

# Tchernobyl, effets sanitaires et environnementaux

Jean Claude Zerbib (Association Global Chance)

« Nous ne possédons pas encore l'imagination, les analogies, les mots ou les expériences pour qualifier la catastrophe de Tchernobyl. »

*Svetlana Alexievitch, écrivaine Bélarusse*

## Résumé

Afin d'améliorer la sécurité du réacteur N° 4 de la Centrale de Tchernobyl un essai a été conduit, dans la nuit du 25 mai 1986, par une équipe d'électrotechniciens. Il s'agissait d'utiliser, lors de l'arrêt du réacteur, de type RBMK, l'inertie du groupe turboélectrique pour alimenter tous les dispositifs électriques en cas d'accès défaillant au réseau (l'îlotage). Une série d'erreurs et de manquements aux règles fondamentales de sécurité, propres à ce type de réacteur, ont entraîné un double apport massif d'énergie de nature nucléaire et physico-chimique. L'explosion a détruit le cœur du réacteur.

Des fragments importants du combustible irradié ont alors été projetés aux alentours. Une autre partie, finement divisée par l'augmentation brutale d'énergie (voisin de 100 fois la puissance nominale) a été transportée par l'énorme convection à plus de 1000 m d'altitude. Les vents d'altitude ont pris en charge cette masse d'aérosols et de gaz radioactifs et formé ce qu'il a été appelé « le nuage de Tchernobyl ». Pendant 10 jours durant, la colonne d'air chaud radioactif a alimenté les vents d'altitude qui ont pris plusieurs directions principales. Les rejets du 27 avril se sont dirigés vers l'Europe de l'Ouest, l'Allemagne, la France et le nord de l'Italie.

L'évacuation des personnes habitant dans un rayon de 30 km n'a été organisée que 2 jours après l'explosion. Plusieurs pompiers, équipages d'hélicoptères et un grand nombre d'intervenants civils et militaires (830 000 entre 1986 et 1990) dénommés « liquidateurs », payèrent un très lourd tribut sanitaire pour

mettre fin aux rejets radioactifs, assainir les alentours immédiats des réacteurs mais aussi pour effectuer des tâches à des fins discutables (permettre aux 3 autres réacteurs de poursuivre la production électrique). Dans les quatre premiers mois, 31 personnes décédèrent suivies de 19 autres, entre 1987 et 2006. Mais il est difficile d'assurer le caractère exhaustif de ce bilan qui touche principalement trois républiques. Les décès concernent surtout les intervenants qui reçurent de très fortes doses de rayonnement, délivrées dans les jours et les semaines qui suivirent la ruine du réacteur N° 4 de la Centrale de Tchernobyl. Depuis 2004, le nombre de liquidateurs décédés se situe entre 112 000 et 125 000, soit environ 15 % des intervenants.

La volonté notoire des grands organismes internationaux, comme l'AIEA ou l'OMS, de tenir des discours très réducteurs, relevant du déni cynique, sur les impacts sanitaires multiples de la destruction du réacteur est présentée.

Un bilan de l'impact sanitaire, concernant les « liquidateurs » ainsi que les enfants et adolescents est esquissé (4837 cancers de la thyroïde en 2002 et 15 000 à 16 000 en 2004). Un bilan est dressé pour les trois principales républiques touchées, Ukraine, Belarus et Russie, mais il est encore très loin de mettre un point final aux nombre des atteintes diverses (certains cancers mettent plusieurs dizaines d'années pour s'exprimer), car leurs évolutions sont, dans leur ensemble, toujours en phase de croissance, près de 30 ans après la catastrophe.

Tchernobyl, surnommée le « verger de l'URSS », est située à une dizaine de km de la Belarus, à 7 km de Pripjat, 160 km de Kiev, 600 km de Moscou et environ 2 000 km de Paris.

## L'accident

Dans le réacteur N° 4 de la centrale de Tchernobyl, en service depuis décembre 1983, un essai de sécurité est prévu, le vendredi 25 avril 1986. Il s'agit de tester un dispositif qui permettra, en cas de perte du réseau électrique, et avant la reprise en secours par les groupes électrogènes, d'alimenter « le circuit de refroidissement de secours », lors de l'arrêt du réacteur de 1 000 MWe, de type RBMK<sup>1</sup>, au moyen d'une tension électrique constante, produite à partir de l'inertie du turbo-alternateur, qui va progressivement ralentir.

Dans la seconde qui suit son arrêt, le cœur du réacteur fournit encore 17 % de sa puissance. Cette production thermique importante, produite par les rayonnements émis par l'énorme charge radioactive du cœur, va diminuer<sup>2</sup> progressivement, mais il faut évacuer impérativement ces calories afin d'éviter une dangereuse montée en température des éléments combustibles. Si le réseau est défaillant, il faut en effet 45 secondes au turbo-diésel de secours<sup>3</sup> pour démarrer, afin d'assurer le fonctionnement de tous les dispositifs électriques du réacteur, notamment ceux des deux boucles indépendantes qui assurent le refroidissement du cœur du réacteur (la procédure dite d'îlotage).

Selon le professeur Nesterenko<sup>4</sup>: « le protocole de l'expérience avait été soumis par la direction de la centrale de Tchernobyl au ministre, au constructeur en chef, et au responsable scientifique du réacteur. N'ayant pas reçu de réponse positive écrite, la direction de la centrale de Tchernobyl prit malgré tout la décision d'effectuer le 25 avril 1986 les expériences prévues ».

### Le déroulement des opérations avant l'accident

La conduite de l'expérience a été confiée à des spécialistes en électrotechnique. Leurs procédures d'essai étaient inappropriées et des violations flagrantes aux règles de sûreté<sup>5</sup> ont été commises, notamment en plaçant le réacteur à une puissance où il est extrêmement instable (200 MWth).

Les opérateurs ont ensuite violé délibérément des règles de sûreté en retirant des barres de commande du cœur, puis en déconnectant certains systèmes de sûreté importants (signal d'arrêt d'urgence du réacteur lié à l'arrêt du 2<sup>e</sup> groupe turbo-alternateur). Le samedi 26 avril à 1h du matin, l'équipe décide de poursuivre l'essai, bien qu'il y ait moins de 30 barres insérées dans le cœur.

À 1 h 23, suite à une série d'erreurs, les deux pompes de circulation, qui évacuent l'énergie produite dans le cœur, ralentissent. Les vannes d'admission de la vapeur à la turbine sont fermées alors que le réacteur n'est pas arrêté. Comme la chaleur produite dans le cœur n'est plus évacuée, la température augmente, l'eau se vaporise, le réacteur s'emballé.

### Le 26 avril 1986 à 1 h 23 min 44 s, l'explosion

L'insertion manuelle des barres de contrôle neutrophages, qui est très lente (18 à 20 secondes sur les RBMK et moins de 2 secondes dans les PWR) produit un effet inverse à celui attendu, car l'embout des barres qui n'est pas neutrophage, a chassé l'eau. Cette augmentation brutale d'énergie<sup>6</sup> entraîne l'explosion des pastilles combustibles qui se répandent dans l'eau sous forme de fines particules très chaudes. Leur contact avec l'eau produit une explosion de vapeur. Ces deux apports puissants d'énergie, du fait des réactions nucléaires et physico-chimiques, sont fatals pour le réacteur. L'explosion est si puissante, que la dalle supérieure du réacteur, d'environ 1 200 tonnes de

1 - RBMK sont les initiales des mots russes « Réacteur de grande puissance à tubes de force ». C'est un réacteur à neutrons thermique, modéré par du graphite. L'empilement de graphite qui est imposant, est refroidi par un gaz inerte. Les éléments combustibles (192 tonnes d'uranium), sont à base d'oxyde d'uranium, enrichi à 1,8 % en <sup>235</sup>U, gainé par un alliage de zirconium-niobium et refroidi par de l'eau légère bouillante. Cette eau circule dans 1 693 tubes de force qui sont dans le même alliage au zirconium. Le contrôle de la puissance et de la réactivité est assuré par 211 barres absorbantes, coulissant dans 211 tubes de force répartis dans le cœur du réacteur. Le combustible (assemblage de 18 crayons de 3,5 m de long) peut être chargé et déchargé, réacteur en marche.

2 - Avec la décroissance des radionucléides de périodes très courtes, la puissance résiduelle d'un réacteur de 3 000 MWth va décroître. Elle sera au bout d'une minute de 5 %, d'une heure 1,5 %, d'un jour 0,5 %, d'une semaine 0,3 %.

3 - A l'époque, chaque paire de réacteurs (notamment les N° 3 et N° 4) disposait de trois groupes électrogènes de secours pour assurer le refroidissement.

4 - Vassily Nesterenko, docteur ès sciences, membre de l'Académie des Sciences de Bélarusse, a fondé en 1990 l'Institut de l'Institut indépendant de radioprotection « Belrad ». Il fut Directeur de l'Institut de l'énergie nucléaire de l'Académie des sciences du Belarus. Il a été le 1<sup>er</sup> à mesurer le débit de dose au-dessus du réacteur accidenté, depuis un hélicoptère. Il est décédé à 74 ans, le 24 août 2008.

5 - Deux spécifications s'imposent : ne pas fonctionner de façon continue en dessous de 700 MWth (mais cette contrainte n'était pas formalisée) et maintenir un minimum de 30 barres de commande enfoncées dans le cœur (élément non-perçu comme étant essentiel pour la sûreté du réacteur).

6 - Des calculs ont montré une augmentation d'un facteur 100 de la puissance instantanée en quatre secondes [Libmann 1996].

béton, arrache les 1 693 tubes métalliques qui l'amarrent au réacteur, avant d'être projetée en l'air et de retomber inclinée, à 60° sur le cœur du réacteur qui s'entrouvre.

Une deuxième explosion, 5 à 10 fois plus violente que la première, survient du fait de la production d'hydrogène<sup>7</sup>. La partie supérieure du « bâtiment réacteur » est détruite.

Environ 70 tonnes de combustible, sur les 192 t qui constituent le cœur, sont projetées à l'extérieur de la centrale. La structure métallique du bâtiment réacteur n'a pas résisté, mais, comme le précise un spécialiste de sûreté nucléaire de l'IPSN, **aucune enceinte de confinement de conception normale n'aurait résisté à de telles explosions** [Libmann 1996] (page 314).

Dans l'explosion du réacteur, deux opérateurs sont tués pratiquement sur le coup : l'un d'eux n'a pu être retrouvé (il se trouvait dans le hall du bâtiment réacteur), le 2<sup>e</sup>, blessé par la chute d'une maçonnerie et grièvement brûlé, décède 6 h après. Deux ingénieurs stagiaires se dirigent vers le hall central et s'approchent du réacteur détruit, ce qu'ils ignorent. Ils reçoivent probablement une dose très largement supérieure à la dose mortelle. Ils décèdent dans d'atroces souffrances, à Moscou, dans la clinique N° 6, spécialisée dans le traitement des irradiés [Strazzulla 1991].

### *Des refus persistants de la réalité aux conséquences mortelles*

Le responsable de l'équipe de nuit pense que c'est un réservoir qui a explosé mais que le réacteur est intact. Le 26 avril, à 3 h du matin, Brioukanov, le directeur de la centrale, transmet cette hypothèse aux autorités. Vorobiev, le chef d'état-major de la défense civile, arrivé sur le site, tente de mesurer le débit de dose dans le hall du réacteur avec le seul appareil de mesure adapté à des fortes valeurs. L'aiguille est en butée sur le maximum (250 rem/h soit 2,5 Sv/h). « Ton appareil marche mal ! » lui dit Brioukanov. Mais Vorobiev recommande à la Commission gouvernementale, l'évacuation des populations. Il sera écouté.

Vers 10 h, un ingénieur reçoit l'ordre d'aller voir, depuis le toit, l'état du bloc central. Il annonce que le réacteur est détruit. Il n'est pas cru. Il meurt quelques jours plus tard des suites de la dose reçue. Dans une communication officielle à la population, Brioukanov<sup>8</sup> certifie que l'incident est maîtrisé.

Vers midi, le photographe Igor Kostine, prend les premières photos du réacteur depuis un hélicoptère. Il les développe en rentrant à Kiev. Sur les 20 prises, un seul cliché donne une vue « pointilliste » du réacteur. Les autres sont pratiquement noirs, du fait de l'intensité du rayonnement gamma<sup>9</sup> [Kostine 2006].

Le samedi 26 avril, à Pripjat, les enfants vont, comme à l'habitude à l'école. À leur retour, les parents apprennent qu'on leur a demandé de ne pas sortir après le déjeuner. Des arroseuses sont entrées en action pour laver les rues de leurs dépôts de poussières radioactives, mais la vie continue normalement, car toutes les heures, le Directeur de la centrale envoie des messages indiquant que la situation reste dans les normes. Des compétitions sportives se tiennent et 16 mariages sont célébrés à Pripjat. Mais les pêcheurs en rivière qui se trouvaient la nuit proches des rejets de la centrale et du réacteur accidenté, sont pris de nausées, le visage et les mains sont bronzés, comme après un séjour au soleil. Ils ont reçu une dose évaluée à 400 rems (4 sieverts), soit la dose létale à 50 %. Ils seront évacués avec les autres personnes exposées dans les hôpitaux.

Ce n'est que le 3<sup>e</sup> jour que la Pravda révèle qu'il s'est passé quelque chose à Tchernobyl. Puis le 14 mai 1986, Mikhaïl Gorbatchev prononce un discours à la télévision soviétique pour annoncer le premier accident nucléaire civil ayant provoqué mort d'hommes.

