



HAL
open science

Le démantèlement des installations nucléaires : les collectifs acteurs de la réduction de l'incertitude.

Vanina Mollo, Anaïs Nouailles Mayeur, Carine Hebraud, Jonathan Ruille, Dominique Boutin, Gilles Reynaud, Marie-Eve Nasser, Emmanuel Rigault, Christine Darrouy, Naïma Sefsouf, et al.

► To cite this version:

Vanina Mollo, Anaïs Nouailles Mayeur, Carine Hebraud, Jonathan Ruille, Dominique Boutin, et al.. Le démantèlement des installations nucléaires : les collectifs acteurs de la réduction de l'incertitude. : Synthèse des travaux du groupe de travail E. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN); Comité d'orientation sur les facteurs sociaux, organisationnels et humains (COFSOH). 2023, 45 p. hal-04224411

HAL Id: hal-04224411

<https://hal.science/hal-04224411>

Submitted on 2 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comité d'orientation sur les facteurs sociaux, organisationnels et humains (COFSOH)

**Le démantèlement des installations nucléaires
Les collectifs acteurs de la réduction de
l'incertitude**

Synthèse des travaux du groupe de travail E

Mai 2022

Le présent document, produit par les membres du GT E du COFSOH, résulte des travaux réalisés par le groupe de 2017 à 2021. La synthèse présentée en réunion plénière du COFSOH a fait l'objet d'un accord des membres du GT E, sans engager les organismes ou institutions dont ils font partie.

Avant-propos

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) considère qu'il est nécessaire de faire progresser la réflexion et les travaux concernant la contribution de l'homme et des organisations à la sûreté des installations nucléaires et a, par conséquent, décidé en 2012 de mettre en place une instance pluridisciplinaire et pluraliste nommée Comité d'orientation sur les facteurs sociaux, organisationnels et humains (COFSOH). Le COFSOH comprend, outre l'ASN, des représentants institutionnels, des associations de protection de l'environnement, des personnalités choisies en raison de leurs compétences scientifiques, techniques, économiques ou sociales, des responsables d'activités nucléaires, des fédérations professionnelles des métiers du nucléaire et des organisations syndicales de salariés représentatives.

Les finalités du COFSOH sont, d'une part, de permettre les échanges entre les parties prenantes sur le sujet complexe que sont les facteurs sociaux, organisationnels et humains, d'autre part, de rédiger des documents présentant des propositions communes des différents membres du COFSOH sur un sujet donné, ainsi que des orientations pour des études à entreprendre afin d'éclairer des sujets manquant de données ou de clarté.

En parallèle des réunions plénières qui réunissent l'ensemble des participants au COFSOH, quatre groupes de travail se réunissent sur :

- les questions juridiques soulevées par les sujets traités par le comité ou ses groupes de travail (GT B),
- la gestion des situations de crise (GT C),
- l'articulation entre la sûreté réglée et la sûreté gérée (GT D),
- les activités de démantèlement (GT E).

Le groupe de travail « Sous-traitance en situation de fonctionnement normal : organisation et conditions d'intervention » (GT A) a été clos en 2016.

Table des matières

Partie 1. Périmètre, objectifs et méthodologie du GT.....	5
1. Périmètre du GT.....	5
2. Objectifs et méthodologie du GT.....	5
Partie 2. Le démantèlement : gérer l'incertitude dans un environnement changeant.....	9
1. Etapes et financement du démantèlement.....	9
1.1. Les grandes étapes du démantèlement.....	9
1.2. Un mode de financement spécifique.....	12
2. La conception des scénarios de démantèlement repose sur des données d'entrée incomplètes ou incertaines.....	12
3. Une transformation continue de l'INB qui génère d'importants volumes de déchets et engendre de nouveaux risques.....	14
3.1. Les risques sont évolutifs.....	14
3.2. Une gestion d'aléas tout du long.....	15
3.3. Une production d'importants volumes de déchets variés.....	16
3.4. Concevoir des installations permettant la gestion des déchets du démantèlement....	17
Partie 3. Les effets sur l'organisation et les activités.....	18
1. Le temps dans le démantèlement : d'un besoin de continuité aux discontinuités temporelles.....	18
1.1. Une exigence réglementaire.....	18
1.2. Un temps incompressible nécessaire à l'atteinte d'une maturité technique.....	18
1.3. Des discontinuités temporelles engendrées par la survenue d'aléas et génératrices de délais	19
1.4. Garder la mémoire de l'installation et du processus de démantèlement dans un contexte technique, réglementaire et organisationnel changeant.....	19
2. Justifier la maîtrise des risques en contexte d'incertitude.....	20
2.1. Un enchaînement de procédures de contrôle pour démontrer la sûreté.....	20
2.2. Des enjeux de prévention des risques qui évoluent tout au long du projet.....	21
2.3. Des logiques différenciées entre exigences de sûreté et exigences de prévention.....	22
3. Contractualiser dans un contexte incertain et évolutif.....	23
3.1. Un recours important à la sous-traitance.....	24
3.2. Des stratégies de contractualisation à ajuster à la maille des projets.....	26
3.3. Les conséquences potentielles.....	28
3.4. Des compétences requises en conception et pilotage de projets complexes.....	29
4. Impacts sur l'activité collective et la gestion des risques.....	29
4.1. L'activité collective : une ressource pour la santé et pour la gestion des risques.....	29
4.2. Des modes de relations contractuelles qui ne favorisent pas l'émergence d'une activité collective.....	30
4.3. Les conséquences potentielles.....	32
5. Impacts sur l'attractivité du démantèlement et la transition sociale.....	32
5.1. Le manque d'attractivité de certains métiers du démantèlement.....	32
5.2. La transition sociale.....	33
6. Développement technologique et innovation.....	34
6.1. Des innovations nécessaires.....	34
6.2. Un manque de visibilité qui ne favorise pas le développement d'une filière industrielle.....	35
7. En synthèse : les tensions à l'œuvre dans le démantèlement.....	36
Partie 4 : Développer les capacités d'apprentissage et de régulation.....	38
1. Tout ne peut pas être anticipé.....	38

1.1. Il y a toujours un écart entre le prescrit et le réel, qui nécessite des régulations.....	38
1.2. Il y a toujours un risque de survenue d'événements indésirables	39
2. Développer les capacités d'apprentissage et les possibilités d'action	39
2.1. Prescription et régulation ne s'opposent pas : elles se conjuguent.....	39
2.2. Organiser des apprentissages tout au long des activités	41
2.3. Favoriser le débat collectif pour développer des régulations conjointes.....	42
Annexe 1. Tableau de bord des réunions du GT E	44
Annexe 2. Liste des membres du Groupe de travail E du COFSOH.....	45

Partie 1. Périmètre, objectifs et méthodologie du GT

1. Périmètre du GT

Le GT E s'est concentré sur **les installations en cours de démantèlement ou démantelées en France**¹, les pratiques et réglementations étant différentes selon les pays.

Le contenu de ce rapport est fondé sur l'expérience de chacun des membres, acquise sur des installations anciennes et très différentes les unes des autres. Certains constats ou analyses pourront s'avérer faux ou incomplets pour le démantèlement d'installations récentes, notamment les réacteurs de 2^{ème} génération d'EDF qui bénéficieront d'un effet de série, pour lesquelles la problématique de la connaissance des installations aura été prise en compte dès la phase de conception.

Ont été exclus du périmètre du GT E :

- le démantèlement suite à un accident grave (qui ne présente pas les mêmes enjeux que le démantèlement « nominal ») ;
- l'intégration du démantèlement lors de la conception d'INB. Si la réglementation demande aujourd'hui de penser le démantèlement dès la phase de conception, cela n'a pas été fait à l'époque de la conception des installations actuellement en démantèlement.

2. Objectifs et méthodologie du GT

Du fait qu'il existe peu de références bibliographiques sur les facteurs socio-organisationnels et humains du démantèlement, le groupe s'est donné pour objectif de comprendre en quoi consiste le démantèlement et les principaux enjeux qu'il soulève pour les différentes parties prenantes, plutôt que de réaliser une analyse ciblée et exhaustive d'un sujet particulier (par exemple : la relation entre exploitants et ASN ; les formes de contractualisation, etc.). Pour ce faire, il s'est orienté vers l'analyse de cas concrets, connus par au moins l'un des membres du groupe. Ce choix est motivé par la volonté d'obtenir des données réelles sur lesquelles travailler afin d'éviter des considérations trop théoriques.

Le travail du GT s'est articulé autour de trois objectifs principaux :

- 1- Comprendre les principaux enjeux du démantèlement et définir le périmètre des travaux du GT.

Les premières réunions ont été consacrées à des présentations des différentes parties prenantes membres du GT, d'une part pour mieux se connaître, et d'autre part pour comprendre l'organisation propre à chaque exploitant (CEA, EDF, Orano), aux prestataires (COPSAR), les aspects réglementaires (ASN), la gestion des projets (IRSN). Les discussions ont permis d'aboutir à la définition du périmètre du GT (Cf. ci-dessus) et aux choix méthodologiques qui suivent.

- 2- Comprendre les principaux verrous sociotechniques du démantèlement.

Ce travail s'est appuyé sur trois types de ressources :

¹ Ne sont concernées que les installations qui relèvent de la surveillance de l'ASN, hors ASND.

- L'analyse collective de cas concrets à l'aide de la grille d'analyse Contraintes-Ressources-Régulations (C2R) de l'Agence Nationale d'Amélioration des Conditions de Travail (ANACT) présentée ci-dessous. Ce choix méthodologique permet d'obtenir une compréhension des activités en jeu dans des situations réelles, que celles-ci correspondent au cas spécifique analysé, ou à des situations similaires vécues par les membres du groupe et rapportées au cours des discussions.
 - Un travail sur les conventions collectives des entreprises du démantèlement par les représentants syndicaux (CFDT, CGT, FO, CFTC).
 - Des éclairages d'intervenants extérieurs sur des sujets particuliers ayant émergé des travaux (présentation des membres du GT, études de cas) et discussions du groupe. Quatre experts sont intervenus sur les sujets suivants :
 - o Co-activité et articulation des espaces de travail (Elsa Gisquet, IRSN)
 - o Développer la sécurité² (Pierre Falzon, Enseignant-chercheur, Cnam Paris)
 - o Prendre en compte l'incertitude en gestion de projet (Thomas Reverdy, Enseignant-chercheur, Université de Grenoble)
 - o Gestion des risques et collectifs de travail (Sandrine Caroly, Enseignante-chercheuse, Université de Grenoble)
- 3- Identifier des pistes de réflexion et d'action.

Le modèle C2R pour comprendre les dynamiques à l'œuvre dans le démantèlement

Le modèle C2R (Contraintes, Ressources, Régulations), représenté sur la figure 1 ci-dessous, est un modèle d'analyse des situations de travail élaboré par l'Agence Nationale d'Amélioration des Conditions de Travail (ANACT)³. Il repose sur une vision dynamique du travail qui se fonde sur l'existence d'une tension permanente entre les exigences de l'organisation et celles des salariés. Cette tension, inhérente au travail, est influencée par le contexte socio-économique de l'entreprise et l'état des relations professionnelles. Elle exprime un déséquilibre entre des facteurs de contrainte et des facteurs de ressource, qui peut être plus ou moins fort. Pour y faire face, les personnes (quel que soit leur rôle et leur statut) mettent en œuvre des régulations en mobilisant les facteurs de ressource disponibles. Lorsqu'il n'est plus possible de réguler (soit par manque de ressource, soit parce que les ressources disponibles ne peuvent pas être mobilisées), les situations se dégradent et impactent la santé, la performance (efficacité, sûreté) et les relations sociales.

Le modèle C2R offre une grille d'analyse des facteurs de contrainte et de ressource à l'œuvre dans les quatre grands pôles du travail (exigences de l'organisation, exigences des salariés, contexte socio-économique et relations professionnelles), et des processus de régulations qui sont mis en œuvre ou empêchés. Cette analyse permet de mieux comprendre les activités de démantèlement, et d'identifier des leviers d'action qui peuvent consister à réduire les contraintes ou à développer des ressources pour favoriser la mise en œuvre de régulations.

² Pierre Falzon, ancien président du GTD, a présenté le rapport du GTD.

³ <http://www.anact.fr>

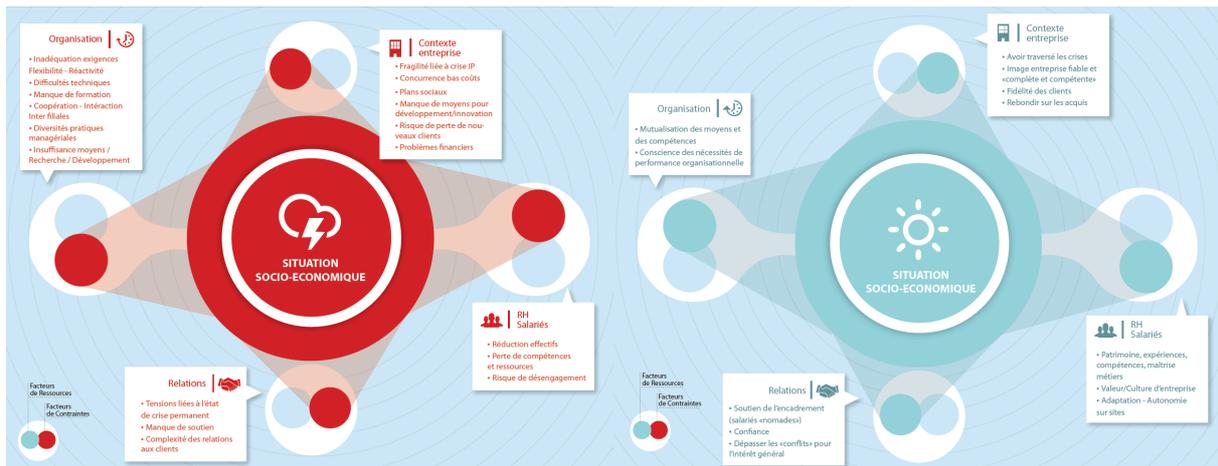


Figure 1. Le modèle C2R de l'ANACT

Résumé des cas analysés

Le groupe a travaillé sur trois cas concrets⁴. Le choix des cas s'est fondé sur trois critères principaux : i) la prise en compte de différentes phases du démantèlement (études, chantiers, gestion des déchets), ii) l'illustration d'une ou plusieurs thématiques identifiées lors des premières réunions : gestion de l'incertitude, innovation technologique, risques et aléas, aspects réglementaires, contractualisation, et iii) la représentation des trois exploitants et la capacité des membres présents à disposer de données suffisantes sur le cas pour en faire état au groupe.

Cas Orano- La découpe de l'évaporateur de l'atelier R7 du site de La Hague : les conséquences d'un choix technologique sur la réalisation du chantier

Le chantier de découpe de l'évaporateur et des tuyauteries associées est porté par un Groupement Momentané d'Entreprises Solidaires (GMES) impliquant plusieurs sociétés (Nuvia process, STMI et ACPP) et des sous-traitants. La conception d'un bras télé-opéré pour effectuer les opérations de découpe a été réalisée en tenant compte de contraintes inhérentes au projet (environnement hostile et exigü, charges lourdes, planning, risque d'incendie nécessitant un mode de coupe 0 étincelle, etc.). Le choix technologique a engendré plusieurs aléas (découpe mécanique inefficace ; casse du porteur supportant le bras et le système de découpe ; pannes à répétition et pollution du bras) ayant des conséquences à plusieurs niveaux (durée et coût du projet, changement de mode de contractualisation, perte de sens, etc.).

Cas EDF – La contamination d'un intervenant lors d'un chantier préparatoire aux opérations de découpe sous eau des internes de la cuve du réacteur de Chooz A

Un intervenant se contamine (contamination interne alpha) lors des opérations préparatoires de démantèlement en piscine réacteur. Le chantier de démantèlement de la cuve est porté par le GMES Westinghouse France/Nuvia. L'intervenant contaminé est un salarié de l'entreprise Westinghouse Suède (sous-traitant de Westinghouse France), spécialisée dans la tâche de découpe sous eau. Pour réaliser son travail (télé manipulation sous eau depuis une passerelle de travail), il est assisté par un intervenant de l'entreprise de Derichebourg. La surveillance de la radioprotection est assurée par un technicien radioprotection du GMES, et les contrôles de contamination du chantier par un intervenant de la Prestation Globale d'Assistance Chantiers (PGAC) du site de Chooz A.

