



RADIOPROTECTION CIRKUS

Document technique

Radioprotection Cirkus - 8, rue du Valois, 91940 Les Ulis - www.rpcirkus.org - contact@rpcirkus.org
Association loi 1901 créée le 9 mars 2010 - n° W913002355 - enregistrée à la sous-préfecture de Palaiseau

Titre :	Synthèse sur l'accident de Fukushima
Auteurs :	Radioprotection Cirkus
Nom du document :	PointaccidentFUKUSHIMAJuillet2011
Version et date :	Version 1 - 22/07/2011
Résumé :	<p>Certains d'entre vous souhaitaient que nous fassions une synthèse, un point de situation sur Fukushima. Même si les médias n'en parlent plus en ce moment, la situation est loin d'être résolue et nous sommes toujours dans une phase accidentelle, alors que dans le même temps la phase post accidentelle a commencé.</p> <p>Le nombre d'informations qui circulent est considérable. Et il est difficile de distinguer le vrai du faux. Cependant nous allons tenter à plusieurs de faire un bilan avec les éléments que nous avons pu réunir. Une partie de ceux-ci proviennent des discussions que nous avons eues sur le forum « spécial Japon ».</p> <p>Il est essentiel de dire en préambule que nous ne prétendons pas détenir la vérité. Nous allons donner un certain nombre de points de vue, poser un certain nombre de questions qui ne sont que très rarement abordées et d'après les hypothèses, présenter ce que pourrait être la réalité en précisant que nous pouvons, nous aussi, nous tromper.</p> <p>Un certain nombre d'éléments ont été avancés par différentes personnes sur le forum. Certains propos n'engagent que leurs auteurs. Même si le Radioprotection Cirkus a une responsabilité dans la diffusion de ces propos, nous n'avons pas eu la possibilité de tout vérifier.</p> <p>Nous demandons donc aux lecteurs du document qui auraient des informations contradictoires fiables de nous les faire parvenir afin que nous fassions les rectificatifs nécessaires.</p> <p>Dans ce document, six thèmes vont être abordés :</p> <ul style="list-style-type: none">La cinétique de l'accidentL'état des tranches fin juin 2011 soit trois mois et demi après l'accidentLe traitement des déchets et effluents liquidesL'impact dosimétrique sur les intervenantsL'impact sur l'environnementL'impact sanitaire prévisionnel sur la population <p>Dans ces six thèmes, nous nous sommes efforcés d'être aussi factuels que possible. C'est le « meilleur état de l'art » dont nous avons connaissance.</p> <p>Cependant nous pensons que la situation est loin d'être stabilisée et que des questions majeures se posent encore sur la reprise de criticité, sur les coriums qui peuvent avoir ou non traversés les radiers, sur la récupération du combustible dans les piscines de stockage et des coriums, sur les traitements des effluents liquides, sur l'impact dosimétrique chez les intervenants et dans la population et sur le suivi épidémiologique qui sera réalisé dans le futur.</p>

Synthèse sur l'accident de Fukushima

Préambule

Quelques informations pour vous permettre de lire et décoder les informations et sigles :

Les heures sont données en heure locale (Japon)

TEPCO : Tokyo Electric Power Company - l'exploitant nucléaire

NISA : Nuclear and Industrial Safety Agency - l'autorité de sûreté nucléaire japonaise

MEXT : Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology in Japan - le ministère de l'environnement japonais

JAIF : Japan Atomic Industrial Forum - plateforme d'échanges et d'informations reprenant souvent les communiqués de la chaîne NHK

Nous vous proposons pour commencer de revenir au 11 mars 2011 et refaire un déroulé rapide des événements.

1 Cinétique de l'accident

11 mars 2011 à 14h46 : séisme magnitude 9,0 / profondeur 24,4 km

11 mars 2011 à 14h46 + 10 min : tsunami

Le séisme va provoquer l'arrêt automatique des réacteurs (c'est prévu dans les systèmes de sûreté) mais aussi la perte des alimentations électriques externes de la centrale. Pendant les minutes qui suivent les diesels de secours alimentent les réacteurs. Par contre le tsunami va provoquer la perte totale de l'alimentation en eau de mer du circuit secondaire de refroidissement et aussi la perte des alimentations électriques internes de secours (noyage des groupes électrogènes).

A partir de ce moment puisque l'eau froide n'arrive plus au niveau du cœur du réacteur, le combustible nucléaire se met à chauffer.

Comparé aux réacteurs à eau pressurisé qui possèdent trois circuits de refroidissement, il n'y en a que deux sur un réacteur de ce type.

Dans le cas d'un réacteur à eau pressurisée, le circuit primaire est totalement inclus dans la « troisième barrière » constitué par les enceintes de confinement (le bâtiment). Dans le cas d'un réacteur à eau bouillante le circuit primaire sort de l'enceinte de confinement.

Le circuit primaire est radioactif puisque c'est la vaporisation de l'eau du circuit primaire qui fait tourner la turbine. Le circuit secondaire va refroidir le circuit primaire et retransformer la vapeur en eau.

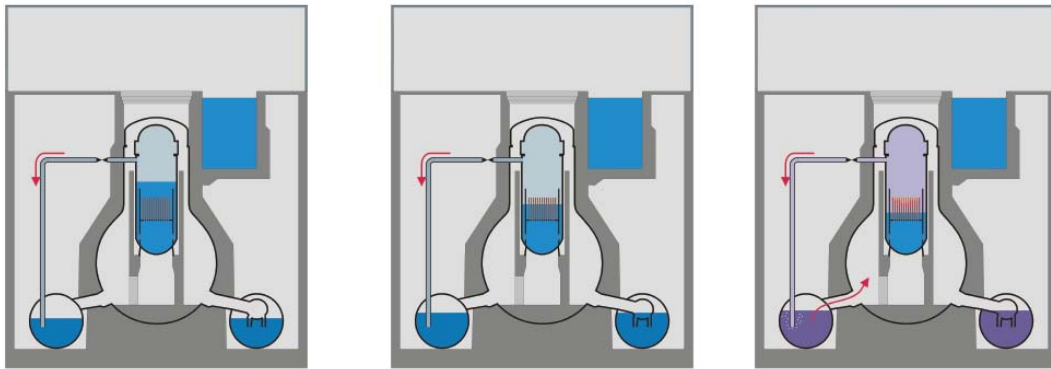
Pour refroidir la vapeur on utilise un condenseur. En fait le circuit primaire passe dans de l'eau froide (l'eau de mer) et c'est comme cela que l'on a de l'eau qui retourne dans le cœur du circuit primaire.

A ce moment, la pompe primaire est encore en action. La vapeur fait tourner la turbine. Elle est ensuite transformée dans le condenseur. L'eau est ensuite injectée dans le réacteur.

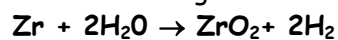
Mais il va être nécessaire d'avoir des batteries car l'alimentation électrique (pour faire tourner la pompe primaire) a disparu. La température dans le condenseur doit être inférieure à 100 °C.

Les batteries s'arrêtent. La chaleur résiduelle produit de la vapeur dans le cœur du réacteur et en quantité de plus en plus importante. Du coup le niveau d'eau descend dans le réacteur.

Les schémas simplifiés ci-après sont issus d'une présentation AREVA :



Le cœur se dénoie (= n'est plus sous l'eau) progressivement et la température monte de plus en plus. Elle dépasse les 1200 °C provoquant une réaction des gaines de zirconium chaud sur l'eau :



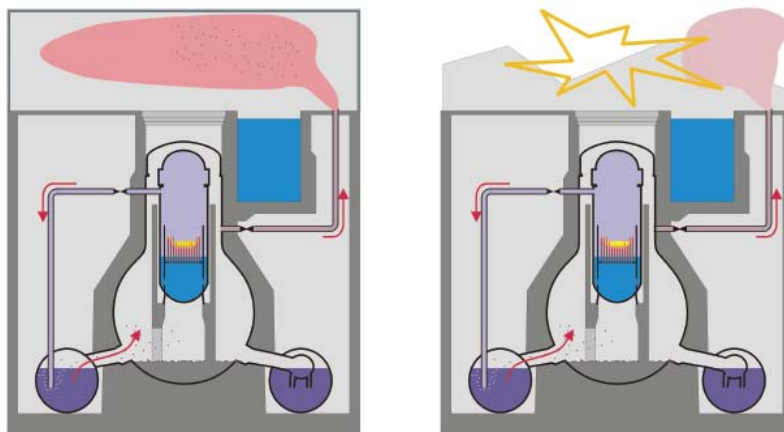
Une particularité des réacteurs à eau bouillante, fait qu'une augmentation soudaine de la pression de vapeur provoque par condensation une augmentation de la proportion en eau liquide. Pour éviter ces transitoires de pression les réacteurs sont équipés d'un ensemble de soupapes de sûreté qui évacuent la vapeur en surpression, recueillie après condensation dans un « tore humide » situé sous la cuve.

