CHAPITRE 4

L'organisation des opérations de démantèlement

Luc Lafanechère, Yves Soulabaille,
Frédéric Tournebize et Jonathan Walter

PLAN DU CHAPITRE

Introduction

1 Découpe et mise en œuvre en téléopération pour les besoins du démantèlement

1.1. Procédés de découpe

1.2. Développements de tête de laser pour le démantèlement

1.3. Procédé de mise en œuvre à distance Maestro

Conclusion

2 Conception des confinements de chantier et rejets gazeux : de la R&D à la normalisation

2.1. Objet et fonctions du confinement

2.2. Exigences de conception des confinements de chantier

2.3. Confinement de chantier – Innovation industrielle et R&D

2.4. Capitaliser par la normalisation

3 Organisation des opérations pour le démantèlement du réacteur Siloé au CEA Grenoble

3.1. Réacteur Siloé – INB 20

3.2. Différentes phases de la fin du cycle de vie d'une INB

3.3. Première phase, avant le décret de démantèlement

3.4. Deuxième phase des opérations, après le décret de démantèlement

3.5. Phase d'assainissement des structures

3.6. Démolition des bâtiments

3.7. Zoom sur les processus de contrôles

3.8. Déclassement final de l'INB

Conclusion

Références

Introduction

De nombreuses opérations de démantèlement ont été réalisées ou sont en cours. Il s'agit d'opérations complexes qui nécessitent des organisations projet adaptées et font appel à des solutions techniques souvent innovantes.

La complexité de ces projets réside d'abord dans le caractère hostile de l'environnement dans lequel les opérations doivent être réalisées : il s'agit donc, entre autres, de développer des équipements de découpe qui pourront être utilisés à distance et de concevoir des confinements adaptés qui permettront de réaliser les opérations en maîtrisant les rejets.

Ces deux aspects sont développés dans les deux premières parties de ce chapitre.

Mais au-delà de ces problématiques techniques, il y a une multitude de paramètres à prendre en compte pour réaliser l'ensemble du processus qui va conduire finalement au déclassement d'une installation nucléaire de base : incertitudes sur la connaissance des installations qui sont souvent très anciennes, évolutions de la réglementation, interactions entre les aspects techniques, contractuels, réglementaires, humains...

La troisième partie de ce chapitre illustre ce dernier aspect avec l'exemple du démantèlement du réacteur Siloé de Grenoble qui est un des volets du projet Passage, projet mis en place pour réaliser la dénucléarisation du site CEA Grenoble.

1 | Découpe et mise en œuvre en téléopération pour les besoins du démantèlement

Yves Soulabaille

Devant la grande diversité des installations nucléaires à démanteler, boîte à gants, chaînes blindées, cellules blindées, déchets en puits, combustibles sous eau, réacteurs nucléaires, les solutions techniques sont elles-mêmes à adapter en fonction des règles de sécurité et de sûreté des installations et également des procédés et des équipements à découper.

Figure 4.1

Quelques exemples d'installations à démanteler.

Ainsi depuis plus de vingt ans, le CEA a acquis une compétence alliant la connaissance des techniques de découpe et les moyens pour leur mise en œuvre, en tenant compte des contraintes d'exploitation des installations nucléaires et des filières déchets existantes en France.

1.1. Procédés de découpe

Deux grandes familles de procédés de découpe sont utilisées dans le démantèlement, les procédés mécaniques et les procédés thermiques.

Les différents procédés mécaniques ont été évalués et sont utilisés sur les chantiers comme, le fraisage, le perçage, le moletage, le rabotage pour les bétons et également les disquieuses, les scies (alternative, à ruban ou circulaire), les cisailles, et autre coupe tôle ou découpe au jet abrasif. Leurs principales caractéristiques sont : la diversité des motorisations, électrique, pneumatique ou hydraulique ; les vibrations, efforts de coupe créés impliquant des systèmes de mise en œuvre permettant la reprise d'efforts ; les contraintes de positionnement liées au contrôle de mise en œuvre des procédés ; la faible production des déchets secondaires et aérosol produits (hormis le rabotage des bétons).

L'oxycoupage aux gaz ou à arc, la découpe plasma, la découpe à l'arc et la découpe laser constituent les principaux procédés thermiques de découpe.

Les principales caractéristiques de ces procédés sont : la découpe par fusion du matériau ; pas d'efforts mécaniques dus à la découpe ; facilité de mise en œuvre en fonction de tolérance de positionnement ; bon pouvoir de coupe ; production des déchets secondaires et en particulier d'aérosols.

