populations n'est pas encore envisagé, même à long terme** : la dose externe susceptible d'être reçue est supérieure à 50 mSv/an.

Le programme de décontamination (voir question 7) des zones habitées et cultivées mobilise l'Etat dans les zones les plus touchées (*Zone de Décontamination Spéciale*) et les municipalités dans les autres (*Zone de Surveillance Poussée de la Contamination*) en suivant des "guidelines" édictées par le ministère de l'environnement.

- Pour les zones où la dose est comprise entre 20 et 50 mSv/an, descendre en dessous de 20mSv/an avant mars 2014 ;
- Pour les zones où la dose est inférieure à 20 mSv/an, diviser la dose par 2 en août 2013 et atteindre 1 mSv/an en septembre 2016.

Cet objectif, excessivement ambitieux, de ramener à 1 mSv par an la dosimétrie locale⁹ ne pourra sans doute pas être pleinement réalisé, bien que les doses réelles avant décontamination soient généralement plus faibles qu'estimé initialement.

• **Retours autorisés dès avril 2014**

La décontamination de la première zone (11 communes) avance régulièrement, les travaux étant en cours sur 9 d'entre elles. La municipalité et les habitants de Tamura ont demandé, l'assainissement étant terminé, que la population de leur village habitant à l'intérieur de la zone d'exclusion de 20 km (voir carte ci-contre), puisse y retourner de manière permanente à partir d'avril 2014. Les autres communes, y compris celles de la seconde zone (100 communes) pourraient réinvestir les zones évacuées dans un délai de quelques mois à 3 ans (et jusqu'à 5 ans pour les plus touchées).

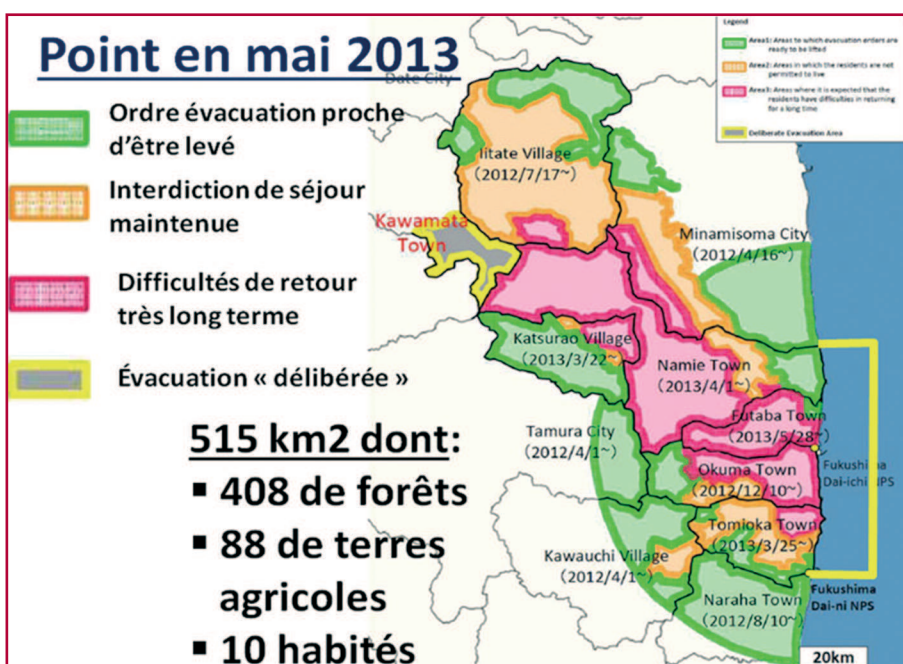


Fig. 10 - Carte de zones évacuées suite l'accident

Les délais sont longs car il faut pouvoir offrir aux populations qui reviennent les infrastructures et les services publics et sociaux nécessaires et, ce qui est plus difficile encore, une activité économique leur permettant de retrouver des emplois, alors même que de nombreuses entreprises ont disparu ou se sont réimplantées ailleurs. Par ailleurs la gestion du retour est rendue complexe car chaque individu aura à gérer la sortie d'une situation d'assistance.

A titre indicatif un sondage parmi les habitants de FUTABA en 2013 a montré que 4 % étaient prêts à revenir dès que possible, 16 % attendront la restauration des infrastructures, 21 % attendront la fin de la décontamination et 26 % que les "autres" soient revenus. Enfin 25 % refuseraient de revenir.

9 - Quels sont les derniers résultats des études sur l'impact sanitaire de l'accident dans la période actuelle et à plus long terme ?

