

# Démantèlement des installations nucléaires : les voies de la maîtrise industrielle

■ par Robert LALLEMENT, GR21\*, ancien Directeur de la gestion des déchets et de l'assainissement au CEA

De nombreux démantèlements ont eu lieu dans les décennies passées. L'expérience acquise durant ces opérations a permis de construire les bases d'un nouveau métier d'ingénierie. Il est possible d'affirmer que les techniques de démantèlement existent et sont maîtrisées, que les règles de travail entre exploitants industriels et autorités de sûreté sont maintenant clairement établies.

Le volume des déchets de démantèlement est faible. Le coût du démantèlement est connu, supportable, et de l'ordre de 15% du coût de construction. Son financement est prévu, sans impasse sur les générations futures.

Tout est prêt pour les démantèlements à venir.

## 1. Introduction

Les activités industrielles ont toutes une fin, et, de façon générale, se pose la question du devenir des installations et usines, une fois les productions arrêtées.

L'expérience passée de notre civilisation industrielle ne donne pas une image très reluisante de la prise en charge des bâtiments industriels après l'arrêt des activités : l'abandon en l'état, la création de friches industrielles, les bâtiments délabrés sont fréquents, et parfois, des produits dangereux sont abandonnés, et les terrains industriels sont largement souillés.

Il n'est donc pas étonnant que beaucoup s'inquiètent du sort ultime des installations industrielles nucléaires.

Heureusement, les mentalités d'une part, et la prise de contrôle administrative par l'Etat des problèmes de sûreté d'autre part, ne permettent plus de reproduire les

situations anciennes héritées du démarrage de la civilisation industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle, et c'est heureux.

Dans l'ensemble, l'industrie nucléaire a eu, dès sa création, une conscience très forte de l'obligation de prévoir le démantèlement contrôlé des installations, réacteurs ou usines du cycle, même si aujourd'hui on peut parfois critiquer quelques unes des opérations passées.

L'expérience du démantèlement s'appuie maintenant sur plus de cinquante ans d'activités, ce qui permet d'affirmer que l'on sait démanteler, que le volume des déchets créés par les opérations de démantèlement n'est pas exorbitant, et que les coûts des opérations sont raisonnablement connus et ne grèvent pas le coût du kilowattheure électrique.

Nous allons passer en revue l'expérience de démantèlement des réacteurs en France et dans le monde, pour bien mettre en évidence les acquis de l'industrie nucléaire et répondre aux questions souvent soulevées à ce sujet. Nous mentionnerons aussi quelques leçons tirées des démantèlements d'usines et laboratoires de retraitement des combustibles.

## 2. Qu'est-ce que le démantèlement ?

Il est important de bien définir ce que recouvre le mot de démantèlement, ne serait-ce que pour bien cerner les coûts et les responsabilités.

Au sens général et vague du terme, le "démantèlement" commence quand cesse l'activité industrielle et quand les activités postérieures à l'arrêt ne peuvent être facturées à un client particulier et restent à la charge du propriétaire de l'installation.

Que fait alors l'exploitant ?

S'il est responsable d'un réacteur, il a évidemment évacué les combustibles irradiés vers le retraitement, ou vers le stockage définitif sans retraitement, et, s'il est responsable d'une installation du cycle, évacué les matières fissiles et les déchets ou effluents appartenant à ses clients.

\* Groupe de Réflexion Énergie/Environnement du XXI<sup>e</sup> siècle qui réunit, au sein de la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN), des cadres retraités aux multiples compétences qui réfléchissent en commun et en toute indépendance aux questions relatives à l'énergie et à l'environnement.

Il peut alors commencer à assainir son installation, c'est-à-dire conditionner et évacuer les déchets d'exploitation non imputables à un client particulier pour les réacteurs, ou évacuer les effluents et déchets généraux d'exploitation pour les usines ou laboratoires du cycle.

Ensuite il peut commencer à démonter les installations, puis à les évacuer, pour arriver à l'étape finale de destruction des bâtiments.

L'OCDE, dans ses travaux méthodiques et remarquables sur le démantèlement [réf. 1], propose que ce terme recouvre neuf activités qui sont, pour les réacteurs :

- ① L'entreposage du combustible usé,
- ② Le conditionnement des déchets d'exploitation,
- ③ Le démontage du bâtiment réacteur,
- ④ La démolition des bâtiments conventionnels,
- ⑤ L'élimination du sol contaminé,
- ⑥ L'évacuation des déchets de déconstruction,
- ⑦ L'évacuation des déchets non radioactifs,
- ⑧ Le bilan radiologique du site,
- ⑨ Le déclassement de ce site.

Cette décomposition détaillée est très large. En France, le combustible usé est exclu du démantèlement et l'on peut regrouper les rubriques de l'OCDE en quatre grandes opérations :

- L'assainissement (point 2),
- La déconstruction (points 3 et 4),
- La gestion des déchets (points 6 et 7),
- La réhabilitation du site (points 5, 8 et 9).

Cette décomposition en quatre rubriques est transposable aux installations du cycle, avec quelques réserves que nous commenterons plus bas.

### L'assainissement

Avant de commencer les opérations proprement dites de démontage des composants et appareillages, souvent confiées à des sociétés spécialisées étrangères à l'installation, l'exploitant doit assainir son installation, c'est-à-dire la mettre en ordre.

Ces opérations sont évidemment placées sous la responsabilité des exploitants.

Vient ensuite le démontage ou la déconstruction.

La distinction entre "assainissement" et "déconstruction" est simple pour les réacteurs.

Il n'en est pas de même pour les laboratoires et usines, en particulier quand l'exploitant n'a pas évacué tous les effluents, tous les produits chimiques nécessaires aux procédés, tous les appareils hors d'usage, etc. Ces situations conduisent souvent à des difficultés techniques importantes. S'agit-il d'assainissement ou de déconstruction ? Difficile à dire car la distinction n'est pas nette pour ces installations.

