

# Démantèlement : l'expérience acquise au CEA

**Après près de 30 ans  
d'expérience accumulée,  
le démantèlement  
est techniquement  
prêt à passer  
à une phase  
industrielle.**

**par Philippe Hammer,**  
*Directeur de la gestion des déchets,*  
*Commissariat à l'énergie atomique*  
**et Jean-Guy Nokhamzon,**  
*Coordonnateur démantèlement,*  
*Commissariat à l'énergie atomique*

Pour la réalisation de ses programmes de recherche, le CEA, depuis sa création en 1945, construit et exploite des installations de types divers : réacteurs de recherche ou prototypes, laboratoires d'examens ou d'études de procédés, pilotes de production, accélérateurs. Il y a, actuellement, près d'une cinquantaine d'installations gérées par les unités du CEA civil qui sont en cours d'exploitation, à l'arrêt en attente de démantèlement, ou en cours de démantèlement. Toutes ces installations, lors de leur fonctionnement, mettent en œuvre des matières nucléaires et génèrent des déchets radioactifs. Au terme

de leur exploitation, lié soit à l'achèvement des programmes qui ont motivé leur réalisation, soit à l'usure ou à l'obsolescence des équipements, ces installations doivent être assainies et démantelées en tenant compte de leur caractère nucléaire et en respectant les exigences de sûreté et de protection de l'environnement.

Au regard des activités d'assainissement le CEA, du fait de ses activités de recherche et développement et de son caractère d'établissement public, présente des particularités importantes :

- ✓ les installations qu'il construit et exploite sont très diverses, chacune d'entre elles ayant été conçue et réalisée en vue d'un objectif spécifique. Il s'ensuit que l'assainissement et le démantèlement constituent à chaque fois une opération particulière;
- ✓ le caractère pionnier du CEA dans le domaine nucléaire l'a conduit à explorer plusieurs

voies dans chaque secteur de recherche, cycle du combustible, réacteurs, avant de se focaliser sur celles qui ont été finalement retenues pour la réalisation du programme électronucléaire français. Il y a donc eu dans le passé une multiplication d'installations dont plusieurs sont aujourd'hui à l'arrêt. Cet ensemble constitue un « parc » d'installations à démanteler qui, jusqu'à ce jour, n'a été que partiellement résorbé, et qui doit même

croître dans les années à venir avec la mise à l'arrêt d'autres installations. La résorption de ce parc constitue un programme à long terme qu'il faut s'efforcer de planifier pour en optimiser la gestion.

**Il y a, actuellement, près d'une cinquantaine d'installations gérées par les unités du CEA civil qui sont en cours d'exploitation, à l'arrêt en attente de démantèlement, ou en cours de démantèlement.**

## La stratégie

Le démantèlement complet des installations nucléaires mises à l'arrêt étant indispen-

INB			1983	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Centre	Nom	Type													
HAG	AT1	U													
CAD	RAPSODIE et LDAC	R													
FAR	RM 2	L													
HAG	ELAN IIB	L													
VRH	G 1 (cheminée / niveau 3)	R													
VRH	BAT. 211	U													
VRH	BAT. 214/TOR	U													
SAC	ORIS (cel 22, 23, 24)	L													
BRE	EL4 - niveau 2/niveau 3	R													
GRE	LCAC	L													
GRE	MELUSINE	R													
VRH	Instal. d'enrichissement	AI													
FAR	Bât 18	L													
FAR	STE	AI													
SAC	CELIMENE niveau 2	L													
CAD	ATUE	AI													
CAD	Cryotraitement (LPC)	L													
GRE	SILOE	R													
GRE	SILLETTE	R													
SAC	LHA	L													
FAR	Assainissement sous-sol	AI													
Assainissement (CDE et MAD):															
Démantèlement:															
Surveillance:															
Démolition du génie civil:															

R: Réacteur      AI: Autre Installation      L: Laboratoire      U: Usine

tableau 1 : Planification prévisionnelle des opérations d'assainissement et de démantèlement des installations civiles du CEA.

sable, la seule question qui se pose est de déterminer la date de ces opérations. Le démantèlement immédiat se justifie si les conditions de sûreté de l'installation mise à l'arrêt l'exigent ou si la radioactivité qui s'y trouve reste constante dans le temps. Le démantèlement différé se justifie si on attend une réduction significative de la radioactivité dans le temps.

Hors problèmes éventuels de sûreté, cela veut dire que les installations essentiellement activées et à vie courte, telles que les réacteurs, peuvent voir les opérations de démantèlement différées dans le temps, alors que les installations contaminées et contenant des radioéléments à vie longue relèvent d'un démantèlement immédiat.

