

L'accident de Fukushima, 6 ans après

Yves Baron⁽¹⁾, Jacques Foos⁽²⁾, Jean-Paul Martin⁽³⁾, Bernard Rozé⁽⁴⁾

Résumé

Cet exposé présente tout d'abord, les raisons qui ont motivé ce travail à savoir essentiellement le souhait de rétablir la vérité des faits par rapport aux exagérations médiatiques qui cultivent et entretiennent la peur.

L'accident survenu sur les installations nucléaires de Fukushima Daiichi résulte d'un séisme d'une intensité extrême survenue le 11 mars 2011. Ce phénomène a engendré une vague qui a submergé plus de 560 km² de terre, le long de la côte Est, ayant entraîné le décès de 18 600 personnes et la destruction totale ou partielle de plus de 1 200 000 habitations et constructions.

Le corollaire de cet accident a été la perte du refroidissement du combustible nucléaire pour, au moins, deux cœurs de réacteurs nucléaires, perte ayant provoqué la fusion partielle du combustible. Parmi les conséquences, se sont produits des rejets radioactifs dans l'environnement sur une zone allongée de l'ordre de 25 km à partir du réacteur et d'une façon moins marquée, sur une zone de rayon 80 km, centrée sur ces installations nucléaires.

Il s'en est suivi (si l'on parle des suites de l'accident nucléaire) l'évacuation de 160 000 personnes domiciliées dans cette zone. Il faut noter que l'accident nucléaire n'a fait aucune victime directe pour causes radiologiques ni parmi les travailleurs ni dans la population.

Le type de réacteur nucléaire, objet de l'accident, était d'un modèle ancien dit « bouillant », non retenu en France et dont les installations de sûreté étaient notoirement insuffisantes par rapport à d'autres modèles existants. La responsabilité est partagée entre l'exploitant japonais TEPCO (Tokyo Electric Power Company) et le concepteur General Electric).

Les conséquences en matière de dosimétrie sont évoquées dans le détail que ce soit la contamination de l'environnement terrestre, du milieu marin, des denrées alimentaires, l'exposition externe des populations et de celle des travailleurs. La dose équivalente à la thyroïde pour les enfants ou encore les conséquences d'éventuelles anomalies génétiques est exposée et l'état général de la santé de la population a été analysée. Tous ces paramètres ont été appréciés d'une part, juste après l'accident puis six ans plus tard.

Enfin les réactions des autorités, face à une situation matérielle anormale, sont détaillées dans le texte de cette note, notamment les mesures ayant conduit à récupérer de façon spectaculaire des zones terrestres et marines compromises par l'accident. L'application de règles sanitaires strictes pour assurer la protection des populations seront aussi analysées.

Les conclusions, à ce jour, dégagent des lignes de force probantes, à savoir :

- *L'origine de l'accident est considérée comme « made in Japan » de l'avis même de la commission indépendante Japonaise : c'est certainement en partie vrai. Cependant, il convient de rester prudents compte tenu des événements antérieurs que nous avons vécus, comme l'accident de TMI aux USA ou celui Tchernobyl en Union Soviétique.*
- *80% des terres arables et des pâturages contaminés ont été assainis.*

- *C'est en tout cas au prix d'une volonté sans faille et d'un coût financier très important. Il est à ce jour évalué à 205 milliards d'euros pour la partie sinistrée par l'effet du tsunami et d'un coût à peu près équivalent, de l'ordre de 203 milliards d'euros pour ce qui concerne les installations nucléaires*
- *Le problème du stockage (ou de l'entreposage) des déchets contaminés n'est pas réglé. Le volume s'élève à ce jour à 22 millions de mètres cubes dont environ la moitié recèle une radioactivité inférieure à 8 000 Bq/kg permettant d'après la loi japonaise de les stocker dans une décharge classique.*
- *Le Japon a fait preuve d'un volontarisme extraordinaire et a voté pour la mise en place d'un plan ENERGIE sur une durée de vingt ans avec le concours du nucléaire ;*
- *Le bilan dosimétrique est heureusement modeste, mais le stress des populations est fort et palpable avec des conséquences sur la santé. Était-il justifié de déplacer les populations vivant dans les zones autour de la centrale dans la mesure où cette décision est responsable aujourd'hui de milliers de décès liés à ce stress ? Ceci doit servir d'enseignement pour l'avenir.*

Le fait que cet accident soit la conséquence d'une catastrophe naturelle ne doit pas nous dispenser d'en tirer tous les enseignements possibles et notamment :

- *l'un d'ordre technique pour « durcir » encore la sûreté de nos installations ;*
- *l'autre sociétal, afin de préciser les règles de préparation pour faire face à un événement imprévu de ce type ;*
- *Enfin par une prise de conscience à froid des plans d'action concernant les populations vivant près d'installations nucléaires*

- (1)** *-Ingénieur retraité, ancien Chef du Groupe d'Études Atomiques de l'État-Major de la Marine, membre expert du GRNC (Groupe Radioécologie Nord Cotentin). Personnalité qualifiée dans le domaine nucléaire de la communication et de l'information. Membre du Collège scientifique des CLI du Cotentin.*
- (2)** *-Professeur Honoraire du CNAM. Responsable de la filière d'ingénieurs en Sciences et Technologies Nucléaires de 1983 à 2008 et collaborateur à de nombreuses études technologiques nucléaires en qualité d'expert. Membre du Collège scientifique des CLI du Cotentin.*
- (3)** *-Ingénieur retraité du CEA. Projets de réacteurs expérimentaux et de puissance—responsable production et directeur adjoint de l'établissement COGEMA de La Hague et directeur adjoint de l'établissement de Marcoule. Membre des CLI du Cotentin en qualité de représentant de l'AEPN.*
- (4)** *- Ingénieur Arts et Métiers. Retraité AREVA NC. Ancien Directeur Qualité Sécurité Sûreté Environnement de L'Établissement AREVA NC La Hague. Membre des CLI du Cotentin au titre de l'AEPN.*

Plan de la note

- 1- Préambule
- 2- Les événements
- 3- La situation humaine qui résulte de cette catastrophe
- 4- Les situations techniques et la responsabilité du Japon
 - 4-1 Les responsabilités qui incombent au concepteur de ce type de réacteur
 - 4-2 Les responsabilités qui incombent directement à l'exploitant japonais
- 5- La genèse de l'accident concernant la partie nucléaire
- 6- Les conséquences
- 7- Les actions du gouvernement japonais, des exploitants et des industriels japonais
 - 7-1 Concernant le refroidissement des installations nucléaires en avarie
 - 7-2 Concernant le site nucléaire et notamment les réacteurs
- 8- Bilan de l'accident de Fukushima sur l'environnement et sur la dosimétrie
 - 8-1 Les rejets radioactifs dans l'air
 - 8-2 La contamination de l'environnement terrestre par les dépôts radioactifs
 - 8-3 La contamination du milieu marin
 - 8-4 La contamination des denrées alimentaires immédiatement après l'accident
 - 8-5 La contamination des aliments quatre ans plus tard
 - 8-6 Les Conséquences de l'accident sur la population
 - 8-6-1 Exposition externe
 - 8-6-2 Dose équivalente à la thyroïde chez les enfants
 - 8-6-3 Conséquences sur l'état général de santé de la population
 - 8-7 Dosimétrie chez les travailleurs
 - 8-8 Décontamination et stockage des déchets contaminés
- 9- Les conclusions que nous pouvons énoncer à ce jour

1 Préambule

Les Commissions locales d'information du Cotentin (Areva-La-Hague, Flamanville, Andra) ont organisé en mars 2017, un voyage d'étude au Japon.

Nous sommes depuis le déroulement de cet accident, passablement surpris de la désinformation pratiquée sur le sujet, par les différents médias. Aussi avons-nous souhaité présenter les événements à partir de données récentes et provenant d'interlocuteurs non partisans (voir bibliographie).

Le texte ci-après a simplement pour but de résumer de façon factuelle le déroulement de ces événements tragiques. Le résultat de cette lecture conduira à formuler quelques conclusions d'actualité dont certaines s'appuieront sur les propres observations de deux d'entre nous qui ont participé à ce voyage.

2 Les événements

L'événement initiateur est l'apparition d'un séisme d'une intensité extrême (magnitude 9) le 11 mars 2011, ayant provoqué un tsunami hors norme (vague submergeant la côte sur plus de 500 km sur la côte orientale du Japon générant une vague de plus de 17 m de hauteur au niveau de Fukushima. La puissance de cette vague a pratiquement détruit toutes les infrastructures présentes jusqu'à plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres dont celles des installations de réacteurs nucléaires de la centrale de Daiïchi. Cette centrale comportait six réacteurs nucléaires dont trois d'entre eux étaient en fonctionnement (les réacteurs 1, 2 et 3).

Le tsunami par lui-même, par l'effet de cette vague exceptionnelle, a provoqué la mort de 18 600 personnes environ par agression physique. Il a conduit aussi, indirectement à la fusion au moins de deux cœurs des réacteurs nucléaires. Mais il convient de souligner, 6 ans après cet accident qu'on ne déplore aucun mort par irradiation. Cette fusion du combustible nucléaire résulte d'un défaut de refroidissement du cœur des réacteurs, du fait de la puissance résiduelle des combustibles nucléaires.

Aujourd'hui, en 2017, les six réacteurs de Daiïchi Fukushima sont arrêtés définitivement bien que deux d'entre eux soient intacts. Rappelons que le Japon disposait, à l'époque du tsunami, de 54 réacteurs nucléaires en service dont 34 appartiennent à la filière à eau bouillante et 20 à celle des réacteurs à eau pressurisée, comme les réacteurs en service en France. Deux réacteurs du type eau bouillante étaient en construction au moment de ces événements (depuis, respectivement, 2007 et 2010). Aujourd'hui cinq d'entre eux ont redémarré mais loin de Fukushima et sur la côte ouest où la probabilité d'occurrence de tsunamis est beaucoup plus faible. Il ne s'agit, en outre, que de réacteurs à eau pressurisée (*voir plus loin*).