Inconnu jusqu'à ce jour, le nom de « Tchernobyl » va faire le tour de la planète<sup>10</sup>.

### *L'évacuation des populations*

C'est à un général, arrivé sur les lieux le dimanche 27 avril à 5 h du matin, que l'on doit les premières actions de sauvegarde. Les voies d'accès à la ville, à la centrale et aux zones de pêche sont bloquées. Les « Jeunesses communistes » assurent la distribution de pastilles d'iodure de potassium pour une prophylaxie très tardive de la

7 - Porté à haute température, le zirconium (des gaines et des tubes de force) décompose l'eau à son contact et libère de l'hydrogène qui s'enflamme ou explose spontanément au contact de l'air quand sa concentration atteint 4 %. La puissance des explosions a été évaluée à 75 tonnes de TNT (Molitor 2011), page 29).

8 - En juillet 1987, avec l'ingénieur en chef et son adjoint, il sera condamné lors d'un procès à huis clos, à 10 ans de prison. La presse n'a été admise qu'à l'ouverture et la clôture du procès [Kostine 2006]. En 1991, il sera le dernier des condamnés à bénéficier d'une remise de peine.

9 - Dans son ouvrage, Igor Kostine présente cette photo et de nombreuses autres : des « liquidateurs » s'équipant de protections improvisées pour intervenir, des vues d'hélicoptères, de l'exode des habitants de Pripjat, des zones et immeubles abandonnés, etc.

10 - En fait, Tchernobyl a été le lieu de deux désastres. Le premier révélé par un écrivain allemand Lothar Baier, fut celui de l'extermination de tous les habitants d'un village juif d'Ukraine, par les troupes hitlériennes. Un village parmi 619 autres exterminés et incendiés. À lire dans « L'atome en héritage », [Grandazzi 2004], (pages 120-130).

thyroïde<sup>11</sup> contre les iodes radioactifs émis par le réacteur en feu. À 14 h, il mobilise les entreprises de transport de Kiev et 1 217 autobus sont réquisitionnés pour évacuer les quelques 40 000 habitants de Pripjat. Ils forment un cordon de 20 km de long.

Partis pour trois jours, les habitants de Pripjat ne reviendront plus.

Dans un 2<sup>e</sup> temps, l'évacuation des personnes situées dans un rayon de 30 km, jusque-là confinées chez elles, est décidée. Ces mesures ont concerné 84 000 personnes au 6 mai 1986. Plus tard, 18 700 Belarussiens sont évacués entre juin et août 1986, enfin d'autres encore le seront pour un total de 135 000 personnes [Strazzulla 1991]. D'après l'IPSN, la dose moyenne reçue était de 11,9 rems (0,119 sievert). Les doses moyennes les plus élevées concernent les personnes évacuées entre 3 et 15 km et non celles de Pripjat.

Cependant des zones fortement contaminées n'ont pas été évacuées comme la ville de Bragin et surtout la petite ville de Poleskoye, à 65 km de la centrale, choisie pour servir de base de repli aux liquidateurs. Les personnes laissées pour compte par ces choix sont évaluées à un nombre supérieur à celles connues comme évacuées (200 000).

Nesterenko, qui dès la survenue de la catastrophe, a demandé l'évacuation des populations dans un rayon de 100 km a été destitué de son poste [Belbeoch 2002].

Il faudra attendre février-mars 1989, près de trois ans après la catastrophe, avec les premiers frémissements de la « glasnost », pour que des cartes, indiquant les zones contaminées, paraissent dans la presse soviétique.

En octobre 1989, est publié en Belarussie, le programme de déplacement de 100 000 personnes des zones les plus contaminées<sup>12</sup> (supérieur à 15 Ci/km<sup>2</sup> de césium 137 soit 0,555 million de Bq/m<sup>2</sup>) dont certaines se situent à plus de 200 km de Tchernobyl [Belbeoch 1998]. Depuis 1986, ce sont 137 700 personnes, de presque 500 localités, qui ont été obligées de quitter leurs lieux de vie pour se réinstaller à Minsk, Gomel, Moguilev ou dans la zone rurale du pays.

Une partie des gens délogés a été réinstallée dans des zones qui se sont avérées également contaminées. Il faudra les déloger à nouveau. Des indemnités sont proposées à ceux qui ne trouvent pas de logement. Des difficultés d'insertion sociale se sont parfois présentées et il est arrivé que ces évacués soient considérés comme des pestiférés par les populations qui les accueillent. Il arrive même que les évacués décident de retourner vivre dans les zones contaminées où les autorités leur proposent des incitations financières (+25 % sur les salaires et des allocations pour l'achat de nourritures non contaminées).

## Après la ruine du réacteur

### *Les premiers constats*

La cellule de crise décide de survoler le réacteur N° 4 en hélicoptère. Nesterenko, chargé de la radioprotection, mobilise les spécialistes nationaux et un millier d'experts de l'Institut pour établir les cartes des retombées radioactives. Avec l'académicien Legassov, un pompier et un pilote d'hélicoptère, ils survolent le réacteur pour étudier comment éteindre le feu du cœur qui rejette en altitude, du fait de la colonne d'air très chaud, de grandes quantités de radionucléides dans l'atmosphère. Ces rejets s'effectuent sous forme de gaz et de fines particules de combustible (0,5 à 1 micron).

Seuls Nesterenko et Legassov<sup>13</sup> survécurent à ce vol, les deux autres moururent peu de temps après leur exposition<sup>14</sup> durant le vol en hélicoptère.

La colonne d'air chaud s'est élevée entre 1 000 à 1 500 m d'altitude, pour donner ce que l'on a appelé, dans le monde entier, le « nuage de Tchernobyl ». Les rejets en iode 131 ont concerné 50 à 60 % de l'inventaire du cœur, et 20 à 40 % des césiums 134 et 137.

11 - Dans le cas d'une exposition aiguë, la protection est voisine de 100 % lorsque l'iode stable est ingéré dans les 6 heures qui précèdent la contamination. Elle n'est plus que de 50 % quand l'ingestion a lieu à la 5<sup>e</sup> heure après la contamination. Cependant, dans une situation accidentelle (passage d'un nuage radioactif), la contamination est progressive et l'ingestion d'iode stable retardée peut avoir encore un effet bénéfique [Smeesters 2011]. Il est regrettable que les propositions faites par Nesterenko, dès le 29 avril 1986, de distribuer de l'iode stable à la population et d'évacuer la population dans un rayon de plus de 100 km, aient été rejetées par les autorités.

12 - Dans les années 1980-90, l'unité d'activité utilisée était encore le curie (activité d'un gramme de radium 226). Cette activité représente 37 milliards de désintégrations par secondes (3,7.10<sup>10</sup>Bq).

13 - Legassov, incapable de supporter la censure, mit fin à ses jours le 27 avril 1987 (1<sup>er</sup> anniversaire de la catastrophe), en laissant un « testament » public intitulé « Mon devoir est d'en parler » paru le 20 mai 1988 dans la Pravda, malgré ses critiques acerbes du pouvoir.

14 - Le débit de dose mesuré par les deux physiciens, à 300 m au-dessus du réacteur, variait entre 100 et 400 rem/h (1 à 4 Sv/h). La dose mortelle à 50 % est atteinte vers 3 à 4 sieverts reçus par l'organisme entier, soit un peu plus d'une heure de survol. À 6 sieverts et au-delà, la dose est létale à 100 %

En fait, il y a eu « des nuages », car pendant les 10 jours durant lesquels les rejets n'ont pas cessé, les vents dominants ont changé de direction. La distribution des rejets ressemble à une étoile de mer à 6 bras, car les vents ont tourné, en 10 jours (du 26 avril au 4 mai), de 360° [UNSCEAR 2000] (page 459, figure V).

L'inquiétude majeure des physiciens porte sur le comportement du combustible en fusion (corium). S'il parvient à percer la dalle de béton, d'un mètre d'épaisseur, sur lequel repose le réacteur, il atteindra l'eau de la piscine de condensation. Pour Nesterenko<sup>15</sup>, en plus du risque d'explosion thermique provoqué par le contact eau-corium, un mélange « combustible-eau-graphite » de 1,4 tonne peut alors constituer la masse critique qui conduit à une énorme explosion nucléaire de 3 à 5 mégatonnes de TNT.

Comme le souligne M. Molitor<sup>16</sup>, la crainte était de voir l'incendie de la salle des machines du réacteur N° 4 (alignée avec celle du N° 3 et où se trouvent des milliers de tonnes d'huile et de l'hydrogène) ainsi que les débris enflammés, projetés lors de l'explosion sur le toit du réacteur N° 3, propager le feu au réacteur voisin.

Plus grave encore, M. Molitor signale que le réacteur N° 3 continuait à fonctionner<sup>17</sup> après l'explosion du réacteur N° 4, mais aussi la paire de réacteurs N° 1 et N° 2. Ils ne furent arrêtés que le dimanche 28 avril.

Brioukanov, le directeur de la centrale, n'a pas eu le courage de prendre les décisions qui s'imposaient : arrêter immédiatement les trois autres réacteurs et évacuer leurs personnels. Les systèmes d'aération des trois réacteurs n'étant pas arrêtés, tous les personnels ont ainsi continué à respirer gaz et aérosols radioactifs provenant du réacteur accidenté.

### ***Les actions correctives***

Plusieurs actions sont décidées : éteindre le feu du graphite au moyen d'hélicoptères qui rejettent des matériaux pour arrêter le feu de graphite, percer un tunnel sous le réacteur afin de vider l'eau sous la dalle et construire une « couverture » (le sarcophage) englobant le réacteur sinistré, afin d'assurer son confinement, en cas de nouveaux rejets.

Le feu de graphite a été pratiquement vaincu au bout de 10 jours, après avoir été recouvert par 6000 tonnes de matériaux divers : du carbure de bore pour étouffer les réactions nucléaires, de la dolomite pour absorber l'énergie thermique, de l'argile et du sable pour bloquer la diffusion des gaz et aérosols radioactifs et enfin du plomb pour finir d'obturer les cavités. Une part importante du plomb, déversé sur des matériaux encore très chauds, s'est sublimée, ajoutant à la contamination radioactive environnementale, celle du plomb<sup>18</sup>.

Les matériaux d'abord déversés au jugé en tournant au-dessus du réacteur (ce qui occasionna de très fortes doses à l'équipage), furent ensuite placés dans des sacs, regroupés et accrochés à la voilure d'un parachute, lâché au droit du réacteur, à une altitude de 110 m environ. Les doses reçues par les équipages, lors des premières sorties d'hélicoptères, variaient entre 0,2 et 0,8 sievert. Ce sont 27 équipages, qui ont dû se relayer pour assurer ces opérations.

Les risques d'incendie et d'explosion ont ainsi été enrayés grâce au sacrifice des pompiers ainsi que ceux des pilotes et mécaniciens d'hélicoptères. Mais les interventions de nombreux liquidateurs, sur les toits du réacteur N° 3, lors de la décontamination autour des réacteurs N° 3 et 4 et pour la remise en état des nombreux tuyaux et circuits électriques, ont été extrêmement pénalisantes en dose. Le plus grave, c'est que ces actions ont été décidées par la Commission gouvernementale, uniquement pour permettre la poursuite de l'exploitation des trois autres réacteurs<sup>19</sup>. Elles ne s'imposaient pas toutes et dans l'urgence.

Des kilowattheures contre des vies et des souffrances humaines !

Comme toutes les autres opérations, la construction du sarcophage<sup>20</sup> en 7 mois, s'est traduite par des doses mal connues, délivrées à des dizaines de milliers de personnes. Officiellement, les autorités soviétiques ont déclaré que les doses moyennes des intervenants étaient de 30 rems<sup>21</sup> (0,3 sievert). Ceux affectés aux travaux de décontamination, autour du bâtiment réacteur, auraient reçu en moyenne 14 rems en 1986 et 21 rems en 1987 (0,14 et 0,21 sievert).

Mais ces valeurs officielles ne sont pas très crédibles car des témoignages d'intervenants soviétiques, publiés plus tard, indiquent que les débits de dose retenus officiellement par les responsables étaient significativement inférieurs

15 - *Propos recueillis par Galia Ackerman, dans « Les silences de Tchernobyl » [Grandazzi 2004], page 25.*

16 - Molitor Marc, « Tchernobyl, Déni passé, Menace future ? », avril 2011.

17 - Le directeur de la centrale de Tchernobyl était opposé à cet arrêt et c'est le chef d'équipe du réacteur N° 3 qui prit seul l'initiative de l'arrêter le samedi 27 avril.

18 - Des tonnages déversés sont fournis par [Coumarios 2000] : 5 000 tonnes de matériaux auraient été déversés au total

19 - [Molitor 2011], pages 33 et 41.

20 - Une pyramide tronquée de 220 m de long, 100 m de large et 55 m de hauteur qui a nécessité l'utilisation de 600 tonnes d'acier et 300 000 tonnes de béton.

21 - Les doses fournies à l'époque étaient formulées dans l'ancien système d'unité : 1 rem = 0,01 sievert.



aux résultats des mesures réalisées<sup>22</sup>. Comme les doses ont été reconstituées sur la base de mesures d'ambiance (les intervenants ne portaient pas de dosimètres individuels) les doses moyennes sont en réalité probablement bien supérieures aux données officielles.

Pour accéder à la piscine de condensation située sous la dalle du réacteur, plusieurs centaines de mineurs du bassin houiller de Donbass ont, dans la 2<sup>e</sup> quinzaine de mai, creusé au marteau-piqueur et à la pioche, sans discontinuer, un tunnel de 170 m de long afin d'accéder à la réserve d'eau pour la vidanger et injecter du béton et de l'azote liquide. Un système de wagonnets montés sur rails, installés dans un boyau de 2 m de diamètre environ, permettait d'évacuer les matériaux. Les objectifs furent atteints en 10 jours.

