

LES RISQUES SANITAIRES ASSOCIÉS AU DÉMANTÈLEMENT DES CENTRALES NUCLÉAIRES FRANÇAISES

Didier Champion

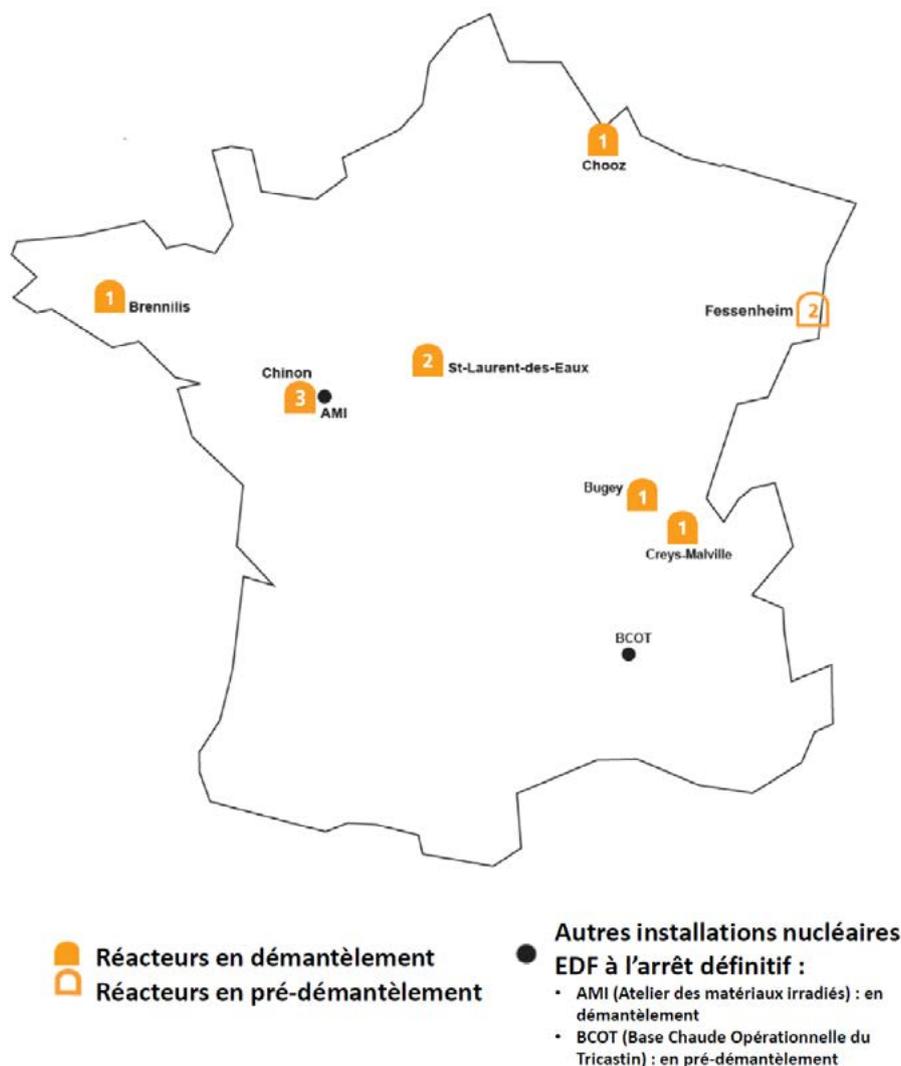
Directeur Sécurité/
Sécurité/Environnement/
Radioprotection à la Direction
des Projets Déconstruction et
Déchets – EDF
didier.champion@edf.fr

Cet article présente une synthèse des risques sanitaires pour le public et les travailleurs associés aux activités de démantèlement des centrales nucléaires d'Électricité de France (EDF). Après un aperçu général du programme de démantèlement en cours et de ses enjeux, une comparaison des risques entre la phase de fonctionnement et la phase de démantèlement d'un réacteur nucléaire est présentée. Enfin, un focus est fait sur deux risques particuliers pour les travailleurs intervenant dans les chantiers de démantèlement : l'exposition aux rayonnements ionisants, tout particulièrement aux radionucléides émetteurs alpha, et les risques liés à l'amiante.

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 (AMI) sur le site EDF de Chinon et la Base Chaude Opérationnelle du Tricastin (BCOT).

