Le nucléaire français : Imaginer l'inimaginable !

Au moment où paraît ce numéro, nul ne sait si l'Autorité de sûreté ASN donnera son feu vert à l'achèvement de la construction l'EPR de Flamanville. Il est bien loin le temps où Anne Lauvergeon alors PDG d'Areva pouvait déclarer « s'il y avait des EPR à Fukushima, il n'y aurait pas de fuites possibles dans l'environnement » et que « les caractéristiques d'architecture de l'EPR répondent à un certain nombre de critères de sûreté qui sont au top niveau. Je le constate à chaque fois que je vais sur ce chantier »[1]. Il faudra plusieurs mois de nouveaux essais sur la cuve du réacteur et une analyse fouillée des résultats par l'ASN pour connaître un verdict d'autant plus crucial qu'il engagera la poursuite ou non de la construction des deux réacteurs chinois comme de ceux d'Hinkley Point au Royaume-Uni.

Et si, à l'issue de cet examen, la construction n'était pas remise en cause, le chantier prendrait inéluctablement encore du retard, et entraînerait des coûts supplémentaires à ceux (non chiffrés) qu'impliquait déjà le nouveau délai annoncé en novembre 2014 par EDF pour la mise en exploitation du réacteur (2018).

L'avenir de l'EPR est donc fortement compromis aussi bien du point de vue technique qu'industriel et financier. De plus c'est le moment où (hasard du calendrier ?) Mediapart met en ligne une étude de l'Ademe « Vers un mix électrique 100 % renouvelable en 2050 » qui montre qu'on pourrait sans encombre se passer de nucléaire en 2050…

Sonné mais toujours combatif le lobby nucléaire ne reste évidemment pas les bras ballants.

Du point de vue des réacteurs :

Areva nous propose un nouveau réacteur ATMEA, encore dans les cartons, dérivé de l'EPR, mais moins puissant, simplifié et naturellement beaucoup moins cher.

Le CEA voit plus loin et nous propose sa version d'un réacteur de génération IV au sodium, ASTRID, dérivé de Super Phenix, avec l'ambition, grâce au plutonium accumulé d'ici 2040 ou 2050 par retraitement des combustibles des EPR, de rendre possible la mobilisation de l'uranium 238 majoritairement présent dans l'uranium naturel.

Du point de vue de la gestion des déchets :

L'hypothèse d'une transmutation des actinides mineurs dans les réacteurs de génération IV n'étant pas confirmée, l'industrie nucléaire et les pouvoirs publics restent arcboutés sur le projet Cigeo d'enfouissement des déchets de haute activité, malgré les remises en cause scientifiques techniques, économiques et éthiques qui se sont exprimées lors du débat public de 2013-2014.

1 - Cité par Jade Lindgaard dans http://www.mediapart.fr/journal/france/220415/nucleaire-lepr-ou-la-folle-histoire-dun-acharnement

Du point de vue du discours

Depuis longtemps déjà, les promoteurs du nucléaire s'emploient à minimiser les risques que fait courir l'industrie nucléaire. Depuis l'accident de Fukushima cependant, il est lentement admis en France qu'un accident majeur fait partie du domaine du possible. Reste alors à en minimiser la probabilité et les conséquences pour les populations et l'environnement. D'où une offensive constante pour montrer que les conséquences de l'accident de Fukushima, voire même de Tchernobyl, sur la santé des populations n'est finalement pas si grave qu'on le dit ! Et puis, commence-t-on à nous dire, on ne fait pas d'omelette sans casser d'œufs ! Et enfin, s'il doit y avoir un accident majeur en Europe de temps en temps, peut être faut-il l'accepter ? Sans compter les affirmations trompeuses répandues sur la confiance totale qu'afficherait le GIEC sur les technologies nucléaires pour résoudre la question climatique…

L'autre angle d'attaque consiste à tenter de détruire l'image des solutions alternatives au nucléaire en niant la possibilité de faire des économies substantielles d'électricité, au nom des libertés individuelles et en brandissant les spectre du retour à la bougie, et celle de parvenir à un mix électrique sans nucléaire grâce aux renouvelables en 2050 pour des raisons économiques. Cette négation atteint son apogée dans la façon dont « Sauvons le climat » s'efforce de montrer combien le coût de ce scénario de l'Ademe est sous évalué. Parmi les perles relevées, le calcul du coût de stockage de l'électricité dans les batteries des 10 millions de véhicules électriques imaginées par l'Ademe dans ce scénario. Les auteurs oublient tout simplement que les batteries des automobiles électriques ont pour première fonction d'assurer leur mobilité en affectant l'ensemble du coût de ces batteries à l'usage stockage-déstockage d'électricité sur le réseau ! Ou le coût du photovoltaïque au sol des grandes centrales photovoltaïques « estimé » à 101 €/MWh (on admirera la précision) en 2050, alors qu'il était déjà inférieur à 90 €/ MWh en Allemagne en 2014 pour les installations les plus récentes. Sans même compter l'optimisme du choix d'un coût du nucléaire de 60 €/MWh en 2050 (contre 80 €/MWh pour l'Ademe), sur la base de l'estimation de la Cour des Comptes, nous dit Sauvons le Climat, en oubliant de signaler que le coût en question concerne le parc actuel (éventuellement prolongé de 10 à 20 ans) mais en aucun cas les nouveaux réacteurs type EPR ou autres…

C'est dans ce contexte que nous vous présentons les contributions qui suivent.

Global Chance

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 1 000 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 (4 837 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 Pripiat, 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[1], 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[2] 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[3] 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[4] : *« le protocole de l'expérience avait été soumis par la direction de la centrale de Tchernobyl au ministère, 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[5] 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 2e 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'emballe.

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[6] 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 ^{235}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 1er 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[7]. 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 2e, 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[8] 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[9] [Kostine 2006].

Le samedi 26 avril, à Pripiat, 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 Pripiat. 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 3e 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[10].

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 Pripiat, 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[11] 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 Pripiat. Ils forment un cordon de 20 km de long.

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

Dans un 2e 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 Belarus 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 Pripiat.

Cependant des zones fortement contaminées n'ont pas été évacuées comme la ville de Bragin et surtout la petite ville de Polesskoye, 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 Belarus, le programme de déplacement de 100 000 personnes des zones les plus contaminées[12] (supérieur à 15Ci/km² de césium 137 soit 0,555 million de Bq/m²) 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 indemnisations 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[13] survécurent à ce vol, les deux autres moururent peu de temps après leur exposition[14] 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 aigüe, 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 5e 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 (3,7.1010Bq).

13 - Legassov, incapable de supporter la censure, mit fin à ses jours le 27 avril 1987 (1er 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 4Sv/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[15], 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[16], 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[17] 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 rejetteront 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[18].

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[19]. 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[20] 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[21] (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, publiées 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 [Coumarianos 2000] : 5000 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 300000 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[22]. 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 2e 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^3), 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^3 de terre a été raclé au bulldozer, afin de déblayer les alentours de la centrale [Coumarianos 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[23] 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[24]. 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[25] avec un indécent cynisme : *« Tchernobyl n'a pas causé plus de morts que le match de football de Heysel[26], 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 1er 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 1re phase, 10 jours, cela fait 240 heures. Mais la 2e 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[27], 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[28] »*.

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[29], 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[30], datant du 26 mai 1987, précisait que 2600 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[31]. 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[32] 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 20e anniversaire de la catastrophe, El Baradey déclare dans son discours d'ouverture que Tchernobyl a fait 59 morts[33] : *« 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 4000 **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 4000, 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 4000 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.

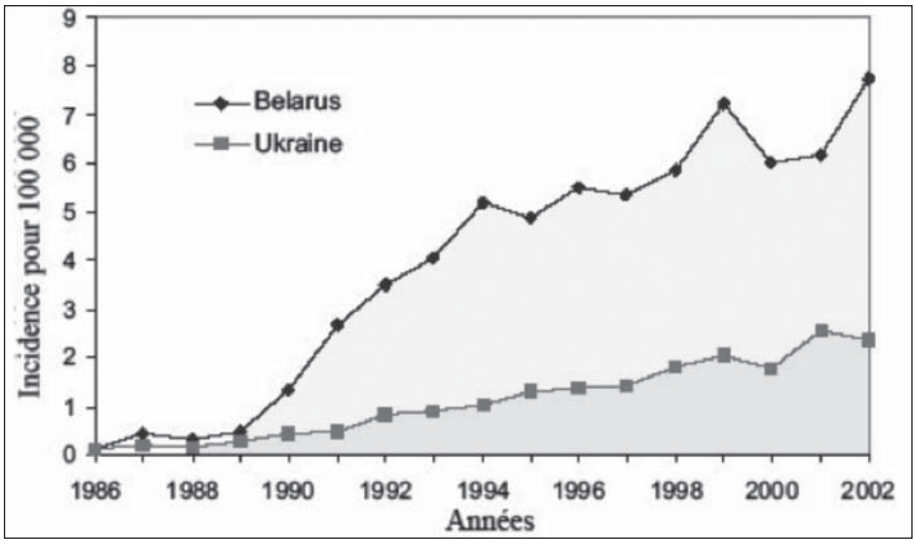
31 - La dose limite annuelle pour les personnes du public était fixée à l'époque à 5 mSv/an, sur la base normes fondamentales présentées dans la publication CIPR 26. Depuis, cette valeur limite a été réduite à 1 mSv/an. Qu'en est-il de la « dose vie » ?

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 1er 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[34] sont assez réductrices de la réalité, qu'il s'agisse du nombre des « liquidateurs[35] », de celui des évacués[36] 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[37], présenté sur la chaine « 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 (2 009), 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 évacuations 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 7/100e 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[38]. Dans les 12 h qui suivirent l'accident, 230 physiciens, 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
Total	**134**	**28**	**106**

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.

38 - 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 : [Strazzulla 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 (110 645 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[39] 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[40] (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'apparait 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[41] (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 5 000 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 4 742 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[42] 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[43] 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 ± 32 en 1993, à 766 ± 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[44] 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[45]. 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[46] 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 ¾ 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 = 20,8h) 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
Total	**2**	**4**	**5**	**6**	**29**	**55**	**30**	**131**

**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[47] 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 atribuables à l'accident de Tchernobyl. L'excès de risque relatif[48] (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
Total	**2 010**	**483**	**2 344**	**4 837**
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 10^5	**31,7** pour 10^5	**16,0** pour 10^5	**26,5** pour 10^5

**= 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 (5127 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[49] 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 119178 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 51412 enfants examinés, ce sont 1125 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.

49 - 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[50] aux enfants, la réduction de la contamination interne en ^{137}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[51] observables habituellement chez des « séniors » de 60 ans et plus.

Le Pr Bandajevsky, recteur de l'Institut de médecine de Gomel[52], 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 disfonctionnements 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 137Cs 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[53].

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 à 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[54] 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).

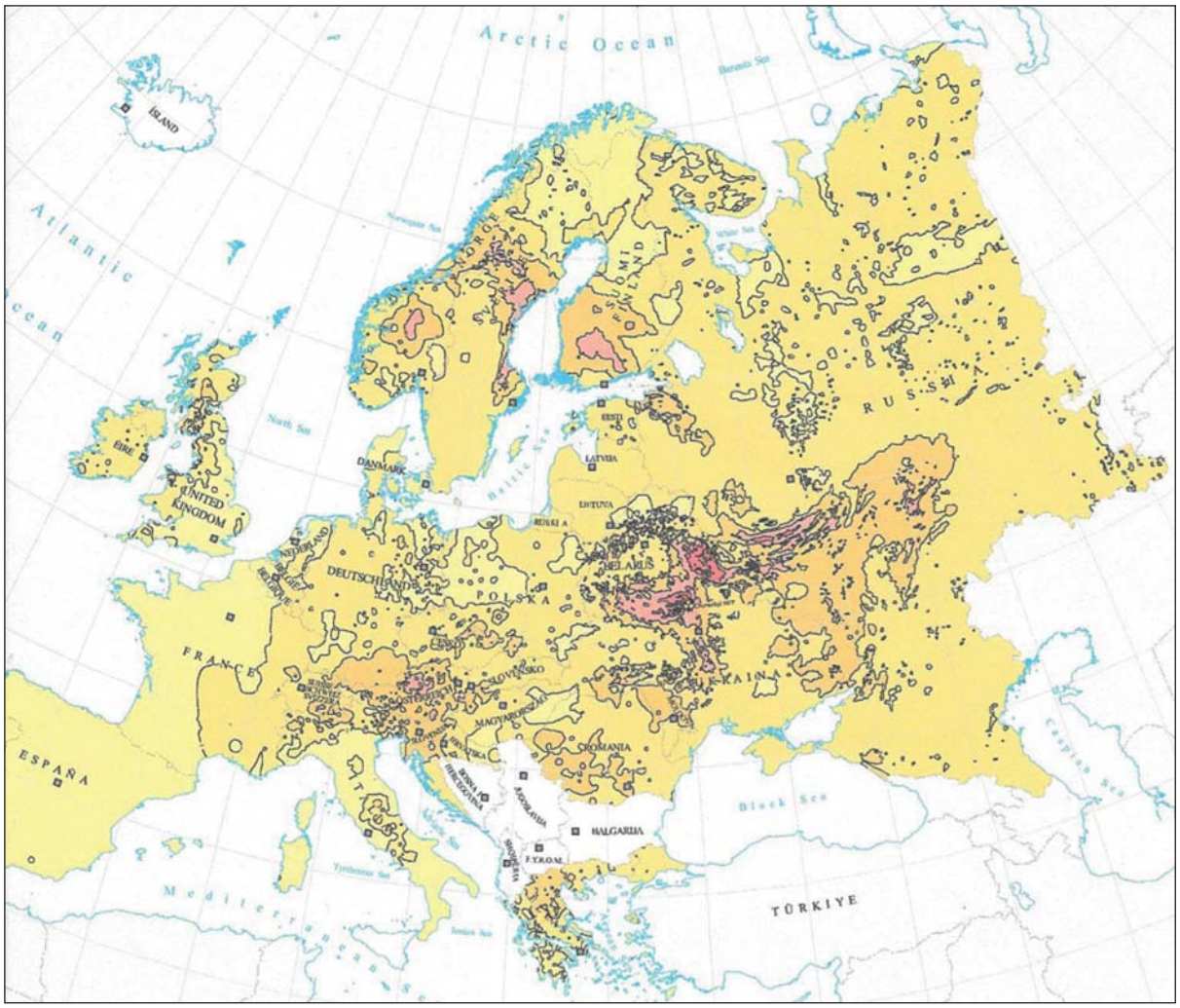
S'agissant des personnes vivant dans les territoires contaminés d'Ukraine et de Russie, Yablokov précise qu'une étude détaillée de la mortalité montre que 4 % des décès survenus entre 1990 et 2004 sont attribuables à Tchernobyl.

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



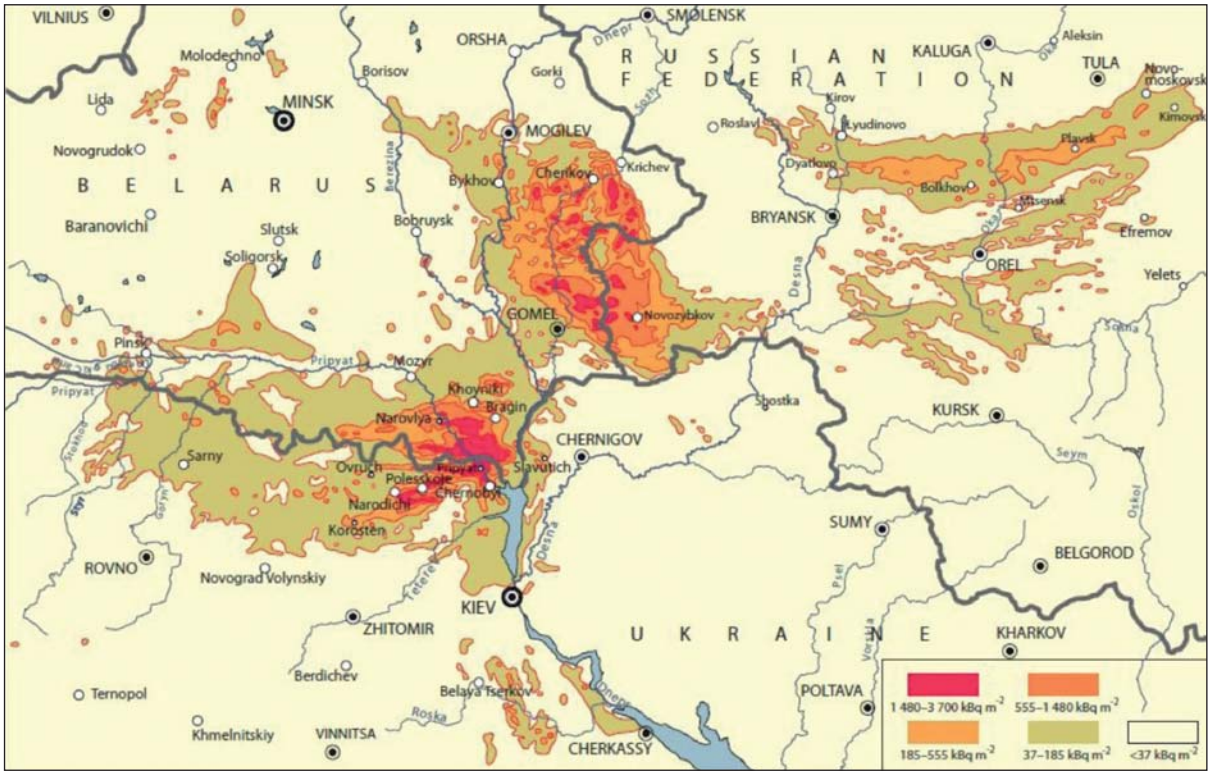
54 - En milliers de personnes le nombre est 130 pour Belarus, 360 en Ukraine, 250 en Russie et 90 dans les autres pays, soit un total de 830 mille liquidateurs.

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) = 1015 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[55] 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 Cesium 137 (^{137}CS) s'exprimaient en curie par km², puis en kBq/m². Le tableau 7 fournit, pour le (137Cs) à la date du 1er janvier 1995, les valeurs de ces contaminations de surface dans les deux types d'unités.

Tableau 7 : Surfaces de territoires contaminés par du 137Cs en Belarus, Russie et Ukraine Surfaces en milliers de km², activités au 1er janvier 1995, exprimées en kBq/m² et en Ci/km²

Pays	Dépôt de césium 137 en kBq/m² et en (Ci/km²)			
	37 à 185 (1 à 5)	185 à 555 (5 à 15)	555 à 1480 (15 à 40)	>1480 (>40)
Belarus	29,92	10,17	4,21	2,15
Russie	48,8	5,72	2,1	0,31
Ukraine	37,21	3,18	0,88	0,57
Total	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 frutiers 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 137Cs, 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 broutée 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 137Cs.

La contamination des territoires français

En France, le passage du nuage au-dessus du territoire a occasionné des dépôts moyens en 137Cs sur les surfaces agricoles qui allaient de 120 Bq/m², dans l'Ouest, à 3 560 Bq/m² dans l'Est, où des valeurs peuvent dépasser localement 6 000 Bq/m² [IRSN 2005].

Un des nuages de Tchernobyl a survolé la France entre le 30 avril et le 6 mai 1986. Le 1er 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[56] 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 5 000 à plus de 25 000 Bq/m² en 137Cs. En altitude, des niveaux de 50 000 à 100 000 Bq/m² 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 1er 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 10 842 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 5 400 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 rencontrais 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 : Pathophysiologic 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, « Tchernoblues, 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.

[Coumarianos 2000], Coumarianos 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.

[Oekanov 2005] Oekanov 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 : II1. 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 Chornobyl 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

L'impact sanitaire de la catastrophe de Fukushima

David Boilley (Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest, ACRO)

Les promoteurs de l'énergie nucléaire mettent souvent en avant que la catastrophe de Fukushima n'a tué personne. Les plus scrupuleux, précisent que personne n'est décédée directement à cause des radiations. Mais plus de 100 000 personnes ont tout perdu à cause de ces radiations : lieu de vie, travail, lien social… L'évacuation d'urgence a aussi provoqué des décès directs et indirects. Les conditions de vie des réfugiés sont difficiles. et les familles qui vivent en territoire contaminé se font beaucoup de soucis.

Selon le rapport d'enquête parlementaire sur l'accident nucléaire au Japon, il y avait 850 patients dans les 7 hôpitaux et cliniques situés dans un rayon de 20 km autour de la centrale de Fukushima daï-ichi, dont 400 sérieusement malades avec un besoin de soins réguliers ou alités[1]. Tous ont été évacués en urgence. À l'hôpital de Futaba cela a été particulièrement dramatique.

