

Nucléaire : la filière française du démantèlement à l'épreuve de l'industrialisation

Nadège L'Hostis, Taha Zeggwagh

L'essor du démantèlement des centrales nucléaires constituera une opportunité pour développer la filière française qui peut aujourd'hui se targuer d'une expérience non négligeable. Pour se mettre en capacité de mener le nombre important de projets à venir, la filière française doit désormais se structurer et s'industrialiser. Le développement d'une filière d'excellence reste conditionné par la définition d'orientations stratégiques permettant aux différents acteurs d'investir dès à présent et un assouplissement du cadre réglementaire existant.

La filière française du nucléaire civil, reconnue comme une filière d'excellence, est à un tournant majeur de son évolution. Les politiques énergétiques sont en pleine mutation, la concurrence internationale s'exacerbe, ceci dans un contexte d'exigences de sûreté et de sécurité de plus en plus fortes. L'industrie nucléaire fait aujourd'hui l'actualité autour de ses restructurations : recentrage d'AREVA sur ses activités du cycle du combustible, rachat par EDF des activités réacteurs d'AREVA, questionnements sur les projets EPR Hinkley Point et OL3...

Au regard de ces débats, le cycle aval de la filière nucléaire, notamment le démantèlement, fait peu parler de lui. Il connaîtra pourtant inéluctablement un essor important dans les années à venir du fait de l'arrivée en fin de vie des installations, principalement celle du parc de réacteurs de deuxième génération.

Pour asseoir l'industrialisation de la filière, un certain nombre de défis doivent être relevés au cours des prochaines années : tirer parti de l'innovation et de la R&D, développer les compétences, adapter le cadre réglementaire et renforcer les relations entre les acteurs. L'essor du démantèlement constituera une opportunité

pour développer une filière avec un haut niveau de savoir-faire, permettant ainsi de redynamiser l'ensemble du secteur nucléaire.

1. Un marché incontournable qui nécessitera l'industrialisation de la filière

1.1. Un marché de 35 milliards d'euros

Avec un marché français estimé à 35 milliards d'euros¹ répartis sur les 50 prochaines années, les activités liées au démantèlement nucléaire semblent avoir de beaux jours devant elles. Cette estimation couvre la trentaine d'installations nucléaires de base actuellement en cours de démantèlement, mais également plus de 90 installations qui seront démantelées dans les décennies à venir.

S'il est certain que ce marché connaîtra une croissance à terme du fait du vieillissement des installations nucléaires, l'enjeu pour la filière française est d'être en mesure d'accompagner

1. Source : Étude « Modélisation du marché du démantèlement des installations nucléaires de base » – Columbus Consulting et Centrale-Supélec – 2015

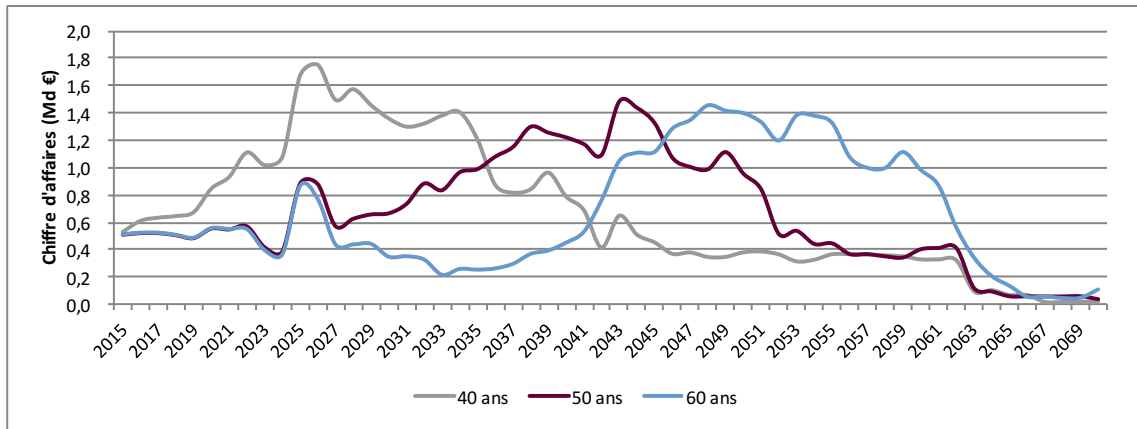


Figure 1 - Evolution du chiffre d'affaires du marché du démantèlement en fonction de la durée de vie des réacteurs nucléaires
(Source : Columbus Consulting)