Toutes les études effectuées à ce jour conduisent aux mêmes conclusions que l'enquête approfondie menée par l'OMS et présentée en 2013⁹ : l'impact sanitaire de l'accident est estimé comme devant être très limité. Les risques sont faibles et "on ne s'attend à aucune augmentation observable des cancers" écrit l'OMS. Le National Institute for Radiological Sciences du Japon (NIRS) avait noté pour sa part, au début de l'année 2013, en présentant ses travaux à la presse que les doses de radioactivité absorbées par les habitants de la région de Fukushima "ont été faibles et ne sont pas de nature à susciter des inquiétudes". La toute dernière enquête épidémiologique sur ce thème, publiée fin février 2014, propose des conclusions du même ordre : conduite par une équipe de la Kyoto University Graduate School of Medicine (et publiée sur le site de l'Académie des Sciences des Etats Unis, PNAS) elle conclut que la plupart des habitants de la région ont reçu des doses très proches des niveaux de la radioactivité naturelle présente au Japon, que, même dans les hypothèses les plus conservatoires le risque de développer un cancer n'est guère significatif et qu'à de tels niveaux une élévation du taux d'incidence des cancers "ne serait pas susceptible d'être épidémiologiquement détectée".

Notons que l'OMS a, dans son rapport de 2013 estimé de façon très conservatoire l'augmentation possible des taux de cancers pour les populations des 14 communes les plus touchées par les retombées radioactives. Le suivi épidémiologique de ces populations sera difficile car il s'agit de populations assez peu nombreuses, et d'une augmentation projetée très faible de taux de cancers par rapport à l'incidence des cancers spontanés. Les augmentations projetées les plus fortes, qui portent sur les cancers de la thyroïde chez les jeunes enfants concerneront des populations restreintes et des affections largement curables. Ceci est d'autant plus vrai que les précautions prises (suivis épidémiologiques), ainsi que le fait que les Japonais ne souffrent généralement pas d'insuffisance d'iode (contrairement à Tchernobyl), font que les évaluations de l'OMS pourraient être pessimistes.

L'accident de Tchernobyl a montré que l'impact sanitaire de tels accidents était de deux natures, le premier résultant de l'impact radiologique et second de la situation de stress dans laquelle les personnes évacuées se trouvent. Seul le premier a aujourd'hui été l'objet d'une étude de grande ampleur.

Les rejets radioactifs, bien que beaucoup plus faibles que ceux de Tchernobyl, ont été très importants. Ils n'ont pas été immédiats, ce qui a réduit les rejets de radioéléments de durée de vie courte comme certains iodes, et ils ont été dans un premier temps orientés surtout vers la mer.

• Une étude de référence de l'OMS

La méthodologie de l'étude présentée en 2013 par l'OMS utilise les relations expositions/effets sanitaires acquises dans le passé (Hiroshima/Nagasaki, Tchernobyl, irradiations médicales). Elles ont été associées aux informations apportées par les modèles de dépôt appliqués aux rejets de Fukushima, consolidés par des mesures sur le terrain. L'OMS a pu ainsi associer aux doses estimées une évaluation du risque de cancers supplémentaires résultant de l'accident.

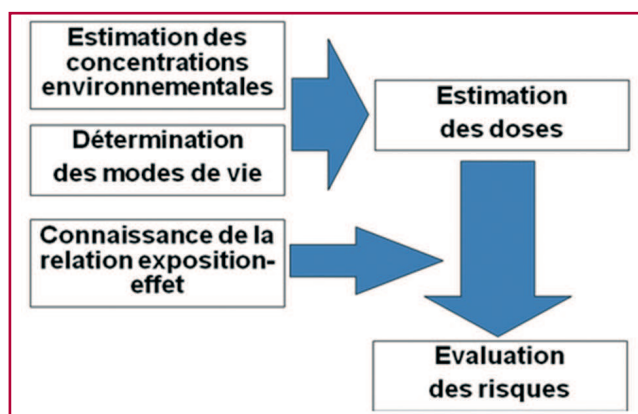


Fig. 11 – Démarche pour l'évaluation des risques

Ont été prises en compte :

- les voies d'exposition aux radionucléides : externe due aux dépôts sur le sol, externe due au nuage, inhalation dans le nuage, ingestion (eau, aliments),
- la nature des radionucléides avec en particulier les césiums, les plus importants pour le long terme, et les iodes compte tenu du risque pour la thyroïde (l'OMS a considéré qu'aucune pastille d'iode n'avait été distribuée),
- certaines hypothèses sur les restrictions de consommation d'eau et d'aliments

