

Fontenay-aux-Roses, le 18 octobre 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00236

Objet : EDF

Stratégie de démantèlement des réacteurs « Uranium Naturel Graphite Gaz »

Réf. [1] Saisine ASN CODEP-DRC-2018-044240 du 17 janvier 2019.
[2] Lettre ASN CODEP-DRC-2016-020360 du 25 juillet 2016.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les éléments transmis par EDF en 2017 et 2018, en réponse à sa lettre citée en seconde référence concernant la nouvelle stratégie retenue par EDF pour démanteler ses six réacteurs de type « uranium naturel graphite gaz » (UNGG). L'ASN demande à l'IRSN d'examiner en particulier les points suivants :

- les enjeux de sûreté jusqu'à l'achèvement du démantèlement, y compris lors du maintien en « configuration sécurisée » des réacteurs durant plusieurs décennies ;
- la pertinence des dispositions d'EDF visant à maîtriser les risques liés au vieillissement des réacteurs ;
- les enjeux de sûreté d'un démantèlement des caissons des réacteurs opéré sous air ;
- le caractère adapté des essais, en inactif, prévus notamment dans le démonstrateur industriel (DI) qui, outre les opérations de démantèlement, doivent également prendre en compte la maintenance de la plateforme ;
- les enjeux de la gestion des déchets radioactifs produits lors du démantèlement des caissons, notamment ceux de graphite ;
- les « *optimisations* » possibles, en termes d'échéancier, de sûreté et de radioprotection.

De l'évaluation des dossiers et compléments transmis par EDF, tenant compte des informations transmises par l'exploitant au cours de l'expertise, l'IRSN retient les points suivants.

1. Contexte

À l'arrêt de production des réacteurs UNGG, survenu entre 1973 et 1994, EDF envisageait un démantèlement différé de leurs caissons et a engagé le démantèlement de certaines parties périphériques. En 2001, EDF a annoncé son intention de ne plus différer le démantèlement des caissons. La stratégie correspondante a été expertisée par l'IRSN et présentée à plusieurs

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre 8 440 546 018

reprises devant les groupes permanents d'experts compétents, la dernière lors de leur réunion du 30 juin 2015.

Fin 2015, EDF a annoncé à l'ASN une modification de cette stratégie et a présenté, en mars 2016, sa nouvelle stratégie lors d'une audition par le collège des commissaires de l'ASN. Durant cette audition, EDF a rappelé les limites du retour d'expérience disponible (deux caissons de taille « modeste » démantelés aux États-Unis et au Royaume Uni) et a indiqué que ses nouvelles orientations font suite :

- aux réponses aux appels d'offres reçues des industriels mi-2015 pour la mise en eau, l'ouverture et le démantèlement des internes du caisson du réacteur Bugey 1, qui soulignent les difficultés à réaliser ces opérations sous eau ;
- aux études détaillées menées entre 2013 et 2015, dont les résultats sont jugés prometteurs pour démanteler, sous air, à distance et en vision indirecte depuis une plateforme, le caisson du réacteur Chinon A2.

À la suite de cette audition, l'ASN a formulé, dans sa lettre [1], des demandes concernant cette nouvelle stratégie ; EDF a répondu à l'ASN par la transmission de dossiers en avril et décembre 2017, puis de compléments en septembre et octobre 2018. Dans ces dossiers, EDF indique retenir désormais le démantèlement sous air de la totalité des caissons des réacteurs UNGG, selon des modalités similaires à celles étudiées pour le réacteur Chinon A2. Ces démantèlements seront précédés d'une mise au point des principales opérations, en inactif, en utilisant la simulation numérique tridimensionnelle (3D) et le maquettage à échelle réelle, notamment dans le DI qu'EDF prévoit de mettre en service en 2022. Cette étape sera suivie par le démantèlement complet du caisson du réacteur Chinon A2. Après l'achèvement de ce démantèlement (vers 2055), afin de bénéficier de son retour d'expérience, EDF débutera le démantèlement des autres caissons. Cela conduira à une fin du démantèlement du dernier réacteur (Saint Laurent A1) aux alentours de 2100.

Ainsi, la nouvelle stratégie se fonde notamment sur le retour d'expérience des essais réalisés dans le DI et celui des travaux de démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2. Selon EDF, ceci limitera les risques industriels pour les démantèlements suivants. En outre, si ce retour d'expérience est favorable, EDF n'exclut pas d'anticiper les échéances d'enclenchement du démantèlement des caissons suivants.

Dans l'attente de leur démantèlement, les réacteurs autres que Chinon A2 (Chinon A1 et A3, Bugey 1 et Saint Laurent A1 et A2) seront mis en configuration sécurisée d'ici 2035. Cette phase consiste à terminer le démantèlement de tous les matériels implantés hors du caisson, à assainir les locaux puis à démolir partiellement ou totalement les bâtiments accolés à celui du caisson ; seul ce dernier avec ses systèmes de ventilation et de traitement de l'air devrait subsister. EDF prévoit également que l'ensemble des déchets « historiques » actuellement présents sur les sites soient traités et conditionnés afin d'être pris en charge par l'ANDRA ou, à défaut, regroupés dans de nouvelles installations d'entreposage. Le moment venu, les démantèlements de ces caissons se dérouleront indépendamment les uns des autres, leur enclenchement s'articulant selon les travaux préparatoires à mener sur chacun des sites.

Enfin, EDF déconnecte désormais la reprise du contenu des silos de Saint Laurent du démantèlement des caissons des réacteurs UNGG et prévoit ainsi son achèvement avant 2035.

En parallèle des processus techniques de conception, de construction, d'essais et de mise en service des moyens nécessaires pour mener toutes les opérations, la nouvelle stratégie nécessite également la modification substantielle ou l'obtention d'un décret de démantèlement pour les réacteurs UNGG et les silos.