Différents essais menés au CEA et à l'IRSN ont permis de comparer les masses des déchets secondaires ainsi que les aérosols entraînés dans la ventilation. Les figures suivantes donnent les résultats obtenus sur quelques procédés de découpe évalués : scie alternative, laser continu 4 kW avec gaz de chasse et 1 kW sans gaz de chasse, torche plasma 50 et 200 A, scie à arc, disceuse et oxycoupage arc air.

Figure 4.2

(a) Masse d'aérosols entraînés dans la ventilation.

(b) Perte de masse par unité de longueur.

Dans les conditions de fonctionnement optimales, le laser présente des aérosols plus faibles que la plupart des autres procédés thermiques de découpe et permet également de limiter la production de scories (perte de masse de la pièce découpée) dont une grande partie reste sur la face arrière de la pièce découpée.

Figure 4.3
Scories.

Ces résultats ont conduit le CEA à approfondir la technique de découpe laser continu avec gaz de chasse en menant un programme de développement sur la conception d'une tête de découpe pour laser adaptée au chantier de démantèlement, c'est-à-dire permettant une mise en œuvre en téléopération tout en assurant la sécurité et la sûreté d'utilisation en milieu nucléaire.

1.2. Développements de tête de laser pour le démantèlement

Le programme a porté en premier lieu sur le développement d'une tête de découpe laser pour les coupes en air. Les spécifications retenues pour la conception de cette tête ont été : un refroidissement par air, la sécurité thermique intégrée, pas de zone de rétention pour éviter de piéger la contamination, une bonne tenue thermique des matériaux, la robustesse pour une utilisation en chantier téléopéré et une facilité de positionnement se traduisant par une bonne tolérance de positionnement.

Après la validation d'un premier prototype, deux têtes industrielles ont été conçues et réalisées par la société ARO. Une tête droite d'une puissance laser maximale de 14 kW et une tête coudée d'une puissance maximale de 8 kW.

Différents essais ont été menés pour déterminer les performances et les réglages appropriés aux chantiers de démantèlement en utilisant les moyens d'essais dont dispose le CEA : l'installation DELIA sur le site de Saclay (figure 4.4) et l'installation HERA sur le site de Marcoule (figure 4.5).

Figure 4.4

Figure 4.5

Bilan : pour une puissance laser de 8 kW, sur de l'acier 316L, en commençant la découpe au bord de l'échantillon, l'épaisseur maximale découpée est de 100 mm avec une vitesse de découpe très lente (7,5 mm/min). Pour la même puissance, et le même acier, 30 mm est l'épaisseur de perçage en pleine tôle obtenu.

La figure 4.6 ci-dessous donne les différentes parties qui composent la tête ainsi que la tolérance de positionnement.

Figure 4.6

La figure 4.7 présente les vitesses limites (VL) en fonction à la fois des épaisseurs maximales découpées sur de l'acier 316L (mm) et de la puissance laser (de 1 à 8 kW). Quant à la figure 4.8, elle illustre les conditions de coupe pour déterminer la vitesse limite.

Figure 4.7
Courbe des paramètres de coupe.

Figure 4.8
Vitesse limite.

Notons qu'en condition opérationnelle, la vitesse de découpe retenue est la moitié de la vitesse limite.

L'utilisation de la découpe laser sur les chantiers de démantèlement offre l'avantage de pouvoir faire en une seule passe la découpe de plusieurs épaisseurs de matériaux. La puissance résiduelle (figure 4.9) après la première coupe est encore suffisante pour la découpe d'autres matériaux.

Figure 4.9

Puissance résiduelle déposée sur la structure en arrière-plan.

En termes de découpe, ceci présente un grand avantage (figure 4.10). Néanmoins cet avantage devient un inconvénient en termes de sûreté. En effet, il conviendra de s'assurer de préserver l'intégrité de la première barrière de confinement, notamment de la peau inox recouvrant la totalité des murs d'une cellule. Il est donc impératif de prendre en compte ce risque d'un point de vue opérationnel par l'ajout de sécurité laser (coupure de l'alimentation si la tête n'est plus en mouvement) et dans les modes opératoires afin de tenir compte de l'environnement de découpe.

Figure 4.10

Exemple de géométries complexes découpées en une seule passe.

En jouant, soit sur la puissance laser, soit sur la vitesse de découpe, il est possible de découper la première tôle sans découper la seconde. La figure 4.11 (a) ci-dessous illustre la distance de sécurité en tir direct en fonction de l'épaisseur de la tôle en arrière-plan et des vitesses de découpe, pour une puissance laser de 8 kW alors que la figure 4.11 (b) donne cette distance en cas de découpe d'une première tôle (tir indirect).

Figure 4.11
Distance de sécurité en tir direct et tir indirect.

