



Académie des sciences d'outre-mer

Les recensions de l'Académie ¹

L'accident majeur de Fukushima : considérations sismiques, nucléaires et médicales / Académie des sciences
éd. EDP sciences, 2012
cote : 59.376

En avril 2011 quelques jours après le tsunami, le Président du SCJ (Science Council of Japan) a demandé la collaboration des diverses Académie des sciences étrangères pour mobiliser toutes les compétences pouvant aider à limiter la défaillance des réacteurs de Fukushima. Une réunion franco-japonaise G8-G20 prévue avant la catastrophe quai Conti a permis de créer au sein de l'Académie le groupe de travail solidarité Japon.

Un an après la catastrophe, l'Académie a publié son rapport, L'accident majeur de Fukushima, considérations sismiques, nucléaires et médicales édité par EDP (Edition diffusion Presse Science) suivant les principaux axes des travaux

- Analyse de la défaillance des réacteurs de Fukushima et des conséquences au Japon
- Évaluation des risques sismiques et nucléaires concernant la France et l'outre – mer
- Conclusions et recommandations

Un fascicule discret relate retours d'expérience, risques et perspectives en trois chapitres de 15 à 30 pages chacun contenant la synthèse des contributions d'une soixantaine de signataires. Dans les trois sous-groupes, sismique, nucléaire, sanitaire interviennent aux côtés des académiciens des experts souvent membres d'autres collaborations scientifiques avec le Japon venant du BRGM, du CEA, d'AREVA, du CNRS, d'EDF, de l'IRSN, de l'INSTN, de l'Académie de Médecine, d'Observatoires, d'autres instances universitaires et hospitalières.

Entre le chapitre « mégaséismes et mégatsunamis », consacré aux préludes de l'accident et le chapitre « conséquences sanitaires et environnementales », dévolu aux principaux effets, le second chapitre se concentre sur la phase nucléaire de l'accident. L'opuscule de l'Académie peut ici sembler très bref : la concision facilite grandement la lecture dans le souci d'apporter une information objective à un large nombre de lecteurs. L'ouvrage scientifique appartient à la littérature hybride avec un ouvrage électronique associé regroupant dans un CD-ROM environ une quarantaine d'annexes. La moitié de ces annexes éclairent utilement le chapitre 2, avec de nombreuses références d'articles scientifiques et de sources fiables traitant l'accident





Académie des sciences d'outre-mer

55 minutes !

Les réacteurs 1 à 3 sont en fonctionnement à l'heure du séisme de magnitude 9 ce 11 mars à 16H46 ; la construction n'a été construite que pour résister à des séismes ne dépassant pas une magnitude de 8 (30 fois moins intense). La procédure automatique de sécurité (barres d'arrêt –refroidissement) fonctionne immédiatement.

Moins d'une heure plus tard le tsunami déferle et inonde les générateurs électrogènes de secours des réacteurs 1 à 4; les réacteurs 4 à 6 construits 10m plus haut sont épargnés (rappelons ici en simplifiant que les barres de sécurité réduisent presque instantanément à environ 6% de l'énergie nominale la production d'un réacteur et que la phase de mise au repos peut durer 6 mois. Le refroidissement doit être maintenu en permanence pour les piscines d'entreposage des combustibles en réserve, dans le cœur du réacteur et dans les réservoirs contenant combustibles usés)

Les défaillances des générateurs responsables du refroidissement (avec des évolutions diverses, suivant les réacteurs 1 à 4) provoquent des dysfonctionnements en cascade et s'avèrent la principale origine de la catastrophe. Sans refroidissement, la chaleur dégagée par le combustible vaporise l'eau des cuves, puis chauffe cette vapeur ; la pression monte... À plus de 800°, la vapeur d'eau oxyde les gaines en alliage de zirconium (qui contiennent le combustible) produisant l'émission de beaucoup d'hydrogène. La pression augmentant, des soupapes de sécurité sont ouvertes au sommet des coupes, mais le contact de l'hydrogène avec l'air se solde par des explosions (les centrales françaises contiennent dans une telle éventualité des moyens d'éviter ce risque) De son côté le combustible est rapidement asséché. Vers 900° les barres de contrôle (acier, bore) fondent, vers 1800° c'est le tour des gaines de crayons combustibles et boîtiers d'assemblage puis au-dessus de 2300° le combustible entre en fusion. Le mélange de matériaux radioactifs ainsi formé se comporte comme un magma de très haute température, le « corium ».