2. Nouvelle stratégie et optimisations possibles

La nouvelle stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG modifie significativement le calendrier d'ensemble des opérations associées et conduit à en envisager la fin environ un demi-siècle plus tard que précédemment. Ce calendrier s'appuie sur des durées de démantèlement (quasi-doublées) de chacun des caissons, néanmoins probablement plus réalistes que celles sur lesquelles était bâtie la stratégie précédente, les dernières études amenant un éclairage supplémentaire sur la complexité des opérations à réaliser.

En outre, comme indiqué précédemment, ce calendrier intègre des simulations 3D et des essais dans le DI en amont du démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2 et un démantèlement complet de ce dernier avant que ne débute le démantèlement des autres caissons. Ces choix contribuent également à allonger la durée totale du programme. À ce sujet, l'IRSN souligne qu'en cas d'aléa important lors du démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2, des glissements du calendrier d'ensemble sont probables. En revanche, si les essais dans le DI et les premiers travaux de démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2 sont favorables, EDF envisage d'anticiper le démantèlement des autres caissons, **ce qui est satisfaisant. En tout état de cause, l'IRSN considère qu'une des voies d'optimisation du calendrier présenté consiste à ne pas attendre la finalisation du démantèlement du réacteur Chinon A2 avant d'initier les suivants ; ce point est intégré à la recommandation n° 1 formulée en annexe 1 au présent avis.**

Par ailleurs, la nouvelle stratégie conduit à décaler de plusieurs décennies le démantèlement des caissons et à mettre en configuration sécurisée les caissons des réacteurs UNGG autres que Chinon A2, pour une durée variant de 20 à 40 ans environ selon le réacteur considéré. Or, l'inventaire radiologique est très majoritairement localisé dans les caissons des réacteurs. Ce changement de stratégie conduit à devoir maintenir dans un état sûr, sur plusieurs décennies, des installations construites il y a plus de 50 ans. **Le maintien dans un état sûr durant d'aussi longues durées constitue une situation singulière et soulève de réels enjeux techniques.**

En tout état de cause, afin d'éviter de nouveaux retards dans le déroulement des démantèlements, l'IRSN considère qu'EDF devra présenter à l'ASN un état d'avancement, selon une périodicité à définir, de la mise en œuvre de la stratégie au regard du calendrier établi, fondé sur les enseignements des actions réalisées ; dans ce cadre, EDF devra justifier le calendrier détaillé des actions à venir pour chaque réacteur, en cohérence avec l'échéancier global et identifier, le moment venu, les étapes du démantèlement des réacteurs pouvant être anticipées. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 formulée en annexe 1 au présent avis.

Par ailleurs, la collecte, la conservation, l'accès et le partage des données et des informations acquises lors de la conception, de la construction et du fonctionnement d'une installation (incluant ses modifications), ainsi que leur enrichissement durant son démantèlement, constituent des enjeux importants pour le bon déroulement des chantiers de démantèlement. À cet égard, EDF a débuté le développement de référentiels numériques pour chacun des réacteurs UNGG. À terme, ces référentiels associeront des données et des informations structurées à une représentation des installations (notamment en 3D). En outre, EDF attribue des exigences fortes à la fiabilité et à la pérennité de ces données et informations. **L'IRSN considère satisfaisante la création de tels référentiels numériques qui contribueront à répondre aux enjeux précités.**

3. Enjeux de sûreté jusqu'à l'achèvement du démantèlement

Ce chapitre est dédié aux enjeux de sûreté jusqu'à l'achèvement des démantèlements, ainsi qu'à la maîtrise des risques associés, y compris ceux liés au vieillissement des réacteurs. **Compte tenu de l'importance des études dans la constitution des dossiers de démantèlement dont la transmission est prévue en 2022, l'IRSN considère qu'EDF devra présenter à l'ASN un point d'avancement annuel des études menées dans ce cadre ; ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 formulée en annexe 1 au présent avis.**

Démonstrations de sûreté et conséquences des accidents radiologiques

Compte tenu des échéances annoncées par EDF pour le démantèlement des réacteurs UNGG, une demande de modification du décret existant puis plusieurs réexamens périodiques de sûreté se dérouleront pour chacune des installations avant son déclassement. **Pour ces échéances, l'IRSN considère que les objectifs de sûreté à satisfaire sont équivalents à ceux définis pour des installations en fonctionnement, en particulier pour les réacteurs maintenus en configuration sécurisée ; ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 formulée en annexe 1 au présent avis.** Nonobstant, le traitement des éventuels écarts aux pratiques ou à l'état de l'art pourra être adapté aux enjeux de sûreté et au contexte du démantèlement.

De manière générale, EDF retient que les conséquences d'une situation incidentelle ou accidentelle affectant les réacteurs UNGG doivent être aussi faibles que possible, dans des conditions économiquement acceptables, et que les conséquences doivent être d'autant plus faibles que la fréquence d'occurrence de l'évènement considéré est élevée.

EDF associe le court terme au passage du panache des rejets atmosphériques et à la mise en œuvre éventuelle de mesures de protection des populations en situation d'urgence radiologique, cela pour une durée de quelques heures à quelques jours. L'impact radiologique est évalué, par convention, à 500 m du point de rejet. Dans le cas des installations en démantèlement, EDF considère que, compte tenu du plus faible potentiel de danger radiologique, un retour rapide à une situation de normalité radiologique est visé ; l'impact radiologique est évalué par EDF à moyen terme, par convention, à 2000 m du point de rejet. Ainsi, EDF vérifie que la somme des doses efficaces reçues par la population cible, du fait de l'accident, reste du même ordre de grandeur que la valeur maximale mentionnée par le code de la santé publique pour la somme des doses efficaces reçues par toute personne du public, du fait des activités nucléaires (1 mSv/an). La phase à moyen terme, qui débute à la fin de la phase à court terme, a une durée qui varie entre quelques mois et quelques années, selon l'accident considéré.

