CHAPITRE 8

Prospectives

Gérard Laurent

PLAN DU CHAPITRE

- 1 Besoins en matière de R&D et d'innovation dans le cadre du déclasséement
 - 1.1. Introduction
 - 1.2. Contenu du rapport
- 2 Intégration du démantèlement lors de la conception des installations nucléaires
 - 2.1. Introduction et enjeux
 - 2.2. Contexte international
 - 2.3. Contexte réglementaire
 - 2.4. Orientations et recommandations
- 3 Réacteurs (EPR, AP1000, ASTRID et RJH)

Conclusion

Références

1 | Besoins en matière de R&D et d'innovation dans le cadre du déclassement

1.1. Introduction

L'approche actuelle concernant la décontamination et le démantèlement (D&D) reste intensive en consommation de main-d'œuvre et cela suggère que les travaux de recherche et de développement (R&D), s'orientant vers des processus et des technologies de démantèlement plus efficaces, pourraient procurer des avantages considérables aux projets de D&D actuels et futurs.

Certaines améliorations s'imposent pour réduire les centaines de milliards d'euros qui seront nécessaires pour déclasser les installations actuellement à l'arrêt et procéder à la future fermeture des sites dans le monde entier. Ce rapport OCDE/AEM concerne les enjeux et les activités de démantèlement, susceptibles de tirer avantage des travaux de R&D, et résume les technologies émergentes applicables et les efforts de recherche déployés afin de constituer un socle de connaissances concernant l'état de la R&D et de la technologie en matière de démantèlement.

Ces connaissances de base ont servi à établir un consensus international sur les travaux de R&D méritant l'octroi d'un financement et sur la façon de collaborer et d'optimiser l'enveloppe limitée du budget de la R&D disponible parmi les États membres de l'OCDE pour effectuer des travaux de R&D en matière de démantèlement nucléaire.

1.2. Contenu du rapport

Ce rapport comporte sept chapitres, une introduction, cinq thèmes et une conclusion. Chaque thème traite des défis rencontrés, des recommandations actuelles relatives à ce thème, des technologies novatrices actuellement applicables et des travaux de R&D en cours. Dans la mesure du possible, la source de l'information et son URL sont référencées pour faciliter la récupération directe des données afin d'effectuer une évaluation plus détaillée via internet.

En accord avec les différents États membres de l'OCDE, chaque thème se conclut par des suggestions pour les futurs travaux de R&D et les domaines de collaboration internationale, en fixant des livrables et des objectifs généraux, afin de contribuer à orienter les futurs travaux de R&D sur les problèmes nécessitant d'être résolus.

L'introduction aborde les cas des installations fermées en attente de démantèlement, les prévisions de futures fermetures et les coûts de démantèlement, projetés à l'heure actuelle et pour les décennies à venir. Les options de démantèlement, ainsi que les processus, les phases et les défis y afférents, sont également examinés.

Le thème 1 « Caractérisation et enquête préalable au démantèlement » s'intéresse à l'utilisation d'applications logicielles géostatistiques, de systèmes d'échantillonnage à distance et d'imagerie, et de nouvelles technologies d'analyses d'échantillons et de détection, permettant de déterminer de façon plus précise, rapide et rentable, les répartitions spatiales et les concentrations de contaminants. Ce thème traite également de la modélisation des nucléides mobiles et du besoin de développer une norme ou une approche internationale pour estimer les niveaux d'impuretés à l'état de traces, contenues dans les alliages et les bétons de réacteurs actifs.

Le thème 2 « Technologies de segmentation et de démantèlement » aborde les technologies couramment utilisées pour les tâches de segmentation et de démantèlement, et évalue l'utilisation de robots, de systèmes à distance et de technologies de découpe innovantes, telles que les scies à l'arc et les lasers pour la segmentation des pièces internes et de la cuve du réacteur. Les défis associés à la production, à la capture et au traitement des déchets secondaires générés par le recours aux technologies de découpe sont également abordés dans ce thème.