Des études analogues à la découpe laser en air sont menées pour la découpe laser sous eau. La contrainte spécifique sous eau est la création d'une zone sèche afin de s'affranchir de l'atténuation du faisceau laser sous eau qui serait rédhibitoire. Les simulations et les premiers essais sur une tête prototype (figure 4.12) mettent en évidence que la tolérance de positionnement est réduite par rapport à la découpe en air et qu'il est impossible de découper une seconde paroi.

Figure 4.12
Test en simulation et tête prototype.

Les premiers résultats donnent les capacités de coupe pour de l'acier 316L :

- sous 50 cm d'eau : 20 mm identique à une découpe en air et épaisseur limite de 40 mm ;
- sous 4 m d'eau : 20 mm à une vitesse deux fois plus lente qu'en air.

Il y a également 75 fois moins de production d'aérosol sous 50 cm d'eau et 400 fois moins sous 4 m d'eau.

La conception d'une tête industrielle et les essais de qualification vont se poursuivre sur les installations CEA Saclay et Marcoule afin de proposer cette technique de découpe innovante pour les chantiers de démantèlement sous eau.

1.3. Procédé de mise en œuvre à distance Maestro

Tous les procédés de découpe que nous avons vus peuvent être mis en œuvre à distance. Depuis une vingtaine d'année, le CEA a mené un programme de recherche et développement pour doter le démantèlement d'un système de téléopération à retour d'effort d'une capacité d'emport d'une centaine de kilos. Du prototype de recherche CEA (figure 4.13) au produit industriel de Cybernétix (figure 4.14), le procédé Maestro répond à sa spécification :

- bras esclave hydraulique en titane capacité 70 kg à 2,30 m (version longue) ;
- répétabilité unidirectionnelle de 1 mm ;
- actionneurs rotatifs, poignet concourant avec changeur d'outil (pas d'ombilic outil électrique externe) ;
- système modulaire durci 10 kGy et décontaminable ;
- sensibilité effort 2 kg poignet, 10 kg grands axes, ratio maître/esclave effort 1/15^e ;
- centrale hydraulique embarquée à double enveloppe avec fluide résistant au feu ;
- ergonomie poste de pilotage (mode « M/E » à commande cartésienne, mode « robotique » avec apprentissage de trajectoire en mode M/E, blocage DDL, compensation poids outil, mode « dégradé » à commande articulaire...).

Figure 4.13
Prototype de recherche...

Figure 4.14
...produit industriel.

Une attention toute particulière a été portée sur la fiabilité du système et sa maintenabilité afin d'avoir un taux de disponibilité opérationnelle de 80 % attendu sur les chantiers. Ceci a été possible grâce au retour d'effort qui permet la réduction des chocs et des vibrations sur le manipulateur, grâce également à la modularité pour diminuer les temps de maintenance. Des essais d'endurance de plus de 1 200 heures ont démontré en inactif la fiabilité du système Maestro.

Quant à la productivité, elle est accrue grâce à la réduction du facteur humain par l'ergonomie du contrôle-commande avec l'utilisation de toutes les fonctions qu'offre le logiciel TAO 2000. De plus, la capacité du bras et la connexion directe d'outils électriques plus performants (par exemple : grignoteuse) permettent, en condition d'essai en inactif, une production entre 40 à 60 kg/jour de déchets comprenant les actions de découpe, de conditionnement et de rangement en poubelle.

Conclusion

Après la qualification du système Maestro et du procédé de découpe laser en inactif, le premier chantier de démantèlement alliant laser et Maestro est en cours sur l'installation MAR 200. En phase de préparation chantier, les équipements permettront de découper les deux dissolvants dans un environnement contraint.

Figure 4.15

Chantier Dissolvers sur l'installation MAR 200 (Marcoule).

2 | Conception des confinements de chantier et rejets gazeux : de la R&D à la normalisation

Luc Lafanechère – Jonathan Walter

Dans le domaine du démantèlement, de nombreux enjeux sont à prendre en compte, couvrant des sujets aussi divers que la caractérisation radiologique, l'élaboration de scénario, les techniques de décontamination, le traitement des déchets... Dans tous ces domaines, la capacité des donneurs d'ordre et de l'industrie nucléaire à intégrer l'innovation est un facteur clé de sa performance.

Quels que soient les domaines concernés, la sûreté et la radioprotection restent deux enjeux transverses incontournables pour mener à bien les opérations de démantèlement et d'assainissement, ils nécessitent la maîtrise du confinement des chantiers de déconstruction.

Le confinement des chantiers est un domaine en développement (innovation industrielle, R&D) qui nécessite une méthodologie propre et sûrement à terme une norme dédiée.

