

Le démantèlement des centrales nucléaires suédoises⁽¹⁾

**Gérer la fin de vie
des centrales :
technologie, coût,
sécurité des
travailleurs, la Suède
étudie la question
depuis 20 ans.**

par Stig Pettersson
*Senior project manager,
repository design SKB Stockholm*

SKB, la Société suédoise du combustible et des déchets nucléaires, propriété commune aux compagnies suédoises productrices d'électricité nucléaire, est chargée d'étudier la fin du cycle du combustible. Cette mission inclut le démantèlement des centrales et autres installations nucléaires et le traitement des déchets. Elle est financée par un fonds constitué par des redevances sur la production d'énergie nucléaire. Le niveau des redevances est fondé sur des évaluations de coûts faites chaque année par SKB.

Cet article résume les études sur le démantèlement des centrales nucléaires suédoises. Les calculs de coût incluent les coûts d'arrêt et de surveillance, de démantèlement, de démolition des bâtiments, de remise en état des sites, de transport et de stockage des déchets.

L'énergie nucléaire en Suède

La Suède a une population assez petite, 8,5 millions d'habitants, mais le pays utilise de grandes quantités d'électricité, à peu près 150 TWh par an. La consommation électrique par tête est parmi les plus élevées du monde et la production

d'électricité nucléaire est aussi élevée. Environ 50 % de la production électrique est nucléaire, l'autre moitié à peu près exclusivement hydroélectrique.

Le recours à l'énergie nucléaire a commencé tôt en Suède. Le premier réacteur de recherche a été mis en route en 1954, a fonctionné jusqu'en 1970 et a été finalement démantelé de 1981 à 1983. Le premier réacteur de démonstration, Agesta NPP, 65 MWth, à eau pressurisée, a fonctionné de 1964 à 1974 dans la banlieue de Stockholm. Cette unité est actuellement sous surveillance, en attente d'une décision de démantèlement.

Aujourd'hui, l'électricité d'origine nucléaire est produite par

12 unités réparties sur quatre sites, pour une capacité d'environ 11 000 MW. Neuf unités sont des réacteurs à eau bouillante (BWR) fabriqués par ABB Atom, trois sont des réacteurs à eau pressurisée (PNR) fabriqués par Westinghouse. Le premier réacteur a démarré en 1972 et les deux derniers en 1985. Malgré les excellentes performances des réacteurs suédois, le Parlement a décidé de ne plus construire de nouvelles unités en Suède et l'arrêt des centrales nucléaires est depuis longtemps le sujet d'un débat politique.

Planifier le démantèlement

Des études de démantèlement ont été faites par SKB, aidée de nombreuses sociétés de conseil, en 1979 et 1986. Une nouvelle étude a démarré en 1992 et a été terminée au début de 1994. La Suède suit également les travaux internationaux dans ce domaine, par exemple en participant au programme OCDE/NEA. Les travaux de modification et d'entretien, comme le remplacement des générateurs de vapeur des PWR, ont aussi permis d'accumuler une grande expérience. Les études de démantèlement qui ont été conduites jusqu'à ce



médias EDF

Malgré les excellentes performances des réacteurs suédois, le Parlement a décidé de ne plus construire de nouvelles unités en Suède et l'arrêt des centrales nucléaires est depuis longtemps le sujet d'un débat politique. Ici, la centrale de Forsmark.

jour ont un caractère général et mettent l'accent sur la technologie de démantèlement, de transport et de stockage des déchets. Plus tard, vers 2000 à 2005, sont prévus des études spécifiques à chaque centrale ainsi que le travail préparatoire à la conception et à l'agrément du système de transport et de stockage final. Avant qu'une centrale soit arrêtée, de nombreux rapports seront préparés pour obtenir les autorisations nécessaires pour la démanteler.

Conditions et exigences

On a retenu pour cette étude des conditions et des exigences, sans chercher, à ce stade, une optimisation. On a examiné le travail de démantèlement comme on le fait pour un projet de modification

importante de la centrale. Pour chaque centrale et chaque site on a calculé les coûts de main-d'œuvre pour la période d'arrêt où, après la fin de la production d'électricité, le combustible reste dans le réacteur ou les piscines de stockage, et pour la période de démantèlement qui inclut le démontage des installations et la démolition des bâtiments. On fait de même pour la remise en état du site.