Les sauveteurs font ainsi face à deux risques majeurs, les émissions dans l'atmosphère de produits radioactifs (iode, césium en majeure partie), les fuites éventuelles du fond de la cuve du réacteur et l'épanchement du « corium ». Il faut y ajouter le traitement et la décontamination des eaux utilisées pour le refroidissement. Si la situation est stabilisée pour les réacteurs 5-6 dix jours après le séisme, le rétablissement d'un refroidissement avec des techniques improvisées s'avère plus difficile pour les réacteurs 1-4; il faut attendre le 25 mars, alors que la terre continue à trembler, pour observer une forte réduction des émissions d'éléments radioactifs. Une table concernant les réacteurs 1 à 4 reproduite par l'AIEA un mois après le tsunami confirme le retour des pressions, températures et injection d'eau froide par réacteur à des valeurs acceptables.

Parmi les six interpellations très pertinentes identifiées de l'évènement aux techniques mises en œuvre par l'exploitant japonais TEPCO, deux seront comprises de tous les lecteurs ;

- La construction des réacteurs 1-4 une dizaine de mètres plus haut, au niveau des réacteurs 5-6, les aurait préservés de l'inondation du tsunami
- Les réseaux de générateurs diesel de secours doivent être multiples et protégés de toute agression



Académie des sciences d'outre-mer

Les mesures élémentaires contenues dans ces deux questions auraient probablement évité cette catastrophe qui semble à ses débuts d'une intensité semblable à celle de Tchernobyl, mais qui sera estimée après le bilan global des émissions et retombées à environ 10% de Tchernobyl. En 1986, une manœuvre malencontreuse avait multiplié par 100 en 4s la puissance d'un réacteur qui a fonctionné pendant une semaine. La nature en moins d'une heure a remis en question les normes de sécurité appliquées à Dai-Ichi...

Remarquons ici, avant de passer à la suite de l'expertise académique projetant le retour d'expérience de la catastrophe sur le parc des 58 réacteurs français, que le comportement des 100 réacteurs américains pose aussi bien des questions. 35 d'entre eux sont des réacteurs à eau bouillante. La centrale de Browns Ferry (Tennessee) possède ainsi depuis 1977 3 réacteurs à eau bouillante (très semblables à ceux de dai-ichi) produisant 3,297 GW. Cette centrale a été touchée par la tornade du 27 avril 2011 qui a détruit les trois lignes alimentant les états du Sud. Le dispositif automatique de sécurité a arrêté les trois réacteurs à eau bouillante et sept générateurs Diesel se sont trouvés opérationnels pour assurer le refroidissement attendu dans un délai d'un quart d'heure.

Les retours d'expérience sur le parc nucléaire français

Tous les réacteurs français sont des réacteurs à eau sous pression (REP) se distinguant des réacteurs à eau bouillante (REB) de Dai-Ichi par deux circuits de refroidissement séparés (un circuit consacré au cœur du réacteur et un circuit externe actionnant la turbine) au lieu d'un seul, un taux d'enrichissement plus important en U235 des barres de contrôle descendantes et non remontantes comme les « croix » des réacteurs japonais. L'empoisonnement neutronique pour arrêter une réaction en chaîne s'effectue en coordonnant l'introduction d'acide borique dans le fluide caloporteur et la descente des barres d'absorbeur neutronique (cadmium, hafnium, gadolinium nitrure de bore) dans le REP. Le REB fait appel uniquement aux croix de poison montantes et à une modulation du flux du fluide caloporteur dans la partie supérieure du cœur diminuant la partie eau qui facilitait la propagation des neutrons. En France, seuls 20 réacteurs peuvent recevoir du MOX (mélange d'oxyde d'Uranium et de Plutonium) grâce aux aciers de leurs cuves très résistants.

