

Annexe 1

L'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daïchi

9 juin 2011

1. Déroulement de l'accident :

Le 11 mars 2011 à 14h46 (Japan Standard Time soit UTC+9), un séisme de magnitude 9 a frappé la centrale nucléaire japonaise de Fukushima Daïchi entraînant l'arrêt automatique des trois réacteurs en fonctionnement. La centrale exploitée par TEPCO comporte six réacteurs à eau bouillante (ou BWR pour Boiling Water Reactor), dont le schéma est présenté sur la figure 1, de puissance respective :

- réacteur 1 460 MWe
- réacteurs 2 à 5 784 MWe
- réacteur 6 1100 MWe.

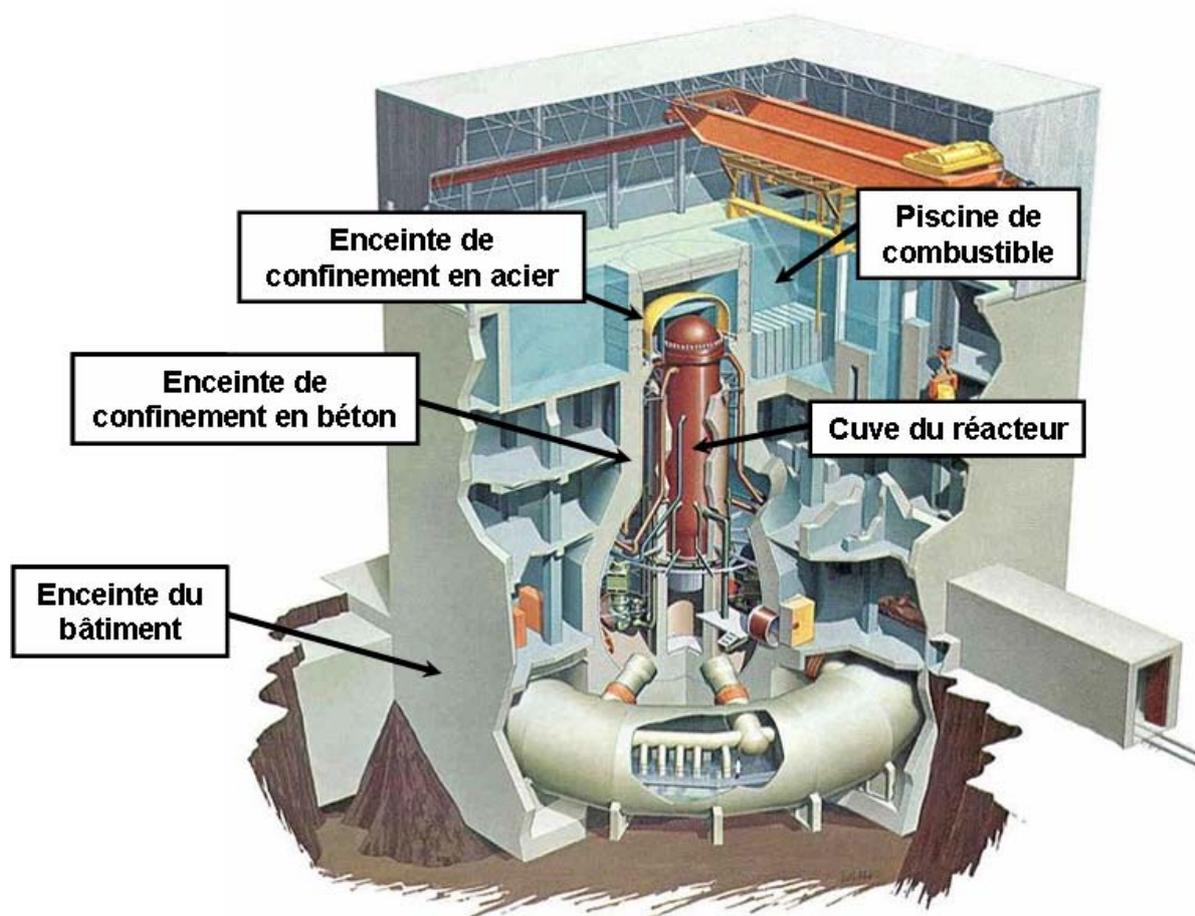


Figure n°1 – Schéma d'un réacteur à eau bouillante.

Les réacteurs 1, 2 et 3 étaient en fonctionnement à pleine puissance au moment du séisme, les réacteurs 4, 5 et 6 étaient à l'arrêt pour maintenance.