3 La situation humaine qui résulte de cette catastrophe

Au total 470 000 personnes ont été évacuées à cause de la destruction, par la vague, de toutes les infrastructures dont 140 000 environ dans la région de Fukushima qui ont été évacuées principalement pour cette raison mais aussi du fait des contaminations surfaciques du sol, suite aux rejets radioactifs dans l'atmosphère.

Il est important de souligner que le stress provoqué par les déplacements et le déracinement des personnes a provoqué 1300 décès prématurés dans la préfecture de Fukushima¹. Ces déplacements étaient-ils tous nécessaires, en particulier sur les sols légèrement contaminés ?

Il peut sembler logique, voire indispensable, de déplacer les habitants de zones contaminées suite à un accident majeur classé au niveau 6 ou 7 sur l'échelle INES (*International Nuclear Events Scale*). Il est certain toutefois que ces déplacements provoquent des drames humains dont il convient de tenir compte. C'est ainsi que la catastrophe de Fukushima, si elle n'a provoqué, 6 ans après, aucun décès, lié à une irradiation ou contamination radioactive, est responsable, indirectement, de plus de 3 200 décès liés aux déplacements des populations. Ces mêmes douloureuses conséquences ont été constatées aussi lors de l'accident de Tchernobyl.

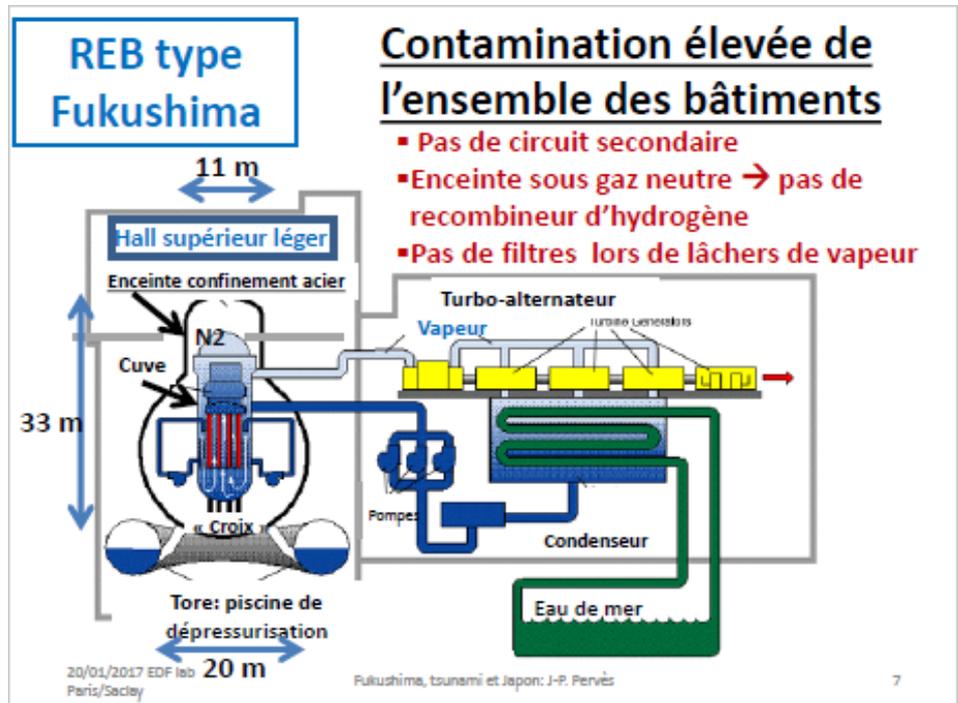
À partir de quel seuil de débit de dose annuel est-il nécessaire d'évacuer des populations ? Le seuil fixé aujourd'hui : 20 mSv/an (donc : 2,3 µSv/heure) est-il raisonnable quand on sait que des populations sont exposées dans le monde à des débits de doses liés à la radioactivité naturelle, dépassant les 200 voire les 300 mSv/an et ce, sans conséquences sanitaires observables ?

Les procédures post-accidentelles devraient être revues à la suite de ces retours d'expériences dramatiques et qui auraient sans doute pu être évités en grande partie

¹ En septembre 2014 le nombre de décès indirectement lié au désastre de mars 2011 représente 3194 morts pour 10 préfectures (Iwate, Miyagi, Yamagata, Fukushima, Ibaraki, Saitama, Chiba, Tokyo, Kanagawa, Nagano).

4 Les situations techniques et la responsabilité du Japon

Évoquons d'abord, en quelques mots, le type de réacteurs qui étaient opérationnels à Daïichi–Fukushima. Le schéma de la page suivante en décrit quelques caractéristiques négatives en cas d'accident majeur.



Ce type de réacteurs a été vendu au Japon par la firme américaine General Electric (GE) et TEPCO est la société nucléaire japonaise qui exploite ce système. Ces réacteurs sont du type « bouillant ». Ils ont été mis en service en 1971.

4.1 Les responsabilités qui incombent au concepteur de ce type de réacteur

Ce réacteur comporte une enceinte de confinement en acier qui épouse simplement la forme du bloc réacteur et une enceinte de confinement en béton plaquée sur l'enceinte en acier. Le volume de cette enceinte est très faible et représente à peu près le 1/10^e de celle d'un réacteur pressurisé du type de ceux exploités en France.

Le tore de dépressurisation pour la condensation de la vapeur est situé hors de l'enceinte (voir figure ci-dessus partie basse du schéma).

La piscine d'entreposage du combustible irradié est située au-dessus du bloc réacteur.

Dans ce type de réacteur, contrairement aux réacteurs à eau pressurisée, il n'y a qu'un seul circuit d'eau et de vapeur qui est à la fois le circuit primaire pour le cœur et le circuit d'alimentation en vapeur de la turbine. De plus, il n'existe pas de recombiners qui en cas

d'accident transforment l'hydrogène produit en vapeur d'eau afin d'éviter les explosions dues à la présence d'hydrogène.

Lors de la dépressurisation de l'enceinte, les rejets vers l'extérieur sont effectués sans filtration vers l'extérieur. Sur tous les réacteurs à eau pressurisée français, a été installé un filtre à sable qui permet en cas d'accident de retenir une grande partie des radionucléides.

4.2 Les responsabilités qui incombent directement à l'exploitant japonais.

Le choix de l'emplacement géographique des centrales sur le terrain ne dépend que du Japon.

La position, dans les parties basses, des diesels de secours permettant le fonctionnement des circuits de refroidissement du cœur de réacteurs ne relève que de l'exploitant.

La hauteur de protection des digues s'opposant à l'envahissement par l'eau due au tsunami s'est avérée notablement insuffisante malgré les prévisions probabilistes beaucoup plus sévères que les hypothèses retenues. Ainsi la digue de protection de la centrale de Daïichi-Fukushima contre les tsunamis avait été conçue pour protéger les installations en regard d'une vague de 5,70 m de hauteur. Or la vague qui survint le 11 mars 2011 faisait 17 m de hauteur (dans le nord du pays cette vague atteindra à certains endroits la hauteur de 30 m).

5 La genèse de l'accident concernant la partie nucléaire

Le séisme provoqua l'arrêt immédiat de la réaction nucléaire dans les cœurs des réacteurs, par suite de l'introduction des grappes de contrôle suivant le processus normal de sécurité en cas de séisme. Les diesels de secours se sont immédiatement mis en marche pour assurer le refroidissement des cœurs. Les bâtiments en béton armé ont résisté à l'onde de choc due au séisme. L'installation était donc dans une situation contrôlée, maîtrisée et sûre : aucun accident de criticité n'était à craindre. Toutefois, la situation de catastrophe naturelle engendrée par le tremblement de terre a conduit, immédiatement, à la perte de l'alimentation électrique par le réseau (chute de pylônes encore visible) et accessoirement (mais cela va se révéler très important) elle a rendu les voies routières d'accès au site impraticables (ce qui signifie par exemple, l'impossibilité d'amener des groupes de secours à temps).

Mais le flot d'eau de mer provoqué par le tsunami arriva 55 minutes après le séisme et passa par-dessus la digue de protection évoquée ci-dessus. Cette eau provoqua la submersion des installations de secours (diesels) destinés à fournir le courant pour les pompes de refroidissement du cœur, en regard de la dissipation de la puissance résiduelle du combustible (*cette puissance résiduelle est à l'image des braises résiduelles pour un feu de combustibles fossiles, bois ou charbon*). Il faut noter que cette puissance résiduelle était encore de 55 MW pour chacun des trois réacteurs N°1-2-3 au moment du séisme. En conséquence les pompes de secours qui devaient être alimentées en courant électrique par les diesels se révélèrent inopérantes. Il faut noter également la perte totale du contrôle commande rapidement.

Le combustible du cœur se met à chauffer jusqu'à la fusion de celui-ci (2 800° à 3 000°C). Mais la gaine en zirconium des crayons du combustible, décompose l'eau en ses composants hydrogène et oxygène à partir de 800° à 900°C. Et la réaction survient de façon exponentielle, c'est-à-dire irrépressible. La fusion des crayons intervient alors en moins de deux heures dès que le combustible cessa d'être refroidi. Or, l'absence de refroidissement dura environ 6h30.

Le dégagement d'hydrogène a fait monter la pression à l'intérieur de l'enceinte du bloc réacteur ainsi que la production de vapeur qui provoqua une montée en pression, car la fusion du cœur vaporise l'eau. Et le volume du tore dédié à cette fonction de condensation de la vapeur, s'avéra notablement insuffisant.

