

3. Les grands accidents nucléaires et leurs conséquences

On peut distinguer différentes catégories d'accidents :

- 1) Les accidents de criticité,
- 2) Les accidents provenant d'installations ou de sources radioactives à usage médical,
- 3) Les accidents provenant d'installations ou de sources radioactives à usage industriel,
- 4) Les accidents à caractère militaire, et
- 5) Les accidents de réacteurs.

Pour rendre compte vis-à-vis du public, de la gravité d'un accident nucléaire, une échelle à 7 niveaux a été instaurée à l'échelon international par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), c'est l'échelle INES.

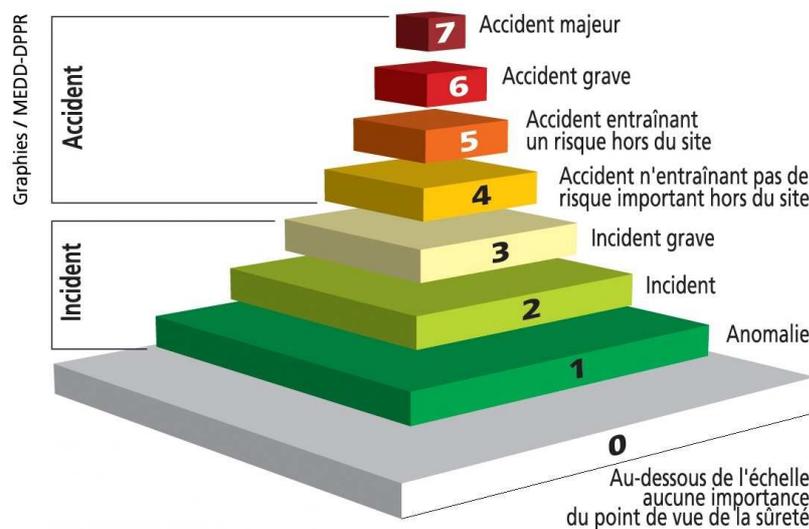


Figure 12 - L'échelle internationale des évènements nucléaires.

3-1 Les accidents de criticité

Ils se produisent lorsque des matériaux fissiles se trouvent rassemblés en quantité suffisante dans une structure géométrique et un environnement inadéquat.

Comme on l'a déjà indiqué, les conséquences en sont une explosion violente avec émission d'un rayonnement intense et éjection dans l'environnement de l'installation d'éléments radioactifs produits par les fissions.

Ce type d'accident s'est surtout produit au début de l'ère nucléaire (1945). Actuellement, les dispositions de sûreté pour prévenir de tels accidents ont minimisé ce risque.

Le plus notable, est celui survenu le **24 octobre 1958 à Vinca en ex-Yougoslavie**, par suite d'un réglage défectueux de son combustible, au démarrage d'un petit réacteur expérimental. Six personnes furent gravement irradiées. Les victimes furent traitées à l'Institut Curie à Paris et subirent une greffe de la moelle osseuse, ce qui fut le premier traitement de ce type pour les irradiations graves. Cinq personnes survécurent, l'une décéda.

Le dernier en date est survenu au **Japon à Tokaimura le 30 septembre 1999** où par suite d'une erreur durant une opération de conversion d'UF6 enrichi en UO₂, pour la fabrication de combustible pour les centrales nucléaires, une excursion de criticité se produisit. 49 personnes furent irradiées dont trois gravement. L'on déplora un décès. Le public fut évacué dans un rayon de 350 m autour de l'installation et confiné dans un rayon de 10 km. Cet accident fut classé au niveau 4 dans l'échelle INES.

3-2 Les accidents provenant d'installations ou de sources radioactives à usage médical

Le premier accident de ce type relaté est celui survenu à l'hôpital de **Plymouth (Grande Bretagne) en fin 1961** où, par suite d'un mauvais réglage d'un appareil de radiothérapie, 11 malades subirent des doses de l'ordre de 60 Sv au niveau de la peau, d'où l'apparition d'érythèmes et d'ulcérations.