On retiendra seulement qu'il y a une grande différence de coût entre l'assainissement-déconstruction d'une installation bien gérée, propre, dont la maintenance a été régulière, et celui d'autres où l'on a attendu pour de multiples raisons.

Comme la suite de cette revue est plutôt consacrée aux questions relatives aux réacteurs, pour lesquels

l'assainissement ne pose pas de problèmes, cette question n'a guère d'importance. L'assainissement peut être toutefois un point très critique pour les installations du cycle particulièrement les laboratoires de recherche et les usines de la période préindustrielle.

### La déconstruction des installations

Quand l'installation est vidée de ses produits dangereux, il faut démolir l'installation, pour faire place nette.

Le mot démolir vient automatiquement à l'esprit lorsque le mot démantèlement est prononcé, avec son cortège d'images vues à la télévision où de grandes barres HLM s'effondrent dans un nuage de poussière d'où émerge un tas de gravas qu'attaquent des bulldozers.

Pour les installations nucléaires, il n'est pas question de démolir ainsi. En effet, les installations nucléaires, même assainies, présentent des risques de contamination de l'environnement quand leur confinement est détruit, ce qui se produit nécessairement pendant la déconstruction, ainsi que des risques d'irradiation des personnels engagés dans l'opération.

La démolition des installations nucléaires doit être contrôlée, minutieuse et méthodique.

Il est donc tout à fait judicieux de lui donner un nom particulier, qui a été proposé par EDF et que nous adopterons, celui de déconstruction, qui illustre bien l'aspect particulier que doit présenter cette opération.

### La gestion des déchets

La déconstruction conduit à produire, à trier et à conditionner les éléments de l'installation nucléaire irradiante et potentiellement contaminante, selon leur nature et leur radioactivité, pour en faire des déchets acceptables dans les installations d'entreposage ou de stockage. C'est une activité fondamentale et essentielle, responsable d'une part importante du coût du démantèlement.

### La réhabilitation du site

Une fois l'installation démolie ou déconstruite, et les déchets évacués, il peut être nécessaire de réhabiliter le site pour d'autres usages. Si l'activité nucléaire a contaminé et pollué les sols, la réhabilitation s'impose et son coût doit être incorporé au coût de démantèlement.

Dans l'ensemble des expériences passées, ce poste n'est pas déterminant, car bien souvent les réutilisations des terrains dégagés par le démantèlement sont faciles à trouver dans le domaine des activités nucléaires contrôlées par l'exploitant. La question pourrait se poser en cas d'arrêt complet du nucléaire et pour certains sites industriels de l'aval du cycle.

## 3. La maîtrise des techniques

### Les techniques de l'assainissement

Comme dit plus haut, l'assainissement est une mise en ordre et en propreté de l'installation avant son arrêt. C'est la fin de l'installation, sous la responsabilité de

l'exploitant, toutes les fonctions de l'installation étant opérationnelles.

Les techniques utilisées sont celles que connaît bien l'exploitant et qu'il a déjà mises en œuvre bien des fois. Il n'y en général aucune difficulté majeure.

Toutefois dans certaines installations anciennes du cycle, quand l'héritage du passé est important des problèmes techniques sérieux peuvent survenir, dont la solution impose des moyens et des méthodes qui ne sont plus du tout celles de l'usine en exploitation.

Durant la conférence Avignon 2003 [réf. 4] il a été signalé combien il était difficile d'évacuer les effluents du laboratoire de chimie du centre CEA de Fontenay-aux-Roses, entreposés pendant des décennies, très irradiants, et qui ont fini par se solidifier. De même il a été mentionné les déchets de l'usine de retraitement de Marcoule, qui doivent être reconditionnés avant de pouvoir être envoyés dans des centres de stockage.

Il faut donc prendre au sérieux ce jugement tout à fait exact de l'autorité de sûreté [réf. 2] :

"Le démantèlement des installations est un révélateur implacable de l'historique de l'installation et de plus ou moins bonnes pratiques d'exploitation."

Une bonne gestion, une bonne maintenance, un bon entretien au jour le jour, sans rien reporter au lendemain, garantissent un assainissement facile et d'un coût minimal. Le contraire conduit à des difficultés, à des lenteurs et à des coûts élevés.

#### Les techniques de la déconstruction

La déconstruction consiste à vider les installations des appareils, des machines et des composants qu'elles contiennent. Ensuite, il faut s'atteler à la tâche de

détruire les confinements, murs de cellules ou cuves de réacteurs.

De nombreuses installations nucléaires ont été démantelées depuis le début du nucléaire.

Le tableau I donne une liste des opérations réalisées par le CEA.

Le tableau II donne une liste des réacteurs démantelés ou en cours de démantèlement.

Il est évident que, au cours de ces opérations, -de nombreuses équipes industrielles ont acquis l'expérience des techniques nécessaires aux activités de démantèlement.

Ces techniques sont simples. Il s'agit toujours de nettoyer, de découper, de déplacer des charges et de conditionner les morceaux pour les transporter. Les outils et machines nécessaires existent dans l'industrie. Il n'y a rien à inventer. La seule contrainte imposée par la nature radioactive et contaminante des objets manipulés, est d'aménager les outils classiques pour les faire fonctionner à distance par télécommande, de façon sûre et fiable. C'est ce qui a été réalisé par de nombreux industriels ce qui permet de dire que les outils nécessaires à la déconstruction existent, ont été testés et sont disponibles.

La démonstration la plus percutante de la maîtrise de ces techniques est donnée par les opérations de changement de générateurs de vapeur pratiqués régulièrement depuis 30 ans en France, en Europe, aux USA et au Japon (70 dans le monde, dont 32 opérés par Framatome) [réf. 8].