Le tremblement de terre a entraîné :

- la perte des alimentations électriques externes (au site) des réacteurs et le démarrage des alimentations électriques internes (au site), c'est-à-dire des groupes électrogènes de secours à moteur diesel pour faire fonctionner des pompes de refroidissement .
- l'arrêt automatique des réacteurs par insertion des grappes de commande dans les cœurs, étouffant la réaction de fission par absorption des neutrons .
- cinquante cinq minutes plus tard, une vague de tsunami de 14 mètres de hauteur.

La vague a eu pour conséquences :

- un endommagement des prises d'eau en mer conduisant à la perte de la source froide, nécessaire pour évacuer en permanence toute la chaleur produite par les réacteurs .
- la perte des diesels de secours des réacteurs 1 à 4.

Les réacteurs 5 et 6 ont été construits postérieurement aux quatre premiers réacteurs, sur une plateforme située à une dizaine de mètres plus haut. Un des quatre générateurs électriques du réacteur 6 a été préservé après le tsunami et a permis d'assurer le refroidissement des piscines d'entreposage des combustibles des réacteurs 5 et 6.

À la suite de la perte des diesels, le refroidissement des cœurs a été temporairement assuré par des systèmes utilisant des turbo-pompes alimentées par la vapeur produite dans les cœurs des réacteurs et faisant circuler l'eau contenue dans les tores annulaires situés en partie inférieure des bâtiments. Ces moyens ont été perdus successivement sur les trois réacteurs, notamment par défaillance des batteries électriques qui permettaient de commander les vannes de régulation des débits de vapeur. Les moyens de refroidissement de secours n'ont alors plus été opérationnels. De toute manière, la source froide ayant été détruite, ces moyens n'auraient pu permettre de refroidir très longtemps les cœurs des réacteurs sans autre intervention.

Les cœurs des réacteurs 1, 2 et 3 et les assemblages de combustible usé entreposés dans les piscines de ces réacteurs ainsi que dans celle du réacteur 4 n'étaient plus refroidis. Or, même lorsque le réacteur est à l'arrêt, c'est-à-dire lorsque les réactions nucléaires de fission sont arrêtées, le combustible continue à dégager de la chaleur, ou puissance résiduelle due aux effets des produits de fission inclus dans le combustible, qu'il faut évacuer. Cette puissance résiduelle est de l'ordre d'une quinzaine de MW un jour après l'arrêt et de quelques MW au bout d'un mois pour un réacteur de 1000 MWe. Si le combustible n'est plus refroidi, un échauffement se produit. À partir d'une température du combustible de 800 °C, l'eau commence à se décomposer au contact des gaines (de combustible) en zirconium en produisant de l'hydrogène et en dégageant de la chaleur, provoquant un emballement des températures au-delà de 1 200 °C environ, ce qui accélère le processus. Cet échauffement entraîne l'éclatement des gaines de combustible, puis leur fonte ainsi que celle des grappes de commande, et la liquéfaction du combustible au-delà de 2 300 °C, par dissolution de celui-ci au contact des métaux fondus. L'endommagement du cœur conduit à produire de l'hydrogène en grande quantité et à relâcher des produits radioactifs dans les circuits.

Dans la cuve des réacteurs 1, 2 et 3, la production de vapeur d'eau a entraîné la baisse du niveau d'eau et l'augmentation de la pression à l'intérieur de la cuve. Un système permet de décompresser la cuve en déchargeant la vapeur de la cuve dans les tores annulaires situés à l'extérieur des enceintes de confinement (voir figure 1). L'eau des tores étant normalement refroidie par un échangeur, ce dispositif permet de limiter la montée en pression par condensation de la vapeur dans les tores. Mais en l'absence de tout moyen de refroidissement,

la température de l'eau contenue dans ces tores a été portée à ébullition et la pression a alors monté jusqu'à dépasser leur pression de dimensionnement (0,4 à 0,5 MPa).

Un système permet de dépressuriser les tores. Il est constitué de tuyauteries d'éventage reliant les tores aux cheminées des réacteurs. Entre le 11 et le 15 mars, des décompressions volontaires ont été nécessaires pour maîtriser la pression au sein des tores et éviter leur endommagement.