Or le volume disponible dans l'enceinte étant très faible (de l'ordre de 1/10 du volume des réacteurs pressurisés) la pression augmenta très vite au risque de provoquer la fissuration de l'enceinte étanche existante. Il convint donc de « relâcher » à l'extérieur du bloc réacteur l'excès de pression et cela va se passer par manœuvre concertée sous forme de rejets gazeux lesquels comportent les produits volatils radioactifs dus à la fusion du cœur et l'hydrogène mélangé à la vapeur d'eau. Or dès que ces rejets atteignent l'atmosphère extérieure, la vapeur d'eau se condense sous forme liquide, l'hydrogène se retrouve concentré au-delà de 4%² et provoque des explosions à l'extérieur avec apparition de gros dégâts sur les structures notamment celles concernant la piscine d'entreposage du combustible. Des rejets radioactifs sont émis dans l'environnement. L'explosion du bâtiment réacteur 1 a provoqué une brèche dans le bardage du bâtiment réacteur 2, brèche qui a évité l'explosion de cette structure. Par contre, le bâtiment réacteur 3 a lui explosé également.

Pour abaisser la température du cœur ou plus exactement du corium, des lâchers réguliers commandés par l'exploitant, émettent à l'extérieur des produits radioactifs ; ceux-ci sont accompagnés d'explosions dévastatrices pour les structures. Comme signalé plus haut, il n'existait aucune filtration avant rejet. À noter aussi que les deux enceintes béton et acier subirent suffisamment de dégâts pour ne plus être étanches.

Aujourd'hui le corium est ramené à une température de l'ordre de 30° à 40°C et ne pose plus aucun problème de refroidissement. Il est donc stabilisé mais il reste évidemment très radioactif.

6 Les conséquences.

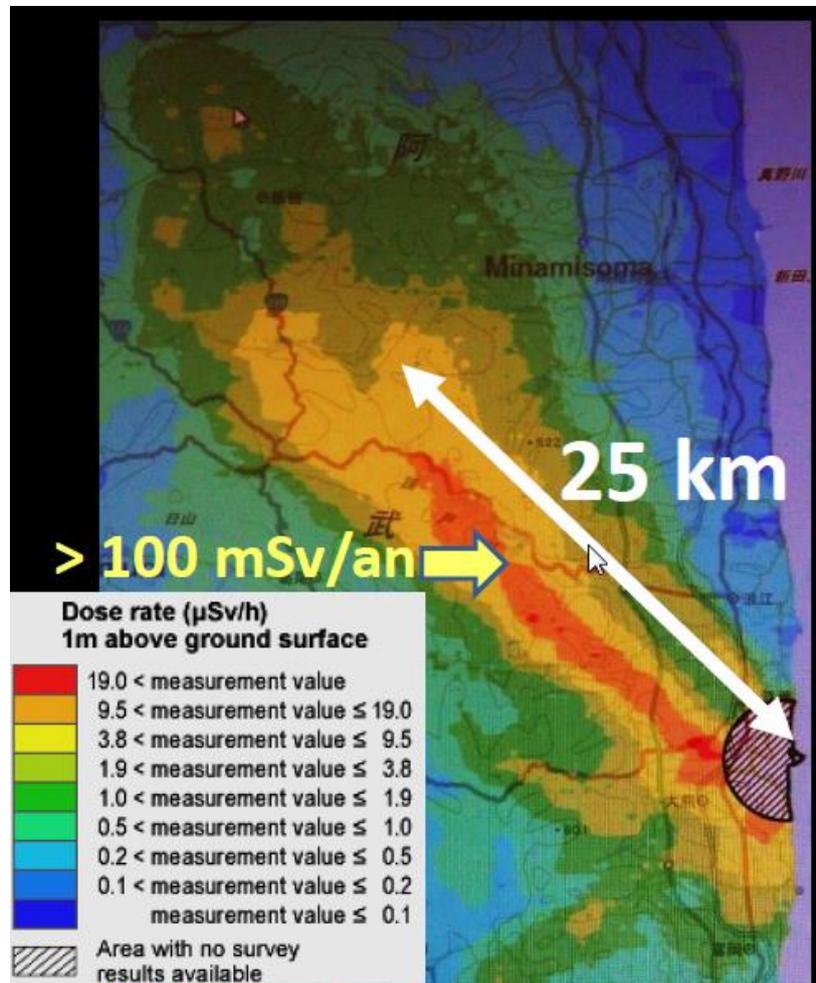
Nous avons mentionné plus haut l'évacuation massive de 160 000 personnes du fait de l'accident nucléaire, (sur les 470 000 au total) malgré la destruction de toutes les infrastructures par l'effet du tsunami.

La dispersion de la contamination radiologique s'est faite sous forme de tâches dites en forme de « taches de léopard » sur un territoire d'environ 25 km de long et 7 km de large. À noter que les conditions météorologiques ont été très favorables au moment de l'accident ;

² L'hydrogène n'explose spontanément qu'à une teneur comprise entre 13 et 65 % ; à partir de 4% il est inflammable

en effet, le vent était orienté vers la mer, ce qui a permis la dispersion de 80 % de la contamination vers l'océan.

On pourrait presque dire que les Japonais ont eu, malgré tout, beaucoup de chance dans leur malheur !



7 Action du gouvernement Japonais, des exploitants et des industriels Japonais

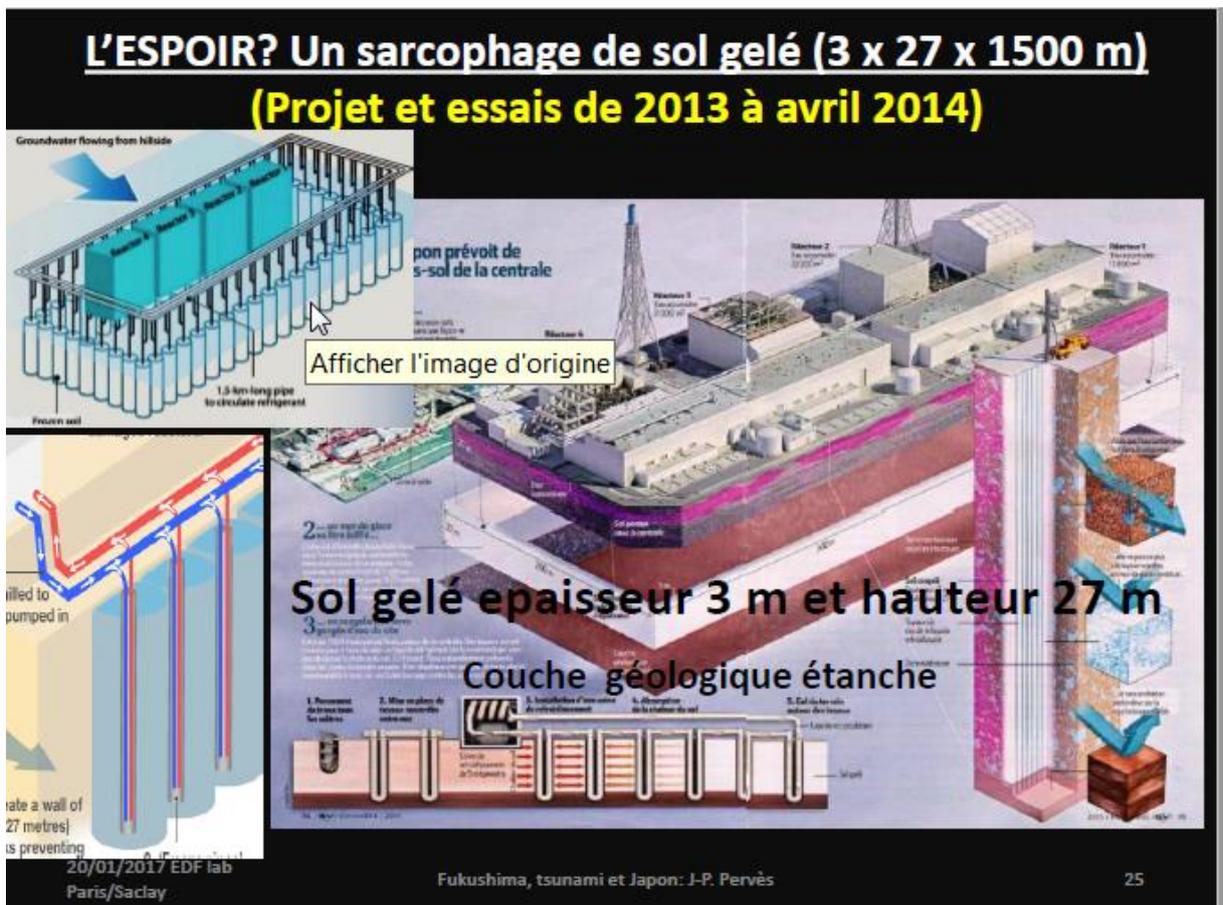
Diverses actions vont se dérouler au moins dans trois directions et cela en parallèle à l'évacuation de la population.

7.1 Concernant le refroidissement des installations nucléaires en avarie

Il a fallu rétablir un certain refroidissement du combustible du cœur. Pour cela, l'exploitant procéda d'abord à l'aspersion en aveugle, du réacteur, avec des pompes à béton de haute pression projetant de l'eau salée puis de l'eau douce.

Aujourd'hui, le corium est stabilisé à 30° ou 40°C avec un très faible débit d'eau douce. Mais compte tenu de la contamination que provoque le passage de l'eau sur le corium, plusieurs mesures ont été nécessaires.