2.1. Objet et fonctions du confinement

Les opérations de démantèlement s'effectuent dans un contexte réglementaire qui est celui de la loi TSN du 13/06/2006 et de l'arrêté INB du 08/02/2012. De plus, chaque exploitant nucléaire dispose d'un référentiel sur la sûreté, la radioprotection et l'environnement.

Cependant, concernant le confinement, bien qu'il existe des référentiels et des normes qui concernent la construction et l'exploitation des réacteurs et des laboratoires ou usines, aucun texte à caractère normatif n'est disponible pour cadrer le confinement des chantiers de déconstruction. Les confinements mis en œuvre en démantèlement, de par les contraintes d'installation, leur « durée de vie » relativement courte, l'existence de ventilations générales, et le nombre important de sas mis en œuvre, sont spécifiques.

Il est donc nécessaire, pour les concepteurs des scénarios de démantèlement et pour les exploitants nucléaires, de développer et mettre en œuvre une méthodologie propre au confinement de chantier.

L'objet d'un confinement nucléaire est avant tout de réaliser les fonctions de « sûreté » (protection de l'environnement et du public) et de « radioprotection » (protection des travailleurs). De plus, il contribue à réaliser des fonctions de « propreté radiologique » des locaux (limiter la quantité de déchets nucléaires produits) ainsi que « d'assainissement », « d'épuration » et de « conditionnement d'air » des locaux investis.

L'enjeu du confinement est de concilier la protection requise de l'environnement et des opérateurs avec des contraintes industrielles telles que la faisabilité technique, les conditions d'intervention qui doivent être acceptables, le coût et les délais qui doivent être maîtrisés.

L'usage veut que l'on définisse une classification des confinements en quatre classes, comme dans la classification de la norme ISO 17873 pour le confinement des laboratoires et des usines, avec quelques aménagements liés aux spécificités du démantèlement, de la classe 1 où l'on admet qu'un faible niveau de contamination atmosphérique, à la classe 4 pour des atmosphères très dangereuses.

Chaque classe de confinement correspond à un attendu maximal en fonctionnement normal et accidentel en termes d'enjeux radiologiques qui est quantifié en nombre de LDCA équivalente (LDCA : limite dérivée de concentration dans l'air), c'est-à-dire en équivalent de dose potentiellement reçue par un travailleur s'il respirait une atmosphère donnée pendant une année de travail (c'est-à-dire 2 000 h) comparée à la dose annuelle réglementaire pour un travailleur (20 mSv). À titre d'exemple, le tableau 4.1 présente la classification utilisée par la norme ISO 17873.

Tableau 4.1
Critères de classification radiologique des confinements de la norme ISO 17873.

Contamination permanente normale (Nb LDCA équivalente)	Contamination accidentelle potentielle (Nb LDCA équivalente)	Classe de confinement	Type de ventilation
< 1/10	< 1	C1	I
< 1	< 80	C2	II A
< 1	< 4 000	C3	II B
< 80	< 4 000	C4	III A
< 4 000	> 4 000	C4	III B
> 4 000	>> 4 000	C4	IV

2.2. Exigences de conception des confinements de chantier

Dans le cas général, le confinement d'un chantier est obtenu par la combinaison d'un confinement statique qui peut être de plusieurs types (sas souple type vinyle, sas semi-rigide type polycarbonate, confinement rigide métallique ou paroi d'un local) et d'un confinement dynamique réalisé par un système de ventilation assurant l'obtention d'un critère : sens d'air, vitesse d'air aux ouvertures, niveau de dépression... Le confinement statodynamique obtenu doit être adapté aux enjeux radiologiques, comme présenté dans la figure 4.16.

Figure 4.16
Critères statodynamiques d'un confinement en fonction de l'enjeu radiologique.

Le nombre de niveaux de confinement doit être déterminé par une évaluation des risques qui prend notamment en compte la gravité et la fréquence probable des accidents potentiels, la quantité de radioactivité présente et sa radiotoxicité et le potentiel de dispersabilité des radionucléides présents.

Par exemple, pour les opérations présentant un enjeu radiologique élevé, trois niveaux de confinement sont mis en œuvre : un confinement à la source (qui peut être de type boîte à gants), un confinement de chantier type sas de confinement, les opérations étant réalisées dans un confinement historique ou à créer (bâtiment existant ou de type abris climatique) (figure 4.17).

Figure 4.17
Schéma de principe de la composition des différents niveaux de confinement.

Les confinements généralement mis en œuvre sont schématiquement représentés sur la figure 4.18.

Figure 4.18
Schémas de principe des confinements de chantiers.