Le thème 3 « Technologies de décontamination et de restauration » couvre un large éventail de sujets. Parmi les sujets abordés, on peut citer notamment une meilleure compréhension des interactions chimiques et de la mobilité des contaminants avec les substrats, des processus chimiques et physiques susceptibles d'être utilisés pour la décontamination des matériaux de démantèlement tels que le béton, les métaux, le graphite, les fonds de réservoirs, les eaux souterraines et le sol. Ce thème traite également des technologies novatrices telles que les ligands se liant aux actinides, la décontamination et la taille au laser, ainsi que les nouvelles technologies cryogéniques. Ce thème évoque également les perspectives de développement du recours à la robotique et de renforcement de l'automatisation des processus modulaires de décontamination, dans le cadre du traitement des matériaux de démantèlement et de la restauration des eaux souterraines et du sol en vrac. Cela comprend des développements innovants dans l'utilisation des nanotechnologies, de la biorestauration et des fixatifs.

Le thème 4 sur la gestion des déchets concerne les défis et les technologies, ainsi que la recherche fondamentale (seul domaine où elle intervient), pour mieux comprendre les interactions à long terme entre les déchets, les emballages et les environnements autour des centres de stockage. Il s'agit

notamment des difficultés à gérer certaines formes de déchets comme les déchets mixtes, les matières organiques, les transuraniens, l'uranium appauvri, et les déchets de moyenne et de haute activité. Ce thème étudie également l'optimisation de la hiérarchie des déchets, grâce à l'amélioration et au renforcement de l'automatisation des technologies de manipulation, de ségrégation, d'emballage et de conditionnement des déchets.

Le thème 5 « Caractérisation du site et surveillance environnementale » met l'accent sur les problématiques et les technologies liées au mode « SAFSTOR », à l'état final et au post-démantèlement. Parmi les domaines explorés, on peut citer notamment la modélisation en 3D et les méthodes d'échantillonnage non intrusives appliquées à la caractérisation, l'usage actuel et les perspectives d'utilisation future de la robotique, y compris l'évolution rapide des capacités robotiques autonomes, l'application actuelle et les perspectives d'application future de la télédétection, de la télémessure et des technologies satellitaires en matière de caractérisation et de surveillance.

Ce thème étudie également les travaux actuels concernant la caractérisation, le devenir et le transport, ainsi que les capacités logicielles en matière de modélisation de l'exposition et leurs lacunes. Ce thème explore les travaux de R&D effectués afin de développer des codes modulaires mieux intégrés et plus souples, capables de mieux modéliser les sites complexes comprenant une multitude de sources de contamination et de conditions hydrogéologiques. La généralisation du recours aux capacités du *cloud computing* pour les modèles intermédiaires et l'accès aux supers ordinateurs au sein des institutions gouvernementales et de recherche pour les modèles complexes y sont évoqués, par exemple ceux présentant déjà une contamination du sol et des eaux souterraines, ainsi que des multiples sources à l'état final, comme les réservoirs ou les structures souterraines en béton contaminés.

La conclusion se concentre sur la réticence historique que manifeste la communauté nucléaire et de la R&D à intégrer et à investir dans de nouvelles technologies par rapport à d'autres activités telles que le premier équipement. Elle examine les obstacles à surmonter afin d'apporter des technologies et des solutions novatrices au profit du démantèlement nucléaire. Elle évoque également la nécessité de briser le cycle long et coûteux de la réinvention, qui mine les idées et les efforts actuellement déployés en matière de démantèlement sur la façon d'engager et de maintenir un cycle de déploiement et d'amélioration continue au sein de la chaîne logistique.

