CHAPITRE 6

Le retour d'expérience des opérations de démantèlement

Joël Guidez

PLAN DU CHAPITRE

Introduction – Démantèlements programmés : une réalité industrielle

1 Grande variété d'installations concernées

2 Processus de démantèlement bien établi

3 Exemple de retour d'expérience au CEA : le démantèlement des installations de Grenoble

4 Exemple des réacteurs français

5 Retour d'expérience à l'international de Westinghouse

6 Cas particulier des réacteurs rapides à sodium

Conclusion

Introduction – Démantèlements programmés : une réalité industrielle

Le démantèlement des réacteurs nucléaires électrogènes représente un marché considérable puisqu'en 2013 l'IAEA répertoriait 440 installations en service, 139 à l'arrêt définitif et 11 déclassées. En France ? Il concernera dans le futur (outre les démantèlements en cours) les 58 réacteurs aujourd'hui en service.

L'expérience acquise dans le démantèlement programmé des réacteurs à eau est désormais importante, en particulier en ce qui concerne les REP puisque 5 réacteurs de la gamme de puissance 900 à 1 100 MW ont déjà été totalement démantelés aux États-Unis et des chantiers sont en cours dans de nombreux pays européens (Suède, Finlande, Espagne, Allemagne, Suisse, France).

La principale caractéristique d'un démantèlement programmé est l'évacuation préalable de l'essentiel de l'inventaire radiologique, du combustible du cœur et de celui stocké dans la piscine de stockage du combustible usé. Ne restent essentiellement lors du démantèlement que les matériaux activés (cuve et internes d'une part et parois du puits de cuve d'autre part) et des équipements et matériaux contaminés par l'eau primaire et les effluents radioactifs. Donc largement moins de 1 % de la radioactivité initiale.

On sait donc démanteler les installations nucléaires et l'opération a déjà été réalisée pour un grand nombre et une grande variété d'entre elles. Le retour d'expérience (REX) correspondant est donc important et permet de dégager des processus techniques opérationnels. De la recherche et développement existe encore dans ce domaine, mais leur but est principalement d'optimiser encore les techniques, pour raccourcir les plannings d'intervention et minimiser les coûts.

1 | Grande variété d'installations concernées

Les opérations de démantèlement ne concernent pas seulement les réacteurs, mais l'ensemble des installations nucléaires de base telles que définies en France par le code de l'environnement. C'est-à-dire les installations de fabrication du combustible, celles de retraitement, d'enrichissement, de stockage et, de manière plus générale, toutes les installations ayant eu des activités nucléaires conduisant à une activation ou une contamination des locaux.

À titre d'exemple, Areva est actuellement maître d'ouvrage du démantèlement d'un certain nombre de ses installations en France et en Belgique :

- les installations de fabrication de combustible à Annecy (SICN) et à Veurey ;
- l'usine de retraitement du combustible UP2-400 à La Hague ;
- les ateliers de fabrication de combustible de Cadarache (ATPU et LPC) ;
- l'usine de fabrication et d'assemblage de combustible FBFC à Dessel.

En dehors du démantèlement de ses installations, Areva est aussi opérateur de démantèlement en France et à l'étranger. Il peut y être à divers titres, soit en maîtrise d'œuvre, soit en opérateur, soit en fournisseur de mesures... À titre d'exemple, les équipes d'Areva ont mené à bien les opérations de démantèlement des internes et des cuves des réacteurs REP des centrales d'Obrigheim et de Stade, ainsi que de la centrale REB de Wurgassen, en Allemagne.

Figure 6.1

Exemple de découpe de la cuve du réacteur de Wurgassen.

Areva intervient également de manière non exhaustive sur de nombreux sites au Royaume-Uni (Sellafield), États-Unis (Hanford), au Canada (Chalk River) et en partenariat au Japon.

La variété des installations concernées par les opérations de démantèlement, ainsi que des contextes d'intervention, est donc très importante.

2 | Processus de démantèlement bien établi

Pour toutes ces installations de grande diversité, le processus de démantèlement général est aujourd'hui bien établi.

Caractériser au mieux l'installation

Pour cela, l'historique de l'installation est un élément important mais souvent insuffisant pour établir avec suffisamment de précision l'état de contamination et d'activation des différentes parties de cette installation. Des mesures sont donc effectuées et un bilan radiologique global est dressé avec l'aide d'analyses géostatistiques permettant de passer de mesures discontinues à une estimation globalisée.

