

Gestion des déchets radioactifs

ISBN 92-64-02306-2

Choisir des stratégies de démantèlement des installations nucléaires

Rapport de synthèse

© OCDE 2006
NEA n° 6160

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements de 30 démocraties œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions de l'OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

L'AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1^{er} février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 28 pays membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

© OCDE 2006

Toute reproduction, copie, transmission ou traduction de cette publication doit faire l'objet d'une autorisation écrite. Les demandes doivent être adressées aux Éditions de l'OCDE rights@oecd.org ou par fax (+33-1) 45 24 13 91. Les demandes d'autorisation de photocopie partielle doivent être adressées directement au Centre français d'exploitation du droit de copie, 20 rue des Grands Augustins, 75006 Paris, France (contact@cfcopies.com).

AVANT-PROPOS

Le Groupe de travail de l'AEN sur le déclassement et le démantèlement (WPDD) rassemble des représentants de haut niveau d'organismes nationaux qui ont une vision synthétique des problèmes de démantèlement et de déconstruction dans le cadre de leur travail au sein des autorités de sûreté, en qualité de gestionnaires des déchets, d'experts en R-D ou de décideurs politiques. Le WPDD s'intéresse aux points de vue actuels des pays membres de l'AEN et se met à leur service afin de renforcer la visibilité globale des activités de démantèlement qui font l'objet d'une attention croissante.

Le WPDD examine périodiquement les aspects réglementaires, stratégiques et pratiques du démantèlement des installations nucléaires qui sont mises à l'arrêt dans le but de procéder à terme à la libération de ces installations et de leurs sites. Il s'agit de faire ressortir de cet examen les similitudes et les différences dans le domaine du démantèlement au niveau international et de dégager des grandes lignes communes permettant de progresser.

Le WPDD a consacré un séminaire international au choix des stratégies de démantèlement des installations nucléaires à Tarragone en Espagne, du 1^{er} au 4 septembre 2003. On peut se procurer le compte rendu de ce séminaire à la librairie de l'OCDE en ligne (www.oecdbookshop.org). Les sujets suivants ont été examinés durant les sessions du séminaire : (a) bilan international ; (b) choix des stratégies par type d'installation, à savoir réacteurs à eau ordinaire et autres installations du cycle du combustible ; (c) stratégies nationales ; et (d) aspects sociaux.

Un groupe d'experts a été créé lors de la réunion de novembre 2004 du WPDD afin de préparer, en s'inspirant du séminaire de Tarragone, un rapport de synthèse sur le choix de stratégies. Ce groupe d'experts, formé de V. Massaut, D. Metcalfe, D. Orlando, J.L. Santiago, E. Warnecke (président), A. Duncan et C. Pescatore, a rédigé le rapport et l'a soumis au WPDD lors de sa réunion de novembre 2005 pour approbation.

Les rapports de synthèse du WPDD sont destinés à résumer l'expérience et les connaissances actuelles sur un sujet donné afin de fournir des informations

concises et analysées à ceux qui souhaitent se faire rapidement une idée sur un sujet sans avoir à lire un grand nombre de documents spécialisés de conférences, de séminaires et d'autres réunions. Ces rapports de synthèse ne sont pas destinés exclusivement aux experts du démantèlement tels que les autorités de sûreté, les gestionnaires et les chercheurs, mais aussi à tous ceux qui s'intéressent au sujet, notamment les politiciens, les décideurs et le grand public.

Ce rapport de synthèse sur la façon de *Choisir des stratégies de démantèlement des installations nucléaires* s'appuie sur les points de vue et les informations présentés lors du séminaire organisé à Tarragone ainsi que sur l'expérience au sein du WPDD. Il met en évidence, passe en revue et analyse les facteurs qui influent sur les stratégies de démantèlement et se penche sur les problèmes soulevés par la recherche d'un compromis entre ces différents facteurs lors du choix d'une stratégie. Il tient compte du fait que, outre les caractéristiques techniques, bien d'autres facteurs qui ne peuvent être quantifiés (par exemple politiques, aspects réglementaires et socioéconomiques et aspects liés à un avenir éloigné) influencent le choix d'une stratégie de démantèlement. Les incertitudes associées à ces facteurs constituent un véritable défi pour ceux qui doivent prendre des décisions sur une stratégie de démantèlement.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
1. Résumé des points clés	7
2. Introduction	11
2.1 Contexte.....	11
2.2 Stratégie de démantèlement	11
2.3 Portée de l'étude	12
3. Facteurs déterminant le choix de la stratégie	15
3.1 Facteurs politiques et socio-économiques	16
3.2 Facteurs technologiques et opérationnels	24
3.3 Incertitude à long terme	28
4. Sélection d'une stratégie de démantèlement	33
4.1 Le processus de sélection de la stratégie.....	33
4.2 Exemples de choix de stratégie.....	34
5. Conclusions	43
6. Références	45

1. RÉSUMÉ DES POINTS CLÉS

Le Groupe de travail sur le déclassé et le démantèlement de l'OCDE/AEN (WPDD) a rédigé un rapport d'activité sur le choix des stratégies de démantèlement des installations nucléaires en se fondant sur les débats du séminaire international organisé à Tarragone en Espagne, du 1^{er} au 4 septembre 2003. Les trois constatations suivantes ressortent essentiellement de ce rapport.

Il existe trois principales stratégies de démantèlement des installations nucléaires.

Les trois principales stratégies de démantèlement sont le « démantèlement immédiat », le « démantèlement différé », ou encore confinement sûr, et scellement. Dans le premier cas, l'installation est démantelée aussitôt après l'évacuation des matières et des déchets. Dans le second cas, une fois les matières et les déchets évacués, l'installation est maintenue dans un état de confinement sûr pendant une période de 30 à 100 ans au terme de laquelle elle est démantelée. Dans le troisième cas, l'installation est placée sous une structure de confinement renforcé sur le site et est maintenue isolée jusqu'à ce que la décroissance des radionucléides ait atteint des niveaux qui permettent une libération du site. On privilégie à l'heure actuelle le démantèlement immédiat.

De nombreux facteurs doivent être pris en compte lorsqu'une stratégie est décidée.