L'hydrogène part dans le condenseur mais remonte dans la cuve du réacteur

Les règles de sûreté recommandent de procéder à l'ouverture de la vanne de purge car la pression dans la cuve du réacteur dépasse les 8 bars.

C'est un point qui fait d'ailleurs controverse. Nous ne savons pas encore si l'action a été volontaire ou pas.

De par cette pression élevée, il y a un très grand risque d'explosion de l'enceinte de confinement. La pression se réduit alors à 4 bars mais l'hydrogène est dégazé en partie supérieure du bâtiment.



Il y a alors une violente explosion dans la partie supérieure du bâtiment réacteur n°1 entraînant l'effondrement du toit. Le mélange avec la vapeur entraîne un rejet de matières radioactives dans l'atmosphère, provoquant les premières contaminations atmosphériques.

Le 12 mars vers 20h20 une opération de noyage du cœur et/ou de l'enceinte de confinement du réacteur n°1 se fait par injection d'eau de mer borée (30 t/h).

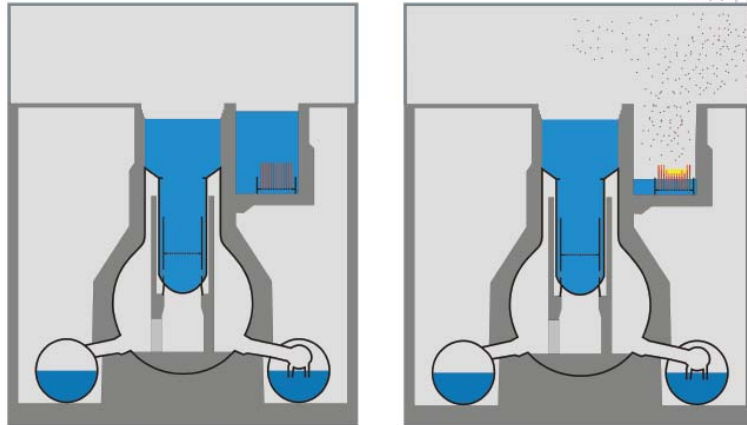
On utilise le bore car il a la propriété d'être un excellent absorbeur de neutrons. Cela permet d'arrêter dans un réacteur la réaction en chaîne.

Le dénoyage des assemblages de combustibles est estimé (**ce n'est qu'une estimation**) à une hauteur de 1,7 m. C'est plus que suffisant pour avoir une fusion possible du combustible.

Le 14 mars vers 11h00 le même scénario se reproduit sur le réacteur n°3.

Le 15 mars vers 06h10, une explosion se produit au niveau de la chambre de décompression en partie basse de l'enceinte de confinement du réacteur n°2. Une perte d'étanchéité est annoncée dans un premier temps puis démentie le 17 mars (20h30).

Après les réacteurs, c'est au tour des piscines de stockage des combustibles usés d'avoir des problèmes.



Les piscines sont équipées d'un système de circulation d'eau froide qui n'est plus assuré. Le combustible se met à chauffer et le niveau d'eau se met à baisser. La température augmente jusqu'à faire fondre les gaines de combustible et le combustible lui-même.

Un nouveau panache se forme, provoquant une nouvelle contamination atmosphérique.

Les mesures de radioactivité effectuées dans l'environnement à proximité de la centrale montrent une décroissance de celle-ci après l'explosion.

Les valeurs maximales de débit de dose atteintes ont été de l'ordre de 12 mSv/h à l'entrée de la centrale et 400 mSv/h à proximité du réacteur n°3.

Le 16 mars à 16h00 le débit de dose à l'entrée du site était de 1,5 mSv/h. Ce débit de dose a diminué progressivement, suite à la décroissance des radionucléides à vie courte.

2 Etat des tranches fin juin 2011 soit trois mois et demi après l'accident

2.1 Les déclarations de TEPCO à propos de l'état des réacteurs de Fukushima

TEPCO a écrit un rapport sur la construction des structures prévues pour couvrir les bâtiments. Le premier sera le réacteur n°1 d'ici septembre. La méthode de construction sera modulaire, et la structure sera préassemblée, démontée, puis remontée sur site. Le coût des structures prévues pour les tranches 1, 3 et 4 est estimé entre 15 et 20 milliards de Yens par unité.

100 yens = 0,88 euro (1 euro pour faire simple) soit 180 millions d'euros pour le calcul précédent.

Les travaux de la structure pour le réacteur 1 sont en cours au port d'Onahama, à 50km de la centrale. Les premiers éléments seront acheminés sur le site en juillet.

TEPCO a publié un rapport pour la NISA sur l'injection d'azote dans le réacteur 2, qui a effectivement démarré fin juin. On a injecté de l'azote (N₂) (que l'on définit comme « l'inertage ») dans tous les réacteurs pour éviter que l'hydrogène qui continue d'être émis explose. Le réacteur n°3 pose quelques

difficultés supplémentaires car il présente de forts niveaux de radioactivité empêchant les travaux d'installation.

Toujours fin juin, TEPCO a injecté de l'acide borique (90 t d'eau acidifiée) au moins dans la piscine du réacteur n°3 pour éviter que les racks qui contiennent les assemblages usés ne soient corrodés par l'eau devenue alcaline.

En prévision de l'installation d'un système de refroidissement sur la piscine de stockage du réacteur n°4, des employés ont pu accéder au 4^{ème} étage du bâtiment réacteur. Une conduite nécessaire au système est endommagée et la présence de nombreux débris rend les travaux de réparation et d'installation difficiles.

Quand on prend les tableaux de JAIF, à la fin du mois de juin on parle bien de fusion du combustible. Damage core melt pour les réacteurs 1, 2 et 3.

Au mois de juin TEPCO reconnaît que le combustible a fondu dans les réacteurs n°1, n°2 et n°3. Il est alors possible que ce combustible fondu ait percé les cuves (hypothèse : en plusieurs endroits). Il se serait alors écoulé en dessous sur le radier en béton.

2.2 Voilà les hypothèses que nous formulons par rapport à la situation aujourd'hui

Encore une fois ce ne sont que des hypothèses possibles car nous ne sommes pas sur place et nous jugeons la situation derrière notre ordinateur. C'est également un des enseignements de cet accident. Le nombre d'informations qui circulent sont considérables et toutes ne sont pas justes, pertinentes voire sensées. Distinguer le faux du vrai est une des difficultés majeures. Nous allons donc poser des questions rarement évoquées !

a) Le combustible a-t-il percé les cuves ou pas ?

Les réacteurs n°1 et n°3 ont probablement subi une fusion importante de leur combustible. Par fusion très importante, nous entendons, conformément aux modélisations, une fusion minimale de l'ordre de 60 à 75 % pour le réacteur n°3 soit 60 tonnes de corium environ et de l'ordre de 40 à 50 % pour le réacteur n°1 soit une vingtaine de tonnes de corium (le réacteur n°1 est plus petit). Il est « possible » qu'une partie du combustible fondu soit passée au travers des cuves.

On définit cette masse mélangée de combustible, éléments de contrôles, structures internes du réacteur et béton comme un corium.

Quand le corium traverse la cuve il peut le faire soit sous forme de "guyère" (des trous de quelques cm²) soit par rognage sur une surface plus importante (exemple avec Three Miles Island près d'1 m²).

On pourrait estimer que la fusion a été réalisée très vite (la première semaine) et que la traversée des cuves aurait pu se produire la semaine suivante. La situation du réacteur n°2 est plus incertaine.

On ne parvient pas à raccorder tous les éléments que l'on possède (les masses dans les piscines ne correspondent pas aux masses déclarées à l'AIEA, les masses ajoutées aux piscines lors du vidage (officiel) du réacteur pour maintenance ne correspondent pas aux masses normalement présentes dans le réacteur avant son arrêt, on ne sait rien du chargement : type et quantités... etc....)