Pour changer un générateur de vapeur, il faut déconnecter l'appareil du circuit primaire en coupant de grosses canalisations (fig. 1), après l'avoir décontaminé des produits de corrosion fortement irradiants qu'il contient,

Tableau I – Démantèlements CEA				
Exemples de réacteurs CEA définitivement arrêtés				
Installations	Début	Arrêt	Puissance (MWe)	Etat technique
EL1 (Zoé)	1948	1975	~ 0	Musée
G1 (Marcoule)	1956	1968	46	ICPE confiné
EL3 (Saclay)	1957	1979	18	Niveau 2
G2 (Marcoule)	1958	1980	250	Niveau 2
G3 (Marcoule)	1959	1984	250	Niveau 2
Rapsodie	1967	1983	40	Niveau 2
Siloë	1958	1996	50	Démantèlement en cours
EL <sub>4</sub>	1966	1985	250	Démantèlement en cours
Exemples d'installations CEA du cycle démantelées				
Installations	Vie		Objet	Etat
Usine Pu (FAR)	1954-1958		Retraitement	Niveau 3 en 1962
Le Bouchet	1959-1963		Traitement minéral	Niveau 3 en 1982
Elan II A (Saclay)	1968-1970		Sources Cs	Niveau 3 en 1994
Elan II B (La Hague)	1970-1973		Sources Cs	Niveau 3 en cours
AT1 (La Hague)	1969-1979		Retraitement	Niveau 3 en 2001
Piver (Marcoule)	1969-1982		Vitrification	Niveau 2 en 1991
Bât. 19 (FAR)	1957-1984		Laboratoire plutonium	Niveau 3 en 1986
RM2 (FAR)	1968-1984		Combustibles irradiés	Niveau 2 en 1998
Bât. 18 (FAR)	1968-1992		Retraitement	Niveau 3 en cours

Tableau II – Exemples de réacteurs démantelés			
Pays/Nom	Type	Puissance (MWe)	Niveau
Etats-Unis			
Fort St Vrain	HTR	340	3
San Onofre	PWR	450	2
Yankee Rowe	PWR	185	3
Maine Yankee	PWR	900	3
Trojan	PWR	1100	3
Rancho Seco	PWR	960	2
Shippingport	PWR	100	3
Espagne			
Vandellos	UNGG	500	3
Allemagne			
Niederaichbach	D <sub>2</sub> O	100	3
Greifswald 1	VVER	440	3
Japon			
Tokai Mura (JPDR)	BWR	25	3
Royaume-Uni			
Windscale (WAGR)	AGR	41	3
Belgique			
Mol (BR <sub>3</sub> )	PWR	10,5	3
Italie			
Carigliano	BWR	160	Arrêt en 1978 - 2
Trino	PWR	270	Arrêt en 1987 - 2
Latina	GC	160	Arrêt en 1987 - 2
France			
Chinon A <sub>1</sub>	GC	70	Devenu musée – 2
Chinon A <sub>2</sub>	GC	70	2
Brennilis (EL <sub>4</sub> )	D <sub>2</sub> O	250	3 en cours

soulever le GV qui pèse 300 tonnes (fig. 2), et le sortir du bâtiment réacteur par une ouverture pratiquée dans le béton de l'enceinte du réacteur (fig. 3).

Ces illustrations démontrent à toute personne ayant une formation technique que la déconstruction des réacteurs est maîtrisable.

De plus ces opérations sont devenues régulières ; ce ne sont pas des opérations ponctuelles sur des installations uniques. Les ingénieries qui les pratiquent peuvent se construire une expérience solide facile à transmettre et bénéficier pleinement du retour d'expérience. Elles sont prêtes pour les démantèlements de réacteurs.

#### 4. La maîtrise du temps

La déconstruction des réacteurs, laboratoires et usines, présente une caractéristique fondamentale : à un moment ou à un autre, il faut décider de rompre le confinement prévu par les constructeurs de l'installation.

Les opérations peuvent donc faire courir un risque aux opérateurs et aux populations.

Les questions de sécurité et de santé publique s'inventent à la fête, et les autorités de Sécurité, bien légitimement, deviennent maîtresses du jeu.



Fig. 1 - Découpe de tuyauterie primaire sous générateur de vapeur avec la machine Sumo

Framatome ANP - Photo : AVE

#### 4.1 Quand faut-il démanteler ?

Tout d'abord se pose la question du déroulement dans le temps des opérations de démantèlement.

Une fois la mise à l'arrêt des installations autorisée, le calendrier de la déconstruction est une question ouverte. En effet, les installations ayant été assainies, les matières fissiles et déchets ayant été évacuées, l'installation est devenue bien plus "sûre" qu'avant. Pourquoi ne pas rester dans cet état ultra sûr pendant très longtemps ?

alors que onze privilégient le démantèlement différé, cinq pays hésitant entre les deux options.

Il est intéressant de noter la durée de report du démantèlement prise pour hypothèse par les intervenants. Elles sont généralement élevées. Pour les réacteurs à gaz, la durée de report est de la centaine d'années. Pour les REP, elle peut aller jusqu'à 80 ans, la moyenne étant d'une vingtaine d'années.

Quant à ce que serait la durée réelle de déconstruction, soit immédiatement après l'arrêt, soit après attente plus ou moins prolongée, les données de l'OCDE paraissent bizarres, et en tous cas ne reflètent pas l'expérience du terrain, puisque l'enquête cite environ 40 ans en moyenne, dans tous les cas.

Selon l'OCDE "Si le démantèlement immédiat est choisi, on estime à 30 ou 40 ans la durée qui sépare la mise à l'arrêt du réacteur de la fin des travaux de démantèlement."

"En revanche, pour les réacteurs dont le démantèlement est différé de 30 ans, on prévoit aussi la même durée de 40 ans entre l'arrêt du réacteur et la fin du démantèlement."