Elle s'intéresse également à l'historique des tentatives d'adaptation des technologies développées pour d'autres industries à des fins militaires, plutôt que de choisir des innovations fondamentales prometteuses et d'investir dans des travaux de R&D en aval de la filière pour concevoir des technologies spécialement adaptées au démantèlement et à l'industrie nucléaire.

Enfin, elle évoque les défis liés à l'application des nouvelles technologies dans le cadre des projets de démantèlement et la réticence aux risques que manifestent les responsables de démantèlement concernant l'adoption de nouvelles technologies dans le cadre de leurs projets. Le développement de technologies et processus innovants ne permettra pas de réduire les coûts, s'ils ne sont jamais adaptés sur le terrain et s'ils sont abandonnés, puis réinventés après chaque démantèlement. Si la part de R&D nouvelle et franchement innovante ne peut être niée (surtout dans les domaines de la concentration et des déchets), il faut signaler que le barycentre de ce qui est recherché est déjà existant dans les domaines nucléaires ou conventionnels mais actuellement pas usité pour le démantèlement.

En résumé, ce rapport démontre qu'il existe un large éventail de technologies actuelles et futures prometteuses, susceptibles d'être déployées dès maintenant ou développées à l'avenir, afin d'atteindre l'objectif de projets de démantèlement plus performants, moins coûteux, plus rapides et plus sûrs.

Le financement de travaux de R&D collaboratifs et ciblés, ainsi que la mise en œuvre de stratégies et de politiques de financement visant à déployer, tester, améliorer et redéployer les technologies sur les projets de démantèlement à grande échelle, seront nécessaires pour y parvenir.

2 | Intégration du démantèlement lors de la conception des installations nucléaires

2.1. Introduction et enjeux

La prise en compte du démantèlement dès la phase de conception a pour buts principaux de réduire la dosimétrie des opérations et la dose reçue par les futurs intervenants et de réduire le volume des déchets radioactifs et dangereux produits pendant le démantèlement. Concernant les futurs déchets produits, un des enjeux de cette intégration du démantèlement bien en amont concerne aussi le développement durable par une réflexion sur le recyclage, la production minimale de déchets pouvant être difficiles à éliminer, la production minimale de déchets secondaires ou induits et la limitation des incertitudes de caractérisation.

En France et dans le monde, cette prise en compte est désormais une obligation réglementaire. Elle permet d'optimiser la durée des opérations de démantèlement en les simplifiant dès la phase de conception et d'optimiser les coûts associés qui doivent être estimés dans la demande d'autorisation de création d'une installation nucléaire de base.

2.2. Contexte international

En 2010, l'IAEA et l'OCDE ont publié d'importantes recommandations relatives à la prise en compte du démantèlement à la conception [1, 2 et 3]. Ces recommandations, issues du retour d'expérience des principaux pays nucléarisés (Europe, Amérique du Nord, Asie), concernent les trois phases que connaîtra l'installation future : la conception, l'exploitation et le démantèlement.

Ces réflexions mettent aussi en évidence la nécessité, lors de la demande d'autorisation de création d'une nouvelle installation, de soumettre aux autorités de sûreté un plan de démantèlement. En France, ce plan est désormais obligatoire [5]. Il est établi à la conception, doit décrire les étapes du démantèlement et la façon dont seront gérés les déchets qui en sont issus. Pour l'IAEA et l'OCDE, **ce plan devrait être suffisamment précis pour permettre d'évaluer un coût de démantèlement et permettre aux pouvoirs publics d'anticiper la création des futurs centres de stockage.**

Les installations nucléaires à venir auront une durée de vie supérieure à celles déjà démantelées. La probabilité que leurs composants soient remplacés est donc supérieure. Or, il s'avère que les dispositions permettant le remplacement d'un composant facilitent leur démantèlement ultérieur. On peut par exemple, dès la conception, adopter une approche modulaire et prévoir un chemin d'évacuation de chaque composant (cf. design AP1000).