Ces décompressions ont entraîné des rejets par bouffées de produits radioactifs et d'hydrogène. Un mauvais fonctionnement des vannes des systèmes d'éventage ou un endommagement des tores dû aux surpressions (d'un facteur 2 par rapport à la pression de dimensionnement) ont entraîné une accumulation d'hydrogène dans les bâtiments réacteurs contenant les enceintes de confinement qui a provoqué plusieurs explosions, le 12 mars dans le réacteur 1, le 14 mars dans le réacteur 3 et le 15 mars dans le réacteur 2. Ces explosions ont eu lieu dans la partie supérieure des bâtiments des réacteurs 1 et 3 et au niveau semble-t-il du tore annulaire pour le réacteur 2. Elles ont sérieusement endommagé les bâtiments des réacteurs 1 et 3, et le tore, et peut-être l'enceinte de confinement, du réacteur 2.

La dépressurisation des cuves a permis à TEPCO d'injecter de l'eau de mer borée dans les cuves pour refroidir les cœurs du réacteur 1 à partir du 12 mars (après l'explosion), du réacteur 3 à partir du 13 mars (avant l'explosion) et du réacteur 2 à partir du 15 mars (également avant l'explosion). En l'absence de moyen de refroidissement, la vaporisation de l'eau dans les cuves a conduit à de nouvelles pressurisations et à de nouveaux éventages (éventage d'une durée de 6 à 7 heures pour le réacteur 1 à partir de 23h00 JST le 14 mars).

Ces appoints d'eau de mer ont conduit également à injecter de grandes quantités de sel qui pouvait à terme se déposer et obstruer les circuits ; à partir du 25 mars, de l'eau douce a pu être injectée dans les cuves des réacteurs à partir de barges acheminées par mer. Le refroidissement des cœurs endommagés s'effectue toujours en circuit ouvert à la date du rapport. Dans le réacteur 2, de l'eau fortement contaminée s'échappe du tore et se répand dans les sous-sols du bâtiment des turbines. Une fuite de cette eau vers l'océan a dû être colmatée dans l'urgence.

Le combustible utilisé entreposé dans les piscines de combustible doit également être refroidi pour éviter de dénoyer les assemblages et, par suite l'échauffement et l'endommagement des crayons de combustible. La piscine du réacteur 4 était la plus chargée, contenant plus de 1300 assemblages déchargés des cœurs. La perte d'électricité a rendu inopérantes les pompes permettant de faire circuler l'eau de refroidissement des piscines des réacteurs 1 à 4. L'échauffement du combustible utilisé a créé une élévation de la température de l'eau et une baisse de son niveau par évaporation. En cas de dénoyage des combustibles, l'élévation de température s'accélérerait pouvant conduire à l'éclatement des gaines puis à la fonte du combustible, accompagnée de rejets très importants de produits radioactifs, notamment de césium (les combustibles déchargés des cœurs depuis plusieurs mois ne contiennent plus d'iode 131, du fait de sa courte période de décroissance radioactive de 8 jours¹). Les piscines de combustible sont situées dans le bâtiment réacteur, mais à l'extérieur de l'enceinte de confinement. Les rejets auraient donc eu lieu directement dans l'atmosphère et de manière continue. Le 14 mars, TEPCO a signalé une augmentation de la température de l'eau de la

¹ Décroissance de son activité d'un facteur 2 au bout d'une période. Rappelons que l'iode 131 présente un risque sanitaire important (cancer de la thyroïde) uniquement dans les premières semaines qui suivent l'accident. En revanche le césium, notamment son isotope 137 de période 30 ans, subsiste dans les combustibles déchargés. En cas de rejet dans l'environnement, il peut contaminer pendant de très longues années les territoires sur lesquels il se dépose.

piscine du réacteur 4. Le 15 mars, un incendie d'origine inconnue s'est déclaré dans le bâtiment de ce réacteur, suivi d'une explosion d'origine également inconnue qui a fortement endommagé la structure du bâtiment. L'incendie a été maîtrisé mais un second incendie s'est déclaré le 16 mars, maîtrisé le jour-même. Le 17 mars des largages d'eau par hélicoptère ont été tentés en vain dans la piscine du réacteur 3. Un appoint d'eau a finalement pu être apporté dans cette piscine par les moyens de lutte contre l'incendie le 18 mars. De même, des déversements d'eau ont pu être réalisés dans la piscine du réacteur 4 à partir du 20 mars à l'aide d'un camion doté d'une pompe. D'après les estimations réalisées par l'IRSN, l'eau des piscines des réacteurs 3 et 4 a probablement été portée à ébullition mais les assemblages de combustible sont restés noyés et n'auraient donc pas été endommagés, ce que semblent confirmer les premières reconnaissances effectuées depuis à l'aide de robots.