Deux stratégies sont

donc en présence :

- Attendre 30 ans, puis faire le travail en dix ans. Dans ce cas, l'activité des radioéléments à vie courte (cobalt 60 en particulier) a fortement décru, et il a été possible de préparer le chantier et les dossiers de sûreté.

- Travailler durant 40 ans.

Curieusement, le rapport de l'OCDE indique que les coûts des deux stratégies sont équivalents, ce qui est difficile à croire.

Il me semble que la réalité est plutôt la suivante :

- La tendance générale des électriciens est d'attendre. Ceci permet de faire décroître l'activité radiologique, de préparer les circuits d'évacuation des déchets et de normaliser les discussions avec les autorités de sûreté, sans engager de grosses dépenses.

- Il y a une tendance antagoniste qui est de faire vite pour éviter une dérive des coûts, dérive qui pourrait provenir de risques d'augmentation des coûts des déchets et de réglementations plus contraignantes susceptibles d'augmenter le coût de la main d'œuvre (sans oublier les contraintes médiatiques et politiques).

Framatome ANP



Fig. 2 - Levage de charges lourdes

C'est une question toujours débattue :

- Pour les réacteurs, dont les circuits et composants contiennent des matériaux activés par des radio-isotopes à vie courte, une attente fait nécessairement baisser la radioactivité et les risques encourus par la déconstruction.

Ceci plaide en faveur d'un temps d'attente suffisant avant la déconstruction.

- Dans le cas des laboratoires et usines du cycle du combustible, contaminés par des radioéléments à vie longue (plutonium, transuraniens) l'attente n'apporte guère d'améliorations. Le choix du calendrier du démantèlement dépend d'autres paramètres, comme la disponibilité du financement, ou le risque de détérioration de l'installation si l'on attend trop.

Cette question a été étudiée par l'OCDE pour les réacteurs [réf. 1].

- Le résultat à retenir de cette enquête est que, sur les compagnies d'électricité consultées, 21 préfèrent le démantèlement rapide, et 21 préfèrent le démantèlement différé.

Quant aux réponses des autorités nationales, huit pays donnent la préférence au démantèlement immédiat,

## 4.2 Les indications venant de l'Autorité de Sûreté

### Les niveaux de déclassement

En général, les institutions nucléaires, que ce soit les opérateurs ou les autorités de sûreté, se placent dans le cadre général suivant, découpé en trois niveaux, proposé par l'AIEA.

Niveau 1 : Fermeture sous surveillance. L'installation est assainie, par évacuation des matières radioactives et des déchets. Les circuits peuvent être rincés. L'installation ressemble à l'installation telle qu'elle était en cours de fonctionnement. Aucune fonction n'est détruite.

Niveau 2 : Libération partielle et conditionnelle du site. Les volumes confinés ont pu être réduits. Des équipements sont évacués, des zones sont libérées et décontaminées. La surveillance est maintenue mais réduite.

Niveau 3 : Libération totale et inconditionnelle du site. C'est le vrai démantèlement, ou déconstruction.

Cette classification, claire pour les réacteurs, l'est moins pour les installations du cycle, et l'on parle de modifier ce découpage.

Comme cette étude porte plutôt sur les réacteurs, la classification AIEA sera conservée.

### Le calendrier

L'Autorité de Sûreté n'impose pas de durée de ces niveaux, elle n'impose que les dispositions de confinement, de surveillance et d'inspection. Les durées peuvent être longues si les dispositions sont respectées. Les durées indiquées [réf. 3] par la DSIN sont :

- 20 à 50 ans pour le niveau 1,
- 100 ans pour le niveau 2.

Toutefois, la doctrine de la sûreté n'est pas figée. Les indications de durée longue citées plus haut datent de 1992. En 2002, l'Autorité de sûreté est plus favorable à des calendriers plus courts [réf. 2] et s'exprime ainsi :

"L'autorité de sûreté nucléaire considère qu'il vaut mieux démanteler le plus rapidement possible, car :

- La cessation définitive d'exploitation doit impérativement être réalisée par les exploitants,
- Le risque de perte de mémoire en cas d'attente trop longue est réel et a déjà été observé,
- Le vieillissement des installations est parfois mal maîtrisé,
- Enfin, l'argument avancé parfois pour retarder le démantèlement, lié à la décroissance radioactive, apparaît peu important par rapport aux inconvénients liés à l'attente."

Il est intéressant de noter que l'autorité de sûreté juge que le vieillissement des installations et la dégradation de la connaissance de l'installation sont plus importan-

tes que les difficultés techniques rencontrées quand on manipule des objets très radioactifs.

Pourtant l'expérience opérationnelle montre qu'il est plus difficile techniquement, plus risqué du point de vue de l'irradiation du personnel, et donc plus long et plus coûteux de manipuler des objets très irradiants.

Devant cette question ouverte, il faut garder solidement les grands principes :

- Le démantèlement conduit à détruire les confinements et à faire prendre des risques aux opérateurs et à la population ;
- Les objets très irradiants imposent des précautions importantes ;
- La décroissance radioactive n'est pas un mythe ;
- Les risques de perte de mémoire et de vieillissement sont réels. Mais ces risques ne sont pas une fatalité, et des mesures pourraient être prises pour s'en prémunir.



Fig. 3 - Découpe de l'enceinte extérieure en béton d'un réacteur

La décision de démantèlement doit donc être mûrement réfléchie, et dépend de nombreux facteurs. Il est donc impossible de figer une doctrine unique.

### Conclusion

Pour conclure, il apparaît que la question des durées et des temps d'attente n'est pas réglée. Le débat reste ouvert, et au plan mondial, les partisans des deux thèses s'équilibrent.

## 5. La maîtrise du chantier et du calendrier

Pour pouvoir lancer une opération de démantèlement, il faut, et c'est bien normal, que l'exploitant décrive en détail ce qu'il veut faire, et que l'autorité de sûreté, après examen, donne son accord au projet. Ceci est d'autant plus important que les opérations vont finir par rompre

les confinements et barrières de sûreté et que, à un moment ou un autre, l'installation va perdre ses fonctions vitales, par exemple son alimentation en électricité et sa ventilation.