Un autre axe facilitant le démantèlement est de limiter la contamination durant l'exploitation de l'installation. Par exemple, le recours aux cuves, puisards, tuyaux et drains enterrés, qui recueillent des liquides par écoulement gravitaire, devrait être évité.

Dans la plupart des pays, les autorités de sûreté formulent deux exigences fondamentales à respecter en exploitation comme en démantèlement : réduire l'exposition des intervenants aux rayonnements ionisants et réduire la production de déchets radioactifs. Or, certains éléments présents sous forme de traces dans les matériaux de construction (le cobalt et le nickel par exemple) deviennent en cours d'exploitation des produits d'activation à vie longue. La conséquence est double : exposition accrue des intervenants et augmentation du volume de déchets. La proportion exacte des éléments étant souvent mal connue, conserver ses échantillons des matériaux de construction faciliterait la caractérisation radiologique future de l'installation à démanteler.

Enfin, il est conseillé de maintenir jusqu'à l'arrêt définitif une documentation précise de l'installation, incluant par exemple un modèle 3D. Il est aussi recommandé de conserver l'historique d'exploitation de l'installation, notamment des incidents de contamination ayant affecté les structures, le béton ou les sols.

2.3. Contexte réglementaire

À ces recommandations internationales s'ajoute le contexte français qui impose des obligations réglementaires aux exploitants nucléaires qui, dès la conception, peuvent avoir des impacts sur le démantèlement.

La loi dite « TSN » 2006-686 du 13 juin 2006 [6], impose que l'autorisation de création d'une installation nucléaire de base s'accompagne d'une démonstration de l'exploitant que « *les dispositions techniques ou d'organisation prises ou envisagées aux stades de la conception, de la construction et de l'exploitation ainsi que les principes généraux proposés pour le démantèlement (...) sont de nature à prévenir ou à limiter de manière suffisante les risques ou inconvénients que l'installation présente* ».

2.4. Orientations et recommandations

Dans la phase de conception et au travers d'une représentation fonctionnelle de l'installation, le démantèlement peut être considéré comme une fonction identique aux autres fonctions contraintes qui dimensionnent l'installation. Celle-ci devant être « démantelable », la capacité à être démantelée est donc une fonction **qui doit orienter les choix de conception**. Cette présentation très générale est accompagnée d'un premier constat précisant que les orientations pour la prise en compte du démantèlement en phase de conception rejoignent en partie les orientations de conception pour assurer la maintenance de l'installation en exploitation.

À ces considérations générales, s'ajoutent les notions de zonage de l'installation qui s'instruisent à la conception. Plus particulièrement, le zonage des déchets a un impact sur le démantèlement car il identifie l'orientation de la filière à déchets (nucléaire ou conventionnelle) selon la localisation de production du déchet dans l'installation. La réduction du zonage nucléaire et la limitation des composants potentiellement actifs sont à ce titre fondamentale (cf. design AP1000).

Sur la base du retour d'expérience des exploitants français et étrangers, plusieurs préconisations techniques peuvent être mises en exergue. Concernant les matériaux soumis à contamination potentielle, il doit être privilégié des matériaux limitant la fissuration, les phénomènes de corrosion et la porosité pour faciliter leur décontamination. Les nuances de matériaux soumis aux débits de fluence neutronique doivent être choisies pour limiter les phénomènes d'activations (limitation des impuretés Co, Ag, Ni...).

Les composants activés lors du fonctionnement de l'installation doivent être facilement accessibles pour optimiser les interventions de démantèlement ou de retrait simple. Les moyens d'intervention (ponts de manutention, trémies...) doivent être aussi adaptés à ce retrait, notamment pour les gros composants. Les zones potentiellement soumises à un risque de contamination (par exemple apte à manutentionner les GV comme les fuites) doivent être « décontaminables » par choix intrinsèque du matériau (par exemple : acier inoxydable) ou par revêtement de type « pelables ».

La conception des réacteurs nucléaires munis d'outils de levage performants est en progrès décisif.

