

# BILAN SANITAIRE ET ENSEIGNEMENTS DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA

Alain RANNOU

IRSN

31, avenue de la Division Leclerc – B.P. 17 – 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

[alain.rannou@irsn.fr](mailto:alain.rannou@irsn.fr)

Juste avant la survenue du séisme, le 11 mars 2011, plus de 6 400 personnels dont 750 employés de TEPCO sont présents sur le site. De nombreux travailleurs de TEPCO et contractants quittent par leurs propres moyens la centrale de Fukushima Daiichi le 11 mars et ceux qui n'ont pas pu le faire sont évacués dans un bâtiment parasismique. TEPCO estime que 300 à 400 personnes supplémentaires sont évacuées par autobus entre le 12 et le 14 mars, auquel il faut ajouter un nombre inconnu de personnes parties par leurs propres moyens. A la date du 15 mars, il reste environ 700 personnes sur place, dont certaines n'ont aucun rôle spécifique dans la gestion de la crise [1]. Dès le 11 mars, des renforts sont progressivement déployés sur le site pour les opérations de mitigation. Environ 400 personnes supplémentaires arrivent ainsi chaque jour, comprenant les équipes chargées de restaurer l'alimentation électrique et les équipements de contrôle, les pompiers chargés d'injecter l'eau de refroidissement dans les réacteurs, les radioprotectionnistes réalisant les contrôles dans la centrale et son environnement ou encore les personnels en support à toutes ces équipes (approvisionnement en matériel, contrôles d'accès sur le site...). En mai 2011, l'effectif présent sur le site atteint son maximum, soit environ 7 500 travailleurs dont près de 20% de sous-traitants. Ce nombre diminue ensuite pour se stabiliser à environ 6 000 entre avril 2012 et septembre 2013. Le nombre de travailleurs augmente de nouveau par la suite ; plus de 11 000 travailleurs sont ainsi présents sur le site à la fin de l'année 2014. Au total, ce sont 39 904 personnes qui ont été recensées fin novembre 2104, par TEPCO, comme ayant travaillé sur le site après l'accident [2].

## Un contexte d'intervention difficile

Les investigations menées par les autorités Japonaises [3, 4] ont conclu que TEPCO n'était pas préparé correctement à un séisme et un tsunami d'une telle amplitude. La centrale était dépourvue d'alimentation électrique de secours, ainsi que d'équipements de pompage d'eau et de communication. Dans les circonstances où il n'y avait pas ou peu de procédures adaptées et où les personnels impliqués dans la réponse à l'accident manquaient d'entraînement et de formation, ils ont dû improviser et sont intervenus dans des conditions extrêmement difficiles [5]. Il peut être notamment retenu que :

- les dégâts occasionnés par le tsunami rendaient les routes impraticables et ont entravé les accès sur le site ;
- le manque d'instrumentation de contrôle ne permettait pas de disposer d'information en temps utile ;
- l'absence de lumière compliquait fortement les opérations ;
- les moyens de communication étaient très limités ;
- certaines parties des installations étaient très difficilement accessibles suite aux explosions d'hydrogène, à cause de la contamination radioactive ou des températures très élevées ;
- le port de tenues spéciales et d'équipements de protection des voies respiratoires contre les risques de contamination rendait encore plus difficiles le travail des intervenants et la communication entre eux ;
- il manquait de nourriture et d'endroit sûr et confortable pour dormir ou même se reposer ;
- les équipements de protection et les systèmes individuels de dosimétrie ont manqué, au moins les premiers temps.

Les personnels de la centrale qui sont intervenus pour les travaux de mitigation ont fait preuve d'un admirable esprit de sacrifice ; alors que beaucoup d'entre eux étaient affectés par des pertes personnelles (leur maison détruite, loin de leur famille déplacée ou même sans nouvelles...) ils ont continué à travailler dans des conditions difficiles, et ceci durant plusieurs semaines. Enfin les personnels ont accepté d'entrer dans des zones fortement irradiantes et, pour certains, ont été exposés très au-delà des niveaux autorisés.