Il est évident qu'une telle démarche exige des opérateurs et des examinateurs expérimentés, sous peine de longs délais.

La période actuelle est une période de rodage, mais l'avenir est à une collaboration entre experts, la démarche de sûreté ayant pour seul but de permettre un déroulement rapide et sûr des opérations.

La référence 2 met en évidence l'évolution très positive des autorités de sûreté :

"Il est apparu que les modalités d'évolution des documents de sûreté appliquées pour les installations en exploitation, qui sont basées généralement sur la nécessité d'une approbation préalable, par l'Autorité de Sûreté, de la plupart des modifications, étaient inadaptées aux opérations de démantèlement.

Il est nécessaire de permettre à l'exploitant, dans ce cas, de procéder facilement aux modifications de son installation inhérentes aux travaux de démantèlement, sous réserve d'une organisation permettant de garantir la qualité de l'analyse des risques associés."

Et plus loin dans la référence :

"L'Autorité de Sûreté étudie comment il serait possible d'autoriser, dans un seul décret, l'ensemble des opérations de démantèlement d'une installation nucléaire. Cela nécessite que l'exploitant soit capable de préciser, dès le début du démantèlement :

- L'état final visé,
- Le planning envisagé,
- Le niveau de risque présenté par l'installation à chaque phase de démantèlement,
- Les points délicats qui nécessitent un engagement de sa part (en particulier sur les déchets et les techniques spécifiques envisagées.)"

Cette vision de la collaboration entre exploitant et autorité de sûreté est remarquable, et doit permettre d'éviter bien des lenteurs et des retards dans les plans.

Cette collaboration entre autorité de sûreté, exploitants et ingénierie n'est pas une utopie.

Elle s'est mise en place de façon remarquable pour l'opération de changement des générateurs de vapeur que nous avons déjà citée plus haut. Cette opération est non seulement un exemple de la maîtrise des techniques mais aussi une illustration du professionnalisme d'une ingénierie compétente.

Tout ce qui est nécessaire à une opération difficile qui préfigure les démantèlements à venir a été maîtrisé :

- Planification détaillée et complète de toutes les actions élémentaires,
- Présentation à l'autorité de sûreté,
- Dialogue avec le client,
- Mise au point d'outils spécifiques si nécessaire,
- Choix et contrôle des sous traitants spécialisés,
- Organisation du chantier.

Tout est donc prêt pour faire face aux grands chantiers futurs du démantèlement des REP, d'autant plus que, dans un avenir proche tous les acteurs industriels travailleront pour le programme lancé par EDF pour démanteler les réacteurs de la première génération (réacteurs gaz graphite) et le réacteur à neutrons rapides de Creys-Malville.

## 6. La maîtrise de la gestion des déchets

A ce point de la description des relations entre exploitants et autorité de sûreté, il faut insister sur deux points particuliers des prescriptions de sûreté, le "zonage" des installations, et les "plans déchets".

### 6.1 Le zonage des installations, les niveaux d'exemption

Il y a quelque temps, quand on imaginait le démantèlement de réacteurs et usines, encouragés par les affirmations péremptoires des porte-parole des milieux hostiles au nucléaire, on se laissait aller facilement à penser que la totalité des installations ayant servi au nucléaire devait devenir des déchets. Cela faisait beaucoup de déchets. Le nucléaire allait périr étouffé sous ses détritiques. Cette position excessive s'appuyait sur la difficulté qu'il y a à définir un déchet. Où se trouve la limite entre un déchet banal qui peut aller dans une décharge publique et un déchet radioactif destiné à une décharge spécialisée ?

Longtemps la réponse a été dans l'établissement d'une norme, d'un seuil.

Les règles administratives françaises donnent des limites pour orienter les déchets vers tel ou tel type de décharge. De même les règles européennes et mondiales continuent à exister et à être appliquées.

Mais en France, suite à des événements variés, dont Tchernobyl, suite à une action opiniâtre d'associations anti-nucléaires, suite à une complaisance des médias et à des faiblesses des autorités de la santé, suite aussi à la difficulté de donner des démonstrations admises par tous sur l'effet des faibles doses de rayonnement, les autorités de sûreté et les exploitants ont décidé que tout ce qui, dans une installation nucléaire pouvait avoir une radioactivité ajoutée ne serait jamais envoyé dans une décharge ordinaire. Il n'y a donc plus de seuils.

Cette décision a trois conséquences :

- Il fallait créer des décharges spécialisées pour déchets susceptibles d'avoir reçu une radioactivité ajoutée par contamination ou activation. C'est chose faite depuis la création par l'ANDRA de la décharge pour déchets très faiblement radioactifs (TFA) de Morvilliers ;
- Il fallait suivre l'histoire des installations pour pouvoir déclarer que telle ou telle zone de l'installation ne pouvait pas avoir reçu de radioactivité ajoutée. Un tel suivi permet de limiter le volume des TFA. C'est chose faite avec l'obligation de "zoner les installations" selon leur état et leur histoire ;

- La troisième conséquence est que les Français ont des règlements et des pratiques uniques et en porte à faux par rapport à tous les autres pays.

## 6.2 Les plans déchets

Pour autoriser le lancement des opérations de démantèlement, les autorités de sûreté ont rendu réglementaire, fin 1999, la préparation d'un plan de démantèlement et, en particulier, d'un plan déchets qui oblige l'exploitant à examiner en détail toutes les opérations prévues, à évaluer les déchets susceptibles d'être produits, selon le zonage dont nous avons parlé plus haut, et aussi à s'engager sur la destination de ces déchets.