D'importants travaux ont été conduits pour protéger les eaux souterraines et celles de la rivière Pripiat, affluent du Dniepr, qui coule vers Kiev. Il fallait pour cela isoler le bassin de la centrale et construire un mur profondément enfoncé dans le sol (45 m), long de 8 km, afin d'éviter tout transfert, des eaux souterraines situées sous la centrale, vers la rivière. Plusieurs dizaines de digues ont également été construites le long de la rivière afin de provoquer des dépôts sédimentaires, piégeant la contamination. Mais ces travaux n'ont été connus qu'au travers d'échanges avec des spécialistes européens. Ils n'ont pas fait l'objet de publication.

Les opérations d'assainissement ont produit de très grandes quantités de déchets radioactifs (environ 1 million de m<sup>3</sup>), répartis sur 800 sites environ, situés à l'intérieur de la zone d'exclusion de 30 km. Une partie des déchets et équipements a été enfouie dans des tranchées et une autre partie isolée par des écrans de béton ou d'argile afin d'éviter la contamination de eaux souterraines [AEN-OCDE 1995]. Entre avril 1986 et novembre 1988 plus d'un demi-million de m<sup>3</sup> de terre a été raclé au bulldozer, afin de déblayer les alentours de la centrale [Coumarios 2000].

Une clôture de fil de fer, de près de 190 km de long, a été posée afin de matérialiser la zone interdite de 30 km de rayon.

### **Les « Liquidateurs »**

Le nombre des liquidateurs (« likvidatory » en russe) engagés sur les différents chantiers de la centrale de Tchernobyl a fait l'objet de plusieurs estimations : 600 000 selon l'ONU [Strazzulla 1991] (premier ouvrage à avoir donné l'importance véritable des interventions en 1986-90), et 800 000 d'après l'OMS.

Marc Molitor cite des sources plus récentes<sup>23</sup> qui confirment l'évaluation haute de l'OMS, soit 830 000 liquidateurs. La part des militaires dans ce total varie également entre 250 000 et 500 000<sup>24</sup>. Le nombre d'intervenants sur le site a également varié au cours des années : d'environ 306 000 en 1986 à 5 800 en 1990.

Il évoque également les travaux d'une écrivaine Ukrainienne qui, dans l'enquête qu'elle a menée, a découvert qu'une majorité des liquidateurs Ukrainiens ne sont pas recensés au Centre radiologique de l'Union, créé à Kiev pour traiter les victimes des expositions. Ces manques compliquent cruellement la prise en charge des liquidateurs lorsque la maladie survient.

## **L'AIEA et l'OMS : dénis sur l'impact sanitaire de l'accident de Tchernobyl**

Les responsables de l'AIEA ont très rapidement tenté de réduire l'impact médiatique de l'accident de Tchernobyl, néfaste pour le développement de l'énergie nucléaire dans le Monde, comme nous allons le voir au travers de quelques déclarations cyniques sur l'impact humain de la catastrophe. Des discours caricaturaux et très réducteurs, qui connaissent près de 30 ans après, une nouvelle vigueur.

Les responsables ont changé depuis mais pas le discours.

Le secrétaire de l'AIEA, Hans Blix s'était rendu le 7 mai 1986 à Tchernobyl à l'invitation des soviétiques. Trois semaines après, il déclarait<sup>25</sup> avec un indécent cynisme : « *Tchernobyl n'a pas causé plus de morts que le match de football de Heysel*<sup>26</sup>, il y a un an ».

22 - Dans le journal des Jeunesses communistes « Komsomolskaya Pravda », du 2 février 1990, Vladimir Chilov raconte : « Dans la boue (des salles intérieures du réacteur détruit) nos compteurs enregistraient 70 rads par heure et dans l'eau 45. Le Chef en notait 1,5 ». [Strazzulla 1991]

23 - Le recrutement des liquidateurs s'est élargi au Kazakhstan, à l'Arménie, la Lettonie et la Lituanie.

24 - Selon Kostine [Kostine 2006] (page 24), Sur les 600 000 à 800 000 liquidateurs il y avait 500 000 soldats et officiers, parmi lesquels des réservistes.

25 - Le lundi 2 juin 1986, à Genève, à l'ouverture de la conférence « European Nuclear Conference », congrès quadriennal des industries nucléaires européennes.

26 - Le 29 mai 1985, à Heysel en Belgique, lors d'un match de football entre une équipe anglaise et une italienne (Liverpool contre Juventus de Turin), un affrontement entre deux groupes de supporters provoque 39 morts et environ 600 blessés.

Peu avant son secrétaire, la mission de l'AIEA à Tchernobyl, brossait, le 1<sup>er</sup> mai 1986, un tableau rassurant de la situation: « *Le réacteur est à l'arrêt (sic)... Les entreprises, les fermes collectives et institutions d'État fonctionnent normalement... L'état de l'air au-dessus de la région de Kiev et de la ville de Kiev-elle-même n'est pas préoccupant...* ».

Le 9 mai H. Blix avait précisé, à propos des prévisions d'impact sanitaire de l'accident: « *On ne peut démontrer de façon sûre qu'il y aura des effets négatifs mesurables sur la santé pour ce qui concerne une augmentation des taux de cancers. Par chance, la majeure partie de la population se trouvait à domicile au moment de l'explosion... et il n'a pas plu sur la région durant les heures critiques...* ».

Comme il était 1 h 24 du matin, il n'y avait effectivement pas grand monde dehors, quant aux heures critiques qui ont duré, pour la 1<sup>re</sup> phase, 10 jours, cela fait 240 heures. Mais la 2<sup>e</sup> phase se mesurera en dizaines d'années ou peut-être en siècles. S'agissant de la pluie, là aussi le mensonge est grossier, car ce sont elles qui ont provoqué les contaminations très importantes, dites en « *peau de léopard* », touchant des territoires situés à 200 km de Tchernobyl. Des territoires qui ne seront connus des populations soviétiques, par les cartes publiées, qu'à partir de janvier 1989.

La journaliste ukrainienne Alla Yarochinskaya<sup>27</sup>, devenue en 1989 députée au Soviet suprême d'URSS, rend compte d'un document secret, daté du 10 mai 1986, dans lequel il est précisé que « des avions sont utilisés pour protéger la ville de Kiev des précipitations atmosphériques, c'est-à-dire que l'on a dispersé dans les nuages des substances chimiques afin de faire tomber la pluie sur les régions rurales environnant la Centrale... ». La pluie est donc bien tombée et de façon provoquée.

Le 28 août 1986, M. Rosen, directeur de la sûreté nucléaire de l'AIEA, déclarait lors de la Conférence qui s'est tenue à Vienne du 25 au 29 août 1986: « *Même s'il y avait un accident de ce type tous les ans, je considérerais le nucléaire comme une énergie intéressante*<sup>28</sup> ».

Quelques mois plus tard M. Rosen, faisait des déclarations à l'unisson avec son confrère soviétique M. Boris Semenov, Vice-Président du Comité National soviétique de l'Énergie atomique :

M. Rosen: « *Le nucléaire est le moyen le plus sûr de produire de l'électricité et s'il fallait le remplacer les dangers seraient pires* » et « *Un accident nucléaire n'est certainement pas tolérable pour l'individu mais pourrait être tolérable pour la société* ». Ou comment la société peut imposer l'intolérable au citoyen...

B. Semenov: « *Les importants dommages dus à Tchernobyl sont comparables à d'autres catastrophes; si l'on remplaçait le nucléaire par une autre énergie, les risques augmenteraient sensiblement* ».

Dans une approche bien plus sérieuse, la délégation soviétique, présidée par V. Legassov, a présenté à la conférence de Vienne d'août 1986, son analyse de l'accident et de ses conséquences dans un volumineux rapport (370 pages), dont une annexe (N° 7) de 70 pages, portant sur les problèmes médicaux et biologiques. En se fondant sur les bases, toujours actuelles<sup>29</sup>, de la CIPR, les experts soviétiques faisaient une prévision de 30 000 à 40 000 victimes (dont plus de 80 % dus au césium 137). Des pressions importantes s'exercèrent alors sur les experts soviétiques, par l'AIEA, par la CIPR (D. Béninson, son Président) et par des représentants de divers pays, afin qu'ils revoient à la baisse leurs prévisions. La conférence s'est alors poursuivie à huis clos et en final, le communiqué de l'AIEA réduisit la prévision pour le long terme de 40 000 à 4 000 victimes. L'annexe N° 7, relative aux estimations des experts soviétiques sur l'impact sanitaire de la catastrophe, ne fut pas jointe aux « Actes du congrès » [Belbeoch B. 1998]. Du jamais vu !

Mais on le reverra plus tard quand l'OMS ne publie pas les textes des conférences internationales qu'elles a pourtant elle-même organisées.

Le 16 janvier 1987, lors d'une conférence de presse, Hans Blix, secrétaire de l'AIEA, qui venait de passer une semaine en Ukraine, déclarait à Moscou « *La zone située entre 10 et 30 km autour de la centrale pourra commencer à être repeuplée de ses habitants cette année* ». Elle est en fait, près de 30 ans après, toujours interdite.

À l'automne 1987, dans le Bulletin de l'AIEA, l'académicien Léonid Ilyin, un des experts soviétiques officiels (responsable de la radioprotection), écrivait [Ilyin 1987]:

- « *Parmi les différentes mesures prises pour protéger la population, la prophylaxie par l'iode s'est avérée particulièrement efficace dans les conditions très inhabituelles de l'accident (caractérisées par le rejet sur une longue période de gaz et d'aérosols à partir de la zone du réacteur)* ».

27 - « Absolument confidentiel » : Les autorités soviétiques face à la catastrophe [Grandazzi 2004], (pages 27-40).

28 - Cette phrase a également été reprise par le journal *Le Monde*, du 28 août 1986. La « *Gazette nucléaire* » a relevé également d'autres déclarations de ces importants personnages [Gazette 1988].

29 - La relation « dose-effet » des rayonnements ionisants est admise comme étant une relation linéaire sans seuil. Les effets sanitaires (cancers et effets génétiques) sont proportionnels à la dose reçue.

- « *De l'iode a été administré, à titre prophylactique à un total de 5,4 millions de personnes dont 1,7 million d'enfants* ».

Or, un document secret du Ministère de la santé d'Ukraine<sup>30</sup>, datant du 26 mai 1987, précisait que 2 600 enfants avait reçu une dose supérieure à 500 rems à la thyroïde.

Au printemps 1989, devant le parlement de l'URSS, Ilyin devait lui-même admettre : « *Un million six cent mille enfants ont subi des doses qui nous préoccupent* ».

Là, mais dans un cercle très fermé, Ilyin disait la vérité. La flambée des cancers thyroïdiens, qui démarrera dès 1990 témoigne abondamment de la réalité des expositions thyroïdiennes.

Devant de tels camouflages de la réalité, quel crédit pouvons-nous alors accorder au reste des données communiquées par les autorités soviétiques, comme celles relatives aux doses reçues par les populations et les liquidateurs, ou au recensement des impacts sanitaires ?

Les experts français ont pris aussi leur part dans ces discours réducteurs, comme ce fut le cas du Dr Henri Jammet (Chef du Département Radioprotection à l'IPSN devenu IRSN), qui était Vice-Président de la CIPR (1985-89). De retour d'une mission gouvernementale à Tchernobyl, dans un entretien au journal « Le Monde » (une pleine page de sa rubrique médecine), le 4 juin 1986, le Dr Jammet soutient que la population à risque dans les zones touchées près de Tchernobyl se réduit « *aux habitants les plus proches de la centrale (un millier de personnes) qui... devront faire l'objet d'une surveillance médicale, sans que l'on puisse dire, dès à présent, avec certitude que l'irradiation ainsi subie aura des suites quelconques pour leur santé* ».

À l'été 1989, trois experts de l'OMS (dont un français, le Pr Pellerin et un argentin Dan Béninson, Président de la CIPR) se rendent à Moscou à la demande des experts soviétiques qui débattent sur le niveau de dose qui devrait conduire à l'évacuation des populations. Le Conseil des ministres de l'URSS a adopté, en septembre 1988, une limite fondée sur une espérance de vie de 70 ans et une exposition moyenne de 5 millisieverts par an, la limite de dose pour les personnes du public, soit 350 mSv pour la vie<sup>31</sup>. Les experts de l'OMS se sont vigoureusement opposés à cette valeur considérée comme trop faible. Comme la nouvelle limite de dose annuelle pour le public<sup>32</sup> a été réduite de 5 à 1 mSv/an il faudrait réduire encore cette dose vie à 70 mSv.

L'OMS organise à Genève, du 20 au 23 novembre 1995, une conférence internationale sur « *Les conséquences de Tchernobyl et d'autres accidents radiologiques sur la santé* » en présence de 700 médecins et experts, les actes de ce colloque ne seront publiés que partiellement, malgré les demandes réitérées des participants. C'est une manifestation directe de l'accord signé entre l'OMS et l'AIEA le 28 mai 1959, selon lequel ces deux organisations des Nations Unies ne peuvent rien entreprendre, ni dans leur programme ni dans leur activité, qui puisse nuire l'un à l'autre. L'article 3 de cet accord prévoit également que ces deux organisations « *peuvent être appelées à prendre certaines mesures restrictives pour sauvegarder le caractère confidentiel de renseignements qui leur auront été fournis.* » Une confidentialité contraire à la Constitution de l'OMS, comme le souligne M. Fernex [Fernex 1998].