L'IRSN rappelle que l'analyse de sûreté des réacteurs UNGG doit être fondée sur le principe de défense en profondeur, graduée en fonction des enjeux de sûreté et adaptée à chaque installation, et non sur un niveau préétabli de conséquences radiologiques. En tout état de cause, **l'acceptabilité du niveau de protection des intérêts mentionné à l'article L593-1 du code de l'environnement sera examinée, au cas par cas, dans le cadre de l'expertise des dossiers de démantèlement des différents réacteurs qui devront prendre en compte la recommandation n° 4 formulée en annexe 1 au présent avis.**

Situations accidentelles pouvant affecter les caissons

Les principales situations accidentelles pouvant affecter les caissons sont :

- une perte de stabilité structurelle d'ensemble du caisson, lors d'un séisme, et son basculement sous les effets de son accélération et des chocs occasionnés par les structures internes et périphériques ;

- une rupture brutale des structures métalliques internes maintenant l'empilement (à la suite ou non d'un séisme), qui pourrait conduire à un effondrement de ce dernier avec la survenance d'une déflagration de poussières de graphite ;
- une pénétration d'un volume important d'eau à l'intérieur du caisson à la suite d'une inondation d'origine externe, due à une crue fluviale ou une remontée de la nappe d'accompagnement du fleuve.

Concernant les deux premières, EDF a réalisé de nouvelles études de comportement mécanique des structures en cas de séisme dans le cadre des derniers réexamens de sûreté des réacteurs UNGG. Ces études concernent les ouvrages de génie civil et les charpentes métalliques des réacteurs des sites du Bugey et de Chinon. Pour les réacteurs Chinon A1 et A2, les études concernent également les aires supports et les caissons métalliques.

L'IRSN relève que, par rapport au dossier expertisé en 2015, les études des ouvrages de génie civil et des charpentes métalliques sont davantage fidèles à la réalité des installations. En revanche, les spectres de sol retenus par EDF pour chacun des sites combinent les spectres de séisme minimal forfaitaire (SMF), de séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) et de séisme majoré de sécurité (SMS) établis pour la troisième visite décennale des réacteurs à eau sous pression (REP) du palier 900 MWe (VD3 900), et non ceux établis pour la quatrième visite décennale de ces réacteurs (VD4 900). De plus, EDF reconduit à l'identique les lois de comportement mécanique des plots d'appui en élastomère du caisson du réacteur Bugey 1, hypothèse qui nécessite d'être confirmée sur la base de l'ensemble des résultats des investigations actuellement en cours.

L'IRSN considère que ces investigations doivent permettre de diagnostiquer, avec un haut niveau de confiance, l'état général des plots d'appui en élastomère interposés entre le caisson et les piliers et ainsi, de justifier les lois de comportement mécanique de ces plots. Ceci permettra de vérifier que la stabilité du caisson du réacteur Bugey 1 est assurée, y compris en cas de séisme de niveau SMS. Dans le cas contraire, **l'IRSN considère qu'il serait alors nécessaire qu'EDF procède à leur remplacement ou propose une solution alternative ; ce point fait l'objet de la recommandation n° 5 formulée en annexe 1 au présent avis.** S'agissant des réacteurs Saint Laurent A1 et A2, les remarques formulées à l'issue de l'expertise de l'IRSN de 2015 restent d'actualité.

Par ailleurs, EDF a mené, ces dernières années, des investigations, notamment en entrant dans les caissons des réacteurs Bugey 1 et Saint Laurent A1 et A2, qui ont permis d'améliorer significativement la connaissance de l'état de leurs aires supports. Elles ont aussi permis d'alimenter, avec des hypothèses réalistes, les études de comportement mécanique des structures internes supportant les empilements. L'IRSN rappelle que ces études présentent toutefois certaines limites liées à l'impossibilité d'inspecter l'état d'organes « sensibles » pour la tenue d'ensemble de ces structures (pions ou boulons), comme cela a déjà été souligné lors de ses expertises de 2013 et 2016. De telles investigations n'ont pas encore été menées pour les aires supports des réacteurs du site de Chinon, en raison des difficultés d'accès. **L'IRSN note que des inspections télévisuelles à l'intérieur des caissons ont néanmoins eu lieu ou sont programmées dans les années à venir.**

S'agissant de l'éventualité d'une rupture brutale des structures métalliques internes assurant le supportage d'un empilement qui conduirait à un effondrement de tout ou partie de l'empilement avec la survenance d'une déflagration de poussières de graphite, **l'IRSN considère que les investigations menées par EDF depuis le début des années 2000 tendent à montrer qu'un tel scénario est très peu probable, sans toutefois pouvoir l'exclure totalement.** En cas d'occurrence d'un tel scénario, la gestion de la situation relèverait du plan d'urgence interne (PUI) du site, voire de son plan particulier d'intervention (PPI).

Concernant la troisième situation accidentelle, parmi les six réacteurs, Chinon A2 et A3 sont les plus sensibles à une inondation d'origine externe. L'IRSN estime que les obturations étanches de leurs traversées sont à ce jour

suffisantes pour prévenir toute pénétration d'eau dans les caissons. Toutefois, les aléas naturels à considérer pourront évoluer dans les décennies à venir, ainsi que la configuration des réacteurs quand le démantèlement de leur caisson aura débuté (Chinon A2 notamment).

En tout état de cause, ces sujets seront à approfondir dans le cadre des processus de modification ou d'obtention du décret de démantèlement des réacteurs UNGG.