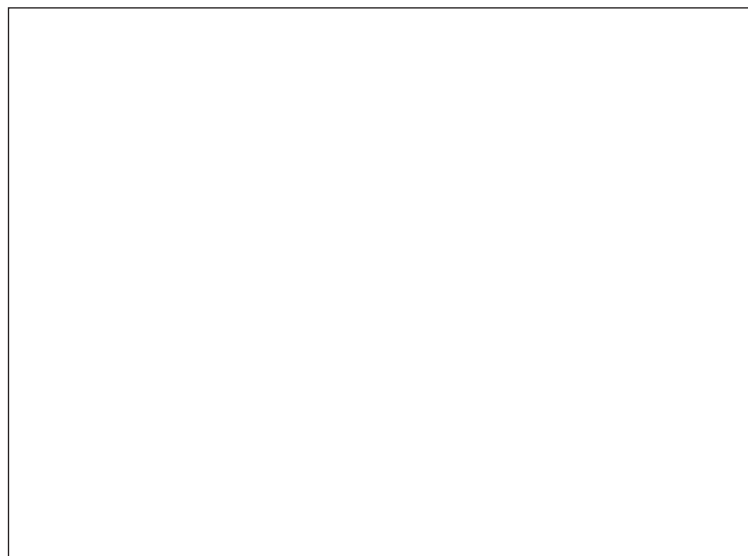
A ces données, il faut ajouter les contraintes suivantes pour construire une stratégie :

- ✓ la date d'arrêt de chaque installation telle qu'elle est prévue par l'exploitant,
- ✓ les exigences de sûreté, relatives aux installations mises à l'arrêt qui influent, d'une part sur l'ordre de priorité des opérations à engager, d'autre part

sur le rythme d'exécution des opérations en cours.

Ces exigences concernent notamment :

- ✓ le retrait des matières nucléaires présentes dans l'installation dès sa mise à l'arrêt (déchargement des combustibles dans le cas des réacteurs, évacuation des matières



Les opérations de démantèlement au centre d'études de Fontenay-aux-Roses

Installation	Mise en service	Arrêt définitif	Puissance thermique MW	Filière ou type	Rôle	Etat actuel		Niveau AIEA
						Technique	Réglementaire	
EL 2 (Saclay)	1952	1965	2,8	UnD2O GCO2	Irradiation	Confiné	Rayé des INB Source scellée	2
G1 (Marcoule)	1956	1968	46	UnG air	Puissance (Pu)	Confiné	Déclassé ICPE 1989	2
César (Cadarache)	1964	1974	0,01	UnGCO2	Maquette critique	Démantelé	Rayé des INB 1978	3
ZOE (Fontenay)	1948	1975	0,25	UnD2o	Recherche	Confiné	Rayé des INB ICPE 1978	2
Peggy (Cadarache)	1961	1975	0,001	UeH2O	Maquette critique	Démantelé	Rayé des INB 1976	3
Pégase (Cadarache)	1963	1975	35	UeH2O	irradiation	Partiellement démantelé	Nouvelle INB Entreposage déchets 1980	3
Minerve (transfert de FAR à Cadarache 1976)	1959	1976	100 W	UeH2O	Recherche	Démonté	Nouvelle INB Cadarache 1977	3
EL 3 (Saclay)	1957	1979	18	UeD2O	recherche	Confiné Démantèlement partiel	Rayé des INB ICPE 1988	2
G2 (Marcoule)	1958	1980	260	UnGCO2	Puissance (Pu)	Confiné Démantèlement partiel	Maintenu à l'arrêt	2
G3 (Marcoule)	1959	1984	260	UnGCO2	Puissance (Pu)	Confiné Démantèlement partiel	Maintenu à l'arrêt	2
Néreide (Fontenay)	1960	1981	0,5	UeH2O	Maquette critique	Démantelé	Rayé des INB 1987	3
Triton (Fontenay)	1959	1982	6,5	UeH2O	Recherche	Démantelé	Rayé des INB ICPE 1987	2
Rapsodie (Cadarache)	1967	1983	20 puis 40	neutrons rapides	recherche	En cours de confinement Démantèlement partiel	Maintenu à l'arrêt	2
Marius (Cadarache)	1964	1984	400 W	empilement	Etudes neutroniques	En cours de confinement Démantèlement partiel	Rayé des INB 1987	3
EL 4 (Brennilis)	1966	1985	250	UeD2O CO2	Puissance	En cours de confinement Démantèlement partiel	MAD 1992	2

tableau 2 : Expérience CEA de mise à l'arrêt, de démantèlement et de déclasserement de réacteurs

devenues sans emploi dans les laboratoires chauds) ;  
 ✓ l'obligation de s'assurer de la non dissémination des produits radioactifs résiduels, en prenant en compte l'état des barrières de confinement au moment de la mise à l'arrêt ;  
 ✓ l'état général de l'installation ;