Un accident particulièrement significatif est celui survenu le **6 décembre 1983 à Ciudad-Juarez au Mexique**. Le conteneur d'une source de Co60 utilisée dans un appareil de gammathérapie est vendu à un ferrailleur. Ce conteneur contient la source sous forme de 6000 grains de cobalt. Par suite d'une rupture du conteneur lors de son transport, un certain nombre de grains vont se répandre dans le camion et sur la chaussée. Le ferrailleur va revendre le conteneur métallique qui contient encore un certain nombre de grains, à une fonderie fabriquant diverses pièces qui sont alors contaminées. Ces pièces sont commercialisées au Mexique et aux USA. Leur contamination est fortuitement découverte aux Etats-Unis en février 1984. Toutes les pièces contaminées ont pu être récupérées et renvoyées au Mexique. Cinq employés du ferrailleur subirent des doses importantes (entre 3 et 7 Gray étalés sur deux mois) sans apparemment de conséquences graves. Dans la ville, 4000 personnes environ subirent des doses non négligeables qu'il ne fut pas possible d'évaluer.

L'accident le plus grave survint le **13 septembre 1987 à Goiana au Brésil** où fut récupéré dans une clinique désaffectée, un appareil de radiothérapie contenant une source de Césium 137. L'appareil fut vendu à un ferrailleur qui le démantela et, ignorant le danger, découpa la source. Le Cs137 présent dans la source sous forme de chlorure de Césium en poudre, se répandit dans l'environnement et contamina les personnes qui avaient manipulé l'appareil et la source, ou avaient séjourné à proximité. Ces personnes subirent des irradiations importantes externes et internes par inhalation et ingestion de poudre. Vingt personnes présentant les symptômes d'irradiation grave furent hospitalisés. Quatre décédèrent, les autres durent subir des interventions chirurgicales lourdes. Une contamination fut retrouvée dans une large zone de l'agglomération : 200 personnes furent évacuées et certaines maisons démolies, certains produits alimentaires retirés de la

consommation. La décontamination dura jusqu'en mars 1988. L'impact psychologique se fit sentir dans tout un secteur géographique pourtant éloigné de Goiana (les denrées, matériaux, matériels, provenant de cette ville furent l'objet de suspicion, voire de rejet de la part de la population).

Plusieurs accidents ont eu lieu lors de traitements de patients par radiothérapie, par suite d'un réglage défectueux de l'appareil, principalement des accélérateurs utilisés actuellement très largement pour ces traitements. Les victimes en sont les patients qui, subissent en général un surdosage.

Les accidents suivants sont donnés à titre d'exemple :

Un premier accident grave de ce type survint en **décembre 1990 à Saragosse en Espagne**. Découvert dans un délai de dix jours, il entraîna des surdosages d'un facteur 3 à 10 sur 27 patients. 12 décès furent imputés à ce surdosage.

En France, plusieurs accidents de ce type se sont produits [7] : Les cas suivants sont donnés à titre d'exemple.

- **A Epinal, entre mai 2004 et mai 2005**, 24 patients ont subis des surexpositions de 20% supérieure à la dose prescrite. Cinq décès sont survenus dont la cause ne peut être imputée à cette surexposition ou à leur maladie.
- Au **CHU de Toulouse, entre avril 2006 et avril 2007**, 145 patients subirent une surexposition lors de leur traitement d'irradiation avec un accélérateur dont l'étalonnage avait été défectueux lors de sa mise en service. Les 18 décès constatés à ce jour, le furent pour des patients atteints de maladies très graves dont le pronostic était défavorable. Ils ne peuvent donc pas être attribués de façon sûre à la surexposition.