son rythme de croissance. Il est complexe d'estimer précisément le rythme d'essor de ce marché, en raison des multiples paramètres qui influencent son développement (grand carénage, loi transition énergétique, vieillissement des centrales, compétitivité accrue des énergies renouvelables, ...). Toutefois, la décision de l'ASN quant à la prolongation ou non de la durée de vie autorisée des centrales nucléaires aura un poids déterminant sur le rythme de croissance du marché, ceci pour deux raisons :

- le démantèlement de ces réacteurs représentera 50 % du volume global du marché ;
- la France a fait le choix d'une stratégie de démantèlement immédiat et non différé, les activités de démantèlement devraient ainsi

être initiées sans délai après la mise en arrêt définitif.

La durée de vie des 58 réacteurs REP mis en service entre les années soixante-dix et quatre-vingt-dix, initialement fixée à 40 ans par l'ASN sera probablement prolongée à 60 ans. L'évolution du chiffre d'affaires du marché français du démantèlement peut être modélisée en fonction de différents scénarios portant sur la durée d'exploitation des réacteurs nucléaires (40, 50 et 60 ans).

Les coûts opérationnels représentent 50 % des coûts d'un projet de démantèlement. Les autres centres de coût sont principalement la gestion des déchets, l'ingénierie et la gestion de projet.

1.2 Des chantiers complexes

La chaîne de valeur d'un projet de démantèlement fait la part belle aux activités de gestion de projet, en raison de la durée d'un projet (entre 15 et 25 ans selon l'INB²) et des nombreux aléas à traiter. Chaque installation, de par sa spécificité, requiert une stratégie de démantèlement bien spécifique. La conception, les matériaux utilisés et les modifications inhérentes au cycle de vie font de chacun de ces sites un projet de démantèlement différent des autres, nécessitant des travaux de diagnostic et d'ingénierie poussés.

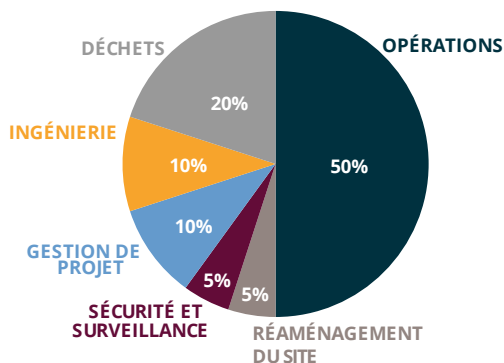


Figure 2 - Structure de coût du démantèlement d'une installation nucléaire
(Source Columbus Consulting)

2. Source : Comité Stratégique de la Filière Nucléaire.

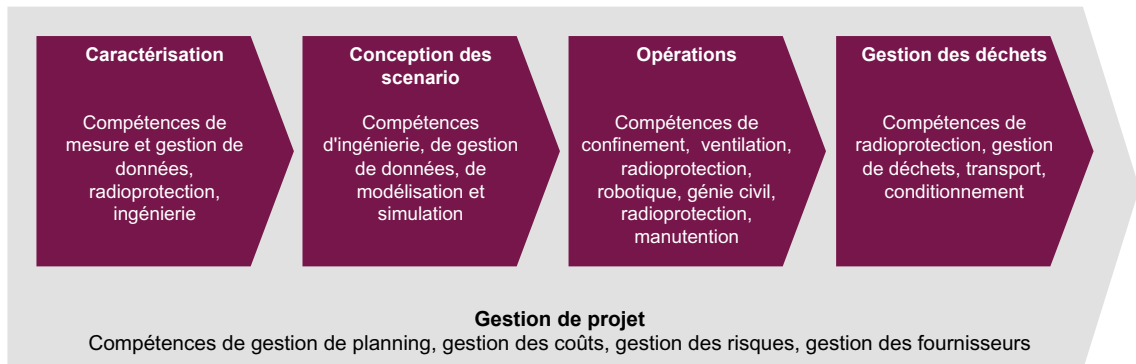


Figure 3 - Chaîne de valeur d'un projet de démantèlement d'une installation nucléaire

Toutefois, les installations de type réacteurs nucléaires pourront bénéficier d'un effet de série et d'optimisation au cours des étapes techniques de travaux d'aménagement, d'assainissement et de démantèlement. Ces effets de série seront quasi inexistantes pour les autres installations dédiées au cycle du combustible (conversion, enrichissement, recyclage, ...), à la R&D ou encore à l'entreposage des substances radioactives.