⁴ Les conditions sanitaires liées à la crise COVID-19 ne nous ont pas permis de travailler sur des cas complémentaires qui avaient été définis.

Cas CEA - La caractérisation des substances radioactives dans le cadre de la vidange des piscines de l'INB 56 du site de Cadarache : des appels d'offres infructueux

Dans le cadre de la vidange et l'assainissement des piscines de l'INB56, le CEA lance en 2007 un appel d'offres de type « ensemblier » qui s'est avéré infructueux du fait de l'incertitude sur l'état initial qui ne permet pas aux entreprises de répondre aux besoins du CEA. Suite à des investigations complémentaires visant à préciser l'état initial de l'installation, un nouvel appel d'offres est lancé et donne lieu à un contrat en 2013 qui sera finalement résilié pour non-respect des engagements contractuels. Un scénario alternatif est alors proposé avec un mode de contractualisation de type gré à gré avec un industriel ayant une bonne connaissance de l'INB. Le choix des modes de contractualisation couplé à l'incertitude sur les données d'entrée a engendré une augmentation du coût et un allongement de la durée du projet, au cours duquel les organisations et les personnes changent.

Partie 2. Le démantèlement : gérer l'incertitude dans un environnement changeant

Le démantèlement couvre l'ensemble des tâches – techniques ou administratives – réalisées après l'arrêt définitif d'une installation, et visant à atteindre un état final pour lequel la totalité des substances dangereuses et radioactives a été évacuée du périmètre de l'installation⁵ (INB et/ou ICPE associées au périmètre).

Le démantèlement concerne des installations diverses : laboratoires de R&D, laboratoires de chimie des matières nucléaires (traceurs pour la médecine, chimie de l'uranium ou du plutonium), réacteurs de recherche ou expérimentaux, réacteurs de puissance de 1^{ère} génération, installations militaires à terre, anciennes générations de sous-marin nucléaire, usines du cycle du combustible, installation d'entreposage de déchets ; et pour chaque type d'installation, il existe une variabilité de sites et d'exploitants (CEA, EDF, ORANO, FRAMATOME).

Cette partie présente les étapes et modalités de financement du démantèlement, ainsi que les principales caractéristiques qui font du démantèlement un processus complexe.

1. Etapes et financement du démantèlement

La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte impose aux exploitants d'opérer les démantèlements « *dans un délai aussi court que possible – dans des conditions économiquement acceptables* ».

1.1. Les grandes étapes du démantèlement

Comme représenté sur la figure 2, le ministre chargé de la sûreté nucléaire et l'ASN doivent être informés par l'exploitant de son intention de mettre à l'arrêt définitif son installation au minimum deux ans avant la date prévue de l'arrêt définitif. L'exploitant a généralement deux ans après la déclaration d'arrêt pour transmettre le dossier de démantèlement⁶. En pratique, il est recommandé par l'ASN que les échanges entre l'exploitant et l'ASN démarrent le plus tôt possible, comme ce fut le cas pour AREVA en 2006 pour le démantèlement d'Eurodif, et que l'exploitant évalue de manière réaliste le travail à réaliser pour constituer le dossier et le budget à engager. Une difficulté pour l'exploitant à ce stade est que des études de faisabilité et d'avant-projet sommaire (APS) peuvent être nécessaires afin de fournir un certain nombre de spécifications. Or, le CEA indique d'une part qu'il y a des contraintes relatives à la passation de marché, celle-ci pouvant prendre jusqu'à un an, et qu'il ne reste alors qu'une année pour faire ces études, et d'autre part qu'il faut généralement plusieurs années pour recueillir les données nécessaires à l'élaboration des scénarios de démantèlement (opérations de carottage, etc.).

⁵ Certains décrets de démantèlement demandent de supprimer les installations y compris le Génie Civil.

⁶ Le dossier comprend, entre autres, le plan de démantèlement. Ce plan est établi dès la demande d'autorisation de création de l'installation pour les installations nucléaires récentes⁶. Pour les installations plus anciennes, il est élaboré à l'occasion de toute modification notable de l'installation, d'un réexamen périodique ou à la demande de l'ASN. Ce plan doit ensuite être mis à jour régulièrement au cours de la vie de l'installation : mise en service, modifications importantes de l'installation, réexamens périodiques, déclaration d'arrêt définitif et dossier de démantèlement.

L'instruction du dossier est réalisée au cours des trois années qui suivent la remise du dossier, prorogables deux ans en cas de suspension d'instruction. En réalité, elle s'étale généralement sur une période de cinq ans compte tenu de la complexité des projets et du nombre de parties prenantes. Durant cette période, des opérations de préparation au démantèlement (cf. ci-dessous) peuvent être réalisées dans la mesure où elles sont couvertes par le référentiel de sûreté de l'installation en fonctionnement. Ceci permet de réduire les délais et de mettre à profit la connaissance et l'expérience acquises avant leur dilution ou disparition.

Une enquête publique ainsi qu'une consultation des Commissions Locales d'information (CLI) sont organisées une fois que le dossier est jugé recevable et qu'une première analyse de l'IRSN (en tant qu'appui technique de l'ASN) n'a pas soulevé de difficultés majeures. L'enquête est organisée sur une durée de deux mois.

Le démantèlement peut s'étendre sur plusieurs décennies selon la nature et la complexité de l'installation, et s'effectue en plusieurs étapes (les deux premières pouvant être réalisées en parallèle) :

- Celles consacrées à la constitution, à l'instruction des dossiers de démantèlement et des notes de sûreté associées. Elles incluent les études préalables du projet (y compris les investigations et les caractérisations physiques et radiologiques) qui visent à définir les différents scénarios de démantèlement (solutions de référence et solutions alternatives), à préciser les moyens financiers, techniques et humains.
- Celles destinées aux opérations préparatoires au démantèlement : dans l'attente du décret d'autorisation, les exploitants ont la possibilité de réaliser un certain nombre d'opérations telles que le désamiantage de l'installation, l'enlèvement des substances nucléaires, le rinçage des circuits, la préparation des futurs chantiers (aménagement de sas...), la construction de nouvelles installations dédiées à la reprise et au conditionnement de certains déchets préalablement au démantèlement (RCD), ainsi que la RCD à proprement parler.
- Celles dédiées aux études d'exécution, à la réalisation des opérations de démantèlement qui consistent à déposer et découper les composants et éléments électromécaniques (boîtes à gants, bras téléopérés, tuyauteries, circuits électriques, générateurs de vapeur, cuve, etc.), à l'assainissement des structures du génie civil et la gestion des sols, ainsi que le conditionnement et l'évacuation des déchets produits.
- Celles relatives au déclassement administratif, effectué après validation de l'ASN, qui met fin au statut d'INB.

Le démantèlement comprend donc un ensemble d'opérations très variées, de natures différentes (assainissement, démolition, reprise des déchets, études complémentaires...) et pouvant se dérouler simultanément dans de nombreuses parties de l'installation. Ces opérations, qui s'étalent sur une longue période, sont réalisées avec une organisation et des équipes différentes de celles en place lors du fonctionnement. La préparation des opérations, le recours à la sous-traitance d'entreprises spécialisées, la formation du personnel, la réalisation préalable d'études de sûreté et le suivi des opérations sont des conditions nécessaires au bon déroulement d'un démantèlement. Dans ce contexte, l'organisation des opérations concernées et des situations de travail associées revêtent une importance toute particulière en matière de maîtrise des risques.

Pour obtenir la délivrance du décret de démantèlement, l'exploitant doit produire un référentiel de sûreté couvrant l'ensemble des étapes du démantèlement. Le CEA a noté récemment une plus grande souplesse dans le niveau de détail demandé lors de l'instruction des dossiers pour les opérations prévues à long terme, du fait des évolutions notables des installations en démantèlement. C'est pourquoi le référentiel de sûreté peut inclure des examens de sûreté spécifiques (appelés « points d'arrêt ») à différentes étapes du démantèlement, faisant toujours l'objet d'une autorisation de l'ASN.

Jusqu'à la décision administrative de déclassement, l'exploitant d'une installation en démantèlement est également soumis, comme pour la phase de fonctionnement, à un réexamen de sûreté tous les 10 ans. L'objectif est de vérifier que le niveau de sûreté et de radioprotection de l'installation est le plus élevé possible, dans des conditions technico-économiques acceptables jusqu'à la fin des opérations de démantèlement.

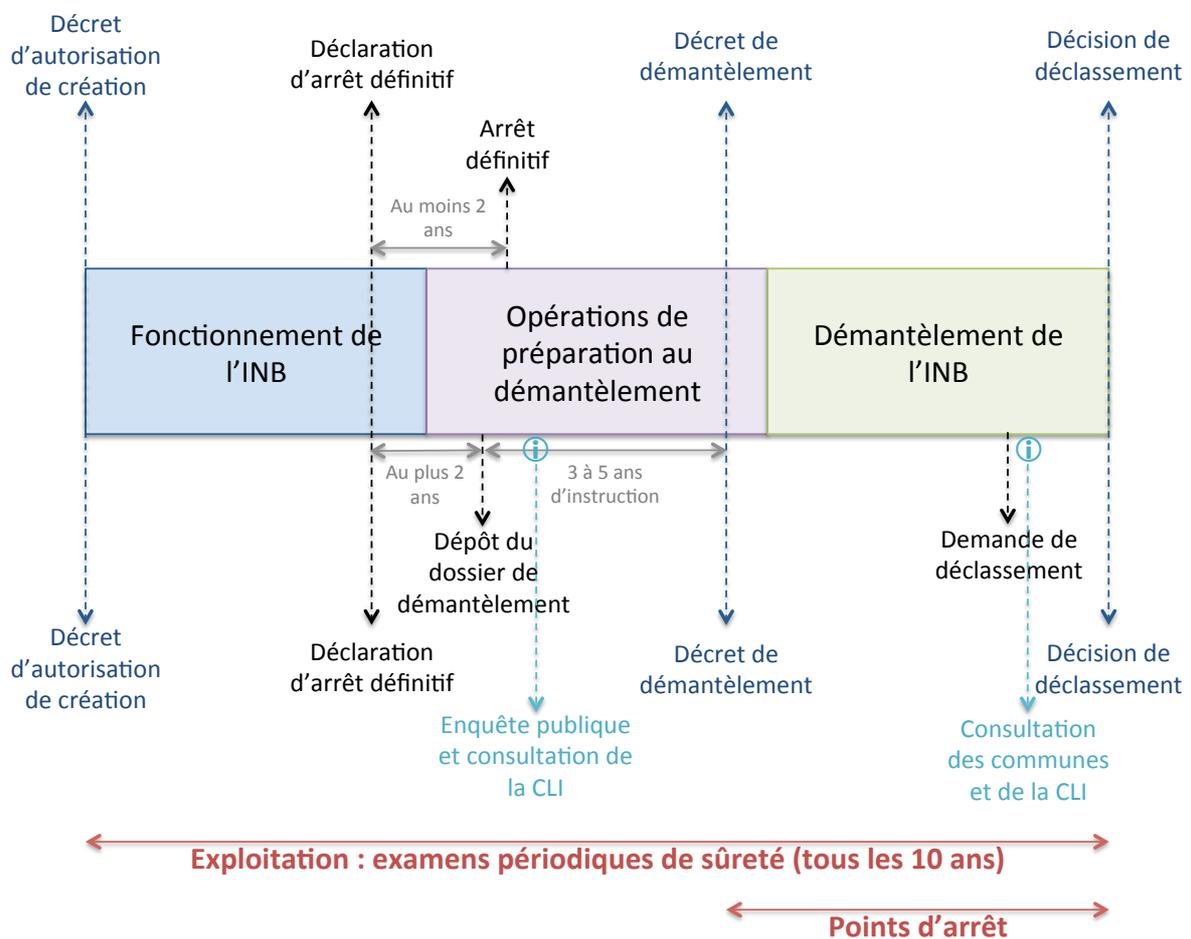


Figure 2. Les principales étapes du démantèlement selon la réglementation

1.2. Un mode de financement spécifique

Il y a un modèle financier spécifique au démantèlement, dont les modalités diffèrent selon les exploitants.

La loi française impose aux exploitants nucléaires de constituer des provisions pour couvrir le coût du démantèlement. Ces provisions sont auditées par la DGEC, direction du ministère en charge de la sûreté nucléaire, sachant qu'il faut provisionner en intégrant une marge pour risque sur les projets de démantèlement futurs. L'ASN est également saisie par le ministère pour donner son avis sur les hypothèses et la prise en compte des risques.

En ce qui concerne EDF, Orano et Framatome, les exploitants ont l'obligation de sécuriser les fonds dédiés au démantèlement en constituant des provisions correspondant aux charges du démantèlement et en affectant les actifs nécessaires à la couverture de ces provisions sur une période donnée. L'exercice est complexe car les solutions techniques, les risques et les coûts associés peuvent évoluer sur des échéances lointaines. Il existe néanmoins des mécanismes de réévaluation périodique des provisions. La commission de surveillance du financement des charges du démantèlement contrôle le respect de cette obligation. La possibilité d'avoir un fond d'actifs permet une vision à plus long terme et offre une marge de manœuvre permettant d'optimiser le financement.

Quant au CEA, le financement des opérations de démantèlement et de gestion des déchets repose pour l'ensemble des installations (civiles et de défense) sur un engagement de financement budgétaire par l'Etat constant ces dernières années, à hauteur de 740 M€ par an. Ce montant inclut les charges complètes d'exploitation ainsi que les opérations d'assainissement-démantèlement ; le montant alloué aux seules opérations de démantèlement avoisine les 250 M€. Compte tenu des moyens alloués et de l'augmentation constante du nombre d'installations en démantèlement, pour lesquelles des capacités de reprise de déchets anciens, ainsi que d'entreposage, devront être construites, le CEA envisage un échelonnement des opérations de démantèlement en priorisant les opérations de Reprise et Conditionnement des Déchets (RCD) et d'assainissement/démantèlement sur ces installations en fonction du terme source à réduire.

Ces modes de financement spécifiques au démantèlement influencent nettement les choix stratégiques, techniques et organisationnels, et impactent la temporalité des opérations de démantèlement.

2. La conception des scénarios de démantèlement repose sur des données d'entrée incomplètes ou incertaines

Le démantèlement peut être caractérisé comme un processus incertain et difficile à maîtriser dans le sens où **les règles qui régissaient la conception à l'époque ne prenaient pas en compte le futur démantèlement des installations**. De plus, un certain nombre d'informations liées à la conception et à l'histoire de l'exploitation n'ont pas toujours été tracées de manière suffisamment précise, et cette perte de mémoire génère de l'incertitude tout au long du démantèlement, de la définition des scénarios de démantèlement à la réalisation des chantiers.

Une des premières étapes d'un démantèlement est d'établir l'état initial de l'installation de manière à définir les scénarios de démantèlement. L'établissement de l'état initial consiste à

recueillir et consigner l'histoire de l'exploitation de manière à caractériser l'état physique, chimique et radiologique de l'installation. Cette phase nécessite un investissement important du fait de l'ancienneté des installations (conçues dans les années 50 ou 60 pour les premières) et présente trois difficultés majeures :

- Tout au long de l'exploitation, les installations ont subi de nombreuses modifications, utilisé/produit des substances radioactives ou dangereuses, et connu des incidents ou aléas d'exploitation. Il est donc nécessaire de reconstruire ces informations, souvent tracées de manière incomplète ou avec des données manquantes, qui constitueront les données d'entrée des études du scénario de démantèlement.
- Les opérations de démantèlement sont décalées dans le temps par rapport à l'arrêt du fonctionnement de l'installation et cela correspond à un changement important des personnels, ce qui rend plus difficile d'avoir accès aux personnes disposant de la mémoire de l'exploitation.
- Les évolutions des exigences réglementaires et de sûreté nécessitent de vérifier la conformité des données d'entrée connues (par exemple les modalités d'entreposage des déchets anciens) aux exigences actuelles, et peuvent engendrer des tâches supplémentaires d'ajustement voire aboutir à des impasses (par exemple les critères d'acceptation des exutoires).