Les victimes de l'évacuation

La commission d'enquête parlementaire[2] explique que *« de nombreux habitants dans les environs de l'usine ont reçu l'ordre d'évacuer sans pour autant recevoir d'information précise. Ignorant la gravité de l'accident, ils pensaient devoir s'éloigner pendant quelques jours seulement et ne sont donc partis qu'avec le strict nécessaire. Les ordres d'évacuation ont été maintes fois révisés, les zones d'évacuation ont ainsi été élargies, à l'origine d'un rayon de 3 km, puis à 10 km et plus tard, à 20 km, en 24 heures. Chaque fois que la zone d'évacuation s'élargissait, les résidents étaient invités à déménager à nouveau. Certaines personnes évacuées ne savaient pas qu'elles avaient été déplacées vers des sites avec des niveaux élevés de radiations. Les hôpitaux et les maisons de soins situés dans la zone des 20 km ont eu beaucoup de difficultés pour assurer le transport des malades et pour trouver un accueil ; 60 patients sont morts en mars, du fait de complications liées à l'évacuation. »*

Les hôpitaux et maisons de retraite situés à moins de 20 km de la centrale de Fukushima daï-ichi ont dû improviser pour évacuer leurs patients et pensionnaires. Le personnel ne savait pas qu'il en avait la charge en cas d'accident nucléaire, surtout quand la structure était éloignée de la centrale. Une évacuation jusqu'à 20 km n'avait jamais été envisagée. Un seul hôpital avait un plan qui s'est révélé inutile car irréaliste. Pour quatre centres, l'évacuation a été beaucoup plus tardive que celle des habitants des environs. Le personnel médical a rapidement manqué. Les premiers décès sont liés à l'utilisation de moyens de transport inappropriés : des bus sont venus chercher les patients pour un trajet qui a duré des heures. Dans le cas de l'hôpital de Futaba, le trajet a fait 230 km et a duré plus de 10 heures. Et les centres d'accueil n'étaient pas équipés pour accueillir des réfugiés ayant besoin de soins lourds.

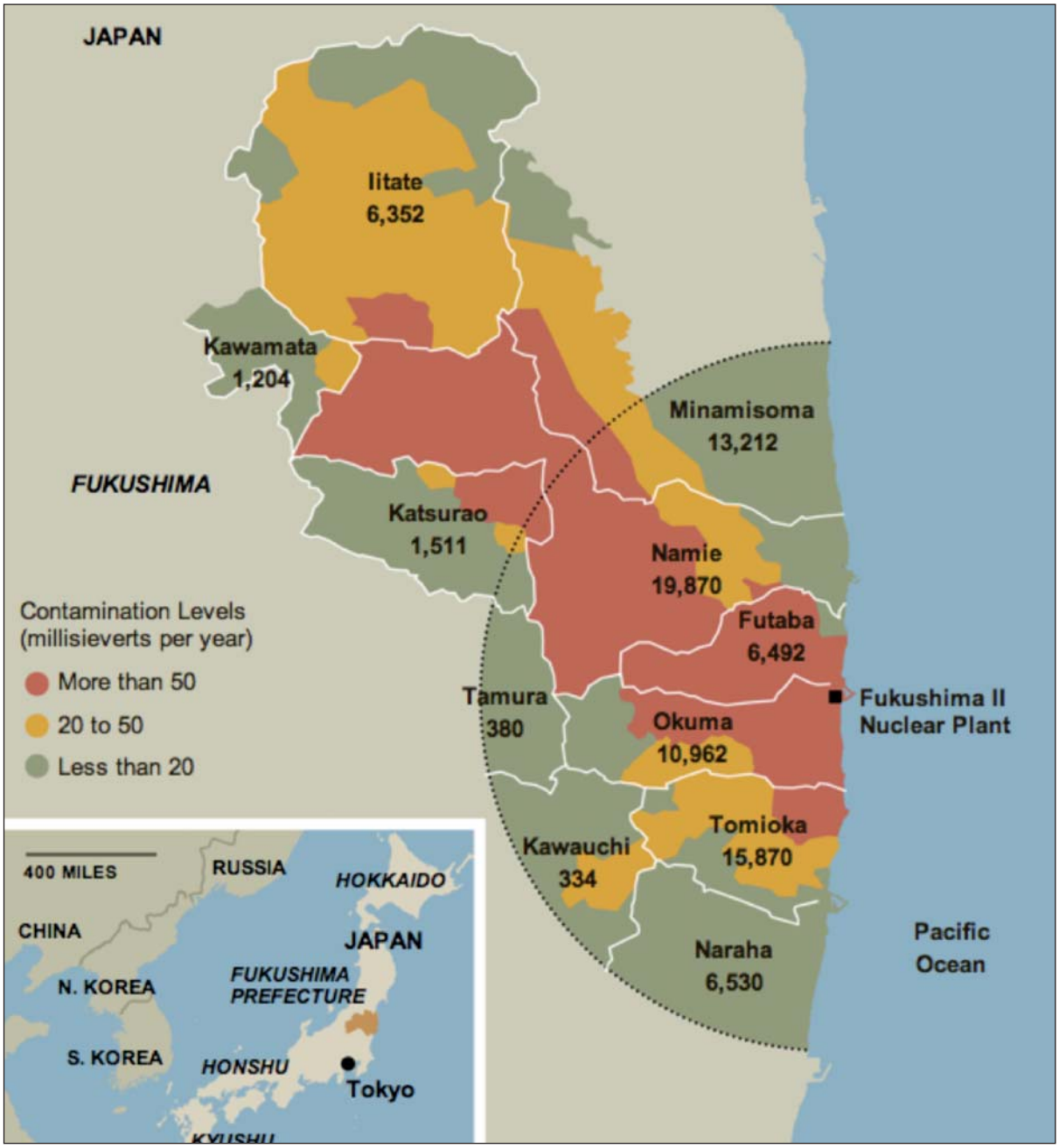
Une fois dans les centres d'accueil d'urgence, les personnes les plus fragiles ont vu leur condition se détériorer. Une étude[3] a examiné les risques de mortalité liés à l'évacuation des personnes âgées de cinq maisons de retraite de la ville de Minami-Sôma dans la préfecture de Fukushima. Le taux de mortalité était 2,7 fois plus élevé après l'accident qu'avant. Cette étude, menée sur 328 personnes âgées, qui résidaient dans 5 maisons de retraite à

1 - The National Diet of Japan, The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, 2012 http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naiic.go.jp/en/report/

2 - ibidem

3 - Nomura S, Gilmour S, Tsubokura M, Yoneoka D, Sugimoto A, et al. (2013) Mortality Risk amongst Nursing Home Residents Evacuated after the Fukushima Nuclear Accident: A Retrospective Cohort Study. PLoS ONE 8(3): e60192 http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0060192

Minami-Sôma et qui ont toutes été évacuées, parfois à plus de 200 à 300 km en bus, a montré que 75 d'entre elles sont décédées en moins d'un an, ce qui est plus élevé que la normale, calculée sur les 5 années précédentes. Il y a aussi disparité entre les maisons de retraite : trois ont évacué rapidement leurs résidents, dès le début de la catastrophe, sans l'aide du gouvernement, et l'accueil s'est fait dans de mauvaises conditions. Les soins n'étaient pas toujours disponibles à l'arrivée. Les deux autres ont attendu deux semaines avant d'évacuer les résidents dans de meilleures conditions et avec une mortalité moindre. L'évacuation rapide a entraîné une augmentation d'un facteur 4 à 5 du nombre de décès.



L'université médicale de Fukushima[4] est arrivée à des conclusions similaires : il y a eu 2,4 fois plus de décès chez les personnes âgées lors des 8 mois qui ont suivi la triple catastrophe que durant la même période en 2010. Le pic de décès était en avril-mai 2011, avec un facteur 3. Ces statistiques ont été obtenues à partir des rapports transmis par 34 institutions d'accueil pour personnes âgées situées dans la zone d'évacuation de 20 km autour de la centrale de Fukushima daï-ichi. Sur les 1 770 pensionnaires, 295 sont décédés avant la fin octobre 2011. 32 autres ont été tués par le tsunami. À titre de comparaison, il y a eu 109 décès durant la même période en 2010. 40 % des décès enregistrés sont dus à une pneumonie, alors que cette maladie est généralement responsable du décès de 10 % des

4 - Asahi, Death rates spike among elderly evacuees from Fukushima, January 11, 2013
http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201301110086

personnes âgées de plus de 65 ans. Ce sont donc les conditions d'accueil dans les centres d'hébergement de secours qui sont mises en causes.

Au final, à la date du 4 mars 2015, il y a officiellement 1 867 décès liés directement ou indirectement à l'évacuation à Fukushima pour lesquels les familles ont reçu une indemnisation financière. Ce chiffre inclut les décès directs déjà mentionnés, ceux liés au manque de soins, les suicides… C'est plus que les 1 603 décès directs liés aux séismes et tsunami à Fukushima. Sur l'ensemble du Japon, les séisme et tsunami ont entraîné 18 475 décès directs et disparitions. À titre de comparaison, le nombre de décès post-catastrophe est de 450 dans la province d'Iwaté et de 909 dans celle de Miyagi, qui sont, avec Fukushima, les trois provinces plus touchées par le tsunami[5]. Certaines familles se sont vu refuser ce statut de décès post-catastrophe et ont fait appel. Le journal local, le Fukushima Minpo, a recensé 46 demandes de réévaluation du dossier. Il n'y a pas de règles claires pour trancher.

Une contamination durable de l'environnement

L'accident du 11 mars 2011 a contaminé de vastes territoires pour des décennies. Il a fallu un mois aux autorités pour admettre qu'il s'agissait d'un accident de niveau 7 sur l'échelle INES et deux mois à TEPCo pour admettre que c'était dû à la fusion complète de trois cœurs nucléaires. Selon les estimations[6], la quantité de césium rejeté dans l'atmosphère varie entre 10 et 40 % de ce qui a été émis lors de l'accident de Tchernobyl. En revanche, 80 % est allé vers l'océan. Les autorités ont ordonné l'évacuation de toute la population dans un rayon de 20 km. Elles avaient confiné les habitants entre 20 et 30 km, puis leur ont conseillé d'évacuer. Comme le césium est retombé bien au-delà de ces distances, elles ont ordonné l'évacuation des territoires les plus contaminés en avril 2011, jusqu'à 45 km de la centrale. Puis, à proximité de plusieurs points chauds, il a été conseillé de partir. De tels points chauds ont été découverts jusqu'en septembre 2011.

De nombreuses cartes de la contamination sont disponibles en ligne. Il y a celles des autorités faites par hélicoptère regroupées sur un site internet[7]. Il y a aussi celles[8] basées sur des prélèvements effectués par un consortium d'universités et la *Japan Atomic Energy Agency*, l'équivalent du CEA français. Cela s'est traduit par la carte d'évacuation ci-dessous. La zone la plus contaminée, où l'exposition externe peut dépasser 50 mSv/an, est qualifiée de « zone de retour difficile » par les autorités. Les zones où il n'y aura pas de retour n'ont été clairement établies pour le moment, sauf pour le site de stockage des déchets radioactifs prévu sur 16 km^2 tout autour de la centrale de Fukushima daï-ichi. Et même là, les autorités ont promis de reprendre les 25 millions de m^3 de déchets au bout de 30 ans pour les stocker définitivement en dehors de la province de Fukushima. Personne n'y croit.

La commission d'enquête parlementaire explique qu'*« total de 146 520 habitants ont été évacués suite aux ordres du gouvernement »*. Il faut encore ajouter les *« évacués volontaires »* qui sont partis d'eux-mêmes car ils n'acceptaient pas la limite d'évacuation fixée par les autorités, considérée comme trop élevée. Ils étaient environ 60 000 en octobre 2012.

L'IRSN[9] a estimé que si la limite d'évacuation avait été divisée par deux comme il l'aurait préconisé en France, c'est-à-dire si elle était fixée à 10 mSv/an au lieu de 20 mSv/an, il aurait fallu évacuer 70 000 personnes supplémentaires et une partie de la capitale régionale située à plus de 50 km. La surface où l'exposition externe dépassait 1 mSv/an en 2011 représente[10] environ 13 000 km^2.

À proximité de la centrale, la pollution des sols est très élevée et il n'y aura pas de retour possible avant longtemps. L'agriculture est encore interdite dans les zones évacuées, sauf à titre expérimental et plusieurs aliments ne peuvent être vendus sur le marché ailleurs. C'est particulièrement le cas des plantes sauvages et du gibier. L'accident a aussi entraîné le plus fort rejet radioactif en mer. Il y a un facteur 20 entre l'estimation de TEPCo et celle de l'IRSN, plus élevée. Quelle que soit l'estimation, ce rejet à lui seul aurait entraîné le classement au niveau 5 de l'accident sur l'échelle INES. Mais, comme la centrale fait face à l'immense Océan Pacifique avec deux forts courants marins, le Kuroshio et le Oyashio, il y a eu une dilution rapide. Actuellement, au large, la contamination de l'eau de mer est très faible. En revanche, les sédiments marins le long du littoral sont fortement marqués et la faune qui en dépend

5 - Fukushima Minpo News, Death toll grows in 3/11 aftermath, 5 March 2015, http://www.fukushimaminponews.com/news.html?id=481 Voir aussi, L'ACROnique de Fukushima, Chiffres clé après quatre ans, 11 mars 2015, http://fukushima.eu.org/chiffres-cle/

6 - David Boilley, Emergency Planning and Evacuation, in, Lessons from Fukushima, Greenpeace International 2012 : http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/nuclear/2012/Fukushima/Lessons-from-Fukushima.pdf

7 - http://ramap.jmc.or.jp/map/eng/

8 - http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/dojo/index_en.php

9 - IRSN, Gestion radiologique des territoires contaminés à la suite de l'accident de Fukushima : l'IRSN rend public son rapport d'analyse de la situation, 23 mai 2011. http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Pages/20110523_Gestion_radiologique_territoires_contamines_Fukushima-Rapport_IRSN.aspx#.VUIzxGaSCJY

10 - Estimation grossière établie par le quotidien Asahi : Estimated 13,000 square km eligible for decontamination, October 12, 2011, http://www.asahi.com/english/TKY201110110214.html

est contaminée via la chaîne alimentaire. La pêche est interdite dans un rayon de 20 km autour de la centrale et au-delà, limitée à une cinquantaine d'espèces contre 200 environ avant la catastrophe. Les sédiments de la Baie de Tôkyô, presque fermée, ont aussi été significativement contaminés par le lessivage des sols.

C'est sur le site de la centrale qu'il y a les plus fortes contaminations et les rejets dans l'environnement continuent, que ce soit dans l'atmosphère ou dans la mer. Certains sont dus à la négligence, comme ces poussières rejetées lors du démantèlement de la partie haute du réacteur n° 3 faute d'avoir aspergé des résines fixatrices. TEPCo est aussi à la peine avec l'eau contaminée qu'elle n'arrive pas à confiner. Les nappes phréatiques sur le site sont fortement contaminées et s'écoulent vers l'océan[11].

Des déplacés qui souffrent encore

La catastrophe nucléaire s'installe dans la durée. En 2015, il y a encore officiellement 120 000 personnes évacuées. Parmi elles, 79 000 ont été forcées à partir et les autres sont des déplacés *« volontaires »* qui n'acceptent pas de vivre en territoire contaminé. 46 000 déplacés vivent en dehors de Fukushima, dans toutes les provinces du Japon. De plus en plus de personnes déplacées refont leur vie là où elles sont maintenant. D'autres ne savent pas quel sera leur avenir. Les liens sociaux avec leur voisinage ou leurs amis ont parfois été rompus. Même à l'intérieur des familles. Fukushima est zone rurale avec beaucoup de maisons où il y avait plusieurs générations sous un même toit. Ce n'est pas possible dans les logements provisoires. Parfois, les plus anciens restent et les plus jeunes partent pour protéger les enfants des radiations.

Selon une étude commandée par les autorités régionales et reprise par les médias japonais en avril 2014, 50 % des familles évacuées sont encore séparées et 67,5 % ont un membre qui souffre de stress physique et mental. En janvier et février 2014, la région a envoyé un questionnaire à 62 812 familles vivant à Fukushima ou ailleurs et a reçu 20 680 réponses, dont 16 965 (82 %) sont originaires des zones évacuées. Les 18 % restants (3 683 familles) sont parties de leur propre décision. Il y a un doute pour 32 familles. 48,9 % des familles qui ont répondu disent vivre séparées depuis la catastrophe. Pour 15,6 % des familles, l'éclatement familial est sur plus de 3 lieux. Les raisons de la séparation sont multiples : logements provisoires trop petits pour accueillir tout le monde, volonté de protéger les plus jeunes ou de se rapprocher d'une école ou encore du travail pour certains membres de la famille… Certaines personnes se retrouvent seules, inquiètes pour leur avenir. 50 % des familles disent que certains de leurs membres ont des troubles du sommeil ou perdu leur joie de vivre. Enfin, 34,8 % des réponses signalent une aggravation des maladies chroniques qui les affectent[12].

Les familles qui ne sont pas parties et vivent en territoire contaminé s'inquiètent aussi pour leur avenir et celui de leurs enfants. En effet, la limite d'évacuation a été fixée à 20 mSv/an, ce qui correspond à la limite de dose des travailleurs en France. Cette même limite est appliquée pour le retour des populations, même pour les nouveaux nés. Le gouvernement s'était engagé à décontaminer toutes les zones où l'exposition externe dépasse le millisievert par an, qui est la limite annuelle à ne pas dépasser en temps normal. Il est supposé que les habitants passent 8 heures par jour à l'extérieur et 16 heures à l'intérieur où l'exposition externe est réduite de 60 %. Mais les travaux de décontamination ne donnent pas les résultats attendus. Les autorités veulent donc changer la façon d'évaluer les doses. Un dosimètre est fourni aux habitants et les données relevées. En faisant attention, il est possible de prendre moins d'un millisievert par an là où le calcul grossier prédit plus. Et donc, il n'est pas besoin de décontaminer autant !

Le quotidien Asahi[13] a publié, le 26 décembre 2014, une interview d'un psychanalyste de l'université de Fukushima qui a travaillé auprès des mères de famille de la province. Il a noté que 24 % d'entre-elles sont dépressives alors que ce taux est généralement de 15 % au Japon. Il y a une corrélation entre la dépression et l'inquiétude envers l'impact des radiations sur les enfants. De fortes différences de comportement demeurent entre les familles : la nourriture vient parfois d'ailleurs, les enfants ne sont pas autorisés à jouer dehors. Dans d'autres familles, aucune précaution particulière n'est prise. Mais même dans ce cas-là, les mères se font du souci pour l'avenir de leurs enfants. La radioactivité est devenue un sujet dont on ne parle plus. Il y a la crainte d'être critiqué par les autres en cas d'opinion divergente.

Du côté des enfants, cela se traduit par une hausse de la corpulence. Le fait qu'ils ne jouent plus dehors y est sûrement pour beaucoup. Dès 2012, les statistiques du ministère de l'éducation mettent en évidence une hausse

11 - Sur ces rejets, lire, ACROnique de Fukushima, Des défis insurmontables, 5 mars 2015, http://fukushima.eu.org/fukushima-des-defis-insurmontables/

12 - Asahi, Survey: Half of Fukushima evacuee households split up; distress rife in families, April 29, 2014 : http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201404290046
Mainichi, Almost half of evacuated Fukushima households split up by disasters still divided: poll, April 29, 2014 : http://www.fukushima-is-still-news.com/article-evacuees-distress-123480786.html

13 - Asahi, INTERVIEW/ Yukihiko Kayama: Experts should help Fukushima mothers speak up about radiation fears, December 26, 2014 http://ajw.asahi.com/article/views/opinion/AJ201412260004

du nombre d'enfants en surpoids, c'est-à-dire pesant au moins 20 % de plus que la moyenne. C'est encore un problème actuellement[14]. En 2014, par exemple, 15,07 % des enfants âgés de 9 ans étaient en surpoids. C'est 8,14 % au niveau national.

D'autres problèmes de santé sont signalés, sans être pris au sérieux. L'exemple le plus caricatural est probablement le cas des saignements de nez. Une célèbre série de Manga, Oïshimbo (美味しんぼ, qui signifie gourmet) a représenté un reporter qui saigne du nez après être allé à la centrale de Fukushima daï-ichi. Cela a provoqué un tollé. Comme l'impact des radiations sur de tels maux bénins n'a jamais été étudié, les autorités n'ont rien à dire. Elles se sont contentées d'accuser l'auteur de colporter des « rumeurs néfastes ». Mais, Katsutaka Idogawa, l'ancien maire de Futaba, qui est dessiné dans le manga, maintient les propos qui lui sont attribués : son nez a souvent saigné au début de la catastrophe, presque tous les jours. Il explique qu'il en est de même pour de nombreuses autres personnes à Fukushima. Il est donc hors de question, pour lui, de démentir ces faits. La série de Manga a été suspendue alors qu'elle existait depuis 1983.