### **La mise en place progressive de mesures de protection**

Comme évoqué plus haut, l'équipement nécessaire pour contrôler les doses reçues par les travailleurs a manqué dans les premiers temps. Faute de personnels et de matériel suffisant, Il y a eu des difficultés pour suivre les doses cumulées et des retards dans les mesures de contamination interne. Les conditions d'intervention posant également des problèmes, Le ministère de la santé et du travail (MHLW) a alors fixé un certain nombre d'exigences à TEPCO et ses entreprises sous-traitantes [6].

Le 14 mars, compte tenu de l'ampleur de l'accident, la dose maximale admissible pour les intervenants est portée par un arrêté d'exemption de 100 mSv à 250 mSv. Le 1<sup>er</sup> novembre, la limite redescend à 100 mSv pour les nouveaux travailleurs. Toutefois, une dérogation est donnée pour les intervenants chargés d'empêcher la perte de fonctionnement des systèmes de refroidissement et les rejets hors de l'installation. L'arrêté d'exemption est abrogé le 16 décembre 2011. La dérogation autorisant une limite de dose à 250 mSv est maintenue jusqu'au 30 avril 2012 pour les intervenants spécialisés et parfaitement entraînés (environ 50 travailleurs de TEPCO chargés des opérations critiques décrites plus haut). Le MHLW identifie 5 catégories de problèmes :

- Problèmes d'identification du personnel et de contrôle des doses reçues
- Problèmes d'équipements de protection respiratoire et de tenues de protection
- Problèmes de formation des nouveaux arrivants
- Problèmes de suivi médical et sanitaire
- Problèmes de planification du travail

A la demande du MHLW, un certain nombre d'actions vont ainsi être progressivement mises en œuvre par TEPCO pour résoudre les problèmes pointés, notamment :

- L'équipe en charge de la surveillance dosimétrique est renforcée ;
- Chaque travailleur est équipé d'un dosimètre électronique à partir du 1er avril ;
- Une carte individuelle d'identification est remise à chaque travailleur (> 14 avril) ;
- Les sous-traitants ont une notification hebdomadaire de leurs doses reçues par TEPCO (> 15 août) ;
- Un centre de contrôle anthroporadiométrique est ouvert au J-village (10 juillet). 11 installations sont disponibles à partir du 18 octobre ;
- La dose interne est évaluée avec le support de JAEA et du NIRS. La surveillance devient mensuelle à partir de septembre ;
- Suite au dépassement de la limite de dose au mois de mars, TEPCO interdit l'affectation de personnels féminins sur le site de la centrale après le 27 mai

D'autres actions vont être prises pour améliorer la situation et limiter les risques liés aux interventions, en particulier :

- Environ 17 500 comprimés d'iode stable (50 mg) sont distribués à partir du 13 mars 2011 à environ 2 000 travailleurs incluant des salariés de TEPCO, des sous-traitants, des pompiers, des policiers et des personnels de la sécurité civile ;
- Les interventions dans des zones contrôlées sont limitées à une durée maximale de 2 h/jour ;
- Des équipements de protection respiratoire ajustés à chaque travailleur sont fournis (> 27 septembre) ;
- Suite à un cas de brûlures aux pieds d'un intervenant le 24 mars dans de l'eau fortement contaminée et d'autres incidents, des tenues étanches sont fournies ;
- Des programmes de formation des personnels sont mis en place à partir du 19 mai ;
- Une clinique de campagne sur le site est ouverte en juillet et des médecins supplémentaires sont envoyés au J-village en septembre pour assurer le traitement initial, le tri et les soins préventifs ;
- Des dispositions sont prises pour limiter les risques de coups de chaleur (travaux en dehors des plages horaires les plus chaudes, distribution de vestes réfrigérantes...)

## Doses reçues par les travailleurs

Le tableau ci-dessous présente la distribution des doses efficaces reçues (exposition externe + interne) par les travailleurs intervenus sur le site de mars à novembre 2011 [2].

