

Tchernobyl 26 avril 1986, Fukushima 11 mars 2011 : deux catastrophes nucléaires dont il faut se souvenir !

Les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima sont survenus il y a 40 ans et 15 ans respectivement. Leurs anniversaires restent cependant des repères, des signes d'avertissements pour l'avenir. Comme le nucléaire connaît un renouveau aux quatre coins du monde avec le prolongement de la durée de vie des centrales, la construction de nouveaux réacteurs et l'avènement des petits réacteurs modulaires, il est d'autant plus de notre devoir de nous souvenir que la production nucléaire d'énergie n'est pas exempte de risques. Ce renouveau est porté par la nécessité de décarboner la production d'énergie et par l'augmentation des besoins énergétiques, notamment ceux des plateformes de stockage des données numériques et aussi liés au développement de l'intelligence artificielle.

La sûreté des installations nucléaires est indispensable à leur fonctionnement dans de bonnes conditions, avec notamment une défense en profondeur, que les autorités de sûreté contrôlent et vérifient avec des exigences poussées à leur plus haut niveau. En effet, les accidents de Tchernobyl et Fukushima sont survenus en raison de certaines vulnérabilités. Le modèle étiologique d'accidents connu sous le nom de Modèle du Fromage Suisse (Swiss Cheese Model) développé par James Reason (1995) a permis de mieux comprendre la place de l'erreur humaine et de la combinaison de défaillances, afin de savoir anticiper les situations à risque :

- l'explosion du réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl le 26 avril 1986, suivie de l'incendie de son modérateur en graphite pendant 10 jours a conduit à la libération dans l'atmosphère d'un immense nuage radioactif et de la contamination d'une grande partie de l'Europe (UNSCEAR, 2008). Ces événements sont survenus lors d'essais avec un réacteur RBMK instable en cours de refroidissement, par des équipes peu qualifiées et hors planification ;
- le 11 mars 2011, un séisme de magnitude 9,0 à 80 km à l'Est de l'île japonaise de Honshu, a interrompu les sources électriques externes de la centrale de Fukushima-Daïchi. Les dispositifs de sûreté avaient fonctionné correctement en provoquant l'arrêt automatique des trois réacteurs à eau bouillante en fonctionnement. Néanmoins, le tsunami qui a suivi 45 minutes plus tard a alors détruit les prises d'eau en mer et noyé les installations de refroidissement et les groupes électrogènes diesels de secours (à l'exception d'un seul) conduisant inéluctablement à la fusion des cœurs des trois réacteurs. Des rejets radioactifs dans l'environnement, rendus nécessaires pour réduire la pression dans les installations, se sont produits à la suite de la destruction des superstructures des trois bâtiments réacteurs du fait d'explosions secondaires d'hydrogène. La plupart de ces rejets radioactifs ont été programmés pour coïncider avec les vents soufflant vers l'océan Pacifique (IRSN, 2012 ; UNSCEAR, 2013).

L'analyse de ces deux accidents majeurs montre des différences notables : l'instabilité du réacteur RBMK et les défaillances de ses opérateurs ont conduit à l'accident de Tchernobyl, alors qu'à Fukushima quatre des six réacteurs étaient construits à une altitude insuffisante au-dessus du niveau de la mer sachant qu'un tsunami de même ampleur était survenu sur la côte Est du Japon un siècle plus tôt. Il faut donc se souvenir qu'on ne peut pas, on ne doit jamais faire d'impasse quant à la sûreté nucléaire, la responsabilité de toutes les parties prenantes étant engagée. Des événements naturels associés au dérèglement climatique, leur recrudescence en intensité et en fréquence, ainsi que l'utilisation d'installations nucléaires comme élément de stratégie militaire constituent des risques potentiels nouveaux pour le nucléaire, à anticiper.

Si la sûreté des installations nucléaires a longtemps été considérée comme suffisante pour permettre d'éviter les accidents nucléaires et donc le risque d'exposition accidentelle aux rayonnements ionisants, la radioprotection post-accidentelle, souvent négligée, a pris toute sa place à la suite des accidents de Tchernobyl et Fukushima (ICRP, 2020 ; CODIRPA, 2022).