✓ la nécessité de « dénucléariser » les centres urbains : Fontenay-aux-Roses et, autant que possible, Grenoble (où reste en fonctionnement pour plusieurs années le réacteur à haut flux (RHF)) ;  
 ✓ le coût de la surveillance d'une installation en attente de démantèlement ;

✓ la nécessité de terminer le plus rapidement possible les opérations engagées ;  
 ✓ d'éventuelles contraintes extérieures au CEA : obligations contractuelles vis-à-vis d'un partenaire pour le démantèlement d'une installation commune (réacteur à eau lourde EL4 à Brennilis) ou, encore, impératifs techniques

imposés par le site sur lequel l'installation à démanteler est implantée (atelier de retraitement de combustibles irradiés, APM à Marcoule) ;

✓ la nécessité de mettre au point des solutions d'élimination pour certains déchets (graphite, sodium, ...) ou des filières appropriées pour les déchets (TFA par exemple) avant d'aller au niveau 3 complet (incluant la destruction du génie civil) ;

✓ l'importance de disposer du personnel d'exploitation des installations pour leur assainissement, compte tenu de leur connaissance de ces installations ;

✓ l'intérêt de démontrer la faisabilité du démantèlement au niveau 3 de certaines installations (EL4, laboratoires chauds en zone urbaine).

En tenant compte de ces critères, le CEA retient les priorités suivantes pour l'élaboration de son plan d'assainissement (tableau 1) :

✓ l'assainissement des laboratoires chauds dès leur mise à l'arrêt, en visant dans un premier temps le niveau 2 pour réduire le terme source puis, autant que possible, dans la continuité le niveau 3 radiologique ;

✓ parmi les réacteurs, assainir d'abord les réacteurs de type piscine (évacuer les dispositifs d'irradiation, vidanger la piscine) ;

✓ terminer les opérations engagées le plus rapidement possible avant d'en engager de nouvelles ;

✓ à moyen terme, assainir toutes les installations du Centre d'études de Fontenay-aux-Roses au niveau 3, pour achever la dénucléarisation complète de ce centre aujourd'hui enclavé en zone urbaine.

## Les opérations en cours au CEA

Le CEA a déjà entrepris et poursuit actuellement plusieurs opérations d'assainissement et de démantèlement (tableaux 1 et 2).

### Les réacteurs

*Le réacteur Rapsodie de Cadarache*, premier prototype de réacteur de la filière à neutrons rapides de l'organisme de recherche. Ce réacteur, qui a fonctionné de 1967 à 1981, a été mis à l'arrêt en 1982. Son démantèlement, prévu au niveau 2, a commencé en 1987 et s'est achevé en 1997. Il ne sera démantelé au niveau 3 qu'à l'horizon 2020.

*Les opérations de démantèlement des réacteurs G1 et G2-G3 de Marcoule* (premiers réacteurs français de la filière graphite-gaz) ont débutées dès leur mise à l'ar-

rêt définitif. Le réacteur G1 qui a fonctionné de 1956 à 1968 est aujourd'hui démantelé au niveau 2, à l'exception de l'exutoire, de la cheminée et de certains filtres. Le CEA étudie l'éventualité de démanteler G1 jusqu'au niveau 3. La cheminée de ce réacteur sera détruite en 1999. Les réacteurs G2 et G3 ont fonctionné de 1958 à 1980 (G2) et de 1960 à 1984 (G3). Ils sont démantelés au niveau 2, depuis 1996. Le démantèlement au niveau 3 nécessite de pouvoir traiter ou stocker des quantités de graphite importantes, ce point est en cours d'examen avec EDF et l'Andra.

*Le réacteur EL4*, implanté à Brennilis (Monts d'Arrée) était un réacteur de puissance (250MW<sub>th</sub>, 70MW<sub>e</sub>) à uranium enrichi modéré à l'eau lourde et refroidi au CO<sub>2</sub> sous pression. Mis en service en 1966, il a été exploité en continu, par le CEA et EDF, jusqu'en 1985 et sa mise à l'arrêt définitif, a été prononcée le 1<sup>er</sup> janvier 1993. Les opérations de déclasserement des installations du site sont conduites par une équipe mixte CEA/EDF ; l'objectif actuel est le niveau 2 pour la fin de la décennie. Le calendrier du démantèlement d'EL4 au niveau 3 (hors bâtiment réacteur) fait actuellement l'objet d'études, la décision devant intervenir en 1999. Pour le CEA, l'engagement du niveau 3, dès l'achèvement du niveau 2,