2.3. Confinement de chantier – Innovation industrielle et R&D

La conception des confinements de chantier fait l'objet de développements de manière à optimiser sa mise en œuvre et à adapter les exigences aux enjeux radiologiques des opérations à réaliser. De par la diversité des situations rencontrées, elle présente une marge importante d'optimisation et d'innovation industrielle.

Parmi les sujets étudiés, on note particulièrement la maîtrise des risques de détérioration du confinement, la définition des critères statodynamiques garantissant un confinement optimisé (aérodynamique et installation des confinements) et l'instrumentation et la mesure de l'activité générée ou rejetée.

Innovation industrielle

À titre d'exemple, deux procédés ont été développés en collaboration entre EDF/CIDEN et un titulaire de contrat de démantèlement : découpes par scie avec cloche de confinement et découpes par cisaille avec bac à copeaux et hotte d'aspiration (figure 4.19).

Ces deux procédés ont fait l'objet d'un programme de qualification pour garantir l'efficacité du confinement mis en œuvre.

Ces procédés permettent des découpes dans des locaux non nucléaires avec un confinement approprié. Ils sont une alternative aux sas de confinement de chantiers traditionnels. Ils permettent de simplifier les conditions d'intervention (niveau de sécurité du chantier amélioré) et dans certain cas de diminuer le débit de dose reçu par les opérateurs grâce à leur rapidité de mise en œuvre, comparée à l'installation d'un sas de confinement.

Figure 4.19

(a) Découpe par scie sabre et cloche de confinement. **(b)** Cisailage confiné par hotte aspirante.

Recherche et développement

À titre d'illustration, deux programmes de R&D en cours et à venir.

Le premier programme, lancé en 2011, concerne la caractérisation et l'impact des particules incandescentes dans les réseaux de ventilation [1].

L'objet de ce programme de recherche est d'étudier l'agression d'un filtre très haute efficacité par des particules incandescentes émises lors d'opérations de démantèlement, afin de contribuer à l'évaluation des dispositifs et des pratiques mises en œuvre pour préserver les systèmes de filtration (figure 4.20).

Figure 4.20

Visualisations au microscope électronique à balayage de l'interaction de particules métalliques avec le médium filtrant [2].

Le second programme concerne l'étude des mécanismes de transfert aérodynamique au travers d'ouvertures, en vue d'évaluer l'efficacité du confinement dynamique des enceintes de chantier (thèse issue d'une collaboration entre l'IRSN et EDF, commencée fin 2014) (figure 4.21).

(a)

(b)

Figure 4.21

(a) Sas souple de confinement sur un chantier de démantèlement.

(b) Visualisation de rétrodiffusion au niveau d'une fente verticale d'un sas souple.

Il comporte une caractérisation expérimentale et numérique des transferts de polluant potentiellement émis à l'extérieur d'une enceinte à parois souples en fonction de la dépression interne, des caractéristiques de l'ouverture, des perturbations internes et externes, de la nature du polluant... Il permettra d'acquérir des connaissances sur les phénomènes de transfert d'aérocontaminants au travers de barrières de confinement dynamique en situations normale ou accidentelle et de quantifier les grandeurs relatives aux performances des dispositifs étudiés.

2.4. Capitaliser par la normalisation

Les principes et la méthodologie de confinement des chantiers ont vocation à évoluer et à s'enrichir en fonction du retour d'expériences sur les chantiers en cours et à venir, à EDF et chez d'autres exploitants en France comme à l'international. Il s'agit principalement de prendre en compte les problèmes rencontrés sur site, d'adapter les exigences aux enjeux, et d'innover vers de nouvelles pratiques à la fois sûres, faciles à mettre en œuvre, rapides et industrielles.

De plus, la conception et l'exploitation des confinements présentent un effet de série certain. En effet, des centaines de sas de chantier sont mis en œuvre sur un chantier de démantèlement ; il est donc opportun et bénéfique de mutualiser l'ingénierie en amont. Il convient cependant de conserver une souplesse importante, chaque chantier de démantèlement est spécifique, c'est une des caractéristiques de la déconstruction, tout en ayant un socle d'exigences à respecter pour garantir la sûreté des chantiers et la protection des travailleurs.

C'est pourquoi une norme NF/ISO : « Critères pour la conception et l'exploitation des systèmes de confinement des chantiers nucléaires et des installations nucléaires en démantèlement » est en cours de développement.

L'objectif est de normaliser les pratiques de confinement des chantiers sur une base discutée par les exploitants nucléaires, l'IRSN et les industriels du secteur pour définir un socle d'exigences raisonnables.

3 | Organisation des opérations pour le démantèlement du réacteur Siloé au CEA Grenoble

Frédéric Tournebize

Le CEA termine actuellement les opérations de dénucléarisation du site de Grenoble.