Pour de nombreux parents, voir leur enfant saigner du nez devient donc source d'inquiétude. S'il est sensible aux radiations, cela signifie-t-il qu'il risque de développer une maladie plus grave dans l'avenir ?

Le suivi sanitaire

Face aux inquiétudes pour la santé, les autorités régionales ont mandaté l'université médicale de Fukushima pour faire un suivi sanitaire de la population et des enfants en particulier. Les résultats sont disponibles en ligne en anglais[15].

L'université a d'abord envoyé un questionnaire aux deux millions d'habitants de Fukushima pour reconstituer la dose prise lors des rejets massifs qui ont duré plus d'une dizaine de jours. Le taux de retour était de 23 % au 31 octobre 2012, ce qui est peu. Pour beaucoup, il y a une défiance envers les autorités. Et puis, les habitants veulent être protégés, pas servir de cobaye. Pour les personnes évacuées, il y a de nombreuses autres préoccupations. L'université en déduit, qu'en excluant les travailleurs du nucléaire, la plus forte dose externe reçue par la population durant les quatre premiers mois serait de 25 mSv. Plus de 99 % de la population aurait reçu moins de 5 mSv et 66,1 % moins de 1 mSv, qui est la limite annuelle en temps normal.

La dernière publication de résultats, qui date du 12 février 2015, met en avant que le taux moyen d'anomalies congénitales et autres anomalies chez les nouveaux nés de Fukushima entre 2011 et 2013 est d'un peu plus que 2 %, ce qui est dans l'intervalle de variation de la moyenne nationale. Plus précisément, il était de 2,85 % en 2011, 2,39 % en 2012 et de 2,35 % en 2013. Il n'y pas de différence significative entre les différentes parties de Fukushima. La moyenne nationale était de 2,34 % en 2012. Il n'y a donc pas d'impact mesurable sur le taux d'anomalies congénitales.

Ce sont les cancers de la thyroïde qui attirent toute l'attention et les résultats sont très controversés. Pour rassurer la population, un dépistage systématique a été effectué chez tous les jeunes de la province de Fukushima. Initialement, les examens par échographie devaient commencer en 2014 car aucun effet n'était attendu avant. Mais l'inquiétude des parents a poussé les autorités à commencer dès 2011.

Les premières échographies ont révélé que 35 % des enfants auscultés avaient un kyste inférieur à 20 mm ou un nodule inférieur à 5 mm. Ce sont les kystes qui prédominent. Ces résultats ont créé une forte inquiétude. Une campagne de dépistage a donc été menée dans d'autres provinces japonaises non affectées par les retombées radioactives. Les résultats étaient identiques et la polémique est retombée.

En revanche, l'apparition de cancers de la thyroïde chez les enfants inquiète.

Des cancers de la thyroïde plus nombreux qu'attendu

Les derniers résultats publiés à la date le 12 février 2015 montrent que des échographies de la glande thyroïde ont été réalisées chez 368 000 jeunes Japonais de la région de Fukushima. Après un premier dépistage, 109 d'entre eux ont été diagnostiqués avec un cancer de la glande thyroïde définitif ou soupçonné. Parmi eux, 86 cas ont été confirmés après acte chirurgical et un cas s'est révélé être bénin. Le taux d'occurrences observé est beaucoup plus élevé à Fukushima qu'ailleurs au Japon ou dans d'autres pays. En effet, cela fait environ 30 cas sur 100 000 enfants, contre 1,7 cas sur 100 000 enfants dans la province voisine de Miyagi.

14 - Asahi, Obesity a growing problem among children in Fukushima, January 24, 2015
http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201501240044

15 - Fukushima Medical University, Radiation Medical Science Center, Fukushima Health Management Survey, Survey Results :
http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/

Les autorités médicales affirment cependant que ce n'est pas lié à la catastrophe nucléaire, mais au dépistage systématique. Si c'est le cas et que les cancers ne se seraient pas déclarés avant des années, fallait-il effectuer les interventions chirurgicales ? Les cancers papillaires de la thyroïde ne se développent pas toujours et les enfants auraient peut-être pu vivre longtemps en bonne santé avec leur glande. Une fois opérés, ils ont une cicatrice au cou et certains doivent prendre des médicaments toute leur vie. Des experts critiques réclament donc que les autorités régionales, qui mènent ce programme, rendent publiques les informations relatives à la glande après chirurgie et au niveau de progression du cancer. L'université de Fukushima refuse pour préserver la confidentialité des données patients et les autorités régionales n'ont pas le pouvoir d'accéder au dossier médical[16].

Les autorités régionales de Fukushima ont entamé la deuxième vague de dépistage du cancer de la thyroïde chez les 385 000 enfants de la province. 8 enfants sur 75 000 chez qui l'on n'avait pas détecté de cancer lors de la première échographie sont suspectés d'avoir un cancer après un deuxième examen. Parmi eux, il y a un cas confirmé. Les 7 autres vont subir d'autres examens médicaux. Ils avaient entre 6 et 17 ans au moment des rejets radioactifs massifs. Les tumeurs font entre 6 et 17,3 mm. Ces enfants étaient classés dans les catégories A lors du premier dépistage, signifiant « pas de problème ». Les autorités continuent à affirmer que ce n'est pas lié à la catastrophe nucléaire.

Par ailleurs, sur les 75 000 enfants ayant subi une deuxième échographie de la thyroïde, 611 sont classés B et vont subir des examens complémentaires. Parmi eux, 441, ou 72,2 %, avaient été classés A lors de la première campagne. Le nombre de cas de cancer pourrait malheureusement augmenter encore… L'inquiétude des populations est donc sans fin.

Une faible contamination interne

La situation est très différente entre le Japon et la Biélorussie ou l'Ukraine. Au Japon, les populations les plus exposées ont été évacuées plus rapidement qu'en URSS. Par ailleurs, le contrôle de la nourriture a été assez strict dès le début, même si l'improvisation a conduit à la mise sur le marché d'aliments dépassant les normes dans les premiers mois de la catastrophe. En conséquence, la contamination interne est faible.

L'ACRO a, dès les premiers mois, effectué des contrôles sur les urines d'enfants japonais. Si, au début, toutes les urines étaient marquées à Fukushima, les niveaux détectés restaient faibles[17]. Pour la somme des césiums 134 et 137, la contamination ne dépassait pas 4 Bq/L. Les données accumulées par Chikurin[18], le laboratoire mis en place avec le soutien de l'ACRO au Japon, confirment cette observation. À titre de comparaison, des analyses d'urines effectuées par l'ACRO[19] en 2004 sur des enfants biélorusses en vacances en Normandie ont mis en évidence des niveaux de contamination en césium-137 pouvant dépasser 60 Bq/L.

Les résultats des anthropogammaméties effectuées à grande échelle à Minami-Sôma vont dans le même sens. Cela s'explique par la concentration maximale fixée pour le césium dans l'alimentation qui est beaucoup plus basse que ce qui a été adopté en Europe après Tchernobyl. Elle est de 100 Bq/kg au Japon. Cependant, l'autoconsommation échappe à ces restrictions et il y a des cas de contamination interne assez élevée.

Une étude s'est intéressée au régime alimentaire d'habitants de Fukushima qui se nourrissent de leur propre production. Certains avaient une forte contamination interne qui a diminué suite au changement de régime alimentaire. Les chercheurs ont suivi 9 habitants de Minami-Sôma qui avaient plus de 50 Bq/kg en césium 137 dans le corps. La contamination totale variait entre 3 230 et 15 918 Bq et induit une dose comprise entre 0,07 et 0,53 mSv par an. Cela vient s'ajouter à l'exposition externe. Ces habitants, âgés de 60 à 74 ans consomment tous des produits de leur jardin non contrôlés. Ils mangent aussi des champignons sauvages ou cultivés. Le plus contaminé a même mangé du sanglier sauvage et des poissons de rivière.

Suite à un changement de régime alimentaire, qui consiste surtout à éviter les produits connus pour être les plus contaminés, la charge en césium a été divisée par deux en trois mois. Au bout de 6 mois, elle était à moins d'un tiers de la contamination originelle[20].

Le problème majeur demeure l'exposition externe et la limite fixée pour le retour des habitants. La CIPR qualifie de *« situation existante »* la situation post-accidentelle à long terme. Dans sa publication 109, elle explique qu'il

16 - Mizuho Aoki, Experts question Fukushima thyroid screening, The Japan Times, Jul 31, 2014 : http://www.japantimes.co.jp/news/2014/07/31/national/science-health/experts-question-fukushima-thyroid-screening/

17 - ACRO, Résultats des mesures ACRO au Japon, mise à jour du 6 mars 2013 http://www.acro.eu.org/resultats-des-mesures-acro-au-japon/

18 - http://chikurin.org

19 - ACRO, Evaluation de la contamination des enfants de Biélorussie, mars 2004 http://www.acro.eu.org/evaluation-de-la-contamination-des-enfants-de-bielorussie/ Du rôle de la pectine dans l'élimination du césium dans l'organisme, décembre 2004 http://www.acro.eu.org/du-role-de-la-pectine-dans-lelimination-du-cesium-dans-lorganisme/

20 - Tsubokura et al, Reduction of High Levels of Internal Radio-Contamination by Dietary Intervention in Residents of Areas Affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Plant Disaster: A Case Series, PlosOne, Published: June 16, 2014, DOI: 10.1371/journal.pone.0100302 : http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0100302

n'y a pas *« de frontières temporelles ou géographiques prédéfinies qui délimitent la transition d'une exposition à une situation d'urgence à une situation existante. En général, les niveaux de référence utilisés lors des situations d'urgence ne sont pas acceptables comme références à long terme car les niveaux d'exposition correspondant ne sont viables ni socialement, ni politiquement. Ainsi, les gouvernements et/ou les autorités compétentes doivent, à un certain moment, définir des niveaux de référence pour gérer l'exposition aux situations existantes, typiquement dans la partie basse de l'intervalle de 1 à 20 mSv/an recommandé par la Commission. »*

Mais comment passer d'un intervalle d'exposition maximale autorisée situé entre 20 et 100 mSv en situation d'urgence à la partie basse de l'intervalle de 1 à 20 mSv pour la « situation existante » ? Les radioéléments comme le césium décroissent lentement. Le débit de dose moyen n'a diminué que de 40 % en moyenne la première année au Japon et les travaux de décontamination se sont révélés très décevants.

Dans sa publication 111, la CIPR n'est pas très explicite : *« les autorités nationales peuvent prendre en compte les circonstances et aussi profiter de l'agenda du programme de réhabilitation pour adopter des valeurs de référence intermédiaires qui conduisent à une amélioration progressive de la situation »*.

Pour le moment, le Japon a adopté un retour à une limite de 1 mSv/an, mais sans aucun calendrier. La politique de retour des populations actuelle est toujours basée sur la limite annuelle de 20 mSv/an choisie au moment de l'évacuation. De nombreuses personnes ne souhaitent pas rentrer, surtout quand il y a des enfants en bas âge. Mais si le Japon adoptait une limite de retour plus faible, les populations non évacuées ne comprendraient pas et se sentiraient abandonnées.

Anand Grover, Rapporteur spécial du Haut-Commissariat aux Droits de l'Homme de l'ONU précise[21] que *« les recommandations de la CIPR sont basées sur le principe d'optimisation et de justification, selon lesquelles toutes les actions du gouvernement doivent maximiser les bénéfices sur le détriment. Une telle analyse risque-bénéfice n'est pas en accord avec le cadre du droit à la santé, parce qu'elle donne la priorité aux intérêts collectifs sur les droits individuels. Le droit à la santé impose que chaque individu doit être protégé. De plus, de telles décisions, qui ont un impact à long terme sur la santé physique et mentale des populations, doivent être prises avec leur participation active, directe et effective. » Et d'ajouter que « la possibilité d'effets néfastes pour la santé existe avec les faibles doses de radiation. Cela implique de recommander aux personnes évacuées de ne retourner que quand la dose liée à l'irradiation a été réduite autant que possible à des niveaux inférieurs à 1 mSv par an. En attendant, le gouvernement doit continuer à fournir un soutien financier et une indemnisation à toutes les personnes évacuées de façon à leur permettre de décider par elles-mêmes de rentrer ou de rester évacuées. »*

Comme nous l'avons déjà expliqué, cette limite de dose annuelle est estimée en supposant que les personnes passent en moyenne 8 heures par jour dehors et 16 heures par jour à l'intérieur où l'exposition serait réduite de 60 %. Ainsi, 1 mSv par an correspond à 0,23 microsievert par heure quand on ajoute le bruit de fond naturel de 0,04 microsievert par heure. Cela peut être mesuré directement avec un radiamètre. 20 mSv se traduisent par une limite de 3,8 microsieverts par heure avec la même méthode. C'est cette valeur qui a été utilisée pour l'évacuation. Et c'est encore elle qui est retenue pour le retour.

Face à cette situation complexe, les autorités pensent avoir trouvé la parade : distribuer à chacun des « glass-badges », c'est-à-dire des dosimètres individuels, pour apprendre à vivre en territoire contaminé et limiter l'exposition en faisant attention. Il est alors possible d'avoir une dose reçue moins élevée que celle estimée précédemment. La ville de Daté s'est fixée une limite à 5 mSv par an mesurés par ces « glass-badges » et le maire met en avant le succès de l'opération. En outre, les dosimètres indiquent une dose inférieure à celle mesurée par un radiamètre de 30 à 40 % sans que cela ait été expliqué aux populations concernées. Le fabriquant affirme que les données des glass-badges sont plus justes, mais ce sont celles des radiamètres qui ont servi de référence depuis le début[22].

À long terme, les doses prises par les populations s'accumulent et ne seront donc plus négligeables. Il est difficile, voire impossible d'en prévoir l'impact.

Du côté des travailleurs

Selon les dernières statistiques publiées[23], qui datent du 31 janvier 2015, 41 170 personnes ont travaillé sur le site de la centrale de Fukushima daï-ichi. Dans les premiers mois, la limite de dose a été montée à 250 mSv. Officiellement, 6 personnes l'ont dépassée. Mais il n'y avait pas un dosimètre par personne durant les premières semaines car ils avaient été noyés par le tsunami. Seul le chef d'équipe en portait un et il n'a pas été forcément le plus exposé. Il a fallu un scandale médiatique pour que des dosimètres soient expédiés depuis d'autres centrales

21 - Human Rights Council, Report of the Special Rapporteur on the right of everyone to the enjoyment of the highest attainable standard of physical and mental health, Anand Grover, Mission to Japan (15 - 26 November 2012), 2 May 2013 (A/HRC/23/41/Add.3) http://www.ohchr.org/Documents/HRBodies/HRCouncil/RegularSession/Session23/A-HRC-23-41-Add3_en.pdf

22 - Voir Fukushima : des défis insurmontables, ACROnique de Fukushima, 5 mars 2015 http://fukushima.eu.org/fukushima-des-defis-insurmontables/

23 - Ministry of Health, Labour and Welfare, Exposure Dose Distribution of the Workers at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, provided by TEPCO, Updated on 31 January 2015 : http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/irpw/

nucléaires. Ces chiffres officiels sont donc à prendre avec recul. Par ailleurs, la contamination interne a été contrôlée très tardivement et certains intervenants sont injoignables. TEPCo est toujours à la recherche de 10 personnes[24] qui sont intervenues entre mars et juin 2011.

En mars 2014, le ministère de la santé a révélé que TEPCO avait sous-estimé la contamination interne de 142 personnes en 2011. L'augmentation moyenne de la dose reçue est de 5,86 millisieverts. Une personne est ainsi passée de 90,27 à 180,10 millisieverts, ce qui représente une hausse de 89,83 millisieverts. C'est plus que les 100 mSv à ne pas dépasser sur 5 ans : cette personne aurait dû arrêter ses activités à la centrale. Cela n'a pas été le cas. Deux autres dépassent la limite annuelle de 50 mSv. Sur ces 142 personnes, il y a 24 employés de TEPCo. Les 118 autres sont des sous-traitants employés par 18 compagnies différentes.

Le gouvernement a vérifié l'exposition de 1 536 personnes sur les 7 529 qui sont intervenues en mars – avril 2011. Cela fait plus d'une personne sur 9 pour qui il y a eu sous-estimation ! En juillet 2013, le ministère de la santé avait déjà trouvé que les doses reçues par 642 personnes sur 1 300 avaient été sous-estimées.

Depuis le 16 décembre 2011, ce sont de nouveau les limites normales qui sont retenues : 100 mSv sur 5 ans (ou 20 mSv/an en moyenne sur 5 ans), sans dépasser 50 mSv/an. Depuis cette date, 174 travailleurs ont atteint cette limite et ne peuvent plus travailler dans le nucléaire tant que les 5 ans ne se sont pas écoulés. Sur les 14 000 travailleurs enregistrés actuellement, 2 081 ont déjà reçu une dose comprise entre 50 et 100 mSv. Ils sont généralement affectés à des tâches moins exposées pour pouvoir rester plus longtemps sur le site.

Mais avec le temps, ils vont être de plus en plus nombreux à atteindre les 100 mSv. D'autant plus que les travaux de démantèlement des parties les plus irradiantes n'ont pas encore commencé. Il y a la reprise des combustibles de la piscine du réacteur n° 3, par exemple, qui devrait bientôt commencer. Même si la grosse partie du travail se fera avec des engins télécommandés, il faudra que des hommes s'approchent par moment pour installer le matériel de démantèlement.

Là encore, certains chiffres doivent être pris avec recul. Il y a eu plusieurs scandales liés à des tricheries sur les doses. Les médias ont rapporté des pratiques douteuses : des dosimètres laissés dans la voiture ou déposés en un lieu moins irradiant. Des travailleurs avaient mis un cache en plomb autour de l'appareil. Plus de 90 % des intervenants sont des sous-traitants, avec parfois plusieurs niveaux de sous-traitance. Leur statut précaire favorise la triche. Suite à ces scandales, TEPCo a renforcé ses contrôles et la situation s'est améliorée.

Récemment, la *Radiation Effects Research Foundation*, qui a suivi les personnes exposées aux bombes de Hiroshima et de Nagasaki, a décidé de suivre une première cohorte de 2 000 travailleurs qui sont intervenus la première année à la centrale accidentée de Fukushima daï-ichi car ce sont eux qui ont pris les plus fortes doses. Elle en a contacté 5 466 à Fukushima, mais seulement 704 auraient accepté, ce qui est beaucoup moins que les 2 000 espérés. 299 courriers auraient été retournés car l'adresse était erronée. Sur les 1 071 qui ont répondu, 295 ont refusé d'y participer. Certains ont justifié leur décision car il n'y a pas de prise en charge alors qu'ils doivent travailler. D'autres se sont plaint de la difficulté à accéder aux centres de soins où ils seront auscultés. La fondation veut aussi reconstituer les doses prises. À terme, elle espère suivre 20 000 travailleurs[25].

Actuellement, environ 7 000 personnes triment chaque jour sur le site de la centrale de Fukushima daï-ichi. Il y a déjà eu plusieurs décès et blessés graves suite à des accidents. Au-delà du gigantesque chantier de stabilisation des réacteurs accidentés destiné à réduire leur menace puis celui de leur démantèlement, il y a aussi un immense chantier de décontamination dans toutes les zones où l'exposition externe peut dépasser 1 mSv/an.

Les chantiers de décontamination dans les territoires évacués sont sous la responsabilité directe du gouvernement. Les travailleurs doivent porter un dosimètre et la dose enregistrée ne doit pas dépasser 50 mSv par an comme pour les travailleurs du nucléaire et 100 mSv sur 5 ans. Des statistiques officielles sur les doses prises par plus de 26 000 travailleurs engagés sur ces chantiers avant 2014 viennent d'être rendues publiques[26]. Aucun n'a dépassé 50 mSv en un an. La dose moyenne est de 0,5 mSv par an et 14,6 % d'entre eux ont reçu une dose supérieure à 1 mSv/an, qui est la limite pour le public. La plus forte dose enregistrée est de 13,9 mSv en un an. Ils sont 34 à avoir dépassé 10 mSv.