**Niveaux possibles de démantèlement  
définis par l'agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)**

	<b>Etat de l'Installation</b>	<b>Surveillance</b>	<b>Caractérisation</b>
<b>Niveau 1</b>	Retrait des matières fissiles et des fluides radioactifs. Maintien en l'état des différentes barrières d'étanchéité. Systèmes d'ouverture et d'accès verrouillés.	Contrôle de la radio-activité à l'intérieur et dans l'environnement. Inspections et contrôles techniques garantissant le bon état de l'installation.	Fermeture sous surveillance.
<b>Niveau 2</b>	Zone confinée réduite à son minimum. Parties facilement démontables enlevées. Aménagement de la barrière externe.	Surveillance réduite à l'intérieur du confinement. Maintien de la surveillance de l'environnement. Vérification des parties scellées.	Libération partielle ou conditionnelle.
<b>Niveau 3</b>	Evacuation de tous les matériaux ou équipements de radioactivité significative. Contamination des parties restantes en-dessous du seuil nécessitant des précautions particulières.	Aucune surveillance, inspection ou vérification jugée nécessaire.	Libération totale et inconditionnelle.

est essentiel pour démontrer la maîtrise de la fin de vie des réacteurs électrogènes.

**Les installations  
du cycle du combustible**

Le laboratoire RM2 de Fontenay-aux-Roses a été arrêté en 1980. Dans ce laboratoire d'examen

de combustibles irradiés, composé de cellules de haute activité, les travaux d'assainissement ont démarré en 1989. A la fin 1995, l'assainissement au niveau 2 a été atteint. Le niveau 3 est envisagé de 2001 à 2003. L'atelier AT1 de La Hague a fonctionné de 1969 à 1979. Cet atelier pilote de retraitement de

combustibles en provenance des réacteurs à neutrons rapides (Rapsodie et Phénix), doit être démantelé au niveau 3, sans destruction du génie civil. Les opérations de démantèlement de ses cellules chaudes de haute activité ont débuté en 1982. Elles devraient s'achever en 1999.

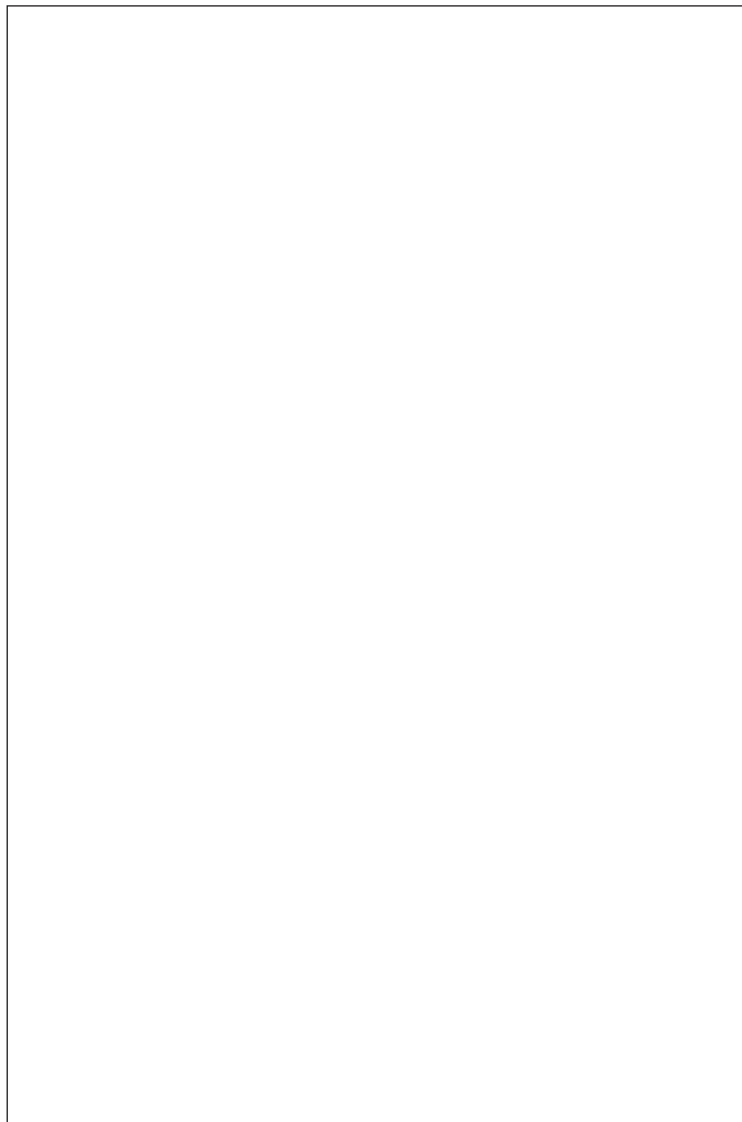
Le bâtiment 18 du CEA/Fontenay-aux-Roses comprend des installations de génie chimique, des laboratoires de recherche sur les solvants et les stockages de matières nucléaires. Le bâtiment 18 abritait les recherches du laboratoire de chimie du plutonium. En 1995, dans le cadre de l'opération Atalante, l'ensemble de ses activités a été transféré à Marcoule.