La collecte des données d'entrée est organisée par l'exploitant et repose sur différentes ressources, notamment : des entretiens avec les anciens acteurs de l'installation (anciens opérateurs, chefs d'installation, techniciens et ingénieurs sur les procédés...) ; la confrontation de la documentation disponible et des archives sur le terrain ; les textes de la réglementation de l'époque ; la prise en compte des contraintes environnementales ; la réalisation d'études (mesures, conception d'outils de mesure, cartographie 3D des installations, etc.) ; le REX disponible sur le démantèlement d'installations comparables. Ce REX constitue une donnée de base essentielle, qu'il convient de collecter et de consolider de manière périodique tout au long du déroulement du projet (et pas seulement en phase d'émergence).

Si cette phase de caractérisation radiologique et chimique de l'installation permet de réduire l'incertitude relative aux données d'entrée, elle ne la supprime pas totalement, d'une part parce qu'elle ne permet pas de garantir l'exhaustivité des connaissances ainsi reconstruites, et d'autre part parce que certaines données (comme la présence d'amiante) ne pourront être complètement connues qu'au moment des opérations de démantèlement.

La pertinence des scénarios de démantèlement repose donc sur des hypothèses qui sont tributaires de données d'entrée en nombre et en qualité suffisants. Or ces données peuvent être incomplètes : elles ont été perdues ou bien n'ont jamais existé, ou sont insuffisamment documentées, la traçabilité de certaines informations n'étant pas demandée à l'époque (par exemple, la tenue des plans à jour ; les fiches de renseignements techniques traçant l'historique avant l'Arrêté Qualité de 1984 n'avaient pas le même niveau d'exigence). Leur acquisition, si elle est décidée par l'exploitant, peut s'avérer complexe s'il s'agit de paramètres difficiles d'accès en l'état actuel de l'installation, nécessitant des points d'arrêt pour lever les doutes (autorisations internes ou autorisations particulières de l'ASN).

Pour faciliter la lecture de la suite du document, nous emploierons le terme d'incertitude pour désigner l'incomplétude et l'incertitude relatives aux données d'entrée.

3. Une transformation continue de l'INB qui génère d'importants volumes de déchets et engendre de nouveaux risques

Une autre caractéristique spécifique au démantèlement est qu'il consiste à opérer une transformation continue (et jalonnée) de l'INB, depuis un état initial où existent des matières à risque (substances radioactives, amiante, substances chimiques) vers un état final où ces « termes sources » ont disparu. Contrairement à la phase de fonctionnement qui vise à maintenir l'INB dans un état stable avec un contrôle à distance des matières à risque, **le démantèlement consiste à intervenir au plus près des matières à risque pour réaliser des opérations** d'assainissement, de découpe et démolition des structures, de reprise, conditionnement et évacuation des déchets, **qui modifient sans cesse l'environnement dans lequel s'effectue le démantèlement et peuvent engendrer des risques nouveaux.**

3.1. Les risques sont évolutifs

Au cours d'un démantèlement, la configuration de l'installation, et donc les risques, évolue en permanence. Certains risques diminuent (dégagement thermique, criticité, radiolyse, etc.) et disparaissent progressivement, alors que d'autres peuvent être temporairement accentués ou apparaître (risque radiologique, risque chimique, incendie, chute de charges, etc.) en lien avec l'augmentation des co-activités.

En règle générale, comparativement à la phase de fonctionnement, les risques liés à la sûreté nucléaire (risques radiologiques pour la population et l'environnement) diminuent lors du démantèlement du fait du retrait du terme source, alors que les risques classiques et radiologiques pour les travailleurs augmentent.

Les risques classiques pour les travailleurs peuvent être plus importants en raison de la nature des opérations à effectuer. Ces dernières se rapprochent des tâches de chantier avec des interventions à proximité ou « au contact » de matériels contaminés ou activés : démontage, découpe avec création de points chauds, port de charges. Elles comportent des risques d'incendie et des risques physiques importants liés notamment à la manutention de charges lourdes pouvant être effectuée à des hauteurs importantes, à l'usage d'outils vibrants, perforants et contondants qui génèrent également beaucoup de bruit et de poussières. De plus, certaines zones n'ont pas été conçues en vue d'une intervention humaine et rendent les conditions d'intervention difficiles : espaces exigus, locaux aveugles et dégradés, encombrés, luminosité inadaptée, etc. Cela engendre des effets sur la santé-sécurité des intervenants qui se surajoutent à ceux décrits ci-dessus : gestes et postures contraints, inconfort visuel, inconfort lié au port d'équipements de protection, bruit, chaleur...

De surcroît, les opérations de démantèlement peuvent s'effectuer dans un environnement exposé à des risques chimiques (amiante, fluorure...) et radiologiques qui nécessitent des équipements et des procédures et modes opératoires adaptés (équipements de protections collectifs et individuels, plan de surveillance de l'activité, plan de prévention, etc.). Certaines opérations peuvent s'avérer techniquement difficiles, notamment en raison des risques induits, et nécessiter des développements de solutions adaptées et spécifiques.

Le bilan de l'année 2020⁷ concernant le suivi de l'exposition interne sur les trois sites en démantèlement retenus (site EDF de Chooz A, site ORANO de La Hague, site CEA de Fontenay-aux-Roses) montre qu'en moyenne 8% des travailleurs ayant fait l'objet d'un suivi de l'exposition interne ont des résultats positifs, comme en 2019⁸, *versus* 28 % en 2018⁹ et aux alentours de 20 % en 2017 et 2016. Ce pourcentage varie de 4 % à 21 % selon le site retenu. Ces résultats confirment l'intérêt du suivi de l'exposition interne chez les travailleurs intervenant sur des installations en démantèlement (1,3 % d'examens positifs en surveillance de routine chez les travailleurs retenus de ce secteur *versus* 0,5 % pour l'ensemble du domaine nucléaire et 66 % d'examens positifs en surveillance spéciale chez les travailleurs retenus de ce secteur *versus* 16 % pour l'ensemble du domaine nucléaire).

La nature même des activités de démantèlement, en lien avec la transformation progressive des installations, peuvent donc faire émerger de nouveaux risques (physiques, chimiques ou radiologiques) et exiger de nouveaux moyens de protection. Même si ces situations doivent être anticipées autant que possible via les points d'arrêts des plans de surveillance ou des plans de prévention, elles ne suppriment pas la probabilité de survenue d'aléas en cours de réalisation, et pointent l'importance de réactualiser collectivement les analyses de risques.

3.2. Une gestion d'aléas tout du long

L'engagement de travaux sur la base de données d'entrée incomplètes ou incertaines engendre un risque accru d'aléas au cours de la réalisation. Ces derniers peuvent concerner des difficultés techniques liées aux découvertes : lors du démantèlement de l'atelier Cerise sur le site du CEA Saclay par exemple, une porte blindée a été mise à jour lors du démantèlement d'un mur ; de possibles incidents ou accidents résultant d'un risque qui s'avère en lien avec les hypothèses faites (découverte de déchets non prévus, amiante, contamination, etc.) ; un risque contractuel lié à l'impossibilité pour l'entreprise prestataire de réaliser ce qui était prévu, ou dans les conditions initialement prévues.

Outre les imprévus ou aléas générés par l'incertitude des données d'entrée, les opérations de démantèlement sont soumises à différents types d'aléas qui peuvent être liés à des problèmes de fiabilité des outils/machines, à la vétusté de certains équipements réutilisés de l'installation (sas, trappes, ponts et moyens de manutention...), à la co-activité, à des évolutions réglementaires (relatives notamment aux colis de déchets), etc. Par exemple, l'obsolescence de certains équipements, qui atteignent leur durée de vie maximale entre la mise à l'arrêt de l'installation et le démarrage des opérations de démantèlement, peut conduire à les reconstruire à neuf ou à les requalifier. L'option de requalification, qui consiste à mettre à niveau les matériels pour une utilisation de manière beaucoup plus fréquente au cours des opérations de démantèlement, est généralement favorisée en raison des ressources temporelles et financières disponibles, et peut générer des aléas techniques qui interrompent le chantier en cours.

⁷ https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Rapport-Exposition-travailleurs-2020.pdf

⁸ https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Rapport-Exposition-travailleurs-2019.pdf

⁹ https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Rapport-Exposition-travailleurs-2018.pdf

3.3. Une production d'importants volumes de déchets variés

Le démantèlement d'une installation nucléaire conduit à la **production d'importants volumes de déchets nucléaires** pouvant être différents de ceux produits lors de son fonctionnement et dont les quantités peuvent être importantes. Ces déchets doivent être **caractérisés, triés, conditionnés, entreposés et/ou stockés et/ou expédiés**. Il existe une **grande variété de déchets** (volume, matière, niveau radiologique...) qui requiert des colis et des capacités de traitement et d'entreposage spécifiques, et la prise en compte des contraintes réglementaires s'appliquant aux transports de marchandises dangereuses et à l'existence d'exutoires (par exemple, il n'y a pas d'exutoire pour l'amiante nucléaire).

En France, le choix d'évacuer les déchets en filière conventionnelle ou nucléaire ne repose pas uniquement sur la mesure de leur radioactivité mais sur le **principe de zonage préalable dans les installations**, qui délimite les zones à production possible de déchets nucléaires des zones à déchets conventionnels. La mise en place du zonage des déchets a été motivée par la volonté de l'ASN de séparer les déchets conventionnels des déchets nucléaires afin de garantir que les déchets nucléaires soient envoyés dans une filière dédiée. Des mesures de contrôle sont également réalisées sur les déchets conventionnels à leur sortie du site. Avant l'application de ce principe, il était en effet constaté le déclassement de déchets nucléaires classés en déchets conventionnels. Il n'y a donc **pas à ce jour de seuil de libération en France** qui consisterait à réutiliser des déchets très faiblement radioactifs dans des biens de consommation ou des matériaux conventionnels. Cette absence de seuil conduit à évacuer en filières de déchets nucléaires tout déchet présentant potentiellement de la radioactivité, quel que soit son niveau. Ce principe de précaution vise à éviter de perdre la traçabilité de déchets produits, radioactifs, qui pourraient par erreur se retrouver dans le circuit des déchets conventionnels. Cela conduit néanmoins à un volume important de déchets dont le traitement, l'entreposage et le stockage constituent des enjeux significatifs. Se pose également la question des alternatives pour la « revalorisation » des déchets afin d'optimiser le volume de déchets produits (exemple : matériaux métalliques non activés ou non contaminés issus de la déconstruction des usines d'enrichissement) et de développer une démarche d'économie circulaire.

Ces éléments impactent directement la planification et l'organisation du démantèlement.

D'une part, au cours du démantèlement, **certains déchets anciens entreposés au sein des installations doivent être repris et reconditionnés** en tenant compte de la réglementation et des connaissances actuelles. C'est ce que l'on appelle la Reprise et le Conditionnement des Déchets (RCD).

D'autre part, **les scénarios de démantèlement doivent tenir compte des exutoires existants pour l'acceptation des déchets** (l'Andra¹⁰ dispose de spécifications pour l'acceptation des déchets), **certaines filières de déchets n'existant pas aujourd'hui**. Il faut donc penser « Waste Route », c'est-à-dire concevoir les scénarios de démantèlement en fonction des déchets qui vont être produits. La gestion de ces déchets doit viser à en limiter les quantités, à définir les traitements à mettre en œuvre et les modalités de transport, et à en déterminer le devenir compte tenu de leurs caractéristiques radioactives et chimiques.

¹⁰ Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs.

3.4. Concevoir des installations permettant la gestion des déchets du démantèlement

La grande production de déchets, la nécessité de les gérer et l'absence de certains exutoires peuvent conduire à concevoir des installations permettant la gestion des déchets du démantèlement.

Pour permettre la réalisation des programmes de démantèlement de ses installations sans attendre la mise en service de Cigéo (centre de stockage profond des déchets radioactifs, dont l'Andra est le maître d'ouvrage), EDF a construit ICEDA : une Installation de Conditionnement et d'Entreposage Centralisé des Déchets Activés, sur le site du Bugey, afin de conditionner et d'entreposer (sur une durée de l'ordre de 50 ans) des déchets activés provenant de la déconstruction des réacteurs de 1^{ère} génération et de Superphénix, ainsi que certains déchets d'exploitation. Ce projet s'est traduit par l'établissement d'une synergie déconstruction – déchets (« waste-led decommissioning »), avec la création d'une nouvelle Direction de Projet en charge de la Déconstruction et des Déchets : la DP2D. La DP2D assure la gouvernance d'une nouvelle filiale d'EDF à 100%, Cyclife, intégrant l'usine CENTRACO (spécialisée dans le traitement de déchets radioactifs par fusion et incinération), basée à Marcoule, ainsi que les activités de traitement de déchets radioactifs précédemment détenues par Studsvik, implantées en Suède et au Royaume-Uni.

Dans l'attente de Cigéo, le CEA a également identifié le besoin de disposer d'une installation d'entreposage pour ses déchets fortement irradiants et/ou à forte composante alpha, issus de ses programmes d'assainissement-démantèlement, notamment ceux conduits sur les centres de Marcoule et de Fontenay-aux-Roses, mais également de ses activités de recherche et développement. Pour répondre à ce besoin, le CEA a choisi de construire l'installation DIADEM (Déchets Irradiants ou Alpha et de DEMantèlement) sur le site CEA de Marcoule, d'où proviennent la plupart des déchets concernés. Un Programme dédié à la stratégie de construction des Entreposages Intermédiaire Polyvalents (EIP) a également été développé à Marcoule. Les EIP constituent un enjeu essentiel pour la gestion des déchets anciens de faible ou moyenne activité à vie longue du site de Marcoule, en attente de leur évacuation vers les exutoires futurs.

Partie 3. Les effets sur l'organisation et les activités

1. Le temps dans le démantèlement : d'un besoin de continuité aux discontinuités temporelles

Le démantèlement s'opère sur un temps long. Le temps long est également une caractéristique des travaux neufs et des installations en fonctionnement. Néanmoins, la dimension temporelle revêt une signification particulière dans le démantèlement qui nécessite d'articuler le besoin de maintenir la mémoire de l'installation et du processus de démantèlement (continuité) aux discontinuités temporelles relatives d'une part aux interruptions caractéristiques du démantèlement (découvertes, aléas), et d'autre part aux évolutions « normales » de la réglementation et des organisations.

1.1. Une exigence réglementaire

La stratégie de démantèlement inscrite dans la loi exige d'opérer le démantèlement « *dans un délai aussi court que possible – dans des conditions économiquement acceptables* », après la mise à l'arrêt définitif. Ce choix vise à ne pas reporter la charge du démantèlement sur les générations futures et permet de profiter au mieux des compétences et de la connaissance de l'installation du personnel d'exploitation encore présent lorsque cela est possible.

Cette stratégie est parfois dénommée abusivement « démantèlement immédiat », par opposition au démantèlement volontairement différé qui prévalait, laissant croire que le démantèlement complet va se dérouler sur une courte durée et s'achever à brève échéance. En fait, il ne s'agit pas de réaliser les opérations de démantèlement dans la précipitation, quels qu'en soient les risques et les coûts, ce qui pourrait être contre-productif, mais d'engager sans attendre les actions nécessaires, qu'elles soient techniques, organisationnelles, réglementaires, contractuelles, etc., en vue de réaliser le démantèlement sur une durée qui peut être plus ou moins longue suivant la complexité des études et travaux à mener, la disponibilité des filières d'élimination des déchets produits ainsi que la multiplicité et la longueur des procédures réglementaires en vue d'obtenir les autorisations nécessaires. Par exemple, la DP2D d'EDF a revu l'échéance de la fin du démantèlement des réacteurs UNGG à la fin du 21^e siècle en démontrant la nécessité de disposer de meilleures techniques que celles disponibles actuellement. Cette stratégie comprend la construction d'un démonstrateur industriel pour les réacteurs graphites destiné à tester de nouveaux outillages et à rendre plus robustes des procédés de démantèlement, notamment pour les caissons. Les industriels seront associés aux recherches de solutions et développements. Dans ce cas, repousser le démantèlement de plusieurs décennies reste cohérent avec la stratégie de démantèlement immédiat.