Une réflexion sur l'ensemble du parc national est conduite en fonction des leçons de Fukushima, des difficultés connues par les centrales françaises (fusion partielle du cœur à Saint Laurent en 1969 et 1980, inondation de la centrale du Blayais en 1999), mais aussi de l'incendie de Windscale (1957) et des accidents majeurs de Three Mile Island (1979) et Tchernobyl (1986). Projections et simulations des acquis de Fukushima sont réalisées pour tous les réacteurs avec une attention particulière aux plus anciens. L'accident de Fukushima ne motive un arrêt pour aucun d'entre eux en particulier ceux de Fessenheim (Fessenheim avait été contrôlé positivement par l'AIEA fin 2010). Une note en bas de page évoque le cas des réacteurs américains observés par NRC (Nuclear Regulatory Commission) qui ont accordé des extensions de 40 à 60 ans à la moitié du parc américain et examinent des extensions à 80 ans. En revanche les systèmes de sécurité, les piscines d'entreposages des combustibles usés méritent une attention particulière comme la prévention des risques naturels, sécheresse par exemple limitant éventuellement le refroidissement.



Académie des sciences d'outre-mer

La recherche en matière de sécurité nucléaire joue un rôle dans toutes les améliorations mises au point en appliquant des technologies avancées. À côté des 1000 spécialistes de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) avec des laboratoires implantés sur 11 sites, des recherches approfondies sont conduites en partenariat avec les chercheurs du CEA, du CNRS, d'instituts internationaux et des industriels EDF et AREVA. Prévention de la fusion du réacteur, traitement des défaillances de refroidissement, protection des hommes contre les irradiations éventuelles, décontamination de l'environnement, traitement et confinement des déchets de fission sont autant de thèmes d'investigations théoriques et appliquées. L'annexe 2-9 expose la pertinence et la qualité des recherches menées avec des moyens importants. Un effort particulier s'applique à la maîtrise des explosions dues à l'émission d'hydrogène qui ont battu en brèche la protection des trois enceintes de confinement de deux réacteurs de Fukushima.

La sécurité des réacteurs du futur est aussi dans le programme dédié aux réacteurs de 3^e génération tel l'EPR (Evolutionary Power Reactor, ex European Pressurized reactor) qui fait aussi partie de la catégorie des REP. L'EPR est un REP très amélioré intégrant des modifications inspirées par les accidents de TMI et Tchernobyl., mais quelques nouvelles améliorations peuvent être ajoutées pour renforcer la sécurité des piscines contenant les assemblages de combustible usé Les réacteurs de 4^e génération. sont aussi considérés, en premier les RNR (réacteurs à neutrons rapides) avec le prototype ASTRID introduit dans le J.O. en 2006. À la suite de la loi du 28 juin 2008 sur la gestion durable des matières et des déchets nucléaires, le CEA s'est vu confier la responsabilité de concevoir le prototype ASTRID-SFR (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration) d'environ 600 MW en partenariat avec AREVA. Une convention du 9 septembre 2010 entre l'État et le CEA (JO du 11/09/2010) a attribué au programme d'investissement « réacteur de 4^e génération Astrid » 652 M€. Cette mesure devrait permettre de disposer d'un premier RNR industriel en 2020. Le réacteur R JH (Jules Horowitz) mis en service en 2014 à Cadarache modernisera les recherches sur les matériaux et les nouveaux combustibles antérieurement menées sur les maquettes critiques (réacteurs à très faible puissance, tels Minerve et Masurka à Cadarache).

La France dispose de rejets de plutonium importants ; chaque REP de 1GW rejette près de 2T par décennie de Pu fissile accumulant avec l'uranium appauvri rejeté ou tiré des enrichissements préalables une réserve de combustible pouvant alimenter des RNR (réacteur à neutrons rapides) pendant un demi-siècle.