Les équipements de l'installation servant pendant toutes les phases d'exploitation (fonctionnement et démantèlement) comme les ponts de manutention doivent être conçus pour une durée de vie supérieure à 60 ans.

La mise en place d'éprouvettes témoins en inactif et en conditions représentatives d'utilisation peut être aussi préconisée pour faciliter les caractérisations complémentaires ultérieures et suivre plus finement l'évolution d'un matériau ou d'une structure dans le temps.

Enfin une nouvelle composante du métier d'ingénieur d'ensemblier est d'intégrer celle de « désigner pour le démantèlement ».

3 | Réacteurs (EPR, AP1000, ASTRID et RJH)

La conception des réacteurs intègre les futures contraintes de démantèlement. Cet objectif d'éco-conception est axé sur l'aspect dosimétrique, volume de déchets et coût futur des opérations.

Le retour d'expérience acquis a été pris en compte. Il a conduit à orienter les travaux sur une réduction du terme source, une architecture mettant en œuvre des organisations facilitant la propreté radiologique et des dispositions facilitant les travaux de démantèlement.

De manière non exhaustive, les principales dispositions visant à réduire les termes sources radiologiques sont les suivantes :

- revêtements durs à base de stellite utilisés uniquement dans des zones « hors flux neutronique » ;
- utilisation du zinc dans l'eau primaire pour limiter les dépôts des produits de corrosion ;
- utilisation d'aciers à bas cobalt pour l'ensemble des internes de cuve particulièrement exposés au flux neutronique ;

- suppression des paliers de pompe en argent (responsable de pollution Ag 110m) ;
- vidange du sodium en limitant autant que possible les rétentions en cuve (ASTRID) ;
- limitation de la formation d'amas/dépôts de sodium en maîtrisant les températures des différents circuits/équipements et en permettant la chauffe de certaines zones critiques (ASTRID) ;
- conception des hottes blindées de manutention des gros composants visant à dissocier la fonction « protection biologique » (masse importante d'acier/plomb) de la fonction « confinement » pour séparer l'enveloppe de confinement (mince tôle d'acier) de la majeure partie de la protection biologique.

Sur l'EPR, les dispositions liées au design de l'installation ont également été prises. La conception du pressuriseur limite les zones mortes en permettant une vidange complète du circuit et donc les dépôts de produits de corrosion (grattons).

Le zonage déchets des installations EPR AP1000, RJH et ASTRID est optimisé, prévu dès les phases initiales, avant la mise en actif et intègre l'ensemble des phases de vie des installations pour l'ensemble des impacts environnementaux et radiotoxicologiques.

Conclusion

Jadis peu pris en compte par les concepteurs (c/en réacteur gaz-graphite), le démantèlement des installations nucléaire est désormais bien instruit dès la phase de conception. Cette instruction est imposée en partie par des obligations réglementaires qui s'imposent aux exploitants et par la réponse à des enjeux aussi fondamentaux que la réduction des doses, l'optimisation de la production des déchets et la sécurisation des coûts/plannings de démantèlement. La prise en compte du démantèlement dès la conception s'intègre dans une démarche d'écoconception qui intègre l'ensemble des phases de vie de l'installation.

Références

- [1] IAEA : TECDOC-1657 « Design Lessons Drawn from Decommissioning of Nuclear Facilities » (2010).
- [2] OCDE-AEN : NEA n° 6946 « Intégration du retour d'expérience du démantèlement à la conception et à l'exploitation des futures centrales nucléaires » (2010).

- [3] OCDE-AEN & IAEA : Brochure « Decommissioning Considerations for New Nuclear Plants » (2010).
- [4] Bn 3657 : Démantèlement des installations nucléaires, Techniques de l'ingénieur.
- [5] Décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et aux contrôles, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives.
- [6] Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.
- [7] Loi n° 2006-739 du 328 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.