1.2. Un temps incompressible nécessaire à l'atteinte d'une maturité technique

Comme vu précédemment, le démantèlement comprend une phase d'établissement de l'état initial de l'installation qui nécessite du temps. Ce temps est incompressible et constitue également une ressource, une opportunité pour réaliser des investigations, mettre au point les outillages et équipements, qualifier les procédés techniques. C'est un temps nécessaire à la reconfiguration (remise à niveau) des installations et à l'atteinte d'une maturité technique.

1.3. Des discontinuités temporelles engendrées par la survenue d'aléas et génératrices de délais

Les opérations de démantèlement sont sujettes à des découvertes et aléas qui engendrent des interruptions d'activités et rallongent la durée initialement estimée lors des études préliminaires. La phase de reprise et conditionnement des déchets (RCD) contribue également au temps long dans la mesure où elle concentre le plus de difficultés du fait de l'incertitude sur les données d'entrée et des filières d'évacuation des déchets. Par exemple, des déchets enrobés et bloqués à une époque d'exploitation, et entreposés aujourd'hui dans les installations d'entreposages, ne sont pas forcément compatibles avec des exutoires de l'Andra dont les spécifications techniques d'accueil ont évoluées dans le temps sur la base de nouvelles connaissances sur les matériaux et les risques associés.

Il en découle des surcoûts temporels et financiers qui peuvent être source de démobilitation pour les acteurs : arrêts de chantier le temps de rechercher des alternatives (ex : nouvelles études de caractérisation ; besoins techniques spécifiques), d'attendre des autorisations (internes ou externes), de gérer la co-activité, d'organiser des formations ; ou bien renoncement et changement de stratégie (indisponibilité des utilités, indisponibilité d'un exutoire, etc.). Néanmoins, le temps n'est pas systématiquement un facteur de surcoût financier ou de perte de sens. Il peut être compensé par des effets de manne financière. Pour chaque installation, des arbitrages sont réalisés parmi plusieurs facteurs (décroissance radiologique, gain et coût financiers, connaissance de l'état initial, attentes de la société...), dans l'optique de trouver le meilleur compromis possible.

Les exploitants et les prestataires/sous-traitants cherchent à organiser le travail des équipes de manière à optimiser ces temps d'arrêts, par exemple en planifiant plusieurs projets en parallèle de manière à pouvoir affecter les opérateurs sur d'autres chantiers en cas d'aléas. Cela nécessite néanmoins un important travail d'explication auprès des opérateurs de terrain et la recherche de leviers de motivation (primes d'intéressement, primes sur les objectifs atteints, etc.).

1.4. Garder la mémoire de l'installation et du processus de démantèlement dans un contexte technique, réglementaire et organisationnel changeant

Outre le besoin d'établir l'état initial de l'installation, le démantèlement conduit à une évolution permanente de la connaissance et de l'état physique, chimique et radiologique de l'INB dont il faut garder la trace tout au long du processus. Cela implique une gestion et un suivi du projet particulier pour garantir le maintien des connaissances des équipes en charge du démantèlement, afin d'éviter de refaire ou de repenser des opérations abandonnées par le passé pour des raisons évidentes à l'époque. Cette mémoire évolutive est difficile à maintenir dans un contexte réglementaire et organisationnel qui est lui aussi changeant.

Les exigences réglementaires, en particulier celles concernant la sûreté et la gestion des déchets, peuvent évoluer avec le temps et impacter les phases d'opérations préparatoires au démantèlement et de démantèlement (comme par exemple les évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima et travaux associés). Ces nouvelles obligations s'imposent alors aux exploitants nucléaires en modifiant les données d'entrées, en provoquant de nouvelles priorisations par rapport à des opérations en cours (enjeux de sûreté pour les entreposages), en retardant certains projets de démantèlement par rapport à d'autres plus prioritaires et en augmentant le coût du démantèlement (mise en place de dispositifs de sauvegarde complémentaires de type « noyau dur »).

Le temps du démantèlement est également impacté par les évolutions des organisations et des parcours professionnels. Les organisations se modifient sans cesse, parfois de manière très rapide, et peuvent modifier significativement les manières de travailler. Aussi, pour des raisons liées à leur évolution de carrière, l'échelle d'une mission associée à un poste est courte pour apprécier les avancées d'un projet de démantèlement. Dans ce contexte, il peut être difficile pour le personnel d'avoir une visibilité suffisante des objectifs à atteindre au cours de leur mission. Le transfert de connaissances est un enjeu majeur non seulement du fait du turn over du personnel, mais aussi du fait de la présence de nombreuses parties prenantes et de l'organisation complexe au sein d'un projet de démantèlement.

Ces différentes temporalités (liées à l'établissement de l'état initial, à la remise à niveau des installations, à l'atteinte d'une maturité technique, à la gestion d'aléas, à la réglementation, aux évolutions organisationnelles, aux parcours professionnels) se croisent et peuvent s'articuler ou entrer en conflit, impactant à la fois l'organisation du démantèlement et les personnes. Par exemple, les « stop and go » avec de longues périodes d'arrêt ne sont pas en phase avec les objectifs de rentabilité à court terme des entreprises sous-traitantes. Ils peuvent engendrer une perte de sens chez les personnes, source de départs et de turn-over, qui par effet rebond pose le problème du maintien des compétences et de la connaissance de l'installation, notamment pour l'exploitant.

2. Justifier la maîtrise des risques en contexte d'incertitude

Du fait du caractère évolutif des risques, le démantèlement induit des étapes de mises à jour régulières des référentiels de sûreté, tel que le prévoit le code de l'environnement, **ainsi que des analyses de risques** qui relèvent des dispositions réglementaires à mettre en œuvre pour prévenir les risques professionnels (code du travail).

2.1. Un enchaînement de procédures de contrôle pour démontrer la sûreté

La démonstration de sûreté demandée par la réglementation (arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB) mais également suscitée par la pression médiatique (peur de l'accident) est un exercice particulier dans le cadre du démantèlement dans la mesure où il faut gérer les risques du passé avec les incertitudes que cela comporte, dans un environnement qui se transforme en permanence. En effet, le démantèlement est différent des activités de construction et de fonctionnement du fait de la difficulté à prévoir de manière précise ce qui va se dérouler ainsi qu'une probabilité accrue de découvertes et de survenue d'aléas tout au long des opérations de démantèlement qui conduisent à une évolution des études des scénarios et par conséquent à une adaptation des analyses de sûreté.

Outre les réexamens périodiques au regard des enjeux de sûreté, qui concernent autant les phases de fonctionnement que de démantèlement, les installations en démantèlement font l'objet de plus de modifications notables¹¹ (couvertes par le décret de démantèlement mais nécessitant une modification de la démonstration de sûreté) qui requièrent une autorisation de l'ASN. De plus, le décret de démantèlement définit des étapes qui donnent lieu, comme les réexamens périodiques, à des dossiers soumis à l'approbation de l'ASN. La programmation et la réalisation des différents contrôles, fondées sur une logique de

¹¹ Hors grandes périodes de maintenance pour les installations en fonctionnement.

fourniture de preuves pour délivrer des autorisations, peuvent entrer en collision avec les contraintes ou besoins opérationnels, qui relèvent d'une logique de gestion de l'incertitude. Par exemple, des réexamens périodiques peuvent être programmés alors que le scénario de démantèlement est en cours d'évolution ou que des opérations doivent faire l'objet d'une démonstration de sûreté. Cela peut pousser les exploitants à prendre des décisions irréversibles qui, dans le futur, peuvent se révéler inappropriées.

L'ASN précise que le système d'autorisation a évolué et apporte de la souplesse grâce au système de déclaration de certaines modifications, organisé sous la responsabilité de l'exploitant et permettant de procéder par autorisations internes pour les opérations conformes à la démonstration de sûreté mais susceptibles de faire évoluer le corpus documentaire de sûreté de l'exploitant. Les dossiers de sûreté sont rédigés par l'exploitant de l'installation et examinés par une entité indépendante (cellule de sûreté, commission de sûreté) ; l'autorisation est délivrée par le directeur de site, avec information de l'ASN. EDF souligne que les contraintes migrent chez les exploitants avec le passage d'un système d'autorisation externe à un système de contrôle interne des modifications notables.

Tous ces systèmes de réévaluation des risques (réexamen périodique, autorisation ASN, autorisation interne) reposent sur des dossiers de demande d'autorisation qui mobilisent des ressources importantes chez l'exploitant. Au CEA, l'enchaînement des procédures et des requêtes relatives à une installation en constante évolution participe d'une lassitude et d'une perte de sens parmi les acteurs en charge de la sûreté des installations.

En plus du contrôle des installations, l'ASN a mis en place une démarche exploratoire d'inspection en lien avec la gestion des projets de démantèlement afin de vérifier l'organisation et les moyens mis en œuvre par l'exploitant pour réaliser les opérations en tenant compte des délais prescrits et des enjeux de sûreté. Ces inspections sont relativement récentes (les plus marquantes datent de 2019 et 2021). A ce jour, elles se sont réalisées à Orano et EDF ; la première pour le CEA est programmée courant 2022.

2.2. Des enjeux de prévention des risques qui évoluent tout au long du projet

Outre les exigences de sûreté qui relèvent de la réglementation des INB, les activités de démantèlement sont soumises aux exigences de prévention établies dans le code du travail, qui s'appliquent à tous les employeurs. C'est dans ce cadre par exemple¹² que la Direction Générale du Travail a confié à l'IRSN le Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants (SISERI), qui permet de centraliser, vérifier et conserver l'ensemble des résultats des mesures individuelles de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. SISERI met à disposition des médecins du travail (MDT) et des personnes compétentes en radioprotection (PCR), les données dosimétriques des travailleurs qu'ils suivent.

Une difficulté dans le démantèlement est qu'il n'est pas toujours possible d'identifier en amont toutes les situations de danger ou d'exposition aux risques du fait de l'incertitude et des aléas. **La clarification et le niveau de précision des exigences de prévention se stabilisent beaucoup dans l'observation des situations, au moment de la réalisation des chantiers, alors que les choix techniques et organisationnels, ainsi que les cadres**

¹² L'objectif n'est pas dans ce rapport de détailler l'ensemble des dispositions réglementaires relatives à la prévention des risques professionnels. Il s'agit plutôt de faire ressortir les questions que cela pose dans le cadre du démantèlement.

contractuels, ont été définis et peuvent limiter les possibilités d'action. Dans le cas EDF par exemple, le risque alpha ayant conduit à la contamination de l'intervenant était historiquement connu, mais n'a pas été intégré aux scénarios de démantèlement car le retour d'expérience de l'époque (relatif à d'autres réacteurs à l'étranger) a conduit à arbitrer en faveur d'une absence d'exposition des travailleurs compte tenu de la nature des travaux à réaliser (découpe sous eau, travaux sans émission de poussière). Le choix du prestataire s'est donc porté sur les compétences techniques de découpe sous eau, et non sur l'expérience du risque alpha. Les mesures de prévention prises suite à la contamination de l'intervenant ont consisté à réaliser un avenant au contrat incluant la réalisation d'un protocole de déshabillage, la formation des intervenants, la mise en œuvre d'EPI adaptés. Certaines mesures n'ont cependant pas pu être effectuées du fait des contraintes organisationnelles, temporelles et financières que cela aurait engendré (comme l'aménagement de la passerelle depuis laquelle l'intervenant travaillait, ou le changement de prestataire).

Ces mises à jour régulières des analyses de risques lors de la surveillance des chantiers répondent en partie à l'obligation réglementaire de l'exploitant d'assurer la coordination générale des mesures de prévention des risques prises par chacune des entreprises extérieures. Dans le cadre des INB, l'exploitant peut aller au-delà d'un rôle de coordination en participant en concertation avec les employeurs à la définition des mesures de prévention de leurs travailleurs. Certaines formes d'organisation comme les prestations globales d'assistance de chantier (PGAC) et les équipes « intégrées » peuvent néanmoins avoir un effet opacifiant de la réalité du travail vis-à-vis du donneur d'ordre.

Les modalités de prise en compte des exigences de prévention dépendent également des choix organisationnels de la maîtrise d'œuvre. Par exemple, certains spécialistes FOH de ces entreprises interviennent lors des phases d'études, alors que la connaissance des situations futures de travail est faible à ce stade. Des visites sur site ainsi que le retour d'expérience de chantiers antérieurs leur permettent d'élaborer une analyse des situations de travail et d'identifier un certain nombre de mesures préventives. Ces spécialistes FOH sont cependant moins sollicités lors de la phase de réalisation, alors que l'environnement se modifie entre la fin des études et le démarrage du chantier (d'autres chantiers ont pu être réalisés), ainsi que tout au long du chantier (du fait des opérations de démantèlement). La présence d'un spécialiste FOH lors des phases de réalisation dépend des prescriptions de la maîtrise d'œuvre qui spécifie ou non cette nécessité, en s'appuyant sur l'étude FOH qui a été réalisée dans les phases amonts.

Outre le caractère évolutif des risques, la prévention des risques professionnels dans les projets de démantèlement est donc déterminée par les ressources organisationnelles, humaines et financières disponibles, mais également par la temporalité du projet ainsi que la capacité des modes d'organisation et de contractualisation à prendre en compte des risques nouveaux tout au long du processus de démantèlement.

2.3. Des logiques différenciées entre exigences de sûreté et exigences de prévention

Pour répondre aux exigences de sûreté et de sécurité, les exploitants ont mis en place des systèmes de qualification ou d'acceptation visant à garantir un socle minimum de qualification des entreprises prestataires pour réaliser les opérations d'assainissement et de démantèlement (qualité de la prestation, sûreté-sécurité-radioprotection). C'est le cas par

exemple du domaine de qualification dédié au démantèlement à EDF, ou de la Commission d'acceptation des entreprises en assainissement radioactif et démantèlement d'installations nucléaires (CAEAR) au CEA¹³ ou à Orano. Seules les entreprises qui répondent à ces exigences sont éligibles pour ces marchés.

La prise en compte de critères sociaux, dans les appels d'offres des principaux donneurs d'ordre du nucléaire (CEA, EDF et ORANO), a été identifiée par le CSFN (Comité stratégique de la filière nucléaire) comme un levier de performance de l'industrie du nucléaire. Cette question a été traitée dans le cadre d'un groupe de travail pluripartite du CSFN comprenant les principaux exploitants civils, des organisations syndicales, des organisations professionnelles, des Entreprises Prestataires, des représentants de Ministères, et des représentants de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) en qualité d'observateurs. Ce travail a abouti à la rédaction en 2012 d'un cahier des charges social commun aux principaux exploitants et applicables aux marchés réalisés dans les INB de ces donneurs d'ordre. Ce cahier des charges social (cahier des clauses sociales particulières pour le CEA) précise les règles transparentes et communes à l'ensemble des acteurs de la filière nucléaire afin de faire bénéficier les travailleurs des prestataires, lors de leur intervention, de conditions de travail de nature à préserver leur santé et leur sécurité. A cette fin, le cahier des charges prescrit notamment aux entreprises prestataires de considérer la sûreté et la sécurité comme des priorités et exige qu'elles garantissent le savoir-faire, les compétences et l'expérience des intervenants sur site, par la formation et la qualification. Ce cahier des charges porte également les engagements des exploitants notamment en matière de procédure d'achat, de suivi médical, d'accès à la restauration ou au transport collectifs.