Des émissions d'hydrogène (H₂) existent toujours (en témoignent les injections d'azote - N₂), ce qui tend à prouver que les masses sont toujours critiques.

b) Phénomènes de criticité ou pas ?

Des modélisations réalisées indiqueraient une reprise de criticité. Il y a même eu des signes de criticité très tôt (des bouffées neutroniques, par exemple, qui ont été enregistrées dès les premières heures/jours par les drones, et les hélicoptères qui déversaient de l'eau et certains relevés à plusieurs kilomètres de la centrale). Le corium en présence d'eau donne ces réactions.

Au niveau des débits de dose, les hypothèses feraient alors qu'on devrait observer les valeurs suivantes :

(ce ne sont que des ordres de grandeur qui peuvent être loin de la réalité de terrain et qui surtout sont très variables géographiquement) :

- A proximité des masses : quelques centaines de Sv/h par bouffées périodiques dont la fréquence et les variations quantitatives sont difficiles à évaluer.
- Dans l'enclume de confinement : des bouffées périodiques variables entre quelques dizaines et quelques centaines de Sv/h entre 50 et 300 Sv/h par exemple).
- Au premier étage (donc plus ou moins au niveau des eaux dans les soubassements) : de 1 à quelques Sv/h
- Entre les seconds étages et les plateaux techniques : de quelques mSv/h à quelques centaines de mSv/h (corroborés par les différentes mesures des personnes qui sont entrées dans les enceintes).
- A proximité des bâtiments (sur la route qui les borde) : de 1 à 10 Sv/h selon les bouffées.

Nous sommes enclins à penser qu'il y a des reprises de criticité.

c) Les radiers en béton percés ou pas ?

Le béton a tendance à se fissurer sous l'effet de la chaleur ou à fondre selon l'endroit où se passent les interactions. Le béton limite les pertes de neutrons (c'est un réflecteur) augmente la réactivité et donc les émissions neutroniques.

Les réactions après l'accident, de ce type de réacteur, ne correspondent à rien de modélisé ou de modélisable avec les données que l'on a (chaleur, éléments, type d'explosion etc...).

Si les cuves ont été percées, rapidement, le béton a donc subi l'interaction des coriums. Les boucliers inférieurs en béton spécial (qu'on appelle communément la "1/2 lune" sur les réacteurs à eau bouillante de conception américaine - les Marks - comme ceux de Fukushima), ont donc pu être percé entre quinze à trente jours après. Le radier, bien que très épais par rapport à cette "1/2 lune", tient pourtant moins bien et moins longtemps.

Ce qui nous incite à aller vers cette hypothèse (**peut-être erronée, encore une fois**) sont les bouffées neutroniques, la découverte de certains radionucléides spécifiques comme le tellure par exemple qui pourrait être le signe d'une interaction possible avec le béton, bien que cet élément chimique soit volatil.

Un capteur de l'installation montait sporadiquement jusqu'à 200 Sv/h puis redescendait. Les opérateurs ont conclu qu'il était défectueux ; est-ce si certain ?

Sur des vidéos (caméra installée sur le site par TEPCO) on voit de manière épisodique des quantités de vapeurs très importantes. Est-ce une interaction corium-eau qui provoque ces panaches ?

Il est actuellement très difficile de faire baisser la température de l'eau des réacteurs. Or une partie de la puissance résiduelle quatre mois et demi après l'accident aurait dû notablement baisser (dans le cas d'un combustible intègre). Il est donc possible d'avoir un corium actif (chaud à l'intérieur)

Nous n'avons pas eu accès aux résultats de mesures neutroniques ni de prélèvements d'aérosols par exemple qui nous permettraient de vérifier ou invalider l'hypothèse des radiers en béton altérés. Cependant **nous penchons vers un scénario où les coriums auraient pu traverser (au conditionnel**

encore une fois) à certains endroits les radiers (sur les réacteurs n°1, n°2 et n°3). Ce qui voudrait dire que sur les trois coriums, une partie est restée dans la cuve et une partie d'entre eux sont passés sous le radier.

Maintenant la question fondamentale qui se pose est : quelle masse de corium aurait pu traverser le béton ? Cela va de 0 jusqu'à pour un total maximum de l'ordre de 140 tonnes (60 pour le réacteur n°2 + 60 tonnes pour le réacteur n°3 + 20 tonnes pour le réacteur n°1). On se situe probablement entre ces deux valeurs avec une incertitude totale.

Une telle information, ô combien sensible, devrait être diffusée si elle est connue de ceux qui sont au contact de l'accident. Mais ce n'est pas dans l'air du temps (voir paragraphe 7).

A partir de là, il devient impossible d'émettre des hypothèses sur la suite. Il n'existe pas de modélisations propres au cas Fukushima. Or, le "devenir" des coriums sous le radier dépend de paramètres qui sont inconnus (peut-être pas des Japonais, mais des labos Européens, russes et semble-t-il également américains, en tout cas) comme la nature exacte des sols, les modifications apportées ou non aux plans initiaux par les constructeurs, l'hygrométrie des sols, la nature exacte des combustibles, etc.....

Reste également la question de l'alimentation en eau pour refroidir les réacteurs. Selon les questions que nous posons il n'est plus possible d'envisager d'avoir un refroidissement en circuit fermé. Mais du coup, nouvelle question : où va l'eau ? Et à quelle vitesse se produisent les fuites ?

d) Les piscines de stockage des combustibles usés

Celles-ci contenaient beaucoup d'assemblages, car l'usine de retraitement au Japon connaissait des difficultés dans son fonctionnement.

On peut penser qu'elles pourraient (pourront) être vidées de leur combustible mais pas avant au moins 3 à 5 ans pour diverses raisons (état des bâtiments, mise en place des couvertures, état de certains des combustibles avant de pouvoir être manipulés, contamination environnementale, impossibilité de ramener une température d'eau à une valeur "normale", étudier des dispositifs de transport et stockage temporaires et "définitifs", etc...)

Peut-on considérer la situation actuelle comme pérenne pour au moins ce délai ?

Le scénario du pire en ce qui concerne les piscines serait, bien évidemment, que l'une s'écroule vers l'extérieur, laissant partir son combustible ! **Les Japonais ne sont malheureusement pas à l'abri d'un séisme dans les 4 ans qui viennent...**

Il existe de grosses interrogations sur le réacteur n°4 (réacteur à proprement parler et dans le sens de la structure générale R4), son chargement, sur le contenu exact de ses piscines, sur le combustible....

On ignore (AIEA en tête), où se trouve une partie des combustibles. Plus exactement, les déclarations post-accident de TEPCO ne coïncident pas avec les déclarations faites à l'AIEA avant l'arrêt de ce réacteur.

Devant cette interrogation de l'AIEA (entre autre), TEPCO a émis l'hypothèse que l'hydrogène qui a occasionné l'explosion dans les niveaux inférieurs est venu du réacteur n°3 par les soubassements.

Nous n'avons malheureusement pas de plans exhaustifs des différents accès, galeries techniques et traversées possibles entre les réacteurs, mais cela a l'air pratiquement impossible.

e) Explosion ou pas (scénario envisagé après Tchernobyl et qui revient régulièrement) ?

Nous pensons qu'on peut maintenant écarter un risque d'explosion majeure (bien que nous ne connaissions pas de manière précise la nature des sous-sols et l'évolution géographique des masses). Ce n'est toujours qu'une hypothèse que nous formulons (en espérant avoir raison).

Par contre, **le risque de contamination majeure (durée et quantité) est bien réel !**

2.3 Les opérations de maîtrise et de remise en état du site de Fukushima

Ces opérations, d'après la « feuille de route » de TEPCO devraient s'échelonner sur plusieurs phases, en commençant par une phase d'urgence de reprise de contrôle de la centrale.

Cette phase initiale a démarré avec en particulier le traitement de plus de 100 000 tonnes d'eau contaminées de manière plus ou moins importante.

Si le combustible est à l'extérieur des enceintes, nous nous posons la question du « refroidissement des réacteurs ».

La phase de récupération des installations passera par le confinement des bâtiments. Le montage des structures de protection a commencé et il sera nécessaire, en particulier pour les piscines de stockage du combustible usé, de renforcer les structures dégradées afin de prévenir une catastrophe en cas de nouveau séisme. Cette phase devrait prendre quelques années.

Viendra ensuite le démantèlement du site, avec notamment la délicate opération de l'évacuation des cœurs. TEPCO annonce des interventions, mais pas avant une dizaine d'années.

