

L'assainissement-démantèlement : un enjeu majeur pour l'électronucléaire durable

L'énergie nucléaire est une énergie jeune : elle n'a que soixante-dix ans, bien moins que le charbon, le pétrole, le gaz, l'éolien, l'hydraulique ou la biomasse. Pour autant, les installations nucléaires vieillissent elles aussi. Pour donner un ordre de grandeur, la durée de fonctionnement prévue pour un réacteur nucléaire est d'au moins quarante ans. Si les industriels du nucléaire veulent démontrer la viabilité à long terme de cette source d'énergie, il leur faut montrer qu'ils savent non seulement construire, mais aussi démanteler leurs installations.

Le démantèlement des réacteurs nucléaires et des installations du cycle du combustible dont elle a la responsabilité est donc un enjeu stratégique pour l'industrie nucléaire, qui doit contrôler la totalité du cycle de vie des diverses générations d'installations, y compris de recherche, depuis leur construction jusqu'à leur démantèlement (fig.1).

Le terme « **démantèlement** » concerne l'ensemble des opérations techniques réalisées après l'arrêt définitif d'une installation nucléaire, afin d'atteindre un état final visé permettant son **déclassement***. Ces opérations techniques, encadrées réglementairement, peuvent comprendre, par exemple, des opérations de démontage d'équipements, d'**assainissement*** des locaux et des sols, de démolition éventuelle de structures de génie civil (déconstruction), de traitement, de **conditionnement***, d'évacuation et d'élimination de **déchets*** produits, radioactifs ou non.

Les contraintes du démantèlement

De par leur nature, leur complexité et leur coût, les opérations de démantèlement des installations nucléaires s'étalent sur des durées généralement longues, de quelques années à plu-

sieurs dizaines d'années. Elles constituent des défis pour les exploitants en termes de gestion de projets : il s'agit, en particulier, de maintenir des compétences et de coordonner différents travaux qui font souvent intervenir de nombreuses entreprises spécialisées. Les risques liés à la **sûreté nucléaire*** et à la **radioprotection*** doivent être considérés, de même que les risques classiques liés à tout chantier de déconstruction. Mais la principale difficulté réside dans la complexité des contraintes, car le démantèlement vise une situation finale à atteindre dans de bonnes conditions de coût, de délai et de sûreté, trois conditions souvent contradictoires...

Le cadre réglementaire du démantèlement

Les programmes d'assainissement et de démantèlement sont menés dans un cadre réglementaire imposé par la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire¹ dans le respect des exigences de sûreté et dans un contexte économique contraint, ce qui conduit à la recherche d'une optimisation technico-économique des projets d'assainissement-démantèlement et d'innovation à chaque étape de ces projets.

Il faut souligner le rôle important des Autorités de Sûreté (**ASN*** pour les installations civiles et **ASND*** pour les installations intéressant la défense), car ce sont elles qui contrôlent le déroulement des opérations.

Les objets à démanteler

La plupart des installations nucléaires à assainir ou démanteler entrent dans trois grandes catégories : les réacteurs, les installations du cycle du combustible et les sites ou installations accidentés. Il convient de distinguer l'assainissement-démantèlement dans ces trois catégories : en effet, les niveaux d'**activité*** et les **radionucléides*** en jeu sont diffé-

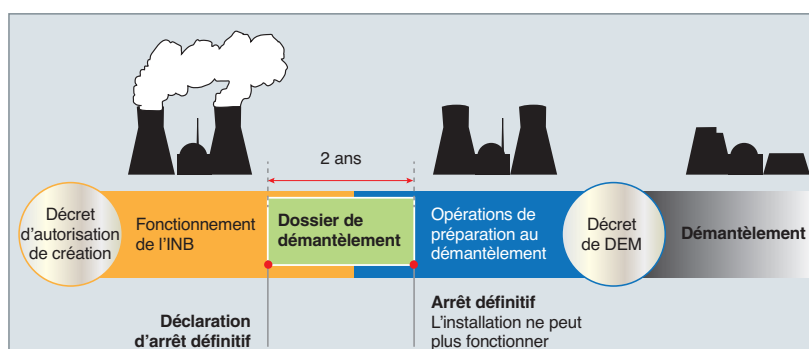


Fig. 1. Les phases de vie d'une **Installation Nucléaire de Base (INB)***.