Le large spectre d'activités nécessaires au démantèlement d'une installation fait intervenir des compétences techniques aussi bien que des compétences transverses de pilotage, d'analyse des risques ou encore d'optimisation financière. Pour cette raison, l'un des prérequis à l'essor du marché est la constitution d'un vivier de compétences conséquent, ceci au sein des entreprises exploitantes et des sous-traitants.

1.3 L'essor du marché, opportunité pour les nouveaux entrants

Les projets de démantèlement en cours et les premiers projets à venir représentent une opportunité pour de nouveaux entrants, qui pourront aider à la structuration de la filière et constituer le vivier de compétences nécessaires pour accompagner l'essor du marché. Les industriels auront d'autant plus d'intérêt à se positionner sur le marché qu'ils pourront faire valoir l'un des deux atouts suivants :

- la différenciation grâce à une solution innovante, tels que les outils de simulation ou de

robotique pour les investigations télé-opérées en milieux irradiés ;

- la création de synergies avec les autres activités de l'entreprise, par exemple en développant des offres intégrées ou « clé en main » lorsque l'entreprise est présente sur d'autres activités de la filière nucléaire ou sur d'autres secteurs industriels.

Pour entrer sur le marché du démantèlement nucléaire, les potentiels nouveaux entrants doivent travailler sur quatre axes de développement incontournables :

- **Maîtriser les compétences** : le secteur du démantèlement nucléaire requiert des compétences spécifiques, telles que l'intervention en milieu irradié, la culture sûreté, le respect des exigences qualité
- **Gagner la confiance du marché** : pour être reconnu, la stratégie classique consiste à remonter la chaîne de sous-traitance en vue d'atteindre la contractualisation directe avec le donneur d'ordre
- **Qualifier sa solution** : la solution doit répondre aux exigences sectorielles, notamment la garantie d'une traçabilité de bout en bout ainsi que les qualifications requises (essais non destructifs par exemple)
- **S'adapter au cadre réglementaire** : la connaissance des réglementations et normes spécifiques du secteur et la maîtrise de leur mise en œuvre, notamment au travers de certifications ou qualifications par les exploitants, représentent un investissement conséquent mais sont essentielles pour intégrer le marché (CAEAR, CEFRI, ...).