Les doses reçues par la population ont été déterminées pour la 1^{ère} année et pour la vie entière pour 4 groupes définis en fonction de la dosimétrie estimée (groupes 1 et 2 couvrant les 14 localités les plus touchées, groupe 3 le reste du Japon et groupe 4 reste du monde). Ont été prises en compte les doses efficaces aux organes les plus sensibles (thyroïde, moelle osseuse, colon, sein) séparément pour les adultes, les enfants de moins de 10 ans et les bébés (moins de 1 an). A titre d'exemple les doses en mSv estimées pour la première année pour les habitants de la préfecture de Fukushima sont les suivantes, en fonction de l'âge et de la commune, pour trois organes (colon, sein et os).

Les doses sur la vie ont ensuite été estimées en tenant compte de la décroissance radioactive et du devenir des radioéléments : par exemple il a été tenu compte de la migration progressive du césium dans les sols, de la disparition rapides des iodes (quelques mois) et du césium 234 (quelques années). Le constat est que l'essentiel de la dose aura été subie la première année, le retour de la population ne devant intervenir qu'après décontamination des sols.

⁹ World Health Organization 2013 : Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, based on a preliminary dose estimation.

		Colon	Breast	Bone marrow	Colon	Breast	Bone marrow	Colon	Breast	Bone marrow								
Group 1	① Namie Town ^a	22	23	21	25	25	25	26	27	26								
	② Iitate Village ^a	12	13	12	14	14	14	15	15	15								
Group 2	③ Katsurao Village ^a	5	5	4	5	5	5	5	5	5								
	④ Minami Soma City	5	5	5	5	5	5	5	5	5								
	⑤ Naraha Town	4	4	4	4	4	4	5	5	4								
	⑥ Kawauchi Village																	
	⑦ Date City																	
	⑧ Fukushima City																	
	⑨ Nihonmatsu City																	
	⑩ Kawamata Town										3	3	3	3	3	3	3	3
	⑪ Hirono Town																	
	⑫ Koriyama City																	
	⑬ Tamura City																	
	⑭ Soma City																	
	Group 3	Rest of Fukushima prefecture (less affected)	1	1	1	1	1	1	1	1	1							

Tableau 2 - Evaluation des doses reçues dans la préfecture de Fukushima (source OMS réf. 6)

L'OMS a en conséquence estimé les risques de cancers attribuables à l'accident sur la vie entière (90 ans). Ont été pris en compte les risques de cancers solides (colon), de cancers du sein, de cancers de la thyroïde et de leucémies pour les individus mâles et femelles et pour les trois gammes d'âge (1 an, 10 ans et plus de 20 ans).

Par contre, contrairement à ce qu'elle avait publié sur Tchernobyl, l'OMS ne donne aucune indication relative à la population concernée de chaque localisation dans les groupes 1 et 2 (environ 30.000) et n'a en conséquence pas calculé le nombre de cancers attendus sur 90 ans.

• Risques de cancers très faible d'où un impact sanitaire non observable statistiquement

Ces risques d'occurrence de cancers supplémentaires ne peuvent être appréciés qu'en les comparant à ceux qui apparaissent spontanément. En effet le rapport rappelle par exemple qu'environ 40 % des Japonais ont un cancer spontané solide (Japonaises 30 %), 0,6 % une leucémie et 5 % des femmes un cancer du sein. Les cancers de la thyroïde spontanés touchent moins de 1 % de la population.

Le groupe 1, qui aurait reçu des doses de 5 à 8 fois supérieures au groupe 2, comprend environ 30 000 habitants et on devrait donc y constater sur leurs vies entières environ 12 000 cancers spontanés de nature diverses. En comparaison l'OMS estime à environ 1 % l'excès de cancers solides (soit environ 100 par rapport à 10 000), à environ 4 % l'excès de leucémies, celles-ci étant rares (environ 7 par rapport à 170) et à 3 % l'excès de cancers du sein chez les femmes (environ 22 par rapport à 800).

Cette évaluation se révélera sans doute conservatoire car les doses estimées depuis sont inférieures à celles prise en

compte dans l'étude. On peut en déduire que l'impact sera difficile à mettre en évidence statistiquement, quel que soit le type de cancer et la population concernée.