Programmes de diagnostic et de surveillance des caissons

Afin de prévenir les situations accidentelles précitées, il est particulièrement important de préserver l'intégrité des structures des caissons (génie civil et aires supports métalliques), de leurs structures d'appui (piliers, murs ou radier), des organes en élastomère (plots ou couche) assurant la reprise des charges entre ces structures, ainsi que des systèmes ou des composants assurant le traitement de l'air (maîtrise de l'hygrométrie) dans les caissons et l'obturation étanche de leurs traversées. À cet égard, dans la continuité des investigations qui ont été menées ces dernières années, EDF prévoit, à court terme, d'effectuer des diagnostics et de mettre en place un programme de surveillance périodique pour chacun des caissons, en particulier ceux qui seront mis en configuration sécurisée. Ces programmes seront maintenus jusqu'à la fin des démantèlements. Au cours de ces programmes, EDF évaluera l'état du béton des caissons de chacun des réacteurs UNGG et effectuera une inspection télévisuelle dans le caisson du réacteur Chinon A3. Il effectuera la surveillance périodique des ouvrages de génie civil au moyen d'auscultations topographiques et d'inspections visuelles. S'agissant des structures métalliques internes, une instrumentation permet désormais de suivre l'hygrométrie et la température de l'air dans les caissons (excepté celui de Chinon A2). De plus, EDF étudie actuellement l'ajout d'un système pour traiter l'air des caissons des réacteurs Chinon A1 et A3. Enfin, EDF introduira des éprouvettes de suivi de la corrosion dans les canaux des empilements.

L'IRSN considère que les programmes de diagnostic et de surveillance périodique prévus pour les réacteurs UNGG sont satisfaisants dans leur principe ; **ils font toutefois l'objet des recommandations n° 6 et 7 formulées en annexe 1 au présent avis.**

En tout état de cause, la pertinence de ces programmes sera à examiner plus en détail dans le cadre des processus de modification ou d'obtention du décret de démantèlement des réacteurs UNGG.

4. Enjeux de sûreté d'un démantèlement des caissons des réacteurs opéré sous air

En premier lieu, l'IRSN souligne que, dans les dossiers expertisés, les étapes successives de démantèlement d'un caisson et leurs scénarios, de même que les opérations élémentaires et les techniques envisagées, ne sont présentés que pour le réacteur Chinon A2. En tout état de cause, elles devront être détaillées dans les dossiers de démantèlements des réacteurs UNGG précités, qui font l'objet de la recommandation n° 5 formulée en annexe 1 au présent avis.

Démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2

Afin de pouvoir y implanter les équipements nécessaires au démantèlement du caisson, EDF programme l'évacuation des viroles de déchets entreposées dans les locaux des circuits échangeurs, puis le démantèlement de ces circuits, ce qui nécessitera l'installation d'un nouveau système de ventilation. **Les dispositions à prendre par EDF afin de prévenir un éventuel glissement calendaire significatif en raison de l'interdépendance de ces opérations font l'objet de la recommandation n° 8 formulée en annexe 1 au présent avis.**

De plus, des travaux de modification du génie civil des bâtiments et des charpentes métalliques sont également programmés. En effet, les dernières études de comportement mécanique des structures en cas de séisme concluent

que les quatre ouvrages dits « *cheminées CO₂* » et la charpente métallique de la « *Nef Pile* » ne résisteraient pas aux sollicitations mécaniques résultant d'un séisme de niveau SMHV et aggrèsseraient la dalle du réacteur, ainsi que la plateforme de démantèlement une fois qu'elle sera en place. EDF prévoit donc de renforcer ces structures en amont du démantèlement des circuits échangeurs. **Ceci est satisfaisant**

Pour les dernières études de démantèlement du caisson réalisées entre 2013 et 2015, EDF a fixé comme orientation de l'effectuer de haut en bas, sous air, à distance et en vision indirecte (du moins tant que les conditions radiologiques ne permettent pas d'envisager un travail au contact), par une ouverture de grande taille pratiquée dans la dalle de protection radiologique et au moyen d'une plateforme rotative installée à l'aplomb de cette ouverture. Les différentes tuyauteries qui traversent la protection radiologique du caisson sont quant à elles démantelées depuis les locaux périphériques.

L'ouverture de la dalle du réacteur s'effectue en deux étapes : au contact (dalle de la Nef Pile et couche supérieure de la protection radiologique), puis à distance (couche inférieure de la protection radiologique) depuis la plateforme, dont le montage s'effectue entre ces deux étapes. L'IRSN estime que ces opérations occasionnent, en particulier, des risques :

- d'intrusion d'eau dans le caisson lors des découpes de la dalle de protection radiologique (si de l'eau est utilisée pour refroidir la coupe au câble diamanté) ;
- de chute ou de décohésion d'un bloc massif durant sa découpe, son extraction ou sa manutention, pendant l'ouverture de cette dalle ;
- d'instabilité structurelle locale de cette dalle durant son ouverture et d'instabilité structurelle d'ensemble de la protection radiologique du caisson après son ouverture, notamment en cas d'agression interne ou externe.

À ce stade, EDF prévoit que la plateforme rotative soit équipée d'un treuil permettant la manipulation des outils et des porte-outils utilisés pour les travaux de démantèlement. Leurs déplacements sont assurés par les mouvements combinés du treuil et de la plateforme. La plateforme rotative est pourvue de moyens permettant d'effectuer les maintenances préventives et curatives, à distance ou au contact. **L'IRSN relève que la fiabilité et la maintenabilité du treuil de la plateforme et des systèmes de mise en rotation de cette dernière seront essentielles.**

Durant le démantèlement du caisson et de ses internes, outre la conduite des travaux, la plateforme rotative assure la protection contre les rayonnements ionisants et le confinement des substances dangereuses. L'IRSN estime que dans cette configuration du chantier, les opérations occasionnent, en particulier, des risques :

- de dissémination de substances dangereuses lors des travaux de démantèlement, nécessitant un dimensionnement en conséquence du confinement statique et dynamique assuré par la plateforme ;
- d'incendie (voire d'explosion) du fait de l'usage intensif d'outils de découpe thermique pour démanteler les structures et les équipements métalliques implantés dans le caisson ;
- de perte de la continuité de la protection radiologique et du confinement apportés par la plateforme, notamment en cas d'agression interne ou externe de l'installation.