Étudier et préparer le chantier

Sur la base de ce bilan radiologique, toutes les opérations successives du chantier sont programmées, en prenant en compte, en particulier, les difficultés éventuelles d'intervention, le mode de mise en forme des déchets finaux et leur procédure d'évacuation en conformité avec la réglementation du pays concerné. C'est aussi au niveau de ces études et des simulations correspondantes que l'on déterminera la nécessité ou non d'opérations de décontamination et d'assainissement, avant les opérations de découpe et de démolition.

C'est généralement sur la base de ce dossier d'études que l'autorisation de démarrer le chantier est donnée par les autorités de sûreté des pays concernés.

Tant que les exutoires des colis de déchets programmés ne sont pas définis ou pas encore opérationnels, il est impossible de lancer ces chantiers.

Organiser le déroulement des chantiers de découpe

Cette organisation comprend la gestion des effluents liquides et gazeux qui sont générés par les opérations. La découpe des parties métalliques va se programmer en fonction du plan de colisage des déchets, qui doit être établi avec une stratégie de séparation des déchets en fonction de leur activité. Les techniques de découpe elles-mêmes sont diverses : torche à plasma, jet d'eau abrasif, laser, découpe mécanique, électroérosion, cisailage, etc. Chacun de ces procédés a des avantages et des inconvénients. Un point important est d'éviter, autant que possible, de créer des déchets secondaires.

Tous les opérateurs insistent sur le fait que l'arrivée durant le chantier, d'un élément non anticipé durant les études, comme la découverte d'une zone à

activité importante, ou de radionucléides non prévus dans la définition des déchets finaux, est extrêmement pénalisante en termes de coût et de délais.

Le retour au « vert »

Enfin, et suivant les installations, les opérations de démantèlement se poursuivent par une démolition finale des bâtiments. Sauf cas de contamination accidentelle, ces opérations sont généralement des opérations de génie civil très classiques.

En conclusion, les procédés et la méthodologie de démantèlement sont connus et éprouvés.

La R&D a pour but, en premier lieu, d'améliorer les mesures nécessaires à la caractérisation initiale, c'est-à-dire de les rendre plus nombreuses, moins chères, plus rapides et plus fiables. On travaille aussi beaucoup sur la simulation permettant d'améliorer la préparation des chantiers et de la fiabiliser. Pour les opérations elles-mêmes, les procédés sont au point, mais des activités robotiques de découpe à distance continuent à être développées car porteuses d'améliorations sur les vitesses d'intervention. En revanche, il est nécessaire sur les chantiers de n'utiliser que des techniques qui ne sont pas en développement mais sont industriellement éprouvées.

3 | Exemple de retour d'expérience au CEA : le démantèlement des installations de Grenoble

Le centre du CEA Grenoble disposait de six installations nucléaires : trois réacteurs expérimentaux (Siloe, Siloette et Melusine), un laboratoire d'analyse de matériaux actifs (Lama) et deux unités de traitement des déchets.

La dénucléarisation programmée du site a conduit à mettre en place en 2001 le projet « PASSAGE » qui avait pour objectif de démanteler ces six installations pour un retour au vert sur le site.

Figure 6.2

Résumé des grandes étapes dans le démantèlement de Siloe.

L'opération s'est effectuée avec succès. Elle s'est terminée en 2014 et a donc duré environ treize années. Le coût de l'ensemble de l'opération a été d'environ 300 M€.

Installation	Objectif initial	Situation au 31/12/2014
Melusine (INB 19)	Piscine vide fin 2002	Objectif atteint en mars 2003
	Démantèlement terminé fin 2004	Objectif atteint fin 2008
Siloe (INB 20)	Piscine vide fin 2003	Objectif atteint en février 2005
	Démantèlement terminé fin 2007	Objectif atteint fin 2010
Siloette (INB 21)	Arrêt des activités mi 2002	Objectif atteint
	Démantèlement terminé fin 2006	Objectif atteint
Laboratoire d'analyse des matériaux actifs (LAMA : INB 61)	Arrêt des expérimentations fin 2002	Objectif atteint
	Démantèlement terminé à l'horizon 2012-2015	Objectif atteint en 2012
Station de traitement des Effluents et Déchets (STED : INB 36 et 79)	Arrêt des principaux équipements de l'INB 36 fin 2003	Objectif atteint mi 2004
	Démantèlement de l'INB 36 terminé à l'horizon 2012-2015	Objectif atteint en 2012
	Fin évacuation des colis de l'INB 79 fin 2010	Objectif atteint en juin 2010
	Démantèlement de l'INB 79 à l'horizon 2015	Objectif atteint en 2012

La production de déchets a été de 8 tonnes de déchets hautement actifs, 30 tonnes de déchets moyennement actifs, 950 tonnes de déchets faiblement actifs et 25 000 tonnes de déchets très faiblement actifs. Tous ces déchets ont été envoyés aux exutoires prévus à cet effet.