La multitude de facteurs à prendre en compte peut être regroupée dans les trois grandes catégories suivantes : a) facteurs politiques et socioéconomiques ; b) facteurs technologiques et opérationnels et c) incertitudes à long terme. L'évaluation de ces facteurs pose un véritable problème, en particulier lorsque les périodes concernées sont longues. La plupart de ces facteurs ne sont pas de nature quantitative et nécessitent une évaluation subjective. Au vu de la diversité fréquente des politiques, il n'est pas surprenant que des stratégies différentes soient choisies pour des installations similaires.

Les facteurs politiques et socio-économiques sont déterminés par la situation nationale et/ou locale.

Les politiques nationales dans les domaines nucléaires varient considérablement d'un pays à l'autre et évoluent avec le temps. Les choix opérés en la matière peuvent aller d'une augmentation de la production électronucléaire au maintien de l'exploitation des centrales nucléaires existantes sans oublier l'abandon progressif du nucléaire.

Le jugement porté par exemple sur la disponibilité de personnel qualifié, dépend beaucoup des politiques suivies. Ainsi cette disponibilité peut servir d'argument pour justifier le démantèlement immédiat quand un pays a choisi d'abandonner progressivement le nucléaire. De même, l'absence de centre de stockage pour recevoir les déchets issus du démantèlement peut être invoquée pour différer le démantèlement et maintenir une installation nucléaire dans un état de confinement sûr jusqu'à ce qu'un tel centre soit aménagé.

La mise en oeuvre d'une législation et d'une réglementation appropriées, en ce qui concerne surtout la définition de l'état final visé, ainsi que les coûts et les dispositifs de financement correspondants sont des aspects importants de la politique nationale. Cet état final est défini en précisant les niveaux de libération des matériaux et des sites. L'AIEA a publié des recommandations internationales concernant les niveaux de libération des matériaux. Des dispositifs de financement doivent être prévus pour garantir la disponibilité des fonds nécessaires au démantèlement au moment voulu. Pour ce faire, il faut procéder à des évaluations minutieuses et périodiques des coûts, provisionner durant l'exploitation les sommes nécessaires au démantèlement et mettre en place un système permettant de gérer convenablement les provisions ainsi constituées jusqu'au moment où elles seront requises.

La fermeture d'une installation nucléaire et sa disparition ont un impact notable sur l'emploi et l'économie de la région. Le démantèlement immédiat devrait *a priori* permettre une transition harmonieuse en atténuant les incidences locales. L'opinion publique dans la région concernée accepte souvent plus facilement un démantèlement immédiat parce qu'un démantèlement différé risquerait d'aboutir à l'abandon de l'installation et à l'incapacité d'assurer à terme sa sûreté.

Bien que les techniques de démantèlement existent les facteurs technologiques et opérationnels influenceront sur le choix de la stratégie.

Dans le passé, les aspects radiologiques, et en particulier la décroissance des radionucléides durant la période de confinement sûr, étaient un facteur

déterminant du choix de la stratégie de démantèlement. Depuis, des techniques ont été mises au point et appliquées avec succès au démantèlement immédiat d'installations nucléaires sans compromettre la sûreté radiologique. Dans la plupart des cas, par exemple dans celui des réacteurs à eau ordinaire, le niveau des rayonnements resterait trop élevé pour permettre un démantèlement manuel, même au terme d'une période de 100 ans de confinement sûr.

Le volume des déchets radioactifs est déterminé avant tout par la mise en œuvre d'une politique de libération. Il dépend, par ailleurs, de la période de décroissance. Les calculs montrent en effet qu'une période de décroissance d'une centaine d'années permettrait de réduire de 30 % la masse des déchets radioactifs.

Il est indispensable de disposer de données fiables sur les inventaires en radionucléides des matériaux et des déchets pour la libération, la manutention, l'entreposage, le traitement et le stockage. Il suffit (a) d'établir une corrélation entre les émetteurs gamma (e.g. ^{60}Co , ^{137}Cs) et les autres radionucléides, (b) de mesurer les émetteurs gamma respectifs et (c) de calculer l'inventaire complet de radionucléides à l'aide des corrélations établies. Cette tâche se complique au fur et à mesure de la décroissance du ^{60}Co et du ^{137}Cs .

Augmentation des incertitudes avec le temps.
--

Les incertitudes à long terme jouent un rôle particulièrement important lorsque l'on choisit une stratégie de démantèlement. Même si les risques radiologiques diminuent, les incertitudes augmentent avec le temps. En effet, les politiques et les cadres juridiques et réglementaires risquent de changer. Or, on ignore dans quel sens ira le changement même si l'on sait que les normes ont souvent été considérablement durcies.

Les fonds nécessaires au démantèlement doivent être disponibles au moment voulu. Étant donné les incertitudes qui pèsent sur l'évolution des coûts et la gestion à long terme des provisions, la stratégie du démantèlement immédiat risque d'être préférée quand les fonds sont disponibles. L'évaluation des coûts du démantèlement comporte des incertitudes qui ne font que croître à mesure que les périodes considérées s'allongent. Le risque de pertes financières augmentera avec le temps. L'expérience des 100 dernières années montre que les capitaux peuvent être lourdement touchés par l'inflation et les conflits, par exemple.

La présence d'un exploitant et de personnel qualifié dépend aussi de la stratégie de démantèlement. À mesure que les périodes s'allongent, les exploitants peuvent changer, voire même disparaître, et le personnel qualifié peut faire défaut, en particulier dans les pays qui ont choisi d'abandonner le nucléaire.

La complexité du processus décisionnel explique la différence entre les stratégies de démantèlement nationales ainsi que l'évolution de ces stratégies

L'analyse des situations dans un certain nombre de pays fait apparaître plusieurs facteurs distincts et déterminants. Les pays qui continuent d'avoir recours à l'électronucléaire ont tendance à démanteler immédiatement leurs installations anciennes afin d'utiliser les sites pour y construire de nouvelles centrales. L'avis des populations locales a eu un impact décisif sur l'évolution des stratégies nationales, l'option du démantèlement immédiat étant préférée à celle du démantèlement différé.