Figure 1. Implantation des réacteurs et autres installations nucléaires d'EDF en démantèlement ou en pré-démantèlement (avec indication du nombre de réacteurs par site)



Neuf 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 :

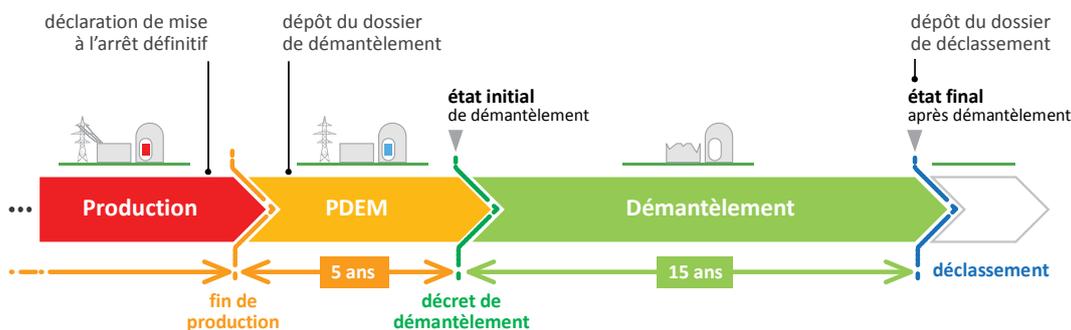
- 6 réacteurs « uranium naturel – graphite – gaz » (UNGG) répartis sur 3 sites (3 réacteurs sur le site de Chinon, 2 sur le site de St-Laurent et 1 sur le site du Bugey) et mis en service entre 1963 (Chinon A1) et 1972 (Bugey 1). L'arrêt définitif de ces réacteurs est intervenu entre 1973 (Chinon A1) 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 en service en 1986, sur la même période que le parc nucléaire actuel, mais arrêté prématurément 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. À 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. D'un point de vue formel, le démarrage des travaux de démantèlement ne pourra se faire qu'après la parution d'un décret établi au terme de l'instruction par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) du dossier de démantèlement fourni par l'exploitant. Ce dossier, qui contient notamment un plan de démantèlement, une étude d'impact environnementale et un rapport de sûreté mis à jour, doit permettre d'apporter la démonstration que les opérations de démantèlement pourront être menées dans des conditions de sûreté et de radioprotection satisfaisantes.

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, comme on va le voir juste après, vont permettre de réduire très significativement les risques pour les personnes et l'environnement. Le démantèlement proprement dit va se dérouler sur 15 ans, suivi d'une étape de déclassé prononcé par l'ASN, d'une durée estimée à un an. Cela représente donc une durée beaucoup plus courte que pour les réacteurs de 1^{re} génération.

Figure 2. Les étapes du démantèlement d'un réacteur à eau pressurisée (ex. de Fessenheim) : de l'arrêt définitif au déclassé du réacteur.



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

Afin de comprendre l'évolution des risques et des enjeux de protection entre un réacteur en fonction et un réacteur arrêté en démantèlement, il convient de souligner le fait qu'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, qui disparaissent en partie en phase de démantèlement. 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 (CPP) 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 pendant la phase de démantèlement 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. Ces deux risques particuliers font l'objet d'un développement dans la dernière partie de cette synthèse.

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 %) sont des déchets conventionnels constitués de gravats de béton et de ferrailles qui peuvent 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 % sont des déchets qualifiés de « très faible activité » (TFA, ayant une activité massique inférieure à une valeur de l'ordre de 100 Bq/g [1]) et sont actuellement destinés à être stockés au centre de stockage des déchets TFA (CIREs) de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra). Le reste est constitué de déchets de faible ou moyenne activité (FMA, ayant une activité massique allant de quelques centaines de Bq/g à une valeur de l'ordre du milliard de Bq/g [1]), principalement à vie courte (envoyés au centre de stockage de l'Aube de l'Andra). Les déchets FMA à vie longue (contenant des radionucléides ayant une période radioactive supérieure à 31 ans), 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 et des exigences de sûreté appliquées, ces déchets ne devraient présenter 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.

Un enjeu important en phase de démantèlement : la maîtrise de l'exposition des travailleurs aux substances radioactives et à l'amiante

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 à certains agents, principalement les substances radioactives et l'amiante.

La maîtrise du risque d'exposition aux substances radioactives

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 du réacteur (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. À 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 (source EDF) ; 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) (source EDF).