3-3 Les accidents provenant d'installations ou de sources radioactives à usage industriel

Ils proviennent en général de sources de Co60 ou Ir192 contenues dans des gammagraphes utilisés pour des contrôles de soudures. Ces sources peuvent sortir de façon fortuite de leur conteneur, être égarées et trouvées par des personnes qui ne connaissent pas les dangers de les manipuler sans précaution. C'est le cas d'accidents survenus en 1962 à Mexico et en 1963 en Chine où des sources égarées de Co60 provoquèrent la mort de respectivement 4 et 2 personnes suite à une exposition importante au rayonnement émis par la source.

De la même façon, à Sétif en Algérie, en mai 1978 des sources d'Iridium 192 contenues dans un gammagraphe, éjectées hors de leur conteneur sans que les opérateurs ne s'en aperçoivent, sont récupérées par des enfants. 22 personnes furent irradiées gravement (radiodermes, amputations). On déplora un décès.

Les installations d'irradiation industrielles pour stérilisation de matériels et conservation de produits alimentaires sont aussi la source d'accidents potentiels. Un cas typique est celui survenu en **août 1991 à Forbach en France**. L'installation était équipée d'un accélérateur linéaire. Une panne dans le

système d'aération de la casemate contenant cet appareil d'irradiation, incita trois techniciens à y pénétrer pour remédier à la panne alors que l'accélérateur n'était pas entièrement arrêté (Haute tension maintenue). Deux techniciens subirent des irradiations cutanées graves (dose à la peau estimée à 40 Sv et 9 Sv), conduisant à des brûlures au 3ème degré qui laissèrent d'importantes séquelles.

3-4 Les accidents à caractère militaire

Le développement d'armes nucléaires et leur maintien opérationnel ne se sont fait que moyennant un certain nombre d'accidents dont beaucoup très préjudiciable pour l'environnement.

Accident d'essai d'armes aux îles Marshall - Cet accident s'est produit lors des premiers essais par les américains, de bombes thermonucléaires en mars **1954**, sur l'atoll de Bikini. La cause en fut une mauvaise appréciation de la puissance de la bombe et de conditions météorologiques défavorables. Les retombées radioactives atteignirent quatre îlots des îles Marshall. Les 239 habitants subirent une irradiation externe et une contamination interne principalement par inhalation d'iode radioactif. Par la suite, un excès de cancers de la thyroïde chez les enfants fut constaté. D'autre part, 23 hommes d'équipage d'un bateau qui naviguait dans la zone interdite, subirent des irradiations graves, l'un d'entre eux décéda.

Accident dans un complexe militaire de l'Oural en Russie - Cet accident survint le 29 septembre **1957** dans le complexe militaire soviétique de Tchéliabinsk, dans une installation de retraitement de combustibles irradiés. Les effluents très radioactifs résultant de ce retraitement étaient directement rejetés dans la rivière Tetcha, d'où une très forte contamination de cette rivière et des lacs en aval. A partir de 1957, ces effluents furent stockés dans des cuves pour attendre la décroissance des radioéléments à période courte.

L'accident fut provoqué par une réaction chimique spontanée à l'intérieur d'une de ces cuves avec un fort dégagement d'énergie et donc une violente explosion. Il en résultat d'une dispersion dans l'environnement d'importants éléments radioactifs, avec un nuage s'élevant jusqu'à 1000 m d'altitude.

La zone contaminée s'étendit sur plus de 300 km dans la direction du vent. 10 000 habitants furent évacués, 27 villages disparurent. Les conséquences pour la santé de ces populations furent lourdes : depuis 1950, 1 000 maladies chroniques dues aux rayonnements, 37 leucémies dans un groupe de 17 200 habitants (excès de 40%), excès de mortalité de 20%.

L'accident fut tenu secret par les autorités soviétiques et ne fut connu qu'en décembre 1988.

Perte en mer de sous-marins nucléaires ou d'armes nucléaires - Cette catégorie d'accidents concerne le naufrage en mer de sous-marins nucléaires ou de navires dotés de missiles nucléaires, ainsi que la chute d'aéronefs transportant des bombes nucléaires. Ces accidents furent relativement nombreux et ne sont pas forcément tous répertoriés.