Dose cumulée (mSv)	TEPCO	Sous-traitants	Total
> 250	6	0	6
200 – 250	1	2	3
150 – 200	26	2	28
100 – 150	117	20	137
75 – 100	286	169	455
50 – 75	325	1212	1537
20 – 50	619	5232	5851
10 – 20	582	4848	5430
5 – 10	476	4601	5077
1 – 5	791	8551	9342
< 1	1131	10907	12038
<b>Total</b>	<b>4360</b>	<b>35544</b>	<b>39904</b>
Maximum (mSv)	678,8	238,42	678,80
Moyenne (mSv)	23,18	10,78	12,14

Les doses individuelles cumulées s'échelonnent entre moins de 1 mSv et 678,80 mSv. La dose efficace maximale de 679 mSv a été reçue par un travailleur qui est également celui ayant reçu la dose interne la plus élevée (590 mSv). La dose externe la plus élevée, soit 199 mSv, a été reçue par un sous-traitant ayant cumulé une dose efficace de 238 mSv. 174 travailleurs ont reçu une dose cumulée supérieure à 100 mSv [2]. Pour 13 d'entre eux, la dose interne a été estimée supérieure à 100 mSv et due pratiquement exclusivement à la fixation d'iode 131 sur la thyroïde. L'UNSCEAR a estimé que la dose à la thyroïde pour le travailleur ayant reçu la plus forte dose interne est comprise entre 9,7 et 12,6 Gy [7]. La contribution supplémentaire à la dose efficace attribuable aux radionucléides à vie courte qui n'ont pas été mesurés assez tôt après l'accident est estimée à environ 20%.

Les doses des sous-traitants sont en moyenne (10,78 mSv) plus faibles d'un facteur 2 environ que celles des salariés de TEPCO (23,18 mSv). A la date de ce bilan, 174 travailleurs ont reçu une dose cumulée supérieure à 100 mSv. TEPCO rapporte qu'il n'y a pas eu d'exposition interne significative depuis octobre 2011 et qu'aucune dose cumulée entre avril et novembre 2014 n'a dépassé 50 mSv [2].

## Implications sanitaires

- Effets sanitaires observés

Le 11 mars 2011, le séisme et le tsunami ont provoqué le décès direct de 2 travailleurs de la centrale de Fukushima Daiichi<sup>1</sup> ainsi qu'un travailleur de la centrale de Fukushima Daini. Trois sous-traitants sont décédés d'un infarctus du myocarde alors qu'ils étaient au travail le 14 mai 2011, le 9 janvier 2012 et le 22 août 2012 respectivement. Leur décès n'est pas jugé attribuable à leur exposition radiologique (doses externes de 0,7, 6,7 et 25 mSv respectivement et contaminations internes minimes).

<sup>1</sup> Plus récemment, deux travailleurs supplémentaires ont été mortellement blessés sur le chantier de la centrale de Fukushima Daïchi, le premier enseveli sous des sédiments lors de travaux d'excavation en mars 2014 et le second lors d'une chute dans un réservoir de stockage d'eau de pluie contaminée en janvier 2015.

Le 16 août 2011, un sous-traitant est décédé d'une leucémie aiguë. Selon TEPCO il avait reçu une dose externe de seulement 0,5 mSv après l'accident et ne présentait aucune contamination interne significative lors du contrôle anthroporadiométrique réalisé le 7 août 2011. Eu égard au délai minimal de 2 ans pour l'apparition de la leucémie radio-induite, ce décès n'est pas non plus attribuable à l'exposition du travailleur.

Le 6 octobre 2011, un travailleur est décédé d'un choc septique consécutif à un abcès rétro péritonéal. Là encore le travailleur n'avait pas reçu de doses élevées (dose externe de 5 mSv et dose interne minime) [7].

L'UNSCEAR conclut qu'aucun syndrome aigu d'irradiation n'a été observé ni était attendu compte tenu que les doses corps entiers sont toujours restées inférieures aux seuils d'apparition de tels effets. A noter que 3 opérateurs intervenant le 29 octobre 2011 dans de l'eau fortement contaminée ont été mis en observation. Les doses à la peau des pieds estimées (170 à 650 mGy) étaient cependant trop faibles pour produire des effets cutanés.

Aucun effet collatéral dû la distribution d'iode stable n'a été observé chez les quelques 2 000 travailleurs en ayant pris, y compris les 230 d'entre qui en ont pris durant plus de 14 jours ou ont pris plus de 20 comprimés (87 pour celui qui en a pris le plus). Seulement 3 dérèglements thyroïdiens temporaires ont été observés.