Selon nous ce processus s'inscrit sur une période très longue, équivalente à la durée d'au moins deux générations humaines. Nous pensons aussi que la récupération du combustible et des coriums posera de nombreuses difficultés.

3) Le traitement des déchets et effluents liquides

3.1 Les déclarations de TEPCO à propos de la gestion des eaux contaminées à la mi-juin

Le 16 juin, lors d'un test simultané de l'installation française et américaine (facteur de décontamination de plus de 100 000), une fuite s'est produite sur l'installation américaine. De plus, TEPCO a dû arrêter le système moins de 5 heures après sa mise en service le 17 juin au soir, après qu'un des filtres césium de l'installation de Kurion [USA] ait atteint son niveau de radioactivité maximal (4 mSv/h), alors que celui-ci ne devrait être atteint qu'au bout d'un mois.

Le 20 au matin, une pompe de l'installation d'AREVA s'est arrêtée automatiquement à cause du flot excessif auquel elle était soumise. Les tests ont pu redémarrer 4 heures plus tard après réajustement du débit, et TEPCO pense continuer pendant encore 2 ou 3 jours la phase de test avant d'essayer de remettre en service l'installation.

Le bâtiment de stockage temporaire des effluents fortement radioactifs a atteint sa nouvelle limite de remplissage le 16 juin. Il y aurait déjà 110 000 t d'eau stagnante sur le site, et si rien n'est fait, des débordements pourraient intervenir dès la semaine prochaine.

En attendant le démarrage de l'installation de traitement des eaux, TEPCO a réduit le débit d'injection d'eau dans les tranches 1 à 3 tout en suivant de près la possible augmentation des températures. TEPCO prévoit aussi d'utiliser des réservoirs de stockage prévus pour les eaux décontaminées pour stocker dans le pire des cas de l'eau fortement contaminée.

Les valeurs en activité étaient pour l'eau contaminée :

Iode 131 : $1,5 \times 10^5$ Bq/cm³

Césium-137 : $1,3 \times 10^5$ Bq/cm³

Soit en fait une activité totale de $3 \cdot 10^{11}$ Bq/m³

Evidemment les 100 000 tonnes n'étaient pas contaminées à des valeurs comme celles mentionnées, mais cela représente une activité conséquente.

3.2 Ce que nous pensons de la situation aujourd'hui

Pour nous c'est une grande interrogation.

Il est certain que les déchets issus des eaux traitées (notamment les zéolithes usées), vont très vite devenir problématiques. Il en sera de même des gravats, déchets divers, etc..., dont certains présentent des taux de radioactivité très élevés induisant de forts débits de dose (1 Sv/h à 1 mètre et plus...)

A notre connaissance, il n'existe qu'un seul traitement possible : la vitrification et le stockage très longue durée. Le problème est que le Japon ne détient pas ces technologies ni les centres nécessaires et que les volumes (plusieurs dizaines de milliers de m³ sans doute à terme), sortent totalement des possibilités techniques y compris des pays possédant ces technologies et centres.

De toute façon, qui voudrait "accueillir" de tels volumes ?

Le cas échéant, le Japon serait-il capable de payer pour de tels travaux et de tels enfouissements ?

Localement, où le Japon (pays surpeuplé et sismique s'il en est) pourrait-il les mettre sans faire appel à l'étranger pour le stockage ?

Nous pensons qu'une solution (peut-être la seule "solution", mais est-ce « politiquement correct » comme on dit) serait que Fukushima (et sa région sur ???? km²) devienne une espèce d'énorme centre de "stockage" et ce pour des décennies ! Mais est-ce possible ?? Politiquement et techniquement cette « solution » n'est pas à l'ordre du jour. Cependant l'opérateur TEPCO et les autorités vont devoir se pencher sérieusement sur la question pour les dizaines d'années qui viennent. Cela ne serait bien entendu pas sans conséquence à plusieurs niveaux !!

Le système de décontamination des eaux n'est pas très performant. Il est affecté de multiples pannes et au début de sa mise en œuvre l'activité retenue a été atteinte en 2 heures alors que les concepteurs prévoient 24 heures de fonctionnement. En ce mois de juillet on peut considérer que le système n'a pu fonctionner qu'à 66% de ses capacités. Et comme il est dit dans les communiqués de presse : « TEPCO cherche des solutions pour regagner en efficacité ». Un autre système fourni par Toshiba va être installé.

En ce qui concerne les eaux contaminées à divers degrés. Une partie d'entre elles vont finir à terme dans l'océan (cela s'est produit avec les rejets des eaux contaminées des bâtiments auxiliaires et des eaux faiblement contaminées d'un des réservoirs de stockage) ou infiltrées dans les sols pour rejoindre les rivières, les lacs.... !

Enfin un autre problème va devoir être pris en compte, celui des boues de traitement. C'est crucial à Fukushima mais la question devra se poser dans l'ensemble de la zone contaminée.

4) L'impact dosimétrique sur les intervenants

4.1 Les éléments dosimétriques communiqués

Au 23 mai, les 7829 intervenants du site (2000 TEPCO + 5829 sous-traitants ou partenaires) ont été exposés à une dose moyenne de 7.7 mSv (soit une dose collective d'environ 60 Sv).

Au 4 juin, TEPCO déplorait 4 décès (2 disparus puis retrouvés suite au séisme, un choc à la tête suite au séisme, et plus récemment un décès suite à un malaise) et 37 blessés ou malaises. Le nombre de malaises augmente en raison de la contrainte du port des tenues de protection associé à la chaleur.

Les doses retenues pour les 2 personnes qui ont travaillé avec de l'eau fortement contaminée jusqu'aux chevilles sont 170 mSv (dose efficace), avec une dose allant de 2 à 3 Sv aux jambes.

2 femmes ont été exposées au-dessus de la limite réglementaire : 17.55 mSv et 7.49 mSv (limite réglementaire maintenue à 5mSv/trimestre pour les femmes)

Le 14 juin, TEPCO a annoncé que 8 travailleurs avaient été exposés à une dose supérieure à la limite maximale autorisée de 250 mSv (allant jusqu'à plus de 600 mSv pour deux d'entre eux). Selon le Ministère de la santé et du travail, les huit personnes sont trois opérateurs de la salle de commande et cinq techniciens qui ont travaillé à rétablir l'électricité dans la centrale de Fukushima Dai-ichi.

Un article récent (fin juillet) faisait état de 1600 intervenants sur le site ayant dépassé une dose efficace de 50 mSv.

4.2 Ce que nous pensons de la situation

Le 16 mars TEPCO a rehaussé la limite acceptable pour ses employés à 250 mSv, alors qu'elle est normalement à 100 mSv pour les situations d'urgences.

Au début de l'intervention d'urgence, une partie (combien on ne le sait pas) des intervenants n'avaient pas de dosimètre. Il n'y avait d'ailleurs pas que des employés TEPCO qui soient intervenus sur le site.

D'autre part si des neutrons sont émis par les coriums, il n'est pas certain que les dosimètres portés par les intervenants aient été capables de les mesurer. Qu'en est-il aujourd'hui ?

Certains témoignages rendent compte que les intervenants n'ont pas forcément eu toute la formation nécessaire dans cette situation et que leurs conditions d'intervention ne sont pas des plus confortables (alimentation, logement).

Il est très probable que des expositions internes seront encore à comptabiliser.

Ce n'est pas la situation des liquidateurs de Tchernobyl puisqu'a priori il n'y a pas eu de dose absorbée dépassant le gray.

Quoi qu'il en soit, il serait très étonnant que certains intervenants sur le site n'aient pas été exposés de façon "non négligeable" et donc avec des risques sur leur santé plus immédiats.

Il serait donc important que l'ensemble des intervenants puissent bénéficier d'un suivi médical, même dans la situation délicate dans laquelle se trouve le Japon.

5) L'impact sur l'environnement

Si on se place au plan de l'impact environnemental, force est de constater, malheureusement, qu'il est (ou sera) plus important qu'à Tchernobyl et surtout bien plus difficile à gérer autant sur le court que le long terme.

A Tchernobyl, la contamination a été essentiellement due à l'explosion du réacteur et la production d'aérosols radioactifs. Cela a donc été essentiellement par effet de surface : les retombées s'infiltrèrent par les ruissellements et/ou absorbées par les végétaux, les animaux ...

A Fukushima, la contamination emprunte plusieurs autres vecteurs : aérien comme à Tchernobyl mais aussi souterrains, par les eaux, l'océan, sans parler du corium.