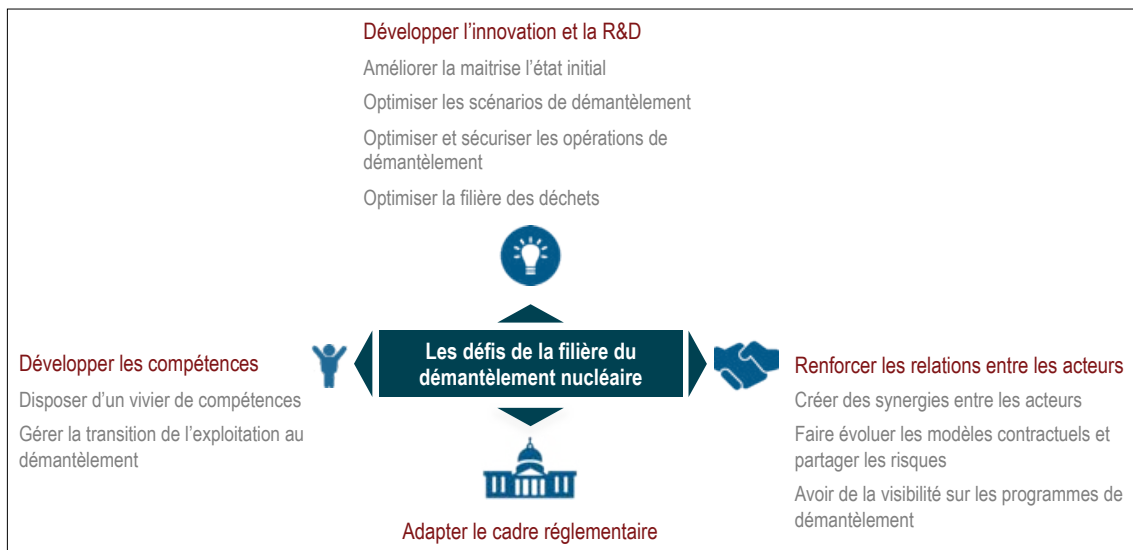


Figure 4 - Les défis de la filière du démantèlement nucléaire (Source : Columbus Consulting)

L'attractivité du marché est aujourd'hui relativement faible avec une marge inférieure à 5 % pour les industriels³ notamment en raison des coûts importants liés à la complexité des réponses à appel d'offres. Pourtant, pour se positionner sur ce marché et bénéficier de son développement prévisible, les industriels doivent investir dès aujourd'hui. Le marché du démantèlement se caractérise en effet par d'importantes barrières à l'entrée et la durée moyenne pour atteindre le « breakeven point » se situe entre 10 et 15 ans⁴.

2. Les défis à relever par la filière française

Grâce aux déconstructions déjà en cours, ainsi qu'à une longue tradition de production d'électricité de source nucléaire, la filière française du démantèlement peut aujourd'hui se targuer d'une expérience non négligeable. Pour se mettre en capacité de mener le nombre important de projets à venir, la filière française doit désormais se structurer et s'industrialiser.

3. Source : Étude « Modélisation du marché du démantèlement des installations nucléaires de base » – Columbus Consulting et Centrale-Supélec – 2015

4. Source : Étude « Modélisation du marché du démantèlement des installations nucléaires de base » – Columbus Consulting et Centrale-Supélec – 2015

2.1 Développer l'innovation et la R&D

Les projets de démantèlement sont des chantiers complexes à forts enjeux techniques et financiers. L'innovation et la R&D contribuent à répondre à ces enjeux lors des différentes étapes d'un démantèlement, que ce soit pour maîtriser l'état initial, pour optimiser les scénarios et les opérations de démantèlement ou encore pour optimiser la filière des déchets.

2.1.1 Améliorer la maîtrise l'état initial

La maîtrise de l'état de l'état initial est une étape cruciale d'un projet de démantèlement puisqu'elle permet de :

- Définir les meilleurs scénarios de démantèlement, alliant sécurité des intervenants et performance technico-économique ;
- Sélectionner les techniques d'intervention répondant au mieux aux exigences de sûreté, de sécurité et de radioprotection ;
- Disposer d'une classification des déchets produits lors du démantèlement et anticiper les exutoires associés.

Cette étape nécessite la réalisation d'un inventaire physique et d'un inventaire radiologique des installations tenant compte de l'historique d'exploitation. Cette activité peut être rendue difficile par la conjonction de plusieurs éléments parmi lesquels : l'ancienneté des installations, le manque de précision des plans,

l'inaccessibilité de certaines parties de l'installation, l'incertitude sur l'état de substances radioactives, ou encore le manque de traçabilité des modifications apportées à l'installation lors de son exploitation. Il est à noter que ces difficultés portent principalement sur les installations les plus anciennes conçues dans les années 1950 et 1960, pour lesquelles les exploitants disposent d'une moindre traçabilité.

Une mauvaise connaissance de l'état initial peut fortement impacter les délais du projet, et ainsi les coûts associés. L'innovation peut permettre de répondre à ces problématiques de caractérisation. Le CEA a par exemple mis en place « *la technologie 'gamma caméra' qui permet de repérer, situer et quantifier les points chauds dans des zones inaccessibles* »⁵. Le CEA a également « *mis au point, en partenariat avec la société IVEA, une technologie d'analyse à distance de la matière : la Libs (Laser induced breakdown spectroscopy)* »⁶.