Au bilan, l'accident de Fukushima a conduit à la fusion partielle des cœurs des réacteurs 1, 2 et 3 et selon les dernières informations au percement de la cuve du réacteur 1. Il a également entraîné des rejets radioactifs conséquents d'abord atmosphériques puis par écoulement d'eau fortement contaminées dans le milieu marin. Les rejets atmosphériques auraient pu être considérablement plus importants si TEPCO n'avait pas réussi à maintenir noyés les assemblages de combustible entreposés dans les piscines des réacteurs 3 et 4.

2. Actions de l'exploitant (TEPCO)

Du 15 au 30 mars, l'exploitant a continué à injecter avec des moyens de fortune et en circuit ouvert de l'eau de mer, puis de l'eau douce pour refroidir le cœur des réacteurs 1, 2 et 3 et le combustible entreposé dans les piscines 1, 2, 3 et 4. Les rejets radioactifs ont continué. TEPCO a partiellement rétabli l'alimentation électrique.

Le refroidissement des cœurs des réacteurs 1, 2 et 3 en circuit ouvert occasionne l'accumulation de très grandes quantités d'eau contaminée (105 000 tonnes début juin) dans les enceintes de confinement et dans les salles des turbines ce qui vient saturer les capacités d'entreposage sur place.

En avril et mai, les actions de TEPCO ont concerné plus particulièrement la gestion de cette eau contaminée. Elles ont eu pour objectif d'une part de limiter la dispersion de radioactivité sous forme liquide par épandage de résines, la mise en place de sacs de zéolite, de sable et de plaques d'inox pour limiter les rejets d'eau contaminée vers la mer et par la réalisation de travaux de génie civil pour colmater les fuites. D'autre part, pour libérer en urgence des espaces d'entreposage, les Japonais ont même dû, avant de pouvoir installer des batteries de réservoirs supplémentaires, procéder au déversement en mer de 3 000 tonnes d'eau faiblement contaminée, soulevant des protestations de pays voisins.

La situation ne sera complètement maîtrisée que lorsque TEPCO aura mis en œuvre un refroidissement pérenne en circuit fermé des réacteurs 1, 2, 3 et 4.