Plus précisément, 11 058 personnes sont intervenues en 2011-2012. C'est à cette époque qu'il y a eu la plus forte dose enregistrée. En 2013, 20 564 personnes sont intervenues et la plus forte dose enregistrée était de 6,7 mSv, avec une moyenne de 0,5 mSv en un an. Ces statistiques, compilées par la Radiation Effects Association, qui dépend du gouvernement, donnent un nombre total de personnes inférieur aux chiffres avancés par le ministère de

---

24 - http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/wbc/index-e.html

25 - ACROnique de Fukushima, 15 mars 2015. http://fukushima.eu.org/etude-epidemiologique-sur-les-travailleurs-a-la-centrale-de-fukushima/

*26 - Radiation Effects Association, Communiqué du 15 avril 2015 (*除染作業者等の被ばく線量等の集計結果を公表します*) :*
http://www.rea.or.jp/chutou/koukai_jyosen/honbun-press.pdf
*et document associé pour la presse (*除染作業者等の被ばく線量等の集計結果について*) :*
http://www.rea.or.jp/chutou/koukai_jyosen/toukai-press.pdf

l'environnement en charge des travaux. Le ministère de la santé du Japon pense donc que cette association n'a pas réussi à enregistrer les doses de tout le monde.

Actuellement, 12 000 personnes par jour travaillent sur des chantiers de décontamination. Les travaux sont terminés dans quatre des onze communes évacuées. Selon l'inspection du travail de Fukushima, qui surveille les 1 152 compagnies engagées dans ces chantiers, il y a eu 800 violations du droit du travail enregistrées concernant la sécurité des travailleurs. Parfois, cela concerne l'absence de mesure du débit de dose ambiant avant les travaux ou le port de dosimètres. Il y a aussi eu plusieurs scandales médiatiques révélant de mauvaises pratiques allant jusqu'à l'emploi de SDF.

Conclusions

La catastrophe de Fukushima ne fait que commencer. Il est difficile de tirer un bilan sanitaire après seulement quatre années. Heureusement pour le pays, 80 % des rejets atmosphériques sont allés vers l'océan. Les surfaces contaminées sont limitées. Un accident similaire au milieu des terres aurait eu un impact beaucoup plus élevé.

Malgré cela, cette catastrophe a déjà fait de nombreuses victimes. Elle a aussi complètement déstabilisé toute une région avec des conséquences économiques et sociales à long terme qui se répercutent sur tout le pays.

L'ensemble des ces informations sont détaillées dans l'ACROnique de Fukushima, avec mise à jour quotidienne : http://fukushima.eu.org

Fastoche le facteur 4 !*

Benjamin Dessus (Global Chance)

* paru dans reporterre du 25 mars

En décrétant au début des années 60 sa fameuse loi « du doublement de la consommation française d'électricité tous les dix ans » devant les foules subjuguées par les intuitions du génial économètre, Marcel Boiteux ne savait pas encore qu'il serait 60 ans plus tard dépassé, voire ridiculisé sur son propre terrain.

En effet si sa fameuse « loi » qui ne s'est pourtant révélée exacte que sur une dizaine d'années, l'a rendu célèbre malgré sa bien faible durée de vie, elle risque d'être complètement ringardisée par une loi encore bien plus spectaculaire qui pourrait rendre à jamais encore plus célèbre n'importe lequel des dirigeants de notre lobby nucléaire national ou des ministres qui le soutiennent : « la loi du triplement des coûts du nucléaire tous les 10 ans ! »

Souvenez-vous, en effet : en 2005, EDF s'engageait la main sur le cœur à construire un EPR pour la modique somme de 3,3 milliards d'euros, un chantier qui devait démarrer en 2007 et finir en 2012. Puis son coût a été revu à quatre milliards en 2008 puis six milliards et enfin à 8,5 milliards en décembre 2012 pour un démarrage en 2016.

Mais le 18 novembre 2014, nouveau rebondissement : le réacteur ne démarrerait qu'en 2017 pour un coût qu'on n'ose plus annoncer mais qui devrait, compte tenu des énormes frais financiers qu'entraîne ce retard, atteindre, voir même dépasser nettement 10 milliards €.

La nouvelle loi va donc se vérifier (un triplement de 2007 à 2017) y compris pour le coût de production d'électricité qui dépend à plus de 80 % de l'investissement initial et mériter une mention spéciale méritée dans le livre des records.

Mais attendons un peu, on peut, si l'on en croit le CEA, espérer encore mieux avec l'arrivée d'Astrid, le surgénérateur qui devrait nous sauver dès 2040 de la pénurie d'uranium, dont le prix annoncé, alors qu'il n'est pas encore dessiné, dépasse déjà de 30 % celui de l'EPR.

Alors, encore un petit effort, messieurs dames, nous y arriverons à ce fameux facteur 4, non pas comme on l'imaginait naïvement sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais sur le coût du nucléaire. Et peut-être même bien avant 2040 si l'on en croît le dernier bilan d'Areva (4,8 milliards pour le contribuable) !

ATMEA et ses concurrents

Introduction

Les déboires de l'EPR, tant au niveau national qu'international (Olkiluoto 3 en Finlande) et l'absence des commandes tant souvent annoncées par AREVA ont conduit plusieurs responsables de la politique nucléaire de la France au niveau politique comme à celui de la sûreté nucléaire à évoquer la nécessité de « nouveaux réacteurs » et en particulier de réacteurs moins puissants, moins complexes et, par conséquent, moins chers et mieux adaptés à la potentielle demande internationale. Ces réacteurs se situent dans la lignée des réacteurs actuellement en fonctionnement dans le monde, de la filière à uranium enrichi et eau sous pression, les REP (ou PWR en anglais), tous issus des réacteurs Westinghouse des années 1970 de puissance électrique de 900 MW, auxquels seraient apportés des compléments de sûreté nucléaire active ou passive leur permettant de revendiquer l'appartenance à une 3e génération de réacteurs de cette filière.

Nous présentons brièvement dans cette note, au chapitre I les principales caractéristiques du modèle ATMEA développé par AREVA en coopération avec la firme japonaise Mitsubishi, et, au chapitre II, celles de ses principaux concurrents : le modèle AP-1000 de Westinghouse (absorbé par Toshiba), les différents modèles développés en Chine (CPR-1000, ACP-1000, ACC-1000), dérivés de la filière initiale des REP de 900 MW, ainsi que, brièvement, les réacteurs proposés à l'exportation par la Corée et la Russie.

1. ATMEA

ATMEA est une coentreprise créée à parts égales par AREVA et MHI (Mitsubishi Heavy Industries) pour le développement, la commercialisation et la vente d'un nouveau modèle de réacteur nucléaire baptisé ATMEA1. Le siège de la société est à Paris ; son président et directeur exécutif est originaire d'AREVA et son adjoint de MHI.

1.1 Principales caractéristiques du réacteur ATMEA1

1.1.1 Performances générales

Il s'agit d'un réacteur à eau pressurisée à 3 boucles, dont la puissance électrique nette serait comprise entre 1000 et 1 150 MW[1].

Le réacteur est conçu avec un cœur à faible densité de puissance capable d'opérer en cycles de 12 à 24 mois. Le combustible principal est de l'oxyde d'uranium enrichi (entre 3 et 5 %), mais le cœur pourrait être chargé jusqu'en totalité en combustible MOX. Il est conçu pour faire du suivi de charge (fonctionnement à puissance variable) sur une plage de 30 % à 100 % de la puissance nominale. Le taux de disponibilité théorique serait de plus de 92 % sur la durée de vie du réacteur, conçu pour 60 ans. Ce taux de disponibilité est atteint par des systèmes de sûreté redondants permettant une maintenance en fonctionnement et une durée d'arrêt de tranche pour rechargement évaluée à 16 jours.

Le réacteur est conçu avec les dernières technologies (générateurs de vapeur à économiseur, turbines…) et atteindrait ainsi un rendement électrique de 37 %.

1 - Source : ATMEA

1.1.2 Sûreté de la centrale

Fusion du cœur
Le réacteur est doté d'un récupérateur de corium (comme sur l'EPR) permettant de récupérer la masse en fusion du cœur (le corium) en cas d'accident grave avec fusion du cœur et traversée de la cuve du réacteur, afin d'éviter le percement du radier.

Risque de chute d'avion
ATMEA indique que le réacteur est conçu pour résister au crash d'un avion commercial de grande taille.

Risque de séisme
ATMEA indique que le concept sera adaptable aux zones de forte sismicité La conception de base prend en compte une accélération du sol de 0,3 g mais elle peut être adaptée à de plus fortes valeurs moyennant certaines modifications.

1.2 Position de l'autorité de sûreté

Dans la note d'information du 2 juillet 2012, l'ASN a émis un avis positif sur les options de sûreté du projet de réacteur ATMEA1 dont voici le texte :

« À l'issue d'un examen qui a duré 18 mois, l'ASN émet un avis positif sur les options de sûreté du projet de réacteur ATMEA1.

L'ASN a mené, avec l'appui technique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), la revue des options de sûreté du réacteur à eau sous pression ATMEA1. Ce réacteur de moyenne puissance (1 100 MWe) est conçu par la société ATMEA, coentreprise formée par AREVA et Mitsubishi Heavy Industries (MHI).

Cette revue des options de sûreté a été effectuée à la demande de la société ATMEA. Bien qu'elle ne s'inscrive pas aujourd'hui dans la perspective d'une demande d'autorisation de création d'un tel réacteur en France, cette revue a été menée dans les conditions qui encadrent la création des installations nucléaires de base sur le territoire français. L'ASN a notamment recueilli en 2011 les avis des Groupes permanents d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) et pour les équipements sous pression nucléaires (GPESPN) qui concernent les options de sûreté de ce nouveau réacteur.

L'ASN rend publics son avis et le rapport sur lequel il s'appuie, qui concluent que les options de sûreté retenues par la société ATMEA pour son projet de réacteur sont globalement satisfaisantes au regard des exigences françaises. Dans un contexte français, cet avis serait une étape préalable à la procédure d'autorisation de création d'un tel réacteur.

Au stade de la conception détaillée, la société ATMEA devra être particulièrement vigilante sur l'optimisation de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, sur les dispositions nécessaires à l'« élimination pratique » de certains accidents ou à l'exclusion de la rupture de certaines tuyauteries et, bien évidemment, sur la poursuite de la prise en compte des enseignements tirés de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (Japon).

L'ASN rappelle qu'en France, la demande d'autorisation de création est portée par l'exploitant et non par le concepteur du réacteur ».

Cette phrase de conclusion est importante : en l'absence d'une demande d'autorisation pour la construction d'un réacteur ATMEA1 en France, l'ASN n'ira pas au-delà de cet avis sur les options de sûreté. L'appréciation positive exprimée par cet avis n'est pas étonnant dans la mesure où ATMEA1 est essentiellement un « petit EPR ».

Cette remarque est confirmée par le paragraphe de conclusion de la « Synthèse de l'examen mené par l'IRSN au sujet des options de sûreté du réacteur ATMEA1, reproduit ci-dessous :

« Bien entendu, d'une manière générale, il ne sera possible d'émettre un avis fondé sur le respect des objectifs de sûreté retenus sur les différents sujets mis en évidence au cours de l'instruction qu'après un examen approfondi de la déclinaison de l'ensemble des options de sûreté en termes de dispositions de conception. Cet examen ne pourra être réalisé qu'à un stade ultérieur de la définition de ces dispositions, notamment lors d'une éventuelle demande d'autorisation de création ».

Pour en savoir plus :
- Voir l'avis de l'ASN relatif aux options de sûreté du réacteur ATMEA1 ;
- Voir le rapport de l'ASN présentant la synthèse de l'instruction technique ;
- Voir l'avis du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires du 28 octobre 2011 ;
- Voir l'avis du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires du 14 septembre 2011 ;

- Voir la synthèse du rapport de l'IRSN présenté au GPR ;
- Voir la synthèse du rapport de l'ASN présenté au GPESPN ;
- Voir la note d'information de l'ASN du 20 septembre 2010.

1.3 La situation industrielle

La seule commande actuelle serait le contrat signé avec la Turquie.

Le 2 mai 2013, le gouvernement turc a confirmé avoir attribué un contrat à un consortium franco-japonais, dont fait partie AREVA, pour la fourniture de 4 réacteurs ATMEA1 de 1 100 MW chacun sur le site de Sinop. Le contrat s'élèverait à 17 milliards d'euros. La maîtrise d'ouvrage serait assurée par un groupement de sociétés composé de la Compagnie d'électricité turque EÜAŞ (25 à 45 %), des japonais MHI et Itochu Corporation et de GDF Suez (20 %) qui serait notamment responsable pour la partie exploitation, Areva NP et MHI étant chargées de la construction.

Un accord d'État à État a été signé le 3 mai 2013 à Ankara en présence des premiers ministres turc et japonais (Recep Tayyip Erdoğan et Shinzo Abe) pour la construction et l'exploitation de quatre ATMEA1. Ce serait l'un des rares contrats à avoir été attribués récemment en Turquie à une entreprise française (et dans ce cas précis à un consortium franco-japonais ; GDF Suez participerait au projet à hauteur de 20 %) depuis l'atténuation des différends entre la France et la Turquie (notamment à la suite du rejet par le Conseil Constitutionnel de la loi condamnant la négation des génocides).

La construction devrait débuter en 2017 pour une mise en service en 2023 du premier réacteur. Il faut donc encore attendre pour savoir si ces engagements seront tenus, de part et d'autre.

2. Les réacteurs concurrents

Dans la gamme des 1000-1100 MW de puissance électrique, les concurrents d'ATMEA1 sont nombreux et certains ont une longueur d'avance.

2.1 AP-1000 de Westinghouse

L'AP-1000 de Westinghouse est actuellement le concurrent à l'exportation le plus sérieux qui possède l'avantage d'avoir plusieurs exemplaires en construction.

Westinghouse Electric Company est une entreprise américaine, fondée par George Westinghouse en 1886 sous le nom de *Westinghouse Electric Company*. Elle a été rachetée en 2006 par la firme japonaise Toshiba et s'est spécialisée dans le nucléaire. Elle intervient dans les domaines de la conception et la fabrication d'assemblages de combustibles nucléaires, des services spécialisés à l'industrie et l'ingénierie associée, de la conception et de la réalisation de nouvelles centrales nucléaires.

2.1.1 Caractéristiques du réacteur AP-1000

Le réacteur AP1000 de la compagnie américaine Westinghouse Electric Corporation est un réacteur à eau pressurisée (REP) d'une puissance électrique de 1 150 MW. qui fonctionne suivant les mêmes principes que ceux du parc nucléaire français en service actuellement. L'AP1000 se veut être le premier de ceux dit de « 3e génération + ».

Le design du réacteur vise à en réduire les coûts par l'utilisation de technologies éprouvées et une simplification et réduction du nombre de composants (tuyaux, valves, etc) et du volume des protections antisismiques (dans le premier projet), par rapport à son prédécesseur de conception Westinghouse.

Ce réacteur a un design qui le rend beaucoup plus compact que les autres REP, et qui permettrait de n'utiliser pour sa construction qu'un cinquième du béton et des ferraillages de renforcement utilisés dans les modèles antérieurs de REP.

2.1.2 Sûreté nucléaire

Selon ses concepteurs, l'AP1000 est conçu pour résister à une perte de refroidissement du cœur ou de la piscine de désactivation, que ce soit par défaut d'alimentation électrique ou par rupture de tuyauteries.

Une cheminée draine vers l'atmosphère l'air chaud accumulé autour du confinement d'acier, et des évents périphériques permettent l'entrée d'air frais. Sur le toit du réacteur, une réserve annulaire d'eau permet un refroidissement d'urgence, avec écoulement gravitaire (système passif de refroidissement), l'ensemble pouvant selon le concepteur stabiliser le réacteur en 36 h et assurer son refroidissement durant 72 h, sans aucune intervention humaine et même en cas de défaillance des groupes électrogènes de secours.

Au-delà des 72 h, le refroidissement d'urgence sera maintenu si les réservoirs d'eau de l'enceinte de confinement sont à nouveau remplis. En cas de défaillance de ce système passif de refroidissement, l'opérateur dispose encore d'un ultime recours : il peut encore ouvrir une vanne qui va inonder la cuve par gravité, permettant d'éviter le percement de cette dernière. Un réservoir spécifique est réservé pour cette manœuvre.

Un système un peu similaire (réservoir d'eau associé à la piscine selon le principe des vases communicants) permet durant quelques dizaines d'heures supplémentaires de refroidir la piscine de désactivation destinée au stockage provisoire de combustible du cœur ou d'anciens combustibles usés.

AP-1000 peut donc être considéré comme un réacteur à sûreté passive, ce qui est un argument fort en sa faveur.

Le 22 décembre 2011, la Commission de réglementation nucléaire des États-Unis, NRC (Nuclear Regulatory Commission) a indiqué dans un communiqué avoir autorisé pour quinze ans la dernière version du réacteur AP1000, sous licence du fabricant américain Westinghouse, estimant qu'elle remplissait ses exigences en matière de sécurité.

2.1.3 Situation industrielle

États-Unis

Le 10 février 2012, la NRC a autorisé la construction de deux AP1000 (Vogtle Electric Generating Plant (VEGP), réacteurs N° 3 et 4). C'est la première depuis près de 30 ans aux États-Unis. Le 30 mars 2012, la NRC a autorisé la construction de deux autres AP1000 (centrale nucléaire de Virgil Summer), réacteurs N° 2 et 3).
En tout, quatre réacteurs AP-1000, de 1 117 MW de puissance électrique nette, sont en cours de construction aux États-Unis.

Chine

Quatre exemplaires de l'AP1000, de puissance électrique nette de 1 000 MW, sont déjà en construction en Chine depuis 2009 (centrales de Haïyang et Sanmen).
En 2013, la Chine fait de ce modèle le principal d'une nouvelle série de construction de « 3e génération » avec 6 unités prévues contre seulement 2 sur le modèle local ACP1000 (voir ci-dessous en 2.2).

2.1.4 CAP1400 développement

En 2008 et 2009, Westinghouse a conclu des accords pour travailler avec la société d'État *Nuclear Power Technology Corporation* (SNPTC) et d'autres instituts pour concevoir un réacteur plus important, probablement de 1 400 MWe de capacité, suivi éventuellement d'un modèle produisant 1 700 MWe. La Chine possédera les droits de propriété intellectuelle pour ces designs plus grands, qui pourraient aussi être exportés ailleurs avec la coopération de Westinghouse.

Voir également en 2.2.

2.2 Les réacteurs chinois

La Chine a commencé la construction de son premier réacteur pour la production d'électricité en 1985. Le développement a été rapide : fin 2013, la Chine avait 21 réacteurs en fonctionnement (17 GW) produisant 105 TWh, soit 2,1 % de sa production totale d'électricité. En 2014, 28 réacteurs étaient en construction. 49 réacteurs devraient être en fonctionnement en 2020.

La Chine connaît un développement « tous azimuts » des différentes filières de réacteurs nucléaires[2]. Nous nous intéressons ici aux principaux types de réacteurs de la filière à uranium enrichi et eau sous pression (REP ou PWR) concurrents de ATMEA, et de leurs prédécesseurs.

2.2.1 Génération II : CPR-1000

Le CPR-1000 (REP chinois amélioré) est un réacteur à eau pressurisée de génération II+, basé sur la conception du réacteur français REP de 900 MWe de Framatome (AREVA) à trois boucles de refroidissement, importé dans les années 1990, amélioré pour atteindre une puissance électrique nette de 1 000 MWe (1 080 MWe de puissance brute) et une durée de vie de 60 ans.

Les quatre réacteurs à eau pressurisée en fonctionnement à la centrale nucléaire de Daya Bay, et à la centrale nucléaire de Ling Ao sont parfois dénommés CPR-1000, mais ils sont plus proches de la conception du REP de 900 MW français, avec une puissance nette inférieure à 1 000 MW et constitués essentiellement de composants importés. Ces quatre réacteurs ont été fournis par Framatome (AREVA).

---

2 - Réacteurs à eau ordinaire sous pression en grande majorité, mais aussi réacteurs à eau lourde (filière canadienne CANDU), réacteurs à haute température, réacteurs à neutrons rapides, etc. On trouvera une présentation complète sur le site de « World Nuclear Association », ainsi qu'un « focus » sur la Chine dans « World nuclear industry status report – 2014 » de M. Schneider et A. Froggatt.

Le CPR-1000 est construit et exploité par l'entreprise *« China General Nuclear Power Group »*, **CGN**, dénomination depuis 2013 de l'entreprise *« China Guangdong[3] Nuclear Power Company »*, **CGNPC**[4], fondée en 1994. Pour la seconde tranche, 70 % des équipements sont fabriqués en Chine, avec un objectif de 90 % à terme. Le CPR-1000 est en développement rapide avec 15 tranches en construction en juin 2010. Le 15 juillet 2010, le premier CPR-1000 chinois, Ling Ao-3, est connecté au réseau2, en ayant débuté les essais de divergence le 11 juin 2010.