Accidents d'avions transportant des armes nucléaires au-dessus de territoires - Le premier survint en janvier **1966** lorsque deux avions américains transportant quatre bombes thermonucléaires,

s'écrasèrent au-dessus du village de **Palomarés en Espagne**. Deux bombes furent récupérées intactes, les deux autres furent détruites par leur chute. Elles contenaient du Plutonium sous forme métallique qui prit feu, générant une contamination atmosphérique et une contamination du sol sur 126 ha en partie habités et en partie cultivés. Les parties du sol les plus contaminées furent décapées, enlevées et envoyées pour stockage aux Etats-Unis. La contamination interne des habitants concernés fut évaluée à partir de mesures sur un échantillon de 124 personnes. Pour cinq personnes les plus contaminées, la dose engagée pour 50 ans fut estimée entre 0,15 et 0,2 Sv.

Un autre accident de ce type se produisit en **1968**, lorsqu'un bombardier américain transportant des bombes thermonucléaires, s'écrasa à Thulé dans le **Groenland**. Ces bombes furent détériorées et une partie de la matière fissile : du Plutonium 239, se répandit sur la glace. Au dégel, elle se déposa sur le sol ou passa dans l'eau de mer. Les mesures ultérieures ne détectèrent pas de contamination des végétaux, des animaux et des poissons.

3-5 Les accidents de réacteurs nucléaires

Le premier accident de ce type ayant des conséquences pour l'environnement, survint à **Winscale en Grande Bretagne le 8 octobre 1957** sur un réacteur de type graphite-gaz de 200 Mw thermiques. Au cours d'une opération particulière, la température du graphite monte anormalement. Pour y pallier, un circuit d'air de refroidissement est mis en route. Ceci a pour effet de déclencher l'incendie de l'Uranium du combustible, après que les gaines de ce combustible se soient rompues. L'incendie n'est stoppé que le 10 octobre. Des gaz radioactifs sont rejetés par la cheminée du réacteur durant 14 heures, principalement de l'iode radioactif dont des traces furent détectées dans une partie de l'Europe du nord. En Grande Bretagne, le lait fut déclaré impropre à la consommation sur une zone de 580 km². Deux millions de litre de lait furent rejetés à la mer.

Historiquement, deux autres accidents méritent d'être mentionnés :

Celui survenu le **3 janvier 1961** sur le petit réacteur expérimental **SL1 à Idaho-Falls (USA)**. Ce réacteur à Uranium très enrichi (93%) à eau bouillante, était censé être un prototype de réacteur générateur d'électricité. Il avait divergé la première fois en 1958 et au moment de l'accident, il était à l'arrêt. Les barres de contrôle étaient en cours de remontage et les opérateurs actionnèrent probablement trop rapidement ces barres, d'où une divergence brutale du réacteur et explosion. Les trois opérateurs décédèrent. La contamination de l'environnement fut faible et indétectable au niveau des habitants les plus proches (à 8,5 km du site).

Celui survenu le **21 janvier 1969** sur le petit réacteur prototype de centrale électronucléaire situé à **Lucens en Suisse**. Ce prototype de 10 Mw électriques avait peu fonctionné et était en cours de redémarrage. Une cause indéterminée, probablement une brèche dans le circuit primaire, entraîna la dépressurisation du cœur, un manque de refroidissement et une fusion partielle de celui-ci. Compte tenu du peu de temps de son fonctionnement, le cœur ne contenait que peu de produits de fission et ceux-ci étaient de périodes courtes. Les émissions de ces produits furent en grande partie confinées dans la caverne à l'intérieur de laquelle le réacteur avait été construit. Les rejets à l'extérieur furent faibles. Le réacteur fut démantelé de 1969 à 1973.

Le premier accident sur une centrale électronucléaire de forte puissance survint le **28 mars 1979** sur la centrale de **Three Miles Island en Pennsylvanie (USA)**, à 5 km de la ville de Middeltown (9000 habitants) et 16 km d'Harrisburg (68 000 habitants, capitale de l'état).