3. Conséquences sanitaires

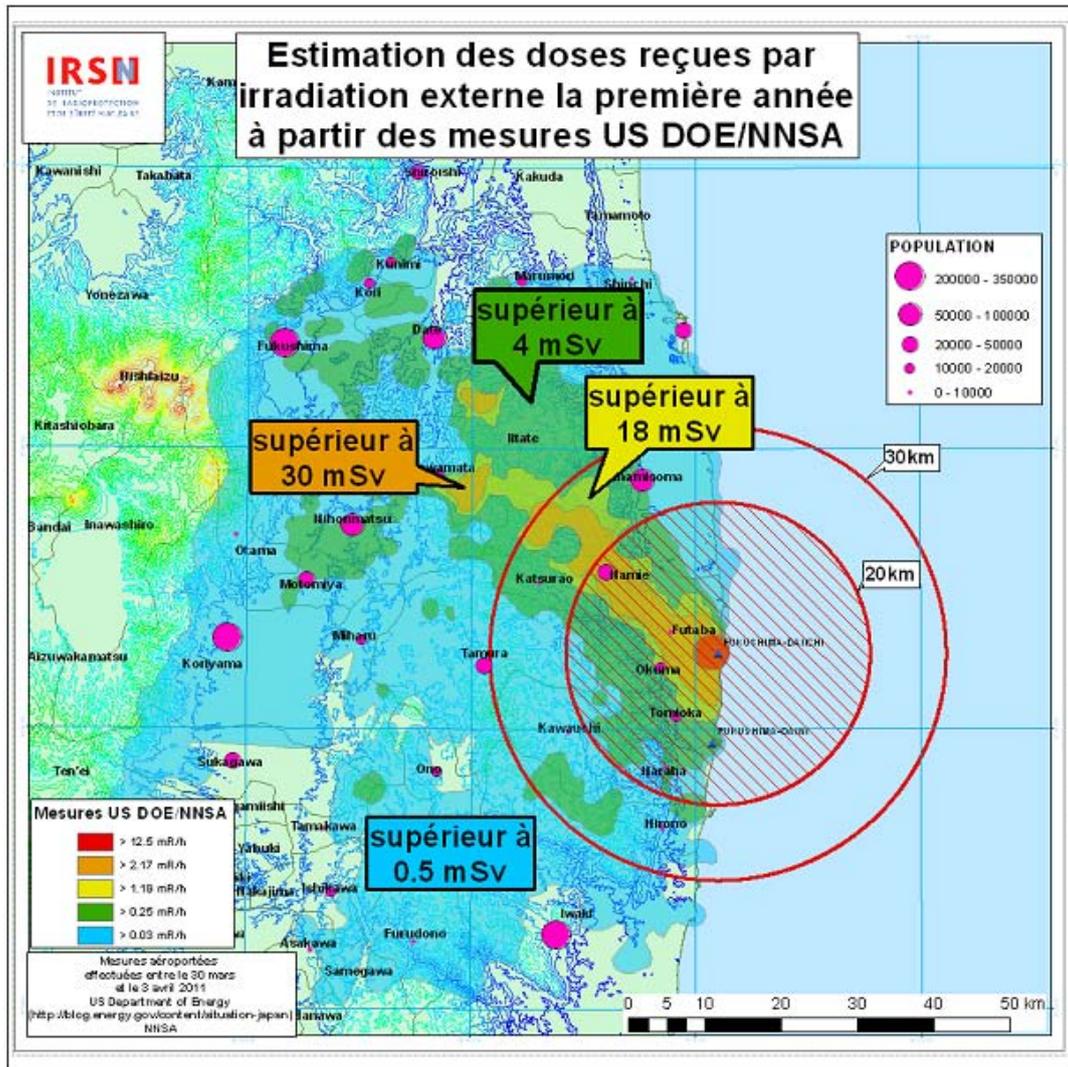
L'accident a entraîné des rejets radioactifs atmosphériques qui ont conduit les autorités japonaises à évacuer, quelques heures après le début de l'accident, 80 000 personnes dans une zone de rayon 20 km autour de la centrale et de mettre à l'abri les personnes situées dans la zone de 20 à 30 km de rayon. L'IRSN a estimé sur la base de l'observation du déroulement de l'accident que les rejets étaient de l'ordre de grandeur d'un dixième de ceux survenus à Tchernobyl. Cette appréciation a été corroborée par les résultats des mesures de la contamination atmosphérique à longue distance. Pendant la période concernée par ces rejets, la météorologie a été globalement favorable, les vents étant principalement dirigés vers l'océan Pacifique. Toutefois, les 15 et 16 mars, ces rejets ont été orientés vers le nord-ouest du

site. En raison des précipitations importantes ces jours-là (averses de pluie et même de neige) et de la faible altitude du panache radioactif, des dépôts radioactifs substantiels se sont produits dans un secteur de territoire d'environ 20 km de large et 60 km de long, s'étendant bien au-delà de la zone évacuée et même de la zone de mise à l'abri. Des mesures réalisées à l'aide d'une sonde hélicoptérée ont permis de tracer des cartes assez précises de la contamination et d'évaluer les doses d'irradiation auxquelles serait exposée la population si elle demeurait sur place (voir carte). Sur la base des mesures précitées, l'IRSN estime qu'environ 70 000 personnes résidant dans cette zone pourraient ainsi être exposées à des doses annuelles supérieures à 10 mSv si elles étaient maintenues sur place (par irradiation due aux dépôts de césium au sol, sans prendre en compte d'éventuelles contaminations par ingestions d'aliments contaminés). Les autorités japonaises ont d'ailleurs décidé d'évacuer début juin la population résidant entre 20 et 40 km au nord-ouest de la centrale à cause de cette contamination.

À la date du 8 juin, selon TEPCO, 30 travailleurs ont reçu une dose efficace totale par irradiation interne et externe supérieure à 100 mSv, qui est la valeur limite pour les intervenants en situation d'urgence en France.

L'accident a été classé au niveau 7 de l'échelle INES par l'Autorité de sûreté japonaise.

Il n'y a pas eu en France de conséquence sanitaire, ni d'action de protection à mettre en œuvre.