1. Codifiée par le décret du 2 novembre 2007 et l'arrêté du 7 février 2012, puis récemment par le décret du 28 juin 2016, relatif à la modification, à l'arrêt définitif et au démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi qu'à la sous-traitance.

Tableau 1.

Les spécificités de l'assainissement-démantèlement des diverses installations nucléaires			
	Installations du cycle	Réacteurs	Post-accident
Radionucléides	Produits de fission et actinides.	Produits d'activation*.	Produits de fission et actinides.
Activité*	Variable, de très faible à moyenne.	Très faible à faible.	Faible à très forte.
Objets	Bétons, tuyaux, cuve.	Structures acier et béton.	Structures acier, béton, corium, eau et sols contaminés.
Opérations	Découpage et décontamination* des structures.	Découpage et décontamination des structures.	Décapage des sols, traitement d'eau contaminée, découpage et décontamination des structures, confinement du corium.
Volumes	Faibles.	Importants.	Importants.
Problèmes spécifiques	Reconstitution de l'historique de l'installation, criticité.		À court terme : urgence, accessibilité et environnement très irradiant. À long terme : gestion des déchets.

rents ; les objets et les volumes à traiter sont différents, ainsi que la nature des opérations. Dans les trois cas, on applique la même stratégie et souvent les mêmes techniques, mais les difficultés rencontrées ne sont pas les mêmes (tableau 1).

Les projets de démantèlement des installations de recherche, contrairement à ceux des installations industrielles, présentent une spécificité, par l'absence d'effet de série. Ils ne rentrent pas tous dans les grandes catégories citées plus haut, et se caractérisent par une grande diversité de type et de taille d'installations :

- Accélérateurs et irradiateurs ;
- réacteurs piscines, à neutrons rapides, graphite-gaz. Réacteurs allant de la petite taille pour la formation jusqu'au prototype industriel ;
- installations du cycle du combustible, de l'échelle labo de R&D à l'atelier pilote industriel, jusqu'à l'échelle usine ;
- installations de traitement de déchets ou d'effluents radioactifs.

Les acteurs du démantèlement en France

Les principaux maîtres d'ouvrage du démantèlement sont :

- Les opérateurs industriels : **EDF**, avec le démantèlement en cours de neuf réacteurs de 1^{re} génération et le démantèlement à prévoir dans le futur du parc de réacteurs à eau de 2^e génération (fig. 2). **Areva** a pour sa part les projets de démantèlement d'installations anciennes du cycle de combustible (traitement des combustibles, conversion et enrichissement de l'uranium) sur les usines de **traitement*recyclage*** de la Hague, d'Eurodif à Pierrelatte (fig. 3), et sur le site de Cadarache ;

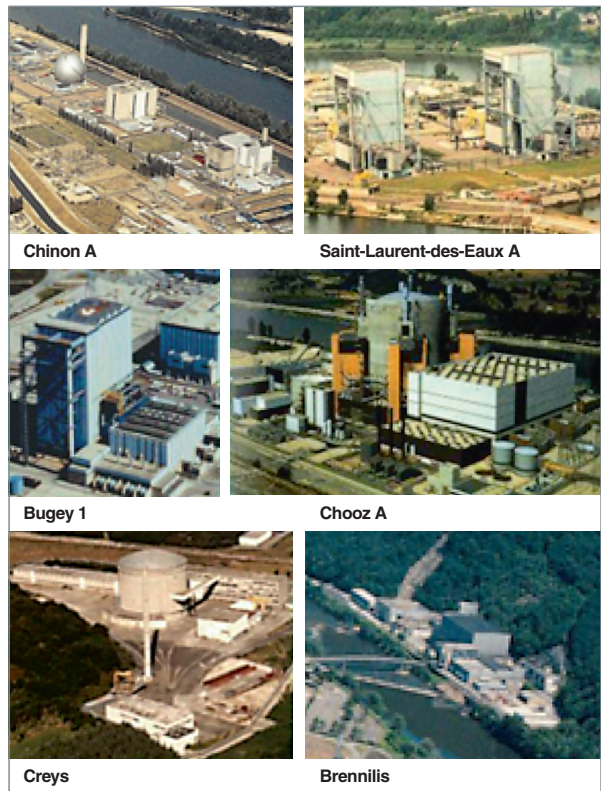


Fig. 2. Exemples de réacteurs EDF en phase de démantèlement.