4 | Exemple des réacteurs français

Il y a en France dix réacteurs de puissance à l'arrêt définitif (1 REP, 6 graphite-gaz, 2 rapides/sodium, 1 à eau lourde) :

- les six réacteurs graphite-gaz de première génération sont caractérisés par des blocs cœur massifs. Leur démantèlement est en attente d'une stratégie sur le devenir de masses importantes de graphite (18 000 tonnes avec leur contenu de carbone 14 et de chlore 36) ;

Figure 6.3

Démantèlement du bloc cœur d'un réacteur graphite/gaz.

- le démantèlement du réacteur PWR de moyenne puissance (300 MW) de Chooz dans les Ardennes, engagé depuis 1995, présente l'intérêt, aux dimensions près, d'une grande similarité avec les 58 réacteurs REP actuellement opérationnels. Le chantier, très avancé, devrait s'achever avec un assainissement du site de 2016 à 2020 ;

Figure 6.4

Décontamination du générateur de vapeur de Chooz et évacuation d'un générateur de vapeur vers le site de stockage des déchets de l'Andra à Soulaïnes.

Figure 6.5
Chooz : extraction des internes puis découpage de la cuve dans la piscine.

- le réacteur EL4 à Brennilis est en cours de démantèlement ainsi que les deux rapides sodium Phénix et Superphénix.

5 | Retour d'expérience à l'international de Westinghouse

Depuis trente ans, Westinghouse a participé au démantèlement d'un certain nombre de réacteurs, non seulement aux États-Unis, mais également dans de nombreux autres pays. Ils ont en particulier procédé sur Three Mile Island, aux découpes nécessaires à l'extraction du combustible et de la masse fondue de débris qui s'était accumulée en fond de cuve durant l'accident. Le tableau ci-après donne quelques références.

Pays	Centrale	Réacteur	Projet	Technique utilisée
États-Unis	Three Mile Island 2	REP	1986 – 1989	Plasma
États-Unis	Fort St Vrain	Graphite- gaz	1990 – 1992	Plasma
États-Unis	Shoreham	REB	1991 – 1993	Plasma

Pays	Centrale	Réacteur	Projet	Technique utilisée
États-Unis	Yankee Rowe	REP	1992 – 1994	Plasma
États-Unis	Trojan	REP	1985 – 1996	Jet d'eau abrasif
États-Unis	Connecticut Yankee	REP	1999 – 2002	Jet d'eau abrasif
États-Unis	San Onofre 1	REP	2001– 2002	Jet d'eau abrasif
États-Unis	Big Rock Point	REB	2002 – 2003	Électro-érosion
États-Unis	Grand Gulf	REP	2011 – 2012	Découpe mécanique
États-Unis	Peach Bottom	REP	2013 – 2014	Découpe mécanique
Japon	Fukushima Daiichi 2	REB	1999	Découpe mécanique
Allemagne	Karlsruhe	Sodium	2001 – 2005	Découpe mécanique
Suède	Forsmark 1, 2, 3	REB	2000 – 2012	Découpe mécanique
Suède	Oskarshamn 1, 2, 3	REB	2003 – 2014	Découpe mécanique
Suisse	Mühleberg	REB	2013 – 2014	Découpe mécanique
Finlande	Okiluoto 1, 2	REB	2004 – 2013	Découpe mécanique
France	BCOT	REP	2010 – 2015	Découpe mécanique
France	Chooz A	REP	2010 – 2019	Découpe mécanique
Espagne	Zorita	REP	2010 – 2015	Découpe mécanique

Les procédés de découpe ont évolué dans le temps. Pour les premiers démantèlements, la torche à plasma était utilisée. C'est une technologie rapide et puissante, mais un peu difficile à maîtriser. Par exemple, des aléas sont survenus avec des débris propulsés par le gaz de la torche vers le haut, ce qui rendait leur collecte plus difficile et faisait perdre la protection biologique assurée par l'eau de la piscine. On est donc passé ensuite à la découpe par jet d'eau abrasif, qui était efficace, précise et bien contrôlable. En revanche, l'utilisation d'abrasif entraîne la création de déchets secondaires actifs, en quantité importante, et cette technique a aussi été délaissée. Dernièrement, les coupes ont plutôt été effectuées par des procédés mécaniques : sciage, fraisage ou cisailage. Dans certains cas complexes, des outils de découpe spécifiques doivent être mis au point et utilisés. Ces méthodes sont plus lentes mais génèrent moins d'aléas, moins de rejets gazeux et moins de déchets secondaires.