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, en appliquant la valeur de dose efficace engagée par unité d'incorporation (DPUI) fournies par [2], 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 (suivant [3]), il faut inhaler près de 1,5 millions de Bq de césium 137 (émetteur β/γ) ;
- 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 β/γ dont la surveillance peut être faite par anthroporadiométrie (appareil de mesure calibré permettant de quantifier l'activité des radionucléides incorporés à partir du rayonnement X ou gamma qu'ils émettent) 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. À 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.

La maîtrise du risque amiante

Les réacteurs d'EDF en cours démantèlement ont été construits puis exploités à une époque où l'amiante étant couramment utilisée dans des applications diverses (matériaux ignifuges, fibrociment, écarteurs de banche, enduits...), qui n'ont généralement pas fait l'objet d'une traçabilité. Cela implique donc des précautions particulières avant d'entreprendre toute opération de retrait d'équipement ou de démolition. Ces démarches préventives sont encadrées par des prescriptions réglementaires très exigeantes. En particulier, EDF doit faire réaliser, par un organisme agréé, un repérage amiante avant travaux ou avant démolition, permettant d'identifier la présence d'amiante et de définir les parades appropriées (désamiantage préalable ou travaux menés sous protocole amiante).

Le retour d'expérience des activités de démantèlement menées dans les installations d'EDF met en lumière deux types de difficultés en lien avec la présence d'amiante :

- EDF s'est trouvée confrontée à la découverte fortuite de fibres d'amiante ou de matériaux contenant alors que les opérations de retrait préalable ou de repérage avant travaux étaient supposées avoir été réalisées dans les règles de l'art. Ces incidents justifient l'effort de tous les instants déployé par EDF pour surveiller les chantiers et détecter d'éventuels écarts. Outre les risques d'exposition qu'elles induisent, de telles situations ont un impact fort sur la conduite des chantiers, avec des suspensions d'activité et des surcoûts importants ;
- divers chantiers à risque amiante se trouvent dans des zones contrôlées au titre de la radioprotection, où peut coexister un risque de contamination radiologique, en particulier par des radionucléides émetteurs alpha. Dans une telle situation, l'obligation de recourir à une décontamination à l'eau en sortie de sas de travail, prescrite par la réglementation amiante, présente des inconvénients au regard de la protection contre les rayonnements ionisants et le risque de contamination radiologique. En effet, pour le risque amiante, l'eau permet de retirer efficacement la contamination par des fibres d'amiante et de réduire le niveau d'empoussièrement dans la zone de travail confinée et dans les sas de déshabillage ; à l'inverse, pour le risque radiologique, l'eau ne permet pas une décontamination efficace des substances radioactives et peut être vecteur de propagation de ces substances, accroissant ainsi le risque de contamination pour les travailleurs. De plus, l'usage de l'eau génère des effluents et des déchets dont la gestion en zone radiologique entraîne une exposition additionnelle des intervenants aux rayonnements ionisants.

Afin de résoudre cette seconde difficulté et d'appliquer une protection optimale des travailleurs exposés au double risque amiante et contamination radiologique, Orano (industrie du cycle du combustible nucléaire), le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) et EDF ont conjointement mis au point un processus alternatif d'habillage (tenue étanche ventilée avec masque filtrant muni d'une adduction d'air) et de déshabillage utilisant un produit surfactant coloré pour fixer les fibres d'amiante, en remplacement de la décontamination à l'aide d'une douche à eau. Ce processus alternatif va faire l'objet de chantiers expérimentaux, sous couvert d'un arrêté de la Direction Générale du Travail du 19 avril 2019, dans des zones nucléaires d'installations en démantèlement du CEA, d'EDF (St-Laurent A) et d'Orano. Si ces essais sont concluants et après validation par la Commission d'Évaluation des Innovations techniques dans le domaine de la détection et du traitement de l'Amiante (CEVALIA), la réglementation relative à l'amiante pourrait évoluer de manière à autoriser la mise en œuvre du processus alternatif proposé par les exploitants, pour les chantiers en milieu nucléaire.

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 et 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.

Références

- [1] ANDRA. Les essentiels - Inventaire national des matières et déchets radioactifs, 2021.
- [2] IRSN et INRS. Fiche Radioprotection ED4308 Américium 241, 2012.
- [3] IRSN et INRS. Fiche Radioprotection ED4319 Césium 137, 2014.