Les coûts du démantèlement sont un critère décisif pour le choix des stratégies puisque l'on donnera la préférence à l'option la moins coûteuse. L'évaluation des coûts n'est ni mineure ni simple, et ce calcul réalisé pour des centrales similaires dans différents pays peut donner des résultats différents. Les écarts souvent considérables entre les coûts de la main-d'œuvre, les coûts du stockage et l'état final visé au terme du démantèlement peuvent expliquer la variabilité des résultats et, par là même, la diversité des stratégies choisies.

Les méthodes de financement des activités de démantèlement diffèrent selon les pays. Certains d'entre eux calculent le montant actuel des coûts et exigent le provisionnement desdites sommes dans un fonds national. On part de l'hypothèse que l'inflation et les intérêts seront comparables. D'autres pays permettent d'adopter, pour calculer les réserves requises, l'hypothèse d'un intérêt net annuel donné pendant une période de temps donnée. Une partie seulement du coût actuel a besoin d'être mise de côté à présent. On suppose que les fonds nécessaires seront disponibles grâce au cumul des intérêts. Les incertitudes liées à cette démarche seront l'affaire en fin de compte de l'État. Dans le premier cas on préférera le démantèlement immédiat alors que dans l'autre, on choisira plutôt le démantèlement différé.

Dans les pays ayant choisi d'abandonner progressivement le nucléaire, le démantèlement immédiat contribuera à préserver la technologie nucléaire ainsi que le personnel qualifié.

2. INTRODUCTION

2.1 Contexte

La technologie électronucléaire est utilisée depuis les années 40 de sorte qu'un bon nombre des équipements et des composants des installations, pour la plupart des installations de recherche et développement, sont devenue obsolètes et doivent être démantelées. Comme les programmes électronucléaires vieillissent et que les grandes centrales électronucléaires approchent de leur fin de vie, leur démantèlement sera également inévitable. L'expérience internationale montre que le démantèlement de tout l'éventail des installations nucléaires peut être mené à bien et a déjà été réalisé avec succès. Des techniques et pratiques éprouvées ont permis d'amener les sites à l'état final visé, qu'il s'agisse d'un retour à l'herbe ou d'un état rendant possible la réutilisation industrielle du site et des bâtiments.

Ces projets de démantèlement ont, chacun, fait l'objet d'une planification rigoureuse, un impératif de sûreté standard des dispositifs réglementaires nucléaires dans le monde entier. Il ne semble, toutefois, pas évident que cette planification ait toujours été établie dans le cadre d'une stratégie, à savoir un vaste ensemble d'objectifs et de calendriers acceptés par toutes les parties intéressées à l'intérieur duquel une planification et une mise en œuvre détaillées peuvent être réalisées. L'examen des projets exécutés dans le passé met clairement en évidence la diversité des décisions stratégiques selon les pays et les exploitants concernés. Avec un parc électronucléaire mondial de plus de 400 centrales et sachant que le nombre des mises à l'arrêt atteindra un pic entre 2015 et 2025, le moment est venu d'examiner l'expérience acquise en matière de choix de stratégie et d'analyser les tendances futures.

2.2 Stratégie de démantèlement

Les termes de « démantèlement » et de « déclassement » s'appliquent respectivement aux mesures techniques et administratives adoptées pour permettre la levée partielle ou totale des contrôles réglementaires effectués sur une installation nucléaire après sa mise à l'arrêt, et le retour de son site à un état final acceptable. Ces opérations comprennent la décontamination, le démantèlement et l'évacuation des matières radioactives, des déchets, des composants et des structures. Elles ont pour but de réduire progressivement et

systématiquement les risques radiologiques et sont réalisées selon des plans préparés à l'avance et sont contrôlées afin d'assurer la sécurité du public et des travailleurs pendant et après les activités de démantèlement ainsi que de veiller à assurer la protection de l'environnement.

Il est indispensable, dans le cadre de cette étude, de faire la distinction entre la « stratégie » générale de démantèlement d'une installation nucléaire et les plans techniques de démantèlement détaillés, qui sont préparés dans le cadre d'une stratégie donnée. Ces derniers ne relèvent pas de notre propos.

Les trois principales stratégies de démantèlement se caractérisent par le moment du démantèlement final. Elles entrent dans les trois catégories suivantes :

« *Le démantèlement immédiat* » commence, en règle générale, quelques années après l'arrêt de l'installation, ces années transitoires étant mises à profit pour passer du statut de l'exploitation à celui du démantèlement et permettre l'évacuation du combustible usé, quand il s'agit d'un réacteur, ainsi que des déchets radioactifs provenant de la phase d'exploitation.

« *Le démantèlement différé* » ou « *le confinement sûr* » : après l'enlèvement du combustible usé et de quelques équipements périphériques, l'installation est maintenue dans un état de confinement sûr pendant une période de 30 à 100 ans avant d'être démantelée. Cela signifie que l'installation doit être surveillée tout au long de la période de « confinement sûr » afin de préserver le niveau indispensable de sûreté. Néanmoins, la partie de l'installation qui sera maintenue sous surveillance (pour permettre la décroissance des radionucléides) peut varier énormément : par exemple, elle peut se limiter à la cuve sous pression du réacteur et au circuit primaire (pour les réacteurs à eau ordinaire) ou s'étendre sur la totalité de la zone dite « contrôlée » à des fins de radioprotection.

« *Le scellement* » est une stratégie qui consiste à placer l'installation sous une structure de confinement renforcé sur le site même et à la conserver ainsi isolée jusqu'à ce que les radionucléides aient décroché à des niveaux permettant la libération du site.

2.3 Portée de l'étude

On se propose dans cette étude d'analyser les facteurs qui déterminent la stratégie de démantèlement et d'examiner les difficultés soulevées par le choix d'une stratégie conciliant ces divers facteurs. Outre les caractéristiques techniques, bien d'autres facteurs influent sur le choix de la stratégie de démantèlement.

Citons parmi ceux-ci :

- Les facteurs politiques, réglementaires et socio-économiques se rapportant aux dispositifs réglementaires, à l'état final visé, aux dispositifs de financement, à la disponibilité des installations de stockage de déchets et au contexte local.
- Les facteurs technologiques et opérationnels relatifs aux aspects radiologiques, à la disponibilité des techniques appropriées et à l'état de l'installation au moment de la cessation définitive d'exploitation.
- Les incertitudes à long terme pesant sur l'évolution des normes réglementaires, la disponibilité des fonds requis, les propriétaires futurs des installations, la disponibilité de personnel formé et qualifié, les dispositifs de stockage des déchets et les politiques futures en matière d'énergie nucléaire.