D'autres types de réacteurs sont aussi envisagés, tels les réacteurs pilotés par des accélérateurs de particules pouvant à partir d'interactions de protons engendrer des flux de neutrons et moduler le démarrage et la marche des REP. Enfin des réacteurs pouvant alimenter des villes de 100 000 à un million d'habitants pourraient être construits avant 3ans sur la base des réacteurs embarqués alimentant les sous-marins nucléaires français.

De la prévention du risque géophysique aux conséquences sanitaires et environnementales

L'académie a sollicité ses meilleures compétences dans les sciences de la terre, de l'environnement et dans les sciences humaines pour mieux situer la catastrophe dans son contexte. Il ressort du chapitre « mégaséismes et mégatsunamis » que le site de



Académie des sciences d'outre-mer

Fukushima était bien peu favorable pour l'implantation des centrales Daï-Ichi et Daï-Ni (la seconde centrale, à quelques kilomètres, a cependant échappé à la catastrophe). Les sismologues pointent l'erreur principale des spécialistes japonais qui ont considéré que seule la sismicité du siècle écoulé était représentative du régime permanent de la zone de subduction du Nord Est du Japon. En fonction des documents officiels Daï-Ichi avait été implanté pour être à l'abri de vagues de 5,7 m de hauteur, alors que la vague du tsunami a pu dépasser de 14m le niveau de la mer...

En ce qui concerne la France, ce sont d'abord les Antilles qui devraient s'adapter à des normes parasismiques pour des séismes de magnitude 8. La métropole n'est pas menacée par des mégaséismes ni des mégatsunamis (environ 2m d'altitude pour le tsunami de Cannes et Nice en 1987). Compte tenu du retard de la construction parasismique par rapport au Japon, un séisme de magnitude 6 suffirait pour faire de nombreuses victimes dans les zones peuplées. La réglementation sismique est une part importante de la sûreté nucléaire. Utilisant son ordinateur Petaflop le CEA a mis au point le code de simulation DASE (département analyse, surveillance, environnement) ; ce programme contenant une cartographie des fonds marins du Pacifique a pu reproduire immédiatement la propagation des flux jusqu'aux côtes américaines et australiennes. Le Japon a acheté immédiatement le calculateur Petaflop pour améliorer son dispositif d'alerte.

Trois sous-groupes d'experts de haut niveau ont analysé les conséquences de Fukushima en termes de radioprotection, menaces sanitaires, réhabilitation des sites et des sols. Un remarquable effort de rédaction démystifie l'évaluation des doses de rayonnement subies par l'environnement (globalement 10 fois moins que pour Tchernobyl) et présente un tableau des contaminations subies par les intervenants sur Dai-Ichi en mars et avril 2011 pour l'ensemble des produits radio actifs rejetés. Ainsi un rayonnement total de 11000 Terabecquerels (Tbq) provient du Caesium 137 rejeté dans l'atmosphère et déposé dans l'environnement (85000 TBq pour Tchernobyl). Dans le cas de l'iode 131 les rejets ont été respectivement de 130 000 TBq et 1 800 000 TBq. (1 TBq = 10^{12} Bq : le Becquerel correspond à une désintégration par seconde, la radioactivité naturelle du corps humain est de 8400 Bq pour un homme de 70kg (presque équirépartie entre Potassium 40 et Carbone 14 provenant de notre alimentation). La dose moyenne reçue par un européen est de 2 à 3 mSv (millisievert/an). La moitié est due au radon émanant de la croûte terrestre, l'autre moitié se partageant entre examens médicaux (12%), rayonnement cosmique et rayonnement gamma (15%), la radioactivité biologique comptant ici pour près de 10%. Bien utile au lecteur ; l'annexe 2 du chapitre 3 fait le point sur l'adéquation entre les trois unités Becquerel caractérisant le rayonnement émis, Sievert (Sv) se rattachant à la dose reçue tenant compte de la nature du rayonnement ionisant (alpha, beta, gamma) et Gray (Gy) lié à la dose d'énergie absorbée lors du rayonnement ionisant.

