

## LES RISQUES SANITAIRES ASSOCIÉS AU DÉMANTÈLEMENT DES CENTRALES NUCLÉAIRES

**Didier CHAMPION**

EDF – Direction des Projets Déconstruction et Déchets (DP2D)  
20 place de la Défense 92050 PARIS-LA-DEFENSE

### 1. **Vue d'ensemble du programme de démantèlement des centrales nucléaires d'EDF**

Actuellement, 11 réacteurs nucléaires sont à l'arrêt, les derniers en date étant ceux du site de Fessenheim, et sont engagés dans un processus de démantèlement encadré par la réglementation (code de l'environnement). Il s'y ajoute 2 installations nucléaires connexes qui étaient en appui du parc nucléaire en exploitation : l'Atelier des Matériaux Irradiés sur le site EDF de Chinon et la Base Chaude Opérationnelle du Tricastin.

9 de ces réacteurs arrêtés sont qualifiés de « première génération » ; il s'agit de réacteurs ayant précédé le parc nucléaire actuel. Ces réacteurs ont la particularité d'appartenir à des filières technologiques différentes :

- six réacteurs « uranium naturel – graphite – gaz » (UNGG) répartis sur 3 sites (3 réacteurs sur le site de Chinon, 2 sur le site de St-Laurent et 1 sur le site du Bugey). L'arrêt définitif de ces réacteurs est intervenu entre 1973 (Chinon A1) et 1994 (Bugey 1) ;
- un réacteur à eau lourde, sur le site de Brennilis, mis en service en 1967 et arrêté en 1985 ;
- un réacteur à eau pressurisée (REP), précurseur des réacteurs du parc nucléaire actuel, mis en service en 1967 sur le site de Chooz A et arrêté en 1991 ;
- un réacteur à neutron rapide (Superphénix, sur le site de Creys-Malville), mis à l'arrêt en 1997.

Au moment de la conception de ces réacteurs, la priorité avait été accordée à la sûreté en fonctionnement, avec un design robuste mais non conçu pour en permettre facilement le démantèlement. C'est particulièrement le cas des réacteurs UNGG, constitués d'un caisson en béton armé de forte épaisseur (plusieurs mètres) et de grande dimension (plusieurs dizaines de mètres de haut), contenant un empilement de briques de graphite devenues radioactives durant la période de fonctionnement du réacteur et d'accessibilité difficile. Il en découle des programmes de démantèlement de longue durée (plusieurs décennies), nécessitant le développement et la qualification de procédés techniques spécifiques dont la mise en œuvre doit garantir la sûreté des opérations et la maîtrise des risques pour les travailleurs et pour l'environnement.

Pour le démantèlement futur des réacteurs du parc nucléaire actuel, tous de technologie identique (filière REP), EDF a mis en place un projet visant à concevoir un démantèlement optimisé et reproductible, dont le premier cas d'application sera le démantèlement des 2 réacteurs du site de Fessenheim. A la différence des réacteurs de première génération pour lesquels il s'est écoulé une à plusieurs décennies entre l'arrêt définitif et le démarrage du démantèlement de l'îlot nucléaire, le démantèlement des 2 réacteurs de Fessenheim va s'engager dans la continuité de la mise à l'arrêt.

En attendant l'obtention du décret de démantèlement, à l'horizon de 2025, EDF a engagé les opérations préparatoires au démantèlement de ces deux réacteurs, qui vont permettre de réduire très significativement les risques pour les personnes et l'environnement.

## **2. Des risques et des enjeux de protection qui évoluent fortement par rapport à la période de fonctionnement des réacteurs**

Un réacteur en fonctionnement présente des risques d'accident liés à la présence de combustible nucléaire et d'une réaction nucléaire entretenue pour fournir l'énergie nécessaire à la production d'électricité. Il en découle une forte exigence de sûreté pour prévenir ces risques, reposant sur 4 fonctions de sûreté fondamentales :

- la maîtrise des réactions nucléaires en chaîne. Un défaut de maîtrise de cette fonction peut entraîner un accident de réactivité aux effets destructeurs, comme cela s'est produit lors de la catastrophe de Tchernobyl de 1986 ;
- l'évacuation de la puissance thermique issue des substances radioactives et des réactions nucléaires. Un défaut de maîtrise de cette fonction peut entraîner la dégradation du combustible, voire la fusion du cœur du réacteur, comme cela s'est produit en 2011 pour 3 réacteurs de la centrale de Fukushima Daishi suite à la destruction de la source de refroidissement par le tsunami ;
- le confinement des substances radioactives présentes dans l'installation, afin de prévenir les risques de contamination radioactive dans les installations et dans l'environnement ;
- la protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants émis par les substances radioactives.

Lors de la période préparatoire au démantèlement qui succède à la mise à l'arrêt définitif des deux réacteurs de Fessenheim, le combustible nucléaire est déchargé du cœur, entreposé en piscine puis sera évacué du site à l'horizon 2023. Lorsque cette étape sera franchie, les risques associés à la maîtrise des réactions nucléaires et à l'évacuation de la puissance thermique du combustible auront disparu et les fonctions de sûreté associées n'auront plus de raison d'être.