Toute la zone des réacteurs a été isolée en mettant un sarcophage « enterré ». C'est-à-dire que les exploitants ont fait construire un mur constitué par des pieux jointifs sur 700 à 800 m de longueur et jusqu'à la profondeur de 25 à 30 m où se situe la couche d'argile. En mars 2017, TEPCO nous a parlé de cet ouvrage mais cela n'apparaît pas sur leurs schémas. Apparaissent en revanche : le pavement du sol pour limiter les infiltrations en amont, le rabattement de nappes en amont et des murs frigorifiques. Ainsi, l'eau ne peut pas circuler dans ce périmètre. En complément, l'exploitant a fait construire un mur en gelant la terre sur 3 m d'épaisseur et 1500 m de longueur. Le sol est gelé grâce à une installation frigorifique jusqu'à une profondeur également de 25 à 30 m afin d'atteindre la couche d'argile.



L'eau est recueillie et traitée c'est-à-dire décontaminée en ce qui concerne le césium, le strontium et d'autres radionucléides. Il ne reste donc essentiellement que le tritium. Ces eaux sont stockées à proximité

Pour cela, l'exploitant a fait construire de grandes cuves avec des bacs de rétention, un peu à l'image des réservoirs d'entreposage pour le pétrole, dont le volume total représente aujourd'hui 1 200 000 m³. Il y a environ 1 200 réservoirs affectés à cet entreposage et, en

outre, une usine de fabrication de ces réservoirs a été construite dans le but de respecter cet objectif d'entreposage des eaux.

Notons que cette eau a été décontaminée et pourrait être rejetée dans l'océan Pacifique. L'activité du tritium, le seul radionucléide restant dans ces eaux traitées, serait sans conséquence sur la faune et la flore marines. Mais les pouvoirs publics et surtout l'opinion publique s'y opposent pour le moment en raison du retentissement médiatique que cette opération pourrait avoir sur le public.

Par ailleurs les exploitants ont déjà évacué les 1 500 combustibles qui étaient entreposés dans les piscines endommagées et les ont déposés en situation sûre.

7.2 Concernant le site nucléaire et notamment les réacteurs

Concernant le refroidissement du corium et le cantonnement des eaux de ruissellement et de refroidissement autour des réacteurs accidentés, le « sarcophage » enterré décrit ci-dessus permet de maîtriser les eaux traversant le site.

Une autre structure est en cours d'élaboration et devrait être montée in situ en 2017 :



Cette fois, c'est une structure constituée de grands arceaux métalliques qui s'ajusteraient les uns aux autres. Cette enceinte posée sur des murs extérieurs servirait d'atelier pour la récupération des combustibles détériorés et le démantèlement du réacteur (voir schéma ci-dessus). Chaque réacteur accidenté serait isolé par le sarcophage enterré et par cette enceinte en superstructure. En 2017, c'est le réacteur n°3 qui devrait bénéficier de cette structure.

Concernant l'étape suivante, il s'agira de démanteler l'ensemble des installations ainsi protégées. C'est une opération qui demandera de 20 à 30 ans en matière de durée, outre les nombreux problèmes à résoudre vu le degré de radioactivité de la partie centrale du réacteur qui affecte la tenue du matériel.

8 Bilan de l'accident de Fukushima, l'environnement et la dosimétrie

Nous allons évoquer ci-dessous :

- la situation juste après l'accident,
- la situation actuelle,
- l'évolution de la dosimétrie autant pour l'alimentation que pour la population et les travailleurs,
- le devenir des déchets qui représentent actuellement 22 millions de m³ provisoirement entreposés en divers endroits, faute d'un accord des diverses préfectures sur un entreposage centralisé.

Le 11 mars 2011 puis les jours suivants, l'accident nucléaire à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a entraîné des rejets de substances radioactives dans :

- l'atmosphère sous la forme de gaz ou de très fines particules radioactives dispersées dans l'air : une partie de ces aérosols est retombée et a contaminé le sol,
- le milieu marin sous la forme de rejets liquides ou de retombées d'aérosols radioactifs dispersés sur l'océan.

8.1 Les rejets radioactifs dans l'air

Les rejets principaux se sont produits du 12 au 25 mars 2011, en une quinzaine d'épisodes dont les plus importants auraient eu lieu avant le 17 mars.

Les estimations de ces rejets ont été effectuées par l'Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire (IRSN) :

- gaz rares radioactifs : 6 550 PBq (pétabecquerel = 10¹⁵ Bq)
- iodes radioactifs : 408 PBq
- tellures radioactifs : 145 PBq
- césiums radioactifs : 58 PBq
- autres radionucléides 28 PBq (0,5% de l'ensemble des rejets)

Actuellement, compte tenu de la décroissance radioactive, la radioactivité artificielle mesurée est due essentiellement aux radiocésiums (¹³⁴Cs et ¹³⁷Cs) dont l'activité représente environ 1% de l'activité totale initiale.

8.2 La contamination de l'environnement terrestre par les dépôts radioactifs

Au cours des épisodes de contamination de l'air, une partie des radionucléides dispersés dans l'air sous forme de très fines particules (aérosols) ou de gaz solubles (une partie des iodes radioactifs) s'est déposée sur la surface des sols pour former des dépôts radioactifs superficiels (voir figure 1).

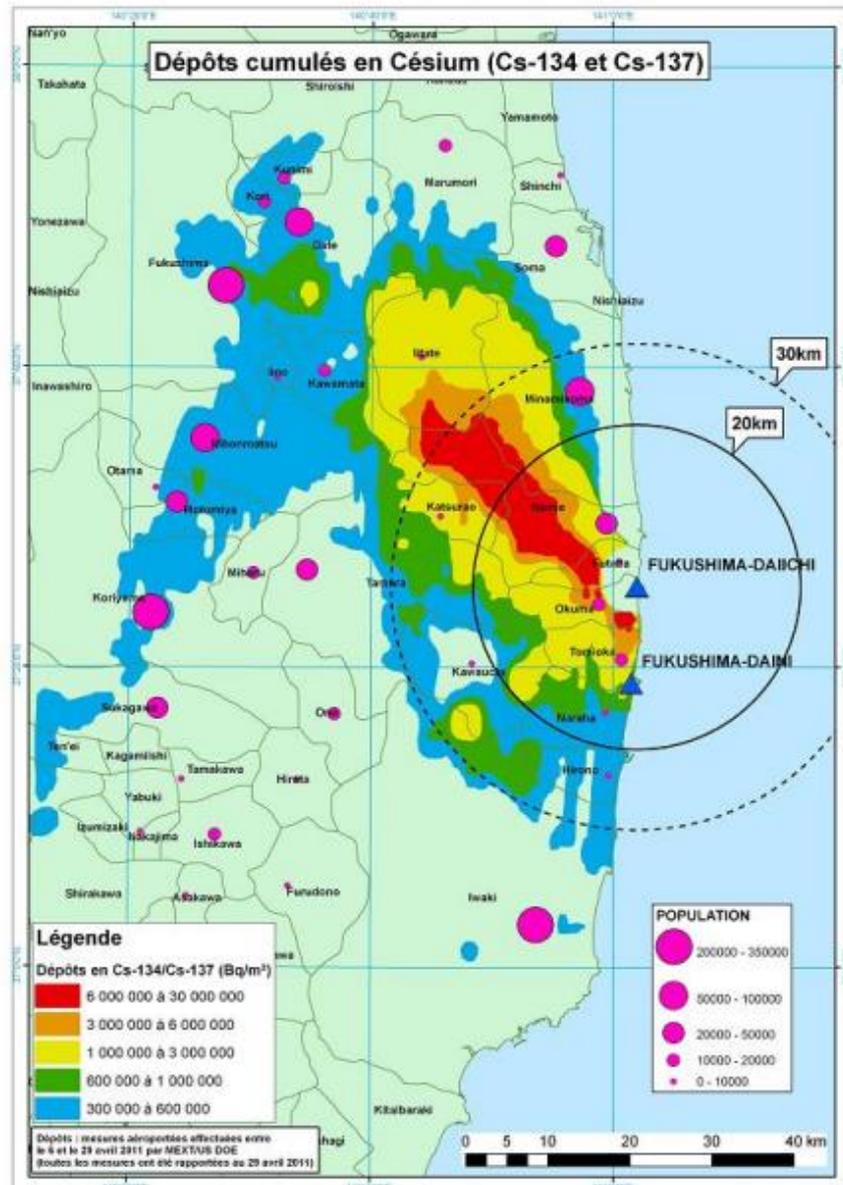


Figure 1 : Distribution des dépôts des radiocésiums

Ces dépôts sont sous deux formes :

- les dépôts secs qui se sont répartis sur toutes les surfaces sous l'effet des turbulences de l'air,
- les dépôts humides qui se sont formés sur les sols dans les zones où des précipitations se sont produites pendant la dispersion des panaches radioactifs, sous forme de

«taches de léopard». En 2013, l'activité des deux radionucléides (^{134}Cs et ^{137}Cs) ne représentait plus que 9 % de l'activité initiale, actuellement l'activité de ces deux radiocésiums ne représente plus que 1%.

À l'échelle locale, il pouvait exister de grandes disparités dans les dépôts dues :

- aux dépôts secs qui se concentrent sur les végétaux;
- aux pluies contaminées qui s'infiltrent ou ruissellent sur les sols.

Toutes ces conditions conduisent à une forte hétérogénéité locale des dépôts rémanents pouvant varier d'un facteur 10.

8.3 La contamination du milieu marin

Une forte pollution a été observée dans le milieu marin proche de la centrale nucléaire à partir du 21 mars 2011 et dans les jours qui ont suivi. Une partie de cette pollution est due aux dépôts des rejets atmosphériques entraînés vers la mer par les eaux de ruissellement des bassins versants. L'autre partie provient des rejets d'eaux utilisées pour refroidir les réacteurs. Ces eaux en contact avec des matériaux fortement contaminés se sont écoulées à l'extérieur des enceintes puis vers la mer.