On sait aujourd'hui que le risque zéro n'existe pas. La radioprotection des travailleurs, des populations et de l'environnement à la suite d'un accident nucléaire est ainsi devenue un sujet essentiel dont les conséquences sanitaires, psychologiques et sociétales sont majeures : il ne faut pas l'oublier. Les conséquences sanitaires ont été plus graves à Tchernobyl (notamment avec environ 7000 cancers de la thyroïde d'enfants) qu'à Fukushima, car le terme source de la dispersion de radioactivité dans l'environnement y a été environ 10 fois plus élevé (Steinhauser *et al.*, 2014). *Radioprotection* a largement contribué à l'étude des questions posées par ces accidents nucléaires avec la publication d'un grand nombre d'articles depuis 2011, traitant des conséquences des accidents de Tchernobyl (12 articles) et de Fukushima (42 articles), et de la préparation et de la réponse à l'urgence nucléaire (102 articles, notamment de la plateforme européenne de recherche Neris et des projets de recherche Prepare et Confidence). La revitalisation des territoires affectés constitue un point commun fort entre les deux accidents. La résilience de la population passe par des dialogues (Lochard *et al.*, 2019), un processus de co-expertise des populations locales avec les experts institutionnels (Thu Zar *et al.*, 2022), la mobilisation des populations pour des mesures de radioactivité (Hériard Dubreuil *et al.*, 1999), la demande des citoyens avides de savoir et comprendre (Thu Zar *et al.*, 2025), et enfin l'implication des jeunes générations (Ando *et al.*, 2024). Les travaux menés par toutes les parties prenantes se poursuivent aujourd'hui et pour longtemps encore.

À l'occasion de leurs anniversaires, il est important de se souvenir des conséquences majeures en radioprotection des accidents de Tchernobyl et de Fukushima. Toutes les parties prenantes doivent s'engager à continuer de soutenir les populations affectées de façon durable et d'approfondir les études permettant de mieux comprendre les conséquences des accidents.

Chernobyl, April 26, 1986, Fukushima, March 11, 2011: two nuclear disasters that must be remembered !

The nuclear accidents at Chernobyl and Fukushima occurred 40 and 15 years ago, respectively. However, their anniversaries remain landmarks, warning signs for the future, as nuclear power generation is not without risk. It is all the more our duty to remember that nuclear power is experiencing a revival around the world with the extension of the life of power plants, the construction of new reactors, and the advent of small modular reactors. This revival is driven by an increase in energy needs, particularly those of digital data storage platforms and the development of artificial intelligence, and by the need to decarbonize energy production.

The proper functioning of nuclear facilities depends first and foremost on the safety of the facilities. While manufacturers do their utmost to ensure that equipment function properly in all circumstances, with defense in depth, safety authorities are there to monitor and verify that the measures taken are adequate for the challenges involved. These requirements must be pushed to their highest level. Indeed, the accidents at Chernobyl and Fukushima occurred because latent vulnerabilities existed. The etiological model of accidents known as the Swiss Cheese Model, developed by James Reason (1995), has provided a clear understanding of the role of human error and the combination of failures in order to anticipate risky situations :

- the explosion of reactor No. 4 at the Chernobyl power plant on April 26, 1986, was followed by a 10-day fire in its graphite moderator, leading to the release of a huge radioactive cloud into the atmosphere and the contamination of much of Europe (UNSCEAR, 2008). These events occurred during tests, with this unstable RBMK reactor undergoing cooling, by poorly qualified teams and outside of planning ;
- on March 11, 2011, an earthquake measuring 9.0 on the Richter scale, 80 km east of the Japanese island of Honshu, cut off the external power supply to the Fukushima Daiichi nuclear power plant. The safety systems worked properly and automatically shut down the three boiling water reactors in operation. However, the tsunami that followed 45 minutes later destroyed the seawater intakes, and flooded the cooling systems and emergency diesel generators (with the exception of one), inevitably leading to the meltdown of the cores of the three reactors. Radioactive releases into the environment that were necessary to reduce the pressure in the facilities, occurred as a result of the destruction of the superstructures of the three reactor buildings by secondary hydrogen explosions. Most of these radioactive releases were timed to coincide with winds blowing toward the Pacific Ocean (IRS, 2012; UNSCEAR, 2013).

While these two major accidents are very different, the decisive factors that led to their occurrence were the instability of the RBMK reactor in Chernobyl and the failures of its operators, whereas in Fukushima it was the construction of four of the six reactors at an insufficient height above sea level, despite the fact that a tsunami of similar magnitude had struck the east coast of Japan a century earlier. It is therefore important to remember that nuclear safety cannot and must never be compromised. It is an essential responsibility of all stakeholders. Natural events associated with climate change, which are increasing in intensity and frequency, as well as the use of nuclear installations as strategic elements for military purposes, pose new potential risks for nuclear power that must be anticipated.

While safety measures have long been considered sufficient to prevent nuclear accidents and thus the risk of accidental exposure to ionizing radiation, post-accident radiation protection, which is often overlooked, has taken center stage following the Chernobyl and Fukushima accidents (ICRP, 2020; CODIRPA, 2022).