Le CEA disposait à Grenoble d'un ensemble d'installations nucléaires (figure 4.22) destinées principalement au soutien du parc électronucléaire français : 3 réacteurs piscines (Mélusine, Siloé et Siloette – INB 19, 20 et 21), un laboratoire chaud (le Lama – INB 61) et des installations de traitement et de gestion des déchets (la STED – INB 36 et 79).

Figure 4.22

Vue générale des INB du site CEA Grenoble.

Compte tenu de la maturité du programme électronucléaire, il s'est avéré que les moyens disponibles au CEA pour les programmes de recherche étaient devenus surdimensionnés. Aussi le CEA a décidé en 2001 d'arrêter ses installations basées sur le site de Grenoble en transférant les programmes sur d'autres sites, notamment Saclay et Cadarache.

Le projet Passage a alors été créé avec pour mission de conduire les installations nucléaires jusqu'à leur déclassement.

Ainsi, après une quinzaine d'années, l'objectif de « boucler le cycle de vie » des installations nucléaires à l'échelle d'un site complet est atteint.

3.1. Réacteur Siloé – INB 20

Figure 4.23

Vue extérieure du réacteur Siloé – Vue du hall réacteur.

Siloé (figure 4.23) était un réacteur expérimental de type piscine, d'une puissance nominale de 35 mégawatts, mis en service en 1963 et arrêté en 1997. Son enceinte de confinement est constituée par un hall cylindrique en béton de 27 mètres de hauteur et de 27 mètres de diamètre.

Les réacteurs étaient utilisés dans les domaines suivants :

- la recherche fondamentale sur les structures cristallines, à l'aide de faisceaux de neutrons ;
- le soutien scientifique au parc nucléaire français ;
- les études de comportement des structures et des combustibles nucléaires du futur ;
- la production de radioéléments pour la médecine ;
- la production de silicium dopé pour les industries de la microélectronique.

3.2. Différentes phases de la fin du cycle de vie d'une INB

Les grandes étapes techniques qui vont conduire au déclassé de l'INB sont les suivantes :

- évacuation des matières et combustibles ;
- démontage des équipements expérimentaux ;
- démontage des équipements de l'INB ;
- assainissement des structures voire des sols ;
- contrôles radiologiques finaux.

La réalisation de ses opérations techniques est soumise au respect d'une réglementation bien définie. On distingue deux phases :

- la 1^{re} phase est réalisée dans le cadre du référentiel d'exploitation de l'INB ;
- la 2^e phase est réalisée dans le cadre du référentiel de démantèlement : celle-ci est autorisée par décret.

Enfin, la fin du processus est sanctionnée par un arrêté qui homologue la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire de déclasser l'INB, c'est-à-dire de la radier de la liste des INB.

Le challenge d'un projet de démantèlement est d'assurer le développement harmonieux du processus technique et du processus administratif, dans le souci continu de maîtriser la sécurité des opérations, les plannings et les coûts associés.

3.3. Première phase, avant le décret de démantèlement

C'est dès 1994 que le CEA a annoncé que le réacteur Siloé serait arrêté fin 1997.

Ces trois ans ont été mis à profit pour terminer les programmes expérimentaux prévus et pour préparer les opérations de démontage des équipements expérimentaux.

L'adéquation entre le référentiel d'exploitation et les opérations prévues avant le décret de démantèlement a fait l'objet d'une attention particulière pour s'assurer que toutes les opérations seraient couvertes par le référentiel de sûreté.

Ainsi, les opérations techniques ont pu débuter dès 1998, et se sont déroulées jusqu'à fin 2004.

Elles se sont terminées courant 2005 avec la vidange des piscines du réacteur.

L'évacuation du combustible du réacteur ne pose pas de souci particulier : c'est une opération courante dans un réacteur de recherche et les combustibles ont été envoyés à La Hague pour retraitement, à l'issue de la période de refroidissement prévue.

Le démontage des équipements expérimentaux qui étaient en pile consiste en la séparation des différents composants pour envoi dans les filières de déchets nucléaires associées : chaque dispositif d'irradiation fait l'objet d'une étude de sécurité avant le démontage.

Ainsi, plusieurs centaines de dispositifs plus ou moins complexes et en plus ou moins bon état ont été découpés dans la cellule chaude du réacteur ou sous eau, dans la piscine (figure 4.24).

Figure 4.24

Démontage des équipements expérimentaux dans le hall réacteur Siloé.

3.4. Deuxième phase des opérations, après le décret de démantèlement

Le décret du 26 janvier 2005 a autorisé le CEA à procéder aux opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement de Siloé.