- le CEA, avec plus d'une vingtaine d'installations en démantèlement (fig. 4) et un budget de dépense annuel d'environ 740 M€ pour les activités d'assainissement-démantèlement et de Reprise et de Conditionnement des Déchets (RCD). Les installations de R&D, à l'issue de leur phase d'exploitation, sont confrontées pour la plupart à des difficultés inhérentes à la diversité des activités menées et liées au manque de traçabilité des modifications apportées, depuis leur conception, au niveau de **contamination*** potentiellement important et à la production de déchets de nature très variée.



Fig. 3. L'usine d'enrichissement Eurodif Georges-Besse 1, à Pierrelatte.



Fig. 4. Le Laboratoire de Haute Activité de Saclay (LHAS), avant démantèlement.

Le CEA joue un rôle particulier dans le domaine de l'assainissement-démantèlement, étant à la fois maître d'ouvrage pour le démantèlement de ses propres installations, pilote de la R&D et organisme de formation.

Ces maîtres d'ouvrage font travailler un grand nombre d'opérateurs, maîtres d'œuvre des chantiers et certifiés par une commission spécialisée CAEAR² : parmi les principaux

contractants, on peut citer AREVA NC, VINCI, SUEZ, BOUYGUES, ONET... Les marchés associés en France se chiffrent en millions d'euros, et représentent des milliards sur la durée.

Les processus qui gouvernent la stratégie d'assainissement-démantèlement

Rappelons que les installations nucléaires sont conçues sur le principe « multibarrière », visant à confiner la **radioactivité*** au cœur de l'installation et à éviter sa dissémination par interposition de plusieurs barrières en forme de poupées russes entre la source et l'Homme. Si une barrière est défaillante, les autres barrières prennent le relais pour assurer le confinement. Cette architecture structure les opérations d'assainissement-démantèlement.

Pour ce qui concerne les matières radioactives, l'essentiel du contenu d'une installation se concentre dans la première barrière, ou lignes et appareils « procédés ». Le niveau de contamination résiduelle au-delà de la première barrière est considéré comme faible en situation non incidente, et décroît ainsi vers l'extérieur à la traversée de chaque barrière.

Conformément à la stratégie imposée par les Autorités de Sûreté, visant à réduire l'impact et les risques associés au **terme source* mobilisable***, la toute première phase de l'assainissement-démantèlement d'une installation consiste à assurer le retrait des matières et déchets radioactifs issus de l'exploitation et à diminuer ainsi le plus possible le terme source. Ensuite, le travail de démantèlement et d'assainissement continue généralement par le démontage des barrières les plus internes, puis en progressant vers l'extérieur. La dernière barrière est aussi, la plupart du temps, la dernière à être démolie, quand il ne reste plus rien à l'intérieur.

Ce principe peut trouver des exceptions, en particulier dans le cas de l'assainissement-démantèlement d'installations accidentées.

L'assainissement-démantèlement peut être considéré comme une chaîne systémique. On ne caractérise pas sans avoir une idée des opérations à mener ensuite ; on ne décontamine pas sans avoir une idée des déchets et effluents qu'on va produire, et sans savoir comment on va les gérer. Cette chaîne est aussi dynamique, en optimisation continue avec des boucles d'apprentissage entre chacune des étapes du processus. Il est ainsi primordial de cultiver une vision « système » de l'assainissement-démantèlement (fig. 5).