L'assainissement du bâtiment 18 est effectué en continu depuis 1994, date à laquelle l'arrêt définitif de certains équipements avait commencé. L'exploitant réalise les opérations suivantes :

- ✓ enlèvement des matières nucléaires de base,
- ✓ décontamination et élimination des équipements mobiles des cellules blindées,
- ✓ décontamination des boîtes à gants et des enceintes de confinement des cellules blindées mobiles,
- ✓ rinçage des canalisations et cuves, relevage et traitement des solutions

et démantèlement des installations après avoir obtenu les autorisations nécessaires. Depuis 1996, le CEA a procédé, en particulier, à l'évacuation de sources et des effluents radioactifs pour leur entreposage et traitement à Marcoule.

L'ensemble des cellules du bâtiment 211 (chaîne chimique) de l'atelier pilote de Marcoule (APM) a



Contrôle des produits stockés au centre d'études de Fontenay-aux-Roses

été définitivement mis à l'arrêt fin 1994, date à partir de laquelle a été mise en service la liaison TOR-UPI entre la tête mécanique Traitement oxyde rapide (TOR) de l'APM et l'usine UPI de Cogéma pour le retraitement des combustibles usés du CEA. Quelques unes de ces cellules (constituant la chaîne Traitement oxyde pilote, TOP) étaient d'ailleurs

arrêtées depuis près de quinze ans. Ces équipements (chaîne TOR et chaîne TOP) du bâtiment 211 étaient destinés au retraitement de combustibles irradiés issus principalement de la filière à neutrons rapides. L'opération d'assainissement et de démantèlement, lourde et difficile, s'étalera au-delà de 2010. L'assainissement a commencé en 1996 avec l'évacua-

Patrick Landmann/Gamma

tion de déchets et matériels de certaines cellules et se poursuit avec les rinçages des différents circuits. L'exploitant a également effectué un inventaire poussé, physique et radiologique, de tous les équipements présents dans l'installation.

L'installation Elan IIB est implantée sur le site de l'établissement Cogema de La Hague (Manche). Elle a été exploitée par le CEA de 1970 à 1973 pour la fabrication de sources scellées de Césium 137 et de Strontium 90. En 1973, l'exploitation a été arrêtée à la suite d'un incident. En 1979, le CEA a décidé le démantèlement de l'ensemble des cellules de traitement mécanique et chimique de l'installation. Le démantèlement au niveau 3 (hors génie civil) a débuté en 1981 sous la responsabilité du CEA qui assure la maîtrise d'ouvrage des opérations. Les travaux, difficiles à réaliser car les cellules sont fortement contaminées, sont aujourd'hui exécutés à hauteur de 70 % de l'objectif initial. Interrompu en 1991, le démantèlement sera repris par un opérateur industriel dont la sélection interviendra après l'an 2000. Enfin, le CEA prépare le démantèlement d'installations diverses dont les plus significatives sont :

✓ le réacteur de recherche Mélusine à Grenoble, retenu pour un prochain démantèlement de niveau 3 hors génie civil. Ce réacteur, mis en service en 1959 (1MW<sub>th</sub>) avait vu sa puissance portée à 8MW<sub>th</sub> en 1971. Il a été arrêté définitivement en juin 1988. Le démantèlement sera effectué avec une maîtrise d'œuvre industrielle et devrait commencer après l'an 2000 ;

✓ la station de traitement des effluents liquides (STEL) de Fontenay-aux-Roses a été mise à l'arrêt définitif en juillet 1994. L'exploitant a constitué les dossiers administratifs et techniques nécessaires à son assainissement. Ce dernier a commencé en 1996 et se déroule normalement. Le démantèlement proprement dit sera effectué en 2001 ;

✓ les ateliers de traitement de l'uranium enrichi (ATUE) de Cadarache qui permettaient la conversion et le retraitement chimique de lots d'uranium très enrichi et ont cessé leurs productions en 1998. Les opérations menées permettent d'atteindre le niveau 3 à l'horizon 2004 après dépose et évacuation de tous les équipements de procédé ;

✓ le réacteur de recherche SILOE à Grenoble qui a été définitivement arrêté en

décembre 1997 et dont les opérations de cessation définitive d'exploitation (CDE) et de mise à l'arrêt définitif (MAD) se dérouleront préalablement à son démantèlement qui débutera en 2003.