Durant cette période, il est également prévu l'évacuation de la majeure partie des déchets et effluents liquides produits durant la phase de fonctionnement, la vidange des circuits, ainsi que la décontamination chimique du circuit primaire principal et d'une partie de certains circuits connectés, ce qui permettra notamment d'optimiser la radioprotection du personnel intervenant en phase de démantèlement.

L'ensemble de ces opérations conduira à retirer plus de 99,9% de la radioactivité initialement présente au moment de l'arrêt des réacteurs, ayant pour conséquence de réduire très significativement les risques pour la santé des personnes et l'environnement :

- durant la phase de démantèlement, il n'y a plus de risque d'accident nécessitant des actions de protection d'urgence de la population ;
- la production d'effluents liquides ou rejetés à l'atmosphère est réduite, comparée à la phase de fonctionnement.

Au final, les risques subsistants sont internes, dans les installations, et concernent donc les personnes qui y travaillent. Il s'agit principalement de risques conventionnels inhérents à toute activité de chantier de grande ampleur : travail en hauteur, manutention de charges, risque électrique, utilisation de machines et d'outillages. Le risque radiologique subsiste pour les travailleurs, puisque les opérations vont consister à extraire les substances radioactives résiduelles dans les installations et ainsi se « rapprocher » des sources d'exposition. Un autre risque fréquemment observé lors de ces opérations est lié à la présence d'amiante sous diverses formes.

Une particularité de la phase de démantèlement est la production de grandes quantités de déchets. S'agissant des 2 réacteurs de Fessenheim, la très grande majorité de ces déchets (95%) seront des déchets conventionnels constitués de gravats de béton et de ferrailles qui pourront être utilisés en remblai (pour les gravats) ou valorisés. Concernant les déchets radioactifs ou susceptibles de l'être (5% du volume global), près de 60% seront des déchets

de très faible activité (TFA) destinés soit à être valorisés (pour les composants métalliques, après un traitement adapté et suivant les évolutions réglementaires en préparation), soit à être stockés au centre de stockage des déchets TFA (CIREs) de l'Andra. Le reste est constitué de déchets de faible ou moyenne activité (FMA), principalement à vie courte (envoyés au Centre de Stockage de l'Aube de l'Andra). Les déchets FMA à vie longue, tels que certaines parties de la cuve du réacteur et ses équipements internes (devenus radioactifs sous le flux de neutrons générés par le cœur), ne représentent qu'environ 2% du volume des déchets radioactifs ; ils seront conditionnés et entreposés dans une installation dédiée (ICEDA) exploitée par EDF sur le site du Bugey, en attendant leur envoi au centre de stockage géologique profond (CIGEO) de l'Andra. Compte tenu des modalités de gestion appliquées, ces déchets ne présentent aucun risque pour le public et l'environnement ; en revanche, ils peuvent entraîner une exposition aux rayonnements ionisants des travailleurs participant à leur manutention et leur conditionnement.

### **3. Un enjeu important en phase de démantèlement : la maîtrise du risque d'exposition interne aux radionucléides émetteurs alpha**

De par sa nature même, le démantèlement des réacteurs nucléaires peut amener les travailleurs à aller « au plus près » des équipements et matériaux pour les retirer, les conditionner puis les évacuer du site. Ces opérations peuvent entraîner un risque d'exposition aux substances radioactives, en particulier les radionucléides émetteurs alpha.

Même si la grande majorité des substances radioactives héritées de la période de fonctionnement du réacteur a été retirée lors de la phase préparatoire au démantèlement, il en subsiste durant la période de démantèlement principalement sous deux formes :

- une contamination surfacique déposée dans les circuits, capacités ou locaux, constituée de produits de corrosion activés lors de leur transit dans le cœur (cobalt 60, nickel 63...) ou de produits de fission (notamment le césium 137) et de radionucléides émetteurs alpha (plutonium, américium...) libérés suite à la dégradation de gaines de combustible ;
- des matériaux activés dans leur masse, sous le flux de neutrons émis par le cœur (principalement dans la cuve et ses équipements internes).

Lors de la conception des opérations de démantèlement, un inventaire radiologique est établi afin de choisir des procédés et des moyens de protection conduisant à réduire les doses reçues par les intervenants à un niveau aussi bas que raisonnablement possible (démarche ALARA). Cette approche a par exemple conduit à choisir des solutions de découpe à distance pour retirer les éléments internes de la cuve du réacteur de Chooz A, mises en œuvre sous eau pour réduire le niveau d'irradiation et le risque de dispersion de poussières radioactives.