Immédiatement après l'accident, l'activité de l'eau de mer à moins de 500 m de la centrale représentait de l'ordre de 100 kBq/L pour ^{131}I et 50 kBq/L pour ^{137}Cs .

À partir du mois d'avril 2011, l'activité de ces deux radionucléides a chuté à 100 Bq/L.

Après la mi-juillet 2011, l'activité du ^{137}Cs , dans la plupart des prélèvements, était inférieure à la limite de détection (5 Bq/L). Cette décroissance a résulté de la dilution par les courants marins de l'eau de mer polluée. Ce phénomène de dilution active a été favorable à la diminution de l'impact de l'accident dans les eaux côtières. Les eaux contaminées ont été transportées rapidement vers l'Est, puis vers le centre du Pacifique, où elles ont continué de se diluer sous l'effet de la dispersion des eaux marines.

Les concentrations en 2015 en ^{137}Cs à plus de 100 km de la centrale variaient de 0,002 à 0,007 Bq/L.

L'accident a provoqué une pollution des sédiments dans la zone littorale. Les résultats des mesures ont montré que l'activité du ^{137}Cs variait de 1 Bq à 10 kBq/kg sec, sauf à proximité de l'émissaire de la centrale où l'activité était de 150 kBq/kg sec. Depuis 2011 l'activité du ^{137}Cs dans les sédiments décroît très lentement.

La pollution radioactive en mer a également provoqué un impact sur les espèces marines.

Depuis 2016, l'activité des radiocésiums, dans les différentes espèces d'organismes marins et en particulier dans les espèces qui vivent proches des sédiments (comme les démersaux), est inférieure à la norme autorisée pour la commercialisation (inférieure à 100 Bq/kg frais). Parmi les produits marins, les niveaux de contaminations les plus élevés, concernaient les lançons japonais pêchés au stade juvénile en avril 2011. L'activité maximale mesurée pour les radiocésiums a été de 12 500 Bq/kg frais dans cette espèce. En mars 2017, lors de la visite, dans le port d'Isobe, de l'usine qui conditionne cette espèce de poissons, nous avons constaté que l'activité des radiocésiums n'était que de 7 Bq/kg frais et en octobre 2017

l'activité n'est plus que de 3 Bq/kg frais. L'activité du potassium 40 (^{40}K) radionucléide naturel qui a le même cycle que le césium, est en moyenne dans les poissons de 100 Bq/kg frais.

8.4 La contamination des denrées alimentaires immédiatement après l'accident

Les dépôts de substances radioactives qui se sont formés lors de la dispersion du panache radioactif ont entraîné une contamination des parties aériennes des plantes et ont contaminé les productions végétales et animales rentrant dans l'alimentation humaine.

Les Normes Maximales Admissibles de commercialisation (NMA) étaient de 2 000 Bq/kg frais pour ^{131}I et 500 Bq/kg frais pour les radiocésiums jusqu'en mars 2012. Depuis cette date, la NMA a été ramenée à 100 Bq/kg frais. En Europe et aux USA, cette NMA est de l'ordre de 1 000 Bq/kg frais.

Les niveaux de contamination les plus importants des denrées ont été atteints immédiatement après les dépôts radioactifs et ont concerné les denrées végétales dont les feuilles ont reçu ces dépôts. A la sortie de l'hiver 2011, seules quelques productions maraichères étaient en cours, notamment des légumes feuilles (épinards, salades, choux...). Sur les zones non évacuées parmi les plus touchées par les retombées radioactives (notamment Iitate-Mura et Kawamata-Machi évacuées à partir du mois d'avril), les activités massiques de ces denrées particulièrement sensibles ont atteint quelques dizaines de milliers de Bq/kg frais d'iode-131 ou de radiocésiums. Cette contamination a ensuite diminué rapidement, d'un facteur 100 à 1 000 fois en 2 à 3 mois.

La contamination des produits laitiers et de la viande a été limitée par la pratique, courante au Japon, d'alimenter les animaux avec des fourrages importés et stockés à l'abri dans l'attente de leur distribution.

En ce qui concerne les autres produits de l'élevage, les analyses réalisées sur de la viande de poulet et sur des œufs, n'ont que très rarement détectés des traces d'iode-131 ou de radiocésiums. Ceci est cohérent par le fait que les aliments céréaliers consommés par ces animaux provenaient de céréales récoltées avant l'accident. Il en est de même pour la viande et les abats de porc.

La viande de gibiers (sangliers, ours noirs, cerf, faisans, gibiers d'eau) a dépassé couramment les normes de commercialisation en particulier pour la viande sanglier et d'ours dont les activités variaient de quelques dizaines à quelques milliers de Bq/kg frais (activité maximale 14 600 Bq/kg frais)

Sur la préfecture de Fukushima, le nombre de dépassements de la norme de commercialisation ne représente que 2,8 % des échantillons analysés en 2011. Le plus souvent, les activités mesurées étaient parfois 5 fois inférieures à ces normes.

Ainsi, la contamination des productions agricoles et des productions issues de l'élevage est restée majoritairement très en-deçà des normes de commercialisation qui étaient appliquées en 2011.

La plupart des denrées japonaises ont donc été relativement épargnées en raison de la date de l'accident (la saison n'était pas encore à la pousse de la végétation et très peu à la saison de la production de fruits). Il est important de souligner que si l'accident était survenu 3

ou 4 mois plus tard, de nombreuses récoltes de 2011, fruitières et céréalières notamment, auraient atteint des niveaux de contamination très élevés comparables à ceux observés dans les légumes-feuilles ou les pousses de bambou.

À partir de 2012 et à de rares exceptions près, les dépassements de la nouvelle norme japonaise de 100 Bq/kg frais n'ont plus concerné que :

- les denrées sauvages (gibiers, champignons saisonniers) ou cultivées en milieu naturel (champignons) ;
- les denrées issues de végétaux qui avaient des feuilles en mars 2011 au moment des retombées radioactives (pousses de bambou, feuilles de thé, pousses d'aralia, de koshiabura, crosses de fougères) ;
- quelques denrées agricoles (végétales) cultivées dans les localités situées en périphérie de la zone évacuée, notamment du riz, du sarrasin, des graines de soja et des haricots rouges.

8.5 La contamination des aliments quatre ans plus tard

À partir de 2015, les quelques denrées avec des valeurs supérieures aux normes maximales de commercialisation ne concernent plus que les deux premières catégories. Pour les légumes, les activités pour les radiocésiums sont inférieures à 20 Bq/kg frais. Pour les fruits, celles-ci sont inférieures à la norme de commercialisation de 100 Bq/kg frais, y compris pour les abricots japonais, cerises, kakis dont l'activité des radiocésiums était la plus importante en 2011 et 2012.

8.6 Conséquences de l'accident sur la population

8.6.1 Exposition externe

L'IRSN a évalué les doses reçues par les populations qui résidaient dans les territoires touchés par les dépôts radioactifs pendant la période de rejet du 12 au 25 mars 2011 à l'intérieur d'un rayon de 20 km. Des doses efficaces (dose externe plus dose interne) de 50 mSv auraient pu être atteintes, dues majoritairement à l'exposition interne par inhalation (70 à 80%) et secondairement par l'exposition externe due aux dépôts (15% à 20%). Au cours de cette période, compte tenu des conditions météorologiques, les doses estimées auraient commencé à devenir significatives à partir du 15 mars. À cette date, les autorités japonaises avaient annoncé avoir achevé l'évacuation de 80 000 personnes qui résidaient dans la zone des 20 km. Cette évacuation décidée le 12 mars a évité à la population de recevoir des doses importantes.

Entre novembre 2011 et mars 2013, dans la zone des 80 km, le débit de dose dans l'air ambiant dû aux radiocésiums déposés a diminué de 40%.

Au mois de juin 2011, les autorités sanitaires japonaises ont conçu et mis en place des études épidémiologiques. Elles sont prévues pour une durée d'environ 30 ans et ont été initiées pour les 2 millions de personnes concernées.

En 2017, les résultats de cette étude ont permis d'évaluer la dose externe reçue par la population de la préfecture de Fukushima pendant la période immédiatement après l'accident entre le 11 mars et le 31 mai 2011. La figure 2 récapitule les doses reçues par les 448 948

habitants qui ont répondu à l'enquête. Pendant cette période, la dose la plus importante a été évaluée à 25 mSv.