We now know that there is no such thing as zero risk, and radiation protection for workers, populations, and the environment following a nuclear accident has thus become an essential issue with major health, psychological, and societal consequences: this must not be forgotten. The health consequences were more significant in Chernobyl (particularly with regard to the approximately 7000 cases of thyroid cancer in children) than in Fukushima, as the source term for the dispersion of radioactivity in the environment was approximately 10 times higher (Steinhauser *et al.*, 2014). *Radioprotection* has contributed significantly to the study of the issues raised by these nuclear accidents with the publication of a large number of articles since 2011, dealing with the consequences of the Chernobyl (12 articles) and Fukushima (42 articles) accidents, and nuclear emergency preparedness and response (102 articles, notably from the European research platform Neris, and the research projects Prepare and Confidence). The revitalization of affected areas is a key commonality between the two accidents. The resilience of the population depends on dialogue (Lochard *et al.*, 2019), a process of co-expertise between local populations and institutional experts (Thu Zar *et al.*, 2022), the mobilization of populations for radioactivity measurements (Dubreuil *et al.*, 1999), the demand from citizens eager to know and understand (Thu Zar *et al.*, 2025), and the involvement of younger generations (Ando *et al.*, 2024). The work carried out by all stakeholders continues today and will continue for a long time to come.

On the anniversaries of the Chernobyl and Fukushima accidents, we must remember their major consequences in terms of radiation protection. It is an essential responsibility of all stakeholders to continue to provide long-term support to the affected populations and to further research to better understand the consequences of the accidents.

Michel Bourguignon, Jean-Marc Bertho
édacteurs en chef, Valérie Chambrette
directrice SFRP

Références

- Ando R, Lochard J, Schneider T, Akimoto N, Sasaki D, Iseki K. 2024. Young generations facing post-nuclear accident situations: From Chernobyl to Fukushima. *Radioprotection* 59(4): 261–269.
- CODIRPA. 2022. Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire ou d'une situation d'urgence radiologique. Conséquences sanitaires d'un accident nucléaire. Questions-réponses pour les professionnels de santé. Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Disponible sur : <https://reglementation-contrôle.asnr.fr/publications/2022/CODIRPA-Consequences-sanitaires-accident-nucleaire/>.
- Dubreuil GH, Lochard J, Girard P, Guyonnet JF, Le Cardinal G, Lepicard S, Livolsi P, Monroy M, Ollagnon H, Pena-Vega A, Pupin V, Rigby J, Rolevitch I, Schneider T. 1999. Chernobyl post-accident management: The ETHOS project. *Health Phys.* 77: 361–372.
- ICRP. 2020. Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident. ICRP Publication 146. *Ann. ICRP* 49 (4).
- IRSN. 2012. Accident de Fukushima Daïchi (Japon, 2011). Disponible sur : <https://recherche-expertise.asnr.fr/savoir-comprendre/crise/impact-seisme-tsunami-sur-centrale-nucleaire-fukushima-daiichi>.
- Lochard J, Schneider T, Ando R, Niwa O, Clement C, Lecomte JF, Tada JI. 2019. An overview of the dialogue meetings initiated by ICRP in Japan after the Fukushima accident. *Radioprotection* 54(2): 87–101.
- Reason J. 1995. A systems approach to organizational error. *Ergonomics* 38(8): 1708–1721.
- Reason J. 2008. *The human contribution – Unsafe acts, accidents and heroic recoveries* (R.-U. Farnham, Ed.). Ashgate Publishing.
- Steinhauser G, Brandl A, Johnson TE. 2014. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Sci Total Environ* 470-471: 800–817.
- Thu Zar W, Lochard J, Taira Y, Takamura N, Orita M, Matsunaga H. 2022. Risk communication in the recovery phase after a nuclear accident: The contribution of the “co-expertise process”. *Radioprotection* 57(4): 281–288.
- Thu Zar W, Hande V, Orita M, Matsunaga H, Lochard J, Schneider T, Takamura N. 2025. Concerns and knowledge-seeking behavior among futaba residents after the Fukushima nuclear disaster: Insights from qualitative and quantitative analyses. *Radioprotection* 60(4): 344–353.
- UNSCEAR. 2008. Report to the General Assembly with scientific annexes. Disponible sur : http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_D.pdf.
- UNSCEAR. 2013. United Nation Scientific Committee on the effects on atomic radiation, report to the general assembly, vol. 1, annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great est-japan earthquake and tsunami, 2013. Disponible sur : https://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf.



Please help to maintain this journal in open access!

This journal is currently published in open access under the Subscribe to Open model (S2O). We are thankful to our subscribers and supporters for making it possible to publish this journal in open access in the current year, free of charge for authors and readers.

Check with your library that it subscribes to the journal, or consider making a personal donation to the S2O programme by contacting subscribers@edpsciences.org.

More information, including a list of supporters and financial transparency reports, is available at <https://edpsciences.org/en/subscribe-to-open-s2o>.