A ce titre, le fait que la contamination soit actuellement retenue peut, à terme devenir un problème majeur sur l'environnement et notamment l'alimentation.

Deux notes de synthèse ont été publiées par l'IRSN traitent de ce sujet.

http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN-NI_Fukushima-Consequences_environnement_Japon-13072011.pdf

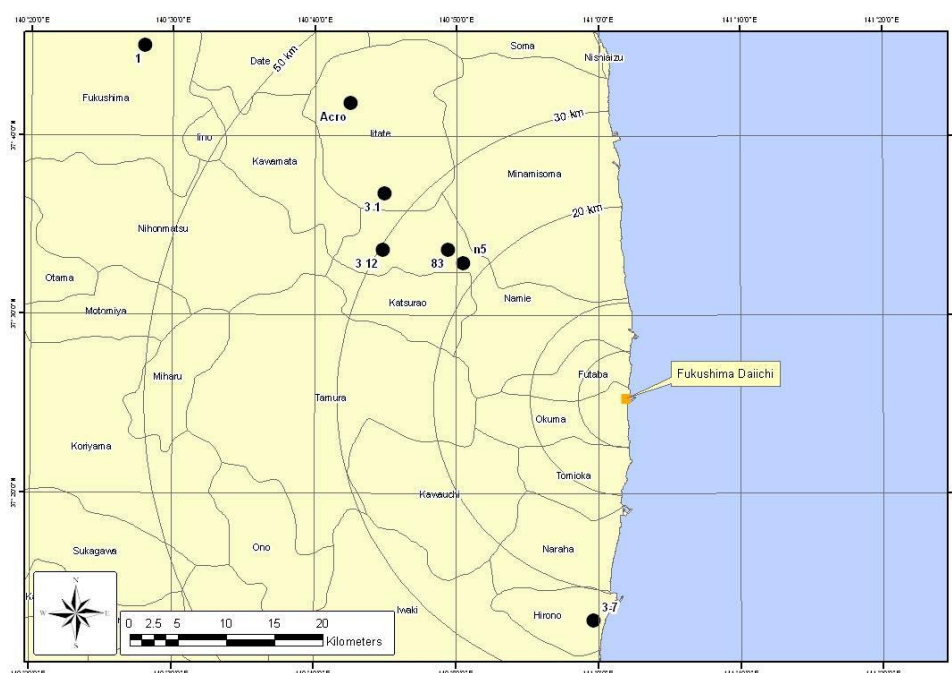
http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN-NI-Impact_accident_Fukushima_sur_milieu_marin_11072011.pdf

Nous en reprendrons ici quelques extraits.

A la suite des épisodes successifs de rejets radioactifs atmosphériques survenus principalement entre le 12 et 22 mars (dus notamment aux explosions), une partie des radionucléides dispersés dans l'air s'est déposée sur les surfaces au sol, entraînant une contamination surfacique des végétaux, de la terre et des milieux bâtis, ainsi qu'une contamination des eaux superficielles.

L'IRSN a analysé un échantillon de terre superficielle situé à une quarantaine de kilomètres au nord-ouest de la centrale de Fukushima-Dai-ichi (fourni par l'ACRO - association pour le contrôle de la radioactivité dans l'ouest, association française).

5.1 Mesures effectuées par l'IRSN sur un prélèvement de sol venant d'Iitate Maeda



Ont été quantifiés dans ces échantillons les radionucléides émetteurs gamma ainsi que le strontium 90 (émetteur bêta pur). L'iode-131 est le radionucléide le plus abondant, suivi des césium-137 et césium-134 dont les activités sont similaires. D'une manière générale, ce sont les radionucléides volatils (iodes, césiums et tellures) qui sont dominants. Les éléments de faible volatilité (baryum, lanthane, argent, strontium) ne représentent que moins de 1% de l'activité totale de l'échantillon. Ceci s'explique par les conditions de rejets lors de l'accident (décompression des enceintes de confinement des trois réacteurs endommagés), très différentes de celles survenues lors de l'accident de Tchernobyl (explosion du cœur du réacteur ayant libéré des quantités importantes de produits peu volatils, voire non volatils).

5.2 Mesures effectuées régulièrement au Japon en divers points autour de la centrale de Fukushima

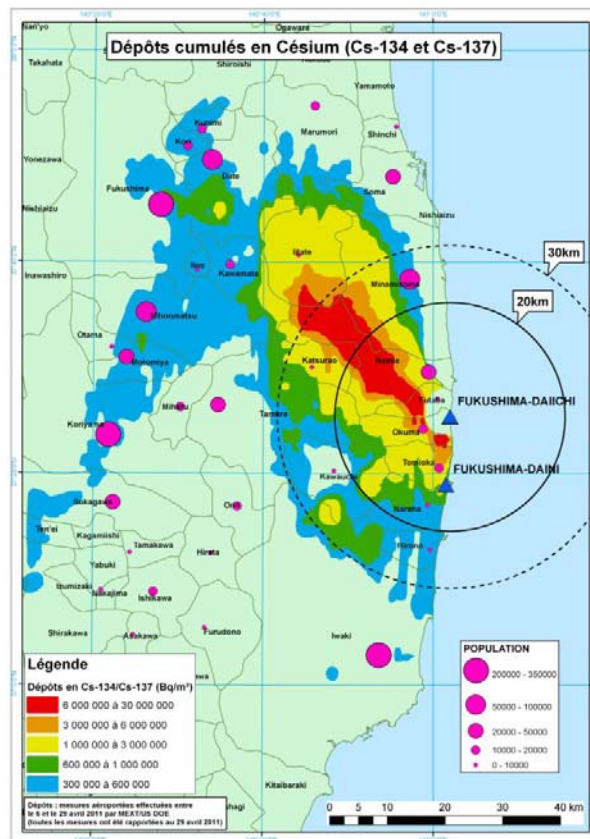
Le Ministère japonais de l'éducation, de la culture, des sports, de la science et de la technologie (MEXT) a publié régulièrement des résultats de mesure de la radioactivité de sols prélevés en une centaine de points situés à une distance de 20 à 62 kilomètres de la centrale de Fukushima Dai-ichi (voir quelques-uns de ces points sur la carte précédente).

Le point où les activités massiques les plus élevées ont été mesurées est sur la commune de Namie ([83]), à environ 24 km de la centrale nucléaire. L'activité du césium-137 et du césium-134 est très élevée (plusieurs centaines de milliers de Bq/kg) ; celle de l'iode-131 était du même niveau début avril, mais a régulièrement diminué (comme tenu de la période de l'iode-131) pour atteindre, comme attendu, une valeur 100 fois plus basse fin mai. En ce point, y aurait eu environ 7 fois plus d'iode-131 que de césium-137 dans le dépôt initial (estimé au 15 mars).

Les autres points de prélèvement au nord-ouest de la centrale montrent des évolutions comparables à celles observées à la station de Namie, mais avec des activités massiques différentes (en référence au césium-137) : plusieurs dizaines de milliers de Bq/kg au point [3 1] à Iitate point [3 12] à Namie et autour de 10 000 Bq/kg dans la commune de Fukushima point [1]. Dans ce dernier lieu, du strontium-90 a été mesuré à une concentration de l'ordre de 10 Bq/kg ;

5.3 Cartographie des dépôts

Début mai, le Département américain de l'énergie (US-DOE/NNSA5) et le Ministère japonais de l'éducation, de la culture, des sports, de la science et de la technologie (MEXT) ont conjointement publié une carte des dépôts de césium radioactif (activité surfacique des césium-134 et césium-137, en becquerels par mètre carré - Bq/m²) autour de la centrale de Fukushima Dai-ichi.



Elle a été réalisée à partir des résultats de mesures radiologiques effectuées par campagnes aériennes (490 heures de vol) et de mesures effectuées au niveau du sol, notamment par spectrométrie gamma (136 points de mesure). L'IRSN ne disposait pas du détail de ces résultats de mesure.

Cette carte confirme que des dépôts radioactifs importants sont présents dans une zone d'une cinquantaine de kilomètres de long et d'une vingtaine de kilomètres de large, au nord-ouest de la centrale de Fukushima Dai-ichi.

Dans cette zone, l'activité de l'ensemble des deux isotopes radioactifs du césium (^{137}Cs et ^{134}Cs , contribuant approximativement à parts égales à cette activité totale) dépasse 600 000 becquerels par mètre carré (Bq/m^2) et atteindrait entre **3 et 30 millions de Bq/m^2** dans la partie centrale de cette zone ayant reçu les dépôts les plus intenses.