Comme en août 1986 avec la censure exercée par l'AIEA, l'OMS n'a pas hésité à la pratiquer à son tour en novembre 1995, en application de son accord avec l'AIEA.

En février 2003, le Directeur général de l'AIEA, Mohammed El Baradai crée officiellement une instance internationale : le *Forum Tchernobyl* afin de venir à bout des informations contradictoires relatives à l'impact sanitaire de la catastrophe de Tchernobyl.

Lors du *Forum Tchernobyl* qui s'est tenu en 2005, consacré au 20<sup>e</sup> anniversaire de la catastrophe, El Baradei déclare dans son discours d'ouverture que Tchernobyl a fait 59 morts<sup>33</sup> : « *Les nombres définitifs enregistrés dans le rapport du Forum Tchernobyl sont sérieux : les 50 travailleurs des équipes de secours qui sont décédés par syndrome d'irradiation aiguë et maladies connexes ; les 4 000 enfants et adolescents qui ont été atteints de cancer de la thyroïde – dont 9 aussi en sont morts* ». L'AIEA s'en tient toujours au chiffre de 4 000, adopté en août 1986 à son Congrès.

Ce *Forum Tchernobyl*, donnera pourtant de nouveaux chiffres importants sur le nombre de cancers de la thyroïde : « *plus de 4 000 cas* », diagnostiqués entre 1992 et 2002, chez des enfants et adolescents qui avaient moins de 18

30 - Cité par Alla Yarochinskaya dans « *Les silences de Tchernobyl* » [Grandazzi 2004] (page 33) et dans le livre remarquable de Marc Molitor [MOLITOR M. 2011], Page 84.

31 - La dose limite annuelle pour les personnes du public était fixée à l'époque à 5 mSv/an, sur la base normes fondamentales présentées dans la publication CIPR 26. Depuis, cette valeur limite a été réduite à 1 mSv/an. Qu'en est-il de la « dose vie » ?

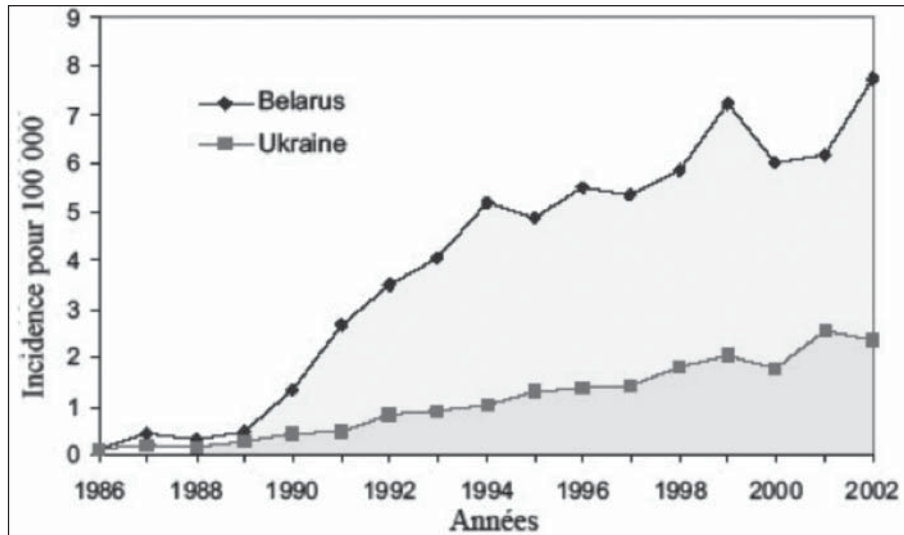
32 - La CIPR a proposé en novembre 1990 de nouvelles « Normes de base » dans sa publication CIPR60, qui ont été prises en compte dans la Directive européenne de mai 1996 et par un grand nombre d'Etats.

33 - Sur 134 personnes qui travaillaient dans le réacteur, ou qui sont intervenus lors de l'accident (des pompiers principalement) et ont été fortement exposés (2 à 20 sieverts), il y a eu 28 décès dans les quatre premiers mois puis 19 autres jusqu'à 2004. À ceci s'ajoute les 3 décès survenus dans le réacteur lors de l'accident. Il faudrait également compter, en plus des irradiés, les cinq membres de l'équipage de l'hélicoptère qui a heurté la flèche d'une grue, le 1<sup>er</sup> octobre 1986 [Kostine 2006].



ans lors de l'accident nucléaire. Ces atteintes ont occasionné 15 décès (et non 9) jusqu'en 2002. La figure suivante illustre l'évolution de l'incidence en fonction du temps pour les deux pays les plus touchés : Belarus et Ukraine.

Figure 1 : Évolution de l'incidence des cancers de la thyroïde chez les moins de 18 ans, provoqués en Biélorussie et en Ukraine par l'accident de Tchernobyl



Source : Incidence rate of thyroid cancer in children and adolescents exposed to 131I as a result of the Chernobyl accident (Jacob et al. 2005).

Comme l'incidence des cancers de la thyroïde pour les moins de 18 ans, était avant 1986 de l'ordre de 0,1 pour 100 000, nous constatons qu'en 2002, l'incidence observée est environ 20 fois supérieure en Ukraine et près de 80 fois plus élevée en Belarus.

Bien que très importants, ces nombres de cancers de la thyroïde, diagnostiqués dans l'ensemble des territoires touchés, restent inférieurs à ceux réellement enregistrés en Ukraine, en Belarus et en Russie. Les autres données retenues officiellement par ce forum<sup>34</sup> sont assez réductrices de la réalité, qu'il s'agisse du nombre des « liquidateurs<sup>35</sup> », de celui des évacués<sup>36</sup> ou des doses moyennes reçues par ces deux populations.

Il fallait un certain cynisme à l'AIEA et l'OMS pour écrire, à propos des doses reçues par les « liquidateurs », que : « À l'exception du personnel sur le site du réacteur et des membres des équipes d'intervention exposés le 26 avril, la plupart des travailleurs chargés d'assurer le retour à la normale et ceux qui vivent dans les zones contaminées ont reçu des doses d'irradiation à l'organisme entier relativement faibles, **comparables aux niveaux du fond naturel de rayonnement** et inférieures aux doses moyennes que reçoivent les gens qui vivent dans certaines parties du monde où le fond naturel de rayonnement est élevé ».

Cette sous-évaluation mensongère et grotesque des doses reçues pose le problème de la crédibilité de ces organisations internationales, dans la mesure où l'AIEA et l'OMS jouent un rôle important dans l'établissement des normes de protection des travailleurs et des populations contre les rayonnements ionisants.

Plus près de nous, le 4 octobre 2013, Marcel Boiteux, ancien Directeur général d'EDF déclarait dans un documentaire<sup>37</sup>, présenté sur la chaîne « Arte » : « Tchernobyl n'est pas un accident nucléaire, c'est un accident soviétique ! ». Dans ce même documentaire, Anne Lauvergeon, ex-Présidente d'AREVA, soulignait que le réacteur de Tchernobyl se trouvait à l'intérieur d'un « bardage de supermarché : une structure métallique recouverte de tôles » ce qui laisse entendre qu'une autre structure aurait pu contenir une explosion équivalente à 75 tonnes de TNT !

C'est pourtant dans un même type de bâtiment que sont abritées les quatre piscines de La Hague, où sont entreposés plus de 110 cœurs de réacteurs, soit autant que tous les cœurs contenus dans les réacteurs et piscines de refroidissement des 19 centrales d'EDF.

34 - The Chernobyl Forum, 6-7 September 2005, Vienna, Second revised version, IAEA, April 2006 <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernobyl/chernobyl.pdf>

35 - Selon le communiqué conjoint AIEA-OMS, du 5 septembre 2005, « sur les plus de 200 000 de travailleurs affectés aux équipes d'intervention ou chargés d'assurer le retour à la normale en 1986 et 1987, 2 200, selon les estimations, pourraient décéder des suites d'une radio-exposition ». Or, selon le Centre russe de médecine des radiations (2009), les intervenants deux fois plus nombreux : il y aurait eu 305 826 intervenants en 1986, et 138 173 en 1987 [Molitor 2011], un total de **443 999 personnes**.

36 - Le rapport Chernobyl Forum de 2005 estime qu'il y a eu 116 000 personnes évacuées. Or, pour la seule Biélorussie, il y a eu plusieurs vagues d'évacuation en 1986 (4 mai et 9 juin) puis entre 1989 et 1991 pour un total de 130 000 personnes auxquels se sont ajoutés 200 000 évacués volontaires (Témoignage du Pr Iossif Bogdevitch, publié par l'ASN le 10/12/2009).

37 - « Nucléaire, l'exception française ».

Or, M. Boiteux ignore peut-être que le 24 novembre 1996, le même test sur l'inertie de la turbine, était tenté dans la centrale EDF de Paluel, **en déconnectant aussi les sécurités**. Un des opérateurs a voulu mettre fin à cet essai contraire à tous les protocoles. Le Directeur de la Centrale, consulté, a donné son accord pour la poursuite de l'essai, jusqu'au moment où cet opérateur a pris sur lui de tout arrêter. Le journal local a parlé de cette aventure, qui est venue aux oreilles des Autorités de sûreté. Le lendemain les inspecteurs du SCSIN (devenu ASN) étaient sur le site et le Directeur de la Centrale EDF remercié [Molitor 2011], page 30.

## La réalité des impacts sanitaires de la catastrophe

### *Impacts à court terme chez les divers intervenants*

Les premiers impacts sanitaires observés ont concerné les pompiers et les liquidateurs qui sont intervenus dans des zones où le niveau d'irradiation gamma ambiant était très élevé. À cette exposition externe de tout l'organisme, s'est ajoutée une irradiation de la peau provoquée par le dépôt sur les parties du corps, non protégées par un vêtement, de poussières très radioactives. Le rayonnement bêta émis par ces aérosols radioactifs a délivré à la couche basale de l'épiderme (située à 7/100<sup>e</sup> de mm sous la peau) des doses (6 à 12 grays) qui provoquent des brûlures radiologiques dont la gravité augmente avec la dose. Il a donc fallu traiter médicalement des irradiés (destruction de la moelle rouge qui produit le sang) qui étaient aussi des grands brûlés.

Les syndromes d'irradiation aigus (fièvres, diarrhées, vomissements) surviennent lorsque la dose moyenne, délivrée en un temps court (quelques minutes ou heures) à l'organisme entier, atteint un gray environ.

Les interventions médicales d'urgence mises en œuvre par les soviétiques ont été à la hauteur de l'événement<sup>38</sup>. Dans les 12 h qui suivirent l'accident, 230 médecins, radiologues et hématologistes arrivèrent de Moscou. Sur la base des données de la formule sanguine et du relevé des symptômes, le tri a permis de distinguer 217 personnes qui auraient reçu une dose de 100 rems (1 gray) ou plus. Les cas les plus graves furent orientés vers la clinique N° 6 à Moscou et les autres hospitalisés à Kiev [Strazzulla 1996] (page 64).

**Tableau 1 : Syndromes d'irradiation aiguë survenus dans les quatre premiers mois**

Degré de sévérité	Nombre de patients traités	Nombre de décès	Nombre de survivants
Débutant (stade I)	41	0 (0%)	41
Modéré (stade II)	50	1 (2%)	49
Sérieux (stade III)	22	7 (31%)	15
Très sérieux (stade IV)	21	20 (95%)	1
<b>Total</b>	<b>134</b>	<b>28</b>	<b>106</b>

Source : [CEN 2011]

Notas :

- Entre 1987 et 2004, 19 autres personnes décédèrent (5 au grade III, 8 au grade II et 6 au grade I), ce qui porte, avec les 3 personnes tuées dans le hall du réacteur, à un total de 50 décès à court terme.
- Au stade IV, où la dose reçue est pratiquement mortelle à 100 %, 9 personnes sur 21 étaient brûlés entre 50 et 100 %, ce qui réduisait encore les chances de survie. Les décès survinrent dans les 4 premières semaines, bien qu'ils fussent nombreux à recevoir une greffe de moelle osseuse. Seuls deux greffés ont survécu [Kostine 2006].

Les brûlures radiologiques, qui se sont rajoutées aux effets des irradiations de l'organisme, ont joué un rôle important dans la mortalité des intervenants.

<sup>38</sup> - La préparation des armées soviétiques, face aux risques présentés par l'usage d'une « bombe à neutrons », un missile sol-sol qui délivre son énergie par l'émission renforcée de neutrons, en atténuant les composantes du « souffle » et du « feu », a consisté en des regroupements rapides de spécialistes permettant de faire le tri sélectif des victimes en fonction de la dose évaluée sur des données biologiques. Ce tri permet de donner les premiers traitements dits de « compensation », en transfusant les éléments du sang déficitaires (globules rouges, plaquettes). Ces informations m'ont été confirmées à l'époque, par une infirmière qui avait participé à ce type d'exercice.

Tableau 2 : Bilan des premiers décès établi fin août 1986

Surface corporelle brûlée	Nombre de brûlés	Nombre de décès
Inférieure à 30%	21	0
30 à 60%	12	9
60 à 90%	8	8

Source : [Strazulla 1991]

Un bilan plus complet sera publié en 2011 par [UNSCEAR 2008] table C3, avec 115 brûlés.

C'est l'écrivaine Svetlana Alexievitch, en donnant la parole aux survivants et aux proches des victimes hospitalisées, qui dans son ouvrage, « La supplication », a le mieux rendu l'angoisse, les douleurs physiques et morales de tous les suppliciés de Tchernobyl [Alexievitch 1998].