Le réacteur était de type PWR (REP) de 900 Mwe. L'accident eut pour cause au départ, une opération de maintenance qui déclencha l'arrêt d'urgence du réacteur, puis une suite de dysfonctionnement et de réactions inappropriées des opérateurs qui conduisirent à un arrêt du refroidissement du cœur qui se trouva dénoyé dont une bonne partie entra en fusion, d'où émission de produits de fission radioactifs dans l'enceinte du réacteur, ainsi qu'une formation d'hydrogène. Une explosion de cet hydrogène se produisit dans l'enceinte qui heureusement n'en fut pas endommagée. Finalement un refroidissement du cœur fut rétabli dix heures après le début de l'accident et au bout de seize heures, la situation était maîtrisée.

La résistance de l'enceinte, dimensionnée de façon suffisante, évita des rejets importants dans l'environnement. Ces rejets faibles ne conduisirent qu'à des expositions inférieures à 1mSv pour des personnes séjournant aux limites du site. Cependant, l'inquiétude des populations environnantes fut grande et les conséquences économiques importantes. En effet, le réacteur est hors d'usage et les opérations de démantèlement puis de déclassement de la centrale ne sont pas encore terminées (ce n'est que cinq ans après l'accident que les exploitants purent avoir un premier accès à l'intérieur de l'enceinte).

3-5-1 L'accident de Tchernobyl

Cet accident survint le **26 avril 1986** sur un réacteur électronucléaire de type à eau bouillante situé en Ukraine à une centaine de kilomètres de Kiev. Il est certainement celui qui eut le plus de conséquences pour l'environnement, conséquences qui perdurent encore actuellement.

Les causes en furent, au départ, une opération particulière nécessitant la mise du réacteur dans une configuration délicate. Cette opération fut effectuée dans la hâte par les opérateurs pressés de la terminer et pour ce faire, shuntant un certain nombre de sécurités.

Ceci, ajouté à des caractéristiques rendant ce type de réacteur instable dans certaines circonstances, produisit une augmentation incontrôlée de sa puissance et une explosion du cœur du réacteur. L'absence d'enceinte globale de confinement se traduisit par l'éjection dans l'atmosphère des débris en feu du cœur, alors que plusieurs foyers d'incendie se déclaraient à l'air libre, dans ce qui restait de l'enceinte. Les services d'incendie intervinrent d'urgence mais sans protections particulières, subirent des expositions importantes (vingt-deux décédèrent en quelques jours). Les opérations pour éteindre les incendies puis refroidir l'ensemble et limiter les rejets dans l'atmosphère, durèrent jusqu'au 10 mai.

Par la suite, le réacteur accidenté fut recouvert par une enceinte de béton (le sarcophage). Actuellement, ce premier sarcophage construit dans la hâte, se détériore et la construction d'une nouvelle enceinte est prévue.

Les conséquences pour l'environnement, les intervenants et la population furent graves :

- Pour intervenir sur le réacteur, un grand nombre de travailleurs furent employés. Entre 600 000 et 800 000 personnes travaillèrent dans un rayon de 30 km autour de la centrale. Actuellement, on constate chez ces « liquidateurs » un surcroît du taux de maladies diverses (cardiovasculaires, digestives, bronchites chroniques ...), ainsi qu'un vieillissement accéléré des organismes.
- Pour la population, 135 000 personnes résidant à moins de 30 km de la centrale furent évacuées plus ou moins tardivement. La petite ville de Pripjat, située à 3 km du réacteur est définitivement abandonnée. 270 000 personnes continuent à vivre dans des zones contrôlées car contaminées où elles sont susceptibles de recevoir des doses de 5 mSv par an. Cinq à six millions d'habitants de Russie, Ukraine, Biélorussie, vivent dans des zones où subsiste une certaine contamination.
- La zone de 30 km est une zone interdite pour le séjour, environ 2 millions d'hectares de terres agricoles ont été contaminés et environ 260 000 hectares déclarés inaptes à toute culture.
- Du point de vue santé, dans la population (hors liquidateurs), ce sont les cancers de la thyroïde chez les enfants et les adolescents qui ont été les premiers à apparaître à partir de 1990, soit quatre ans de latence. Le taux d'incidence, pour les enfants de moins de 15 ans était, avant l'accident de 0,1 à 0,3 cas pour 100 000 enfants, il est passé, dans les régions les plus touchées, à 12 cas pour 100 000. Pour les adultes, le nombre de cancers de la thyroïde est aussi en augmentation. Pour les autres types de cancers, à ce jour, il ne semble pas y avoir d'augmentation perceptible, mais il est nécessaire de continuer à suivre ces populations, le temps de latence d'apparition de certains cancers pouvant être long.