Les opérations de démantèlement à proprement parler commencent alors : tous les composants du réacteur sont démantelés. Un exemple significatif est le circuit de refroidissement du réacteur : après vidange de la piscine et des circuits, les échangeurs de chaleur, les bacs de désactivation, les pompes de circulation... sont démontés, découpés et envoyés aux déchets.

Figure 4.25

Transport d'un échangeur vers le sas de découpe – Découpe dans le sas.

Une étape importante de cette deuxième phase aura été le retrait du cuvelage de la piscine.

Cette étape a constitué un aléa majeur du chantier. Elle illustre la complexité qu'il y a à tout prévoir dans un projet de démantèlement, et de ce fait l'importance d'avoir en permanence d'une part une attitude de prudence et de vigilance, et d'autre part une attitude d'anticipation des changements qu'il faudra intégrer dans le processus.

En effet, il s'est avéré que le cuvelage de la piscine était plus activé qu'imaginé, ce qui a rendu impossible le démontage manuel qui était prévu et a imposé un démontage téléopéré.

La solution technique finalement retenue a été d'adapter puis de qualifier un équipement du commerce pour réaliser les découpes sous confinement en téléopéré.

L'ensemble de ces opérations s'est déroulé de 2006 à 2008.

3.5. Phase d'assainissement des structures

Quand les composants de l'installation sont démontés, l'exploitant procède à l'assainissement des structures. L'objectif de cette étape est de retirer toute trace de la radioactivité qui a pu être apportée dans l'installation par les activités qui y ont été menées.

Les opérations devant conduire au déclassement de Siloé étaient engagées depuis de nombreuses années quand, en 2006, l'Autorité de sûreté nucléaire a précisé sa vision de la méthodologie à respecter pour réaliser l'assainissement des structures.

Il a fallu s'adapter.

Le retour d'expérience de l'utilisation de cette méthodologie à l'assainissement du réacteur Mélusine a conduit le CEA à engager une démarche plus radicale pour l'assainissement des structures internes du hall de Siloé : il s'est avéré plus fiable en termes de respect du planning et de maîtrise des coûts de procéder à la démolition complète des structures internes, plutôt que de procéder à leur assainissement, même si cette option conduit à un volume de déchets très faiblement actifs notoirement plus important.

Figure 4.26

Le hall réacteur en fin de démolition des structures internes.

C'est ainsi que la cellule chaude du réacteur, ses piscines et toutes les structures internes ont été démolies pour laisser l'intérieur du hall réacteur entièrement vide (figure 4.26).

Ces opérations se sont terminées fin 2010.

3.6. Démolition des bâtiments

À la fin de ce chantier d'assainissement, l'ensemble des contrôles radiologiques réalisés démontraient que les objectifs radiologiques visés étaient atteints, sauf en quelques points le long de câbles de précontrainte du radier du réacteur.

En 2011, l'Autorité de sûreté a considéré que la situation n'était pas conforme aux engagements du CEA. Elle a exigé que ces derniers points soient assainis pour que le déclassement puisse être prononcé.

Compte tenu de la configuration du bâtiment, le traitement du radier imposait la démolition complète du bâtiment !

Le CEA a décidé d'engager la démolition du bâtiment, le traitement du radier et du sol sous le radier.

Cette évolution du projet s'est accompagnée d'une évolution du décret de démantèlement : après une première évolution du décret en 2010 (augmentation d'un an de la durée), l'Autorité de sûreté a donné un accord express en 2012, pour procéder à la démolition du bâtiment, concrétisée en 2013 par une deuxième évolution du décret.

Le chantier a été réalisé de 2012 à 2014 et les grandes étapes ont été (figures 4.27 et 4.28) :

- contrôles radiologiques de l'INB, hors radier ;
- déclassement zonage déchet de l'INB hors radier (ce qui permet la démolition en conventionnel du bâtiment hors radier) ;
- protection mécanique de la zone radier ;
- démolition du bâtiment ;
- mise en place d'un confinement de la zone radier ;
- traitement du radier et du sol sous radier – chantier nucléaire ;
- contrôles radiologiques finaux ;

Figure 4.27

Différentes étapes de la démolition du bâtiment Siloé.

- déclassement zonage déchet des sols sous radier ;
- remise en état des sols.

Figure 4.28

Vue finale de la zone réacteur après remise en état du terrain.

3.7. Zoom sur les processus de contrôles

Les contrôles radiologiques finaux constituent une pièce maîtresse du processus qui va conduire au déclassement de l'installation : ils attestent en effet de la conformité de l'état radiologique final atteint.

Plusieurs campagnes de contrôles sont réalisées à l'issue des travaux d'assainissement. Toutes ces campagnes sont indépendantes les unes des autres et répondent à un strict processus validé par l'Autorité de sûreté.