Les mesures effectuées sur des échantillons de sol prélevés en divers lieux de cette zone donnent des résultats compris entre **800 000 et 20 millions de Bq/m^2** pour les césiums, valeurs cohérentes avec la cartographie effectuée conjointement par le DOE/NNSA et le MEXT.

Cette cartographie ne concerne que les territoires terrestres les plus touchés par les retombées radioactives. Des dépôts de césium inférieurs à $300\,000\ \text{Bq}/\text{m}^2$ ont dû se produire sur des territoires bien plus étendus, y compris **dans la région de Tokyo** et dans les préfectures situées au sud-est de cette ville (Kawamata, Shizuoka) où des denrées contaminées par les dépôts ont été identifiées.

Pour les productions végétales les plus sensibles aux retombées radioactives, un dépôt de quelques dizaines de milliers de Bq/m^2 a suffi à entraîner une contamination significative des feuilles. Il n'existe actuellement pas de cartographie à l'échelle du Japon, pour ces niveaux de dépôt.

5.4 Évolution des dépôts radioactifs depuis mars 2011

Après la phase de rejets atmosphériques importants du mois de mars, à l'origine de l'essentiel des dépôts radioactifs présents sur le territoire japonais, une surveillance quotidienne des flux de dépôt s'est poursuivie au cours des mois suivants, dans chaque préfecture. Les résultats de cette surveillance sont communiqués par le MEXT pour 3 radionucléides (iode-131, césium-137, césium-134).

Ils ont permis d'observer la persistance de faibles retombées atmosphériques, probablement dues à la poursuite de rejets de faible ampleur de la centrale de Fukushima Dai-ichi et, éventuellement, à la remise en suspension dans l'air de la contamination surfacique antérieurement déposée (voir paragraphe 2.2).

5.5 La contamination de l'océan

Une forte contamination radioactive du milieu marin s'est produite après l'accident survenu dans la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi. Elle a pour principale origine le déversement direct d'eaux contaminées depuis la centrale, qui a duré environ jusqu'au 8 avril, et dans une moindre mesure les retombées dans l'océan d'une partie des radionucléides rejetés dans l'atmosphère entre le 12 et le 22 mars.

A proximité immédiate de la centrale, les concentrations dans l'eau de mer ont atteint fin mars et début avril jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de becquerels par litre (Bq/L) pour les césiums 134 et 137 et même dépassé 100 000 Bq/L pour l'iode-131. Celui-ci a rapidement diminué en raison de sa période radioactive courte (8 j) et les résultats de mesure sont passés sous la limite de détection fin mai. Les concentrations en césium ont commencé à décroître dans cette zone à partir du 11 avril, pour atteindre fin avril une valeur proche de 100 Bq/l, puis de quelques dizaines de Bq/L en juin. Les radionucléides dissous dans l'eau de mer continuent d'être transportés par les courants marins et de se disperser dans les masses d'eau océaniques sur des distances très importantes, à des concentrations de plus en plus faibles. Le césium radioactif restera détectable durant plusieurs années à l'échelle du Pacifique Nord, mais à des concentrations très faibles (environ 5000 fois plus faibles que la concentration en potassium-40, radionucléide naturel présent en permanence dans l'eau de mer).

Les radionucléides qui se fixent sur les particules en suspension dans l'eau entraînent une contamination des sédiments superficiels, notamment sur le littoral proche de la centrale où une contamination des sédiments a été mesurée fin avril et confirmée par de nouvelles mesures en mai et en juin.

Une pollution significative de l'eau de mer sur le littoral proche de la centrale accidentée pourrait persister dans le temps, à cause des apports continus de substances radioactives transportées vers la mer par le ruissellement des eaux de surface sur des sols contaminés.

5.6 La contamination des aliments

En termes de contamination des aliments, l'IRSN rappelle que les Préfectures nippones sont chargées du contrôle des produits, ainsi que de la mise en œuvre des mesures de restriction en cas de dépassement des seuils autorisés. D'après les résultats publiés régulièrement par le Ministère de la Santé japonais, on constate une décroissance de la contamination sur la plupart des cultures préalablement interdites, liée notamment à la disparition naturelle de l'iode-131. Seuls certains produits continuent à présenter un niveau de radioactivité supérieur à la normale, tels que les champignons, les pousses de bambou, les feuilles de thé ou les crustacés. C'est parfois le cas de la viande si le bétail se nourrit avec de la paille (de riz par exemple) contaminée.

Le gouvernement japonais va réaliser un contrôle sur la viande de bœuf suite à la mise sur le marché de viande contaminée.

La pollution radioactive de l'eau de mer entraîne une contamination des espèces végétales et animales qui y sont exposées. Les langons japonais, poissons côtiers pêchés jusqu'à fin avril au sud de la centrale de Fukushima Dai-ichi, ont présenté des concentrations en radionucléides de plusieurs centaines à plusieurs milliers de becquerels par kilogramme, atteignant jusqu'à 25 fois le niveau maximal admissible pour leur commercialisation. D'autres espèces marines prélevées dans la préfecture de Fukushima continuent de présenter des contaminations significatives, de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de Bq/kg, justifiant le maintien d'une surveillance malgré la diminution des concentrations en radionucléides dans l'eau de mer.

5.7 Voilà ce que nous pensons de la situation aujourd'hui :

La contamination observée dans la zone de Fukushima résulte du dégagement atmosphérique de particules radioactives généré par les explosions des deux réacteurs. La contamination a été poussée vers l'intérieur des terres par le vent. Il y a eu un épisode pluvieux au même moment, qui a précipité les particules au sol, créant d'importants niveaux de radioactivité mesurés dans une zone de 80 km de long sur 30 km de large, au nord-ouest de la centrale.

Il continue malgré tout à avoir des rejets radioactifs, en beaucoup plus faible quantité qu'au départ mais qui sont bien réels (d'après les dernières estimations fin juillet deux millions de fois plus faible). Il a été mesuré récemment des valeurs de contamination à 150 km de Fukushima, toujours dans l'axe nord-ouest, certes faibles, mais parfois équivalentes à celles mesurées à 30 km (d'où l'hypothèse des taches de contamination). On peut donc dire que la contamination des sols se présente tout comme à Tchernobyl avec des taches ou points chauds.

La contamination du sol est essentiellement due au césium-137 et au césium-134.

De nombreuses (très nombreuses) mesures ont été faites par l'exploitant, les autorités (MEXT), l'AIEA et même des associations indépendantes.

La difficulté consiste dans le tri de toutes ces informations et bien entendu de leur utilisation.

En effet de nombreuses institutions ont utilisé ces valeurs pour réaliser de nombreuses modélisations afin d'estimer les doses absorbées par les populations locales.

Les résultats obtenus par l'ensemble des experts (pas uniquement japonais) font clairement apparaître l'existence de points où les doses estimées sur un an dépassent 30 mSv, soit un niveau supérieur aux 20 mSv autorisés en France pour les professionnels du nucléaire.

Nous pensons qu'une grande partie (tous si c'était possible) des habitants de ces régions devrait être temporairement évacuée, au moins les enfants et les femmes enceintes.

A titre de confirmation la dose cumulée mesurée depuis le début de la catastrophe a atteint 82 mSv sur une balise de Namie, située à 22km de la centrale. Sur 160 balises situées en dehors de la zone interdite d'accès (20km), plus de 23 ont enregistré une dose cumulée de plus de 20 mSv.

Mais le problème majeur reste les dégâts causés par le tsunami à toutes les infrastructures (maisons, routes, ponts). Il faut aussi évacuer tous les déchets produits par cette catastrophe. Les Japonais doivent donc faire face à de multiples urgences.

Une bonne partie de la contamination part ou est partie dans les eaux et les sols, ce qui ne fait que déplacer le problème, nous en convenons. Globalement et de façon simpliste, en additionnant

l'ensemble, on tombe sur des ordres de contamination de l'ordre de 5 à 7 fois celle occasionnée par Tchernobyl (actuellement).

A Tchernobyl, la région était peu peuplée, peu cultivée et le pays (l'URSS à l'époque) était grand.

Au Japon, il en est tout autrement. **La place manque** et les possibilités de restructuration ou d'adaptation bien moins ouvertes qu'en URSS.