2.1.2 Optimiser les scénarios de démantèlement

Le choix d'un scénario de démantèlement est intimement lié à la maîtrise de l'état initial, qui détermine les options quant aux opérations à mener et à la gestion des déchets. Un optimum technico-économique doit être atteint prenant en compte de multiples paramètres interdépendants tels que les aspects techniques et financiers, la sûreté, la sécurité, la radioprotection, la gestion des déchets ou encore la faisabilité des opérations en termes d'accessibilité. Dans ces circonstances, simulation et modélisation sont essentielles pour appuyer la prise de décision. Les gains apportés par les technologies numériques constituent ici un réel levier. À titre d'exemple, le logiciel d'aide à la décision « DEMplus » développé par Oreka Solutions permet d'intégrer l'ensemble des paramètres. Une collaboration avec le CEA a permis d'affiner les simulations générées par cet outil pour les rendre aussi réalistes que possible.

2.1.3 Optimiser et sécuriser les opérations de démantèlement

Du scénario retenu découleront les différentes opérations à mener sur un chantier :

5. Source : CEA

6. Source : CEA

découpe, décontamination des structures et des sols, traitement et conditionnement des effluents et des déchets, assainissement et confinement.

Certaines de ces opérations doivent être menées en milieux hostiles et inaccessibles à l'homme. La téléopération permet de répondre à cette forte contrainte : elle garantit la sécurité des intervenants en réduisant leur exposition à la radioactivité. Par exemple, le robot Maestro, développé par le CEA et Cybernetix, réalise différentes opérations nécessaires dans le cadre d'un projet de démantèlement : mesure, découpe ou encore décontamination. Le robot RIANA (Robot for Investigations and Assessments of Nuclear Areas), conçu par AREVA, constitue également une avancée puisqu'il est capable d'intervenir en zone nucléaire pour y réaliser des opérations de cartographie, de prélèvement d'échantillons ou de mesure de la radioactivité⁷.

La technologie de réalité virtuelle promet également de faciliter le travail des équipes. Le CEA a ainsi mis en place une « salle immersive » à Marcoule pour la formation des opérateurs.

2.1.4 Optimiser la filière des déchets

D'un point de vue économique, l'optimisation de la gestion des déchets représente un enjeu majeur puisque la gestion des déchets constitue 20 % des coûts d'un projet de démantèlement. En effet, le démantèlement d'une installation nucléaire génère une quantité importante de déchets, en moyenne 80 % de déchets conventionnels et 20 % de déchets radioactifs⁸. À titre d'illustration, le démantèlement d'un REP de 900 MW produit en moyenne 100 000 m³ de déchets⁹.

Le zonage des déchets effectué lors de la caractérisation de l'état initial permet d'établir la frontière entre déchets conventionnels et déchets radioactifs. La filière de traitement de ces derniers dépend de leur catégorie, définie à partir de deux critères : le niveau de radioactivité et la période radioactive. À ce jour, tous les exutoires n'existent pas, comme pour les déchets de graphites provenant de la

7. Source : AREVA

8. Source : ANDRA

9. Source : ANDRA

première filière française de réacteurs UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz). Le démarrage du stockage profond, via le projet Cigéo, pour les déchets de haute activité et les déchets de moyenne activité à vie longue, est prévu à horizon 2025.

Les travaux de R&D portent principalement sur la caractérisation des déchets, les méthodes de traitement et les nouveaux matériaux de conditionnement. L'un des principaux objectifs des travaux sur cette thématique est la réduction des volumes afin d'optimiser l'utilisation de la ressource rare qu'est l'espace de stockage. Ainsi, l'ANDRA estime que l'unique centre de stockage des déchets de très faible activité (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage - Cires) sera saturé entre 2020 et 2025. L'IRSN propose d'examiner de nouvelles pistes pour la gestion de ce type de déchets via la valorisation des matériaux, le stockage en site conventionnel et la libération des anciens sites nucléaires¹⁰. L'usage de seuils de libération apparaît alors comme un prérequis pour industrialiser cette filière.

2.2 Développer les compétences

En plus d'être un défi technique et industriel, le démantèlement comporte une forte dimension humaine et sociale. Les ressources humaines constituent l'un des facteurs clés de succès d'un projet de démantèlement. Les enjeux associés sont, d'une part, d'être en mesure de disposer du vivier de compétences suffisant pour mener à bien l'ensemble des chantiers à venir et, d'autre part, de réussir la transition de la phase d'exploitation à la phase de démantèlement.