3. FACTEURS DÉTERMINANT LE CHOIX DE LA STRATÉGIE

Les trois principales stratégies de démantèlement des installations nucléaires se différencient par le moment où interviendront les opérations de démantèlement. Lorsqu'on parvient à un plus grand niveau de détail néanmoins, il convient de définir l'état final ainsi que les autres objectifs recherchés. Ainsi, le choix d'une stratégie implique que l'on réponde aux questions principales suivantes :

- À quel état final veut-on aboutir ?
- Quelles opérations sont requises pour y parvenir ?
- Quel est le meilleur moment pour entreprendre ces opérations ?

Lorsque l'on affine encore l'analyse, d'autres questions pratiques se posent, comme :

- Ces opérations sont-elles techniquement réalisables ?
- Dispose-t-on du personnel qualifié pour les réaliser ?
- La sécurité du public et des travailleurs ainsi que la protection de l'environnement sont-elles assurées ?
- Quel sera le coût de ces opérations ?
- Comment peut-on s'assurer de la disponibilité des ressources financières requises ?
- Quelles seront les incidences de ces opérations sur la société et les collectivités locales en particulier ?
- Comment peut-on obtenir le soutien des différentes parties prenantes ?

Les réponses à ces questions font intervenir des facteurs interdépendants qui devront être conciliés pour décider du choix de la stratégie, sachant que le pays, le site ou les parties prenantes seront un élément de pondération individuel. Par exemple, les collectivités locales porteront un grand intérêt à l'état final. La disponibilité des fonds et du personnel qualifié nécessaires au démantèlement risque d'influer sur le choix du calendrier du projet de démantèlement. L'état final et le calendrier seront également déterminés par des

considérations environnementales et réglementaires, par des aspects de la gestion des déchets, par des facteurs techniques ou de sûreté spécifiques et, peut-être, par la politique nationale, par exemple en matière de poursuite de l'exploitation du nucléaire. Le coût global subira vraisemblablement l'influence de tous ces facteurs.

L'analyse présentée ci-dessous se décompose en trois grands titres : facteurs politiques et socio-économiques, facteurs technologiques et opérationnels et incertitudes à long terme.

3.1 Facteurs politiques et socio-économiques

3.1.1 Politique nationale

La politique nationale peut avoir une influence directe ou indirecte sur la stratégie de démantèlement. Dans la mesure où la politique nationale trouve son reflet dans la législation, l'influence directe s'exerce par le biais du dispositif juridique, et l'ampleur de cette influence varie selon qu'il s'agit de lois normatives ou de lois d'habilitation. La situation diffère d'un pays à l'autre, mais une partie ou la totalité des problèmes associés à la santé et à la sécurité du public et des travailleurs, à la protection de l'environnement, à la définition de l'état final, à la gestion des déchets, à la réutilisation et au recyclage des matériaux, aux dispositions de libération des matériaux et aux questions relatives au développement régional sont concernées.

L'influence indirecte peut provenir des politiques nationales qui ne concernent pas précisément le processus de démantèlement mais peuvent y être liées par les questions plus générales dont elles traitent. Ces politiques peuvent en effet aborder des questions, comme l'utilisation future de l'énergie nucléaire, les problèmes économiques et socio-économiques soulevés par la fermeture de grandes installations industrielles, les problèmes de sûreté et les problèmes financiers généraux associés aux coûts, l'utilisation des fonds disponibles et le calendrier d'utilisation de ces fonds. Les perspectives de sauvegarde du personnel qualifié et formé, bien qu'elles n'aient pas forcément de rapport avec la politique nationale en tant que telle, peuvent aussi jouer un rôle.

En outre, des pays qui ont adhéré à la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs sont tenus de respecter des obligations nationales précises en matière de démantèlement des installations nucléaires, et il est possible, dans certaines circonstances, que l'une de ces parties (à savoir un pays membre) ait à assumer la responsabilité directe de ce démantèlement.

Il en découle, donc, que la politique nationale, sous une forme ou une autre, peut avoir un impact sur bon nombre des facteurs principaux intervenant dans la stratégie de démantèlement décrite plus haut.

3.1.2 Dispositifs réglementaires

Tous les pays membres de l'AEN dotés de programmes électronucléaires, d'installations de recherche nucléaire ou d'installations utilisant des matières radioactives disposent d'un régime réglementaire national destiné à assurer la préservation de la santé et la sécurité du public et des travailleurs, à protéger l'environnement et à assurer une gestion sûre des déchets. Ces dispositions correspondent à des normes internationales actuelles et ont été élaborées et appliquées à des installations en service. Un bon nombre de ces dispositions est directement transposable dans la réglementation relative aux installations en cours de démantèlement bien qu'une certaine adaptation soit de toute évidence inévitable pour tenir compte de la nature évolutive des risques au cours des opérations de démantèlement et de la réduction progressive de l'inventaire radioactif. En revanche, des activités, comme le démantèlement et la démolition, et l'exposition à des matières dangereuses, comme l'amiante, des acides, des gaz toxiques, etc., font croître les risques classiques. Toute stratégie doit avoir pour caractéristiques et objectifs principaux d'assurer en permanence la sécurité des opérations de démantèlement ainsi que la protection de l'environnement et la gestion sûre des déchets. Les actuelles dispositions réglementaires, qui ont fait leurs preuves, continueront vraisemblablement de s'appliquer sous réserve de quelques adaptations, durant le démantèlement et toute période de confinement sûr accompagnant une stratégie de démantèlement différé.

Les règlements nationaux qui risquent d'influer sur l'état final de l'installation démantelée et la gestion des déchets varient, néanmoins, d'un pays à l'autre et sont encore susceptibles d'évoluer. Ces règlements concernent les normes radiologiques associées à la libération des bâtiments, des matériaux et des terres. Ils ont un impact sur la commodité et les coûts de la gestion des déchets et sur la possibilité de parvenir à l'état final visé, comme le retour à l'herbe ou un état permettant la réutilisation industrielle d'un site. Les normes actuelles adoptées dans divers pays sont citées dans le document de l'AEN « Removal of Regulatory Control for Materials and Sites – National Regulatory Practices » (voir les références) sachant, toutefois, qu'elles peuvent évoluer à mesure que des politiques nationales sont mises en place.