Avec CNNC et CGN, la troisième compagnie possédant la licence d'exploitation des centrales nucléaires en Chine est *« China Power Investment Corporation »*, **CPIC**.

2.2.2 Génération III importée

EPR d'AREVA et EDF

En décembre 2009, AREVA et CGN (alors CGNPC) ont créé une coentreprise pour le développement de l'EPR en Chine : Wecan JV, 55 % CGN et 45 % AREVA.

Deux réacteurs EPR sont en construction à Taishan, d'une puissance électrique nette unitaire de 1 660 MW (début de construction respectivement en 2009 et 2010 ; des retards de l'ordre d'un à deux ans pour la date de démarrage sont actuellement signalés[5].

En août 2008, EDF et CGN (alors CGNPC) ont créé a coentreprise *« Guandong Taishan Nuclear Power Venture Company Limited »* (TNPC) pour une période de 50 ans (durée maximale pour une « joint-venture » en Chine) à 30 % EDF et 70 % CGN. TNPC est maître d'œuvre pour la construction de la centrale (Taishan 1 et 2), en est propriétaire et l'exploitera.

AP-1000 de Westinghouse

Quatre exemplaires de l'AP1000, de puissance électrique nette de 1 000 MW, sont déjà en construction en Chine depuis 2009 (centrales de Haïyang et Sanmen). Des retards de l'ordre de deux ans de la date de démarrage sont actuellement signalés (problèmes de sûreté), ainsi qu'une augmentation des coûts[6].

Un troisième acteur majeur dans le développement du nucléaire en Chine est **SNPTC**[7], *« State Nuclear Power Technology Corporation »*, créé en 2007. Westinghouse a consenti à transférer à SNPTC la technologie des quatre premiers AP-1000 construits en Chine, ce qui lui permettra de construire les suivants de façon indépendante.

2.2.3 Génération III chinoise

ACPR-1000 de CGN

ACPR-1000, pour *« Advanced CPR-1000 »*, est un modèle développé par CGN avec des partenaires chinois depuis 2009 : c'est un REP à trois boucles, avec double enceinte de confinement et récupérateur de corium. Ce modèle est dégagé de toute dépendance étrangère.

Remarque : d'après *World Nuclear Association*, CGN, AREVA et EDF se sont accordés pour développer un réacteur de Génération III, le ACE1000 (AREVA-CGN-EDF1000), sans participation de MHI (partenaire d'AREVA pour ATMEA). Le concept de ACE1000 serait « évolutionnaire » (une seule enceinte de confinement, renforcée). Ce projet n'a apparemment pas connu de suite.

ACP-1000 de CNNC

La conception du type de réacteur avancé développé en Chine, l'ACP-1000 de CNNC, a passé avec succès l'examen générique de la sûreté des réacteurs de l'AIEA. L'Agence est ainsi arrivée à la conclusion que l'ACP-1000 était sûr et fiable.

L'ACP-1000 est le premier type de réacteur développé en Chine ayant été soumis à un examen international.

ACC-1000 ou Hualong-1

Initialement, CNNC souhaitait utiliser son propre type avancé ACP-1000 pour les tranches en projet Fuqing 5 et 6. Mais d'après des informations des *World Nuclear News*, en 2012, les autorités nationales ont demandé à CNNC et CGN, de rapprocher leurs programmes de développement nucléaire. L'***ACP-1000*** de CNNC et l'ACPR-1000 de CGN ont ainsi été regroupés pour devenir le type Hualong-1 (également appelé Hualong-1000 ou ***ACC-1000***). Les réacteurs Hualong-1 seront utilisés pour la première fois dans le cadre des nouvelles constructions Fuqing 5 et 6.

Les réacteurs ACC-1000 possèdent des cycles de combustible compris entre 18 et 24 mois ainsi qu'une disponibilité élevée. Le réacteur contiendra probablement 177 assemblages combustibles et sera entouré de deux enceintes

3 - Guangdong est une province du sud de la Chine.

4 - Les acronymes CGNPC et CGN sont utilisés couramment l'un et l'autre pour désigner la même entreprise, ce qui peut porter à confusion.

5 - World nuclear industry status report-2014.

6 - World nuclear industry status report-2014.

7 - SNPTC a été créé en 2007 dans l'objectif de la coopération avec Westinghouse. Cependant il ne dispose pas de la licence de construction et d'opération de centrales nucléaires.

de confinement. Il sera en outre équipé de systèmes de sécurité actifs et passifs. Sa durée de vie escomptée est de 60 ans.

En novembre 2014, un groupe d'experts est arrivé à la conclusion que la conception de l'ACC-1000 remplit toutes les exigences de sécurité de la troisième génération. La CNNC a informé que la conception pourra donc être exportée.

L'Administration nationale de l'énergie (ANE) et l'Administration nationale de la sûreté nucléaire (NNSA) de la Chine ont confirmé que d'après l'évaluation remise par les 43 experts, les caractéristiques de sûreté du réacteur à eau sous pression de 1 150 MW ACC-1000 remplissent toutes les exigences de la troisième génération de réacteurs.

D'après Zhao Chengkun, directeur de la NNSA, il s'agira dans un premier temps de construire quatre installations de démonstration.

2.2.4 CAP-1400 : le réacteur nucléaire chinois de 3e génération avancée

En 2008 et 2009, Westinghouse a conclu des accords pour travailler avec la société d'État *« Nuclear Power Technology Corporation »* (***SNPTC***) et d'autres instituts pour concevoir une version plus puissante que l'AP-1000, de 1 400 MW de puissance électrique nette, le réacteur **CAP-1400**, suivie éventuellement d'un modèle de puissance électrique 1 700 MW. La Chine possédera les droits de propriété intellectuelle pour ces designs plus grands, qui pourraient aussi être exportés ailleurs avec la coopération de Westinghouse.

L 'administration nationale pour la sûreté nucléaire (NSA) a validé le rapport de sûreté provisoire pour la conception du réacteur CAP-1400. Ce réacteur fait partie des seize projets stratégiques inclus dans le plan de développement scientifique et technologique national.

Les travaux préparatoires sur le site de construction de deux tranches de démonstration du CAP1400, dans la province chinoise de Shandong, sont déjà en cours. Cependant, la construction du premier réacteur CAP1400 est repoussée au plus tôt à 2015 ou 2016. Pour l'export, SNPTC serait associé à CNNC.

2.3 Autres

2.3.1 La Corée du Sud

Si le pays dépendait à l'origine d'entreprises nord-américaines (notamment Westinghouse), les Coréens ont quasiment achevé l'appropriation de toutes les technologies nécessaires à la construction d'une centrale nucléaire.

Deux entreprises interviennent principalement dans la filière :

- **Kepco** (Korea Electric Power Company) est le distributeur d'électricité coréen. Deux de ses filiales assurent la fabrication des combustibles (Kepco Nuclear Fuel) et l'exploitation des centrales (Korea Hydro Nuclear Power) ; Kepco propose deux types standards de réacteur : d'une part l'OPR-1000 (Optimised Power Reactor), d'une puissance de 1 000 MW, d'autre part l'APR-1400 (Advanced Power Reactor), d'une puissance de 1 350 MW, qui est **positionné comme un concurrent de l'EPR.**
- **Doosan Heavy Industries**, qui fait partie de l'un des grands conglomérats coréens, construit les équipements lourds, aussi bien les turbines que les cuves de réacteurs ; ces activités sont généralement réparties entre plusieurs entreprises différentes dans les autres pays actifs dans l'industrie nucléaire.

Le contrat remporté en 2009 pour 4 APR-1400 auprès des Émirats Arabes Unis au détriment du consortium français (EPR) a propulsé la Corée parmi les pays exportateurs de centrales nucléaires.

2.3.2 La Russie

L'Agence fédérale pour l'énergie atomique, ROSATOM, est une agence fédérale russe, responsable du bon fonctionnement du conglomérat de l'industrie nucléaire en Russie. Elle assure les fonctions de coordination des entreprises russes liées au développement de l'énergie nucléaire civile et militaire, mais aussi les fonctions de contrôle de la sûreté nucléaire (à l'image de l'ASN en France). ROSATOM est le seul agent responsable des exportations de biens et de services nucléaires.

Le réacteur exporté par la Russie est de la filière VVER (PWR ou REP) d'une puissance électrique brute de 1000 à 1200 MW.

Conclusion

Les réacteurs de 3e génération d'une puissance électrique autour de 1 100 MW sont aujourd'hui les favoris des quelques pays qui poursuivent ou prévoient des programmes de développement de la production d'électricité d'origine nucléaire. La grande majorité de ces « nouveaux réacteurs » appartiennent à la filière à uranium enrichi et eau ordinaire, descendants des réacteurs développés aux États-Unis par la société Westinghouse dans les années 1960 et 1970.

Que peut-on déduire, au plan national comme international, de l'examen des principales options qui se présentent aujourd'hui et que nous avons brièvement présentées dans cette note ?

1. Le projet de réacteur ATMEA1, porté par la société ATMEA (AREVA et Mitsubishi), bénéficie d'un avis positif de l'autorité de sûreté française (ASN) sur ses options de sûreté, ce qui est assez naturel puisque ces options sont directement inspirées de celles de l'EPR, réacteur plus puissant dont les options de sûreté ont été déjà approuvées par l'ASN.

   Cependant, en l'absence d'une demande d'autorisation pour la construction d'un réacteur ATMEA1 en France, l'ASN n'ira pas au-delà de cet avis. Dans la mesure où aucun EPR n'a déjà fonctionné, c'est un domaine pour lequel de nombreuses questions restent posées (en sûreté nucléaire, « le diable est dans les détails »).

   Mais le handicap essentiel d'ATMEA1 est paradoxalement sa filiation avec l'EPR : la construction des quatre premiers réacteurs connaît des retards considérables en Finlande et en France et même, à un degré moindre, en Chine. D'autre part, les coûts des projets français et finlandais ont augmenté de façon considérable depuis les estimations initiales. L'accord conclu entre EDF et le gouvernement britannique pour deux réacteurs EPR à Hinkley Point porte sur un coût d'investissement par kWh produit qui se situe au double de sa valeur pour les réacteurs existants en France. Sur le plan international, le jugement de la *« World Nuclear Association »* est significatif : *« EPR has multiple redundant safety systems rather than passive safety systems and is seen to be more complex and expensive hence of less long-term interest for China*[8] *»*.

2. Le réacteur AP-1000 de Westinghouse (Toshiba) paraît pour le moment tenir la tête du peloton.

   D'une part, sur le plan de la sûreté, AP-1000 peut faire prévaloir un système de sûreté passive dont les options ont été approuvées par l'autorité de sûreté nucléaire des États-Unis (NRC), ce qui n'est pas le cas pour l'EPR, et a autorisé sa construction aux États-Unis.

   D'autre part, quatre réacteurs AP-1000 sont en construction aux États-Unis et quatre autres en Chine. Cependant, dans l'un et l'autre cas, on enregistre des retards dans la construction, des interrogations sur la sûreté et des augmentations de coût.

3. Ayant déjà construit ou ayant en construction différents types de réacteurs de différentes filières « importées » (900 MW de Westinghouse « francisé » par Framatome[9], EPR d'AREVA, AP-A-1000 de Westinghouse-Toshiba, réacteurs à eau lourde canadiens…), la Chine s'est progressivement dégagée de ces différentes dépendances et développe elle-même des réacteurs de puissance de 3e génération qui lui sont propres, quitte à les construire et à les exploiter avec des partenaires étrangers (notamment EDF).

   Deux compagnies nationales d'électricité « rivales », CNNC et CGN, ayant développé chacune leur champion de 3e génération (respectivement ACP-1000 et APR-1000), ont été contraintes par le gouvernement chinois de se rapprocher afin de présenter un seul modèle, ACC-1000 ou Hualong1 (Hualong One). Ce projet a été approuvé par l'autorité de sûreté nucléaire chinoise et deux exemplaires doivent être construits à le centrale de Fuqing (Fuking 5 et 6).

   En parallèle, la société d'État SNPTC a développé avec Westinghouse-Toshiba une version plus puissante de l'AP-1000, CAP-1400. Ce projet a été validé par l'autorité de sûreté nucléaire chinoise, fait partie des seize projets stratégiques de développement et prote de fortes ambitions à l'exportation.

4. De la même façon que, dans les années 1970, l'Eldorado des centrales nucléaires se situait aux États-Unis (qui restent le pays possédant le plus de réacteurs de puissance au monde), ce qui avait conduit EDF à choisir alors la filière REP (PWR) de Westinghouse car il fallait « s'accrocher au train gagnant sur le plan mondial », aujourd'hui tous les yeux et les intérêts se tournent vers la Chine qui semble bien en train de prendre le leadership dans ce domaine.

   De longue date, EDF a entretenu une relation étroite avec la compagnie d'électricité CGN qui s'est traduite par la création d'une coentreprise (70 % CGN, 30 % EDF) pour la construction et l'exploitation des réacteurs, ce qui est déjà le cas pour les deux EPR en construction en Chine. Cette alliance est stratégique, aussi bien dans le cadre du développement du parc nucléaire chinois que pour des démarches communes à l'exportation.

C'est dans ce contexte qu'EDF pourrait considérer de façon favorable le réacteur Hualong1 comme le « nouveau réacteur » qui aurait sa préférence.

Reste à connaître le jugement de l'autorité de sûreté nucléaire française.

---

8 - Traduction (libre) : « Le réacteur EPR présente des systèmes de sûreté multiples et redondants plutôt qu'une sûreté passive. Il est considéré par conséquent comme complexe et onéreux, et par conséquent d'un moindre intérêt à long terme pour la Chine ».

9 - Framatome : aujourd'hui AREVA.

ASTRID : Une filière nucléaire à haut risque et coût exorbitant

Bernard Laponche*

* *Avec la contribution du GSIEN (voir Annexe 2)*

The sodium-cooled and plutonium-fuelled fast breeder reactor is by far the most dangerous and expensive technology ever devised by man for producing hot water.

Anonymous

Les promoteurs de la filière des surgénérateurs ont très vite compris l'effet de "communication" du choix d'un nom séduisant pour leurs futures machines. C'est ainsi que dans son ouvrage « Superphenix pourquoi » publié en 1997, G. Vendryes, ancien directeur et patron des réacteurs à neutrons rapides au CEA écrivait à propos de la décision de construire le premier prototype de la filière, baptisé « Rapsodie » : *« Les vertus musicales de ce nom (…) agirent sur les instances supérieures, qui prirent plaisir à l'utiliser et à le répandre. De ce jour, comme par enchantement, le projet prit corps et il nous devint plus facile d'obtenir les moyens de le poursuivre »*. Il faut bien reconnaître aussi l'habileté des choix de Phenix et Superphenix pour les exemplaires qui suivirent.

ASTRID procède de la même veine mais cette fois-ci l'acronyme est un peu tiré par les cheveux car il signifie *« Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration »*. Il eut été plus correct de parler de *« Advanced Sodium Plutonium Reactor for Industrial Demonstration »*, mais alors ASPRID n'aurait rien eu de séduisant.

Mais quelle erreur de choisir le prénom d'une grande reine au destin tragique. Vision prémonitoire ?

Introduction

Extraits de la présentation par le CEA[1] des réacteurs de la quatrième génération et du prototype ASTRID :

« Selon l'AIE (Agence internationale de l'énergie) et l'AEN (Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE), les réserves mondiales d'uranium identifiées s'élèvent à 5,5 millions de tonnes[2]… Dès 2050, les réacteurs devraient être amenés à utiliser des réserves d'uranium fortement spéculatives[3] ».

Cet argument de la limite des réserves connues d'uranium[4] constitue le fondement de la justification du développement des réacteurs surgénérateurs, dits de quatrième génération, utilisant le plutonium comme combustible fissile principal et le sodium comme fluide caloporteur et dont le projet de prototype français serait le réacteur ASTRID de 600 MW[5]. Argument discutable comme tout ce qui concerne l'estimation des réserves à un moment donné mais aussi parce que cette limite dépend du développement ou non des réacteurs nucléaires dans le monde ainsi que des rendements de ces réacteurs.

1 - CEA : « Quatrième génération : vers un nucléaire durable », 31 mars 2010.

2 - En 2008, la puissance installée électronucléaire mondiale s'élevait à 375 000 MWe. À raison d'une consommation annuelle de 200 tonnes d'uranium naturel par GW, cela représente une consommation annuelle totale de 74 000 tonnes.

3 - Ressources supplémentaires à découvrir et ressources non conventionnelles extraites des minerais de phosphate.

4 - De l'ordre du demi-siècle au rythme de consommation actuel, soit à peu près comme le pétrole, avec un niveau de contribution à la consommation mondiale d'énergie primaire beaucoup plus faible puisque l'uranium contribue pour 6 % à la consommation d'énergie primaire mondiale contre 33 % pour le pétrole.

5 - MW : million de Watts. Il s'agit de la puissance électrique de la « tranche nucléaire » constituée du réacteur (qui produit de la chaleur) et du turbo-alternateur (qui produit de l'électricité). On trouve fréquemment l'utilisation de l'unité MWe (mégaWatt électrique) pour désigner (de façon impropre) la puissance du réacteur.

Ce projet de développement a joui jusqu'ici d'un soutien public important[6].

Cette note a pour objet de présenter les principaux aspects des questions posées par un tel projet.

Notons que, dans cette même présentation, le CEA n'envisage pas le déploiement industriel de cette filière avant 2040. Dans un document plus récent[7], le CEA lui-même, promoteur de cette filière, se montre beaucoup plus prudent et parle plutôt de la fin du siècle (voir 8.).

1. Le fonctionnement d'un réacteur à neutrons rapides

Dans un réacteur nucléaire à neutrons rapides, la fission et la réaction en chaîne se produisent sans que les neutrons issus de la fission soient ralentis par un modérateur (l'eau dans les réacteurs actuels à uranium enrichi, les REP). Il faut alors une quantité plus importante de matière fissile[8] : on peut utiliser de l'uranium à un taux plus élevé que dans les REP (25 % au lieu de 3 à 4 %) mais le plutonium est plus intéressant du point de vue physique (plus de neutrons produits par fission dans le Plutonium 239 que dans l'uranium 235) et permet d'envisager une filière de « surgénérateurs ».

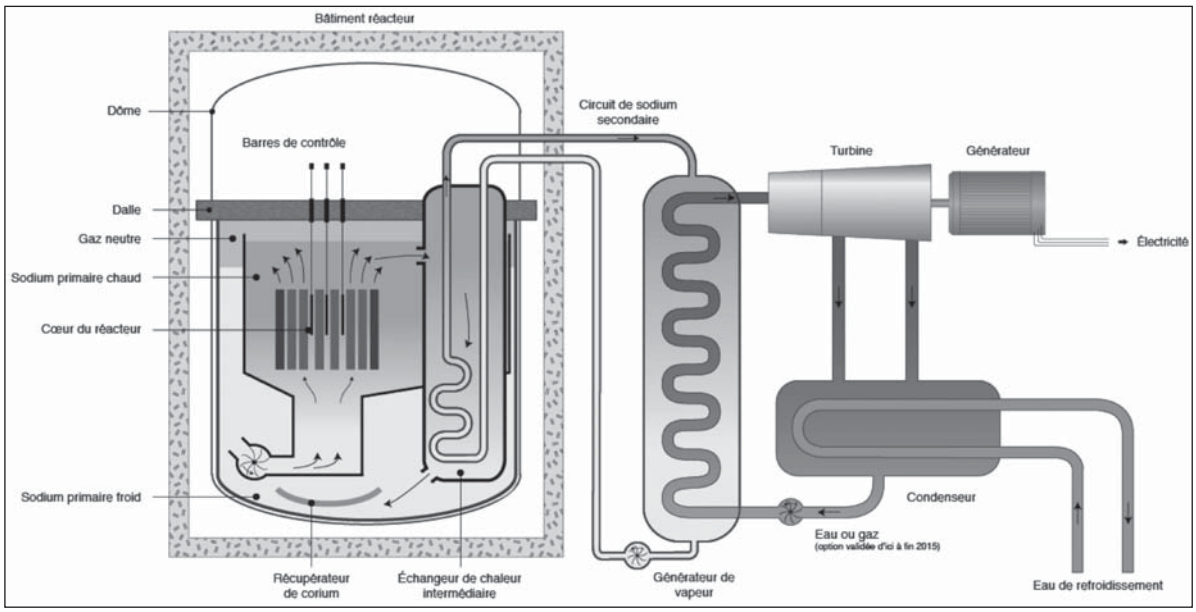
Le réacteur ASTRID est étudié comme futur nouveau prototype de réacteur à neutrons rapides[9], à combustible mélange d'oxyde d'uranium appauvri (issu de l'enrichissement, donc contenant environ 99,7 % d'uranium 238) et d'oxyde de plutonium (issu du retraitement des combustibles irradiés) dans une proportion d'environ 20 à 25 %.