Une autre orientation fixée par EDF pour les études précitées est d'utiliser majoritairement les locaux existants pour la gestion des déchets, locaux qui devront donc être vides à l'échéance du démantèlement du caisson. En outre, ces études ont été conduites en considérant, pour les déchets du démantèlement, uniquement des colisages primaires, des conditionnements de stockage et des conteneurs ou emballages de transport existants ou connus à date. En tout état de cause, les dispositions de gestion des déchets radioactifs intégreront les spécificités liées à

ceux contenant de l'amiante et à ceux de graphite produits respectivement par le démantèlement du calorifuge et de l'empilement du caisson.

Au cours de l'expertise, EDF a indiqué envisager de revoir ces orientations et choix en s'appuyant sur la simulation 3D et les essais dans le DI. **Dans tous les cas, s'agissant des enjeux de sûreté, l'IRSN considère que les éventuelles évolutions de solutions technologiques pour démanteler le caisson du réacteur Chinon A2 ne devraient pas permettre d'éliminer les risques précités. En particulier, les risques d'incendie et d'explosion liés à l'usage d'outils de découpe thermique font l'objet de la recommandation n° 9 formulée en annexe 1 au présent avis.**

Démantèlement des caissons des autres réacteurs

Le démantèlement des caissons des réacteurs Bugey 1, Chinon A1 et A3, et Saint Laurent A1 et A2 est envisagé par EDF de manière globalement identique à celui du réacteur Chinon A2, en raison de similitudes de conception ; des spécificités à chaque réacteur existent toutefois. Les principales soulignées par EDF concernent la présence ou non de câbles de précontrainte, de rondins de graphite (protection radiologique dans l'aire support), d'échangeurs de chaleur ou d'arrêt et d'un transformateur de réseau.

Par ailleurs, le réacteur Chinon A1 dispose, comme Chinon A2, d'un caisson métallique revêtu d'un calorifuge externe « enveloppant », alors que les caissons en béton précontraint sont pourvus d'une protection thermique interne « rigide » (plaques en béton ponce ou matelas métalliques). En outre, les historiques de fonctionnement, les puissances et certains des matériaux des composants des caissons ne sont pas les mêmes.

Les effets, sur ces composants, de l'irradiation par les neutrons et de l'augmentation de la température (activation des matériaux, fissuration des briques de graphite, etc.), ainsi que de l'érosion mécanique et de la réaction chimique avec le caloporteur (formation de poussières, de dépôts carboxydés et carboxyhydrogénés, etc.) ne sont quantitativement pas identiques d'un caisson à un autre. Enfin, les accidents de fusion d'éléments combustibles survenus dans les réacteurs Saint Laurent A1 et A2, respectivement en 1969 et 1980, ont conduit à une contamination interne importante de leurs caissons par les radionucléides émetteurs α .

Le retour d'expérience du démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2, qui pourra être valorisé par EDF pour les autres caissons, concerne globalement les moyens et les modalités de découpe, de manutention et de gestion des déchets. En revanche, l'IRSN estime que ce retour d'expérience n'apportera que des enseignements partiels, par exemple pour le retrait du calorifuge du caisson du réacteur Chinon A1, des protections thermiques des caissons en béton précontraint, des briques en graphite de taille et de masse significativement différentes (réacteur Bugey 1), ainsi que pour démanteler les échangeurs internes. Enfin, comme indiqué par EDF, pour les réacteurs Bugey 1, Chinon A3, Saint Laurent A1 et A2, équipés d'un caisson en béton précontraint, les dispositions pour relâcher, en toute sûreté, la précontrainte en amont de la découpe de la dalle supérieure restent à définir.

Les opérations dont le retour d'expérience tiré du démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2 sera jugé comme insuffisant ou non représentatif pourront généralement faire l'objet d'études et de développements s'appuyant sur la simulation 3D et des essais dans le DI.

Par ailleurs, au-delà des spécificités physiques de chaque réacteur, les débits de dose ambiants dans les caissons et la présence de « *points chauds* », occasionnant des débits de dose localement très élevés, ainsi que les émissions (aérosols et gaz) à l'origine de la pollution atmosphérique lors des opérations de démantèlement des internes du caisson, ne seront pas identiques d'un réacteur à un autre.

Globalement, l'IRSN considère que ces différences confèrent certaines limites au retour d'expérience qui sera tiré du démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2 pour le démantèlement des cinq autres caissons. Pour intégrer ces différences lors des études et des développements de matériels et outils pour démanteler les autres caissons, des investigations additionnelles seront nécessaires en amont et pendant les opérations (caractérisations et cartographies radiologiques notamment). À cet égard, les émissions de ^3H , de ^{14}C (ainsi que de ^{36}Cl) lors du démantèlement des empilements pourraient nécessiter des expérimentations particulières.

En tout état de cause, les risques identifiés pour démanteler le caisson du réacteur Chinon A2 concerneront également le démantèlement des caissons des autres réacteurs.