2. Commission d'Acceptation des Entreprises en Assainissement Radioactif.

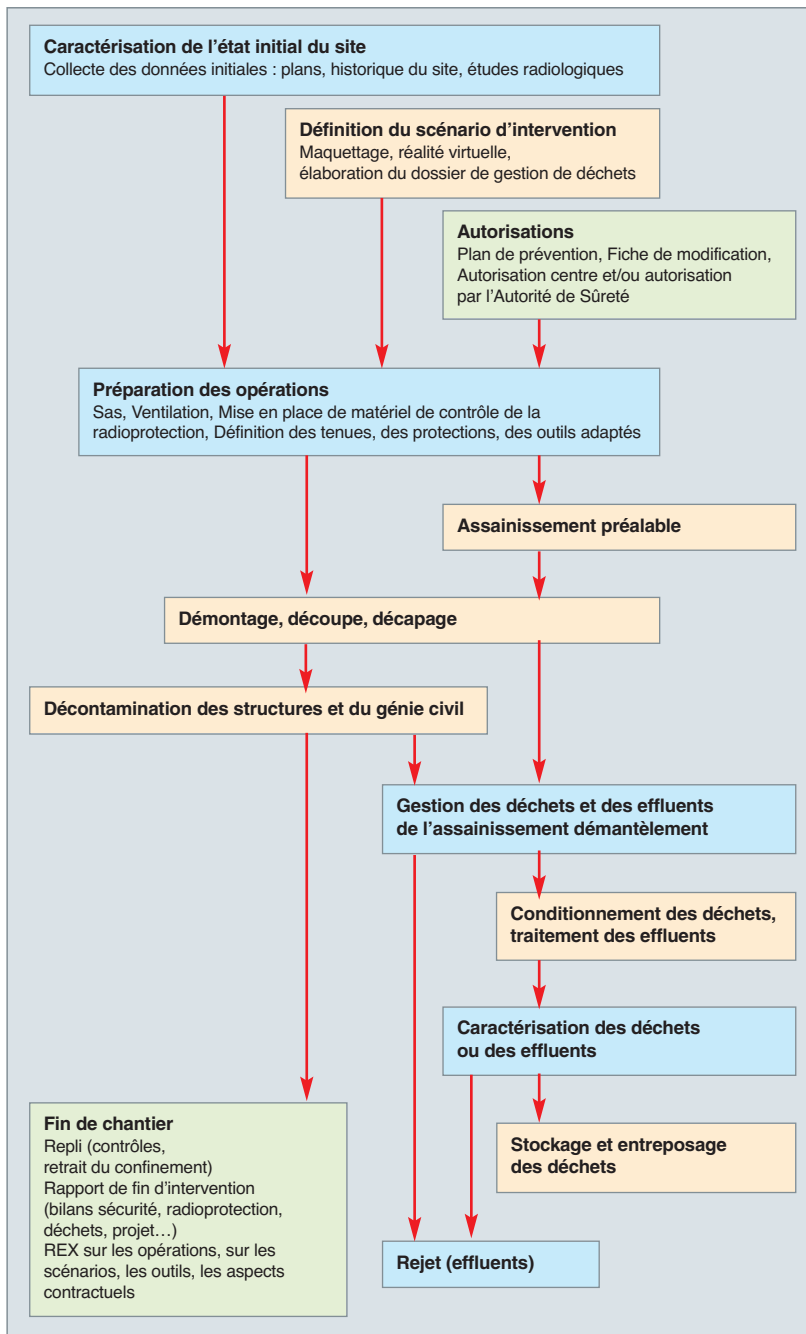


Fig. 5. La chaîne systémique de l'assainissement-démantèlement ; les grandes étapes techniques et administratives des opérations.

Les axes de R&D pour l'assainissement-démantèlement

Comme nous le voyons notamment dans la figure 5, les opérations d'assainissement-démantèlement comportent un volet technique très important. Les opérations d'assainissement-démantèlement peuvent être décomposées en plusieurs étapes techniques de natures différentes :

- Évaluation de l'état radiologique des installations ;
- réalisation d'opérations en milieu hostile ;
- **décontamination*** des structures et des sols ;
- traitement de **déchets*** et **effluents*** ;
- caractérisation et gestion des déchets.

Pour chaque étape, l'exploitant se trouve confronté à de nombreuses questions opérationnelles qui peuvent se traduire par autant de questions scientifiques et techniques donnant lieu à de la R&D.