Néanmoins, les exigences en matière de sûreté nucléaire peuvent parfois être en compétition avec les exigences en matière de santé et sécurité au travail qui s'appliquent aux opérations de démantèlement. Par exemple, le respect des exigences relatives à la gestion des déchets et aux spécifications de l'Andra qui en découlent peut conduire à une exposition supplémentaire des travailleurs aux matières à risque. De la même manière, la décontamination par aspersion à l'eau des équipements de protection des travailleurs de l'amiante en sortie de sas de chantier, prescrite par la réglementation, doit s'articuler avec la gestion des effluents contaminés et des déchets induits, entraînant un risque accru de contamination radiologique des intervenants et, dans certaines installations, une incompatibilité avec les règles de maîtrise du risque de criticité.

3. Contractualiser dans un contexte incertain et évolutif

La variabilité des projets de démantèlement requiert d'ajuster les modes de contractualisation à la nature des opérations à réaliser et au niveau d'incertitude sur les données d'entrée, en tenant compte de diverses contraintes (techniques, réglementaires, financières, organisationnelles, temporelles).

Plusieurs points de discussion ont été relevés au sein du groupe.

¹³ Excepté pour le domaine de l'ingénierie qui a été retiré de la CAEAR en tant qu'assistance à la maîtrise d'ouvrage ; il demeure en tant que maître d'œuvre.

3.1. Un recours important à la sous-traitance

3.1.1. Une diversité d'entreprises et de conventions collectives...

Le démantèlement est un processus long de modification d'une installation, souvent complexe par les procédés à l'arrêt et les inventaires associés, qui requiert d'intégrer des compétences multiples (chimie, matériaux, génie-civil, BTP, sûreté...) dans un contexte d'incertitude. Les « métiers du démantèlement » couvrent des réalités très diverses du fait de la grande variété des tâches qui composent le démantèlement. Certaines ne sont pas spécifiques au nucléaire, comme la démolition de bâtiments, alors que d'autres, comme la découpe télé-opérée, relèvent de métiers de niche et sont assurées par des entreprises très spécialisées.

Le démantèlement fait ainsi intervenir une diversité importante d'entreprises appartenant à différentes filières (nucléaire, BTP, chimie, génie civil, matériaux, etc.). Même s'il est présent à toutes les phases de vie d'une installation¹⁴, le recours à la sous-traitance est particulièrement important lors des activités de démantèlement des installations, dans la phase d'études (ingénierie) et de manière beaucoup plus marquée dans la phase de réalisation des travaux. Le recours important à la sous-traitance est lié notamment au fait que le démantèlement implique différents corps de métier et n'est pas ou peu considéré comme « cœur de métier » par les exploitants jusqu'à récemment, le personnel étant recruté et formé pour réaliser des tâches relevant de l'exploitation ou de la Recherche & Développement (très valorisée au CEA). On observe cependant une tendance à réinternaliser certaines activités chez les exploitants nucléaires (Cf. plus bas).

La diversité importante des entreprises du démantèlement est également liée à la structuration même du nucléaire, dont le marché s'est ouvert progressivement au niveau national et international. La mise en concurrence a permis de faire entrer dans le nucléaire de nouveaux prestataires relevant de nouvelles branches professionnelles, et par conséquent de conventions collectives différentes. Les salariés des entreprises extérieures peuvent ainsi relever de conventions collectives du nettoyage, du BTP, de la métallurgie, des bureaux d'études techniques, cabinets d'ingénieurs-conseils et sociétés de conseils (Syntec), etc.

3.1.2. ... ayant des effets sur les conditions sociales et de travail, de sécurité et de sûreté

Sans les détailler, il existe des différences notables entre les conventions collectives dont relèvent les entreprises candidates à un marché. Cette diversité est un levier permettant aux entreprises de proposer des offres plus compétitives que des concurrentes. Pour des raisons commerciales ou réglementaires, cette concurrence peut favoriser le moins disant, ou à tout le moins, celui qui pourrait faire le meilleur effort sur sa proposition commerciale, le donneur d'ordre étant le décideur in fine. Il est difficile pour les entreprises prestataires ayant du personnel expérimenté d'être économiquement concurrentielles face à des entreprises « plus jeunes » qui sont moins expérimentées mais aussi moins onéreuses. Du point de vue de l'exploitant, le CEA souligne qu'il est parfois difficile de justifier les différences de prix sur la base des seuls critères techniques. Par ailleurs, cela requiert des compétences techniques pour évaluer l'adéquation des offres à la nature des opérations à

¹⁴ Le lecteur intéressé pourra se référer aux travaux conduits par le GTA (*La sous-traitance en situation de fonctionnement normal : organisation et conditions d'intervention*), disponible sur le site de l'ASN.

réaliser, et effectuer un choix éclairé sur la stratégie à adopter. En effet, dans le cadre des commandes publiques, le critère économique est surpondéré pour la décision d'attribution, parfois au détriment des critères techniques. Les conséquences peuvent être l'augmentation des risques sur les délais, l'incapacité des prestataires à atteindre le résultat visé, la perte de motivation des chargés d'affaire du donneur d'ordre et le risque de dumping social du côté des entreprises prestataires et risque social pour les travailleurs¹⁵.

De plus, la structure d'une entreprise et la convention collective qui encadre son domaine d'activité déterminent fortement les conditions de travail du travailleur, au travers du contrat de travail qui lie ce dernier à l'entreprise (qu'il soit en CDD, CDI, en mission d'intérim ou autre). Il peut alors en résulter des avantages matériels ou financiers différents : salaire, primes de plongée, de déplacement, de panier, de pénibilité, délais d'exécution des tâches, ressources mises à disposition par l'entreprise, organisation sécurité de l'employeur, reconnaissance de la pénibilité du travail, collectif aguerris ou jeune, possibilités d'évolution dans l'entreprise/le métier, reconnaissance, compléments « sociaux », etc. De la même manière, les compétences techniques et la connaissance des risques peuvent varier en fonction de l'expérience des salariés, des ressources dont ils disposent en termes de formation et du niveau de maîtrise des risques nucléaires de l'entreprise à laquelle ils appartiennent. Cette disparité peut avoir une incidence sur la maîtrise de la sécurité et de la sûreté par les entreprises intervenantes, car celles dont la convention collective est moins avantageuse seront moins attractives pour les salariés ayant les niveaux de qualification et les compétences requis dans ce domaine.

3.1.3. ... dans un contexte de plus en plus exigeant

Les disparités issues des structures économiques peuvent entrer en contradiction avec **un besoin de standardisation des pratiques dans un contexte où de plus en plus d'installations (INB et ICPE) arrivent en fin de vie au même moment, et un niveau d'exigence qui s'accroît (réglementaire, technique) envers les exploitants, qui eux-mêmes déclinent ces exigences en besoin de montée en compétences des différents prestataires.**

Un certain nombre d'associations de professionnels, tels que la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN), le Groupement des Industriels Français de l'Énergie Nucléaire (GIFEN), le Comité Professionnel des Prestataires de Services en matière d'Assainissement Radioactif (COPSAR), travaillent ensemble pour développer des actions communes en matière de formation et d'information des différentes entreprises et donneurs d'ordre.

Les systèmes de qualification ou d'acceptation des entreprises sous-traitantes définis précédemment, offrent aux exploitants une garantie minimale de sûreté-sécurité des services proposés par les prestataires.

Les acteurs techniques, notamment les chefs de projet, jouent également un rôle clef pour s'assurer que les critères techniques sont pris en compte à leur juste mesure dans les offres construites par les entreprises prestataires. Cela suppose des savoir-faire spécifiques pour élaborer un cahier des charges, gérer les alertes, et assurer une continuité malgré un turn over qui peut être important.

¹⁵ Cet aspect est aussi valable dans le cadre des constructions neuves des INB.

3.2. Des stratégies de contractualisation à ajuster à la maille des projets

La contractualisation dans le domaine du démantèlement comporte un certain nombre de défis liés à la nécessité d'articuler la maîtrise des données d'entrée et la gestion conjointe des risques, tout en tenant compte de diverses contraintes telles que la limitation à trois niveaux de la sous-traitance.

3.2.1. *Dimensionner les contrats en tenant compte du niveau d'incertitude des données d'entrée*

L'incertitude des données d'entrée ne permet pas d'avoir un degré de maturité suffisant des opérations à réaliser à échéance lointaine et peut rendre difficile la rédaction des cahiers des charges, et ce faisant la contractualisation. Les contrats comportent alors des exigences incomplètes qui, selon la théorie économique, peuvent entraîner deux types de phénomènes : une sélection adverse qui conduit le donneur d'ordre à sélectionner l'offre la moins chère (moins-disante), et une utilisation par les entreprises prestataires des connaissances acquises en cours de projet pour renégocier les termes du contrat sous forme d'avenants.

Le retour d'expérience de différents projets a mis en évidence les limites des marchés d'ensemblier ou au forfait global dans le cadre du démantèlement, qui impliquent de laisser à la main du prestataire l'ensemble des phases. L'expérience du CEA, qui avait une stratégie générale de contractualisation via des ensembliers, a montré que ce type de stratégie n'était pas toujours adapté aux projets de démantèlement. Si elle permet théoriquement un gain économique (une seule procédure d'achat), une vision d'ensemble (un seul chef de projet, un seul titulaire responsable du contrat) et à long terme (plus attractive pour les entreprises prestataires avec la possibilité d'investir sur le recrutement et la formation), cette stratégie s'avère contre-productive **dans le cadre de projets comportant un niveau d'incertitude trop élevé sur les données d'entrée couplé à des objectifs forts sur l'atteinte de l'état final.** En effet, les prestataires peuvent ne pas être en capacité d'évaluer de manière précise le travail à accomplir, ce qui peut conduire à des offres onéreuses du fait de provisions pour risques importantes, ou à des offres partielles qui ne couvrent pas la totalité des spécifications contenues dans le cahier des charges (en termes d'actions à effectuer ou d'état final visé). Il en découle un risque pour l'exploitant de ne pas tenir ses engagements (réglementaires, contractuels). Il en est de même pour les entreprises prestataires, avec des conséquences financières et sociales non négligeables. La résiliation du marché est parfois le souhait du titulaire car les pertes financières sont importantes et/ou l'écart sur le scénario de référence ne permet pas de poursuivre au même coût et l'avenant n'est plus possible à négocier. Une façon de dépasser ces difficultés est d'intégrer des options (sous Bordereau de Prix Unitaire) dans le contrat, qui permettent de faire le travail si le risque est avéré.

Dans le cadre de la vidange et de l'assainissement des piscines de l'INB 56 de Cadarache par exemple, l'appel d'offres a été déclaré infructueux en raison de la réserve des entreprises quant à l'incomplétude des données d'entrée et l'état final demandé, engendrant une perte de temps et d'argent à la fois pour l'exploitant et les candidats à l'appel d'offres. La succession d'aléas techniques observés dans le cas Orano portant sur le démantèlement de l'évaporateur de l'atelier R7 de La Hague (modification de la technique de coupe, casse d'un bras porteur) a également conduit à passer d'un mode contractuel global et forfaitaire à un mode en obligation de moyens et garantie de fonctionnement. Dans ce dernier exemple, l'incertitude des données d'entrée s'est ajoutée à d'autres contraintes, notamment des

difficultés de coordination au sein du groupement d'entreprises, et des défauts techniques (essais incomplets, failles dans la chaîne d'approvisionnement, etc.).

L'allotissement du projet permet de limiter ces effets, mais engendre des contraintes supplémentaires chez l'exploitant en termes de coordination, de surveillance et de gestion de la co-activité, et chez l'entreprise prestataire en termes de visibilité et d'investissement.

Une manière de gérer l'incertitude lors de la contractualisation peut être de favoriser l'expression de résultats plus que de moyens pour laisser la possibilité de voir émerger des solutions innovantes en cours de projet. Si cette stratégie permet de gagner en souplesse, elle se heurte cependant aux pratiques de prévention qui visent à spécifier des modes opératoires par type de situations à risque. Au CEA, les contrats sont des contrats de résultats. Pour se prémunir des stratégies opportunistes sur les données d'entrée, les contrats peuvent prévoir une clause demandant aux prestataires de chiffrer une prestation leur permettant de valider les données d'entrée dont ils ont besoin pour réaliser leur scénario. Le CEA et ORANO organisent également sur certains projets des dialogues compétitifs sur la base de scénarios proposés par les candidats, qui peuvent durer jusqu'à un an. A l'issue de ces dialogues, chaque prestataire fait une nouvelle proposition technique et financière. Ce processus permet de produire des apprentissages avant la contractualisation pour réduire la part d'incertitude pouvant l'être à ce stade, et sélectionner le meilleur scénario au juste prix. Néanmoins, il est très long et très coûteux pour le donneur d'ordre et les prestataires, la compensation financière n'étant pas à la hauteur de l'investissement engagé par les prestataires durant le dialogue.

3.2.2. Une tendance à la réinternalisation des compétences d'ingénierie dans le cas d'une forte incertitude

Ces constats ont conduit les exploitants, en particulier EDF et le CEA (Orano développant sa propre capacité à réaliser l'ensemble des activités de démantèlement), **à réinternaliser les compétences d'ingénierie** (APS-APD¹⁶) comme moyen de maîtriser le démantèlement **lorsque l'incertitude sur les données d'entrée est trop importante.**

Du côté des entreprises prestataires, la possibilité de concourir aux appels d'offres dès la phase des études d'ingénierie présente l'intérêt d'acquérir des connaissances utiles pour la suite du projet. Néanmoins, la méconnaissance de l'historique de l'installation, associée aux contraintes temporelles de réponse aux appels d'offre (de l'ordre de trois mois en moyenne, mais pouvant être beaucoup plus courte) et à l'investissement économique que cela représente (le coût des études à mener pour répondre aux appels d'offre est souvent élevé et sans garantie de succès) peut conduire à privilégier l'apport de solutions techniques innovantes et à réduire les coûts associés à des activités considérées comme non essentielles, telles que celles assurées par les spécialistes FOH, de manière à proposer des offres concurrentielles. Les donneurs d'ordres s'appuient sur des critères à la fois techniques et financiers pour départager les offres, les stratégies d'évaluation pouvant différer d'un donneur d'ordres à l'autre : pour certains, une première évaluation est faite selon des critères techniques puis les offres jugées recevables sont départagées selon un critère financier ; pour d'autres, le critère technique permet de pondérer dès le départ l'évaluation financière. Le CEA souligne que dans le cadre du code des marchés publics, le choix d'une offre financièrement élevée doit faire l'objet d'une solide justification technique en interne

¹⁶ Avant-Projet Sommaire (APS), Avant-Projet détaillé (APD).

pour préparer la commission des marchés. Les stratégies de réponses aux appels d'offres des entreprises prestataires reposent donc sur de nécessaires arbitrages, avec pour conséquence potentielle de réaliser une analyse incomplète des risques pour les opérateurs (et par conséquent pour l'entreprise et pour l'exploitant).

Du côté des exploitants, sous-traiter les études d'ingénierie induit une perte de compétences qui rend difficile la surveillance des activités réalisées au sein de leurs installations. La réinternalisation permet de mieux répondre à l'arrêté INB qui demande aux exploitants de maîtriser les risques et leur gestion de la sous-traitance. Cela est d'autant plus vrai dans le démantèlement que l'environnement change et nécessite des réévaluations et une surveillance constante à toutes les phases du projet. A EDF, cette stratégie, initiée en 2016 et renforcée en 2020, est d'autant plus avantageuse que les études d'ingénierie pourront servir à plusieurs projets du fait d'un effet de série concernant le démantèlement futur du parc nucléaire en fonctionnement.