L'élément fissile de base du combustible est donc le plutonium. Parallèlement, une fraction d'uranium 238 se transforme en plutonium au sein de ces combustibles. Si la quantité de plutonium ainsi fabriqué dans le réacteur est supérieure à celle qui est détruite par les fissions, on dit que le réacteur est « surgénérateur ».

Comme dans un réacteur REP, la chaleur produite dans le combustible doit être récupérée afin de produire de la vapeur, puis de l'électricité. La solution développée dans le monde et choisie pour le prototype ASTRID est le refroidissement par sodium liquide. Ce caloporteur répond en effet à deux impératifs imposés par ce type de réacteurs : un transfert de chaleur par ce métal liquide très supérieur à celui de l'eau (n'ayant pas de modérateur, les cœurs des réacteurs à neutrons rapides ont un très petit volume) et ralentir le moins possible les neutrons.

La puissance électrique du prototype ASTRID serait de 600 MW.

Figure 1 : Principe de fonctionnement du réacteur ASTRID (d'après CEA)



6 - 650 millions d'euros issus de l'emprunt national de 35 milliards d'euros ont été alloués à la R&D sur ce projet (dont le niveau d'investissement serait de plusieurs milliards).

7 - CEA : « Les réacteurs nucléaires à caloporteur sodium », Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, monographie de la Direction de l'énergie nucléaire, éditions Le Moniteur.

8 - Il y a moins d'interactions neutron-noyaux (fission ou capture) avec des neutrons rapides qu'avec des neutrons lents.

9 - Trois réacteurs à neutrons rapides ont déjà fonctionné en France et ont été définitivement arrêtés : le réacteur expérimental Rapsodie, Phénix (250 MW) et Superphénix (1 240 MW).

2. La surgénération

L'utilisation du plutonium comme élément fissile de base implique le développement, outre celui des réacteurs, des opérations de production du plutonium par le retraitement des combustibles irradiés de la filière actuelle (REP) et, ensuite, l'extraction du plutonium des combustibles irradiés des réacteurs surgénérateurs eux-mêmes afin d'alimenter les rechargements du réacteur concerné et des réacteurs suivants.

Au-delà de la vision théorique de l'utilisation de l'ensemble des ressources en uranium 238, le paramètre qui permet d'apprécier l'intérêt réel de la surgénération est le temps nécessaire à un surgénérateur pour produire la quantité de plutonium nécessaire au démarrage d'un nouveau réacteur et au bouclage de son cycle du combustible.

Ce paramètre dépend des performances du réacteur mais aussi de la durée de stockage des combustibles usés avant retraitement, du retraitement lui-même et de la fabrication des nouveaux combustibles.

Le raccourci de la présentation du surgénérateur comme la technique permettant l'utilisation « illimitée » de l'uranium masque la réalité et la complexité des opérations que cela implique et donc les coûts et les risques de l'ensemble des techniques à mettre en œuvre.

Dans la monographie récente du CEA (note de bas de page n° 8) il est précisé sur cette question :

*« Bien que les centrales à neutrons rapides du futur puissent avoir vocation à être surgénératrices, ASTRID sera « isogénérateur », **compte tenu de la situation actuelle sur les matières nucléaires**, et devra démontrer la possibilité de la surgénération. ASTRID devra démontrer la **faisabilité industrielle du multi-recyclage du Plutonium ».***

Les deux morceaux de phrase que nous avons écrits en gras montrent d'une part que l'argument principal en faveur de ce type de réacteur, le tarissement des ressources en uranium, n'est plus considéré comme essentiel, ce qui limite considérablement l'intérêt du projet et, d'autre part, que la faisabilité industrielle du multi-recyclage du plutonium est en fait une question centrale qui dépend d'ailleurs de bien d'autres facteurs que du seul réacteur ASTRID : c'est toute la chaîne du retraitement des combustibles irradiés de ce réacteur et de la fabrication des combustibles qui doit être analysée.

3. Les combustibles au Plutonium

Le plutonium est un métal lourd (densité de 19,8) de symbole chimique Pu et de numéro atomique 94. Cet élément n'existe que sous forme de traces infimes dans la nature.

Le plutonium produit dans les réacteurs nucléaires est constitué d'un ensemble d'isotopes. Les uns, les plutoniums 239, 240, 241, 242, 243 sont produits à partir de la capture d'un neutron par un noyau d'U238, tandis que l'isotope Pu238 est produit à partir de l'U235.

Tous les isotopes et composés du plutonium sont toxiques et radioactifs. La radioactivité d'une quantité de plutonium dépend de sa composition en différents isotopes, chacun ayant une « durée de vie » différente et un type différent d'émission de particules[10].

Si des particules de plutonium sont inhalées ou ingérées, elles irradient directement les organes où elles se sont déposées : le poumon dans le cas d'une inhalation et dans le cas d'une ingestion le foie et les surfaces osseuses notamment. La période biologique du plutonium est très longue car l'élimination de 50 % de la charge de l'organisme nécessiterait 100 ans environ. Il peut donc affecter l'ADN et provoquer des cancers.

Pour ces raisons, les installations industrielles traitant du plutonium (usines de retraitement, usines de fabrication de combustibles au plutonium, transports de plutonium) nécessitent des barrières de protection épaisses (béton, hublots épais…), pour se protéger des émissions de rayonnements « gamma » et « neutrons » (neutrons qui proviennent des réactions nucléaires dans l'oxyde de plutonium qui est la matière ouvragée).

En termes de radioprotection, la limite de dose annuelle, fixée par les autorités de radioprotection pour le public, se traduit pour un adulte à l'inhalation d'une quantité de 1 millième de microgramme de plutonium.

4. Le sodium

Le sodium présente de graves inconvénients qui se sont manifestés dans la plupart des accidents de surgénérateurs :

- Le sodium liquide réagit violemment avec l'eau pour former des oxydes de sodium, de la soude et de l'hydrogène.

10 - Le Pu239 a une « demi-vie » (temps au bout duquel la moitié de la quantité initiale de cet isotope s'est transformée) de 24 110 ans, tandis que celle de Pu241 est de 14,4 ans et celle de Pu238 de 87,7 ans.

Dans le plutonium couramment produit dans les réacteurs des centrales nucléaires, la radioactivité4 provient surtout de Pu241 (émetteur « bêta », électrons) et de Pu238 (émetteur « alpha », noyau d'hélium). De plus, le Pu241 se transforme en américium 241, émetteur « alpha » de 433 ans de demi-vie5. L'activité massique très élevée du Pu238 produit, par absorption des « alpha » dans le combustible, un fort dégagement de chaleur.

Cette réaction exothermique peut se produire en particulier au niveau des générateurs de vapeur (accident de Chevtchenko en URSS[11]).

- Le sodium liquide brûle spontanément dans l'air, d'où il résulte des risques d'incendie (accident de Monju au Japon[12]).
- Le sodium primaire présente une forte radioactivité.
- Le sodium présente des propriétés corrosives : il peut désagréger le béton.

Le document CEA déjà cité (note de bas de page n° 8) indique bien que le cahier des charges du réacteur ASTRID contient en particulier : *« La diminution des risques liés à l'affinité du sodium avec l'oxygène : feu de sodium et réaction sodium-eau »*.

Le mot « diminution » paraît nettement insuffisant, mais la reconnaissance du risque est bien confirmée.

5. Éléments défavorables de sûreté des réacteurs

- Le coefficient de vide de sodium est positif dans certaines régions du cœur : c'est-à-dire que tout accident conduisant à un assèchement du combustible après ébullition du sodium dans ces régions se traduit par une augmentation de réactivité et donc de puissance.
- Les grandes densités de puissance (5 fois celle d'un REP) et la compacité du cœur le rendent très sensible aux défauts locaux de refroidissement. Un sous-refroidissement important d'un assemblage combustible pourrait conduire à sa fusion.

Cela implique une surveillance très étroite du cœur, y compris au niveau de chaque assemblage, par des systèmes de détection diversifiés et redondants qui déclenchent automatiquement des actions de sûreté (baisse des barres de contrôle, baisse de la puissance, arrêt des réacteurs).

- Contrairement à la plupart des autres types de réacteurs (REP par exemple), le cœur n'est pas dans sa configuration la plus réactive (celle qui accélère au mieux la réaction en chaîne). Cela veut dire que si, pour une raison quelconque (secousse sismique par exemple) les assemblages combustibles se rapprochaient les uns des autres ou si, à la suite d'une fusion partielle, les combustibles se rassemblaient dans une région du cœur, il y aurait une possibilité de formation de masses critiques conduisant à une accélération de la réaction en chaîne (excursion nucléaire) libérant une grande quantité d'énergie sous forme explosive. Un tel accident conduirait, en cas de rupture de l'enceinte de confinement, à la diffusion d'aérosols de plutonium hautement toxiques dans l'atmosphère.

Notons enfin que, dans la note de présentation du prototype ASTRID[13] par le CEA (Commissariat à l'énergie atomique), on lit : *« Une sûreté améliorée[14], au moins identique à celle d'un réacteur de 3e génération de type EPR et prenant en compte les spécificités des réacteurs à neutrons rapides »*.

La deuxième partie de cette phrase paraît une évidence, la première partie ne nous rassure pas sur les progrès en matière de sûreté, au vu de la situation actuelle de l'EPR.

6. La question de la prolifération des armes nucléaires

Le plutonium 239 est fissile. A l'état métallique (et sous forme de sphère), sa masse critique est de l'ordre de 6 kg (sa densité étant de 19, le volume est faible).

Deux considérations sont à prendre en compte :

a) La facilité du développement de l'arme nucléaire à partir de programmes civils incluant la production du plutonium à des fins de fabrication de combustibles nucléaires pour des réacteurs civils.

b) La tentation de détournement de combustibles neufs contenant du plutonium pour la fabrication de bombes artisanales (le plutonium de qualité « réacteur », c'est-à-dire extrait des combustibles irradiés, permet de fabriquer une bombe dite rustique, moins efficace que les bombes militaires sophistiquées, mais cependant redoutable).

7. Interrogations et demandes de la sûreté nucléaire

La position des organismes responsables de la sûreté sur le projet de prototype ASTRID est exprimée dans trois documents datant de juin 2013 :

11 - En septembre 1973, explosion sodium-eau dans le surgénérateur BN-350 (350 MW de puissance électrique) de Chevtchenko (Kazakhstan, URSS).

12 - Monju (Japon), réacteur surgénérateur de 280 MW électriques (équivalent de Phenix) démarré en août 1995, a subi en décembre 1995 un accident de fuite importante de sodium suivie d'un incendie par contact sodium-air.

13 - CEA : « Quatrième génération : vers un nucléaire durable », 31 mars 2010.

14 - Par rapport aux surgénérateurs précédents.

- La synthèse de l'analyse de l'IRSN du DOrS de juin 2013[15].
- L'avis sur le DOrS du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires de l'ASN[16].
- La position de l'ASN transmise par lettre de son directeur général à l'administrateur général du CEA[17].

Il faut noter que ces documents ne portent que sur la sûreté du réacteur lui-même et ne traitent pas des problèmes de risques liés au combustible : production du plutonium par le retraitement, transports de plutonium, usines de fabrication des combustibles, traitement des combustibles irradiés, production de déchets radioactifs…

Notons ici les points les plus importants des *« demandes à prendre en compte pour la poursuite du projet »* de l'ASN.

7.1 Niveau des exigences de sûreté :

Il est clair pour l'ASN que le prototype ASTRID n'est pas seulement un prototype industriel dont l'objet serait de vérifier le bon fonctionnement d'un réacteur de puissance à neutrons rapides en tenant compte des expériences précédentes (Phenix, Superphenix[18]), mais qu'il doit également présenter des dispositifs de sûreté d'un niveau bien supérieur.

Demande n° 1 : rôle de démonstrateur de sûreté
« L'ASN estime nécessaire que la quatrième génération de réacteur apporte un gain significatif de sûreté par rapport à la troisième génération. ASTRID doit donc permettre de tester effectivement des options et dispositions de sûreté renforcées. Je vous demande, au stade du dossier d'options de sûreté (DOS), de me faire part de vos propositions sur ce point ».

Demande n° 2 : objectifs de sûreté
« Les objectifs généraux de sûreté du réacteur ASTRID, qui seront précisés au stade du DOS, doivent assurer un niveau de sûreté au moins équivalent à celui des réacteurs de type EPR, et tenir compte des enseignements tirés de l'accident de Fukushima, avec les adaptations nécessaires aux réacteurs de type RNR-Na ».

Demande n° 3 : essais de transmutation d'actinides mineurs
« Je vous demande de préciser, au stade du DOS, si vous envisagez la mise en œuvre d'essais de transmutation d'actinides mineurs et d'évaluer l'impact de ces essais sur les objectifs généraux de sûreté ».

7.2 Prise en compte des agressions extérieures

Demande n° 10 : situations de fonctionnement
« Afin que les agressions externes n'augmentent pas significativement le risque de fusion du cœur, je vous demande de spécifier les agressions et cumuls d'agressions à prendre en compte respectivement pour le domaine de « dimensionnement de référence » et pour les aléas au-delà de ce domaine ».

Demande n° 11 : agressions externes au-delà du « dimensionnement de référence »
« Je vous demande :
- de définir, au stade du DOS, la liste des structures, systèmes et composants (SSC) nécessaires à la gestion des situations au-delà du dimensionnement de référence de façon à éviter les rejets précoces importants,
- de considérer les situations au-delà du dimensionnement de référence comme des situations normales pour le dimensionnement de ces SSC et d'adopter des critères adaptés à leurs exigences fonctionnelles ».

Demande n° 12 : démarche de prise en compte des agressions
« Conformément à l'article 3.2 de l'arrêté du 7 février 2012 modifié, je vous demande de considérer les agressions retenues pour dimensionner l'installation pour l'ensemble des états possibles de l'installation, qu'ils soient permanents ou transitoires ».

7.3 Risques liés au sodium

Demande n° 14 : risques spécifiques liés aux RNR-Na
« Je vous demande, dans le DOS, de démontrer des gains de sûreté significatifs par rapport aux précédents réacteurs RNR-Na concernant :

15 - http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/Documents/Reacteurs/IRSN-Synthese-GPR_Astrid_06-2013.pdf
16 - http://www.asn.fr/L-ASN/Appuis-techniques-de-l-ASN/Les-groupes-permanents-d-experts/Groupe-permanent-d-experts-pour-les-reacteurs-nucleaires-GPR
17 - ASN : CODEP-DRC-2013-062807
18 - Voir en Annexe l'historique du fonctionnement de Superphenix.

- les risques d'interaction sodium-eau (notamment dans un générateur de vapeur),
- l'inspectabilité et l'inspection en service des équipements en particulier ceux sous sodium,
- la tenue, en cas de séisme, des équipements dont l'épaisseur est relativement faible ».

Demande n° 15 : effet de vide locaux
« Le concept de cœur dit « hétérogène » décrit dans le DOrS et visant à limiter l'effet de réactivité positif d'une vidange accidentelle du sodium du cœur (« effet de vide ») devrait entraîner une modification sensible de la phénoménologie accidentelle, difficilement modélisable par les outils actuellement disponibles. Cette réduction de l'effet de réactivité positif de la vidange globale du cœur ne permettant de renforcer la prévention et la limitation des conséquences que pour certains accidents, je vous demande d'examiner également les effets de vide locaux ».

Demande n° 16 : évacuation de la puissance résiduelle
« Concernant l'évacuation de la puissance résiduelle (EPuR), vous avez retenu la mise en place de circuits diversifiés dédiés, capables de fonctionner en cas de fusion du cœur. Je vous demande de viser à ce que les situations résultant d'une perte définitive de la fonction EPuR soient « pratiquement éliminées ».

Demande n° 17 : barrières de confinement
« Je vous demande, concernant le confinement des substances dangereuses, de décrire précisément les barrières de confinement pour lesquelles j'ai noté que vous visiez à limiter les risques de bipasse ».

Demande n° 18 : séparation des zones
« Je vous demande de développer, dans le DOS, les dispositions de séparation des zones de l'installation présentant des risques radiologiques de celles qui contiennent du sodium non radioactif, dans l'objectif d'éviter l'agression de l'enceinte de confinement par un feu de sodium provenant d'un circuit intermédiaire ».

Le moins qu'on puisse dire est que l'ASN ne paraît guère enthousiaste sur le projet ASTRID.

Ce sentiment est encore renforcé par une demande assez étonnante qui met en évidence l'état très incomplet du dossier :

Demande n° 19 : qualification et validation des outils de calculs
« Je note que vous avez identifié les domaines pour lesquels des programmes de recherche et développement sont nécessaires pour la conception du réacteur ASTRID mais les éléments fournis ne me permettent pas de me prononcer au stade actuel sur la suffisance, la cohérence et les délais de votre programme de R&D.
Néanmoins, conformément à l'article 3.9 de l'arrêté du 7 février 2012 modifié, je vous demande que les outils de calcul utilisés en support à la conception du cœur, y compris pour le domaine accidentel, fassent l'objet d'une qualification et d'une validation aussi complètes que possible ».

En somme, il y a encore beaucoup de choses à faire pour la conception même du réacteur, ce que confirme l'IRSN par la dernière phrase de sa synthèse : *« Enfin, l'IRSN est conscient que les résultats des études en cours ou à venir sont susceptibles de remettre en cause certaines des orientations proposées dans le DOrS ».*

8. L'économie du projet ASTRID et de la filière des réacteurs rapides sodium

8.1 Le coût d'ASTRID

Rien n'est dit à notre connaissance sur la question du coût d'ASTRID et de celui de la chaîne du combustible qui en est le complément indispensable et donc, *in fine*, sur le coût du kWh que produirait un tel réacteur. La monographie du CEA déjà signalée (note de bas de page n° 8) se contente de mentionner que le cahier des charges du réacteur ASTRID précise que les réacteurs de cette filière devront faire des progrès significatifs dans le domaine de *« la compétitivité par rapport aux autres sources de production d'électricité à service rendu égal ».*

8.2 L'économie des réacteurs rapides sodium

La même monographie du CEA consacre son dernier chapitre à *« L'économie des réacteurs rapides sodium ».* Ce chapitre est beaucoup plus bref que ceux consacrés aux questions techniques. Il traite assez rapidement du coût d'investissement d'un réacteur, des ressources et du prix de l'uranium ainsi que, très brièvement, du coût du plutonium.

Le coût d'investissement d'un réacteur

On raisonne par comparaison aux réacteurs à eau, sans qu'il soit précisé le type de réacteur :

- « De par sa conception, un RNR-Na[19] présente des caractéristiques qui conduisent à un surcoût d'investissement initial ».

Suivent quelques explications sur les causes de ce surcoût : sodium, manutention des assemblages, etc.

- « En conclusion, on prendra pour le reste des études présentées un surcoût de 30 % de l'investissement pour un RNR, par rapport à un réacteur à eau classique, tout en notant les très fortes incertitudes sur cette valeur ».

La deuxième partie de la phrase est la bienvenue : on se souvient en effet du triplement du coût d'investissement de l'EPR de Flamanville par rapport aux premières estimations officielles (qui se réduirait dit-on à un doublement pour d'hypothétiques exemplaires futurs).

Les ressources en uranium

Approche beaucoup plus prudente que dans les premiers documents de promotion de cette filière :

- « On connaît donc mal les ressources potentielles d'uranium disponibles et exploitables à des coûts réalistes, d'autant plus que l'arrêt de la prospection ne permet pas d'avoir une vue globale ».

- « On peut retenir[20] qu'au moins 7 millions de tonnes d'uranium[21] sont disponibles à des coûts inférieurs à 260 $ par kilo ».

- « Le parc mondial actuel, très majoritairement constitué de réacteur à l'eau, consomme aujourd'hui environ 68 000 t d'uranium naturel par an ».

Cela signifie des réserves de plus de cent ans, au niveau de consommation actuel et avec les techniques existantes.

Prix de l'uranium

Le marché de l'uranium est un marché mondial. La plupart des échanges se font par des contrats à long terme. Le marché spot de l'uranium représente environ 10 % des échanges. En 2014, le prix sur le marché se situait à environ 70 $ le kilo.

L'évolution du prix de l'uranium va dépendre directement de l'évolution du parc nucléaire mondial, actuellement en décroissance.