### **Effets tardifs observés chez les intervenants**

Compte tenu de la latence de certains effets, il a fallu attendre quelques années avant d'observer, chez les intervenants : des cataractes (irradiation du cristallin de l'œil), des cancers et des atteintes auto-immunes de la thyroïde, des leucémies et des suicides en excès statistiquement significatifs.

### **Les leucémies observées chez les liquidateurs ukrainiens**

En novembre 2012, une étude américano-ukrainienne, conduite par Lydia B. Zablotska et al [Zablotska 2012], où l'approche utilisée est une étude cas-témoins à l'intérieur de la cohorte des liquidateurs Ukrainiens (110645 personnes) de Tchernobyl, a montré un effet leucémique statistiquement significatif. Sur les 137 cas de leucémies enregistrés sur un suivi de 20 ans (1986-2006), 16 % d'entre-eux étaient attribuables aux expositions reçues à Tchernobyl. L'excès de risque relatif (ERR) par unité de dose<sup>39</sup> est égal à 1,2.

Depuis les années 2000, les analyses d'effets de santé chez les liquidateurs sont conduites au moyen d'études cas-témoin portant sur quelques centaines de personnes, car il est difficile d'avoir des données précises, ne présentant aucun biais majeur dans l'étude, lorsqu'elle porte sur des milliers de personnes (reconstitution des doses externes et internes reçues durant leurs interventions, recherche d'autres expositions toxiques, habitudes tabagiques, etc.).

Une relation dose-réponse significative a été également trouvée pour le risque de leucémie lymphoïde chronique (CLL), qui est généralement considérée comme une *leucémie non radioinduite*. Comme cette leucémie est très rare au Japon<sup>40</sup> (3 % des cas de leucémies environ) il ne pouvait pas être mis en évidence d'augmentation significative pour elle, parmi celles dénombrées chez les rescapés d'Hiroshima et Nagasaki.

L'augmentation de cette leucémie n'apparaît pas dans le rapport UNSCEAR de 2008 consacré à Tchernobyl car les publications relatives aux leucémies prises en compte dans ce rapport sont antérieures à 2007. Pour toutes les leucémies, hors CLL, l'excès de risque relatif<sup>41</sup> (ERR) par unité de dose (Gy) est significatif : ERR = 2.6 (0.02 – 8,4).

### **Les suicides chez les liquidateurs de Tchernobyl**

Parmi les liquidateurs qui ont participé aux diverses opérations dans et autour du réacteur de Tchernobyl, environ 5000 hommes venaient d'Estonie.

Dès 1997, une étude portant sur les risques de mortalité et d'incidence des cancers entre 1986 et 1993 a montré que le risque de suicide, dans une cohorte de 4742 liquidateurs, était 1,52 fois supérieur à celui des adultes masculins d'Estonie [Rahu 1997]. Les suicides représentaient 19,4 % des 144 décès recensés. Les auteurs de l'étude [Rahu 2006] ont réexaminé la situation pour la période allant de l'accident à fin 2002 (550 décès observés au total). L'augmentation du risque de suicide, durant les 17 années qui suivirent l'accident, est confirmée avec un SMR<sup>42</sup> de 1,32 (intervalle de confiance 95 % (1.03-1.67) statistiquement significatif, soit 32 % de suicides en plus du nombre attendu.

39 - La relation « dose-réponse » significative trouvée pour les 137 cas de leucémies a pour excès de risque relatif par unité de dose : ERR/Gy = 1.2 (95 % intervalle de confiance (0.03, 3.58).

40 - Ce n'est pas le cas en Europe, où le taux est près de 30 %, 1/3 des leucémies aux USA et 40 % en Ukraine. Cette réputation de leucémie « non radioinduite » qui s'attache à la leucémie lymphoïde chronique (CLL), persiste toujours dans le monde du nucléaire en France.

41 - L'excès de risque relatif est un paramètre utilisé dans les études épidémiologiques. Il est obtenu en faisant le rapport des cas [(O-A)/O] avec O = cas observés et A = cas attendus.

42 - SMR = Standard Mortality Ratio = rapport de la mortalité « observée » à celle « attendue ».

### **Les cancers « solides » observés chez les liquidateurs Belarus**

Les données portant sur 94 798 liquidateurs de la période de 1993-2003 ont été reliées à la banque de données du Registre Belarus des Cancers. Pour la période 1993-1996, hormis le cancer de la thyroïde, aucun autre cancer ne présentait un excédent statistiquement du risque relatif. Le délai de latence (10 ans) était trop court pour que d'autres cancers puissent s'exprimer de façon significative.

Mais pour la période de 1997-2003, soit 11 à 16 ans après leurs expositions, le risque relatif a dépassé la valeur 1 pour les tumeurs malignes toutes localisations confondues dans la cohorte des liquidateurs, par comparaison avec la population de la région de Vitebsk, la moins contaminée du territoire Belarus [Oekanov 2005].

Le risque relatif [pour intervalle de confiance de 95 %] était égal à 1,23 pour les tumeurs toutes localisations confondues. Il était de 1,15 pour le cancer gastrique, 1,24 pour le cancer du rein, 1,26 pour le cancer du poumon, 1,33 pour le cancer du côlon, 1,65 pour le cancer de la vessie et de 2,62 pour le cancer de la thyroïde.

### **Les autres atteintes vécues par les liquidateurs**

Le Rapport national Ukrainien<sup>43</sup> de 2011 (Ukraine 2011), relève que les ulcères de l'estomac et du duodénum sont 1,6 fois plus fréquent chez les liquidateurs que dans le reste de la population (2007-09). Pour les 7 665 liquidateurs suivis pour des *maladies respiratoires chroniques obstructives*, il a été observé une augmentation significative de l'incidence pour ceux qui avaient reçu des doses comprises entre 1 et 1,6 sievert.

Plusieurs effets hématologiques (leucopénie, thrombopénie, anémie, lymphocytose, etc.) ont été observés chez 4,5 % des liquidateurs, dès les premières années (1986-90). Ce taux augmente progressivement et concerne 5,5 % d'entre-eux pour la période 2001-09.

Un examen ophtalmologique a été mené auprès de 14 731 liquidateurs (décontamineurs). La prévalence de la cataracte (pour 1 000 personnes) au cours de la période d'observation a augmenté. Elle est passée de  $294 \pm 32$  en 1993, à  $766 \pm 35$  en 2004, du fait du temps de latence qui sépare l'exposition aux rayonnements de l'apparition de la cataracte. Il est d'autant plus court que la dose est élevée. La dose au cristallin de l'œil est estimée égale à trois fois la dose de l'organisme, du fait du rayonnement bêta [UNSCEAR 2008]. Trois liquidateurs sur quatre étaient atteints de cataracte en 2004. Les risques de développement des effets de l'irradiation se sont révélés être plus élevés chez les jeunes que chez les sujets d'âge mûr.

### **Effets tardifs observés chez les enfants**

Chez les enfants et adolescents qui ont inhalé des iodes radioactifs<sup>44</sup> et ingéré ces iodes par voie alimentaire (lait et produits laitiers, légumes et viandes, baies et champignons) les cancers de la thyroïde ont été les premières manifestations sanitaires, tout particulièrement chez ceux qui étaient très jeunes (moins de 4 ans).

La thyroïde du bébé ou du jeune enfant est très vulnérable en cas d'incorporation d'iode radioactif, car elle est de petite taille comparée à celle de l'adulte<sup>45</sup>. Comme la dose est le rapport de l'énergie transférée rapportée au poids de l'organe considéré, à activité égale incorporée, et compte tenu des différences de métabolismes (transits intestinaux notamment), la dose délivrée au bébé est près de 10 fois supérieure à celle de l'adulte. Cette amplification de la dose est encore plus importante pour le fœtus que pour le bébé, car il fixera dans sa minuscule thyroïde<sup>46</sup> une partie de l'iode radioactif, qui sera incorporé par la mère et très rapidement véhiculé par le sang (qui traverse la barrière placentaire).

### **Les cancers de la thyroïde des enfants**

Nous devons la première révélation sur la manifestation de cancers de la thyroïde, chez les jeunes vivants dans les territoires contaminés, à un scientifique britannique : Keith Baverstock, qui travaille à Copenhague, à la direction régionale de l'OMS. Il décide de se rendre en Belarus où il rencontre, en 1992, un chirurgien spécialiste de la thyroïde qui lui montre ses dossiers. Une augmentation importante des cancers de la thyroïde chez des enfants, mais il s'agit aussi de cancers inhabituellement agressifs (avec des tumeurs invasives accompagnées de métastases).

Sur les 131 cas de cancers thyroïdiens dénombrés, 55 présentaient une extension aux tissus environnants (42 %) avec, pour les  $\frac{3}{4}$  d'entre elles, des métastases de la tumeur et 6 cas avec métastases à distance (4 %).

43 - [Ukraine 2011] rapport écrit avec la participation de 138 chercheurs.

44 - Trois isotopes de l'iode sont impliqués dans les contaminations thyroïdiennes : l'iode 132 (période  $T = 2,3$  h) en équilibre avec le tellure 132 ( $T = 3,26$  jours), l'iode 133 ( $T = 20,8$ h) et l'iode 131 ( $T = 8$  jours)

45 - La thyroïde pèse environ un gramme, chez le bébé d'un an ou moins. Pour les adultes, elle pèse 16 grammes chez la femme et 20 g pour l'homme.

46 - À 3 mois le fœtus pèse 20 g, sa thyroïde déjà formée se mesure en centième de gramme. Le fœtus de 5 mois, avec un poids de 450 g, a une thyroïde qui pèse 0,1 à 0,2 g.



Keith Baverstock publie alors en 1992 dans la revue *Nature* les données sur l'incidence des cancers de la thyroïde (chez les enfants de moins de 15 ans), relatives à 6 régions de Biélorussie et de la ville de Minsk [Baverstock 1992], avec la participation des autorités et experts de Biélorussie.

**Tableau 3 : Évolution du nombre de cancers de la thyroïde diagnostiqués chez les moins de 18 ans en Biélorussie**

Région de Belarus	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992*	Total
Brest	0	0	1	1	6	5	5	18
Vitebsk	0	0	0	0	1	3	0	4
Gomel	1	2	1	2	14	38	13	71
Grodno	1	1	1	2	0	2	6	13
Minsk	0	1	1	1	1	4	4	12
Mogilev	0	0	0	0	2	1	1	4
Minsk ville	0	0	1	0	5	2	1	9
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>29</b>	<b>55</b>	<b>30</b>	<b>131</b>

\*Pour 1992, les chiffres ne portent que sur les 6 premiers mois (66 ont été comptabilisés fin 1992)

La progression est spectaculaire : de 1 à 3 cancers par an l'incidence passe à une cinquantaine de cas et plus par an. Pour la seule région de Gomel (environ 2,5 millions d'habitants), l'incidence des cancers de la thyroïde<sup>47</sup> chez les moins de 15 ans, qui était de l'ordre de 1 par million et par an, avant Tchernobyl, atteint dans les 6 premiers mois de 1992, la fréquence de 80 par million et par an.

Au fur et à mesure que les études épidémiologiques prennent en compte l'ensemble des territoires touchés par le nuage et des périodes de temps écoulés plus importantes, le nombre de cancers de la thyroïde va en croissant :

- En novembre 1995, un congrès de l'OMS, qui réunit à Genève 600 experts de 59 pays, montre que le cancer de la thyroïde chez l'enfant est actuellement la principale conséquence de la catastrophe. Après avoir étudié 50 000 enfants nés entre 1971 et 1987 (exposition in utero à enfants de moins de 15 ans), il ressort que l'incidence annuelle du cancer de la thyroïde en Belarus est passée de 1 à 36 cas par million d'enfants. Plus de la moitié de ces cancers ont été dépistés dans la province de Gomel, située immédiatement au nord de Tchernobyl sur le trajet du nuage radioactif initial. En Ukraine, la probabilité pour un enfant d'être atteint d'un cancer de la thyroïde a été multipliée par 8 depuis l'accident.
- Entre 1998 et 2000, une cohorte de 32 385 enfants de moins de 18 ans, résidents sur les zones contaminées d'Ukraine lors de l'accident de Tchernobyl, ont été invités à un dépistage reposant sur une échographie et une palpation. Parmi les 13 127 premiers dépistés (40,5 %), 45 cas de cancer de la thyroïde ont été diagnostiqués contre 11,2 cas attendus en l'absence d'accident. Ainsi, 75 % des cas (intervalle de confiance 95 % CI = 50 % à 93 %) sont attribuables à l'accident de Tchernobyl. L'excès de risque relatif<sup>48</sup> (ERR) par unité de dose est égal à 5.25/Gy (95 % intervalle de confiance [CI] = 1.70 to 27.5), [Tronko 2006].
- En 2006, un bilan sur les cancers, 20 ans après la catastrophe, est publié par le CIRC [Cardis 2006]. Les données relatives aux 4 837 cancers de la thyroïde, Tableau N° 4, sont issues des registres de cancers de l'Ukraine, de Bélarus et de Russie (2006), diagnostiqués entre 1986 et 2002.

**Tableau 4 : Nombre de cas de cancers de la thyroïde, diagnostiqués entre 1986 et 2002, en fonction des régions et de l'âge à l'exposition**

Age à l'exposition	Bélarus	Russie*	Ukraine	Total
Inférieur à 15 ans	1 711	349	1 762	3 822
15 à 17 ans	299	134	582	1 015
<b>Total</b>	<b>2 010</b>	<b>483</b>	<b>2 344</b>	<b>4 837</b>
Population des moins de 15 ans	2,3 millions	1,1 million	11 millions	14,4 millions
Incidence chez les moins de 15 ans	74,4 pour 10 <sup>5</sup>	31,7 pour 10 <sup>5</sup>	16,0 pour 10 <sup>5</sup>	26,5 pour 10 <sup>5</sup>

\*= Données relatives aux 4 régions les plus touchées Source : [Cardis 2006].