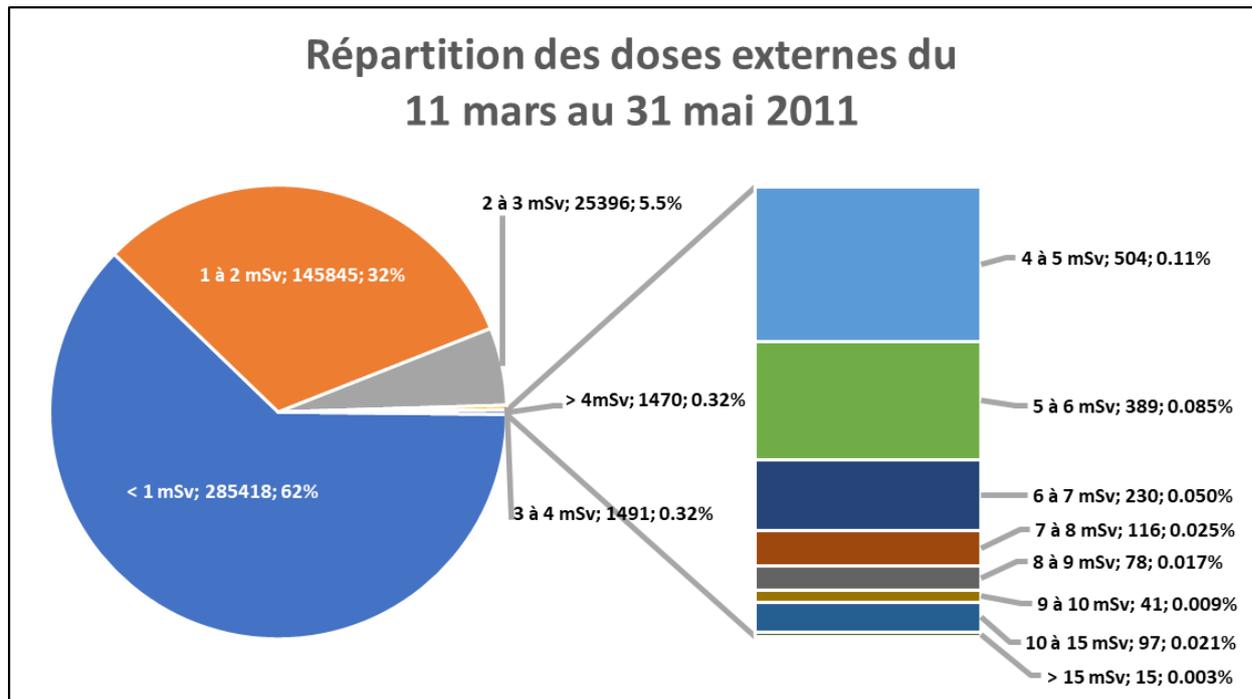


Figure 2 : Répartition de la dose externe
(dose externe reçue ; nombre d'habitants ; pourcentage de la population)

Repère de comparaison :

À titre de comparaison, nous avons profité de la mission organisée par les CLI du Cotentin en mars 2017 pour établir un bilan dosimétrique (exposition externe) toutes les 15 minutes en continu et cela depuis l'arrivée à Tokyo et jusqu'au retour à l'aéroport de Paris (CdG). La figure 3 rassemble les mesures et les constatations sont parlantes :

- la variation du débit dose moyen en mars toutes les 15 minutes à Tokyo, dans les différentes villes impactées par les rejets radioactifs, ainsi que lors de la visite de la centrale accidentée le 14 mars 2017 (couleur bleue) ;
- la variation du débit dose moyen à Cherbourg pendant la même semaine (couleur orange) ;
- le débit de dose moyen pendant le vol Tokyo-Paris (couleur verte).
- le débit de dose moyen journalier dans les différentes villes impactées par l'accident ainsi que dans la centrale accidentée (encadré en noir).
- le débit de dose journalier moyen à Cherbourg (encadré en orange)

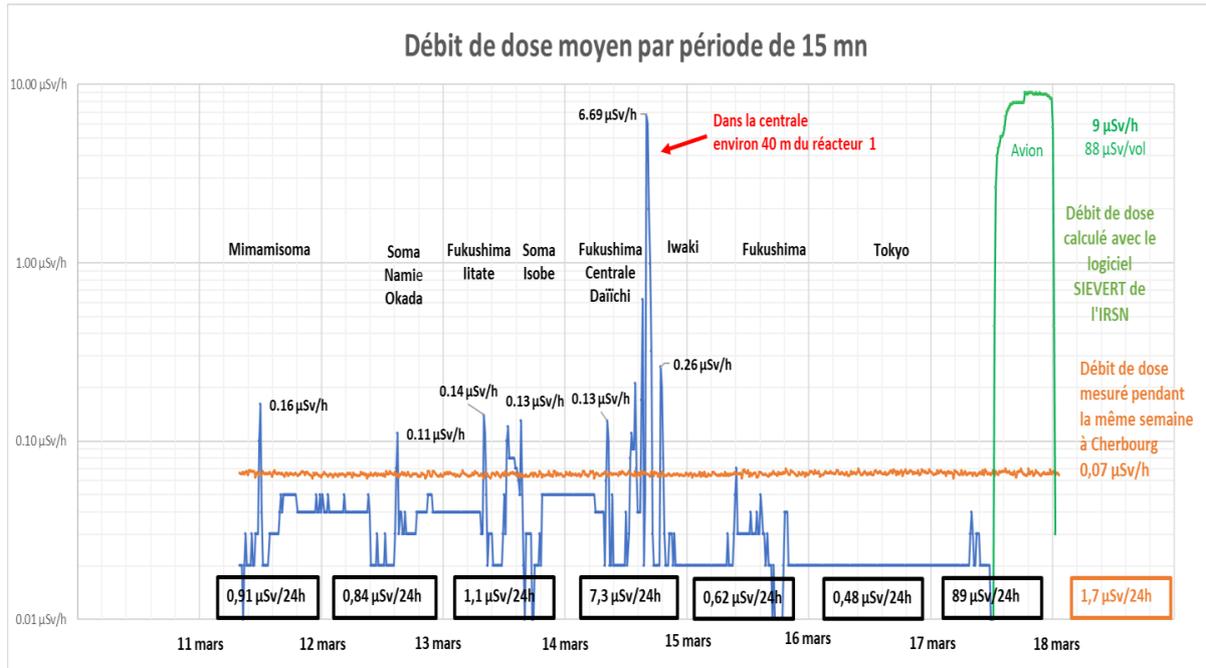


Figure 3 : Débits de dose mesurés pendant la semaine du 11 mars au 18 mars 2017 au Japon lors du passage ou du séjour dans les différentes villes.

À partir de ces mesures, on peut constater que le débit de dose journalier moyen dans les villes impactées par l'accident est inférieur à celui mesuré à Cherbourg (1,7 µSv/24h) sauf pour le jour de la visite de la centrale accidentée (7,3 µSv/24h). Lors du vol Tokyo-Paris (11h) la dose reçue correspond à 88 µSv (débit maximal 10,6 µSv/h).

Nous disposons aussi des débits de dose maximaux pendant chaque période de 15 minutes et nous constatons que la dose reçue à 30 m du réacteur accidenté N°1 (40,6 µSv/h) correspond à celle reçue pendant 4 heures (10,6 µSv/h) lors du vol Tokyo – Paris !

8.6.2 Dose équivalente à la thyroïde chez les enfants

Une autre étude consistait à faire un bilan thyroïdien de tous les enfants de moins de 18 ans qui se trouvaient dans la préfecture de Fukushima pendant la période des rejets. Cette étude a pour objectif principal la mise en évidence d'une éventuelle augmentation des cancers de la thyroïde telle qu'elle a été observée chez les enfants exposés aux retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl.

Les résultats de cette étude, réalisée sur 1 080 enfants qui étaient restés dans les zones les plus impactées pendant la période du 24 mars au 30 mars 2011 par les rejets d'iodes radioactifs, montrent que, chez ces enfants, la dose d'exposition de la thyroïde n'a pas dépassé 0,2 µSv/h (dose préconisée par la Commission Internationale de Protection Radiologique). La figure n°4 montre la répartition de la dose équivalente à la thyroïde (dose reçue par l'organe thyroïde) chez les 1 080 enfants les plus exposés.

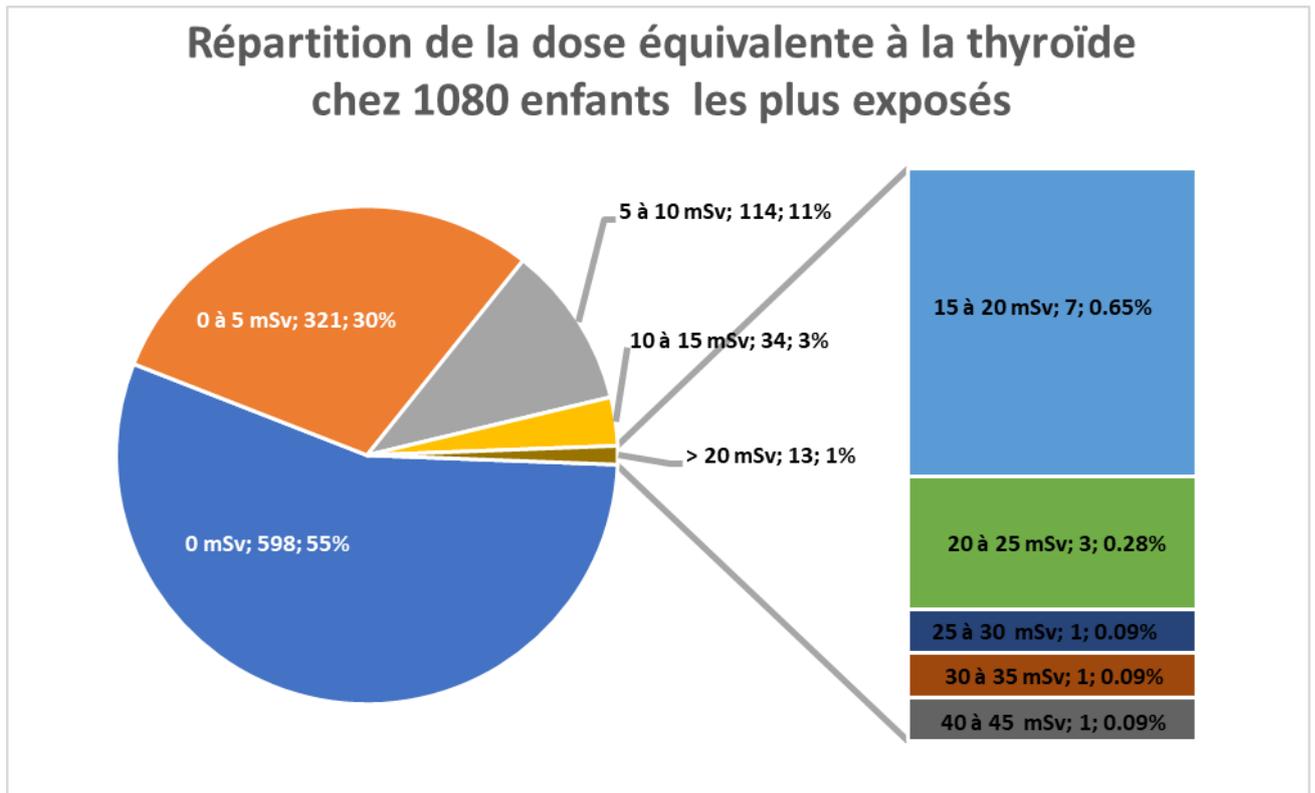


Figure 4 : Répartition de la dose équivalente à la thyroïde chez les 1 080 enfants les plus exposés (équivalent de dose à la thyroïde ; nombre d'enfants ; pourcentage de la population d'enfants)