Le dernier point est important. Trop de démantèlements ont été lancés sans que la destination finale des déchets soit connue, ce manque conduisant à des discussions longues avec l'Autorité de Sûreté, menant parfois à l'interruption des opérations ou pire encore, à la création d'entrepôts, en attente de solution finale, pour des déchets dans un état bien moins sûr qu'avant le démantèlement.

Il est désormais permis de penser qu'aucun démantèlement ne sera plus autorisé si l'on ne sait pas où l'on va mettre les déchets produits.

Les priorités sont maintenant claires.

Avant de démanteler, il faut créer toutes les décharges spécialisées et les filières de traitement des déchets nécessaires.

Ce n'est pas par hasard si l'EDF vient d'annoncer qu'elle allait terminer le démantèlement des réacteurs graphite-gaz dans les dix prochaines années, au moment où l'ANDRA s'engage à créer rapidement une décharge spécialisée pour le graphite irradié.

## 6.3 Le volume des déchets

Dans le cadre ainsi fixé par le décret du 31-12-1999 (pas de niveau d'exemption, plans déchets, zonage des installations) les exploitants ont pu établir des prévisions du volume des déchets qui sera produit par le démantèlement.

### 6.3.1 Estimation globale

En mai 2000, Yves Le Bars, président de l'ANDRA, dans le rapport de la mission sur la méthodologie de l'inventaire des déchets radioactifs [réf. 6], donne les chiffres suivants pour les déchets de démantèlement des réacteurs REP du parc français au niveau 2 et ceux du démantèlement des installations de recherche et du cycle du combustible :

Déchets A : 350 000 m<sup>3</sup>

Déchets B ; 4000 m<sup>3</sup>

Déchets C : négligeable

TFA : 1 à 2 millions de m<sup>3</sup>

Au total, on arrive à 1,5 à 2,5 millions de m<sup>3</sup> environ.

Ce volume qui correspond à peu près à 80 ans de nucléaire est très faible.

En effet le volume annuel de déchets toxiques industriels tourne autour de 6 millions de tonnes. Il n'est

pas exagéré de dire que les déchets nucléaires sont plus de cent fois moins abondants que les déchets toxiques.

### 6.3.2 Estimation EDF pour les REP

L'estimation la plus importante concerne le parc de réacteurs à eau pressurisée de EDF .En effet c'est sur ce point que la polémique est forte. Pour beaucoup le volume des déchets à prévoir, et à financer, est énorme ; il aurait été systématiquement sous estimé et, par conséquent, les coûts de l'électricité nucléaire seraient faux et bien supérieurs à ce que prétendent les autorités.

L'estimation de EDF [réf. 5] pour le démantèlement complet d'un site de 4 réacteurs REP, est la suivante :

TFA : environ 20 000 tonnes

Déchets A : environ 10 000 tonnes

Déchets B : environ 500 tonnes.

Au total : 30 500 tonnes.

### 6.3.3 Estimation de l'OCDE

L'estimation de EDF pourrait être jugée "non indépendante". Nous allons la comparer à l'estimation moyenne de l'étude internationale de l'OCDE [réf. 1].

Pour 1 REP, l'OCDE indique que les déchets seront de 10 t/MWe, soit pour un 900 MWe, 9000 tonnes par réacteur.

Pour 4 REP, on aura donc 36 000 tonnes de déchets.

L'évaluation de l'OCDE (36 000 tonnes) est supérieure à celle de EDF (30 500 tonnes), mais c'est tout à fait normal, car les estimations de EDF sont relatives à des démantèlements au niveau 2 alors que celles de l'OCDE concernent des niveaux 3. Cette différence étant notée, on peut considérer que les deux estimations sont cohérentes.

## 6.4 Le coût des déchets pour les REP

Le coût des déchets est la somme du coût de stockage et du coût de conditionnement.

### 6.4.1 Coût de stockage des déchets

Les coûts de stockage de l'ANDRA sont de 270 €/m<sup>3</sup> pour les TFA, de 2400 €/m<sup>3</sup> pour les déchets B, et très approximativement de 45 000 €/m<sup>3</sup> pour les déchets C.

Donc pour le site de 4 réacteurs mentionné ci-dessus, le coût s'élève à :

TFA : 20 000 x 270 = 5,4 millions €

Déchets A : 10 000 x 2400 = 24 millions €

Déchets B : 500 x 5 000 € = 22,5 millions €

Soit au total environ 50 millions €.

### 6.4.2 Coût de conditionnement des déchets

Pour connaître le coût total prévisionnel des déchets, il faut ajouter le coût de conditionnement des déchets. Ces coûts sont faibles pour les TFA, à peu près équivalents aux coûts de stockage. Pour les déchets A et B, ils sont en moyenne aujourd'hui de l'ordre de 12 000 €/m<sup>3</sup>, d'après les opérationnels.

On arrive donc à un coût de conditionnement de :

TFA : 5,4 millions €

Déchets A : 10 000 x 12 000 = 120 millions €

Déchets B : 500 x 12 000 = 6 millions €

Au total : de l'ordre de 130 millions €.

#### 6.4.3 Coût total des déchets

Finalement, la valeur du coût des déchets pour 4 réacteurs pourrait être de 180 millions €, soit environ 50 €/kWe.

#### 6.5 Conclusion

Les volumes de déchets peuvent être évalués dans le cadre du système mis en place en France par le décret du 31-12-1999 (pas de seuil de libération, zonage, plan déchets), ce qui conduit à des volumes prévisibles tout à fait gérables.

L'ANDRA a mis en place les stockages nécessaires et suffisants (Soulaines, Morvilliers, un stockage pour le graphite). Il n'y a donc aucune impasse technique et les coûts sont connus (de l'ordre de 50 €/kWe).