Si on regarde la carte et la densité de population dans une version large, c'est près de deux millions de personnes qui sont concernées par ce déplacement.

Il peut paraître possible (en espérant que cela ne se vérifiera pas) qu'avec la propagation de la contamination, dans les mois ou années à venir, une partie importante de la population soit concernée au point, peut être que revenir vivre dans la zone actuellement évacuée (et celles qui devraient l'être) ne pourra être évité. Il est également possible qu'à la limite, cela ne changera(it) pas grand-chose d'habiter là ou ...plus loin ! Mais il serait quand même nécessaire de procéder à un nettoyage des bâtiments dans un premier temps et des points chauds identifiés.

Concernant l'alimentation, le Japon va devoir exercer une surveillance attentive des produits car cela risque d'avoir un impact supplémentaire en matière de dose, notamment pour les personnes vivant dans la zone contaminée et se nourrissant de leur production. Le cas des agriculteurs va devoir être pris en compte par le gouvernement. Il en est de même pour les pêcheurs.

6) L'impact sanitaire prévisionnel sur la population au Japon

6.1 Les déclarations des autorités

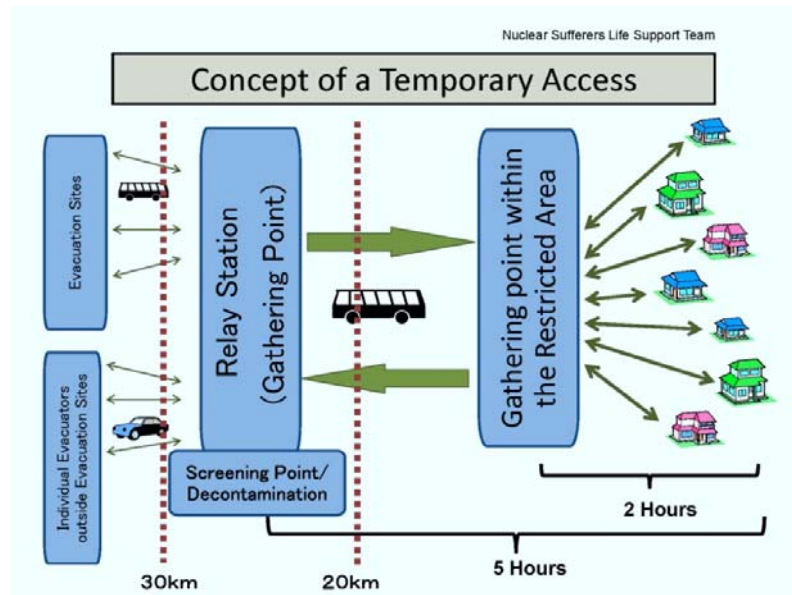
Fin avril

Dès le début de la crise, le gouvernement japonais a demandé l'évacuation des personnes habitant dans un rayon de 20 km autour de Fukushima Dai-ichi, et dans un rayon de 10 km autour du site de Fukushima Dai-ni, puis a recommandé l'évacuation sur la base du volontariat, sur la zone 20 à 30 km.

96 personnes sont restées, malgré les consignes, dans la zone d'évacuation (à moins de 10 km du site de Fukushima Dai-ichi).

Le 22 avril à 0h00, la zone d'évacuation des 20 km est devenue « zone interdite d'accès ». Toute personne outrepassant l'interdiction s'expose à une amende pouvant aller jusqu'à 100 000 yens, soit 880 euros.

Les 78 000 personnes résidant dans la zone avaient la possibilité de revenir temporairement à leur domicile pour des durées maximums de 2 h, à raison d'une personne par foyer et sous escorte de la police. Ils devaient porter une combinaison, un dosimètre, et subir un contrôle de contamination en ressortant de la zone (schéma ci-dessous) L'accès ne pouvait se faire que si le débit de dose est inférieur à 200 $\mu\text{Sv/h}$. A noter que les 6 000 personnes habitant dans un rayon de 3 km ne pouvaient pas bénéficier de cette mesure.



Concernant l'interdiction d'accès dans la zone des 20 km, le gouvernement japonais a signalé qu'il ne comptait pas utiliser la force dans un premier temps. 75 points de contrôles ont été installés sur les routes conduisant à la zone.

En dehors de la zone des 20 km les niveaux de contamination n'étaient pas homogènes en raison des conditions climatiques (vent / pluie) qui ont fait se déposer la contamination de manière inégale :

- les zones pour lesquelles les niveaux de contamination peuvent entraîner une dose cumulée supérieure à 20 mSv/an ont été classées comme « zone à évacuation concertée ». Ces zones sont situées au nord-ouest du site. Les modalités de ces évacuations étaient à définir en concertation avec les autorités locales.
- Plusieurs villes incluses dans la zone de mise à l'abri (20-30 km) avaient par ailleurs été classées comme « zones préparées pour une évacuation en cas d'urgence ».

Concernant le site de Fukushima Dai-ni, la zone d'évacuation a été ramenée de 10km à 8km.

Une décision avait été prise pour interdire la culture du riz pour la récolte 2011 dans la zone d'exclusion, dans les zones à évacuation concertée, et dans les zones préparées pour une évacuation en cas d'urgence.

(note des rédacteurs : Ce qui n'a pas empêché d'avoir plus tard de la paille de riz contaminée.)

Fin mai

Seulement la moitié des résidents (7800) de la zone située au-delà des 20km mais devant être évacuée d'ici la fin du mois de mai avait effectivement évacué la zone. L'objectif du gouvernement n'a pu être atteint d'autant que l'ordre d'évacuation n'avait pas de valeur légale.

Des parents d'élèves de Fukushima ont collecté 1500 signatures pour demander au MEXT de baisser la limite maximale de dose annuelle de 20mSv à 1 mSv pour les enfants.

Fin juin

Le gouvernement avait décidé le 16 juin d'étendre l'évacuation aux points chauds, des zones d'une surface limitée, où le débit de dose dépasserait 20 mSv par an : l'évacuation concernait une partie du canton de Date, et de Minami Soma notamment, mais ne serait pas étendue à tout le canton. Elle porterait en priorité sur les enfants et les femmes enceintes. Avant de procéder à une évacuation, le gouvernement allait évaluer d'abord si une décontamination de la zone était envisageable.

La ville de Fukushima avait commencé à faire des mesures de débit de dose sur plus de 1000 sites de la ville pour rassurer la population. Elle les a rendues publiques. Les mesures de débit de dose ont été faites sur plus de 1000 emplacements à 1 m du sol dans la ville entre le 17 et le 20 juin. 6 mesures dépassaient 3,4 $\mu\text{Sv/h}$, et 182 dépassaient 2 $\mu\text{Sv/h}$.

Pour reprendre un paragraphe du chapitre précédent :

« A titre de confirmation la dose cumulée mesurée depuis le début de la catastrophe à la fin du mois de juin a atteint 82 mSv sur une balise de Namie, située à 22 km de la centrale. Sur 160 balises situées en dehors de la zone interdite d'accès (20 km), plus de 23 ont enregistré une dose cumulée de plus de 20 mSv. »

La ville de Tokyo a fini de mesurer les niveaux de radiation sur 100 points de mesure. Le débit de dose le plus fort était de 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ à 1 m dans une cour d'école primaire dans l'arrondissement de Katsushika, soit 3 fois la moyenne de la métropole.

Des spécialistes ont contrôlé l'urine de 15 personnes âgées de 4 à 77 ans vivant à Litate et Kawamata (préfecture de Fukushima) au début et à la fin du mois de mai. Toutes contenaient du césium. Selon ces experts, les résidents auraient été exposés en interne durant les 2 premiers mois de la catastrophe à des niveaux allant jusqu'à 3,2 mSv.

La préfecture de Fukushima avait décidé de distribuer des dosimètres à près de 280 000 enfants (des nouveau-nés aux collégiens). La préfecture allait aussi financer l'enlèvement de la surface des sols des cours des écoles et soutenir financièrement les municipalités qui avaient déjà décidé de distribuer des dosimètres aux enfants.

Le gouvernement prévoit de mettre en place un suivi régulier de la santé des 2 millions de résidents de Fukushima sur les 30 prochaines années, pour un coût total de 100 milliards de Yens, soit 880 millions d'euros.