Cette démarche d'optimisation permet de maintenir l'exposition externe des travailleurs aux rayonnements ionisants ambiants à un niveau particulièrement faible pour l'ensemble des installations d'EDF en cours de démantèlement. A titre d'illustration, pour le site de Chooz A en démantèlement, présentant les niveaux de dose les plus élevés, la dosimétrie collective réalisée en 2019 a été de 60 H.mSv et la dose individuelle la plus élevée (cumul sur l'année) a été de 3,8 mSv ; en comparaison, dans les centrales nucléaires en fonctionnement en 2019, la dose collective moyenne par réacteur a été de 740 H.mSv et 151 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 10 mSv (cumul sur l'année) pour l'ensemble du parc nucléaire de production électrique, sans toutefois dépasser la limite réglementaire (20 mSv).

Si l'exposition externe est bien maîtrisée pour les installations en démantèlement, la gestion du risque de contamination interne par des radionucléides émetteurs alpha est plus complexe. Ce risque est présent sur 2 sites UNGG (Bugey 1 et St-Laurent A), le site REP de Chooz A, ainsi qu'à l'Atelier des Matériaux Irradiés de Chinon. Par rapport au risque de contamination par des radionucléides émetteurs bêta/gamma, pouvant être rencontrés dans les centrales nucléaires en fonctionnement, le risque alpha est plus complexe à maîtriser :

- compte tenu de leur radiotoxicité plus élevée, une très faible activité incorporée peut entraîner une dose engagée significative. Ainsi, il suffit d'inhaler 370 Bq d'américium 241 (soit une masse de 2,9 ng) pour recevoir une dose efficace engagée de 10 mSv (la moitié de la limite réglementaire annuelle pour les travailleurs) ; pour obtenir la même dose, il faut inhaler 1,5 millions de Bq de césium 137 (émetteur  $\beta/\gamma$ ) ;
- la surveillance de l'exposition individuelle des travailleurs est plus complexe et ne permet pas une gestion en temps réel des cas de contamination interne. En effet, à la différence des émetteurs  $\beta/\gamma$  dont la surveillance peut être fait par anthroporadiométrie dans les services médicaux des sites, avec des résultats obtenus immédiatement, la surveillance individuelle de l'exposition interne alpha nécessite des prélèvements périodiques de selles envoyés pour analyse dans un laboratoire d'analyse radiotoxicologique agréé, avec un retour des résultats qui peut intervenir jusqu'à plusieurs mois après le prélèvement.

Ces spécificités expliquent pourquoi un chantier à risque alpha nécessite des moyens de protection collective (ex. sas de chantier en dépression dynamique) et individuelle (port d'un appareil de protection des voies respiratoires adapté au niveau de contamination ambiante) particulièrement efficaces et rigoureusement respectées. Malgré cela, plusieurs cas de contamination interne alpha sont détectés chaque année sur les sites en démantèlement mentionnés plus haut, pouvant conduire à suspendre un chantier le temps de mener les investigations nécessaires et mettre en place des parades adaptées. Les causes de ces contaminations peuvent être multiples : protection insuffisante ou inadaptée lors de certaines phases d'activité (par exemple lors de l'installation d'un chantier ou la manipulation de sacs de déchets), mauvais port des équipements de protection individuelle (EPI), contamination lors du retrait des EPI en sortie de chantier...

Même si le nombre de travailleurs exposés à ce risque est plus faible que pour l'exposition externe, EDF y prête une attention particulière compte tenu des enjeux de radioprotection individuelle. A titre d'illustration, en 2019, la dose individuelle engagée la plus élevée, due à une contamination interne alpha, a été de 3,2 mSv (pour un travailleur de Chooz A), c'est-à-dire pratiquement au même niveau que la dose externe la plus élevée reçue sur ce même site (3,8 mSv) ; mais à la différence de l'exposition externe pour laquelle la dose reçue est un cumul d'une succession d'expositions sur l'année, la dose reçue par contamination interne alpha résulte d'un unique événement de contamination. On comprend alors l'importance de prévenir la répétition de tels événements de contamination pour une même personne.

#### **4. Conclusions**

Grâce au retrait de la majeure partie des substances radioactives ou dangereuses lors des opérations préparatoires au démantèlement, il n'y a plus, durant la phase de démantèlement d'un réacteur nucléaire, de risque d'accident susceptible d'affecter les populations et l'environnement. Les enjeux de prévention portent alors principalement sur les travailleurs intervenant dans les chantiers de démantèlement, à la fois vis-à-vis des risques classiques inhérents à tous travaux de grande ampleur et du fait que les opérations menées pour le démantèlement conduisent à aller « au plus près » des sources potentielles de danger.

Ainsi, le retour d'expérience d'EDF sur les chantiers de démantèlement en cours montre que le risque d'exposition externe aux sources de rayonnements ionisants est bien maîtrisé, avec des doses individuelles et collectives plutôt faibles, et que les principaux enjeux de protection concernent le risque de contamination interne par des radionucléides émetteurs alpha, auquel s'ajoute le risque lié à la présence d'amiante. Pour ces deux risques, une vigilance accrue s'impose et des améliorations en matière de prévention sont engagées par EDF, en relation étroite avec les autres exploitants nucléaires ayant des installations en démantèlement (CEA et Orano), confrontés à des problématiques similaires.