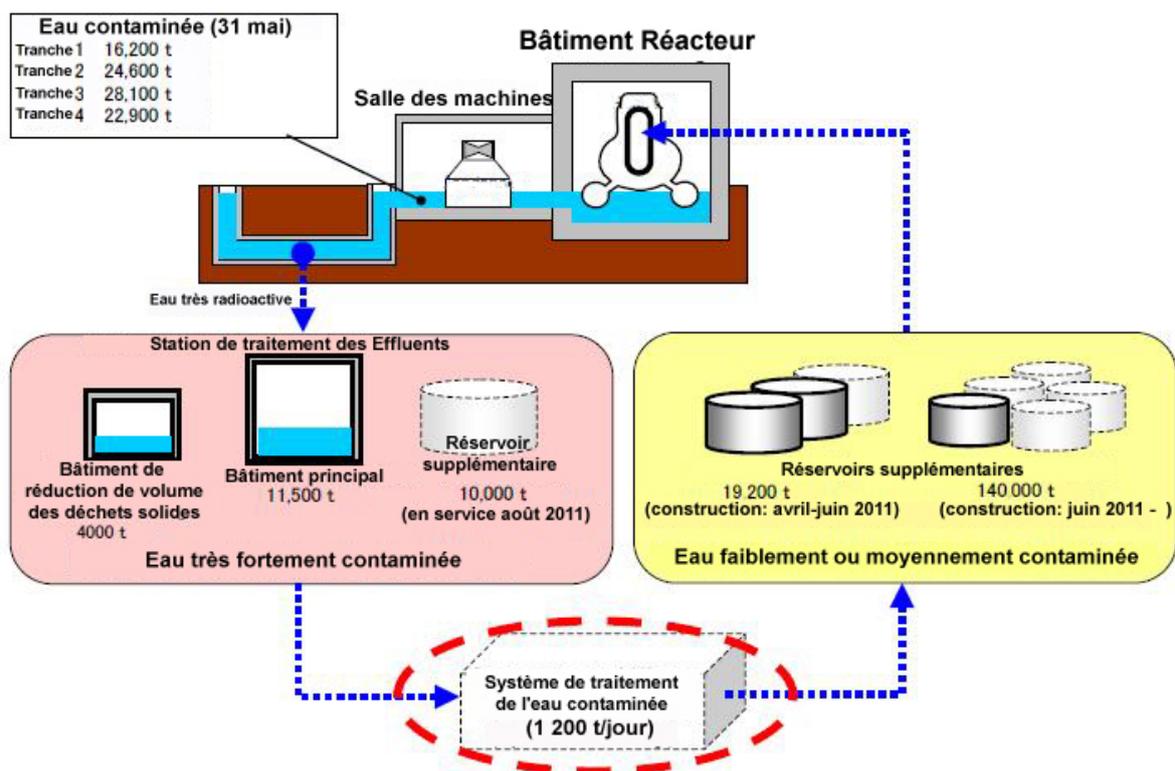


Traitement des eaux contaminées

Bertrand Barré

Les cœurs des réacteurs 1, 2 et 3 de la centrale de Fukushima Daiichi sont encore refroidis en circuit ouvert, ce qui occasionne l'accumulation de très grandes quantités d'eau contaminée (105 000 tonnes en début juin) qui vient saturer les capacités d'entreposage sur place. Pour libérer en urgence des espaces d'entreposage, les Japonais ont même dû, avant de pouvoir installer des batteries de réservoirs supplémentaires, procéder au déversement en mer de 3 000 tonnes d'eau faiblement contaminée, soulevant des protestations de pays voisins.

Le plan de reprise en main par TEPCO des réacteurs accidentés prévoit donc la mise en œuvre le plus tôt possible d'un refroidissement en circuit fermé, suivi de la décontamination progressive des eaux entreposées. Compte tenu des fuites de la cuve et de l'enceinte de confinement, ce circuit de refroidissement sera installé conformément au schéma ci-dessous.



Le système de traitement de l'eau contaminée comporte plusieurs étapes successives :

- élimination des souillures d'hydrocarbures et première rétention du césium sur zéolithes ;
- décontamination plus poussée par floculation et filtration ;
- dessalement (notamment à cause des injections initiales d'eau de mer)

Il manque sur le schéma le passage par un échangeur eau-air qui refroidit l'eau avant réinjection.

Parmi les autres actions préalables au démantèlement des réacteurs accidentés, on peut citer la construction d'un bâtiment léger pour protéger de la pluie les bâtiments endommagés par les explosion d'hydrogène et pour confiner d'éventuelles nouvelles fuites de radioactivité dans l'atmosphère, ainsi que la pulvérisation de plastifiants pour immobiliser les particules radioactives sur le sol et les bâtiments du site nucléaire.

À plus long terme, et selon les recommandations de l'AIEA, se posera le problème de la décontamination des zones hors site pour permettre au plus grand nombre possible de personnes évacuées de retourner chez elles.