Plusieurs campagnes de dépistage ont été réalisées. Lors de la première campagne réalisée entre avril 2011 et avril 2014, 300 476 enfants sur les 367 685 enfants conviés, ont bénéficié d'une échographie de la thyroïde. Parmi ces 300 476 enfants ayant bénéficié d'une échographie, 2 294 enfants ont été identifiés comme devant bénéficier d'examens complémentaires (deuxième échographie, dosage d'hormones, biopsies des nodules...). Ces examens complémentaires réalisés sur 2 056 enfants ont mis en évidence chez 113 d'entre eux des kystes ou nodules à caractère malin qui ont nécessité chez 99 enfants l'ablation de la thyroïde.

Selon ces données, l'incidence des cancers de la thyroïde chez les enfants âgés de moins de 18 ans est de 11 pour 100 000 sur la période 2011-2014. Mais cette incidence basée sur une campagne de dépistage systématique ne peut pas être comparée à celle estimée sur la base de données enregistrées en dehors de toute campagne de dépistage systématique.

La seconde campagne de dépistage des cancers de la thyroïde, réalisée chez 236 595 enfants entre avril 2014 et décembre 2015, a permis d'identifier 1 819 enfants qui ont bénéficié d'examens complémentaires. Chez 51 de ces enfants, des kystes ou des nodules à caractère potentiellement malin ont été constatés. Une ablation chirurgicale de la thyroïde a été réalisée chez 16 d'entre eux. Les autres enfants font l'objet d'un suivi particulier.

La comparaison d'incidence entre les deux campagnes de dépistage ne montre pas pour le moment d'augmentation significative de nouveaux cas de cancer de la thyroïde chez les enfants âgés de moins de 18 ans au moment de l'accident.

Aucun élément ne permet à ce jour d'affirmer qu'il y aura une augmentation des cancers thyroïdiens chez les enfants de la préfecture de Fukushima. Il faut attendre les résultats d'incidence de la campagne 2016-2018 pour qu'un lien avec l'accident soit éventuellement établi.

8.6.3 Anomalies génétiques

Une étude sur les anomalies génétiques et congénitales pouvant apparaître chez les enfants nés de femmes ayant déclaré une grossesse entre le 1er août 2010 et le 31 juillet 2011 a été initiée. Cette étude viendra compléter celle commencée en 2010 dans une douzaine de régions du Japon par le ministère japonais de l'Environnement.

Actuellement le taux d'anomalies génétiques et congénitales, de naissances prématurées, de fausses couches n'a pas augmenté et reste comparable à la moyenne nationale japonaise.

8.6.4 Conséquences sur l'état général de santé de la population

La dernière étude consiste à recenser les bilans médicaux des personnes évacuées des zones les plus exposées aux retombées radioactives. Les informations recueillies sur ces personnes permettent de connaître leur style de vie, leur état psychologique ainsi que tous les troubles pathologiques (cancers, leucémies, diabète, troubles hépatiques et rénaux, hypertension...) et les examens radiologiques pouvant venir s'ajouter à la dose externe reçue (scanners en particulier). Un suivi complémentaire spécifique sur dix ans des troubles psychologiques a été mis aussi mis en place.

Le suivi de l'état général de santé des personnes évacuées a fait apparaître dans les premières années après l'accident, une augmentation de poids, des problèmes hépatiques (probablement à cause de la consommation d'alcool due à l'inactivité), des insuffisances rénales et des syndromes dépressifs particulièrement chez les mères qui transmettaient leurs angoisses à leurs enfants.

Actuellement une amélioration de l'état physique des personnes évacuées a été constatée, celle-ci est liée à l'amélioration des conditions de vie qui s'étaient dégradées après l'accident.

8.7 Dosimétrie chez les travailleurs

Au moment de l'accident de Fukushima Daichi la limite d'exposition (dose efficace) des travailleurs au Japon était de 50 mSv par an sans pouvoir dépasser la dose de 100 mSv sur 5 ans. La limite d'exposition d'urgence était fixée à 100 mSv au moment de l'accident, cette limite a été portée à 250 mSv par une ordonnance du 15 mars 2011. Cette limite de dose est restée en application jusqu'au 1 novembre 2011, à partir de cette date la législation japonaise a ramené à 100 mSv cette dose pour une situation d'urgence sauf pour une cinquantaine de travailleurs chargés de maintenir le refroidissement des réacteurs. Pour ces travailleurs la dose d'exposition de 250 mSv a été maintenue jusqu'au 30 avril 2012.

La figure 5 pour ce qui est des conséquences présente la distribution des doses efficaces (exposition externe et interne) reçues par les 40 000 travailleurs qui sont intervenus sur le site de mars à novembre 2011.

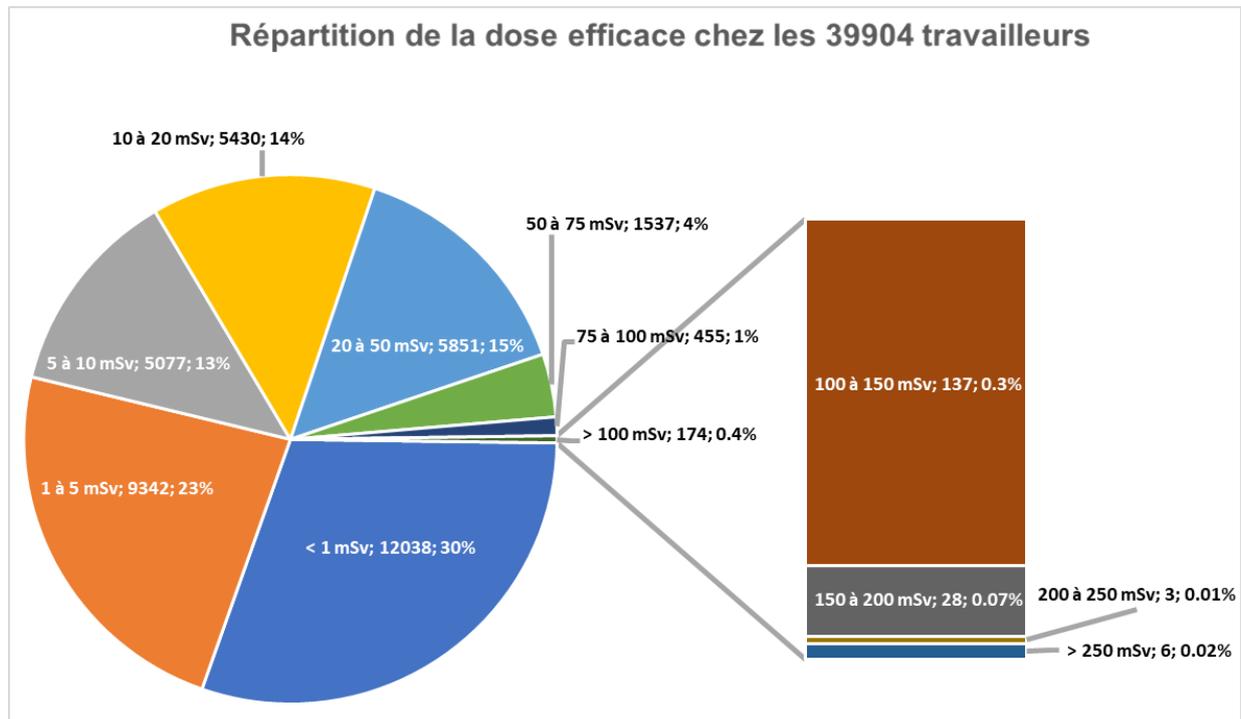


Figure 5 : Distribution des doses reçues par les travailleurs (dose efficace ; nombre de travailleurs ; pourcentage de travailleurs)

La dose efficace maximale pour un travailleur a été de 679 mSv avec la dose interne la plus élevée de 590 mSv. Pendant cette période de mars à novembre 2011. La dose efficace moyenne pour l'ensemble des travailleurs a été de 12,4 mSv. Les sous-traitants ont reçu une dose 2 fois inférieure à celle reçue par les salariés de TEPCO.

Pour ce qui les conséquences sur la santé de ces travailleurs exposés, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime d'une façon générale :

- qu'il apparaît improbable que les travailleurs ayant reçu une dose supérieure à 100 mSv présente une augmentation significative des cataractes ;
- que les travailleurs, ayant reçu une dose supérieure à 500 mSv, ont un risque accru de maladie cardiovasculaire à long terme ;
- que pour les deux tiers des travailleurs, les risques de cancer sont d'un niveau comparable aux fluctuations du taux de base ;
- que pour un tiers des travailleurs, l'augmentation du cancer de la thyroïde par rapport aux taux de base³ est estimée entre 1,4% (travailleurs âgés de 60 ans et plus) à 20% (travailleurs âgés de 20 ans et plus) ;

³ Le registre des cancers de la préfecture de Fukushima ayant été commencé après 2007 aucune statistique apparaît dans la publication de Cancer Incidence in Five Continents (2014). Par contre pour la préfecture Miyagi contiguë et située au Nord de la préfecture de Fukushima un registre existe depuis 1959. Les statistiques montrent que le taux de cancer de la thyroïde pour tous les âges confondus est de 2,4 cas pour les hommes et de 10,7 cas pour les femmes pour 100000 pendant la période 2003 à 2007.