47 - En France, pour la période 1978-1997, la fréquence de ce cancer chez l'enfant de moins de 15 ans, observée dans 10 registres du cancer, était comprise entre 0,56 à 1,77 par million (Réseau Francim).

48 - L'excès de risque relatif est un paramètre utilisé dans les études épidémiologiques. Il est obtenu en faisant le rapport des cas [(O-A)/O] avec O = cas observés et A = cas attendus.

Pour l'UNSCEAR, de 1991 à 2005, il a été constaté dans la seule Belarus, **6848** cancers de la thyroïde chez les enfants âgés de moins de 18 ans en 1986, avec aucun signe de réduction des effets. Les enfants qui avaient moins de 14 ans en 1986, constituaient les trois quart des cas (5 127 cas soit 74,9 %). Ces cancers de la thyroïde ont, jusqu'en 2005, provoqué 15 décès.

Cet effet de l'âge a été montré [Gazal 2000] en étudiant le rapport du nombre d'enfants opérés pour un cancer thyroïdien **après** l'accident sur le nombre de ceux opérés **avant**. Les périodes considérées pour le nombre d'opérations thyroïdiennes sont celles de 1986 à juillet 1998 (12,5 années) rapportée à celles de 1974-1985 (12 années).

Le tableau N° 5 montre la grande radiosensibilité aux rayonnements ionisants des moins de 14 ans comparée à celle des tranches d'âges supérieurs.

**Tableau 5 : Rapport du nombre de cancers thyroïdiens opérés après l'accident sur celui d'avant**

Tranches d'âges	Après/avant
3-14 ans	75
15-18 ans	10
19-29 ans	3,7
Total	8,5

Source : [Gazal 2000]

En Ukraine, selon le Rapport national ukrainien (Ukraine 2011), le registre national des cancers a confirmé, pour la période 1986-2008, le diagnostic de cancer de la thyroïde pour **6049** personnes qui avaient moins de 18 ans lors de la catastrophe (ils n'étaient que 2344 fin 2002, soit 2,6 fois moins). Parmi eux, **4480** cas (74,1 %) concernaient le groupe des moins de 15 ans. Les filles sont plus sévèrement touchées que les garçons : 4872 filles et 1177 garçons, soit un rapport de 4,14. Ce rapport est plus élevé dans la tranche d'âge 16-18 ans (5,1) que chez les moins de 15 ans (3,9). Ces rapports d'incidence du cancer de la thyroïde « fille/garçon » sont en Europe voisin de 2. En 2009, l'histogramme donnant l'incidence de ces cancers est d'allure toujours croissante, surtout chez les moins de 15 ans.

Le nombre de cancers diagnostiqués en Ukraine (6049 pour 1986-2008) et en Belarus (6848 en 1991-2005) est donc supérieur à 12897 cas, pour la période 1986-2008.

En avril 2011, Marc Molitor évalue, en fonction des données qu'il a pu recueillir, la survenue de 12000 cas de cancers de la thyroïde en Belarus entre 1986 et 2004, dont 8000 environ seraient imputables à Tchernobyl, 7000 cas (1986-2008) en Ukraine et 2000 à 3000 en Russie. Un total de 15000 à 16000 cas en 2004 pour les trois Républiques.

En plus des cancers de la thyroïde d'autres affections thyroïdiennes non-cancéreuses<sup>49</sup> ont été observées en Ukraine. Une estimation basse signale que ces atteintes thyroïdiennes non-cancéreuses sont trois fois plus nombreuses que les cancers [Molitor 2011]. Ces atteintes non cancéreuses sont très importantes, car pour les 119 178 enfants de moins de 10 ans, d'Ukraine, de Belarus et de Russie examinés dans le cadre d'un projet (« Sasakava »), il y avait **740** pathologies thyroïdiennes par cas de cancer de la thyroïde détecté. Dans une autre étude, portant sur 51 412 enfants examinés, ce sont 1 125 pathologies thyroïdiennes décelés par cas de cancer diagnostiqué [Yablokov 2015] (pages 77-167).

En Belarus, ces atteintes non-cancéreuses de la thyroïde, comme les thyroïdites auto-immunes, ont presque triplé, en 10 ans. Entre 1985 et 1993, à Gomel, l'une des régions les plus contaminées de Belarus, plus de 40 % des enfants examinés avaient une glande thyroïde hypertrophiée. L'incidence du goitre endémique a crû d'un facteur 7. Vers l'an 2000, plusieurs centaines de milliers de personnes souffraient d'atteintes thyroïdiennes et environ 3000 opérations de la thyroïde étaient pratiquées chaque année [Yablokov 2015].

Toutes ces atteintes auraient été évitées, dans leur grande majorité, si les Autorités soviétiques avaient écouté le physicien Vassili Nesterenko qui demandait la distribution d'iode stable et l'évacuation des populations dans un rayon de 100 km. Il avait prévenu discrètement ses collègues polonais de l'accident et leur avait recommandé la prophylaxie thyroïdienne à l'iode. Là, il fut écouté et grâce à lui les polonais n'ont pas connu l'épidémie d'atteintes thyroïdiennes qui ont frappé les trois républiques [Molitor 2008].

En Pologne, 18 millions de doses d'iode stable ont été distribuées (10 millions à des enfants) y compris aux femmes enceintes et aux femmes allaitant [IRSN 2002].

### **Les autres atteintes des enfants**

Les enfants peuvent présenter des contaminations dès la naissance, car le césium137 ingéré par la mère passe en quasi-totalité dans le sang, puis traverse la barrière placentaire.

<sup>49</sup> - La thyroïdite auto-immune, l'hyper et l'hypothyroïdie, le myxœdème et les tumeurs bénignes.

Selon Nesterenko, 80 à 90 % de la dose de rayonnement est *interne*, en raison de l'ingestion d'aliments contaminés (surtout le lait produit à la ferme, les fruits sauvages et les champignons). Cette dose est provoquée principalement, dès 10 ans après la catastrophe, par le césium 137. En donnant de la pectine<sup>50</sup> aux enfants, la réduction de la contamination interne en <sup>137</sup>Cs était de 60 % en 3 semaines.

L'alimentation des enfants au moyen d'aliments produits dans les zones contaminées (qui se poursuit toujours), a entraîné des atteintes cardiovasculaires et des cardiopathies<sup>51</sup> observables habituellement chez des « séniors » de 60 ans et plus.

Le Pr Bandajevsky, recteur de l'Institut de médecine de Gomel<sup>52</sup>, fondé en 1990, a montré avec son épouse, dans leurs travaux sur le cœur, que dès 20 à 30 Bq/kg la charge chronique en césium 137 provoquait des dysfonctionnements importants du système cardiovasculaire des enfants.

Lorsque l'atteinte n'est pas encore devenue chronique, Bandajevsky a montré qu'elle pouvait être réduite par l'ingestion d'une substance à base de pectine, que son Institut, « Belrad » avait élaboré. Des mesures de concentrations du <sup>137</sup>Cs dans divers organes, effectuées sur des enfants et adultes, décédés pour diverses causes, ont montré que pour les enfants, le cœur présente une teneur (exprimée en Bq/kg) plus élevée que celle des autres organes. L'élément césium, stable ou radioactif, comme le potassium, se fixe surtout dans les muscles, ce qui explique l'importance de la charge cardiaque.

Il a montré également que la thyroïde avait également une charge en césium 137. Cette donnée a également été corroborée en Belarus, où pour 1 026 046 femmes enceintes, une corrélation a été établie entre la contamination de l'environnement en césium 137 et l'incidence des maladies de la thyroïde.

J'explique cette fixation du césium dans la thyroïde par le fait que dans le combustible irradié, l'iode, qui est chimiquement très actif, se combine facilement avec des minéraux. Une fraction significative de cet iode va former avec le césium de l'iodure de césium<sup>53</sup>.

Une fois la décroissance de l'iode achevée, le césium radioactif se trouve toujours sous la forme d'iodure. L'iode (devenu stable) va ainsi véhiculer le césium, avec qui il est chimiquement lié, jusqu'à la thyroïde. Une version radioactive du « Cheval de Troie ».

Cependant ces travaux originaux réalisés par des médecins et chercheurs Ukrainiens et Belarus, ont fait l'objet d'un certain mépris de la part des experts français, allemands, de l'AIEA et de l'UNSCEAR. Les organismes internationaux comme l'AIEA et l'UNSCEAR écartent très souvent de leurs synthèses les publications de chercheurs, Belarus et Ukrainiens. Plus grave encore, le pouvoir Belarus sous la présidence de Loukachenko, et sur une accusation de prétendus « pots de vin », a arrêté le Pr Bandajevsky en juillet 1999. Il fut condamné en juin 2001, par un tribunal *militaire* (à l'âge de 44 ans), à 8 ans de réclusion criminelle [Belbeoch 2001]. La mise en évidence d'une dégradation de la santé des jeunes enfants, du fait de la contamination persistante des sols par le césium 137, n'a pas été appréciée par les autorités de Belarus.

Lutter contre la mise en évidence des effets délétères de la contamination par Tchernobyl, permet de réduire les prises en charge d'atteintes de santé des victimes et l'indemnisation des incapacités diverses.

### ***Évaluation de la mortalité attribuable à l'accident de Tchernobyl***

Selon Yablokov, une analyse du nombre d'accouchements avant et après la catastrophe (1982-85, par comparaison avec 1986-90) a révélé une augmentation de la mortalité prénatale dans les secteurs les plus contaminés du Belarus. En Ukraine, jusqu'en 2004, le nombre total de fausses-couches et d'enfants mort-nés dus à Tchernobyl s'élèverait à 50 000 [Yablokov 2015] pages (208-233).

La mortalité infantile (0 à 14 ans) a également augmenté : En Belarus, les statistiques de mortalité indiquent pour Gomel, la province la plus contaminée, 2 fois plus de cancers que dans le reste du pays et 20 fois plus que dans la province la moins contaminée. En Ukraine cette mortalité est passée de 0,5 pour mille à 1,2/1 000 en 1994. Bien que les données soient fragmentaires, Yablokov estime que la mortalité infantile s'alourdira encore de 10 000 décès supplémentaires dans les trois républiques.

50 - C'est une substance d'origine végétale qui est présente en grande quantité dans les pépins de pommes, coing, groseilles et agrumes. La pectine a la propriété adsorber certains métaux lourds et notamment le césium, dès l'ingestion, lors de son passage dans le tube digestif.

51 - C'est une pédiatre-cardiologue Galina Bandajevskaia qui a mis en évidence ces atteintes rares chez des enfants. Elle a montré qu'elles étaient en lien avec la teneur en césium dans le cœur.

52 - Région administrative de Belarus, la plus proche de Tchernobyl.

53 - C'est ainsi que l'iode est le premier des radionucléides à s'échapper du combustible en cas de rupture de gaine. En cas de dommages importants comme une fusion, l'iode s'échappe en totalité.



Après avoir évalué le nombre de liquidateurs<sup>54</sup> leur mortalité est approchée de plusieurs manières, comme le calcul de mortalité globale par comparaison entre les territoires le plus et les moins contaminés. Sur les 830 000 liquidateurs, intervenus sur le site après la ruine du réacteur, 112 000 à 125 000 sont décédés avant 2005, soit environ 15 % des intervenants [Yablokov 2015] pages (208-233).