Néanmoins, pour le démontage des différents équipements et systèmes de commande, on a pris comme référence d'une unité BWR, la centrale Oskarshamn 3 (O3) de 3 300 MWth. La principale raison de ce choix était qu'on disposait, depuis la phase de conception, d'une base de données sur ce système. Pour les PWR, la centrale de référence est Ringhals 2 (R2) de 2 570 MWth.

On suppose que les centrales ont fonctionné de 25 à 40 ans et ont été à l'arrêt pendant 1 à 5 ans avant le début des travaux de démantèlement. Le combustible usagé a été retiré au cours de la première année après l'arrêt. On prévoit une décontamination pour abaisser d'un facteur dix l'activité de surface dans les systèmes concernés.

Le démantèlement doit faire appel à des technologies éprouvées. Pour le traitement des déchets, on répartit les matériaux dans quatre classes :

- a – matériaux sans contrainte radioactive ;
- b – matériaux à maintenir sur le site ;
- c – matériaux à stocker en sous-surface ;
- d – matériaux à placer en stockage géologique profond.

La méthodologie du démantèlement

Généralités

Le chemin critique du démantèlement d'une centrale peut

être subdivisé dans les étapes suivantes :

- ✓ retrait des combustibles,
- ✓ démolition/découpage et enlèvement de l'intérieur du réacteur,
- ✓ démolition/découpage ou enlèvement en une pièce de la cuve,
- ✓ démolition des systèmes et composants contaminés de l'unité et de toutes les autres installations,
- ✓ enlèvement du béton devenu radioactif du bouclier biologique et du béton contaminé,
- ✓ autorisation de déclasser et de démolir comme une installation non contaminée le bâtiment et les structures en béton,
- ✓ démolition des structures en béton et des bâtiments et remise en état du site.

La première étape est la découpe des éléments internes du réacteur. En parallèle, les systèmes et les équipements de contrôle qui sont dans l'enceinte de confinement du réacteur, la turbine et les équipements électriques sont démontés. Une fois ces éléments enlevés, on peut commencer à préparer l'enlèvement ou la découpe de la cuve (RPV). Ensuite, on enlève les autres parties radioactives et le reste de l'unité. On peut continuer à utiliser certains systèmes aussi longtemps que possible, mais, peu à peu, il

faut transférer sur des installations temporaires des fonctions auxiliaires comme l'alimentation électrique, l'air comprimé et la ventilation.

On a utilisé des méthodes différentes pour chacune des études de référence. Pour le BWR, on a utilisé la base de données pour évaluer les travaux et la main d'œuvre nécessaires ainsi que le volume des déchets et leur qualité. Pour le PWR, on a analysé le système et les équipements local par local.

Parties internes du réacteur

Les parties internes du réacteur, proches du cœur, sont fortement radioactives. On a donc proposé de les découper en pièces pouvant être placées dans des paniers pour les transporter au centre provisoire de stockage des combustibles usagés (CLAB), et les y conserver pendant environ 15 ans avant conditionnement et stockage définitif. La découpe pourrait être faite par arc plasma immergé et les pièces transportées dans les récipients existants.

Cuve du réacteur

Après enlèvement des parties internes, la cuve peut être soit

levée et sortie entière de la centrale, soit découpée en morceaux avant transport jusqu'au lieu d'entreposage. On a étudié les deux techniques et l'enlèvement de la cuve entière est techniquement possible et plus économique. Mais à ce stade, à titre conservatoire, on a retenu comme première solution la découpe de la cuve.