3.1.3 État final des installations démantelées

On peut, lorsque l'on décide de démanteler une installation nucléaire, viser plusieurs états finals : réutilisation du site pour l'implantation d'une nouvelle installation nucléaire, réaménagement du site accompagné de servitudes quant à son utilisation future ou encore libération inconditionnelle et totale du site (également appelée retour à l'herbe). Ce choix dépendra vraisemblablement des circonstances et politiques nationales et locales. Il aura très certainement un impact sur l'ampleur et le calendrier des opérations de démantèlement.

La réutilisation du site pour l'implantation d'une nouvelle installation nucléaire suppose une décontamination et un démantèlement suffisants de l'ancienne installation pour permettre l'édification d'une nouvelle installation même si certains bâtiments sont conservés. Dans ce cas, les niveaux de décontamination doivent être conformes aux impératifs appliqués aux sites nucléaires ayant obtenus une autorisation : ces impératifs sont moins sévères qu'en cas de libération du site pour l'aménagement de bâtiments industriels classiques ou qu'en cas de libération totale et inconditionnelle. Les pays qui ont décidé de poursuivre leur programme électronucléaire et qui ne disposent que d'un nombre limité de sites adaptés, ainsi que les pays qui possèdent plus d'une installation sur un même site nucléaire et qui ont décidé de remplacer les installations au fur et à mesure, trouveront plus intéressant de réutiliser un site pour y implanter une nouvelle installation nucléaire. Dans ce cas, le programme de construction dictera vraisemblablement le calendrier du démantèlement.

En cas de libération du site pour un usage limité, il faut réduire la contamination à un niveau qui est acceptable compte tenu des restrictions d'utilisation imposées après l'achèvement du démantèlement. Une utilisation restreinte doit tenir compte non seulement des doses que peuvent recevoir les travailleurs sur le site si les restrictions sont maintenues, mais également des doses que les travailleurs et le public sont susceptibles de recevoir si les restrictions ne sont pas respectées.

Le retour à l'herbe implique l'évacuation de la totalité des équipements et des structures et l'assainissement des terres contaminées à un niveau qui permet une utilisation inconditionnelle du site pour tout usage quel qu'il soit. Dans ce cas, le calendrier des opérations de démantèlement et de réaménagement sera, en toute probabilité, dicté par la politique nationale, les possibilités offertes par la décroissance radioactive, la disponibilité des ressources financières requises, la nécessité de libérer des terrains dans un emplacement présentant un grand intérêt, etc.

Le choix de la mise sous scellement de l'installation n'implique aucun démantèlement et aboutit à un état final qui est équivalent en gros à celui d'une

installation d'entreposage en subsurface. Il faudra, dans ce cas, maintenir une surveillance et des contrôles, soit jusqu'à ce que les radionucléides aient atteint un niveau de décroissance correspondant au bruit de fond naturel de rayonnement, ou jusqu'à ce que l'installation soit démantelée. On a pu constater, toutefois, que la plupart des sites d'installations nucléaires ne pourraient être conformes aux impératifs réglementaires applicables à la mise en oeuvre de cette solution, même si celle-ci reste possible dans des pays ayant de petits programmes nucléaires se limitant, par exemple, à un réacteur de recherche seulement. Aux États-Unis la définition plus claire des règles qui permettraient l'utilisation de cette option a été reportée jusqu'à ce que les études sur sa viabilité soient achevées (voir site Internet suivant : nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/decommissioning.html).

3.1.4 Coûts et mécanismes de financement

Les opérations de démantèlement et de décontamination et de gestion des déchets sont les principales activités contribuant aux coûts du démantèlement. Les coûts d'un confinement sûr, dans le cas du démantèlement différé, sont également élevés à tel point même qu'ils incitent à choisir un démantèlement immédiat. Il en ressort, donc, que les coûts totaux du démantèlement ne dépendent pas seulement de questions techniques, comme le type, la taille et la condition de l'installation concernée mais aussi des décisions prises au sujet du calendrier et de l'état final. Ces coûts sont aussi fonction des politiques nationales et des normes de libération des matériaux et des sites dans la mesure où ces dernières déterminent la quantité de déchets radioactifs à stocker. En outre, le coût de la main-d'œuvre, le coût du stockage des déchets et les procédures comptables varient d'un pays à l'autre.

L'un des principaux facteurs intervenant dans le choix d'une stratégie de démantèlement est, outre l'estimation des coûts, la disponibilité des fonds requis. En général, il revient à l'exploitant concerné de trouver les ressources financières nécessaires. Le même principe s'applique aux installations appartenant à l'État.

De préférence, les fonds nécessaires au démantèlement et à la gestion des déchets auront été constitués à partir des recettes tirées, par exemple, de l'exploitation des installations concernées et devront être disponibles au moment jugé préférable pour réaliser les activités de démantèlement. Or, il arrive que cela ne soit pas possible, par exemple en cas de fermeture prématurée d'une installation. L'absence de ressources financières suffisantes peut aboutir à l'obligation de changer de stratégie et de se tourner, par exemple, vers le démantèlement différé ou confinement sûr. Cela ne concerne pas, en général, les installations de recherche dont les dépenses de démantèlement sont financées par les organismes de recherche ou l'État à la fin de leur durée de vie.

À des fins stratégiques, les systèmes prévus pour constituer les fonds indispensables au financement du démantèlement sont divers : un système comptable qui garantira le financement des opérations, au moment voulu, soit à partir des recettes ou des actifs, ou encore un système consistant à confier à une instance indépendante et sûre la gestion d'un fonds dédié autonome, ou toute autre solution intermédiaire. Le choix entre ces deux extrêmes dépend largement du niveau de confiance accordé aux institutions nationales ou commerciales et varie d'un pays à l'autre. Cependant, quels que soient le pays ou les modalités de gestion du fonds, les sommes provisionnées qui sont détenues sur de longues périodes sont exposées à des risques considérables dus à l'inflation, aux pertes sur le marché monétaire, aux crises économiques et aux conflits provoquant des modifications majeures dans les institutions de l'État. De ce fait, la communauté internationale est persuadée qu'il est préférable pour la sécurité du financement, que le démantèlement soit réalisé le plus rapidement possible après la mise à l'arrêt de l'installation lorsque les fonds nécessaires sont disponibles.