## Les techniques utilisées

Depuis leur préparation jusqu'au traitement et au conditionnement des déchets, les démantèlements nécessitent de mettre en œuvre des outils adaptés qui concernent les techniques de :

- ✓ mesure de la radioactivité ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ),
- ✓ décontamination,
- ✓ découpe,
- ✓ téléopération, en tant que de besoin,
- ✓ gestion des produits de démantèlement,
- ✓ protection du personnel et de l'environnement.

La mesure de la radioactivité intervient tout au long des démantèlements :

- ✓ en amont, pour dresser l'inventaire radioactif initial, indispensable aide à la décision pour définir la méthodologie et préparer les chantiers (réalisation de cartographies) ;
- ✓ au cours des opérations, pour trier les déchets par catégorie ;

Nom	Type	Mise en service	Arrêt définitif	Déclassement	Niveau actuel/prévu
Usine plutonium (Fontenay)	Pilote de retraitement	1954	1958	1962	Niveau 3
Le Bouchet	Traitement de minerai	1953	1970	1982	Niveau 3
Attila (Fontenay)	Cellule pilote de retraitement	1966	1975	1985	Niveau 3
Piver (Marcoule)	Cellule pilote de vitrification	1969	1982	1991	Niveau 3
Elan II B (La Hague)	Fabrication de sources césium 137	1970	1973	2004	Niveau 3
AT 1 (La Hague)	Atelier de retraitement de combustibles de réacteurs surgénérateurs	1969	1979	1999	Niveau 3
RM 2 (Fontenay)	Cellules de radiométabolisme du plutonium	1968	1980	2003	Niveau 3
Cellules chaudes (Saclay)	Fabrication de radionucléides pour utilisation médicales. Pilote Elan II B	1968	1972	1994	Niveau 3
Bâtiment 19 (Fontenay)	Atelier de métallurgie du plutonium (classé INB en 1968)	1957	1984	1988	Niveau 3
Bâtiment 18 (Fontenay)	Laboratoires de chimie du plutonium	1959-1962	1995	2008	Niveau 3
Traitements chimiques (Grenoble et Pierrelatte)	Enrichissement de l'uranium	1985	1989	1993	Niveau 3
Bâtiments 211 et 214 (Marcoule)	Atelier de retraitement de combustibles de réacteurs surgénérateurs	1960	1994	2013	Niveau 3
LCAC (Grenoble)	Laboratoire Central d'Analyse et de contrôle (classé INB en 1968)	1960	1993	1996	Niveau 3

tableau 3 : Expérience CEA de mise à l'arrêt, de démantèlement et de déclassement - installations du cycle

✓ à l'issue des travaux pour s'assurer de l'absence de radioactivité résiduelle significative.

La *décontamination*, outre son rôle fondamental pour éliminer les dépôts de matière radioactive de l'installation à assainir, est essentielle pour réduire l'exposition des personnels au cours des travaux; elle constitue un moyen efficace de gestion de déclassement et de réduction du volume des déchets afin d'en optimiser la gestion. L'utilisation de méthodes et de moyens adaptés tels que l'application de gels, de l'électro-décontamination, de la chimie douce, de moyens physiques

et mécaniques (brossage, vibration, sablage, jets d'eau haute pression, jets de billes de glace ou de dioxyde de carbone) permet de rendre les zones à démanteler accessibles aux personnels.

De nombreux *moyens de découpe* de structures métalliques ou en béton sont utilisés pour démanteler la totalité d'une installation ou certains sous ensembles. Le choix des moyens à mettre en œuvre est conditionné par :

- ✓ les conditions d'intervention (sous air ou sous eau),
- ✓ le rapport performance/poids,
- ✓ la facilité à les décontaminer,

✓ la résistance des composants aux rayonnements,

✓ la simplicité de maintenance, et les coûts associés,

✓ la possibilité de maîtriser les nuisances engendrées par l'utilisation de l'outil telles que la dispersion des poussières, particules, fumées et aérosols,

✓ le traitement des effluents générés .

Les moyens les plus couramment utilisés sont notamment :

- ✓ mécaniques (cisailles hydrauliques, meuleuses abrasives, tronçonneuses, scies diamantées, bétons expansifs...),
- ✓ thermiques (chalumeau, torche plasma, lance thermique...).