5. Caractère adapté des essais prévus

La simulation numérique 3D et les essais sur des maquettes à échelle réelle représentatives de différentes zones du caisson du réacteur Chinon A2 (puis des autres réacteurs) seront utilisés pour tester les techniques et les modalités d'intervention à distance, sélectionner les plus adaptées et, le moment venu, qualifier les modes opératoires et former le personnel. Des essais seront également réalisés pour la découpe des dalles supérieures des caissons, qui sont des structures de forte épaisseur (plusieurs mètres) en béton éventuellement précontraint, dans lequel sont noyés de nombreux éléments métalliques (traversées ou charpente). En outre, EDF prévoit de maintenir le DI opérationnel durant tout le programme de démantèlement des réacteurs UNGG, ce qui permettra d'y recourir lors des études finales de démantèlement de chacun des caissons, ainsi qu'en cas d'aléa au cours des opérations nécessitant le développement de moyens et de modalités spécifiques d'intervention. **Ces choix sont satisfaisants.**

Comme indiqué précédemment, EDF prévoit d'effectuer la totalité du démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2 avant de débiter celui des autres caissons, et ce afin de capitaliser le retour d'expérience de ce démantèlement. En effet, certains points techniques ne peuvent pas faire l'objet d'essais dans le DI et devront être approfondis au cours des opérations de démantèlement proprement dites. Il s'agit, par exemple, de la libération de substances radioactives sous forme d'aérosols ou de gaz lors des coupes. De plus, certaines opérations réalisées pour le caisson du réacteur Chinon A2 auront un caractère d'essais en actif pour les démantèlements suivants (tests de matériels ou d'outils spécifiques non nécessaires pour ce réacteur, mais potentiellement nécessaires pour démanteler les autres caissons). **L'IRSN considère que la réalisation d'opérations pilotes en actif permettra d'anticiper la mise au point des matériels et des outils qui pourraient être nécessaires pour de futures opérations et de les « optimiser » en acquérant du retour d'expérience de leur utilisation.**

Sur le plan contractuel, EDF a tiré des enseignements du déroulement des appels d'offres passés pour effectuer le démantèlement sous eau du caisson du réacteur Bugey 1. Compte tenu du caractère générique de la plupart des développements techniques à mener pour démanteler les caissons, EDF a décidé de réaliser lui-même les études et les essais (dans le DI) pour maîtriser ces développements. **Ceci est satisfaisant.**

6. Enjeux de la gestion des déchets radioactifs produits lors du démantèlement

La nouvelle stratégie d'EDF déconnecte le démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2 de l'existence d'une installation de stockage des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL). Mettant en avant les progrès faits ces dernières années pour caractériser radiologiquement le graphite des empilements, EDF prévoit désormais d'expédier au centre de stockage de l'Aube (CSA) les déchets de graphite issus du démantèlement de ce caisson. Un accord de l'ANDRA est cependant requis. Dans l'hypothèse où cet accord ne serait finalement pas obtenu, EDF débiterait alors le processus de création d'une installation spécifique pour entreposer ces déchets de graphite. **Cette démarche est satisfaisante.** Il convient toutefois de noter que, dans un tel cas, la création d'une nouvelle installation

d'entreposage impliquera un certain nombre d'études, de procédures administratives et de travaux qui pourraient avoir un impact non négligeable sur la réalisation du démantèlement dans les délais prévus.

Lors du démantèlement des autres caissons, EDF prévoit d'expédier directement les déchets de graphite vers la future installation de stockage des déchets FA-VL, les ouvrages dédiés à ce type de déchets devant, selon l'ANDRA, être opérationnels à cette échéance (2070). C'est également à cette échéance que devrait débiter la réception des chemises de graphite actuellement entreposées sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux. Toutefois, lors de ses expertises de 2015 et 2017, l'IRSN a émis des réserves sur le lieu d'implantation et le concept retenu par l'ANDRA pour cette installation. L'IRSN avait également considéré que, compte tenu du volume des déchets de graphite et de leur inventaire, l'étude de leur stockage au CSA, sous réserve du respect de ses critères d'acceptation, contribuerait à l'optimisation des filières existantes. À défaut, la répartition de tout ou partie des déchets de graphite dans l'installation de stockage réversible en couche géologique profonde (projet CIGEO) pourrait également être étudiée. En tout état de cause, **l'IRSN relève qu'à ce stade, la gestion des déchets de graphite issus du démantèlement des caissons des réacteurs Chinon A3 et A1, Bugey 1 et Saint Laurent A2 et A1 reste incertaine au regard des solutions à mettre en œuvre et des échéances éloignées associées.**

Outre les déchets de graphite, le démantèlement des réacteurs UNGG génèrera des déchets radioactifs de très faible activité (TFA), de faible ou moyenne activité à vie courte (FMA-VC) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL). EDF prévoit de stocker ces déchets dans les installations de l'ANDRA, respectivement le centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (CIRES), le CSA, puis leurs successeurs, et CIGEO. EDF envisage un traitement et un conditionnement intégral ou partiel de ces déchets sur ses sites (installations en cours de démantèlement, installation ICEDA, etc.) ou ceux de l'ANDRA. Des étapes intermédiaires sur d'autres sites (usine CENTRACO par exemple) pourront être nécessaires. Il convient de noter que, sur la période couvrant le démantèlement des réacteurs UNGG, la saturation volumique du CIRES, estimée à ce jour, dans sa configuration actuelle, vers 2035, sera atteinte et éventuellement celle du CSA (estimée à ce jour vers 2060). Par ailleurs, la poursuite du fonctionnement notamment de l'usine CENTRACO à ces horizons n'est pas non plus acquise. Dans ce contexte, **l'IRSN retient que la gestion des déchets issus du démantèlement des caissons des réacteurs UNGG nécessitera de disposer de successeurs notamment au CIRES, au CSA et à l'usine CENTRACO.**

7. Conclusion

De l'expertise réalisée, l'IRSN retient que, par son approche séquentielle, fondée sur la réalisation d'essais dans le DI et sur un démantèlement complet du caisson du réacteur Chinon A2 avant d'initier les suivants, la nouvelle stratégie d'EDF vise à limiter les risques industriels liés aux opérations de démantèlement de l'ensemble des caissons des réacteurs UNGG. Cela étant, l'introduction d'une phase pluri-décennale de mise en configuration sécurisée des cinq autres réacteurs avant leur démantèlement proprement dit, lui aussi réalisé sur plusieurs décennies, conduit à un allongement très important du calendrier des opérations de démantèlement. Aussi, l'IRSN considère qu'une voie d'optimisation de la durée du démantèlement de l'ensemble des réacteurs UNGG consiste à ne pas attendre de finaliser le démantèlement du réacteur Chinon A2 avant d'initier le suivant.