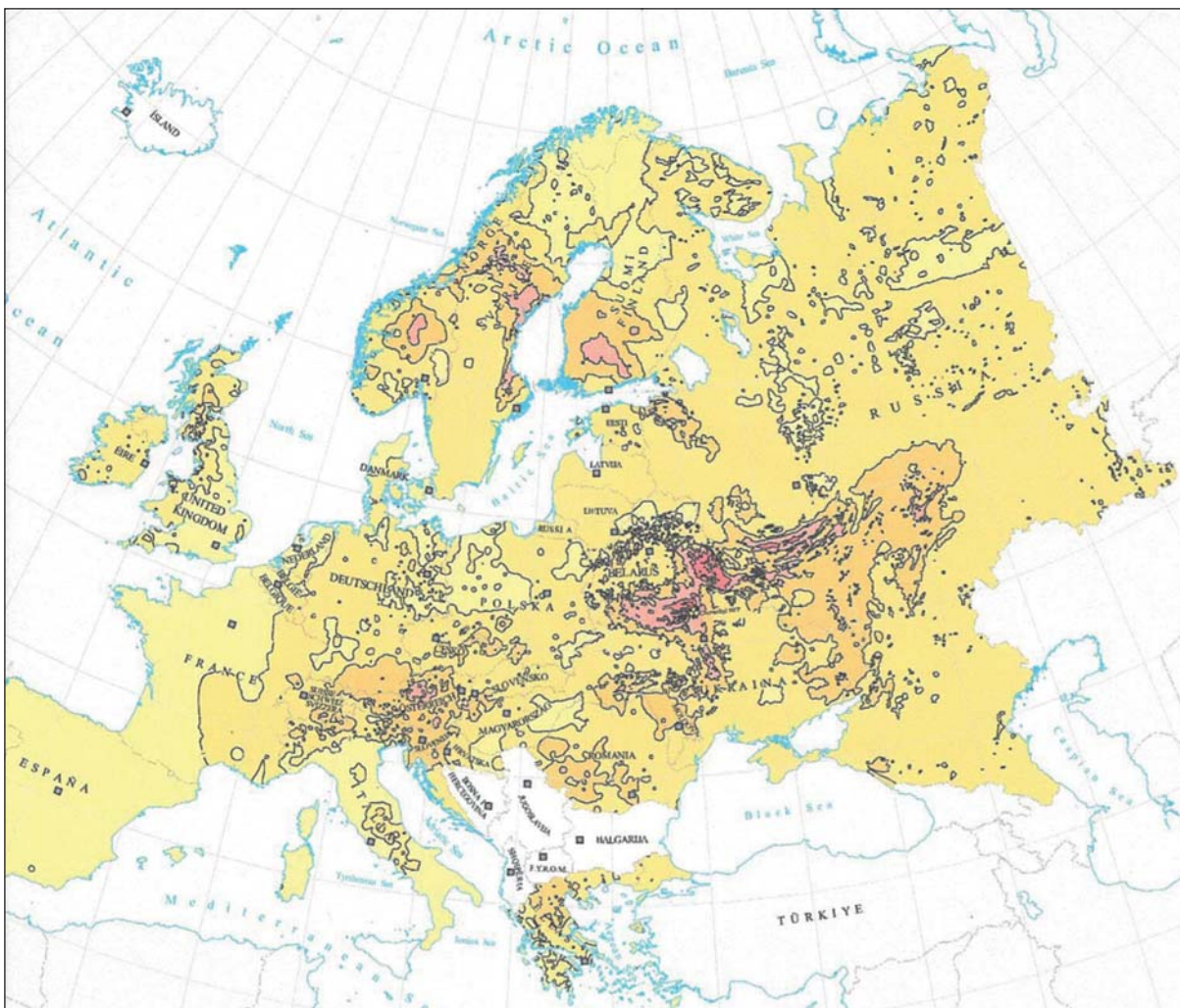
S'agissant des personnes vivant dans les territoires contaminés d'Ukraine et de Russie, Yablokov précise qu'une étude détaillée de la mortalité montre que 4 % des décès survenus entre 1990 et 2004 sont attribuables à Tchernobyl.

La mortalité par cancers, occasionnée par les rejets des césiums (134 et 137) et du strontium 90, provoqués par la catastrophe de Tchernobyl, a fait l'objet de plusieurs évaluations. Elles sont calculées pour des effets qui s'exprimeront durant des périodes (50, 70, 90 ans ou pour l'éternité) et sur des espaces géographiques (les trois républiques ou le monde entier) différents. Ces valeurs diffèrent de plus d'un facteur 100 : depuis les 8 930 décès du « Forum de Tchernobyl » de 2006 au 1 033 750 décès évalués par Yablokov [Yablokov 2015] (page 225).

## Les impacts environnementaux de la catastrophe

Nous disposons de plusieurs évaluations calculées de l'inventaire du cœur du réacteur au moment de l'accident et de celui des rejets radioactifs, émis par ce cœur mis à nu, durant les 10 jours précédant la réalisation difficile d'un colmatage au moyen de divers matériaux. De nombreux pays ont également dressé la carte des dépôts radioactifs sur leurs territoires. L'image de ces dépôts radioactifs présente de grandes hétérogénéités, dues au relief et à la pluviométrie lors du survol des territoires par le nuage.

Figure 2: Dépôts radioactifs sur l'Europe et l'ex-URSS



54 - En milliers de personnes le nombre est 130 pour Belarus, 360 en Ukraine, 250 en Russie et 90 dans les autres pays, soit un total de 830 mille liquidateurs.

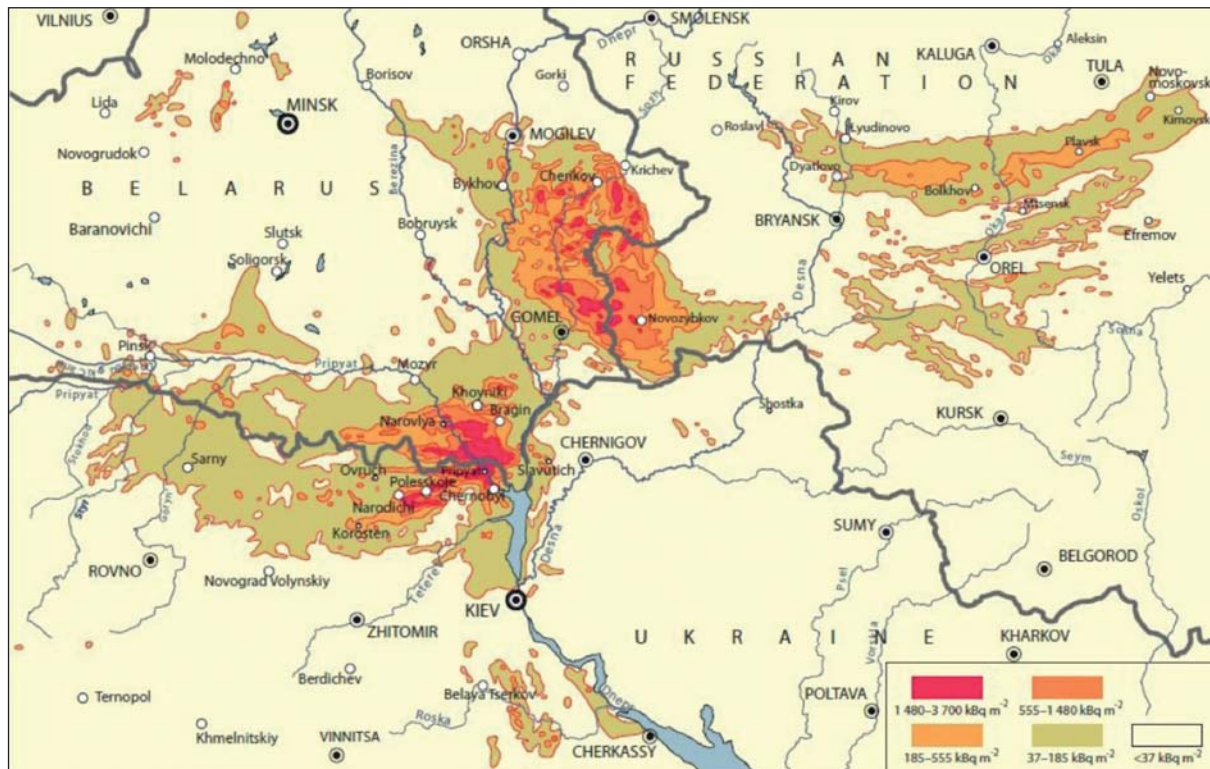


### La contamination des territoires proches de Tchernobyl

Les rejets de gaz et d'aérosols radioactifs ont couvert des territoires de Belarus, de Russie et d'Ukraine, dès les premières heures, là où près de 5 millions de personnes (dont plus d'un million d'enfants) vivent encore sur un territoire très contaminé. Cependant, la majeure partie de ces rejets est allée au-delà des trois républiques.

La contamination s'est répandue sur 40 % de l'Europe, sur de vastes territoires d'Asie, sur le Nord de l'Afrique et sur l'Amérique du Nord, où résident près de 400 millions de personnes. [Yablokov 2015] (Pages 23-48).

**Figure 3 : Dépôts radioactifs sur la Russie, l'Ukraine et Belarus**



Source : The International Chernobyl Project, International Advisory Committee, Technical Report. IAEA, Vienna (1991)

Le tableau suivant donne une des évaluations de l'activité des principaux radionucléides présents dans le cœur du réacteur et les fractions rejetées qui varient beaucoup avec les caractéristiques physico-chimiques des éléments. Ce sont cependant les impacts dosimétriques et sanitaires (passés et à venir), des iodes et des césiums (dont seul l'isotope 137 persiste, 29 ans après la catastrophe) qui sont les plus préoccupants.

**Tableau 6 : Estimation des rejets de radionucléides au cours de l'accident de Tchernobyl**

Inventaire du cœur Le 26 avril 1986			Rejet total au cours De l'accident	
Radionucléide	Période	Activité (Pétabecquerel)	Pourcentage de l'inventaire	Activité (Pétabecquerel)
Iode 131	8,0 j	3 200	50 à 60%	1760
Césium 134	2,0 a	180	20 à 40%	54
Césium 137	30,0 a	280	20 à 40%	85
Strontium 90	28,0 a	200	4 à 6%	10
Plutonium 238	86,0 a	1	3,50%	0,035
Plutonium 239	24 400 a	0,85	3,50%	0,03
Plutonium 240	6 580 a	1,2	3,50%	0,042
Plutonium 241	13,2 a	170	3,50%	6

Nota : pétabecquerel (PBq) = 1 015 Bq = un million de milliards de becquerels

Source : [AEN-OCDE 1995]. D'autres évaluations sont données dans [IAEA 2001].

Les dépôts radioactifs caractérisés, sont surtout ceux du césium 137, car sa mesure par spectrométrie gamma est aisée. Celle du strontium 90, radionucléide émetteur « bêta pur » (encore plus radiotoxique<sup>55</sup> que le césium 137), est plus complexe à faire, car elle nécessite une extraction chimique préalable à la mesure.

Les premières données disponibles sur les contaminations par le Césium 137 (<sup>137</sup>Cs) s'exprimaient en curie par km<sup>2</sup>, puis en kBq/m<sup>2</sup>. Le tableau 7 fournit, pour le (<sup>137</sup>Cs) à la date du 1<sup>er</sup> janvier 1995, les valeurs de ces contaminations de surface dans les deux types d'unités.

**Tableau 7 : Surfaces de territoires contaminés par du <sup>137</sup>Cs en Belarus, Russie et Ukraine Surfaces en milliers de km<sup>2</sup>, activités au 1<sup>er</sup> janvier 1995, exprimées en kBq/m<sup>2</sup> et en Ci/km<sup>2</sup>**

Pays	Dépôt de césium 137 en kBq/m <sup>2</sup> et en (Ci/km <sup>2</sup> )			
	37 à 185 (1 à 5)	185 à 555 (5 à 15)	555 à 1480 (15 à 40)	>1480 (>40)
<b>Belarus</b>	29,92	10,17	4,21	2,15
<b>Russie</b>	48,8	5,72	2,1	0,31
<b>Ukraine</b>	37,21	3,18	0,88	0,57
<b>Total</b>	115,93	19,07	7,19	3,03

Source : [IAEA 2001]

La contamination survenue lors de l'accident de Tchernobyl a été pénalisante car elle s'est produite au printemps, alors que les arbres fruitiers étaient en fleurs et la végétation très développée, dans une région connue pour être le verger de l'URSS. Les légumes à feuille et l'herbe étaient en état de capter, sur leur surface supérieure, les dépôts d'aérosols radioactifs qui passent progressivement dans la plante. De même, le césium qui tombe au sol sera fixé en quelques dizaines de minutes à quelques jours [IRSN 2001].

Les pratiques régionales relatives à la cueillette de champignons (« éponges » à minéraux), de mures et de diverses baies sauvages ont entraîné des contaminations digestives qui se sont ajoutées à celles des légumes et fruits, du lait, des produits laitiers de la viande et du poisson.

Si le strontium 90 est très mobile dans le sol, le césium 137 a un transfert plus lent. En moyenne, tous végétaux confondus, le facteur de transfert racinaire du <sup>137</sup>Cs, exprimé en Bq.kg-1 de végétal sec par Bq.kg-1 de sol sec est de l'ordre de 0,2. Ceci signifie que l'activité par kg du végétal comestible, comme de l'herbe broyée par un animal, aura une charge en césium 137 égale à 20 % de la terre nourricière (3 % dans le produit frais).

Le passage de la contamination, de la terre aux plantes, combiné à la faible migration de césium, entraîne la persistance de la contamination des plantes durant plusieurs dizaines d'années.

Les États ont été contraints de mettre en œuvre un contrôle de la charge radioactive du lait et produits laitiers, des viandes (notamment du gibier), des poissons et des produits du commerce international comme les thés, cafés, fruits et champignons secs. Même les grandes entreprises chocolatières se sont équipées en France de chaînes de mesures radioactives afin de contrôler le niveau d'activité des noix, noisettes et amandes, incorporées dans le chocolat. Beaucoup de fruits secs, en provenance de Turquie, étaient fortement contaminés en <sup>137</sup>Cs.

### **La contamination des territoires français**

En France, le passage du nuage au-dessus du territoire a occasionné des dépôts moyens en <sup>137</sup>Cs sur les surfaces agricoles qui allaient de 120 Bq/m<sup>2</sup>, dans l'Ouest, à 3560 Bq/m<sup>2</sup> dans l'Est, où des valeurs peuvent dépasser localement 6000 Bq/m<sup>2</sup> [IRSN 2005].

Un des nuages de Tchernobyl a survolé la France entre le 30 avril et le 6 mai 1986. Le 1<sup>er</sup> et le 2 mai il couvrait toute la France. La Corse (où de nombreuses atteintes thyroïdiennes ont été diagnostiquées) et l'Est de la France ont pratiquement été toujours survolés.

Les dépôts les plus importants ont été observés lorsque la pluie est tombée, lessivant ainsi les nuages, porteurs de poussières radioactives. Depuis 1999, l'IPSN puis l'IRSN ont étudié la façon de prendre en compte les facteurs de cette variabilité, en lien notamment au lessivage du nuage par la pluie [IRSN 2005]. Des relations empiriques entre l'activité surfacique<sup>56</sup> et la pluviométrie permettent d'expliquer la diversité des dépôts trouvés sur le territoire.