Le MEXT prévoyait de dépenser 20 milliards de Yens (180 millions d'euros) pour mettre en place 250 balises de mesures supplémentaires à travers le Japon, alors que pour l'instant elles étaient concentrées dans les préfectures abritant des centrales nucléaires. Le gouvernement envisageait de réduire la zone d'évacuation dans un futur proche, estimant qu'il est désormais improbable que les réacteurs ne soient plus maintenus sous contrôle, mais aussi car les niveaux de radiation de certaines zones évacuées ne posent plus de risques pour la santé.

6.2 Ce que nous pensons de la situation aujourd'hui :

Sur les populations, compte tenu de la gestion de cet accident et de l'état des choses (corium...), on peut affirmer sans trop de risque de se tromper que la contamination aura forcément des effets importants et pour longtemps mais là encore, les infos manquent pour pouvoir émettre des hypothèses sérieuses (expositions dues aux sols contaminés, aux habitudes alimentaires).

Il serait nécessaire que plusieurs centaines de milliers de personnes (voir deux millions) soient suivies suite à cet impact radiologique.

Il est impressionnant de voir que les autorités ont admis des débits d'équivalents de dose de 3.8 $\mu\text{Sv/h}$ (mesure faite à un mètre de hauteur) dans les cours d'écoles. Si on prend ce chiffre et que l'on estime à une heure de présence dans la cour pour les enfants sur 150 jours cela correspond à une dose de 0.57 mSv. Mais les enfants jouent aussi dehors après l'école (même les petits Japonais).

A côté, il ne faut pas oublier que les "dégâts collatéraux" occasionnés par la contamination peuvent avoir des effets au moins aussi délétères que ceux directement liés à la radioactivité : crise alimentaire, sociale, immobilier, économique...

De même que les dommages causés par le tremblement de terre et le tsunami auront aussi des effets très sérieux sur les personnes, et peut-être plus important que les dégâts dus à la contamination..

A la différence de Tchernobyl, le problème est double et aussi grave dans un sens que dans l'autre. Là encore la question est plutôt d'ordre politique. Le Japon est-il capable d'assumer une telle catastrophe ?

Avec des coriums pouvant se trouver dans le sol, les eaux, les terres, l'océan...seront contaminés et pour longtemps. Il est donc certain que des doses vont être délivrées à ceux qui seront à proximité de ces points de contamination.

Mais ce n'est pas tout. Une partie de la chaîne alimentaire va être également affectée par la radioactivité. A quel degré ? C'est encore un problème de positionnement politique. Des membres du gouvernement ont déjà déclaré que manger de la viande contaminée (cas de bœufs en juillet) n'entraînait pas plus de dose qu'un scanner. Possible ! Mais c'est peut-être oublier un peu rapidement le principe d'optimisation dans cette situation.

7) Les informations sur Fukushima

A l'inverse de Tchernobyl, nous avons eu cette fois des milliers d'informations et de toutes provenances. Il faut bien dire que l'on trouve tout et de tout sur internet à propos de Fukushima et **surtout sur les sites où les gens sont très loin du Japon.**

Mais de "ne vous inquiétez pas tout va bien" à "c'est la fin du monde", il y a probablement un juste milieu.

Nous n'irons pas plus loin dans l'analyse mais un petit couplet sur le sujet nous semblait utile.

Mais -à propos de donner des « informations claires »- ce n'est pas une position que souhaite prendre le gouvernement japonais, après la lecture de ceci :

Japan has passed a law that will enable the police and contractors to monitor internet activity without restriction to "cleanse" the Internet of any "bad" Fukushima radiation news.

Si ce n'est pas une forme de censure cela y ressemble quand même.

8) Pour conclure provisoirement ou faire un résumé de la synthèse

Etat des réacteurs :

Après avoir probablement percé dans quelques points les cuves des réacteurs 1, 2, 3, nous sommes enclins à penser que nous avons une partie des trois coriums présents sous les cuves (en quelle quantité ça c'est un mystère avec un maximum de potentiel l'ordre de 140 tonnes (60 + 60 + 20) et que les bétons des radiers ne seraient plus totalement intacts (à prendre avec toutes les précautions d'usage). Que ces coriums sont actifs, puisqu'il y a probablement des phénomènes de criticité sporadiques et donc des émissions neutroniques.

Nous pensons qu'on peut maintenant écarter un risque d'explosion majeure (bien que nous ne connaissions pas de manière précise la nature des sous-sols et l'évolution géographique des masses).

Par contre, le risque de contamination majeure (durée et quantité) est bien réel !

Le traitement des déchets et effluents liquides :

Nous pensons qu'une solution (peut-être la seule "solution") serait que Fukushima (et sa région sur ??? km²) devienne une espèce d'énorme centre de "stockage" et ce pour des décennies ! Mais est-ce possible ?? Politiquement et techniquement cette « solution » n'était pas à l'ordre du jour en juillet. Fin août le scénario commencerait à être envisagé par le gouvernement.

En ce qui concerne les eaux contaminées à divers degrés, une partie d'entre elles vont finir à terme dans l'océan. Comment pourrait-on faire pour les retenir ?!

Impact sur les intervenants :

14 intervenants ont dépassé une dose efficace (interne + externe) de 250 mSv.

Au début de l'intervention d'urgence, une partie (combien on ne le sait pas) des intervenants n'avait pas de dosimètre. Est-ce un chiffre réaliste ? Difficile à dire.

S'il y a des neutrons émis par les coriums, nous ne savons pas s'ils sont mesurés.

Il serait donc important que l'ensemble des intervenants (TEPCO et sous-traitants) puissent bénéficier d'un suivi médical, même dans la situation délicate dans laquelle se trouve le Japon.

L'impact sur l'environnement :

Dans les zones impactées par les retombées radioactives, l'activité surfacique (due au césium) dépasse 600 000 becquerels par mètre carré (Bq/m²) et atteindrait entre **3 et 30 millions de Bq/m²** dans la partie centrale de cette zone ayant reçu les dépôts les plus intenses.

La forte contamination radioactive du milieu marin a pour principale origine le déversement direct d'eaux contaminées depuis la centrale, qui a duré environ jusqu'au 8 avril, et dans une moindre mesure les retombées dans l'océan.

Il sera impératif pour les Japonais de suivre la radioactivité dans les aliments. Certains produits continuent à présenter un niveau de radioactivité supérieur à la normale, du au césium.

La pollution radioactive de l'eau de mer entraîne une contamination des espèces végétales et animales qui y sont exposées. Plusieurs espèces marines prélevées dans la préfecture de Fukushima continuent de présenter des contaminations significatives, de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de Bq/kg, justifiant le maintien d'une surveillance malgré la diminution des concentrations en radionucléides dans l'eau de mer.

L'impact sanitaire prévisionnel sur la population au Japon :

Dès le début de la crise, le gouvernement japonais a demandé l'évacuation des personnes habitant dans un rayon de 20 km autour de Fukushima Dai-ichi, et dans un rayon de 10 km autour du site de Fukushima Dai-ni, puis a recommandé l'évacuation sur la base du volontariat, sur la zone 20 à 30 km.

Nous pensons qu'une grande partie des habitants de ces régions devrait être temporairement évacuée et sur une surface certainement plus étendue.

Il peut paraître possible (en espérant que cela ne se vérifiera pas) qu'avec la propagation de la contamination, dans les mois ou années à venir, une partie importante de la population soit concernée par l'exposition aux rayonnements ionisants.

Les personnes temporairement évacuées voudront peut-être revenir vivre dans la zone touchée par les retombées. Cela ne pourra être évité (comme à Tchernobyl). Il est également possible qu'à la limite, cela ne changera pas grand-chose d'habiter là ou ...plus loin. Mais le gouvernement a prévu de mettre en place un suivi régulier de la santé des 2 millions de résidents de Fukushima sur les 30 prochaines années, pour un coût total de 100 milliards de Yens. A suivre donc !

Enfin

Dans quelle mesure le Japon est-il capable de "compenser" et gérer la situation, nous ne savons pas. Le problème n'est pas seulement et simplement technique mais aussi démographique, sociologique, politique, économique....

Si la situation technique à Fukushima est relativement facile à comprendre et à anticiper (ou l'a été entre le 11 mars et ...?? disons fin avril début mai), la situation humaine, environnementale...est par contre beaucoup plus insidieuse, invisible (au moins dans les premiers temps), plus facile à cacher (au moins dans les premiers temps également) et quasiment impossible à prévoir.

Elle dépend de beaucoup de paramètres pas uniquement techniques et surtout, ne relève d'aucune modélisation ou étude ni même prévision.