Les rejets radioactifs s'étant effectués jusqu'à haute altitude, ils furent transportés très loin au gré des vents et touchèrent la majorité de l'Europe. Les pays les plus à l'est et les pays scandinaves furent les plus concernés.

En France, l'Est fut la région la plus touchée. Les évaluations faites par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) indiquent qu'en moyenne, entre 1986 et 2006, les habitants de l'est de la France auraient reçu une dose efficace de l'ordre de 4,5 mSv. Actuellement, la dose annuelle serait de l'ordre de 0,015 mSv [8], [9], [11]. Concernant les enfants, la dose reçue à la thyroïde par l'Iode 131, pour un enfant de 1 an, évaluée par l'IRSN [10] [11] se situerait entre 7 et 13 mSv. Le nombre de cancers induits par cette surexposition est difficile à évaluer. L'IRSN indique qu'entre 1991 et 2015, le nombre de cancers spontanés de la thyroïde serait d'environ 900 parmi 2,3 millions d'enfants de moins de 15 ans lors de l'accident, résidant dans l'est de la France et que le nombre de cancers en excédent, imputables aux retombées, se situerait entre 7 et 55 cas. Bien évidemment, ces valeurs ne sont que des moyennes. Or la radioactivité s'est déposée sur le territoire de façon très hétérogène suite tout particulièrement à la répartition des précipitations pluvieuses qui favorisent le dépôt des particules et des aérosols. De ce fait, on a constaté dans l'Est et en Corse, la présence de « points chauds » où les personnes séjournant dans de tels secteurs, pourraient avoir reçu des doses plus importantes. Sont aussi à prendre en compte, les habitudes alimentaires de ces régions, qui peuvent conduire à l'ingestion de radioéléments à partir de la consommation de légumes ou de viande d'animaux ayant poussé ou vécu dans ces secteurs contaminés.

3-5-2 L'accident de Fukushima

Le **11 mars 2011**, un séisme violent (8,9 sur l'échelle de Richter) dont l'épicentre était situé en mer au large de la côte Nord-est de l'île japonaise de Honshu, secoue cette côte où sont implantées les six centrales électronucléaires du site de Fukushima-Daichi. Le séisme provoque un tsunami avec des vagues se déplaçant à grande vitesse et dont la hauteur augmente au voisinage de la côte, où la profondeur est plus faible. La hauteur en arrivant sur la côte a été évaluée à un maximum de 14 mètres.

Séisme et tsunami dévastent 400 km de côtes sur une profondeur de plusieurs kilomètres, détruisant 130 000 bâtiments et causant 20 000 morts et 6 000 blessés. Sur le site de Fukushima-Daichi, trois des six réacteurs étaient à l'arrêt, et le séisme déclenche l'arrêt automatique des trois autres. La vague du tsunami arrive ultérieurement et inonde le site sous cinq mètres d'eau, coupant toutes les alimentations électriques, noyant les diesels de secours et balayant les réservoirs de secours des réacteurs de 1 à 4. Les réacteurs 5 et 6, plus récents, avaient été construits sur des plateformes surélevées et leurs diesels de secours furent préservés permettant ainsi de sauver ces deux réacteurs.