2.2.1 Disposer d'un vivier de compétences

Le démantèlement des installations nucléaires s'étalera sur plusieurs décennies, il est donc essentiel de disposer d'une politique de formation sur le long terme. Les chantiers de démantèlement font appel à des compétences aussi diverses que la gestion de projet, la gestion de risques, la simulation de scénarios de démantèlement, la radioprotection, la sûreté,

les méthodes d'assainissement, de démantèlement et de gestion de déchets.

Certaines compétences sont particulièrement longues à acquérir, avec une durée moyenne de formation de 7 ans¹¹ pour une personne intervenant dans ce secteur, et d'autres, comme la télé-opération en milieux irradiés ou la radioprotection, sont identifiées comme critiques. Anticiper l'acquisition, par compagnonnage ou par formation, des savoir-faire nécessaires aux projets de démantèlement est critique pour pouvoir absorber les volumes d'activité des décennies à venir.

2.2.2 Gérer la transition de l'exploitation au démantèlement

Les compétences nécessaires au démantèlement d'une installation nucléaire diffèrent notablement de celles requises pour son exploitation. Certaines d'entre elles sont d'ailleurs spécifiques au démantèlement, comme la modélisation et simulation de scénario. Ceci soulève une problématique socio-économique d'emploi local puisqu'à la mise en arrêt d'une installation les activités d'exploitation disparaissent ou sont fortement réduites. Au final, l'effectif nécessaire pour le démantèlement d'un site est quatre à dix fois inférieur à l'effectif d'exploitation¹².

Pour anticiper cette transition et maîtriser son impact social, une politique de gestion de l'emploi et de reconversion s'avère essentielle. Il est par ailleurs courant de maintenir des intervenants présents au cours de l'exploitation du site lors des premières phases du démantèlement pour pérenniser la mémoire de l'installation et transférer les connaissances indispensables pour une caractérisation précise de l'état initial. La politique nationale d'investissement déterminera les possibilités de promotion et de soutien de l'emploi.

2.3 Adapter le cadre réglementaire

Les exploitants et les industriels s'accordent pour qualifier le cadre réglementaire régissant le démantèlement de très contraignant, cadre

10. Source : IRSN (rapport 2016 : « Déchets de très faible activité : La doctrine doit-elle évoluer »)

11. Source : Étude « Modélisation du marché du démantèlement des installations nucléaires de base » – Columbus Consulting et Centrale-Supélec – 2015

12. Source : Comité Stratégique de la Filière Nucléaire

plus adapté à l'exploitation des installations nucléaires qu'à leur démantèlement¹³. Sa simplification permettrait de réduire les risques d'allongement de délais allongés et risques financiers associés.

Le code de l'environnement définit le cadre réglementaire pour l'arrêt définitif, le démantèlement et le déclassement d'une installation. Il prévoit que « *lorsque l'exploitant prévoit d'arrêter définitivement le fonctionnement de son installation ou d'une partie de son installation, il le déclare au ministre chargé de la sûreté nucléaire et à l'Autorité de Sûreté Nucléaire* »¹⁴, au moins deux ans avant la date d'arrêt prévue. L'exploitant dispose alors de deux années pour remettre son dossier de démantèlement au ministre chargé de la sûreté nucléaire qui doit l'instruire sous un délai maximum de trois ans¹⁵. Par la suite, « *le démantèlement de l'installation nucléaire de base ou de la partie d'installation à l'arrêt définitif est prescrit par décret pris après avis de l'Autorité de Sûreté Nucléaire et après l'accomplissement d'une enquête publique* »¹⁶. Ce décret détermine, entre autres, les principales étapes du démantèlement, le délai de réalisation et l'état final visé.

Parmi les contraintes générées par ce cadre réglementaire, citons par exemple :

- des dossiers de démantèlement exigeant des informations de plus en plus détaillées avec un délai d'instruction qui s'en retrouve allongé, l'ASN pouvant demander des compléments au dossier initial ;
- la nécessité de demander une nouvelle autorisation en cas de retard dans les opérations de démantèlement. En effet, le décret relatif à la mise à l'arrêt définitif et au démantèlement spécifie le délai de réalisation des opérations ;
- l'impossibilité d'anticiper certaines d'opérations d'assainissement ou de démantèlement en phase d'exploitation ;

13. Source : Étude « Modélisation du marché du démantèlement des installations nucléaires de base » – Columbus Consulting et Centrale-Supélec – 2015

14. Code l'environnement, article L593-26

15. Décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives

16. Code l'environnement, article L593-28

- la multiplicité des parties prenantes (ASN, IRSN, ministère chargé de la sûreté nucléaire, Commission Locale d'Information, ...).