La limite conseillée dans le travail des acteurs travaillant dans le secteur des rayonnements ionisants et du nucléaire est de 50mSv/an aux États Unis et de 20 mSv/an en Europe, très loin de la dose létale située entre 2.5 et 4.5 Gy. La probabilité d'un cancer induit est d'environ 5% par Sievert pour l'ensemble de la population. 6 intervenants sur Daï-Ichi ont été exposés à plus de 250 mSv en mars 2011, 23 à plus de 150mSv, 412 à plus de 50 mSv suivant la compagnie TEPCO. Les urgences des deux



Académie des sciences d'outre-mer

premières semaines d'intervention sur le site sont de 4 décès, un par chute de grue, un par crise cardiaque et deux par noyade, tandis que 25 irradiés ont été traités. Les niveaux de doses subies et les examens cliniques ne laissent pas prévoir de risques de cancer. Les évacuations rapides dans un rayon de 10 km, puis jusqu'à 30 km en fonction des propagations par les vents dominants ont protégé une population d'environ 200 000 habitants.

Le plan d'assistance aux populations a été mis en place dès les premiers jours avec les mesures de suivi des zones de contamination, de l'état de santé de chaque personne, de protection de la chaîne alimentaire, de communication objective envers les populations et de mise en place d'un fonds d'indemnisation de 125 milliards de Yen.

Quatre séries de recommandations tout à fait pertinentes suivent le dernier chapitre

- Éducation, information et communication
- Organisation de l'industrie nucléaire
- Recherche au plan national et international
- Gestion sanitaire

Le cahier des charges semble avoir été suivi scrupuleusement avec un document très fiable, ni politique, ni polémique, tenant compte du contexte dramatique enduré par les japonais (près de 20 000 décès et une côte Nord Est dévastée par le tsunami). Les problèmes de gouvernance de TEPCO et les négligences relevées par l'AIEA ou par les préfectures voisines n'ont pas été abordés ; respectant nos devoirs d'aide envers le conseil de la Science du Japon. L'évolution de la situation depuis 2 ans renforce le contenu de ce rapport sur Fukushima qui recoupe nombre d'appréciations de l'agence de Vienne.

La solidarité France Japon perdure autant pour les académiciens que pour les scientifiques et universitaires à la faveur de contrats bilatéraux France Japon. Une mauvaise nouvelle est venue de l'Asie du Nord Est avec les problèmes graves dénoncés par les inspections de l'AIEA concernant les réacteurs nucléaires construits en Corée du Sud par la société KEPCO : des composants, qui ne sont que des copies à bon marché, ont été utilisés dans la construction afin de proposer des centrales 24% moins chères que sur le marché international et des documents falsifiés ont été produits. Ces circonstances posent question sur l'équivalent d'un EPR vendu aux émirats voici 3 ans ; elles expliquent avec la reconnaissance des protections de l'EPR français l'avance prise par les EPR construits en Chine et le choix du Royaume Uni de construire deux EPR.

De meilleures nouvelles viennent des physiciens japonais et français qui ont eu accès aux dossiers et même aux abords des réacteurs. Un dispositif d'imagerie non invasive mettant à profit les muons des rayons cosmiques permet de faire des clichés de l'intérieur du cœur du réacteur comme des cuves d'entreposage du carburant ; l'adaptation et le positionnement des robots devraient être grandement facilités par ces observations et le dispositif mérite d'être adapté à la sécurité de tous les réacteurs. Rappelons ici que le muon est une particule chargée d'une masse plus de 200 fois plus lourde que celle de l'électron, pénétrant profondément (au niveau de la mer 3 à 5 muons traversent notre tête chaque seconde). Ce type d'imagerie ouvre aussi la voie au contrôle des réacteurs utilisant des fluides caloporteurs opaques.



Académie des sciences d'outre-mer

L'Académie des sciences a parfaitement réussi la coordination des experts des différentes disciplines pour rédiger un document de haute qualité scientifique et technique et sa méthode de travail constitue un bel exemple pour l'ensemble de la recherche. Souhaitons que le contenu de l'ouvrage puisse être largement diffusé dans les universités et auprès des professeurs des lycées. Les efforts importants dans la rédaction, laissent espérer une version grand public indispensable à chaque citoyen.

Jean-Noël Capdevielle