Compétitivité économique des réacteurs RNR-Na

- « La balance de compétitivité entre les réacteurs à eau et les réacteurs rapides sodium dépend du coût de l'uranium naturel et du surcoût d'investissement des rapides. Dans l'hypothèse simpliste d'un prix de l'uranium naturel constant sur toute la durée d'exploitation d'un parc de réacteurs et d'un taux d'actualisation nul, les RNR-Na compensent un handicap de surcoût à l'investissement de 30 % pour un coût de l'uranium supérieur à 200 € par kilo ».

- « Des calculs plus récents tenant compte de l'augmentation du coût du kW installé des réacteurs à eau et d'un taux d'actualisation non nul[22] amènent ce chiffre autour de 700 € par kilo (coût de l'uranium naturel actualisé sur la durée de vie du réacteur).

Ici encore on ne fournit pas le coût du kW installé des réacteurs à eau pris comme référence.

Ce n'est qu'à partir de scénarios contrastés d'évolution du parc nucléaire mondial que l'on peut alors cerner une période de compétitivité. Le document CEA présente quatre scénarios. Dans l'hypothèse dite « moyenne », la compétitivité serait atteinte dans environ un siècle.

Le coût du kWh produit se situerait, en ne prenant en compte que les réacteurs, et en fonction des connaissances actuelles sur le coût d'investissement de l'EPR[23], à un niveau de l'ordre de 150 € par MWh, ce qui est totalement rédhibitoire.

Et ces calculs ne tiennent pas compte des coûts de l'industrie du combustible.

La part du coût du plutonium sur la compétitivité des RNR

En France, actuellement, la fourniture du plutonium est assurée par le traitement (à La Hague) des combustibles irradiés des réacteurs à eau et le coût du plutonium est considéré comme nul (ce qui est discutable).

---

19 - RNR-Na : Réacteur à neutrons rapides et caloporteur sodium (Na).

20 - Sur la base des données du « Livre rouge » : « Uranium 2011 : Resources, Production and Demand » publié en 2012 conjointement par l'AIE (Agence internationale de l'énergie, OCDE) et l'AEN (Agence de l'énergie nucléaire, OCDE).

21 - En réalité, il s'agit de tonnes (ou de kilos) de l'oxyde d'uranium U3O8 issu du minerai d'uranium.

22 - La valeur du taux d'actualisation prise pour ce nouveau calcul n'est pas indiquée dans le document CEA.

23 - La seule référence pour un EPR de série étant le coût de production du kWh négocié entre EDF et le gouvernement britannique pour la construction de deux réacteurs à Hinkley Point.

Mais l'implantation d'une filière RNR-Na dans un autre pays imposerait que celui-ci se fournisse en plutonium et donc se munisse d'une usine de traitement des combustibles des réacteurs à eau (si tant est qu'il en possède).

Et dans un cas comme dans l'autre, il faudra des usines de traitement des combustibles irradiés des réacteurs RNR afin d'en récupérer le plutonium.

La monographie du CEA nous dit alors :

« Une façon simple serait de financer la construction de l'usine de traitement et son exploitation qui serait « payé » par les RNR, ***renchérissant le coût du kWh produit par les RNR et retardant leur compétitivité économique ».***

Quel que soit le poste considéré, la compétitivité économique des réacteurs RNR par rapport aux autres techniques de production de l'électricité et notamment des techniques à partir des énergies renouvelables paraît bien, malgré les hypothèses (forcément « optimistes ») du CEA d'ores et déjà compromise : le jeu n'en vaut pas la chandelle.

Conclusion

Il apparaît nettement que les problèmes majeurs de sûreté du projet ASTRID sont liés à l'utilisation du sodium comme fluide caloporteur. Le problème n'est pas nouveau et on peut très fortement douter de la capacité technique à éviter en toutes circonstances des réactions sodium-eau qui seraient catastrophiques.

Il est probable que cette opinion est partagée par nombre de responsables de la sûreté et on peut se demander pourquoi une telle aventure se poursuit alors que la menace sur le tarissement des ressources en uranium n'est vraiment plus à l'ordre du jour au vu des orientations actuelles des programmes nucléaires mondiaux et surtout que, comme l'a souligné à différentes reprises le président de l'ASN[24], d'autres filières de réacteurs sont étudiées par ailleurs dans le cadre de la Génération IV, dont il considère que certaines sont nettement plus favorables sur le plan de la sûreté.

D'autre part, comme nous l'avons déjà signalé, les implications d'un projet ASTRID sur les activités liées au combustible nucléaire devraient être évaluées de la même façon que la sûreté du réacteur, en premier lieu par l'IRSN. Les industries du plutonium (production par retraitement, fabrication du combustible, transports de plutonium et de combustibles neufs et irradiés, gestion des combustibles irradiés et leur retraitement…) sont loin d'être sans risques ni sans coûts et certaines techniques sont encore à développer sur le plan industriel (notamment le retraitement des combustibles irradiés d'un surgénérateur).

C'est bien sur l'ensemble « réacteur-industrie du plutonium » que doit porter le jugement global sur la filière ainsi proposée, sur les plans technique, de sûreté et de sécurité, comme sur le plan économique. Sur ce dernier point, les éléments fournis par le CEA ne font que confirmer le sentiment d'une filière à la fois dangereuse et extrêmement coûteuse. Il y a mieux à faire avec l'argent public, denrée rare.

24 - Notamment dans ses auditions par la Commission d'enquête parlementaire sur les coûts de la filière nucléaire.

ANNEXE 1
Le fonctionnement de Superphenix

Le fonctionnement de Superphénix a été marqué par de nombreux accidents techniques. Si aucun de ces accidents n'a été considéré comme grave sur le plan de la sûreté nucléaire, leur succession a montré des faiblesses inquiétantes sur le plan de la fiabilité industrielle.

C'est ainsi que, dès les premières années de fonctionnement, la centrale qui devait être la « tête de série industrielle » est devenue, dans le langage officiel, un « prototype » pour lequel il était admis des « erreurs de parcours ».

Dans la période entre 1985, année de son démarrage, et 1998, année de son arrêt définitif, deux sous périodes doivent être distinguées : entre 1986 et 1992, les difficultés de fonctionnement sont essentiellement imputables aux accidents techniques ; entre 1993 et 1998, les difficultés administratives et les hésitations sur les décisions à prendre ont été prépondérantes.

Première période : septembre 1985 - juin 1992

La divergence de Superphénix, première réaction en chaîne dans le cœur du réacteur, a eu lieu en septembre 1985, la premier couplage au réseau en janvier 1986 et la pleine puissance a été atteinte en décembre 1986.

En mars-avril 1987, une fuite de sodium est détectée sur la cuve interne du « barillet », cuve située à l'intérieur de l'enceinte de confinement (et l'extérieur de la cuve du réacteur) et destinée au stockage intermédiaire des éléments combustibles, au chargement ou au déchargement du réacteur.

Dans l'échelle de gravité des accidents et incidents adoptée à partir de 1988, **cette fuite sera placée au niveau 2** : « incident susceptible de développement ultérieur ».

Le réacteur est mis à l'arrêt le **26 mai 1987** par décision du ministre de l'industrie.

L'origine de cette fuite est attribuée à la qualité de l'acier de cuve du barillet (différent de celui de la cuve du réacteur) : le barillet sera vidangé et la décision sera prise de ne plus l'utiliser ; le déchargement devra se faire directement, donc à un rythme beaucoup plus lent.

Il s'agit d'un défaut de conception qui aura une conséquence spectaculaire et coûteuse. Le barillet qui devait permettre l'extraction et l'entreposage du combustible se révèle défaillant et irréparable. Il faudra donc construire une installation de remplacement, l'atelier de transfert du combustible. L'arrêt dure 10 mois.

Les modifications et expertises durent jusqu'en septembre 1988 ; demande d'autorisation de démarrage de NERSA, décret d'autorisation de janvier 1989, démarrage le 12 janvier 1989.

Le réacteur fonctionne jusqu'au 7 septembre 1989, où intervient un arrêt programmé de 7 mois pour maintenance.

Redémarrage fin mai, puissance nominale atteinte en juin, jusqu'au **3 juillet 1990** : arrêt du réacteur à la suite de la pollution du sodium primaire engendrée par une entrée d'air « intempestive » dans le circuit d'argon du haut du réacteur. La purification corrélative du sodium (vidange de 400 tonnes du sodium du circuit incriminé) prendra **8 mois**.

Cet incident est à nouveau classé **au niveau 2 de l'échelle de gravité.**

Le 13 décembre 1990, le réacteur étant toujours à l'arrêt, une partie du toit de la salle des machines s'est effondrée sous le poids de la neige. Cet accident a entraîné la perte d'une des deux lignes de 400 000 volts du réacteur et endommagé la hotte spéciale de déchargement du combustible entreposé dans la salle. Le réacteur (les pompes de circulation du refroidisseur notamment) a été alimenté par deux groupes électrogènes de secours sur la ligne perdue, l'autre voie d'alimentation en 400 000 volts fonctionnant normalement. Le délai d'expertise et de remise en état de la hotte sera de quelques mois. Compte tenu du secours aux groupes électrogènes, suite à la perte des sources électriques externes, cet incident a été classé **au niveau 1 de l'échelle de gravité.**

En mars 1991, **nouvel incident classé au niveau 1** de l'échelle de gravité, pour défaillances constatées dans l'organisation qualité du site relative à la gestion des pièces métalliques légèrement radioactives.

A la suite de ces incidents-accidents, les autorités de sûreté posent des questions (juillet 1991) puis demandent des mesures de protection contre les feux de sodium suite à un accident technique survenu à la centrale solaire espagnole d'Almeria (refroidie au sodium liquide). En juin 1992, le Directeur de la sûreté des installations nucléaires remet un rapport aux ministres de l'environnement et de l'industrie recommandant la réalisation de travaux contre les feux de sodium et un redémarrage de la centrale à 30 % de la puissance.

La période de janvier 1986 (premier kWh produit) à juin 1992 (redémarrage techniquement possible) permet de juger le fonctionnement de Superphénix en dehors de toutes considérations juridiques et politiques, sur la base de son comportement technique :

a) Pendant cette période de 6 ans et demi (78 mois) la centrale nucléaire a produit de l'électricité pendant 28 mois, à des niveaux de puissance divers, ce qui est très faible pour une centrale nucléaire de 1 200 MWe considérée comme tête de série industrielle. Seules les années 1986 et 1989 ont connu un fonctionnement satisfaisant.

b) Des arrêts très longs ont été causés par des incidents ou des accidents techniques dont deux sont placés au niveau 2 de l'échelle de gravité.

c) Pendant cette période de près de six ans, la centrale nucléaire a produit environ 4 milliards de kWh, soit environ la moitié de la production d'une année à puissance maximale avec un taux de 80 %.

Deux enseignements sont à tirer de cette période :

i) La fréquence des incidents et accidents, sans atteindre des niveaux présentant des dangers pour les populations, ont alerté sur nombre de faiblesses du projet.
Rien ne peut permettre d'affirmer que, malgré le bon fonctionnement de l'année 1996 (deuxième période), la série des incidents-accidents se serait interrompue si Superphénix avait continué à fonctionner après 1997 : l'expérience des six premières années tendrait plutôt à penser que le taux de production serait resté faible, sans négliger la probabilité d'accidents plus graves.

ii) Les conséquences économiques : même si on laisse de côté les coûts d'investissement et de combustible, la vente d'électricité par la centrale (au prix moyen du parc de 25 centimes par kWh) a représenté sur la période environ 1,1 milliards de francs, alors que les frais directs de fonctionnement (hors combustible, hors frais financiers et hors réparation) ont représenté sur la même période de l'ordre de 4,2 milliards de francs.

Une deuxième période où les éléments juridiques et politiques vont s'ajouter aux aspects techniques commence alors par Superphénix.

Deuxième période : juin 1992 - février 1998

1992-1994 : Superphénix attend et change d'objectif : la fin du projet de filière des surgénérateurs

En juin 1992, le gouvernement annonce que le redémarrage sera subordonné aux travaux prévus pour faire face aux feux de sodium ; une enquête publique sera menée préalablement à ce démarrage (en effet l'installation n'a pas fonctionné pendant plus de deux ans, il faut donc une nouvelle enquête publique) ; un rapport est demandé à M. Curien, ministre de la recherche et de l'espace sur « l'incinération »[1] des déchets et les conditions dans lesquelles Superphénix pourra y contribuer.

En octobre 1992, NERSA adresse une nouvelle demande d'autorisation de fonctionnement pour une centrale électronucléaire. L'enquête publique se déroule de mars à juin 1993. À la suite du rapport de la commission d'enquête (septembre 1993) et de celui de la Direction de la sûreté des installations nucléaires (janvier 1994), tous deux favorables au redémarrage, le gouvernement annonce en février 1994 la décision de transformer Superphénix en réacteur de recherche et démonstration, de ne plus faire de la production d'électricité une priorité, d'abandonner l'objectif de surgénération et de définir un programme d'acquisition de connaissances sur la destruction des actinides (transmutation).

Le décret d'autorisation de création est signé en juillet, l'autorisation de démarrage est donnée en août et le réacteur redémarre le 4 août 1994.

Cette période qui a vu une utilisation discutable des délais réglementaires, puis la recherche d'une justification scientifique d'une utilisation de Superphénix comme instrument de recherche dans le cadre de la loi de 1991 marque en fait **la véritable date de l'abandon de Superphénix comme centrale nucléaire et même prototype d'une filière de surgénérateurs :** c'est un véritable renversement d'objectifs qui se fait sans débat sur la filière elle-même et son intérêt économique et qui se pare d'un argumentaire scientifique qui n'est pas sans faiblesses.

C'est très probablement alors que l'arrêt définitif de Superphénix, après les six années que nous avons décrites eut dû être discuté et décidé.

1996 : une bonne année de fonctionnement

À partir d'août 1994, les essais de montée en puissance se déroulent presque sans incident (fuite d'argon cependant) et la centrale est couplée au réseau fin décembre 1994 et immédiatement arrêtée (deux jours après) pour traiter le problème de la **fuite d'argon**. Après réparation, l'exploitant est autorisé à redémarrer fin août 1995. Les essais reprennent jusqu'à fin octobre 1995 où un arrêt d'un mois est nécessaire pour réparer une **fuite de vapeur.**

Le réacteur fonctionne ensuite sans problème de décembre 1995 à mai 1996 où intervient un nouvel arrêt programmé d'un mois et demi. Il redémarre en juillet et fonctionne jusqu'au 24 décembre 1996 où il est arrêté pour un ensemble d'opérations de maintenance, modification du cœur, épreuves.

1 - Terme impropre mais couramment utilisé. On peut parler de « transformation » des déchets, ce qui englobe des fissions et des transmutations des isotopes les plus dangereux à long terme (plutonium et autres actinides).

En 1996, la centrale a bien fonctionné et a couvert à peu près ses frais de fonctionnement.

Mais un arrêt du conseil d'État de février 1997 annule le décret d'autorisation de juillet 1994, le motif étant que **l'enquête publique a porté sur une centrale nucléaire productrice d'électricité alors que le décret d'autorisation de juillet 1994 créait un réacteur de recherche.**

Entre refaire l'enquête ou refaire un décret d'autorisation, le gouvernement ne choisit pas : un décret d'autorisation approuvé en avril 1997 par la commission interministérielle des installations nucléaire de base (CIINB) n'a pas de suite.

Les élections législatives changent la majorité à l'Assemblée Nationale et, le 19 juin 1997, le Premier Ministre annonce l'arrêt définitif de Superphénix comme l'un des éléments de son programme de gouvernement.

Le gouvernement annonce le 2 février 1998 la décision d'arrêt définitif et de démantèlement de la centrale électronucléaire de Creys-Malville.

Conclusion :

Il est clair que, depuis 1992, les différents gouvernements se sont posé la question de l'arrêt définitif de Superphénix sur des bases économiques et techniques qui montraient l'impasse d'un programme d'équipement en surgénérateurs.

La transformation de Superphénix en instrument de recherche est apparue à beaucoup comme un faire semblant évitant de prendre des décisions : sans priorité de production d'électricité, le bilan économique de Superphénix risquait d'être encore plus dramatique.

ANNEXE 2

Quelques remarques sur la monographie du CEA « les réacteurs nucléaires a caloporteur sodium »

Groupement de Scientifiques sur l'Information Nucléaire (GSIEN) – février 2015.

1. Introduction – Page 7

Le raccourci historique est un peu léger.

En 1939 Frédéric Joliot, Hans Halban, Lew Kowarski et Francis Perrin ont déposé trois brevets :

- K1 dispositif de production d'énergie (principe des réacteurs),
- K2 procédé de stabilisation d'un dispositif de production d'énergie,
- K3 perfectionnement aux charges explosives (bombes).

Il y a eu de plus deux dépôts de brevets en 1940 :

- K4 perfectionnement aux dispositifs producteurs d'énergie (enrichissement),
- K5 perfectionnements apportés aux dispositifs production d'énergie (définit quasiment les cœurs de réacteurs à cœur hétérogènes).

Les trois premières demandes ont été déposées à la Caisse Nationale de la Recherche Scientifique et les deux suivantes au CNRS (créé en octobre 1939). Il y a eu un moratoire de quatre ans (du à la guerre). Les brevets ont été valables jusqu'en 1964 : le CNRS a cédé ces brevets au CEA dès sa création. Ces brevets ont permis au CEA (créé en 18 novembre 1945) de bénéficier de fonds attribués pour des bourses de chercheur dites bourses Joliot à partir de la fin des années 1950. Joliot fut révoqué en 1950 suite à l'Appel de Stockholm.

2. À propos de Superphenix – Page 8

Il est assez cocasse de lire que Superphénix *« sera arrêté une dizaine d'années plus tard après un fonctionnement chaotique parsemé de nombreuses et longues périodes d'arrêts administratifs dus à une constante opposition politique. »*

La fuite du barillet de chargement-déchargement a condamné ce dispositif indispensable pour un fonctionnement économiquement raisonnable. Ce défaut de fabrication a conduit l'autorité de sûreté à exiger un examen approfondi de la cuve principale. Le retour d'expérience de l'accident d'Almeria[1], a imposé la mise en œuvre de mesures spéciales pour éviter une rupture de confinement en cas de fuite en jet pulvérisé dans une galerie technique. De fait, Superphenix a vogué de pannes en pannes ; certaines nécessitant de longues périodes de remises en état.

1 - Feu de sodium dans la centrale solaire thermodynamique d'Almeria, en Espagne, en 1986.

Par ailleurs rappelons que le chef du Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires, (SCSIN) ancêtre de la DSIN puis de la DGSNR, puis de l'ASN née en 2006, avait donné un avis défavorable au redémarrage de Superphénix suite notamment à des problèmes liés à des sautes de réactivité non explicitées sur Phénix.

« Entre 1989 et 1990, la centrale a été affectée par quatre arrêts d'urgence, dus à un phénomène dit « de réactivité négative », consistant en une baisse brutale et spontanée de la réactivité du cœur. Le caractère répétitif du phénomène, et l'absence d'explication ont conduit à interrompre, immédiatement après le quatrième de ces arrêts, survenu le 9 septembre 1990, la production d'électricité et les expériences d'irradiation en cours. »

En juin 1991 Michel Lavérie persiste et met un véto au redémarrage : « Il n'est pas question, dans l'état actuel des informations dont nous disposons, que nous autorisions un redémarrage de Superphénix. Nous ne sommes même pas sûrs que cela pourra se faire un jour, et en tout cas pas avant le dernier trimestre de cette année ». Il s'agit toujours « des incidents qui sont intervenus sur le petit surgénérateur Phénix (lui aussi arrêté) n'ont pas été expliqués, il est impossible de faire redémarrer son grand frère sans prendre de risques ».

Michel Lavérie sera remercié suite à ses avis défavorables et sera remplacé par André-Claude Lacoste (1993). De toute façon il aurait fallu redémarrer une enquête publique suite à un arrêt de plus de deux ans. Mais de plus cette enquête n'avait plus d'objet du fait du changement de finalité : transformation du prototype de surgénérateur prévu pour la production d'électricité en réacteur de recherche.

Quant à parler de MONJU (au Japon) qui n'a jamais redémarré suite à un incendie sur une boucle externe de sodium, incendie qui a endommagé le réacteur dès sa divergence, ce n'est pas sérieux. À chaque essai il y a eu des problèmes et le réacteur a dû être stoppé. Seul un « rafraîchissement » de l'autorité de sûreté japonaise pourrait permettre de tenter son redémarrage. Le CEA table sur cette machine pour tester certains matériaux indispensables à son programme de RNR.