Au final, il conviendrait de rendre plus flexible le cadre réglementaire du démantèlement afin de fluidifier le déroulement des projets et maîtriser les coûts et les délais, tout en garantissant le respect des exigences de sûreté, sécurité et radioprotection inhérentes au nucléaire.

2.4 Renforcer les relations entre les acteurs

Pour renforcer la structuration de la filière de démantèlement, une plus forte collaboration entre les acteurs est nécessaire. Elle peut passer par la création de synergies, l'amélioration des modèles contractuels ou encore le partage de la visibilité sur les programmes de démantèlement.

2.4.1 Créer des synergies entre les acteurs

Les premières actions sont déjà entamées, à l'image de la création en 2014 du Pôle de Valorisation des Sites Industriels (PVSI). Le PVSI regroupe notamment des acteurs de l'industrie, de la recherche, de l'innovation et de la formation et permet de renforcer les synergies entre ses membres. Un autre exemple de collaboration est l'accord conclu entre le CEA et Veolia Environnement, notamment dans le domaine de la cartographie radiologique. Chacun de ces deux acteurs, en apportant son savoir-faire et son expérience, favorise ainsi l'innovation tout en mutualisant les coûts.

2.4.2 Faire évoluer les modèles contractuels

Les modèles contractuels entre les exploitants et les industriels sont relativement lourds. Dans le secteur du démantèlement nucléaire, les contrats sont généralement forfaitaires. Les risques et les aléas rencontrés lors de la réalisation des travaux sont alors supportés par les sous-traitants. Ces derniers peuvent être réticents à engager des investissements conséquents pour renforcer leur positionnement au sein du secteur du démantèlement. Pour y répondre, les modèles contractuels devraient intégrer un partage des risques plus équilibré entre les acteurs.

Une analyse des risques en amont de la contractualisation, issue d'un échange constructif entre exploitant et industriels, peut permettre d'identifier les responsabilités de chaque partie en cas d'imprévu sur un chantier et les actions à mettre en place pour y pallier. Les modèles contractuels anglo-saxons peuvent servir d'exemple. Certains modèles prévoient de procéder à une réévaluation systématique du marché dès lors que l'avancée des travaux révèle de nouvelles données à prendre en compte pouvant mettre en cause les données d'entrée stipulées dans le contrat initial.

La relation entre les exploitants et les industriels gagnera à évoluer vers une logique de partenariat et une relation gagnant-gagnant.

2.4.3 Avoir de la visibilité sur les programmes de démantèlement

Les industriels ont un besoin fort de visibilité sur les programmes de démantèlement à venir pour déclencher les investissements nécessaires à la structuration de la filière et au développement d'un tissu industriel compétitif, créant ainsi une filière d'excellence valorisable à l'étranger.

Afin d'atteindre cet objectif, il est essentiel d'avoir une vision claire de la stratégie énergétique nationale. Or, si la loi de transition énergétique promulguée en août 2015 prévoit la limitation du nucléaire à 50 % du mix énergétique, cet objectif pourrait finalement être revu. La programmation pluriannuelle de l'énergie, qui devra mettre en cohérence les trajectoires des différentes filières énergétiques, viendra confirmer ou infirmer cette volonté étatique. Une fois cette volonté confirmée, les programmes de démantèlement pourront être lancés selon un planning qui devra prendre en considération l'ensemble des éléments évoqués précédemment, laissant notamment le temps à la constitution et à l'utilisation efficace d'un vivier de compétences.

Des diverses activités de la filière nucléaire, le démantèlement est sans doute celle possédant les perspectives de croissance les plus prometteuses. La filière française est en mesure de relever le défi d'industrialisation de ce secteur. Toutefois, le développement d'une filière d'excellence est conditionné par la définition d'orientations stratégiques permettant aux différents acteurs d'investir dès à présent. ■