- que pour moins de 1% des travailleurs ayant reçu les doses les plus élevées, l'augmentation relative de la leucémie⁴ et du cancer de la thyroïde par rapport au taux de base est estimée à 28% chez les plus jeunes ;
- que pour les travailleurs ayant reçu de très fortes doses à la thyroïde supérieure à 10 000 mSv, une augmentation notable du cancer de la thyroïde notamment chez les travailleurs les plus jeunes (risque attribuable vie entière de 356/10 000).

Sur la base d'estimations de doses réalisées à partir de données plus récentes et consolidées, le Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) a également évalué les risques à long terme pour la santé des travailleurs. Ses conclusions sont concordantes avec celle de l'OMS.

8.8 Décontamination et stockage des déchets contaminés

Depuis 2011, des actions visant à la décontamination d'une partie de ce territoire ont été entreprises, sur la base de préconisations des autorités publiques ou d'initiatives locales.

Un premier retour d'expérience montre que l'efficacité des techniques de décontamination qui consistent à gratter la surface des sols, à traiter les surfaces avec de l'eau, à retourner la terre..., est très variable suivant les surfaces traitées (décontamination de 50% à 70% de l'activité initiale).

Les volumes des déchets produits sont estimés à 22 millions de m³. L'État japonais n'ayant pas défini encore de solution de stockage définitif, les déchets sont répartis dans de petits entreposages sur les sites de décontamination ou dans des entreposages municipaux.

Dans toutes les préfectures, les déchets présentant une activité inférieure à 8 000 Bq/kg sont envoyés dans des décharges classiques gérées par les municipalités.

Pour la préfecture de Fukushima en août 2016, le tableau 1 résume les résultats de la décontamination avancés par le ministère de l'environnement japonais :

<i>Préfecture de Fukushima</i>	<i>Cibles à décontaminer</i>	<i>Travaux de décontamination terminés</i>
Établissements publics	11 812	≈ 90%
Logements et bâtiments	418 513	Proche de 100%
Routes	17 508 km	≈ 60%
Terres arables et pâturage	54 111 ha	≈ 90%
Logements et routes	4 755 ha	≈ 60%

Tableau 1 : Avancement de la décontamination

Dans les quartiers de certaines villes (Futaba, Okuma, Namié, Mimamisoma) où le débit de dose dépasse 50 mSv/an, la décontamination a été suspendue.

Pour les autres préfectures à la même période (2016) la décontamination est terminée à presque 100%.

⁴ Les statistiques montrent pour la préfecture de Miyagi que le taux de leucémies pour tous les âges confondus est de 5,7 cas pour les hommes et de 4,5 cas pour les femmes pour 100000 pendant la période 2003 à 2007.

9 Les conclusions que nous pouvons énoncer à ce jour.

La première de ces conclusions réside en fait dans cette déclaration ci-dessous faite par la commission indépendante Japonaise. Nous nous permettons de vous la rappeler « *Ce que nous devons admettre, même si c'est douloureux, c'est qu'il s'agit d'une catastrophe « Made in Japan ». Ses causes fondamentales se trouvent dans les conventions profondément ancrées dans la culture japonaise : notre réflexe d'obéissance, notre réticence à remettre l'autorité en question, notre ardeur à « coller au programme », notre collectivisme, notre insularité. » (Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission). L'origine de l'accident est considérée comme « made in Japan » de l'avis même de la commission indépendante Japonaise : c'est certainement en partie vrai. Cependant, il convient de rester prudents compte tenu des événements antérieurs que nous avons vécus, comme l'accident de TMI aux USA ou celui Tchernobyl en Union Soviétique.*

Ensuite, il convient de considérer que même les événements d'une taille inhabituelle sont gérables comme les chiffres le démontrent. Il convient en effet de rappeler quelques chiffres au sujet de la population en décembre 2016 : au total 470 000 personnes ont été évacuées parmi ces personnes 160 000 ont été déplacées du fait de l'accident nucléaire. Ces personnes déplacées se répartissent : 86 000 personnes comme considérées évacuées ; 26 000 personnes qui ont préféré partir de crainte d'être évacuées plus tard ; 48 000 personnes parties volontairement compte-tenu de la situation. Alors que le gouvernement table sur un retour des habitants dans la plupart des zones d'ici à mars 2017 seules 8 à 10 % des personnes évacuées souhaitent retourner dans les secteurs décontaminés selon un sondage. Il faut noter en outre que le gouvernement japonais a cessé depuis mars 2017, de verser les aides aux personnes délocalisées, compte-tenu qu'une très grande partie du territoire a été décontaminée et les habitations reconstruites.

Voici les chiffres officiels :

Le tsunami a dévasté 561 km² de terre, occasionné la mort de 18 500 morts et disparus et sinistré 160 000 personnes.

Les destructions ont été considérables à savoir 126 000 maisons emportées, 272 400 bâtiments détruits à 50% et 743 000 autres plus partiellement détruits.

53 000 logements provisoires ont été reconstruits. D'autres personnes ont été hébergées ailleurs dans le domaine public ou privé et les infrastructures vitales ont été restaurées ; elles concernent trois préfectures.

Le coût total représente 205 milliards d'euros en cinq ans pour la partie sinistrée par le tsunami et de l'ordre de 203 milliards supplémentaires pour les dépenses inhérentes aux installations nucléaires.

Et malgré cela, le Japon a professé un plan énergie voté en avril 2014 portant sur 20 ans où le nucléaire est maintenu comme une source d'énergie indispensable. C'est ainsi que des demandes d'autorisation pour démarrer la production d'électricité de 22 réacteurs ont été déposées (février 2016), que la construction de deux réacteurs ayant débuté avant le sinistre, est poursuivie et que la mise en service du retraitement des combustibles usés est également poursuivie.

Mais en dehors de ces considérations nationales ou supranationales, nous en tirons également quelques considérations résultant de réflexions personnelles à la suite de la mission effectuée deux fois sur le site de Fukushima, dont la dernière en date du mois de mars 2017. Considérations que nous pouvons énoncer ainsi :

- Six ans après l'accident, ce qui ressort en priorité, c'est la volonté de reconquête de ces espaces de vie par les Japonais, quelles que soient leurs opinions ou responsabilités dans la société (agriculteurs, pêcheurs, commerçants, fonctionnaires, médecins et ouvriers et ingénieurs de TEPCO...).
- Le fait que cet accident nucléaire soit la conséquence d'une catastrophe naturelle hors normes, ne doit pas nous dispenser d'en tirer tous les enseignements possibles. Il nous semble de deux ordres, l'un technique avec comme objectif de durcir encore la sûreté de nos installations, l'autre sociétale : comment se préparer à faire face à un événement imprévu ?
- Enfin sur l'aspect sociétal, le problème est beaucoup plus complexe mais le point majeur que nous en retirons, c'est la nécessité d'une meilleure connaissance par l'ensemble des populations vivant près d'installations nucléaires, de ce qu'est la radioactivité pour éviter panique et comportement inadapté associé. À partir de cette prise de conscience, à froid, on pourra bâtir des procédures et plans d'action optimisés et compris.

Quel que soit notre opinion sur cette énergie elle restera encore pour longtemps dans notre environnement.

Octobre 2017

Bibliographie

- Conférence de Jean-Pierre Pervès—ingénieur commissariat à l'énergie atomique et directeur pour plusieurs centres du CEA.
- IRSN - Bilan des conséquences de l'accident de Fukushima sur l'environnement au Japon, un an après l'accident (28 février 2012)
- IRSN - Évolution au 66^{ème} jour après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima des doses externes projetées pour les populations vivant dans la zone de retombées Nord-Ouest
Rapport DRPH/2011-10
- IRSN - Les conséquences sanitaires de l'accident de Fukushima
Estimation des doses potentiellement reçues par la population japonaise
Point de la situation en décembre 2013
- IRSN - Évolution au 66^{ème} jour après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima des doses externes projetées pour les populations vivant dans la zone de retombées Nord-Ouest
Rapport DRPH/2011-10
- SFRP - Bilan sanitaire et enseignements de l'accident de Fukushima – Alain Rannou (mars 2015)
- IRSN - Les conséquences sanitaires de l'accident de Fukushima
Bilan des études épidémiologiques conduites sur les habitants de la préfecture de Fukushima Point de la situation en 2015
- IRSN - État de contamination du milieu marin en 2015, suite à l'accident de la centrale de la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi (mars 2016)
- IRSN - Activités de césium déposées sur les territoires et débits de dose extérieurs ambiants associés après l'accident de Fukushima-Daiichi (mars 2016)
- IRSN - Contamination des denrées japonaises suite à l'accident de Fukushima (mars 2016)
- IRSN - Décontamination et gestion des déchets (mars 2016)
- IRSN - Suites de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi en mai 2011 – point de la situation en mars 2016
- IRSN – Premiers retours et intention de retour des populations évacuées suite à l'accident de Fukushima Daiichi (mars 2016)
- Ministère de l'environnement Japonais - Centre d'information sur la décontamination - AOKI Hitoshi - mars 2017
- Agence pour la Reconstruction du Japon
- Études épidémiologiques de l'Université médicale de Fukushima - mars 2017
- Cancer Incidence in Five Continents, Vol X, IACR, 2014
- Compte rendu de mission à Fukushima ; Bernard Rozé
- Compte rendu de mission à Fukushima ; Yves Baron