Installation	RM 2	PIVER	AT 1	RAPSODIE	ORIS
Lieu	Fontenay-aux-Roses	Marcoule	La Hague	Cadarache	Saclay
Niveau de déclassé	3	3	3	2	3
Période de fonctionnement	1967-1983	1969-1981	1969-1979	1967-1983	1966-1972
Période de démantèlement	1990-1995	1984-1991	1982-1999	1986-1994-2003	1990-1994
Coût démantèlement (MF 90)	95	62	350	132	50
Coût investissement (MF 90)	112	55	272	1 080	nd
Heures de travail	80 000	100 000	320 000	260 000	77 000
Volume déchets radioactifs	250 m <sup>3</sup>	230 m <sup>3</sup>	2 700 m <sup>3</sup>	230 m <sup>3</sup>	590 m <sup>3</sup>
Bilan dosimétrique :					
• prévu	0,72 h.Sv	0,80 h.Sv	0,8 h.Sv	0,70 h.Sv	0,2 h.Sv
• réalisé	0,30 h.Sv	0,41 h.Sv	0,3 h.Sv	0,35 h.Sv	1,5 h.Sv

tableau 4 : Bilan de cinq opérations de démantèlement

Grâce aux *techniques de téléopération*, l'opérateur actionne à distance les outils à partir de dispositifs mécaniques ou électroniques. Les moyens actuellement mis en œuvre sont de trois types : des robots télécommandés, des télémanipulateurs et des porteurs. Les robots peuvent être équipés d'outils tels que marteau piqueur, perceuse ou lance haute pression; les télémanipulateurs comportent un bras maître à la disposition de l'opérateur et un bras esclave placé à l'intérieur de la zone contaminée; les porteurs sont, pour leur part, associés aux télémanipulateurs qu'ils supportent en leur permettant de pénétrer une barrière de protection. Des porteurs ont été utilisés sur ELAN IIB (PIADE) et sur AT 1 (ATENA). Ces outils, qu'ils soient ou non téléopérés, génèrent des déchets radioactifs. Les produits générés par les opérations se classent en :

- ✓ matières valorisables ou recyclables ;
  - ✓ et en déchets (banaux et radioactifs).
- Le zonage des installations, qui consiste à identifier pour chaque installation les zones à déchets conventionnels et les zones à déchets nucléaires, permet d'optimiser la gestion des produits de démantèlement. C'est un enjeu important du démantèlement puisque leur coût de gestion peut représenter 30 à 70 % du coût d'une opération. Leur sort est étroitement lié à leurs caractéristiques radioactives et à la réglementation. Ils peuvent être :
- ✓ valorisés hors nucléaire ;
  - ✓ recyclés dans le secteur nucléaire, après traitement (la validation du procédé traitement des ferrailles par fusion effectuée sur G2/G3, a été reprise dans une filière industrielle Centrac);
  - ✓ stockés sur un site de l'Andra;

✓ entreposés (pour ceux de très faible ou de très forte activité) en attente d'une réglementation et d'un stockage dédié.

La parfaite connaissance de l'état radiologique des zones à démanteler permet d'identifier toutes les mesures à prendre pour protéger le personnel et l'environnement. Pendant les travaux, l'application du concept ALARA et le suivi dosimétrique des personnels permet de s'assurer que les prévisions ne seront pas dépassées. Les équipements utilisés pour protéger les opérateurs sont les moyens robotiques et de téléopération, l'utilisation de sas et d'enceintes démontables, les tenues de protection et les masques, les équipements de confinement et d'épuration atmosphériques.

La maîtrise des techniques de démantèlement et l'utilisation

d'outils adaptés qui ont fait leurs preuves sont des facteurs essentiels pour permettre au CEA d'atteindre ses objectifs en matière de démantèlement.

## Constat et retour d'expérience

### Le constat

Le bilan des opérations menées jusqu'à maintenant (tableaux 2 et 3) montre que, jusqu'ici, seuls des petits réacteurs de recherche ont été mis au niveau 3. Les réacteurs de taille intermédiaire (G1, G2, G3, EL3, Rapsodie) n'ont été menés à ce jour qu'au niveau 2 ; plusieurs laboratoires, ateliers ou pilotes ont été menés au niveau 3 ; une installation de traitement de minerai qui avait produit près de 10 000 t d'uranium sous forme métallique et oxyde ainsi que du thorium a été démantelée au niveau 3.

L'analyse des opérations achevées amène à constater que pratiquement tous les niveaux 3 ont été atteints, entre 1970 et 1980.

Ceci semble du à trois raisons principales : les procédures étaient moins complexes (pas d'encadrement réglementaire par l'Autorité de sûreté, pas d'enquêtes publiques, absence

de procédures lourdes) ; la gestion des matériaux et déchets générés par les opérations était plus aisée (surtout pour les déchets de très faible activité) ; la gestion des doses était plus simple.

Le démantèlement des installations de fabrication de combustibles (cellules chaudes et laboratoires plutonium) est sensiblement moins long que celui d'installations impliquant de la chimie (traitement de minerai, retraitement) et contaminées par des produits de fission.

### Aspects financiers

Les coûts constatés a posteriori (tableau 4), pour les opérations terminées, sont en moyenne acceptables, mais peuvent varier de façon considérable selon le type d'installations.