Seul un excès de cancers de la thyroïde pourrait être détecté en raison de la sensibilité des enfants jeunes à cette pathologie. En effet l'excès de cancer pourrait être de plus de 50 % pour les enfants de moins de 10 ans, mais, appliqué à une population restreinte (environ 3.000 dans le groupe 1), il resterait faible, soit une trentaine. Ce cancer est par ailleurs guérissable si détecté en temps voulu.

On en déduit que le suivi épidémiologique des cancers sera difficile, en particulier dans des populations d'enfants très jeunes, probablement très peu nombreuses. Ceci est d'autant plus vrai que les précautions prises, ainsi que le fait que les Japonais ne souffrent généralement pas d'insuffisance d'iode (contrairement à Tchernobyl), font que les évaluations de l'OMS pourraient être pessimistes.

Le gouvernement japonais a mis en place un suivi épidémiologique de populations concernées. Cette étude qui touche 2 millions de personnes s'étalera sur au moins 30 ans.

En dernier lieu l'OMS a estimé que les doses reçues pas les populations du reste du Japon était d'un niveau tel que leur impact sanitaire serait imperceptible.

10 - Où en est la situation énergétique du Japon... et le programme électronucléaire va-t-il être relancé à grande échelle ?

Dans son "Basic Energy Plan" rendu public le 25 février 2014, le gouvernement japonais désigne le nucléaire comme une "énergie de base" du pays. Il affirme également son

objectif de développer les énergies renouvelables, ce qui permettra au pays de réduire sa dépendance au nucléaire dans le domaine de la production d'électricité.

Il faut noter que les élections générales de décembre 2012 ont vu l'arrivée à la tête du gouvernement de M. Abe, dont la politique clairement proclamée était - et est toujours - un retour progressif de l'énergie nucléaire au Japon, alors que ses deux prédécesseurs, MM. Kan et Noda¹⁰, en annonçaient l'abandon définitif. On peut aussi remarquer le peu de succès aux élections municipales de Tokyo, en février 2014, des deux candidats ouvertement antinucléaires et l'élection d'un gouverneur pro-nucléaire. Tout indique que l'on s'achemine aujourd'hui vers le redémarrage d'un programme électronucléaire à l'heure actuelle totalement arrêté.

• Redémarrage probable de quelques réacteurs en 2014...

Au cours de l'année 2012, les tranches 3 et 4 de la centrale de Ohi (réacteurs à eau sous pression exploités par la société Kansai) ont eu l'autorisation temporaire de redémarrer, jusqu'à épuisement de leur combustible. Ils doivent maintenant suivre la procédure commune. Tous les autres dossiers ont été gelés en attente de la mise en place d'une nouvelle autorité de sûreté. Actuellement, 16 réacteurs sont en attente d'une décision de la NRA qui pourrait intervenir, pour les premiers, à l'été 2014. Le gouvernement a par ailleurs autorisé la reprise de la construction de trois centrales dont le niveau d'avancement était de 90, 40 et 10 %.

Que peut-on anticiper à court terme ? Sans doute l'autorisation du redémarrage d'une bonne dizaine de réacteurs, dans les sites où l'opposition locale ou celle du gouverneur n'est pas trop forte. Pour le moyen terme, beaucoup dépendra des conditions de retour des populations évacuées, même si l'opinion japonaise est surtout préoccupée aujourd'hui par la situation économique du pays.

• ...pour débloquer un programme à l'arrêt

Rappelons que juste après l'accident, les 14 réacteurs implantés sur 4 sites dans la zone dévastée par le tsunami ont été arrêtés. Les réacteurs de Fukushima Daiichi ne redémarreront jamais. Le gouvernement a exigé l'arrêt de 3 réacteurs supplémentaires à Hamaoka dans les semaines qui ont suivi l'accident et demandé des renforcements prioritaires face au risque de tsunami. Puis, un par un, les réacteurs indemnes se sont arrêtés quand ils ont épuisé leur combustible et leur redémarrage est soumis à un long processus : présentation par l'opérateur d'un dossier justifiant les renforcements effectués en réponse aux nouvelles exigences

Fukushima : 3 zones évacuées



"Zone où les ordres d'évacuation sont prêts à être levés" : la dose externe susceptible d'être reçue est inférieure à 20 mSv/an.



"Zone à résidence limitée" : la dose externe susceptible d'être reçue est supérieure à 20 mSv/an. Seuls des retours ponctuels des populations sont autorisés.



"Zone où le retour des populations n'est pas encore envisagé, même à long terme" : la dose externe susceptible d'être reçue est supérieure à 50 mSv/an.



En deçà de 100 msv/an, les études épidémiologiques ne mettent en évidence aucun effet nocif sur la santé.