Dans ce cadre, des défis importants seront à relever par EDF pour réaliser ces démantèlements et maintenir la sûreté des caissons jusqu'à leur terme. Ils concernent notamment les investigations complémentaires à mener pour caractériser les caissons, les essais qui seront conduits dans le DI pour assurer la faisabilité de leur démantèlement, le maintien d'un niveau de sûreté acceptable pendant plusieurs décennies, y compris en cas d'agressions externes (séisme, inondation...) ou de défaillance interne majeure, la maîtrise du vieillissement ou la capacité à remplacer certains équipements essentiels à la sûreté, la valorisation du retour d'expérience ainsi que la disponibilité le

moment venu des installations et moyens nécessaires à la gestion des déchets de démantèlement. Un défi particulier est lié au maintien dans un état sûr des caissons durant de longues durées, ce qui soulève de réels enjeux techniques et nécessite que la démonstration de leur sûreté, y compris à l'égard des agressions, soit effectuée avec la même démarche que pour les installations en fonctionnement.

En conclusion, l'IRSN estime que la nouvelle stratégie retenue par EDF doit être assortie d'exigences de sûreté en rapport avec les enjeux radiologiques et les durées multidécennales envisagées pour le démantèlement de ces installations. En outre, un point d'avancement de la mise en œuvre de cette stratégie devra être présenté périodiquement à l'ASN. Dans ce contexte, l'expertise réalisée conduit l'IRSN à formuler les recommandations figurant en annexe 1 au présent avis, qui devront notamment être prises en compte par EDF dans le cadre de la constitution des dossiers de démantèlement à produire pour chacun des réacteurs UNGG. L'expertise ultérieure de ces dossiers permettra de vérifier la maîtrise, par EDF, des risques et des inconvénients associés à chaque démantèlement prévu.

Enfin, EDF devrait tenir compte des observations formulées en annexe 2 au présent avis.

Pour le Directeur général et par délégation,

Anne-Cécile JOUVE

Adjointe au Directeur de l'expertise

Annexe 1 à l'Avis IRSN/2019-00236 du 18 octobre 2019

Recommandations

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF présente à l'ASN un état d'avancement, selon une périodicité à définir, de la mise en œuvre de la stratégie au regard du calendrier établi, fondé sur les enseignements des actions réalisées ; dans ce cadre, EDF devra justifier le calendrier détaillé des actions à venir pour chaque réacteur, en cohérence avec l'échéancier global et identifier, le moment venu, les étapes du démantèlement des réacteurs pouvant être anticipées.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF présente à l'ASN un point d'avancement annuel des études menées en vue de la constitution des dossiers de démantèlement.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande que la démonstration de sûreté des réacteurs UNGG, y compris à l'égard des agressions, soit effectuée selon la démarche applicable aux installations en fonctionnement.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande que les aspects liés à la radioprotection, notamment la mise en œuvre de la démarche ALARA, l'analyse du caractère suffisant des moyens de protection collectifs et les conséquences radiologiques pour les travailleurs des situations accidentelles considérées pour les installations en démantèlement, soient présentés dans les dossiers de démantèlement des réacteurs UNGG.

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF approfondisse les études de remplacement des plots d'appui en élastomère du réacteur Bugey 1, ou étudie une (des) solution(s) alternative(s). Les résultats de ces études, ainsi que ceux des investigations sur l'état général actuel des plots, devront être présentés dans le dossier de démantèlement afin de justifier l'option retenue (maintien en l'état, remplacement de tout ou partie des plots, etc.), dans le respect des exigences de comportement du caisson en situations normale, incidentelles et accidentelles.

Recommandation n° 6

L'IRSN recommande que les éprouvettes de suivi de corrosion qui seront introduites dans les canaux des empilements des réacteurs UNGG soient représentatives des composants sensibles aux corrosions localisées, qui appartiennent aux structures métalliques contribuant à la stabilité d'ensemble des empilements.

Recommandation n° 7

L'IRSN recommande que les inspections visuelles périodiques des ouvrages concernent également les structures d'appui des caissons des réacteurs Bugey 1, Chinon A1 et Saint Laurent A1 et A2.

Recommandation n° 8

L'IRSN recommande qu'EDF justifie, dans le dossier de démantèlement du réacteur Chinon A2, le choix retenu pour gérer les déchets produits par le démantèlement du caisson (réutilisation de locaux existants à réaménager ou création de nouveaux locaux), afin de prévenir un éventuel glissement calendaire.

Recommandation n° 9

L'IRSN recommande que, lors de la définition des modalités de démantèlement des caissons, EDF tienne compte de la présence de dépôts carboxydés ou carboxyhydrogénés qui occasionnent des risques d'incendie, d'explosion et d'intoxication lors des découpes thermiques et, en fonction des caractéristiques de ces dépôts, présente, dans les dossiers de démantèlement des réacteurs UNGG, les dispositions de prévention, de détection et de mitigation nécessaires.