En outre, les dispositions prises pour assurer le financement du démantèlement doivent garantir que le montant des fonds reste suffisant pour mener à bien le démantèlement. C'est pourquoi elles ne doivent pas s'appuyer uniquement sur des mécanismes qui peuvent conduire à une dévalorisation, et l'estimation du coût du démantèlement ainsi que les réserves disponibles pour réaliser les opérations doivent être périodiquement réexaminées pour s'assurer qu'elles restent suffisantes.

3.1.5 Disponibilité de systèmes de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs

3.1.5.1 Installations d'entreposage et de stockage

La première étape technique du démantèlement d'une centrale nucléaire à proprement parler consiste à retirer la totalité du combustible usé du cœur même si des opérations de nettoyages et de décontamination doivent être réalisées en permanence pendant l'exploitation de la centrale. Des dispositions doivent donc être prévues pour son évacuation sûre dans un entrepôt, un entreposage ou dans une installation de retraitement conformément à la politique nationale relative à la gestion du combustible usé. En général, les dispositions relatives à l'entreposage du combustible usé durant l'exploitation du réacteur suffiront, à moins bien sûr que la capacité soit insuffisante ou que ces dispositions n'existent pas pour toute autre raison. En l'absence de ces dispositions, le démantèlement et la démolition seront exclus jusqu'à leur mise en place. Ce critère ne s'applique généralement pas aux autres types d'installation où la priorité est donnée au traitement et au conditionnement de déchets préexistants.

L'existence ou non d'une installation de stockage des déchets est un facteur décisif dans le choix de la stratégie. Ce choix relève de la politique nationale ou des pouvoirs publics et échappe tout à fait au contrôle des exploitants. En l'absence d'un dépôt, les déchets radioactifs doivent être traités et entreposés jusqu'à sa création. En principe, les spécifications techniques applicables au traitement et au conditionnement des déchets seront conformes aux impératifs réglementaires relatifs au transport, à l'entreposage et au stockage. Ces spécifications définissent les propriétés radiologiques, mécaniques, physiques, chimiques et biologiques des déchets et de leur conditionnement. Néanmoins, lorsque aucun système de stockage n'a encore été arrêté, des prescriptions (préliminaires) doivent être élaborées pour le conditionnement des déchets en fonction d'un concept de stockage et doivent être appliquées avec la flexibilité voulue pour permettre plusieurs méthodes de stockage ou, du moins, la possibilité de le remanier lorsque les prescriptions définitives pour le stockage des déchets seront enfin définies.

La construction et l'exploitation d'une installation d'entreposage entraîneront des coûts qui ne peuvent être négligés. Ces coûts dépendront en grande partie de l'installation démantelée, selon la nature et le volume des déchets générés par le démantèlement, comme l'illustre la différence des caractéristiques et des quantités de déchets provenant des réacteurs à eau ordinaire et de ceux refroidis au gaz. En outre, si ces installations d'entreposage sont implantées sur le site de l'installation démantelée, elles empêchent la levée des contrôles réglementaires pour ce site. Lorsque le démantèlement d'une installation engendre de très forts volumes de déchets, par exemple dans le cas des réacteurs modérés au graphite, le confinement sûr est préféré au démantèlement immédiat jusqu'à ce qu'une installation de stockage des déchets soit disponible. Dans certains cas, des installations d'entreposage nationales ou centralisées sont construites afin de permettre à l'exploitant de mener à bien son démantèlement jusqu'à l'étape de la libération inconditionnelle du site.

3.1.5.2 Libération des matériaux et des sites

Un autre facteur déterminant pour le coût de la gestion des déchets est l'existence de dispositions efficaces pour la libération des matériaux et des sites. Une grande partie des déchets produits par les opérations de démantèlement est constituée de matériaux contenant des radionucléides à des niveaux inférieurs à ceux qui déterminent la nécessité de soumettre les dits matériaux à des contrôles réglementaires. La définition des niveaux de contamination ou des concentrations de radionucléides en-dessous desquels les matériaux peuvent être libérés sans contrôle radiologique (appelés « niveaux de libération ») permet la réutilisation, le recyclage ou le stockage d'une grande partie des matériaux en tant que déchets classiques. En outre, les critères de

déclassement des terrains contaminés qui ne sont pas nécessairement les mêmes que pour les déchets et autres matériaux permettent la levée des restrictions réglementaires après l'assainissement du site aux niveaux prescrits. La définition de ces niveaux par les gouvernements nationaux a des effets importants sur le volume des matériaux restants à stocker en tant que déchets radioactifs et donc sur le coût global de la gestion des déchets. Néanmoins, les avantages découlant de cette clause de libération sont réduits par le coût des activités d'administration et de surveillance associées. Si, en outre, il se révèle difficile de trouver des formes d'utilisation ou de recyclage des matériaux ainsi libérés, on estimera peut-être que le jeu n'en vaut pas la chandelle et qu'il est préférable de stocker ces matériaux comme déchets radioactifs ou d'adopter d'autres solutions consistant par exemple à les fondre pour les recycler dans l'industrie nucléaire, mais cette décision pourrait être discutable au regard du principe de développement durable.

Comme le stipule la section 3.1.2, les niveaux adoptés par divers pays pour la libération des matériaux et des sites ont été examinés dans un document de l'AEN. Des recommandations internationales à ce sujet ont aussi été publiées par l'AIEA dans un document intitulé « Application of the Concepts of Exclusion, Exemption, and Clearance » (voir liste des références).

3.1.6 *Gestion du savoir et disponibilité de personnel qualifié*

Les connaissances et les informations techniques sur des installations aussi complexes que les installations nucléaires sont d'une importance capitale pour la décontamination et le démantèlement de celles-ci en toute sécurité. La sauvegarde de ces connaissances est un aspect clé de la stratégie de démantèlement.