La contractualisation dès la phase d'études peut néanmoins s'avérer être une stratégie opportune pour les projets comportant un niveau d'incertitude faible sur les données d'entrée, ou les projets de reprise et de conditionnement de déchets historiques, à condition que le futur opérateur industriel soit le même que celui qui fait les études. Cela permet à l'entreprise prestataire de mieux maîtriser les gestes techniques. Le changement de titulaire du contrat, qui peut résulter d'un processus obligatoire de remise en concurrence, pose la question du transfert des compétences et de la connaissance de l'installation entre prestataires, en plus de celle dont dispose le donneur d'ordre. Malgré la base documentaire construite tout au long du contrat, la réalité peut s'avérer différente ou plus complexe. La reprise d'une partie du personnel sortant par l'entrant est une des solutions possibles, mais peut comporter des contraintes sociales, notamment si les conventions collectives diffèrent. Le CEA indique que l'exploitant doit être partie prenante de tout processus de réversibilité. Ces conditions peuvent engendrer des manques qui, par effet rebond, peuvent avoir des conséquences sur l'organisation du projet/chantier, le respect des échéances et la relation exploitant/prestataire, la sûreté et les conditions sociales et de travail.

3.3. Les conséquences potentielles

Il n'y a donc pas une stratégie de contractualisation idéale du fait du caractère unique de chaque installation et des incertitudes précédemment décrites.

La contractualisation implique un arbitrage entre les risques identifiés, l'incertitude et les coûts associés à la gestion des risques provisionnés, et les actions de diminution du risque. Ne pas pouvoir évaluer a priori un risque suffisamment finement dans le cadre de l'appel d'offre initial (par exemple le risque amiante dans des colis de déchets historiques) peut conduire à un dépassement de l'enveloppe budgétaire et à un appel d'offre infructueux. Par ailleurs, l'évolution de l'état de l'installation fait apparaître des risques qui ne pouvaient pas être anticipés. Les conséquences potentielles identifiées peuvent être :

- Une augmentation des délais de démantèlement : annulation d'un appel d'offre ; arrêts temporaires de chantiers ; rupture ou renégociation de contrat.
- Une augmentation des coûts associés, à la fois pour les exploitants et les prestataires, en termes de maintien de la sûreté, de l'exploitation à l'arrêt, de l'entretien du bâtiment ; de coût lié à la démobilisation des personnels ; de dédommagement en cas de rupture de contrat, etc.
- Le vieillissement ou l'obsolescence progressive des équipements de l'installation.

- La démobilisation des personnes ou leur mobilité au sein de leur structure ou en dehors (évolution professionnelle).
- La dégradation du climat social face aux délais contraints, aux coûts et aux ressources décroissantes (relations exploitant/sous-traitant, prestataire/prestataire, équipes de travail).
- La fuite des savoir-faire.
- La perte de connaissances historiques des installations du fait des changements d'organisation sur la période (chefs d'installation, gestion des projets, salariés, etc.) ; des départs volontaires, etc.

3.4. Des compétences requises en conception et pilotage de projets complexes

La gestion de multiples entités à différents niveaux et à différentes phases (ingénierie, prestations de travaux, gestion de projet, surveillance, etc.) qui s'étalent dans le temps demande aux exploitants des compétences spécifiques en matière de gestion de projet complexe (pilotage et management de projets, contractualisation, planification longue durée, achats, gestion des aléas), et de maîtrise du contexte contractuel et réglementaire.

Cela requiert également pour l'exploitant de conserver un niveau suffisant de connaissances relatives au projet et de compétences clefs liées aux responsabilités d'exploitant et de producteur de déchets, indispensables pour réaliser le suivi et la surveillance des activités. En effet, le caractère évolutif de l'installation et des risques requiert pour l'exploitant d'être en capacité de gérer les alertes, c'est-à-dire de les entendre et d'en comprendre les conséquences pour pouvoir mettre en œuvre des modes de régulation adaptés.

4. Impacts sur l'activité collective et la gestion des risques

L'ensemble des éléments présentés jusqu'ici détermine fortement les relations professionnelles, les collectifs et la gestion des risques au sein d'une même structure mais également entre différentes structures : les formes de contractualisation, la diversité des conventions collectives, les exigences réglementaires, de même que l'organisation propre à chaque exploitant et à chaque entreprise prestataire. L'objectif n'est pas ici d'en faire un inventaire détaillé, mais de mettre en évidence les points d'attention qui ont été discutés au sein du groupe, qui concernent plus particulièrement les formes de contractualisation (entre exploitants et entreprises prestataires, et entre prestataires) et les équipes impliquées dans la réalisation des chantiers.

4.1. L'activité collective : une ressource pour la santé et pour la gestion des risques

L'activité collective se définit comme une articulation entre le travail collectif et le collectif de travail (Caroly, 2019).

Le travail collectif correspond aux modes de coopération et de collaboration entre les membres d'une équipe, qui peuvent aller de la co-activité ou de la co-action (chaque personne poursuit un but spécifique, avec un objectif commun à plus ou moins long terme) à la collaboration, la coopération ou l'entraide (les personnes sont engagées dans la réalisation d'une tâche commune avec un objectif partagé à court terme). Dans ces derniers cas, le travail collectif facilite la mise en œuvre de régulations individuelles et collectives et donne une ressource à chacun pour gérer les perturbations rencontrées

dans les situations de travail (aléas, écarts au prescrit, injonctions contradictoires, etc.), à travers un processus de réélaboration des règles (qui consiste à définir collectivement des formes d'action possibles et efficaces¹⁷ pour faire face à la diversité des situations rencontrées ou susceptibles de survenir).

Le collectif de travail, quant à lui, correspond au fonctionnement des relations au sein de l'équipe, à la manière de vivre ensemble et d'échanger. Le collectif ne se décrète pas : il se construit, et pour cela trois conditions sont nécessaires : l'existence de règles de métier partagées, qui se construisent de manière informelle et permettent de gérer les situations critiques ; la reconnaissance des compétences propres à chacun ; et la confiance réciproque. L'existence d'un collectif de travail favorise le débat entre les professionnels sur le sens du travail, les gestes de métier, les critères d'un travail bien fait. Il constitue une ressource indispensable pour gérer collectivement les risques en favorisant la conscience partagée des risques, la surveillance mutuelle et la mise en œuvre de régulations efficaces.

La combinaison du travail collectif et du collectif de travail dans l'activité collective favorise l'atteinte des objectifs de performance et constitue une ressource pour la santé, la sécurité, le développement des compétences et de la vitalité du collectif de travail.

4.2. Des modes de relations contractuelles qui ne favorisent pas l'émergence d'une activité collective

4.2.1. L'asymétrie des relations entre donneurs d'ordres et prestataires

Le recours à la sous-traitance induit une asymétrie des relations entre les donneurs d'ordre et les prestataires qui ne favorise pas la constitution d'un collectif de travail. Certaines exigences juridiques liées à la contractualisation par exemple, comme les pénalités de manquement en cas de non-respect de clauses particulières, peuvent altérer les relations professionnelles. L'asymétrie des relations n'empêche cependant pas l'émergence d'une activité collective. Au-delà des règles formelles qui régissent la relation contractuelle, les modes d'échanges qui se construisent en situation peuvent favoriser le développement d'une activité collective. Par exemple, la connaissance mutuelle, acquise au travers de collaborations antérieures, peut faciliter la collaboration et la régulation collective de situations.

Cette question est un sujet de réflexion chez certains exploitants qui cherchent à définir des modes de collaboration permettant de travailler plus en partenariat avec les prestataires au bénéfice d'un objectif partagé de sûreté et de sécurité, et ainsi limiter un mode de fonctionnement en « silo » identifié comme un frein à la détection des signaux faibles.

4.2.2. Les limites de la co-traitance

Afin de répondre aux besoins des projets (compétences spécifiques très demandées : génie civil, mécanique, matériaux, sûreté de fonctionnement) ainsi qu'aux contraintes liées à la limitation des niveaux de sous-traitances, les entreprises prestataires peuvent s'associer via des Groupements Momentanés d'Entreprises Solidaires (GMES). Les GMES permettent de s'organiser en tenant compte de la complémentarité des compétences et en offrant une possibilité de se reconfigurer en cas d'aléas. Néanmoins, les conditions de collaboration ne favorisent pas l'émergence d'une activité collective. D'une part, l'équipe est constituée de personnes ayant des statuts différents (car appartenant à des structures différentes) et

¹⁷ Qui conjuguent l'atteinte des objectifs attendus et la préservation, voire le développement de soi.

n'étant pas habituées à travailler ensemble. D'autre part, l'équipe est constituée pour les besoins du projet, et a donc une durée de vie limitée. La reconfiguration permanente des équipes qui travaillent sur les projets de démantèlement ne favorise pas l'élaboration d'un travail collectif (absence de connaissance mutuelle, de confiance, de savoir-faire partagés, etc.) et fragilise voire empêche le développement d'un collectif efficace et protecteur pour ses membres. Enfin, les entreprises qui s'associent temporairement demeurent néanmoins concurrentes, avec des pratiques de débauchage, ce qui n'est pas propice au développement d'un collectif de travail (rétention de savoir-faire, méfiance...) et peut porter préjudice au projet. Par ailleurs, l'entente entre les membres du groupement, solidaires entre eux par le contrat et représentés vis-à-vis du donneur d'ordre par le mandataire (une entreprise du GMES), cesse systématiquement à l'apparition d'aléas majeurs. Le Maître d'Ouvrage est alors contraint de prendre contact avec chaque entreprise pour sortir des difficultés.

Dans le cas Orano par exemple, la concurrence entre les entreprises associées au sein du GMES, dans un contexte marqué par la réinternalisation des compétences de l'une des entreprises par l'exploitant, a constitué un frein à la résolution des problèmes techniques et a dégradé les relations sociales, jusqu'à entraîner un acte de malveillance.

Dans de tels contextes, la construction d'une relation de confiance propice au partage de connaissances, à la coopération et à la coordination, est rendue difficile entre des entreprises aux intérêts généraux parfois divergents. De plus, cela n'incite pas les prestataires à investir dans le recrutement et le développement de compétences du fait de la concurrence et du manque de fidélisation.

4.2.3. La barrière de la langue entre entreprises de nationalités différentes

La langue est également une composante essentielle du travail à réaliser, et représente un enjeu majeur de sécurité et de sûreté dans le contexte international du démantèlement amené à se développer.

L'intervention d'entreprises de différentes nationalités pose le problème de la traduction et de la compréhension écrite et orale. La traduction des documents est posée par l'AIEA comme un problème clef de sûreté. La question de la langue se pose d'autant plus dans le démantèlement qu'un objectif primordial consiste à retracer finement l'historique de l'installation. Dans ce contexte, l'incompréhension et la perte d'information constituent des écueils importants pouvant induire des conséquences sur la sûreté de l'installation et la sécurité des travailleurs.

Les différences de langues peuvent également complexifier les échanges et générer des incompréhensions, voire empêcher la communication et la coopération au sein des équipes. Dans le cas EDF (démantèlement de la cuve de Chooz A) par exemple, l'équipe constituée pour réaliser le chantier ne se connaissait pas et ne parlait pas la même langue. Elle était composée d'un salarié suédois (appartenant à l'entreprise Westinghouse), assisté d'un intervenant français (appartenant à l'entreprise Derichebourg), et d'un technicien en radioprotection français, sous-traitant du titulaire du contrat. L'analyse de l'événement de contamination précise que le technicien radioprotection était un sous-traitant du titulaire de la commande et que bien que présent pendant les opérations de déshabillage, il n'arrivait pas à imposer le respect strict des règles de déshabillage. Outre cet aspect lié à la relation contractuelle, la différence de langue ne facilite pas les échanges au sein des équipes, empêchant la communication interpersonnelle et la mise en œuvre de régulations.

4.3. Les conséquences potentielles

Les configurations de situations décrites ci-dessus montrent que l'activité collective n'est pas un dispositif que l'on définit de manière formelle ; elle se construit au travers des interactions dans le quotidien du travail. Cela signifie que les règles prescrites qui régissent les relations professionnelles (organigrammes, liens fonctionnels, contrats, etc.), que ce soit au sein d'une même structure ou entre des structures différentes (ASN/exploitant ; exploitant/sous-traitant ; sous-traitant/sous-traitant), constituent un cadre de base mais ne suffisent pas pour garantir le développement d'une activité collective favorable à la santé, la sûreté et la sécurité. Elles comportent un risque de fonctionnement en silo générant une perte de vision globale ; un manque de représentation commune, de coordination et d'intégration des actions ; un manque de cohésion ; un manque de visibilité des intervenants, de leurs fonctions et des responsabilités associées.

Par ailleurs, les logiques de contractualisation structurent les collectifs. Elles peuvent conduire à la constitution d'équipes hétérogènes (en termes de statuts, de langue, de culture, etc.) qui relèvent plus de l'addition que de l'intégration de compétences. Ce type de situation peut porter préjudice au développement d'une activité collective et favoriser une gestion distribuée des risques, au détriment d'une gestion collective fondée sur une conscience commune des situations. Les conséquences potentielles sont la difficulté d'opérer des régulations collectives, l'absence de règles partagées, la perte du sens de la règle, l'absence de lien social, le manque de confiance et, in fine, la possible survenue d'un évènement de sûreté ou de sécurité.

5. Impacts sur l'attractivité du démantèlement et la transition sociale

5.1. Le manque d'attractivité de certains métiers du démantèlement

Le démantèlement pâtit d'une image souvent présentée négativement qui ne l'associe pas à la rentabilité et au progrès techniques (activité associée à la production de déchets, risque et non maîtrise des risques, protection, contrôle...). Contrairement aux installations en fonctionnement qui ont une finalité productive (par exemple produire de l'électricité), le démantèlement ne crée pas de valeur directe, dans un contexte économique contraint (ralentissement du marché nucléaire post-Fukushima), et est associé, dans l'esprit des personnes extérieures au domaine, non pas à la conception mais à la démolition¹⁸. Par ailleurs, la méfiance de la société vis-à-vis du nucléaire ne facilite pas l'attraction des jeunes vers ces métiers ; ils peuvent aisément ressentir un sentiment de dévalorisation sociale (métier purement « alimentaire »).

Au-delà de ces aspects macros, l'attractivité des métiers du démantèlement passe également par le sens qu'ils prennent chez celles et ceux qui les pratiquent. Elle varie selon le contenu et les conditions du travail à réaliser. L'attractivité se traduit différemment selon que les salariés se trouvent dans une entreprise prestataire ou chez le donneur d'ordre, ou bien poursuivent une carrière managériale ou technique et scientifique. Les exploitants travaillent à la revalorisation des activités de démantèlement avec une professionnalisation de la filière et l'élaboration d'une identité métier. Au niveau de l'ingénierie, on note une véritable attractivité du domaine : le besoin et la capacité d'innovation, l'agilité, sont autant

¹⁸ A tort, puisque le démantèlement comporte une part non négligeable d'innovation.

de caractéristiques qui motivent les jeunes profils. En interne, les enjeux écologiques de gestion des déchets sont également des facteurs d'intérêt et de motivation.

Néanmoins, cette évolution ne touche pas encore les entreprises prestataires au sein desquelles le démantèlement manque encore de reconnaissance. La concurrence entre entreprises prestataires du secteur, induite notamment par les conventions collectives différentes, ne favorise pas la mise en place de cette dynamique vertueuse. Par ailleurs, les conditions d'intervention des entreprises prestataires diffèrent sensiblement de celles de la phase de fonctionnement. Selon les installations à démanteler, certains équipements dédiés aux intervenants sont temporaires (vestiaires, douches) ; ils ne présentent pas le même confort et peuvent être situés à distance des lieux d'intervention, générant des contraintes (temps d'attente liés aux arrêts de chantiers, temps d'accès aux vestiaires, douches, parkings, etc.) qui se surajoutent aux contraintes décrites précédemment (diversité des statuts sociaux, mise en concurrence), et qui peuvent rendre certains métiers du démantèlement moins attractifs.

L'accompagnement du changement et la possibilité de développement des parcours professionnels jouent également un rôle majeur sur l'attractivité des métiers.

5.2. La transition sociale

Accompagner la transition sociale lors du passage de la phase de fonctionnement à la phase de démantèlement est un défi pour toutes les parties prenantes du démantèlement.