Pourquoi est-ce si long ?



Au-delà de la décontamination, il faut réhabiliter les services publics et sociaux ainsi que certaines infrastructures détruites par le tsunami.

Tamura, ville décontaminée



Située à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de la centrale accidentée, Tamura est la première commune qui a vu son ordre d'évacuation levé. A partir du mois d'avril, les habitants pourront rentrer chez eux.

Vers un retour des populations

Les zones évacuées correspondent à 11 communes. 10 ont engagé un plan de décontamination visant à ramener la radioactivité bien en-deçà de 20 msv. L'une d'elle, Tamura, a déjà fini le travail.

30 000

C'est le nombre de personnes qui pourraient être autorisées à retourner dans leur logement d'origine d'ici deux ans

Sources : ANEA, JAF, Tepco, IAEA

Les méthodes de décontamination

Pour les toits, les gouttières et les murs extérieurs des maisons, ainsi que pour les caniveaux, les sols durs (les parkings) et les routes, le Kärcher est souvent utilisé afin de décontaminer les surfaces.

62

technologies de décontamination éprouvées

18 000 ha de terres agricoles décontaminées



En 2012, seuls 71 sacs de riz sur 10 millions dépassaient la norme de radioactivité autorisée.

#SFENorg

réglementaires publiées en juillet 2013, analyse et acceptation du dossier par l'autorité de sûreté japonaise, la NRA, autorisation des communes et du gouverneur de la préfecture concernée (sachant que le gouvernement actuel a fait savoir qu'il ne s'opposerait pas à de telles décisions de remise en service).

• Lourdes conséquences pour l'économie japonaise

Passer de 30 % d'électricité d'origine nucléaire à 0 % a eu des conséquences très lourdes pour l'économie japonaise : augmentation significative des importations de gaz et de charbon, passage "en base" de turbines au fuel qui n'étaient

¹⁰ M. Noda, moins négatif au départ, avait durci sa position à l'approche des élections, appelant de ses vœux la "realization of a society not dependent on nuclear in earliest possible future"

utilisées que quelques heures par an pour assurer la pointe de consommation, etc. Sur l'année 2013, le coût des importations de combustibles fossiles a augmenté de 36 milliards de dollars, et le Japon a dû abandonner ses objectifs de réduction des émissions de CO₂, décision douloureuse pour le promoteur du Protocole de Kyoto en 1997 ! Le gouvernement a dû aussi sauver la société TEPCO de la faillite par une quasi-nationalisation, et tous les autres électriciens sont dans une situation financière difficile. Enfin, le prix de l'électricité a augmenté pour les entreprises et les particuliers (de l'ordre de 15 % à 20 %).

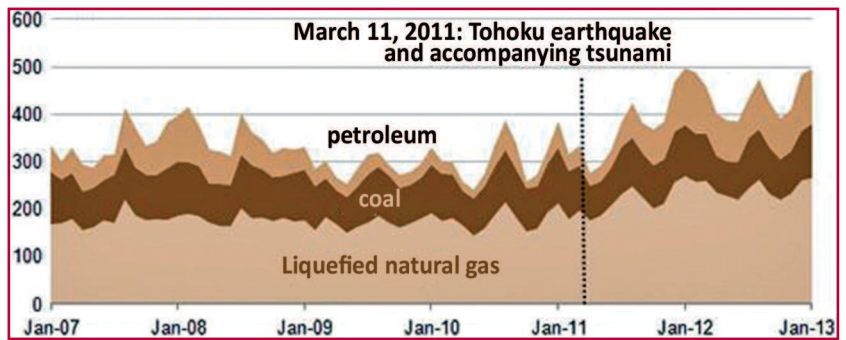
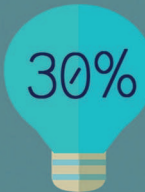


Fig. 12 – Monthly consumption of fossil fuels for power generation by Japanese power companies (January 2007 – January 2013) – Source: EIA

Japon, quelle est la situation énergétique ?


Après l'accident de Fukushima, l'ensemble des 50 réacteurs du pays ont été arrêtés. Le Japon est passé de :



30%

d'électricité d'origine nucléaire en 2011

à




0%


aujourd'hui

les impacts sur l'économie

charbon




fuel **gaz**



Le Japon a abandonné ses objectifs de réduction de CO2 et utilise massivement des énergies carbonées pour produire son électricité

+ 20%



Du fait des importations, le prix de l'électricité a augmenté de l'ordre de 15 à 20% pour les entreprises et les particuliers