Ainsi, par exemple, dans le domaine de la caractérisation de l'installation à démanteler, la connaissance de l'historique de l'installation ne suffit généralement pas pour déterminer par le calcul son état actuel avant démantèlement : il faut donc recourir à des mesures pour caractériser le site, mesures qui sont d'une importance primordiale, dès lors qu'elles doivent satisfaire à des critères de performance (seuil de détection, précision, coût) et des contraintes de réalisation (milieux complexes, irradiants et peu accessibles) et apporter les données essentielles au **scénario*** d'assainissement. Un enjeu important pour la caractérisation du site sera la détermination du terme source pour l'étude d'impact. La R&D des techniques de caractérisation sera abordée au chapitre suivant (p. 15).

La réalisation d'opérations en milieu hostile requiert des développements technologiques appropriés en termes de télémanipulation, d'instrument de découpe, et de radioprotection avec pour objectif la diminution de la **dose*** et des risques. La R&D en support fait appel principalement aux sciences et technologies de la robotique, du confinement et de l'électronique durcie (voir *infra*, p. 61).

Pour ce qui concerne la décontamination des structures, des sols et des effluents, les enjeux portent sur la minimisation des volumes de déchets radioactifs produits par les opérations d'assainissement-démantèlement, la décatégorisation des déchets, et la maîtrise de l'impact environnemental ; les

apports de la R&D attendus seront alors la qualification de procédés performants en terme d'efficacité et de capacité de traitement, générant peu de déchets secondaires et économes en ressources mais aussi adaptables à un environnement de site avec ses contraintes de transport et d'exutoires (voir *infra*, p. 91).

Les déchets du démantèlement n'ont pas grand-chose de spécifique. Il s'agit, pour leur très grande majorité (en masse ou en volume), de déchets de très faible **activité*** (TFA), qui ont une filière d'élimination existante. Les autres déchets du démantèlement sont souvent de moyenne et de faible activité ; ils sont gérés comme les déchets issus de l'exploitation des installations et rejoignent les filières existantes. Il reste cependant quelques exceptions de déchets actuellement sans filière, comme les déchets magnésiens ou mercuriels. Certains sont destinés aux futurs stockages, comme les déchets à vie longue ou les graphites.

Les enjeux de la gestion des déchets de démantèlement sont multiples, Il faut savoir conditionner les déchets (ce qui pose les questions du choix du matériau de conditionnement, de son élaboration et de son comportement à long terme). Même si cette question a déjà été largement traitée par le CEA, il reste encore quelques axes de R&D à poursuivre pour le conditionnement de certains déchets spécifiquement produits par les activités d'assainissement-démantèlement : graphites, magnésiens et mercuriels, notamment (voir *infra*, p. 107).

Ces déchets nécessitent des **colis*** agréés : il faut savoir fabriquer ces colis, les manipuler, puis disposer des exutoires pour les entreposer et les stocker.

Il y a aussi la gestion des déchets anciens : ceux qui n'ont pas trouvé d'exutoire en leur temps et qu'il faut reprendre.

Comme nous allons le découvrir dans cette monographie, la plupart de ces questions ont déjà des solutions opérationnelles, ce qui ne veut pas dire que ces solutions ne sont pas améliorables, avec des enjeux forts sur le coût, la rapidité et la sûreté des opérations d'assainissement-démantèlement. Beaucoup d'entre elles soulèvent des défis techniques, voire scientifiques, très intéressants. Ce sont ces défis qui seront évoqués dans la suite de cette monographie, qui fait le point sur l'état de l'art, les avancées récentes et les progrès restant à accomplir.

Bonne lecture !

Michaël LECOMTE,

Direction du centre CEA de Marcoule

Éric KRAUS et Laurence PIKETTY

Direction du démantèlement pour les centres civils

► Bibliographie

Revue Générale Nucléaire : « Les Sciences du démantèlement », RGN, n° 5 (2014).

DAUTRAY (R.) et BRÉCHET (Y.), *Sciences du démantèlement des installations nucléaires*, coll. « Les ateliers de l'Académie », EDP Sciences, 2015.