- Risques sanitaires à plus long terme

Les conséquences potentielles à long terme de l'accident de Fukushima sur la santé des travailleurs ont été estimées par l'OMS [8]. Ses conclusions publiées en février 2013 peuvent être résumées comme suit :

- Il apparaît improbable que le petit nombre d'individus ayant reçu une dose > 100 mSv présente une augmentation statistiquement significative de cataractes ;
- Les travailleurs ayant reçu une dose > 500 mSv ont un risque accru de maladie cardiovasculaire à long terme ;
- Pour les deux tiers des travailleurs (qui ont reçu des faibles doses à l'organisme entier), les risques de cancer sont d'un niveau comparable aux fluctuations du taux de base ;
- Pour environ un tiers des travailleurs (doses à la thyroïde modérées, doses plus faibles aux autres tissus), l'augmentation relative du cancer de la thyroïde par rapport au taux de base est estimée entre 1,4% (travailleurs âgés de 60 ans) et 20% (travailleurs âgés de 20 ans) ;
- Pour moins de 1% des travailleurs (ceux ayant reçu les doses les plus élevées), l'augmentation relative de la leucémie et du cancer de la thyroïde par rapport au taux de base est estimée à 28% chez les travailleurs les plus jeunes ;
- Pour les travailleurs ayant reçu de très fortes doses à la thyroïde (> 10 Sv), il est estimé une augmentation notable de l'incidence du cancer de la thyroïde, notamment chez les travailleurs les plus jeunes (risque attribuable vie entière de 356 sur 10 000).

Sur la base d'estimations de doses réalisées à partir de données plus récentes et consolidées, l'UNSCEAR a également évalué quels étaient les risques à long terme pour la santé des travailleurs [7]. Ses conclusions globalement concordantes avec celles de l'OMS sont les suivantes :

- Pour le groupe des 174 travailleurs ayant reçu plus de 100 mSv (140 mSv en moyenne) 2 à 3 cancers additionnels pourraient survenir en plus des 70 cancers environ attendus en l'absence d'exposition ; cette augmentation du risque de cancer est faible comparée aux fluctuations naturelles et a peu de chance d'être détectable. Chez ces mêmes individus, 1 cas de leucémie pourrait être induit par l'exposition (risque relatif = 1,20 pour une exposition moyenne de 140 mSv à l'âge de 20 ans) ; là encore, peu de chance d'être détectable ;
- Environ 2 000 travailleurs ont reçu une dose à la thyroïde supérieure à 100 mGy (moyenne d'environ 400 mGy). Les échographies faites chez ces personnes sont susceptibles d'augmenter très fortement la détection des cas constituant le taux de base et celle des cas de cancers radio-induits, par rapport au nombre de cas attendus sur la base des taux de base rapportés pour les personnes non exposées. On ne s'attend pas à ce qu'une possible augmentation de l'incidence du cancer radio-induit soit détectable. Il n'est pas exclu que soient observés des cas d'hypothyroïdie ;

- Pour les travailleurs ayant reçu les doses efficaces les plus élevées, la probabilité d'un excès de maladies circulatoires existe mais elle est faible;
- Les données ne sont pas suffisantes pour pouvoir se prononcer quant à une possible augmentation de l'incidence de la cataracte ;
- Il existe des risques de troubles de stress post-traumatique (TSPT). L'enquête menée 2 à 3 mois après l'accident a d'ailleurs révélé de tels troubles.

### Enseignements et conclusion

L'accident de Fukushima a mis en exergue de nombreuses insuffisances pour assurer la protection des travailleurs intervenus sur le site. Un certain nombre d'enseignements peut en être tiré [4, 5, 6, 10, 11]. Pour faire face à un accident majeur, les moyens de surveillance radiologique en place dans les installations doivent être appropriés, tant en nombre qu'en qualité (étanchéité des appareils, robustesse, autonomie électrique, ...). L'organisation du suivi des travailleurs doit être correctement préparée pour faire face à un flux important de personnes, de mesures et d'informations à traiter. La surveillance dosimétrique individuelle doit être rapidement mise en place pour garantir la fiabilité des doses évaluées. Ceci est d'autant plus vrai pour ce qui concerne le risque de contamination interne aux émetteurs à vie courte. Les moyens de mesure *in vitro* et *in vivo* doivent pouvoir être déployés dans des lieux où le « bruit de fond » est fortement augmenté par rapport au rayonnement naturel. La connaissance précise des conditions d'exposition est par ailleurs capitale pour réaliser les calculs de dose [10]. La capacité de mesures *in vitro* doit permettre de répondre à des besoins d'analyses de radionucléides émetteurs alpha et bêta.