Figure 6.6

Découpe sous eau, avec colisage.

Il est à noter que c'est le colisage final des déchets qui doit déterminer le mode de découpe de manière à séparer dès ce stade les déchets d'activité différente qui seront aussi gérés ultérieurement suivant des filières différentes. Le travail de préparation est donc primordial.

6 | Cas particulier des réacteurs rapides à sodium

Sur les 19 réacteurs sodium ayant fonctionné dans le monde, treize sont démantelés ou en cours de démantèlement. Cette grande expérience a été partagée au niveau international et a permis de dégager une méthodologie reconnue pour ce type de réacteur.

Le démantèlement du réacteur EBR1 avait initié une méthode générale qui sera reprise par la suite, parfois avec quelques variantes, sur les autres réacteurs :

- enlèvement du cœur et des couvertures. Lavage et évacuation des assemblages ;
- destruction du sodium du circuit secondaire qui n'est pas, ou très peu, actif. Pour cela un procédé de destruction avec de l'eau existe (en France, le procédé NOAH). Dans certains cas, à BN350 par exemple, le sodium secondaire a simplement été réutilisé dans l'industrie ;
- enlèvement, lavage et évacuation de tous les composants démontables du circuit primaire, ainsi que des différentes parties du circuit secondaire, et des circuits auxiliaires ;
- si nécessaire, purification du sodium primaire par des pièges à césium, avant sa destruction ;
- lavage de la cuve primaire par CO₂ humide. Dans certains cas, un noyage en eau a été utilisé mais il faut bien être sûr, alors, des quantités de sodium résiduelles et de leur localisation. Il est à noter que sur KNK II, où la cuve n'avait pas été lavée avant la découpe, de nombreuses difficultés techniques sont survenues et ont ralenti le chantier ;
- opérations de découpe, qui peuvent se faire sous eau, si nécessaire, pour la protection biologique ;
- traitement des pièges froids qui contiennent du tritium et un certain nombre d'impuretés. Sur ce point, différents procédés ont été utilisés, dépendant principalement des impuretés contenues dans ces pièges et des possibilités de relâchement du tritium.

En conclusion, le démantèlement de ce type de réacteur dispose d'une méthodologie éprouvée.

Figure 6.7

Installation de destruction du sodium par hydrolyse, utilisée à Superphénix.

Conclusion

Un grand nombre de réacteurs et d'installations nucléaires ont été démantelés dans le monde et un retour d'expérience important existe à ce sujet. Les techniques utilisées sont robustes et opérationnelles.

En France, la loi TSN 2006-686 du 13 juin 2006 formalise et précise les dispositions pour la délivrance d'un décret d'autorisation de démantèlement d'une INB. C'est le décret « procédures » (2007-1557 du 2 novembre 2007) qui définit le contenu du dossier démantèlement nécessaire à l'obtention de cette autorisation permettant de commencer les travaux.

On notera aussi que, sur cette base, l'ASN a publié deux guides :

- mise à l'arrêt définitif, démantèlement et déclassé des installations nucléaires de base ;
- méthodologies d'assainissement complet acceptables dans les installations nucléaires de base en France.

Ce retour d'expérience montre qu'il est primordial, avant d'engager un chantier, de disposer d'une bonne caractérisation de l'installation. Sur cette base, les études doivent permettre de simuler toutes les opérations de découpe, jusqu'au colisage final des déchets. C'est ce colisage qui va formater les opérations de découpe optimisées.

Ce sont généralement ces études qui permettent d'obtenir les autorisations nécessaires des autorités, avant ouverture du chantier.

La qualité de la caractérisation et des études permet alors de minimiser les aléas, jusqu'au départ des colis vers les exutoires correspondant à la réglementation en vigueur dans le pays concerné.

La R&D doit s'inspirer de ce retour d'expérience, pour en déduire les points d'amélioration possibles. Ces améliorations sont principalement en amont des chantiers :

- mesures plus rapides, moins chères, plus nombreuses permettant une caractérisation de l'installation meilleure, mais aussi plus rapide, moins chère et plus fiable ;
- possibilité de simulation poussée des chantiers, pour améliorer la dosimétrie, vérifier la faisabilité et fiabiliser le processus proposé en diminuant les aléas ultérieurs ;
- développement de procédés de découpe mécanique améliorés, voire robotisés, pour augmenter les vitesses d'intervention.