Ces connaissances et informations se trouvent principalement dans des documents archivés et dans la mémoire du personnel ayant participé à la construction et l'exploitation de l'installation et à toutes modifications introduites par la suite. Les documents en question peuvent être les plans originaux et modifiés de la centrale, des dossiers, des microfilms, des bandes magnétiques, des disques compacts, etc. Le calendrier du démantèlement sera probablement déterminé par leur disponibilité. En effet, si ces plans ne sont plus accessibles, l'installation devra être minutieusement examinée. Le démantèlement ne pourra être effectué qu'avec un surcroît de prudence, ce qui aura pour effet de ralentir les opérations et d'accroître les coûts. Cela est courant dans le cas des premières installations expérimentales et de développement. Il est indispensable que toute stratégie mise en place pour des installations actuellement en service prévoie l'identification et la conservation des documents indispensables. Cette obligation est particulièrement importante pour des sites ne comportant qu'une seule tranche ou pour de petites installations.

De même, le savoir et la connaissance du personnel qui a travaillé dans l'installation pendant une longue période est extrêmement précieux pour sa caractérisation avant sa décontamination et son démantèlement ainsi que durant les opérations de démantèlement. C'est le cas en particulier des employés qui ont participé à sa construction et à toute modification ultérieure. Il est tout au moins nécessaire que leurs connaissances soient consignées dans le cadre d'entretiens par exemple, avant qu'il ne soit plus possible de les contacter parce qu'ils ont pris leur retraite. En principe, ces mêmes employés pourraient être employés, dans la mesure du possible, pour démanteler l'installation, ce qui plaide en faveur d'un démantèlement immédiat.

Lorsque l'on choisit de procéder à un démantèlement différé, en particulier dans les pays qui se sont engagés à abandonner progressivement l'énergie nucléaire ou encore dans lequel le nucléaire n'est plus utilisé, il importe de s'assurer de la présence d'un personnel bien formé et qualifié. Dès lors qu'il n'existe plus de personnel formé ayant travaillé dans des installations en exploitation, il convient d'examiner la possibilité pour un pays de se tourner vers d'autres pays pour embaucher le personnel qualifié indispensable au moment voulu ou bien de réfléchir à la nécessité de préserver un système d'enseignement et de formation nucléaires. Il en va de même pour le personnel de gestion des déchets, en particulier lorsque les déchets sont placés dans une installation d'entreposage pour une durée indéfinie. Ces considérations stratégiques de haut niveau amènent par ailleurs à se demander qui sera responsable à plus long terme.

3.1.7 Aspects sociaux et locaux

Une véritable participation de la société civile est à présent jugée indispensable pour faire progresser bien des dossiers de l'énergie nucléaire, de démantèlement et du sort des déchets ainsi que des matériaux qui en sont issus. D'un côté, les collectivités locales où est implantée l'installation nucléaire peuvent se demander à juste titre si le report du démantèlement ne risque pas d'aboutir à son abandon et à l'incapacité d'assurer la sécurité à long terme de ladite installation. Le choix du démantèlement différé peut, en outre, amener la société à penser que le démantèlement est trop difficile ou trop coûteux et, donc, que l'énergie nucléaire n'est pas compatible avec un développement durable. D'un autre côté, les mêmes collectivités locales peuvent craindre qu'un démantèlement immédiat et le retour à l'herbe d'un site qui joue un rôle important dans l'économie locale auront des effets négatifs sur l'emploi, les entreprises, l'enseignement, l'infrastructure, etc.

Dans la plupart des pays membres de l'AEN, la participation de la société civile et des collectivités locales à la planification des activités ayant un impact

sur les questions sociales et environnementales est officiellement prévue. Ainsi, les pays de l'Union européenne sont tenus de respecter des directives qui exigent une évaluation détaillée d'un large éventail de facteurs, dont l'impact sur les infrastructures, le paysage, le bruit, les services de transport, les nuisances générales, les effets des accidents, la contribution au développement durable ainsi que des questions plus spécifiques de gestion des déchets et d'impact sur l'environnement. Ils prennent des mesures en particulier pour informer et associer le public et les états membres voisins. Néanmoins, l'expérience engrangée jusqu'à présent révèle que le dialogue avec les parties prenantes les plus concernées est le meilleur moyen pour parvenir à un consensus et pour s'assurer que la stratégie générale et les plans détaillés s'efforcent de concilier en toute transparence les intérêts de tous ceux qui sont concernés.

De nombreuses installations nucléaires sont situées dans des régions reculées où elles sont la principale source d'emploi. De ce fait, leur arrêt sans création concomitante d'autres emplois a un effet dramatique sur la collectivité locale. Dans certains cas, la stratégie de démantèlement et l'état final ont été choisis de manière à pallier la perte des emplois locaux et à créer de nouveaux emplois en attirant d'autres industries. C'est précisément ce qui se fait à Greifswald, en Allemagne.

Ce dialogue doit avoir pour but de créer ce que l'on appelle « les trois piliers de la confiance » : à savoir maintien de la sûreté de l'installation, participation effective aux décisions adoptées et protection des intérêts socio-économiques. Il convient néanmoins de reconnaître que ce dernier point n'est pas à la seule charge de l'exploitant de l'installation.

3.2 Facteurs technologiques et opérationnels

3.2.1 Aspects radiologiques

Lorsque l'on choisit une stratégie de démantèlement, on s'efforce en tout premier lieu d'assurer au mieux la protection radiologique du public et des travailleurs. À cet égard, on peut tirer parti de la décroissance naturelle des radionucléides et de la réduction de l'inventaire des radionucléides et du débit de dose qui en découle. Si l'on attend que la décroissance radioactive soit suffisante, les opérations de démantèlement peuvent être réalisées en toute sécurité sans avoir à utiliser un matériel télécommandé, des robots, etc., et le volume des déchets radioactifs peut être moindre. Néanmoins, on ne peut le faire que lorsque les principaux radionucléides ont une période radioactive courte, comme le ^{60}Co , dont la période est d'environ cinq ans. En outre, dans le cas des actinides, le démantèlement peut être néfaste en raison de la formation de ^{241}Am par décroissance naturelle du ^{241}Pu .