On pense que le fond et les flancs de la cuve ne seront pas radioactifs et que les parois intérieures seront décontaminées. Donc leur démolition pourra être faite par découpe au chalumeau et la même solution sera valable pour le couvercle. La découpe démarquera par des entailles horizontales et verticales sur les flancs et les morceaux seront retirés et emballés. Pour installer l'outil de découpe, il faudra abaisser le niveau d'eau dans la cuve. L'engin sera placé à l'intérieur de la cuve par une grue et bloqué hydrauliquement en position. On effectuera la démolition en deux temps : d'abord toutes les coupes verticales puis les coupes horizontales. La grue et un outil hydraulique apporteront les morceaux à l'endroit où ils seront emballés et placés dans des conteneurs. On poursuivra ce travail jusqu'à ce qu'on ait découpé toute la partie cylindrique de la cuve. Comme dans O3 les appuis de

cuve sont positionnés relativement haut, on installera, sous la cuve, une structure temporaire opérée par système hydraulique pour reprendre la charge de ces appuis.

Les systèmes

Dans le BWR, on a distingué 25 types différents de systèmes et décrit les travaux de démantèlement selon 16 procédures. A chaque procédure, correspondent une certaine durée, une main d'œuvre donnée et des outils, ce qui sert de base pour le calcul des doses d'exposition des personnels.

Les durées des opérations ont été évaluées en partie par essais sur maquettes et en laboratoire (en particulier les différentes façons de découper les tuyauteries en fonction de leur taille et du risque de disperser de la radioactivité), en partie grâce à l'expérience acquise lors d'opérations de maintenance ou lors de l'installation.

On a utilisé un « facteur de site » pour transposer les résultats des essais sur maquettes aux conditions réelles. Ce facteur prend en compte la difficulté d'entrer dans le local tel qu'il est pour effectuer les travaux ainsi que des gênes et obstacles réels par rapport à ceux du laboratoire. Un facteur multiplicatif

de 2,5 a été considéré valable ; on peut faire varier ce facteur dans le calcul. On a divisé la main d'œuvre en catégories et évalué ces effectifs catégorie par catégorie. A chaque procédure correspondent des listes spécifiques d'outillages ainsi qu'un calcul de la vitesse d'usure et de la durée de vie attendue des équipements.

Le calcul est effectué en additionnant les montants pour chaque équipement mais, comme la base de données intègre la localisation de chaque partie du système, on peut aussi rassembler les résultats par local. Ainsi, on a pu comparer ce calcul au travail réel de réparation qui a été effectué dans certains locaux du réacteur et faire des ajustements limités des formules.

La plupart des équipements sont découpés à une taille qui permet de les stocker dans des conteneurs standard aux normes ISO. Leur poids total est limité à 20 tonnes. Néanmoins, certains composants lourds de grande taille ne sont pas découpés : réservoirs de taille moyenne, échangeurs de chaleur etc... Dans ces cas, on restreint au minimum l'exposition des travailleurs et la dispersion de la radioactivité en scellant les ouvertures de ces composants et en les enlevant entiers.

On a pris la limite de 1 Bq/g pour distinguer les matériaux radioactifs des matériaux non radioactifs. On peut modifier cette limite dans la base de données pour voir comment elle modifie les quantités de déchets. Cette base permet de modifier beaucoup de paramètres, par exemple :

- ✓ taille des pièces,
- ✓ facteur de site,
- ✓ facteur de décontamination,
- ✓ limite de coupure pour la radioactivité.

Démolition des bâtiments et remise en état du site

Quand la cuve et la plus grande partie des ensembles ont été enlevés, la démolition des bâtiments peut commencer par celle des parties en béton radioactif. L'une de ces parties est le bouclier biologique autour de la cuve du réacteur qui a une activité induite. Les autres zones sont les piscines, les puits des pompes et le béton contaminé de certains locaux. Ceci signifie que certaines parties du béton devront être soigneusement testées pour leur radioactivité, soigneusement démolies et que les déchets devront recevoir un traitement approprié.

Après ces premières étapes et après un suivi minutieux, le

reste des bâtiments peut être démolé selon les techniques normales. L'enlèvement de certains ensembles propres, comme la distribution d'eau potable et les tuyaux des installations sanitaires, a été laissé, comme la remise en état du site, pour être intégré dans cette phase finale.