Les équipements de protection individuelle doivent aussi être disponibles et bien adaptés à chaque travailleur. L'efficacité totale des filtres de masques respiratoires doit être vérifiée [11]. Les intervenants doivent avoir une bonne formation à la crise et un entraînement préalable. Des dispositions doivent être prises pour rendre les conditions de travail et d'intervention les meilleures possibles (lumière, temps de repos et roulement des travailleurs suffisants, salles de repos dans des endroits non irradiants, nourriture correcte, dispositions pour limiter les risques de coup de chaleur...).

Enfin, les capacités de dosimétrie et de suivi des personnels affectés sur le terrain en dehors du site de l'installation accidentée (sécurité civile, policiers, chauffeurs...) doivent également être réfléchies à l'avance et déployables dans des délais courts.

L'accident de Fukushima a eu des conséquences pour les travailleurs très différentes de ceux de Tchernobyl en avril 1986, tant en termes de niveaux d'exposition que d'effets observés sur leur santé. Pour mémoire la dose individuelle moyenne des quelque 530 000 liquidateurs de Tchernobyl a été estimée à 120 mSv, certain d'entre eux ayant reçu des doses très élevées. Par exemple 51 intervenants de la Fédération de Russie et 168 intervenants d'Ukraine ont reçu une dose efficace supérieure à 1 Sv, en moyenne 9,4 et 6,9 Sv respectivement [7]. Pour comparaison, 99,6% des 40 000 travailleurs intervenus sur le site de Fukushima ont reçu moins de 100 mSv. A la suite de l'accident de Tchernobyl, 134 syndromes aigus d'irradiation ont été observés, dont 28 mortels au bout de quelques mois. Même si tout n'est pas encore définitivement établi, une augmentation de cancers radio-induits de tous types a par ailleurs été rapportée pour les liquidateurs de Russie. Comme évoqué plus haut, il est peu probable qu'une augmentation de cancers puisse être mise en évidence pour les travailleurs de Fukushima.

Le suivi épidémiologique et médical des travailleurs concernés, y compris ceux ayant quitté le domaine nucléaire, va cependant devoir être poursuivi. Le gouvernement japonais a décidé la mise en place d'un tel suivi avec la constitution d'une base de données individuelles incluant les doses enregistrées et toutes les informations relatives à la santé [9]. Des examens médicaux réguliers sont effectués, comprenant un examen clinique (ophtalmologique, auditif, pulmonaire, cardio-vasculaire, digestif), des analyses biologiques et une évaluation de l'état psychologique. Des examens complémentaires sont prévus en fonction de la dose reçue : suivi des cataractes (doses > 50 mSv) et des cancers du poumon, de l'estomac et du colon (doses > 100 mSv).

- [1] TEPCO. Fukushima Nuclear Accident Analysis Report (2012)
- [2] Communiqué de presse TEPCO 26 décembre 2014 ([http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2014/1247307\\_5892.html](http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2014/1247307_5892.html))
- [3] Investigation Committee on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company (Established by Japanese Cabinet), Final Report (2012)
- [4] National Diet of Japan Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission (NAIIC), The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission (NAIIC, 2012)
- [5] Lessons learned from the Fukushima nuclear accident for improving safety of U.S nuclear plants National Research Council of the National Academies. The National Academies Press. Washington, D.C. [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=18294](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=18294) (2014)
- [6] Response and Action Taken by the Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan on Radiation Protection for Workers Involved in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. <http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/index.html> (2013)
- [7] UNSCEAR. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and Tsunami (2014)
- [8] WHO. Health Risk Assessment from the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and Tsunami based on preliminary dose estimation (2013)
- [9] Guidelines on Maintaining and Improving the Health of Emergency Workers at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (Guidelines Publication No. 5, dated October 11, 2011)
- [10] The internal and external dosimetry challenges from past experience : Fukushima Daiichi accident. Toshikazu Suzuki. International Conference on Occupational Radiation Protection. 03 Dec. 2014, IAEA Vienna.
- [11] Lessons Learned: Radiation Protection for Emergency Response and Remediation / Decontamination Work Involved in TEPCO Fukushima Daiichi NPP Accident. Shojiro Yasui. International Conference on Occupational Radiation Protection. 03 Dec. 2014, IAEA Vienna