Annexe 2 à l'Avis IRSN/2019-00236 du 18 octobre 2019

Observations

Observation 1

L'IRSN estime qu'EDF devrait évaluer, en limite du site ainsi qu'aux premiers lieux susceptibles de recevoir du public, les conséquences radiologiques des situations accidentelles associées à la configuration sécurisée et aux étapes du démantèlement des réacteurs UNGG.

Observation 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait étudier, préalablement au démantèlement des caissons des réacteurs UNGG et si nécessaire en s'appuyant sur des essais dans le démonstrateur industriel, des dispositions afin de :

- procéder à la reprise des opérations à la suite d'un affaissement des structures internes ;
- récupérer une pièce tombée lors d'une opération de découpe dans une zone encombrée.

Observation 3

Pour le réacteur Chinon A2, l'IRSN estime qu'EDF devrait :

- s'assurer que, pour les essais de découpe de béton, les maquettes de génie civil utilisées sont représentatives de l'état de contrainte induit par le poids propre de la dalle de protection radiologique du caisson ;
- consolider l'évaluation de l'activation des déchets amovibles entreposés dans le caisson afin que le plan d'action et les résultats disponibles de cette évaluation soient présentés dans le dossier de démantèlement ;
- vérifier que l'inventaire radiologique attribué à la contamination surfacique (labile et fixée) des structures et des composants du caisson tient compte de leur état de corrosion, en vue d'évaluer les émissions d'aérosols et de concevoir les moyens de captation à la source, de confinement statique, de ventilation et de surveillance des chantiers ;
- évaluer les transferts de ^3H , de ^{14}C ainsi que d'aérosols contaminés dans l'atmosphère du caisson durant chacune des phases de démantèlement, plus particulièrement lors du traitement de l'empilement, afin que le plan d'action et les résultats disponibles de cette évaluation soient présentés dans le dossier de démantèlement.

Observation 4

L'IRSN estime qu'EDF devrait, dans les dossiers de démantèlement des réacteurs UNGG, présenter :

- les dispositions prises pour la construction des référentiels numériques de ces réacteurs, afin notamment d'assurer la validité et la pérennité des données et informations ;
- la périodicité des actions de surveillance, ainsi que les premiers résultats disponibles.

Observation 5

L'IRSN estime qu'EDF devrait présenter, dans les dossiers de démantèlement des silos de Saint Laurent et du réacteur Chinon A2, les possibilités d'optimisation (études, développements et mises au point, REX d'exploitation, etc.) résultant des interactions entre le projet de reprise du contenu des silos de Saint Laurent et le projet de démantèlement du caisson du réacteur Chinon A2.

Observation 6

L'IRSN estime qu'EDF devrait, dans les dossiers de démantèlement des réacteurs UNGG du site de Chinon :

- intégrer un bilan des investigations menées à ce jour par EDF pour apprécier les caractéristiques mécaniques et l'état de corrosion des structures métalliques supportant les empilements de ces réacteurs et, le cas échéant, un plan d'action pour des investigations supplémentaires (recherches documentaires, prélèvements indirects, essais sur des échantillons de matériaux réputés équivalents, etc.) ;
- présenter l'état d'avancement des actions pour stocker au CIREs les déchets TFA réputés amiantés qui sont entreposés sur la zone extérieure de ce site.

Observation 7

L'IRSN estime qu'EDF devrait, dans les dossiers de démantèlement des réacteurs Bugey 1 et Saint Laurent A1 et A2, présenter :

- les modifications éventuelles de la ventilation du caisson, du dispositif de surveillance des rejets gazeux et du système de traitement de l'air dans le caisson, ainsi que les dispositions retenues pour prévenir les effets du vieillissement et l'obsolescence ;
- les dispositions retenues pour gérer les déchets radioactifs ne disposant pas de filière d'élimination et qui seront encore présents à l'atteinte de l'état de configuration sécurisée.

Observation 8

L'IRSN estime qu'EDF devrait, dans le dossier de démantèlement du réacteur Chinon A2 :

- indiquer les principaux résultats des essais de découpe de béton et d'extraction de blocs de béton ;
- présenter un état d'avancement de la procédure d'agrément par l'ANDRA du colis de déchets de graphite à destination du CSA, en identifiant les éventuels obstacles restant à lever pour l'obtention de cet agrément ;
- décrire et justifier la filière d'élimination du calorifuge du caisson et de ses conduits ;
- présenter, compte tenu de l'avancement des études, une analyse des risques liés à l'ouverture des dalles supérieures, dont ceux liés à la manutention des blocs découpés, en tenant compte d'un séisme et de l'usage éventuel d'eau pour refroidir les coupes, ainsi que les dispositions associées ;
- démontrer la stabilité structurelle d'ensemble de l'ouvrage de protection radiologique du caisson après réalisation de l'ouverture, en cas de SMS ;
- présenter la démonstration de sûreté associée aux risques occasionnés par la récupération des sources neutroniques entreposées dans le caisson ;
- présenter la démonstration de la stabilité mécanique de l'aire support en cas de SMS en tenant compte d'un chargement asymétrique lors du démantèlement de l'empilement.

Observation 9

L'IRSN estime qu'EDF devrait, dans le dossier de démantèlement du réacteur Chinon A1, présenter les cartographies radiologiques disponibles des locaux et matériels, ainsi que le plan d'action prévu pour consolider l'inventaire radiologique de l'installation jusqu'à l'atteinte de sa configuration sécurisée.

Observation 10

L'IRSN estime qu'EDF devrait, dans le dossier de démantèlement des réacteurs Saint Laurent A1 et A2, présenter l'état d'avancement de ses réflexions et de ses investigations concernant l'assainissement et la démolition des bâtiments « Hall Piscines » (HK5 et HK6).