Les quatre autres n'ont donc plus de moyens électriques pour alimenter les pompes assurant la circulation de l'eau de refroidissement des cœurs. Faute de pouvoir évacuer la puissance résiduelle des cœurs présente dans tout réacteur à l'arrêt, ceux-ci s'échauffent, l'eau résiduelle s'évapore, la vapeur produit l'oxydation des gaines des combustibles avec formation d'hydrogène, alors que les gaines se fissurent, laissant se dégager une partie des radioéléments formés dans le combustible au cours du fonctionnement du réacteur (gaz rares, iode, césium principalement).

L'atmosphère gazeuse ainsi formée dans la cuve (vapeur d'eau et hydrogène) fait monter la pression dans celle-ci et il est décidé de la faire baisser en envoyant ces gaz à l'extérieur par la cheminée via le dispositif d'éventage prévu à cet effet.

Une partie des gaz relâchés va pénétrer dans le hall des réacteurs qui se trouvent alors avec une atmosphère chargée en hydrogène. Une explosion se déclenche soufflant le haut des bâtiments 1, 3 et 4. A noter que ce sont les halls de type industriel qui ont été soufflés et non les cuves et les enceintes de confinement de ces cuves.

Dans les enceintes de confinement, les cœurs non refroidis se mettent à fondre, transperçant le fond des cuves et commençant à attaquer le béton du radier de l'enceinte. Par ailleurs, pour une cause inconnue, l'enceinte de confinement du réacteur 2 présente des défauts et est probablement la cause de la plus grande partie des rejets radioactifs à l'extérieur.

Plusieurs moyens ont été mis en œuvre pour rétablir le refroidissement des cœurs endommagés, dont le pompage d'eau de mer depuis l'extérieur et ce n'est qu'après un délai long que les autorités ont pu assurer que la situation sur le site était maîtrisée.

Dès le 12 mars, les autorités japonaises ont fait évacuer les 80 000 personnes séjournant dans un rayon de 20 km autour des réacteurs afin de limiter leurs expositions. Les habitants dans la zone 20 à 50 km ont reçu l'instruction de rester le plus possible chez eux et le 22 avril, dans une langue de terre

plus fortement contaminée, dans le nord-ouest, située entre 30 et 50 km, il a été conseillé aux habitants de l'évacuer.

Des surfaces importantes, jusqu'à 50 km des centrale dans le nord-ouest, ont été contaminées. Environ 600 km² ont été contaminés à plus de 600 kBq/m² en Cs137, contamination qui subsistera de façon durable à moins que des opérations de décontamination ne soient entreprises.

L'eau de mer a été contaminée suite aux rejets atmosphériques et aux fuites d'eau contaminée utilisée pour le refroidissement de secours des cœurs. Des mesures destinées à arrêter ces écoulements ont alors été pris.

Du point de vue de l'irradiation des populations, une étude menée sur 10 000 personnes venant des zones touchées, a montré que la plupart, sur cinq mois, avaient intégré des doses dues à l'incorporation de radioéléments, inférieures à 1 mSv, alors que la dose due à l'irradiation externe n'avait pas dépassé 15 mSv, la majorité ayant reçu des doses comprises entre 1 et 4 mSv [12].