Du point de vue des équipes d'exploitation, même s'il y a un deuil à faire de l'installation qu'elles ont exploitée, réaliser le démantèlement dans un délai court après la mise à l'arrêt leur donne la possibilité de s'investir dans de nouvelles activités et de développer leurs compétences. Le maintien du personnel d'exploitation pour le démantèlement est un enjeu important du fait de leur très bon niveau de connaissance de l'installation. Cela a été le cas par exemple de l'équipe d'exploitation des installations Eole et Minerve ou du réacteur MASURCA du CEA, qui a suivi une formation d'accompagnement au changement pour le démantèlement de leurs réacteurs avant la mise à l'arrêt définitif de l'installation, afin de travailler à la préparation du démantèlement pendant la phase d'arrêt de l'installation : définition de la stratégie et des scénarios préliminaires, et réalisation des opérations de préparation.

Les difficultés relatives au maintien des personnels d'exploitation sont diverses :

- Il existe un turnover structurel important. Chez EDF, les ingénieurs occupent un poste sur une durée de trois à cinq ans alors que le démantèlement peut démarrer dix ans après l'arrêt définitif. Le CEA ajoute que la situation est d'autant plus difficile à gérer que le parcours professionnel des ingénieurs ne se construit pas au sein d'une même installation.
- Il peut être difficile de trouver les leviers de motivation.
- L'impact psychologique : certaines personnes ayant participé à la conception, au fonctionnement et à la maintenance de l'installation ont le sentiment de déconstruire ce pour quoi ils ont travaillé pendant de nombreuses années. L'impact psychologique est notamment lié aux conditions dans lesquelles l'installation a été mise à l'arrêt définitif. Dans le cas de Creys-Malville et de Fessenheim par exemple, la décision de mise à l'arrêt de l'installation résulte d'un choix politique externe à

l'entreprise ; ce choix a été mal vécu par certains personnels qui ne comprenaient pas l'idée d'arrêter un outil qu'ils considéraient comme pouvant encore servir.

- Les possibilités d'évolution de carrière. En ce qui concerne les compétences clés portées par les personnels de l'exploitation et de sûreté, ces métiers sont aujourd'hui peu attractifs et insuffisamment valorisés et ne permettent pas une progression de carrière à la hauteur des responsabilités et des compétences associées. A titre d'exemple, Orano a travaillé sur l'attractivité du poste d'ingénieur sûreté en le positionnant comme poste clé dans l'évolution de carrière des chefs d'installation. Le CEA a eu la même démarche mais constate que les difficultés de recrutement perdurent.

Du point de vue des prestataires, les projets de démantèlement nécessitent des qualifications spécifiques qui peuvent être très différentes de celles requises lors de l'exploitation. La polyvalence peut être un enjeu pour la maîtrise des coûts de prestation et pour la mobilisation des personnels (en limitant les tâches répétitives et rébarbatives : « le démantèlement ça use ») ; mais elle peut être vécue également comme une perte de professionnalisation ou d'expertise. La disparition de certains métiers d'exploitation peut nécessiter des programmes de reconversion professionnelle des personnels.

La réussite de la transition sociale et l'attractivité des métiers sont donc déterminées en grande partie par la manière dont sont gérés les parcours professionnels des personnels. L'enjeu est de permettre à ces derniers de construire de véritables carrières professionnelles qui prennent sens dans leur parcours de vie et de travail.

6. Développement technologique et innovation

6.1. Des innovations nécessaires

Le démantèlement comporte des défis technologiques visant à développer des solutions innovantes adaptées et spécifiques dans différents domaines porteurs d'enjeu : l'investigation sur la caractérisation de l'état initial de l'installation, la caractérisation des déchets, les techniques de décontamination des structures et des sols, le traitement des effluents et déchets, les techniques de découpes avec procédés thermiques ou autre, le travail à distance des zones où les niveaux élevés de radiation interdisent ou limitent l'accès humain, que ce soit en phase d'étude (drones permettant d'effectuer des prélèvements en zone contaminée) ou en phase de travaux (réalité virtuelle, télé-opération, robotisation pour la manipulation de charges en zone contaminée). De nombreuses solutions digitales intégrant notamment des technologies d'Intelligence Artificielle sont développées afin de structurer les données, d'automatiser leur mise à jour, pour in fine sécuriser le démantèlement et éliminer des risques projet.

Alors que les innovations réalisées dans les installations en fonctionnement relèvent d'opportunités d'amélioration dans un environnement peu évolutif, elles revêtent un caractère de nécessité dans le démantèlement, dont le coût est porté plus par le titulaire (et les entreprises sous-traitantes) que par l'exploitant.

La conception de technologies innovantes de pointe suppose de veiller à leur robustesse (adéquation des capacités techniques à la nature des opérations à réaliser, durcissement de l'électronique, déport des systèmes sensibles...), aux modalités d'usage (exigences supplémentaires sur les compétences requises, nouvelles habilitations ou qualifications...) et

de maintenance (mode de fonctionnement en mode dégradé, compétences requises), et à leur transposition à d'autres projets. Si certains développements peuvent être freinés par le caractère unique des projets, d'autres au contraire permettent d'y répondre. Par exemple, la réalité virtuelle en phase d'étude permet de tester plusieurs scénarios, de vérifier leurs effets en termes FOH (risques sûreté, exploitabilité, sécurité, etc.), de détecter des risques et aléas techniques, des dysfonctionnements non identifiés « sur le papier » et ainsi de se prémunir de leur survenue en phase réalisation (élimination de risques sûreté/sécurité et projet) en diminuant le niveau de risque par itérations successives.

6.2. Un manque de visibilité qui ne favorise pas le développement d'une filière industrielle

Les projets de démantèlement d'installations anciennes nécessitent des solutions « sur mesure », peu réutilisables facilement sur d'autres installations. Par ailleurs, le manque d'information des entreprises prestataires quant aux plannings de démantèlement et aux besoins de leurs clients limitent leur capacité à anticiper les besoins de compétences et à engager des projets de recherche et développement. Le COPSAR souligne néanmoins qu'aujourd'hui les entreprises extérieures connaissent de mieux en mieux les programmes de démantèlement à venir et les stratégies développées.

Ces éléments conduisent à un déficit de visibilité en termes de projection d'activité, peu propice au développement d'une véritable filière industrielle, de solutions innovantes pouvant être appliquées de façon récurrente et à grande échelle, **et de compétences** entretenues dans la durée. Cela représente un effort conséquent et un défi pour les entreprises prestataires, avec l'innovation en point positif et le risque projet en point négatif. En effet, l'intérêt des projets de démantèlement est de financer des développements/innovations qui pourront être valorisés dans le cadre d'autres appels d'offres, y compris pour des installations en fonctionnement. Même si chaque projet est globalement unique, il comporte des sous-tâches « reproductibles ». Cependant, le COPSAR confirme que le marché du démantèlement est risqué, incertain et minime par rapport aux installations en fonctionnement. Il arrive que l'exploitant reçoive très peu de réponses aux appels d'offre compte tenu du risque que cela génère. Les risques les plus importants résident dans les marchés qui relèvent des métiers de niche, que l'on trouve chez un nombre restreint d'entreprises. Il est alors difficile pour des nouveaux entrants sur le marché international d'être compétitifs face aux entreprises spécialisées. Une autre contrainte, liée à l'incertitude, est que la durée des projets et les aléas associés aux opérations ne sont pas toujours bien maîtrisés malgré les précautions et les marges prises en amont. Un projet sur deux termine à perte notamment car toute opération nouvelle comporte une part de risque. L'exemple de la découpe du bouchon de la cuve de Creys-Malville est donné par EDF : malgré des tests à blanc satisfaisants, les opérations ne se sont pas déroulées comme prévu en situation réelle car les caractéristiques mécaniques des éléments découpés n'étaient pas tout à fait identiques à celles des matériaux testés, nécessitant des réparations et des mises au point supplémentaires. Dans le cadre du chantier de découpe de l'évaporateur (Orano), la solution technologique conçue spécifiquement pour le projet s'est avérée inadaptée à la nature des opérations et a conduit à une série d'aléas techniques qui interrogent sur les modalités de test, de maintenance et de transposition à d'autres projets.

Ces investissements nécessaires sont peu valorisés par les donneurs d'ordre dans les contrats. Néanmoins, bien qu'encore imparfaite, la stratégie actuelle s'oriente vers un partage des risques entre entreprises prestataires et donneurs d'ordre. Cette situation

devrait évoluer à l'occasion du démantèlement des réacteurs de 2^{ème} génération qui bénéficieront d'un effet de série et d'apprentissage et seront gérés par un seul exploitant (EDF). L'industrialisation de ce secteur est un enjeu important pour réduire les coûts et faciliter la tenue des plannings de démantèlement.

7. En synthèse : les tensions à l'œuvre dans le démantèlement

Pour synthétiser, les principaux points de tensions à l'œuvre dans le démantèlement sont :

Les scénarios. Le démantèlement implique de concevoir des scénarios qui prennent en compte l'incertitude ainsi que la gestion des déchets et des exutoires associés.

Le temps. Les acteurs du démantèlement sont soumis à une exigence réglementaire et sociétale de démanteler dans un délai aussi court que possible après la mise à l'arrêt définitif tout en devant décrire au départ et caractériser tout au long du projet un état initial marqué par un historique complexe, et faire face à de fréquentes interruptions d'activité dans un contexte organisationnel et réglementaire qui évolue.

Les risques. La déconstruction entraîne une évolution des risques (pour l'installation et pour les travailleurs) et leur découverte potentielle au fil de l'eau. Le démantèlement est une activité de prise de décision sous incertitude qui nécessite de préciser et justifier les choix effectués tout au long du projet pour obtenir les autorisations par l'ASN.

Les contrats. N'étant pas considéré comme « cœur de métier », le démantèlement est sujet à un recours massif à la sous-traitance. Dans ce contexte, les défis sont :

- Pour l'exploitant, de trouver la formule contractuelle permettant une allocation des tâches entre donneurs d'ordre et prestataires/sous-traitants qui soit adaptée au contexte d'incertitude, et évolutive.
- Pour les entreprises sous-traitantes, d'assurer l'équité sociale pour les travailleurs tout en parvenant à rentabiliser leurs prestations dans un contexte d'incertitude et de concurrence.
- Pour l'ensemble : de permettre la constitution et le maintien de collectifs de travail indispensables à la maîtrise des risques et l'atteinte des objectifs.

L'attractivité. Alors qu'elles sont en plein essor, les activités de démantèlement demeurent le parent pauvre des activités nucléaires, malgré les efforts déployés en termes de conditions de travail et de parcours professionnels au niveau des exploitants.

L'innovation technologique. Les défis technologiques relatifs à la connaissance de l'installation, la reprise des déchets, l'assainissement et la déconstruction, sont bien réels mais difficiles à relever dans un contexte de faible rentabilité et d'incertitude.

Les projets de démantèlement **requièrent donc des modes de management agiles pour gérer l'incertitude et les risques dans un environnement évolutif au sein duquel opère une multiplicité de parties prenantes.** Ils se distinguent en cela des projets neufs (où l'objectif est de s'assurer que ce qui est construit est conforme aux attendus) ou des installations en fonctionnement (qui relèvent plus du contrôle à distance de processus dans un environnement relativement constant). Les organisations doivent ainsi répondre à un double objectif : réduire l'incertitude le plus en amont possible (spécification des données d'entrée, analyses des risques, provisions sur les risques, gestion d'un portefeuille de risques

évolutifs) ; et se donner les moyens d'apprendre tout au long du projet, en favorisant la remontée et le traitement des alertes, et en construisant des possibilités d'action permettant de les gérer.

Partie 4 : Développer les capacités d'apprentissage et de régulation

1. Tout ne peut pas être anticipé

L'incertitude relative aux données d'entrée, qui est une des spécificités du démantèlement, rappelle que tout ne peut pas être anticipé. Même les situations dans lesquelles les données d'entrée sont connues (comme le cas EDF par exemple) n'empêchent pas l'apparition d'événements inattendus.

1.1. Il y a toujours un écart entre le prescrit et le réel, qui nécessite des régulations

Cette impossibilité de tout prévoir est liée au constat largement partagé dans les sciences du travail qu'il y a toujours un écart entre le travail prescrit, tel qu'il est défini par avance (au travers de conditions et moyens de réalisation: outils, procédures, plannings, espace, etc.) et le travail réel, tel qu'il se réalise effectivement en situation. Les principales causes de cet écart sont :

- La variabilité des situations. Les situations réelles ne sont jamais exactement telles qu'elles ont été anticipées : un collègue est absent, une machine tombe en panne, un fournisseur arrive en retard, etc. Les travailleurs ne restent pas passifs ; ils se réorganisent, individuellement ou collectivement, pour réaliser le travail demandé.
- L'incomplétude de la prescription, qui requiert des compétences humaines pour lui donner du sens et l'ajuster aux spécificités des situations. Par ailleurs, la prescription provient de sources hétérogènes (hiérarchie, procédures, réglementation, autorités de contrôle, etc.) et peut porter sur les actions à effectuer, les objectifs à atteindre (de production, de sécurité, de qualité, etc.), les moyens (techniques, financiers, temporels) alloués, etc. Cette hétérogénéité peut générer des conflits de buts et nécessiter des arbitrages en situation.
- La variabilité intra- et interindividuelle. La variabilité intra-individuelle renvoie au fait qu'une même personne ne réalise jamais son activité de la même manière. Les sources de variations sont plurielles (effets du travail, articulation vie professionnelle et vie familiale, expérience, âge, etc.) et se modifient dans le temps : certaines variations s'opèrent à court terme (fluctuations circadiennes, sommeil, vigilance, etc.), d'autres à plus long terme (modifications liées à l'âge, à l'expérience, etc.). L'activité diffère également entre les personnes (taille, genre, âge, formation, expérience, culture, etc.) : c'est la variabilité inter-individuelle. Ainsi, chaque personne a sa propre façon de travailler qui dépend de ses compétences, de son histoire, de ce que la personne est, ressent, comprend, cherche à faire.

Accepter l'incertitude, c'est se donner les moyens de comprendre les régulations mises en œuvre au quotidien par les acteurs, individuellement ou collectivement, pour gérer la variabilité et l'imprévisibilité des situations. C'est accepter également qu'il n'y ait pas une seule « bonne » manière d'agir dans une même situation, mais une diversité de régulations possibles acceptables. Pour reprendre le modèle C2R présenté au début de ce rapport, les régulations articulent les facteurs de contrainte et de ressource disponibles (techniques, organisationnels, individuels, collectifs) pour gérer les tensions à l'œuvre dans le travail. Elles reposent sur une vision systémique et reflètent les capacités d'action autonomes des individus et des collectifs.

1.2. Il y a toujours un risque de survenue d'événements indésirables

La lecture systémique des situations implique que la survenue d'événements indésirables est rarement déterminée par un seul facteur, mais par la combinaison de plusieurs facteurs qui se cumulent au fil du temps. Un projet (de démantèlement en l'occurrence) peut être défini comme une série de décisions et d'actions conduites dans un contexte technique, organisationnel, réglementaire, économique et humain spécifique qui se modifie au fur et à mesure de l'avancée du projet. Toute décision ou action réalisée à un moment donné est le fruit d'une régulation entre les ressources disponibles et les contraintes, et produit des *effets immédiats* et des *effets latents* qui se combinent, modifient le contexte et engendrent de nouvelles décisions et actions. Cette *dynamique combinatoire* induit inévitablement des irréversibilités (techniques, organisationnelles ou contractuelles) qui réduisent les possibilités d'action. Elle peut, par un effet cocktail issu de l'interaction simultanée de plusieurs facteurs, générer un événement indésirable.

2. Développer les capacités d'apprentissage et les possibilités d'action

Une telle conception ne remet pas en cause l'importance de l'anticipation et du contrôle ; elle n'oppose pas non plus le « réglé » (encadrement des pratiques par la formulation de règles) du « géré » (régulations individuelles et collectives), pour reprendre les modèles théoriques de la sécurité¹⁹.

2.1. Prescription et régulation ne s'opposent pas : elles se conjuguent

Comme représenté sur la figure 3, deux grandes manières d'appréhender les liens entre prescription et régulation peuvent être distinguées (Dekker, 2003).