3. Le recyclage de l'uranium de retraitement – Page 12

Après un ré-enrichissement à Tomsk d'uranium de retraitement, les réacteurs de Cruas ont été chargés avec des assemblages à l'uranium de retraitement enrichi, mais cela a duré environ 3 ans. En effet, il a été interdit d'exporter ces matériaux et actuellement ce recyclage est stoppé.

4. On revient sur la transmutation – Page 15

Transmutation qui ne peut s'appliquer qu'aux actinides mineurs neptunium, américium et curium. Mais le problème est l'extraction et la fabrication des combustibles. On a mis en œuvre des procédés de laboratoire : l'extrapolation industrielle n'est pas testée.

5. Comment penser une production nucléaire quasi infinie – Page 16

Rien n'est infini sur une boule finie. Par ailleurs où stockera-t-on les déchets ?

6. Et l'enceinte de confinement ?

Il manque principalement dans la monographie du CEA la description de l'enceinte de confinement et sa conception pour éviter toute sortie de produits radioactifs.

Certes le réacteur n'est pas sous pression mais il faut tout de même contenir les incendies et accidents de criticité. À la lecture du dossier et au vu des dessins, on n'est pas à même de dire s'il y a un dôme et une enceinte de confinement.

Rappelons que pour le projet EFR[2], il était indiqué que pour permettre une diminution du coût de construction, donc du prix du kW, le réacteur ne serait pas surgénérateur. Dans ces conditions, il ne comportait pas de couverture fertile, et était prévu pour travailler avec un coefficient de réactivité plus bas. Les concepteurs estimaient donc que la structure d'une cuve de sûreté ancrée au béton avec une dalle de fermeture de cette cuve, autorisaient à s'affranchir du dôme de sécurité et de l'enceinte de confinement (bâtiment réacteur). Le réacteur était logé dans une structure légère voisine de celle des RBMK. Suite à l'accident de Tchernobyl, ce projet avait mis en sommeil, et la programmation de l'arrêt des UNGG accélérée (les UNGG n'avaient pas non plus d'enceinte de confinement).

Le dossier ASTRID se contente d'indiquer que le cœur du réacteur sera « isogénérateur ». Par contre il y est dit qu'il devra démontrer la possibilité de surgénération et la faisabilité industrielle du multirecyclage du Plutonium. Ces exigences nous semblent en contradiction avec la géométrie du confinement de sécurité.

2 - Projet EFR (European fast reactor). L'accord, signé en 1984 entre la France, la Grande-Bretagne, l'Italie et la République fédérale d'Allemagne, s'est concrétisé par le lancement des études du projet EFR. Ce projet n'a pas été concrétisé.

ASTRID ET LE POT AU LAIT*

Benjamin Dessus

La reine Astrid doit se retourner dans sa tombe quand elle voit qu'on utilise son célèbre prénom couvrir une entreprise qui n'a rien à envier à l'affaire du pot au lait de Pérette. Astrid, vous savez, c'est le fameux réacteur surgénérateur (au plutonium et au sodium fondu) dit de quatrième génération. C'est semble-t-il le projet de réacteur sur lequel compterait la ministre de l'environnement pour renouveler notre parc nucléaire, quand malgré tous les soins apportés, il finira par s'éteindre. Abandonnée l'idée de l'EPR déjà considéré comme dépassé et ruineux avant même d'avoir été mis en marche. Sautons cette étape ratée pour virer en 2050 en tête de course, avec ce surgénérateur paré de toutes les vertus. Il nous promet à la fois, tout au moins s la réalité de ces vertus avec quelques très bonnes raisons, comme Bernard Laponche dans l'article précédent, on oppose l'argument massue, la compétitivité dont on connaît le poids prépondérant pour nos élites.

Les réserves d'uranium 235 (le combustible actuel du nucléaire) qui ne sont évidemment pas inépuisables, vont forcément se raréfier au fur et à mesure qu'une plus grande quantité d'électricité aura été produite dans le monde. Le coût de l'uranium 235 ne peut donc que croître, nous dit-on. Dans ces conditions le coût de l'électricité des réacteurs de deuxième et troisième génération ne peut lui aussi que croître…

Bien que le CEA reconnaisse que le réacteur Astrid, plus compliqué que l'EPR à fabriquer, coûtera au minimum 30 % de plus au kW que ce dernier, il arrivera bien un moment où le prix de l'uranium deviendra si élevé que son coût dans le kWh EPR deviendra supérieur à celui de l'amortissement de ces 30 % supplémentaires d'investissement…

Raisonnement a priori imparable qui conduit le CEA à prévoir une rentabilité du kWh d'Astrid pour des coûts de l'uranium multipliés par 10 ou 15 par rapport à son prix actuel.

À deux nuances de taille près cependant :

Tout d'abord notre expérience récente des prévisions d'épuisement des ressources et des coûts du pétrole devrait nous conduire à une certaine prudence en ce qui concerne l'uranium, surtout quand on sait que la production nucléaire mondiale est en chute constante depuis le début des années 2000 (- 10 %).

Mais surtout, et c'est là que l'on frise l'escroquerie intellectuelle, la compétitivité est calculée, non pas par rapport à l'ensemble des sources possibles d'électricité, mais par rapport à celle de l'EPR. Or comme chacun le sait aujourd'hui grâce au tarif contractuel qui régit la vente par EDF de réacteurs EPR au Royaume Uni, ce coût est de l'ordre de 115 €/MWh, déjà 60 % plus élevé que celui de l'électricité gaz, charbon ou éolien. Et dans ce coût du kWh EPR, l'amortissement représente 80 % et l'uranium moins de 2 %. Pour compenser le surcoût initial d'Astrid et rendre son MWh compétitif, il faudrait donc (toutes choses égales d'ailleurs) que le prix de l'uranium soit multiplié par 13 environ, portant le coût du MWh EPR de 115 € à 137 €. C'est à peu près le double du coût des filières de production d'électricité actuelles…

Si jamais le CEA et l'industrie nucléaire nous pondent la couvée prévue, nous pouvons au moins être assurés d'une chose, c'est que ses poussins de luxe auront bien du mal à trouver preneur, même si d'aventure le développement de ce réacteur et de la civilisation du plutonium qui va avec se déroulaient sans aucune anicroche, ce qui est bien improbable…

Adieu alors veau vache cochon, couvée. En lot de consolation nous aurons du plutonium à revendre pour fabriquer des bombes…

** Paru le 25 février 2015 dans mediapart (Blog Benjamin Dessus)*

Poursuite du nucléaire ? La charge de la preuve change de camp !

Benjamin Dessus (Global chance)

A la lecture du scénario « Vers un mix électrique 100 % renouvelable en 2050 » de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) qu'a révélé Mediapart dans son édition du 8 avril dernier, on comprend bien pourquoi les services du ministère de l'écologie et de l'énergie on tout fait pour qu'il reste le plus longtemps possible dans un tiroir. Certes, d'autres, notamment Négawatt et Global chance, avaient montré depuis plusieurs années qu'une sortie du nucléaire au profit des renouvelables était non seulement possible mais souhaitable en termes économiques et environnementaux. Mais il ne s'agissait guère que d'experts « indépendants » qu'on pouvait soupçonner de parti pris écolo. Mais si l'Ademe, appuyée d'un centre d'études du propre sérail du corps des mines (Armines Persée), se met à justifier en détail ce genre de scénario, la menace devient sérieuse.

L'Ademe démontre en effet, chiffres à l'appui, que l'idée d'un système électrique totalement renouvelable à l'horizon 2050 est non seulement techniquement, mais aussi économiquement crédible : des coûts d'électricité de 11,5 à 12 ct€/kWh (contre 9,1 ct€ actuellement) qui risquent fort de se révéler inférieurs à ceux associés à une poursuite de la politique nucléaire actuelle. On sait bien effet aujourd'hui grâce au dernier rapport de la Cour des comptes que la réhabilitation du parc (pour 10 ou 20 ans supplémentaires) va augmenter les coûts de 3 à 4 ct/kWh sans pour autant régler l'épineuse question du renouvellement du parc qui restera néanmoins indispensable dans 20 ans. Et les nouveaux malheurs de l'EPR, dont la cuve n'inspire pour le moins pas confiance, vont encore plomber son coût, si jamais il voit le jour, ce qui paraît de plus en plus improbable.

Dans ces conditions, il ne suffit plus de nier l'existence d'une politique crédible, différente de la politique actuelle, il va falloir démontrer que la politique actuelle est la meilleure…

En effet si une politique tout renouvelable est possible, avec ses avantages évidents en termes d'environnement, d'indépendance énergétique et d'emploi, on voit mal pourquoi on s'obstinerait dans une politique dont les risques environnementaux (accident majeur, déchets etc.) et industriels sont d'une autre ampleur.

C'est maintenant aux services du ministère, soit d'apporter la preuve que le scénario de l'Ademe ne tient pas la route, soit de montrer les avantages d'une poursuite de la politique actuelle.

En tentant de réduire l'Ademe au silence, le ministère de l'écologie ne chercherait ils qu'à gagner le temps nécessaire à la mise en place d'une programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) dans la continuité de la politique passée, au besoin avec quelques inflexions ?

Ce serait une grave erreur, car, si, finalement, c'est la perspective d'un système électrique à dominante renouvelable qui doit finalement l'emporter à long terme, c'est dès la prochaine PPE qu'il faut en prendre acte. Nous n'avons pas le loisir de perdre cinq ans de plus avant de prendre les mesures qu'imposerait cette nouvelle orientation, en particulier en termes d'infrastructures de transport et d'économie d'électricité.

C'est donc sans attendre qu'il faut lancer et arbitrer ce débat soigneusement escamoté jusqu'ici par les pouvoirs publics avec la complicité active du lobby nucléaire.

Le GIEC et le nucléaire

Bernard Laponche – 23 avril 2015

La question est souvent posée sur la position du GIEC[1] sur le rôle que pourrait jouer le nucléaire dans la lutte contre les changements climatiques par la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES).

La réponse à cette question est donnée par le dernier rapport du Groupe de travail III du GIEC[2] sur les mesures et les techniques permettant cette réduction des émissions.

Les mesures envisageables sont présentées par secteur d'activités[3] et nous nous intéressons ici au secteur de l'énergie, pour lequel la grande majorité des émissions de GES proviennent actuellement de la production d'électricité (pages 69 à 72).

Ces textes incluent des appréciations du groupe de travail sur les principales phrases en tête des paragraphes, indiquées entre parenthèses et en italique. Les annotations en fin de paragraphes font références aux tableaux, figures ou paragraphes du rapport complet.

Nous présentons ci-dessous les paragraphes relatifs à la production d'électricité d'origine nucléaire, tout en recommandant de lire l'ensemble de ce rapport.

1.Texte en français[4]

TS.3.2 Mesures sectorielles et transversales pour la réduction des Émissions de gaz a effet de serre (GES)

TS.3.2.2 Le secteur de l'énergie

Le secteur de l'énergie est le plus grand contributeur aux émissions mondiales de GES (preuves solides, accord élevé).

Les émissions annuelles mondiales de GES du secteur de l'énergie ont augmenté plus rapidement entre 2000 et 2010 que dans la décennie précédente ; leur taux de croissance annuel est passé de 1,7 % par an sur la période de 1990 à 2000 à 3,1 % par an sur la période 2000-2010. Les principaux contributeurs à cette tendance sont une demande croissante pour les services de l'énergie et une part croissante de charbon dans le mix global de combustibles. Le secteur de l'énergie, tel que défini dans le présent rapport, comprend tous les processus d'extraction de l'énergie, de conversion, de stockage, de transport et de distribution qui fournissent l'énergie finale aux secteurs d'utilisation finale (industrie, transports, bâtiments, agriculture et sylviculture). [7.2, 7.3]

…

1 - GIEC : Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (IPCC en anglais).

2 - http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_technical-summary.pdf

3 - Les secteurs d'activités sont : le secteur de l'énergie, les transports, les bâtiments, l'industrie, l'agriculture-forêt-usages des sols. Pour chaque secteur ce sont donc les émissions directes qui sont concernées.

4 - Traduction de l'auteur de cette note. Le texte original en anglais figure en annexe. Les notes de bas de page sont des ajouts de l'auteur de cette note.

Le secteur de l'énergie offre une multitude d'options pour réduire les émissions de GES (preuves solides, accord élevé).

Ces options comprennent : l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions fugitives dans l'extraction des combustibles ainsi que dans la conversion de l'énergie[5], le transport et les systèmes de distribution de l'énergie ; la substitution entre combustibles fossiles[6] ; et les technologies à faible émissions de GES approvisionnement en énergie comme les énergies renouvelables (ER), l'énergie nucléaire, et le stockage du dioxyde de carbone (CCS) (tableau RT.3). [7.5, 7.8.1, 7,11].

…

La stabilisation des concentrations de GES à des niveaux faibles nécessite une transformation fondamentale du secteur de l'énergie, y compris sur le long terme l'élimination des technologies de conversion[7] des combustibles fossiles encore présentes et leur remplacement par des alternatives à faibles émissions de GES (preuves solides, accord élevé).

Les concentrations de CO_2 dans l'atmosphère ne peuvent être stabilisées si les émissions globales nettes de CO_2 atteignent un pic et diminuent vers zéro dans le long terme. Améliorer les rendements énergétiques des centrales à combustibles fossiles et, ou le passage du charbon au gaz ne seront pas par elles-mêmes des mesures suffisante pour atteindre cet objectif. Les technologies d'approvisionnement à faibles émissions de GES seront nécessaires pour atteindre cet objectif (Figure TS.19). [7.5.1, 7.8.1, 7,11]

…

L'énergie nucléaire est une technologie mature à faibles émissions de GES pour la production de l'électricité en base, mais sa part dans la production mondiale d'électricité est allée en diminuant (depuis 1993). L'énergie nucléaire pourrait apporter une contribution croissante à l'approvisionnement en énergie à faibles émissions de carbone, mais une variété d'obstacles et de risques existent (preuves solides, accord élevé). (Figure TS.19)

L'électricité d'origine nucléaire représente 11 % de la production d'électricité dans le monde en 2012, en baisse d'un sommet de 17 % en 1993. La prise en compte financière des externalités des émissions de GES (affecter un prix au carbone) pourrait améliorer la compétitivité des centrales nucléaires. [7.2, 7.5.4, 7.8.1, 7,12]

Les obstacles et les risques liés à une utilisation accrue de l'énergie nucléaire comprennent les risques opérationnels et les problèmes de sécurité associés, les risques des mines d'uranium, les risques financiers et réglementaires, les questions de gestion des déchets non résolus, les problèmes de prolifération d'armes nucléaires, et une opinion publique défavorable (preuves solides, accord élevé). (tableau RT.4).

De nouveaux cycles de combustible et les technologies de réacteurs traitant certaines de ces questions sont en cours de développement et des progrès ont été réalisés concernant l'élimination de la sécurité et des déchets. L'analyse des scénarios d'atténuation des émissions telles que les concentrations ne dépassent pas 580 ppm d'équivalent CO_2, a montré que l'exclusion de l'énergie nucléaire dans le portefeuille des technologies disponibles se traduirait seulement par une légère augmentation des coûts d'atténuation par rapport à la gamme complète des technologies disponibles (Figure TS.13). Si d'autres technologies, telles que le CCS, sont limitées[8], le rôle de l'énergie nucléaire est plus important. [6.3.6 , 7.5.4 , 7.8.2 , 7.9 , 7.11]

2. Commentaire

Le GIEC note que le secteur de l'énergie est le plus grand contributeur aux émissions mondiales, du fait principalement de la production d'électricité et souligne que ce secteur offre de très nombreuses options pour réduire ses émissions.

Parmi ces options, le GIEC retient tout naturellement la production d'électricité d'origine nucléaire qui, bien que les émissions de GES de l'ensemble de ses activités ne soient pas nulles, sont très inférieures à celles de la production d'électricité d'origine fossile (essentiellement à partir du charbon et lignite et du gaz fossile[9]).

5 - Essentiellement la production d'électricité

6 - Essentiellement le remplacement du charbon par le gaz pour la production d'électricité.

7 - Essentiellement la production d'électricité.

8 - Dans ces scénarios.

9 - Avec une différence très importante en faveur de la production à partir du gaz, surtout si on utilise des centrales à cycle combiné. D'où l'intérêt de la substitution du charbon par le gaz.

Mais le GIEC ne fait pas de cette technologie une option privilégiée, bien au contraire, car il sait très bien que le niveau des émissions de GES (en l'occurrence le CO_2) est loin le seul critère pour le choix d'une technologie énergétique et il souligne :

- Que la part du nucléaire dans la production mondiale d'électricité a décru depuis 1993 et n'est que de 11 % en 2012[10].
- Que le déploiement de cette technologie se heurte à de nombreux obstacles et risques : sécurité opérationnelle (risque d'accident), gestion des déchets, accroissement des risques de prolifération, risques financiers et réglementaires et enfin une opinion défavorable de la part des citoyens.

On notera d'ailleurs que les trois premiers risques ainsi énoncés sont très précisément ceux qui ont conduit l'Allemagne à sa décision de « sortie du nucléaire ».

Ce qui est particulièrement intéressant dans le texte du GIEC est la phrase suivante :

« L'analyse des scénarios d'atténuation des émissions telles que les concentrations ne dépassent pas 580 ppm d'équivalent CO_2, a montré que l'exclusion de l'énergie nucléaire dans le portefeuille des technologies disponibles se traduirait seulement par une légère augmentation des coûts d'atténuation par rapport à la gamme complète des technologies disponibles ».

Le GIEC est donc extrêmement prudent, voire très réservé, dans son jugement et on ne peut en aucune façon prétendre qu'il soutient l'option nucléaire dans la lutte contre les changements climatiques.

ANNEXE : texte original en anglais

TS.3.2 SECTORAL AND CROSS-SECTORAL MITIGATION MEASURES

…

TS.3.2.2 Energy supply

The energy supply sector is the largest contributor to global GHG Émissions (robust evidence, high agreement). Annual GHG Émissions from the global energy supply sector grew more rapidly between 2000 and 2010 than in the previous decade ; their growth accelerated from 1.7 % / yr from 1990 – 2000 to 3.1 % / yr from 2000 – 2010. The main contributors to this trend are an increasing demand for energy services and a growing share of coal in the global fuel mix. The energy supply sector, as defined in this report, comprises all energy extraction, conversion, storage, transmission, and distribution processes that deliver final energy to the end-use sectors (industry, transport, buildings, agricultureand forestry). [7.2, 7.3]

…

The energy supply sector offers a multitude of options to reduce GHG Émissions (robust evidence, high agreement). These options include : energy efficiency improvements and fugitive emission reductions in fuel extraction as well as in energy conversion, transmission, and distribution systems ; fossil fuel switching ; and low-GHG energy supply technologies such as renewable energy (RE), nuclear power, and CCS (Table TS.3). [7.5, 7.8.1, 7.11]

…

The stabilization of GHG concentrations at low levels requires a fundamental transformation of the energy supply system, including the long-term phase-out of unabated fossil fuel conversion technologies and their substitution by low-GHG alternatives (robust evidence, high agreement). Concentrations of CO_2 in the atmosphere can only be stabilized if global (net) CO_2 Émissions peak and decline toward zero in the long term. Improving the energy efficiencies of fossil fuel power plants and / or the shift from coal to gas will not by themselves be sufficient to achieve this. Low-GHG energy supply technologies would be necessary if this goal were to be achieved (Figure TS.19). [7.5.1, 7.8.1, 7.11]

…

Nuclear energy is a mature low-GHG emission source of baseload power, but its share of global electricity generation has been declining (since 1993). Nuclear energy could make an increasing contribution to low-carbon energy supply, but a variety of barriers and risks exist (robust evidence, high agreement) (Figure TS.19). Nuclear electricity accounted for 11 % of the world's electricity generation in 2012, down from a high of

10 - La contribution du nucléaire dans la consommation énergétique finale est donc de 2,5 %.

17 % in 1993. Pricing the externalities of GHG Émissions (carbon pricing) could improve the competitiveness of nuclear power plants. [7.2, **7.5.4, 7.8.1, 7.12**]

Barriers and risks associated with an increasing use of nuclear energy include operational risks and the associated safety concerns, uranium mining risks, financial and regulatory risks, unresolved waste management issues, nuclear weapon proliferation concerns, and adverse public opinion (robust evidence, high agreement) (Table TS.4). New fuel cycles and reactor technologies addressing some of these issues are under development and progress has been made concerning safety and waste disposal. Investigation of mitigation scenarios not exceeding 580 ppm CO_2eq has shown that excluding nuclear power from the available portfolio of technologies would result in only a slight increase in mitigation costs compared to the full technology portfolio (Figure TS.13). If other technologies, such as CCS, are constrained the role of nuclear power expands. [6.3.6,7.5.4, 7.8.2, 7.9, 7.11].