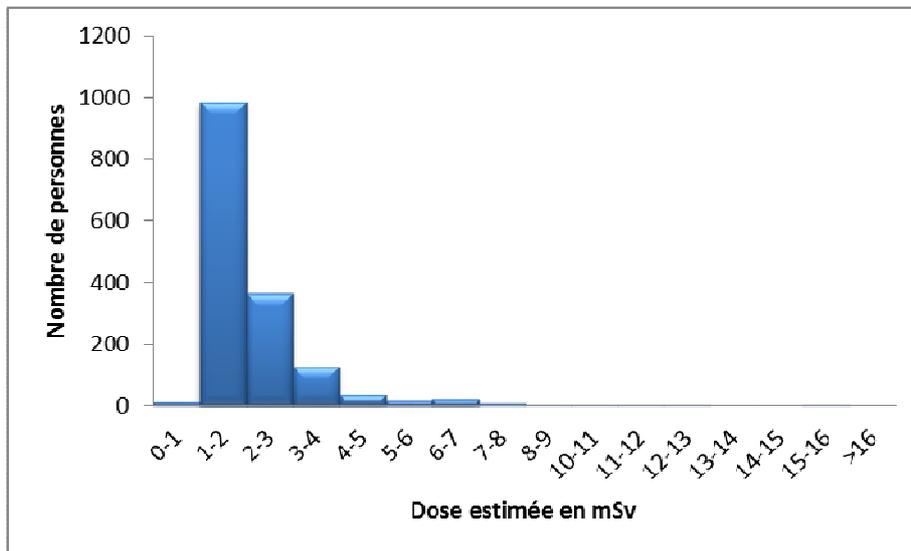


Figure 13 - Premiers résultats des estimations de dose externe en mSv sur 1589 personnes (Iitate, Namie, Kawamata (Source: National institute for radiological science, Japan)).

Doses	< 1 mSv	1-2 mSv	2-3 mSv	>3 mSv	Total
Nombre de personnes	9159	12	9	2	9182
<ul style="list-style-type: none"> - 9182 personnes ont eu une estimation de contamination interne entre le 27/06 et le 30/11/2011 - 43% d'hommes, 57% de femmes - 2821 enfants de 10 à 19 ans - 3566 enfants de 4 à 9 ans 					

Tableau 8 - Résultats des estimations de dose équivalente incorporée.

Les intervenants, agissant pour le compte des exploitants des centrales ont reçu des doses plus importantes mais, apparemment, en dessous des seuils donnant lieu à l'apparition des symptômes

d'une irradiation aigüe. De l'ordre de 19 500 travailleurs ont été concernés. Six travailleurs ont reçu des doses supérieures à 250 mSv, avec une dose maximale pour un travailleur de 679 mSv. 167 ont été exposés à des doses supérieures à 100 mSv.

Les décontaminations des zones évacuées vont être entreprises. La zone couvrant plus de la moitié de ces territoires où l'exposition se situerait entre 20 et 50 mSv/an demandera des opérations de décontamination s'étendant sur plusieurs années et ne sera autorisée au retour que lorsque l'exposition sera en dessous de 20 mSv/an. Quant à certaines zones où l'exposition dépasserait 50 mSv/an, elles seront déclarées inhabitables temporairement.

Pour le démantèlement des réacteurs accidentés, les opérations pourraient durer une trentaine d'années.

En ce qui concerne la France, compte tenu de l'éloignement par rapport au Japon, les retombées ont été très faibles et à la limite du mesurable (d'après l'IRSN, 0,1 à 2 mBq/m³ d'air en iode et 0,01 à 0,2 mBq/m³ en césium).

Les circonstances de cet accident ont conduit en France, à lancer des études complémentaires sur la sûreté des installations nucléaires, pour tout particulièrement, examiner la sûreté de ces installations face à des situations extrêmes hors de celles qui ont été envisagées lors de leur conception. Les conclusions ont été que :

- La sûreté des installations en France est suffisante pour ne pas exiger l'arrêt immédiat de l'une d'entre elles.
- Les installations doivent être protégées de tout événement même très improbable.

L'exigence absolue, est d'assurer en toutes circonstances même extrêmes, le refroidissement des cœurs des réacteurs, ainsi que le maintien en eau des piscines d'entreposage des combustibles usés. Pour cela, l'ASN a demandé aux exploitants de prévoir la préservation en toutes circonstances, des moyens de secours ultimes d'alimentation en eau de refroidissement des cœurs (diesels, réserves de carburant, pompes). D'autre part, l'ASN a demandé la mise en place par EDF, d'une force d'action rapide nucléaire (FARN) constituée d'équipes spécialisées munies d'équipements transportables (par hélicoptère en particulier) de génération d'électricité et de pompage, aptes à intervenir très rapidement sur un site accidenté en tout temps.