Calendriers et besoins de main d'œuvre

Après arrêt de la centrale, on enlève le combustible et on prépare le démantèlement. La démolition des parties internes du réacteur et des ensembles ne peut commencer que 12 à 15 mois après l'arrêt. Il faut à peu près 3 ans pour démolir ces ensembles. Démolir les structures bétonnées et les bâtiments prendra aussi à peu près 3 ans. On enlève d'abord le béton qui présente de la radioactivité induite ou de la contamination. La démolition des équipements et systèmes de commande est achevée à la fin de la première année de cette période. En même temps, se poursuit le déclassement de toutes les structures bétonnées et des matériaux de construction pour qu'on puisse terminer la démolition

sans contraintes radiologiques.

La durée totale de ce démantèlement est d'environ 5 ans. On a évalué à environ 10 hommes - SV la dose totale reçue par la main d'œuvre qui le réalisera. Mais, ce résultat dépend fortement des hypothèses retenues sur les modes de travail.

On a évalué les besoins totaux de main d'œuvre pour démolir les ensembles à environ 640 hommes - an pour O3 et 410 pour R2. La démolition des bâtiments de O3 nécessite environ 80 hommes - an. Les besoins pour les étapes d'arrêt et de démantèlement définies plus haut ont été estimés à 620 hommes an pour O3 et 670 pour R2. Les besoins plus élevés pour R2 s'expliquent par les conditions supposées pour le séquençage des opérations ; cette différence ne se confirmera probablement pas dans la pratique.

Estimations des quantités de déchets et des coûts

On a considéré comme radioactifs tous les matériaux présentant une radioactivité induite ou une contamina-

Déchets	Poids (tonnes)	Volumes (m ³)
Matériaux radioactifs O3	9 600	15 300
Matériaux radioactifs R2	5 300	8 900
Total de ces matériaux pour les 12 réacteurs	89 900	145 000
Coûts (M SEK)*	Pour les 12 réacteurs	
Démantèlement	13 000	
Stockage des déchets	1 100	
TOTAL	14 100	
*1 SEK = 0,112 E = 0,737 FF		

Evaluation des coûts (conditions de janvier 1998).

tion supérieure à 1 Bq/g. Mais, on ne sait pas aujourd'hui si on pourra enlever les produits contaminés. Pour O3, on a évalué la quantité de déchets à 9 600 t comprenant les turbines BP et le condenseur. Mais, une décontamination efficace pourrait permettre d'en enlever 3 200 tonnes comme matériau non radioactif. On a étudié la possibilité d'installer un four de fusion pour réduire le volume ou améliorer les méthodes de mesure de la radioactivité.

On a aussi calculé les coûts de main d'œuvre ainsi que ceux des équipements et les autres coûts. Les résultats sont présentés ci-dessus, aux conditions de janvier 1998. Ils incluent des provisions de 20 % pour les coûts et 10 % pour le volume des déchets radioactifs.

Conclusions et discussions

On a fondé l'évaluation des coûts et des techniques de démantèlement sur l'hypothèse qu'on commencerait ce démantèlement le plus tôt possible après l'enlèvement du combustible. Le calendrier du démantèlement des réacteurs nucléaires suédois n'est pas décidé. Le principal objet des études a été de montrer qu'on pouvait démanteler avec les techniques existantes, qu'on a mis de côté assez d'argent pour le faire et que les doses que risquent de recevoir les travailleurs sont acceptables. Les coûts suédois de démantèlement sont faibles par rapport à ceux présentés dans les études d'autres pays. Nous pensons que la raison principale en est que la Suède a déjà un système de transport des

déchets et un site pour y placer les déchets d'activité faible et moyenne, ce qui permet de faire des évaluations de coûts réalistes. Utiliser des conteneurs aux normes ISO pour les déchets réduit le travail de découpe, de manutention et de transport. La fusion des matériaux contaminés sera probablement mise en œuvre dans le futur pour réduire les volumes et/ou économiser les ressources naturelles. Dans l'avenir, on aura sans doute ainsi recours à la supercompaction et à l'incinération.

Note

(1) Traduit de l'anglais par Michel Turpin