La première consiste à considérer les prescriptions comme le moyen le plus sûr d'organiser l'action (« one best way »). Selon ce modèle, l'atteinte des objectifs repose sur la conformité des travailleurs aux prescriptions. Toute action d'amélioration consiste alors à investir dans la connaissance des prescriptions de la part des travailleurs, et à contrôler la conformité des travailleurs à ces prescriptions. La place des régulations est très limitée ; elles sont tolérées, mais le plus souvent n'ont pas de reconnaissance officielle. Dans le cadre d'une étude comparative de secteurs à haut risque, Bourrier (2003) montre que les régulations sont requises pour palier les manques des prescriptions, mais que dans le même temps elles sont redoutées car constituent le milieu naturel de la production d'erreurs. Dekker (2003) résume bien cette ambivalence à travers ces deux affirmations contradictoires :

- si le suivi aveugle des règles persiste à ignorer les valeurs qui suggèrent la nécessité d'adapter ces règles, il peut conduire à l'insécurité. Il sera alors reproché aux travailleurs de manquer d'adaptabilité, c'est-à-dire d'appliquer les règles sans prendre en compte le contexte.
- si les travailleurs tentent d'adapter les règles sans connaître suffisamment les conséquences encourues ou sans certitude vis-à-vis du résultat, l'insécurité peut également apparaître. Dans ce cas, il sera reproché aux travailleurs de ne pas s'être conformés aux règles, c'est-à-dire d'avoir adopté un comportement déviant.

¹⁹ Nous renvoyons le lecteur intéressé au rapport du GTD « Développer la sécurité » pour un éclairage à la fois théorique et pratique.

La seconde repose sur l'idée que les prescriptions constituent des ressources indispensables qui ont été anticipées par la conception et l'organisation du travail pour orienter et contrôler l'action. Ces règles ne sont pas complètement désincarnées : elles renferment une partie de l'histoire et des leçons tirées du passé, mais demeurent insuffisantes car elles ne spécifient pas toutes les circonstances dans lesquelles elles s'appliquent. L'atteinte des résultats repose sur la capacité des travailleurs à juger quand et comment adapter (ou ne pas adapter) les prescriptions aux circonstances locales, c'est-à-dire à réguler. Les actions d'amélioration consistent alors à observer et à comprendre les facteurs qui conduisent à l'adaptation, et à développer la capacité des travailleurs à réguler. Dans ce modèle, les régulations constituent des ressources indispensables qu'il est nécessaire d'analyser et de comprendre en vue d'évaluer leur acceptabilité, et de développer de nouvelles possibilités d'action.

Ces deux modèles diffèrent dans la manière de gérer l'incertitude.

Le premier modèle est fondé sur une logique normative qui tolère peu l'incertitude. Il repose sur l'anticipation des situations par la production de règles, et sur le contrôle de conformité. Ce modèle laisse peu de place à l'autonomie et aux régulations, et à la compréhension des écarts entre le prévu et le réel.

Le second modèle est fondé sur une logique de gestion de la variabilité, et donc de l'incertitude. Il repose sur l'articulation conjointe entre (Daniellou *et al.*, 2010) :

- La capacité à « éviter toutes les défaillances prévisibles par des formalismes, règles, automatismes, mesures et équipements de protection, formations aux "comportements sûrs", et par un management assurant le respect des règles » ; et
- La capacité « d'anticiper, de percevoir et de répondre aux défaillances imprévues par l'organisation. Elle repose sur l'expertise humaine, la qualité des initiatives, le fonctionnement des collectifs et des organisations, et sur un management attentif à la réalité des situations et favorisant les articulations entre différents types de connaissances utiles à la sécurité ».

Gérer l'incertitude, c'est se donner les moyens d'apprendre des situations, d'être à l'écoute des signaux d'alerte qui émergent du terrain de manière à comprendre et à gérer les écarts, et à développer les capacités de régulation individuelles et collectives. La question est alors :

Dispose-t-on d'organisations qui permettent d'être dans une dynamique d'apprentissage continu pour développer la santé et la sécurité ?

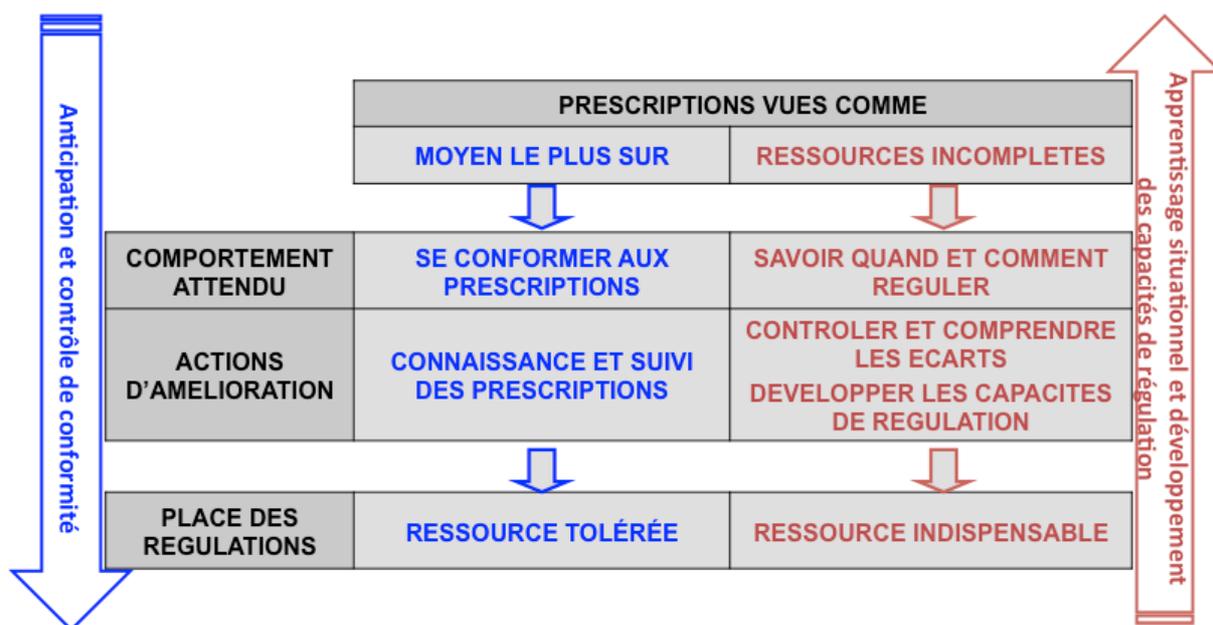


Figure 3. Les liens prescription/régulation (adapté des modèles de la sécurité : Dekker, 2003)

2.2. Organiser des apprentissages tout au long des activités

La nécessité d'organiser des apprentissages tout au long des activités est un enjeu important pour les organisations. Il permet de dépasser une difficulté majeure de la conduite de projet, représentée dans la figure 4a, que Midler décrit de la manière suivante : au début d'un projet, les possibilités d'action sont importantes mais les connaissances sur ce qu'il va se passer sont limitées. Plus on avance dans le temps, plus ces connaissances deviennent consistantes, mais les possibilités d'action se réduisent et induisent des irréversibilités.

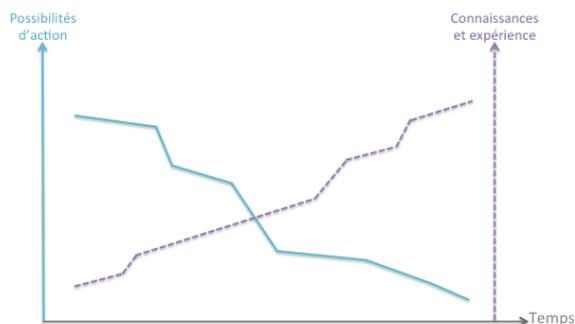


Figure 4a. Le paradoxe de la conduite de projet

Organiser des apprentissages tout au long du projet est un moyen d'identifier des facteurs d'incertitude le plus en amont possible et de se prémunir contre une situation dangereuse ; cela permet également de préserver des marges de manœuvre de manière à conserver des possibilités d'action et à réduire les irréversibilités techniques, organisationnelles et contractuelles (Cf. figure 4b).

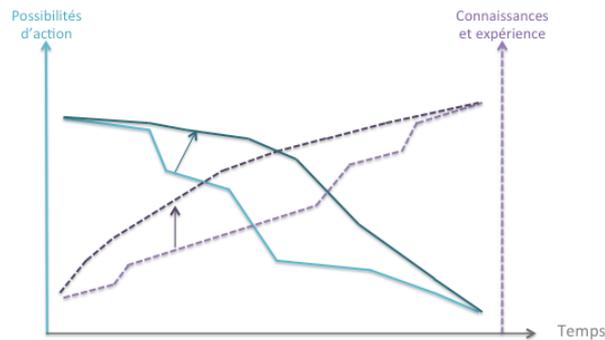


Figure 4b. Les objectifs de la conduite de projet

2.3. Favoriser le débat collectif pour développer des régulations conjointes

Le démantèlement implique l'intervention coordonnée d'une pluralité d'acteurs sur un temps relativement long. Ces différentes activités sont interdépendantes : l'activité des uns est déterminée par, et détermine, l'activité des autres.

La mise en débat de la diversité des points de vue est un moyen de découvrir et de comprendre ces interdépendances, mais aussi d'exprimer et de débattre des contradictions et désaccords, ainsi que des facteurs de ressource et de contrainte à la coordination, et donc à la santé et à la sécurité des personnes et des installations. Ces échanges de savoirs et de savoir-faire favorisent l'apprentissage collectif et peuvent permettre d'élaborer des solutions qui intègrent la diversité des points de vue. Ils peuvent avoir lieu tout au long du processus de démantèlement :

- Au moment de la définition des exigences de conception et des exigences de sûreté et de sécurité.
- En amont de la contractualisation pour réduire la part d'incertitude. Les dialogues compétitifs en sont un exemple.
- Au cours de la réalisation des chantiers par la remontée et le traitement collectif des alertes, des événements indésirables, mais aussi des savoir-faire de prudence.
- Après la réalisation, sous forme de retour d'expérience.

L'organisation de tels espaces de discussion ne consiste pas seulement à rendre les gens capables de s'approprier et d'exécuter les règles, mais aussi et surtout de gérer quotidiennement les variabilités ou aléas. Ils peuvent prendre des formes variées : visite collective de chantiers, réunions de brief/debrief, etc. Par ailleurs, ces espaces peuvent être qualifiés de constructifs dans le sens où ils contribuent simultanément à l'apprentissage collectif et au développement conjoint de régulations, favorisant ainsi la prévention de situations dangereuses et réduisant les irréversibilités.

Enfin, de tels espaces peuvent permettre la constitution et le maintien de collectifs de travail indispensables à la maîtrise des risques, à condition qu'ils reposent sur des modes d'échanges symétriques, réguliers, fondés sur les situations concrètes de travail (et non sur des situations théoriques ou sur les prescriptions), et permettant non seulement l'élaboration mais également la mise en œuvre de régulations.

Néanmoins, ces espaces de discussion n'ont pas toujours de temps dédié car ils sont considérés comme n'étant pas « directement productifs ». On les retrouve souvent de

manière informelle car ils sont vitaux pour les collectifs. L'enjeu est de favoriser leur intégration dans la stratégie des organisations. Pour cela, il est nécessaire que l'organisation prenne conscience de son potentiel capacitant, c'est-à-dire du fait qu'un usage manifeste et réfléchi de ses propres ressources constitue en lui seul une voie prometteuse de développement continu de la santé et de la performance individuelle et collective. En effet, la connaissance que les personnes ont de la situation dans laquelle ils travaillent, ainsi que leur capacité d'ajustement aux variabilités, constituent une valeur sûre qu'il est essentiel de conserver et d'assister en vue d'une amélioration continue.

Annexe 1. Tableau de bord des réunions du GT E

1	01/12/17	- <i>Présentations sur l'organisation et des pratiques de démantèlement chez les exploitants :</i> Vincent Gauthereau (ORANO) Sophie Faure et Eric Gouhier (CEA)
2	25/01/18	- <i>Présentations sur l'organisation et des pratiques de démantèlement chez les exploitants (suite) :</i> Didier Champion (EDF) - <i>Présentation des aspects réglementaires du démantèlement :</i> Dorothée Conte (ASN)
3	30/03/18	- <i>Présentation sur l'évaluation des dimensions managériales et organisationnelles des projets de démantèlement :</i> Sophie Beauquier et Lise Menuet (IRSN)
4	18/06/18	- <i>Présentation sur l'organisation et des pratiques de démantèlement chez les entreprises prestataires et sous-traitantes :</i> Nicolas Box (COPSAR) - <i>Présentation sur les FOH :</i> Vanina Mollo (Présidente du GT E) - <i>Périmètre, objectifs et méthodologie du GT</i>
5	16/11/18	- <i>Analyse collective de cas concrets</i> - <i>Présentation sur les enjeux de la co-activité :</i> Elsa Gisquet (IRSN)
6	08/02/19	- <i>Analyse collective de cas concrets</i>
7	05/04/19	- <i>Analyse collective de cas concrets</i>
8	27/06/19	- <i>Synthèse des études de cas</i> - <i>REX sur la méthodologie</i>
9	24/09/19	- <i>Présentation sur l'approche constructive de la sécurité</i> Pierre Falzon (Président du GT D)
10	28/11/19	- <i>Travail sur les spécificités du démantèlement</i>
11	26/05/20*	- <i>Travail sur une première version du rapport du GT E</i>
12	25/06/20*	- <i>Travail sur une première version du rapport du GT E (suite)</i>
13	08/09/20	- <i>Travail sur les spécificités du démantèlement (suite)</i>
14	03/11/20*	- <i>Présentation sur la gestion de l'incertitude dans la conduite de projets</i> Thomas Reverdy (Université de Grenoble)
15	19/01/21*	- <i>REX sur le fonctionnement du GT E à distance</i> - <i>Discussion des modalités d'interaction avec le GT B (questions juridiques)</i>
16	12/03/21*	- <i>Présentation sur les collectifs de travail et la gestion des risques</i> Sandrine Caroly (Université de Grenoble)
17	11/05/21*	- <i>Présentation du travail des représentants syndicaux sur l'impact de la diversité des conventions collectives sur les activités de démantèlement</i> Franck Marion (CGT)
18	19/10/21*	- <i>Travail sur une version finalisée du rapport du GT E</i>
19	09/11/21*	- <i>Travail sur une version finalisée du rapport du GT E (suite)</i>
20	01/12/21*	- <i>Travail sur une version finalisée du rapport du GT E (suite)</i>

Les dates suivies d'une astérisque () signifient que les réunions étaient réalisées entièrement à distance ou en mode hybride. Pour la majorité elles étaient organisées sur une demi-journée.*

Annexe 2. Liste des membres du Groupe de travail E du COFSOH

- Vanina MOLLO, présidente du GT E (Université de Toulouse)
- Anaïs NOUAILLES MAYEUR puis Carine HEBRAUD & Jonathan RUILLE (ASN)

Par ordre alphabétique d'institution :

- Dominique BOUTIN & Gilles REYNAUD (ANCCLI)
- Marie-Eve NASSER puis Emmanuel RIGAULT, Christine DARROUY, Naïma SEFSOUF, Bernard LANCERY & Dorothée CONTE (ASN)
- Sophie FAURE & Eric GOUHIER (CEA)
- Delphine GLACHET & Pierre VASLIN (CFDT)
- Patrice BIANCHI (CFTC)
- Gérard GUIEU puis Franck MARION (CGT)
- Nicolas BOX puis Samuel COURTEILLE & RIAD SARRAF, Aurélie BARATON (COPSAR)
- Hervé VISSEAUX (DGT)
- Didier CHAMPION (EDF)
- Gilles GOUBET puis Marie-Claire PERRIN (FO)
- Sandrine MAGDALINIUK (FRAMATOME)
- Lise MENUET & Sophie BEAUQUIER (IRSN)
- Vincent GAUTHEREAU (ORANO)
- Jean-François BOSSU & Capucine LEFEBVRE (SYNTEC INGENIERIE)
- Marc LEGER (Président du GT B)