Chaque campagne fait l'objet d'un compte rendu expertisé par l'instance de contrôle qui suit... et ainsi de suite jusqu'au déclassement zonage déchet prononcé par l'ASN :

- 1^{er} contrôle : réalisé par l'« assainisseur » ;
- 2^e contrôle réalisé pour le compte du chef d'INB ;
- 3^e contrôle réalisé pour le compte du directeur du centre, exploitant nucléaire ;
- 4^e contrôle réalisé par l'Autorité de sûreté et son appui technique, l'Institut de radioprotection et de sécurité nucléaire.

Figure 4.29

Vue du dôme du hall réacteur Siloé : contrôles radiologiques.

Figure 4.30

Inspections de l'ASN à Siloé.

3.8. Déclassement final de l'INB

À l'issue de toutes ces opérations, le CEA a fourni le dossier de demande de déclassement de Siloé qui a été expertisé par l'Autorité de sûreté.

Cette expertise a entraîné un processus d'échange sur le dossier qui a conduit *in fine* l'ASN à donner un avis favorable au déclassement de Siloé.

Il s'en est suivi la consultation de la commission locale d'information, du préfet et des communes environnantes et enfin, la consultation du public sur le site de l'ASN.

C'est finalement le 20 février 2015 que l'arrêté du 12 février, portant homologation de la décision de l'ASN du 8 janvier 2015 de déclasser Siloé a été publié au *Journal officiel*.

20 février 2015

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Texte 6 sur 123

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Arrêté du 12 février 2015 portant homologation de la décision n° 2015-DC-0491 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 8 janvier 2015 portant déclassement de l'installation nucléaire de base n° 20, dénommée réacteur Siloé, sur le territoire de la commune de Grenoble (Isère)

Figure 4.31

L'arrêté de déclassement de Siloé.

Au bilan, il s'avère qu'il a fallu s'adapter tout au long du projet aux différentes perturbations qui sont survenues. Le changement est une donnée d'entrée du projet qu'il faut intégrer et anticiper. Les dossiers de sûreté et les cahiers des charges ont intégré ce paramètre qui s'est avéré déterminant dans la maîtrise du planning.

Les autres facteurs clés de réussite mis en œuvre dès le début du projet sont la maîtrise de la sécurité nucléaire, la prise en compte du facteur humain et enfin la communication, tant interne qu'externe.

La maîtrise de la sécurité nucléaire est une condition *sine qua non* du bon déroulement d'un tel projet et nécessite un plan d'action rigoureux et une attention de tous les instants.

Le projet de démantèlement est une activité humaine complexe. La nécessité de s'adapter à tous les changements, la grande diversité des acteurs, les interférences entre les différentes sources de difficultés requièrent une approche « systémique » du projet, avec une sensibilité toute particulière au facteur humain, prenant en compte les motivations et les inquiétudes de tous les acteurs : les salariés de l'exploitant, ceux des partenaires industriels, les

entreprises en charge des exutoires pour les déchets nucléaires, l'Autorité de sûreté, les parties prenantes...

Aujourd'hui, les opérations de démantèlement de Siloé et de dénucléarisation du site CEA Grenoble sont terminées.

Les surfaces autrefois occupées par les réacteurs nucléaires du CEA Grenoble sont maintenant libérées et disponibles pour le développement de nouvelles activités de recherche, très probablement dans le domaine de la biomasse.

Conclusion

Inéluctablement, il y aura encore à l'avenir de nombreux chantiers de démantèlement, avec toujours de nouveaux challenges techniques et organisationnels pour innover et trouver des solutions adaptées aux situations rencontrées sur le terrain, avec toujours le même objectif d'améliorer les conditions de sécurité des opérations, en maîtrisant le planning et le coût des opérations.

Les études en recherche et développement en cours, que ce soit par exemple en matière de robotique avec le Maestro ou de conception des confinements, permettront la mise en œuvre de solutions industrielles toujours plus performantes.

Enfin, le projet de dénucléarisation du site CEA de Grenoble vient ajouter à la base commune de connaissances les résultats d'une quinzaine d'années d'expérience, et il confirme la capacité des industriels du nucléaire à boucler le cycle de vie des installations nucléaires à l'échelle d'un site.

Références

- [1] Marchal P. (2014). Caractérisation et impact des particules incandescentes dans les réseaux de ventilation lors d'opérations de démantèlement. Thèse de l'INSA de Rouen.
- [2] Marchal P., Porcheron E., Gelain T., Lafanechère L., Walter J., Grehan G. (2015). Characterization of incandescent particles emitted by a cut-off grinder during decommissioning operations for evaluating filter degradation. *Nuclear Engineering and Radiation Science*.