### 7. Les coûts du démantèlement

Une des affirmations récurrentes, dans les médias et les débats où dominent les anti-nucléaires, est que les coûts de démantèlement sont sous estimés, qu'ils seraient très élevés (au moins égaux aux coûts de construction) et non pris en compte dans les coûts du kWe, ce qui invaliderait tous les avantages présumés du nucléaire. Ceci s'ajoute donc à ce qui a été évoqué plus haut, à savoir qu'on ne sait pas démanteler, et que le démantèlement produira une montagne de déchets.

Par conséquent, il faut tirer au clair la question des coûts du démantèlement.

Pour parler des coûts du démantèlement, il faut avoir défini ce qu'est le démantèlement. Rappelons ce qui a été dit au chapitre II : le démantèlement, c'est :

- L'assainissement de l'installation,
- La déconstruction,
- La gestion des déchets,
- Et peut être, la réhabilitation du site.

#### 7.1 Une enquête internationale

L'OCDE a lancé une enquête internationale très poussée pour connaître les estimations des coûts de démantèlement des divers types de réacteurs auprès des compagnies d'électricité et des autorités nationales de divers pays.

Les résultats de cette enquête sont résumés ci-dessous et donnent les coûts en \$/kWe.

Type de réacteur	Moyenne	Ecart-type
REP	320	195
VVER	330	110
REB	420	100
PHWR-CANDU	360	70
GCR	2 500	?

Les écarts-types sont importants, ce qui est normal compte tenu de l'ampleur de l'enquête, cette dernière

ayant concerné 26 pays différents en compétence et réglementation.

Deux chiffres qui nous concernent en France sont à retenir :

- 320 \$/kWe pour les REP,
- 2 500 \$/kWe pour les réacteurs à gaz

L'estimation EDF transmise à l'OCDE pour le démantèlement des REP est de 225 dollars/kWe, ou 250 €/kWe.

Il n'est pas inintéressant de citer quelles sont les prévisions qui plombent l'étude de l'OCDE. Les champions des coûts élevés sont : l'Italie, champion toutes catégories, avec 909 dollars/kWe, suivi de la Slovaquie, puis du Japon et des USA, dans la zone des 400 dollars/kWe. Pas mal de raisons militent pour préférer le coût avancé par une entreprise qui est restée toujours active dans la construction des réacteurs.

#### Conclusion sur les coûts du démantèlement

Au total, et pour les REP, nous retiendrons le chiffre de 320 dollars par kWe [réf. 1]. L'estimation EDF pour le démantèlement dans cette étude est de 225 dollars par kWe.

Compte tenu de la nature et de la méthodologie de l'enquête de l'OCDE, le coût prévisionnel d'EDF n'est donc pas absurdement sous-estimé.

Ce coût prévisionnel, qui est provisionné par EDF comme nous le verrons plus loin, correspond, pour chaque unité, à 15% du coût total d'investissement.

Il correspond à 5% du coût du kWh. Même une variation importante de ce coût prévisionnel n'aurait qu'un impact limité.

L'enquête de l'OCDE donne aussi une analyse très intéressante de la décomposition des coûts :

- |                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| - Déconstruction                | 25-55 % |
| - Déchets                       | 17-43 % |
| - Sécurité, surveillance        | 8-13 %  |
| - Réaménagement du site         | 5-13 %  |
| - Ingénierie, gestion du projet | 5-24 %  |

Le coût des déchets que nous avons estimé plus haut est de 50 €/kWe, soit 22 % du coût affiché par EDF, ou 16% du coût moyen de l'OCDE.

Sans s'attacher outre mesure aux valeurs trouvées, il est possible de conclure que, de toutes façons, le coût des déchets, comme le coût du démantèlement, sont faibles et n'ont rien à voir avec ce que l'on en dit dans bien des publications.

Quelques chiffres à retenir :

- Coût du démantèlement : 320 \$/kWe (225 d'après EDF)
- Coût du démantèlement : de l'ordre de 15% du coût de construction
- Coût des déchets : environ 45\$/kWe, soit environ 20% du coût de démantèlement
- Volume des déchets : 10t/MWe.

#### 7.2 Que penser de cette enquête ?

Il faut être clair : le chapitre 3 a montré que l'on savait techniquement démanteler en s'appuyant sur de faits

concrets, illustrés dans les figures de cet article. On sait scier, couper, laver, soulever des grosses charges, évacuer des déchets, etc. Le nombre d'opérations citées est élevé et tout lecteur, même non technicien, peut se rendre compte de la matérialité des accomplissements techniques réalisés.

Mais la recherche du coût du démantèlement se heurte à un obstacle très réel. En fait, peu de démantèlements représentatifs ont été menés jusqu'au niveau 3 dans tout ce qui a été fait en France et dans le monde.

Quant aux autres démantèlements ils ne permettent pas de se faire une opinion, car :

- Tous les démantèlements de petits réacteurs ne sont pas représentatifs du démantèlement des REP,
- Tous les démantèlements de petites usines ou laboratoires de recherche ne sont pas représentatifs de ce que pourrait être le démantèlement d'usines de CO-GEMA.

Certes ils ont permis d'assurer l'expérience des industriels du démantèlement et des ingénieries, et ils permettent les évaluations et extrapolations pour les chantiers à venir. Mais, si cela est suffisant et convaincant pour les professionnels et les personnes ayant une formation technique, cela ne peut convaincre l'opinion publique, qui devra, encore une fois, faire confiance aux experts, et risque de ne pas le faire.

Cette situation va durer longtemps encore. En effet, il n'y aura aucun démantèlement de réacteur REP avant des dizaines d'années.

Quant aux démantèlements prévus par EDF dans les 15 à 20 ans prochains, ils concernent des réacteurs anciens qui ne sont plus représentatifs.

En gros, tous ceux qui attendent de voir un démantèlement achevé, qui rêvent peut-être de venir pique-niquer sur le terrain libéré, devront attendre des décennies et, en fait, ne verront jamais leur rêve réalisé. En effet, dans la presque totalité des cas, le site sera réutilisé pour d'autres activités nucléaires.