Ils vont de 15 à 30 % de l'investissement initial pour des réacteurs de recherche dont les opérations de démantèlement ne présentent pas de difficultés techniques majeures et où la localisation de la radioactivité est bien cernée (il s'agit en effet, pour l'essentiel, de radioactivité générée par activation des composants du circuit primaire), à près de 100 % de ce coût pour certaines installations de recherche du cycle du combustible. Compte tenu du caractère particulier des instal-

lations de recherche du CEA, l'expérience acquise en matière de coûts n'est pas directement transposable au programme électronucléaire (réacteurs et usines du cycle). Compte tenu de l'importance des coûts, il y a une nécessité impérieuse à effectuer un effort de prévision de ceux-ci. Cet effort est en cours au CEA avec l'ajustement d'un code d'évaluation sur les opérations engagées, en collaboration avec les Britanniques de l'UKAEA dans un cadre bilatéral et avec des organismes internationaux (OCDE/AEN, AIEA et CCE).

On constate sur les opérations menées que les aspects financiers restent à un niveau supportable ; les volumes de déchets générés, de quelques centaines à plusieurs milliers de m<sup>3</sup>, peuvent être gérés, même si certains stockages pour les très fortes et les très faibles activités restent encore à définir et à créer ; l'application du principe ALARA et le niveau d'exposition des travailleurs sont maîtrisés.

### Le retour d'expérience

Pour mener à bien les opérations de démantèlement, trois conditions doivent être remplies :

✓ une bonne connaissance de l'état radiologique initial ;

✓ une bonne organisation des tâches et des zones de travail: à titre d'exemple, sur un chantier, l'analyse des doses a montré que 50 % de celles-ci ont été reçus en dehors des travaux proprement dits, faute d'une évacuation immédiate des fûts hors de l'installation en cours d'assainissement et de démantèlement vers un entreposage approprié ;

✓ l'ensemble des techniques appliquées doit permettre de satisfaire au concept ALARA en minimisant les déchets. La minimisation des doses milite pour l'attente.

Une attention particulière doit être portée aux déchets. La spécificité des opérations de démantèlement est de produire des matériaux en grande quantité mais avec des activités faibles et, parfois, des difficultés de traitement (graphite, sodium, solvants...); ces opérations peuvent s'avérer difficiles à mettre en œuvre si une politique de gestion des déchets n'existe pas.

Il est indéniable qu'une partie des problèmes rencontrés au cours des opérations proviennent de la conception des installations qui remonte souvent aux années 1950/1960. Il est donc très souhaitable que la conception des futures installations prenne en compte les contraintes du démantèlement. De l'espace est nécessaire pour faciliter l'intervention et l'ex-

ploitation, dans de bonnes conditions, des outils et porteurs utilisés. Des accès sont nécessaires à l'évacuation des gros composants. Les matériels d'exploitation doivent être conçus démontables, manutentionnables et évacuables. Les réseaux de tuyauteries en cellules devraient être montés et non pas soudés, les cellules ne devraient pas comporter de parties aveugles et inaccessibles aux moyens de préhension (télémanipulateurs, porteurs), les murs des cellules devraient être revêtus de peaux d'étanchéité afin de protéger le béton de fuites potentielles. Ces quelques règles, simples et peu coûteuses, faciliteraient grandement les futurs démantèlements.

Les démantèlements menés et l'analyse des difficultés rencontrées devraient s'imposer aux concepteurs et constructeurs et pouvoir être intégrés dès la conception et lors de la construction.

Un certain nombre de problèmes rencontrés au cours des opérations proviennent aussi, parfois, des mauvaises habitudes des exploitants qui ne s'imposent pas toujours des campagnes systématiques et périodiques de nettoyage. Les installations doivent être maintenues aussi propres que possible au cours de leur vie et les interventions devraient être systématiques après chaque

incident et les déchets évacués en ligne.

## Conclusion

Le démantèlement deviendra une activité industrielle importante quand le temps sera venu de traiter les réacteurs électrogènes et les usines de retraitement (c'est-à-dire vers 2015).

L'expérience accumulée au CEA montre que cette activité est techniquement possible et certaines des techniques développées et mises en œuvre peuvent être transposées aux installations de taille industrielle.

L'exploitation du retour d'expérience, national et international (Commission des communautés européennes, Organisation de coopération et de développement économique, Agence internationale à l'énergie atomique,) devrait être systématisée pour en tirer tous les enseignements et rendre cette activité plus aisée dans l'avenir. Il est enfin indispensable de privilégier les collaborations bilatérales, CEA/UKAEA par exemple, pour mettre en commun le savoir faire et concourir à la diffusion de la connaissance et optimiser les coûts des opérations.