En Corse, des mesures faites par l'IPSN en 2001, ont montré (au nord de Solenzara) qu'il y avait encore des activités surfaciques qui variaient de 5000 à plus de 25000 Bq/m<sup>2</sup> en <sup>137</sup>Cs. En altitude, des niveaux de 50000 à 100000 Bq/m<sup>2</sup> ont été atteints. Ils se trouvent parmi les plus élevés de France. Ces teneurs résiduelles indiquent

55 - S'il est ingéré, le strontium 90 est 2,2 fois plus toxique que le césium 137. S'il est inhalé le rapport 16 à 35 fois plus toxique, suivant les formes chimiques.

56 - L'activité déposée au sol est caractérisée par l'activité déposée sur une unité de surface. Cette activité surfacique s'exprime en becquerel par mètre carré.

aussi que les teneurs des iodes, aujourd'hui disparus, devaient être très importantes. L'étude de l'InVS sur les cancers de la thyroïde en France relève pour la Corse 126 cas certains entre 1998 et 2001 (et 144 certains + possibles) [INVS 2006]. L'étude de l'incidence de ce cancer pour les « femmes » est comparable à d'autres constatés sur les registres de cancers mais l'incidence pour les « hommes » est supérieure à celle la plus haute (registre du Doubs) des départements couverts par un registre (10 registres généraux et 11 registres spécifiques).

La disparité des régions françaises contaminées est mise en évidence par la mesure de la charge radioactive des personnels de différents Centres du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) non affectés à un risque de contamination professionnelle : à Grenoble (centre le plus à l'Est), la charge moyenne des individus est de 735 becquerels alors qu'elle n'est que de 180 Bq à Saclay et 150 Bq à La Hague, en août 1987. À cette date, les courbes étaient toujours croissantes [CEA 1987].

## Conclusion

Classiquement la conclusion d'un article doit présenter une courte synthèse des éléments développés et des perspectives prévisibles pour le futur. De nouvelles données non présentées dans le corps de l'article sont à bannir. C'est pourtant ce que je me propose de faire.

J'étais le samedi 1<sup>er</sup> mai 1986, sur le Centre de Saclay, en tant qu'ingénieur d'astreinte, quand le nuage a survolé le Centre. Plusieurs bâtiments ont connu des déclenchements d'alarmes du fait de la contamination atmosphérique. Comme dans le cas du réacteur de Suède, les salariés (travail en 3x8) ont évacué leur bâtiment. En revenant sur le site, la détection de contaminations sous leurs chaussures avait montré que c'était l'air externe qui avait contaminé l'atmosphère des lieux de travail. Si l'air évacué des bâtiments nucléaires est filtré, ce n'est généralement pas le cas de l'air qui entre. L'analyse en laboratoire de plusieurs filtres a montré la présence d'un bouquet de produits de fissions, que nous trouvons habituellement dans les combustibles irradiés. L'analyse radioactive de plusieurs filtres avait montré à Saclay la présence d'un bouquet de produits de fissions, que nous trouvons habituellement dans les combustibles irradiés. Les filtres « papier » présentaient une teneur de 20 % en iodes radioactifs, deux fois supérieure à celle attendue (la référence 100 % étant celle des cartouches de charbon actif qui piègent la totalité de l'iode).

J'ai compris plus tard que c'était dû à des aérosols d'iodure du césium qui se forme dans le combustible qui explique la présence, aujourd'hui, du césium 137 dans la thyroïde des personnes en Belarus, Ukraine et Russie.

En juin 1986, j'écrivais sur l'accident et un texte pédagogique que la Cfdt publiait et qui nous valurent les menaces de la Direction (Note publique), car ce « tract » inhabituel, intitulé « Dissipons les nuages », présentait les mesures de la radioactivité de l'air, de l'herbe et du lait prélevés autour du Centre... sans en avoir demandé l'autorisation officielle.

Dans ce texte un problème était traité, celui du risque de *cancer de la thyroïde* des enfants. J'avais été frappé du fait qu'une dose à la thyroïde, relativement faible (9 rads soit 90 milligrays), puisse provoquer un cancer. Il s'agissait de 10842 enfants juifs de 1 à 14 ans, rescapés des camps et arrivés en Israël, dont le cuir chevelu avait été irradié (1948-1960) aux rayons X, afin d'éradiquer les champignons microscopiques qui provoquent la teigne. Comparés à un groupe témoin de 5400 enfants non traités, de nombreux cancers se manifestèrent dans les 4 à 22 ans qui suivirent (14,3 ans en moyenne). L'induction la plus forte touchait les enfants de 5 ans et les filles étaient 3 fois plus atteintes que les garçons. Cette inquiétude s'est finalement avérée prémonitoire !

Dans les semaines qui suivirent, invité par France Inter pour parler de Tchernobyl, je rencontrai le Directeur-adjoint de l'IPSN, également invité. Il refusa de me serrer la main en me disant toute son indignation pour ce que je disais et écrivais, notamment sur les cancers de la thyroïde. C'était pour lui des propos anti-nucléaires invraisemblables.

Contacté par le Docteur Fauconnier, en Corse, qui me disait son inquiétude relative à l'iode radioactif du nuage, je lui demandais de m'envoyer le lait de brebis dont est fait le « Brocciu ». Le 10 juin 1986, 40 jours après les premières contaminations, il renfermait encore 150 becquerels par litre. En tenant compte de la période effective de l'iode 131 observée dans le lait de chèvre (4,5 jours) la consommation de fromage pourrait donner des doses très importantes à la thyroïde des enfants et surtout à celle des bergers en transhumance, qui consomment 1 kg de fromage par jour. Je demandai à l'IPSN de faire des mesures spectrométriques de thyroïde. Ils firent venir un berger, mais refusèrent de me donner le résultat de leurs mesures.

L'étude de l'INVS sur les cancers de la thyroïde en Corse [INVS 2006] n'a pas permis d'apaiser, en Corse, le conflit autour des anomalies thyroïdiennes.

**Bibliographie**

- [AEN-OCDE 1995], AEN-OCDE « Tchernobyl, Dix ans déjà, Impact radiologique et sanitaire », novembre 1995.
- [Alexievitch], Alexievitch Svetlana, « La supplication », Éditions Jean-Claude Lattes, 1998.
- [Bandajevsky 2001], Bandajevsky Y, « Radioactive caesium and heart: Pathophysiological aspects », 57p, Minsk, « Belrad », 2001.
- [Baverstock 1992], Baverstock Keith et al, Thyroid cancer after Chernobyl, Revue Nature, Vol. 359, pp (21-22), 3 September 1992.
- [Belbeoch B. 1998], Belbeoch Bella, « Responsabilités occidentales dans les conséquences sanitaires de la catastrophe de Tchernobyl, en Biélorussie, Ukraine et Russie », dans « Radioprotection et droit nucléaire », Sous la direction de I. Rens et J. Jakubek, (414 pages), Georg Editeur, Genève, 1998.
- [Belbeoch R. 2002], Belbeoch Roger, « Tchernobyl, de la servitude volontaire à la nécessité de la servitude », Editeur « L'Esprit frappeur », janvier 2002.
- [Cardis 2005], Cardis Elisabeth et al, « Risk of thyroid cancer after exposure to 131I in Childhood », Journal of the National Cancer Institute, Vol. 97, N° 10, 2005.
- [Cardis 2006], Cardis Elisabeth et al, « Cancer consequences of the Chernobyl accident: 20 years on », Journal of Radiological Protection, Vol.26, pp (127-140), 2006.
- [CEA 1987], Laboratoires d'analyses médicales du CEA, de l'EDF et des Armées, « Suivi de la contamination humaine en césium à la suite de l'accident de Tchernobyl », Radioprotection, Vol. 22, N° 4, pp (309-324), 1987.
- [CEN 2011], Centre d'étude de l'énergie nucléaire, « Tchernobyl, 25 ans après », CEN-SCK, Mol, Belgique, avril 2011.
- [Coumarians 2000], Coumarians Philippe, « Tchernobyl, Après l'apocalypse », Éditions « J'ai lu », 158 pages, 2000.
- [Ilyin 1987], Ilyin L.A. et O.A. Pavlovskij, « Conséquences radiologiques de l'accident de Tchernobyl en Union Soviétique et mesures prises pour en atténuer l'impact », Bulletin AIEA N° 4/1987, (pages 17 à 24), 1987.
- [Fernex 1998], Fernex Michel, « Interférences entre l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) », dans « Radioprotection et droit nucléaire », Sous la direction de Ivo Rens et Joel Jakubek, (414 pages), Georg Editeur, Genève, 1998.
- [Gazal 2000], Gazal Suzanne, « Cancer de la thyroïde et rayonnements ionisants », Gazette nucléaire, N° 179/180, pages (22-29), janvier 2000.
- [Gazette 1988], Gazette Nucléaire, « Les scandaleuses perles de Morris Rosen », n° 84/85, janvier 1988
- Jacob et al., « Incidence rate of thyroid cancer in children and adolescents exposed to 131I as a result of the Chernobyl accident », 2005
- [Grandazzi 2004], Grandazzi G. et Lemarchand F, « Les silences de Tchernobyl, l'avenir contaminé », Collection Mutations, Éditions Autrement, 234 pages, mai 2004.
- [IAEA 2001], IAEA and IPSN, « Study monitored by an International Advisory Committee under the project management of the Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) France », August 2001, IAEA-TECDOC-1240
- [INVS 2006], Chérié-Challine Laurence et al, Surveillance sanitaire en France en lien avec l'accident de Tchernobyl: Bilan actualisé sur les cancers thyroïdiens et études épidémiologiques en cours en 2006, 75 pages, avril 2006.
- [IRSN 2001], IRSN, « Fiche radionucléide: Césium 137 et environnement », mars 2001, révisée en juillet 2005
- [IRSN 2002], IRSN, « Prise d'iode stable en cas de rejet accidentel d'iode radioactif dans l'atmosphère », 2002
- [IRSN 2005], IRSN, « Interprétation phénoménologique et analytique de la relation pluie-dépôt utilisée pour la reconstitution des dépôts de 137Cs en France, consécutifs à l'accident de Tchernobyl », Rapport DEI 2005-03, novembre 2005.



- [Ivanov 2006], « Radiation epidemiological studies of thyroid cancer incidence in Russia after the Chernobyl accident (estimation of radiation risks, 1991–2008 follow-up period) », *Radiation Protection Dosimetry*, 151 (3), pp (489-499), 2012.
- [Kostine 2006], Kostine Igor, « Tchernobyl, Confessions d'un reporter », Éditions des Arènes, (240 pages), Paris
- [Libmann 1996], « Eléments de sûreté nucléaire », IPSN, Les éditions de physique, (574 pages), juin 1996.
- [Medvedev 1990] Medvedev Grigori, « La vérité sur Tchernobyl: 4 ans après, les révélations d'un grand scientifique russe », Editeur Albin Michel, 1990.
- [Nesterenko 2005], Vassili Nesterenko, « La santé des liquidateurs », Symposium novembre 2005, Berne.
- [Molitor 2008] Molitor Marc, « Mort d'un dissident », *Journal « La Libre Belgique »*, 27 août 2008 <http://www.lalibre.be/debats/opinions/mort-d-un-dissident-51b89e6fe4b0de6db9b35bd6>
- [Molitor 2011] Molitor Marc, « Tchernobyl, Déni passé, Menace future ? », Editeur Racine, (282 pages) avril 2011.
- [Oekhanov 2005] Oekhanov A. E, Sosnovkaya, « Incidence des tumeurs maligne chez les liquidateurs de Belarus », Symposium novembre 2005, Berne.
- [Rahu 1997], Rahu Mati et al, « The Estonian Study of Chernobyl Cleanup Workers : III. Incidence of Cancer and Mortality », *Radiation Research*, 147, pp (653-657), 1997.
- [Rahu 2006], Rahu K, Rahu M, Tekkel M, Bromet E, « Suicide risk among Chernobyl clean-up workers in Estonia still increased: an updated cohort study », *Annals of Epidemiology*, 16, pp (917-919), 2006.
- [Smeesters 2011], Smeesters P et Van Bladel L, « Accidents nucléaires et protection de la thyroïde par l'iode stable », Agence fédérale de Contrôle nucléaire, Bruxelles, 8 mars 2011.
- [Strazzulla 1991], Strazzulla J et Zerbib JC, « Tchernobyl », *La Documentation Française*, Collection « Les médias et l'événement », (96 pages), 1991.
- [Tronko 2006], Tronko Mykola et al, « A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during first screening », *Journal of the National Cancer Institute*, Vol. 98, N° 13, July 5, 2006.
- [Ukraine 2011], Ministry of Ukraine of Emergencies « Twenty-five Years after Chornobyl Accident : Safety for the Future », National Report of Ukraine, 2011.
- [UNSCEAR 2000], Annex J, « Exposures and effects of the Chernobyl accident », pages (453-551), 2000.
- [UNSCEAR 2008], Volume II, Scientific Annexes C, D and E, « Health effects due to radiation from the Chernobyl accident », pages (45-219), April 2011.
- [Yablokov 2015], Yablokov Alexey et al, « Tchernobyl, Conséquences de la catastrophe sur la population et l'environnement », publié par Independent WHO-Santé et nucléaire, avril 2015 (399 pages).
- [Yablokov 2010], Yablokov Alexey, Nesterenko Vassili and Nesterenko Alexey, « Chernobyl: Consequences of the catastrophe for people and the environment », *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 1181, Wiley-Blackwell, April 2010, 330 pages.
- [Zablotska 2012], Lydia Zablotska et al. « Chernobyl cleanup workers had significantly increased risk of leukemia », on line November 2012, National Institutes of Health U.S. Department of Health and Human Services, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1204996>