Le travail de communication sera donc difficile, car il s'appuiera finalement uniquement sur les évidences techniques.

Quelles sont ces dernières ?

- Les nombreux démantèlements ont permis de créer toutes les techniques indispensables et de former les industriels,
- Ces mêmes démantèlements ont permis de roder les ingénieries qui ont fini par établir les règles du métier,
- Ces mêmes démantèlements ont permis de mettre en place des règles de travail entre "démanteleurs" et autorités de sûreté,
- Ces mêmes démantèlements ont permis d'établir les règles qui ont pour résultat l'évaluation des quantités de déchets et l'obligation de prévoir leur destination.

C'est pourquoi, les estimations de coût sont maintenant fiables, et les points critiques bien connus.

Le plus important de ces points critiques est le coût de la main d'œuvre (qui peut atteindre 40 % des coûts

par le biais des opérations d'assainissement, de déconstruction, de gestion des déchets). La qualité d'une préparation méticuleuse, par une ingénierie compétente, est essentielle (d'ailleurs le coût de l'ingénierie peut s'élever jusqu'à 25 % des coûts). Ensuite, il faut aller vite : puisqu'il s'agit de main-d'œuvre, la maîtrise essentielle est celle du temps.

### 7.3 Les moyens de garantir le financement du démantèlement

Il apparaît évident qu'il faut mettre de côté des fonds en prévision des futures dépenses de démantèlement. La responsabilité des pouvoirs publics est clairement engagée, de façon que les sommes nécessaires soient provisionnées ; c'est pratiquement une exigence de sûreté.

Par conséquent, une fois une estimation fiable des coûts de démantèlement faite (ce qui est réalisé aujourd'hui), il faut appliquer des méthodes claires pour constituer un fonds démantèlement et assurer sa disponibilité sans risques en temps voulu.

Où se trouve le fonds de démantèlement et comment est-il géré ?

Il y a de nombreuses méthodes dans le monde. Dans la moitié des pays nucléaires, c'est l'exploitant qui détient les fonds. Dans le reste des pays, c'est un organisme spécifique, créé à cet effet, qui joue ce rôle.

L'OCDE ajoute dans son rapport :

"...Que ce soient les pouvoirs publics, l'exploitant ou un autre organisme qui détiennent ces fonds, ces derniers sont presque toujours administrés en tant que fonds séparés des autres actifs de l'organisme public ou de l'entreprise."

En France, EDF constitue depuis 1979 une provision pour le démantèlement des centrales nucléaires. Cette provision permet d'incorporer dans le coût de production de l'électricité, tout au long de la durée de vie des tranches nucléaires, les charges auxquelles il faudra faire face ultérieurement pour le démantèlement. Pour chaque réacteur, la provision est dotée annuellement de telle sorte que le montant provisionné permette de couvrir intégralement les dépenses liées au démantèlement à la fin de la période d'exploitation [réf. 7]. A titre indicatif, le montant des provisions cumulées à la fin 2001 s'élève à 9,5 milliards d'euros.

L'impact de ces provisions est d'environ 0,15 cent par kWh.

Dans tous les cas, le financement est prévu, et rien n'est laissé à la charge des générations futures.

## 8. Conclusion : l'état des lieux

- L'état des lieux réglementaire

L'état des lieux réglementaire est satisfaisant. Le décret du 31-12-1999 aborde clairement tous les aspects de sûreté du démantèlement. Les autorités de sûreté ont une conscience très nette, comme nous l'avons vu, des problèmes posés et des solutions pour réussir.

- L'état des lieux industriel

Les industriels, que ce soient les ingénieries ou les opérateurs, sont prêts et rodés par les chantiers qu'ils ont réussis. Ils ont compris la nécessité d'une préparation minutieuse des opérations et d'une organisation très détaillée des chantiers, en collaboration étroite avec l'autorité de sûreté.

- L'état de l'art

Les techniques et méthodes de travail indispensables au démantèlement (assainissement, déconstruction, gestion des déchets) ont été testées et vérifiées sur un nombre important d'opérations. De plus, les filières d'évacuation des déchets, jusqu'à leur stockage définitif, sont pratiquement toutes en place ou sur le point de l'être.

Les troupes sont en ordre de bataille, dans un cadre clair.

Les premières actions seront les démantèlements des réacteurs anciens (UNGG, eau lourde), avant la période plus lointaine du démantèlement des REP.

## 9. Remarques particulières

- Le démantèlement est un nouveau métier
- Le déploiement industriel sera lent
- L'exploitant a une grosse responsabilité pour qu'un démantèlement soit bien réussi (entretien permanent, relevé des incidents, des modifications d'installation, etc.)
- Les difficultés de démantèlement viennent souvent des défauts de conception des installations. Il faut faire attention pour les futures installations nucléaires à tenir compte des leçons apprises durement aujourd'hui.

## 10. Conclusion finale

Les techniques du démantèlement sont maîtrisées.

Le coût du démantèlement n'est pas très élevé.

Le volume des déchets de démantèlement n'est pas exorbitant.

Le financement des démantèlements est prévu. Rien ne sera laissé aux générations futures.

## RÉFÉRENCES

[1] Document OCDE 2003 ISBN 92-64-10432-1.

[2] RGN 1/2002, J.Averous.

[3] Actes de la conférence SFEN Avignon 1992 sur le démantèlement : quelques aspects réglementaires du démantèlement, Jean-Christophe Niel.

[4] Actes de la conférence SFEN Avignon 2003.

[5] SAFEWASTE 2000 : M.Campani, I.Cottinet, EDF.

[6] Pour un inventaire de référence des déchets radioactifs, mai 2000, page 87, Yves Le Bars.

[7] L'énergie nucléaire en 110 questions, DGEMP.

[8] Symposium 3 N 2004, Philippe Denimal.

\* \*

\*