Dans les réacteurs refroidis au gaz, par exemple, il faudra probablement attendre de 80 à 120 ans avant de pouvoir procéder au démantèlement manuel de l'installation. Dans les réacteurs à eau ordinaire, les niveaux de rayonnement restent trop élevés pour permettre un démantèlement manuel, même après 100 ans. Sur le plan stratégique, les avantages tirés du report des opérations de démantèlement pour profiter de la décroissance radioactive, sous forme d'une diminution des doses aux travailleurs et d'une réduction des coûts du démantèlement, doivent être mis en balance avec les doses aux travailleurs et les coûts associés à une période de confinement sûr et avec tout problème technique provoqué par la détérioration des installations. Cette détérioration peut être à l'origine de fuites qui peuvent faire augmenter les doses reçues durant le démantèlement, par exemple dans les parties radioactives des réacteurs à eau légère. Dans ces cas, les avantages de la décroissance radioactive peuvent être entièrement neutralisés.

En ce qui concerne la réduction du volume de déchets, les avantages de la décroissance radioactive proviennent principalement de la possibilité de réduire l'inventaire des radionucléides dans un grand volume de matériaux à des niveaux qui permettront de procéder à la libération de ceux-ci et ainsi de les réutiliser, de les recycler ou de les stocker comme des déchets classiques. De toute évidence, l'importance de cet avantage dépendra des niveaux de libération définis au niveau national, comme nous l'avons précisé à la section 3.1.5, et de l'existence de formes de réutilisation et de recyclage. Ainsi, on calcule que dans le cas d'un réacteur à eau sous pression exploité durant 40 ans, une décroissance radioactive de 100 ans aboutira à une réduction d'environ 30 % de la masse des déchets dits radioactifs.

Dans le cas des installations contaminées par des radionucléides à vie longue, comme les actinides, il n'y a de toute évidence aucun intérêt à attendre la décroissance radioactive.

3.2.2 Disponibilité de techniques de démantèlement

Parmi les techniques requises pour le démantèlement des installations nucléaires, citons :

- Les techniques de décontamination pour éliminer la contamination des métaux, du béton et d'autres surfaces.
- Les techniques de découpe pour démanteler les installations, y compris les structures métalliques ou en béton et les équipements et matériels de toute sorte.

- Les techniques de mesure utilisées pour dresser l'inventaire des radionucléides dans l'installation et planifier et surveiller les opérations de démantèlement, y compris la gestion des déchets.
- Les techniques de robotique et de télé-opération utilisées pour travailler à distance ou à l'abri d'une protection contre les rayonnements : citons notamment l'utilisation de télémani-pulateurs, d'outils semi-automatiques et de matériels de levage et de transport.
- Les techniques de protection des travailleurs et de l'environnement comportant l'utilisation de blindages amovibles, de sas et de cellules temporaires, de systèmes de ventilation et de filtration mobiles et de vêtements spéciaux.
- Les techniques de traitement des déchets, dont le traitement des liquides et la filtration des effluents gazeux afin de respecter les règlements sur les transports et les conditions requises d'entreposage et de stockage.
- Les mesures prises pour les risques non radiologiques (matériaux chimiquement toxiques, etc.).

Ces techniques sont déjà matures et éprouvées. En effet, de nombreuses techniques de démantèlement font appel à du matériel classique adapté aux applications nucléaires. La plupart des opérations peuvent être réalisées à distance en toute sécurité à des coûts raisonnables. Dans ce contexte, sur le plan stratégique il reste encore à déterminer l'ampleur des travaux de recherche et développement complémentaires qu'il faudrait réaliser pour réduire encore les coûts et l'engagement de doses ainsi qu'à augmenter l'efficacité et la sûreté des opérations. Il serait également bon d'élaborer des techniques de transport et de stockage ou de les faire approuver pour de grandes pièces et équipements, ce qui permettrait au moins de diminuer le nombre de découpes requises. Dans ce contexte stratégique également, les pays n'ayant que de petits programmes nucléaires et ne possédant qu'un réacteur de recherche devront se demander jusqu'à quel point ils auront intérêt à développer des compétences dans ces techniques par opposition à une solution qui consisterait à sous-traiter les travaux auprès de spécialistes extérieurs.

Certains des systèmes et composants déjà présents dans une installation nucléaire, comme les circuits de ventilation, le matériel de levage et de transport, etc. pourraient être utilisés pour les opérations de démantèlement à condition qu'ils soient maintenus en état de marche et soient conformes aux normes en vigueur. Ces conditions seront difficilement remplies si le démantèlement est différé pendant une longue période au cours de laquelle ces systèmes et composants risquent de se détériorer et cesser d'être conformes aux

normes en vigueur. Leur remise en service pourrait alors se révéler impossible, et il faudrait les remplacer à un coût élevé. Il en va de même des structures, aussi bien pour maintenir la sûreté de l'installation que pour une éventuelle réutilisation temporaire.

3.2.3 Conditions physiques et radiologiques des installations

L'une des toutes premières étapes qui suit l'arrêt d'une installation nucléaire est « le nettoyage post-opérationnel. » À cette occasion, on procède à la vidange des canalisations et des cuves afin d'éliminer au maximum la contamination. L'état physique et radiologique de l'installation à l'issue de ces opérations influe sur la stratégie de démantèlement elle-même, en particulier si les composants restent fortement contaminés ou s'ils sont structurellement en mauvais état et susceptibles de se détériorer. Dans ce cas, une intervention rapide peut se révéler nécessaire pour assurer la sécurité. De ce fait, la caractérisation physique et radiologique d'une installation est essentielle.

Il faut normalement, pour cette caractérisation physique, inspecter l'installation afin de déceler les dangers et de déterminer les aménagements requis afin d'assurer la protection contre toute éventuelle condition anormale. À cet effet, on établit notamment un dossier sur l'état de l'installation, qui comporte des photographies, des vidéos, des plans et des diagrammes qui peuvent aider à localiser les dangers présents et à analyser en particulier :

- l'état des structures (fondations, toits, murs, planchers, piliers, etc.) ;
- les systèmes de contrôle (entrées, clôture, etc.) ;
- la protection contre les incendies (détecteurs, alarmes, systèmes de lutte contre l'incendie, etc.) ;
- les questions relatives à la sécurité du personnel (risques physiques, matières dangereuses, etc.) ;
- la fonctionnalité des systèmes (chauffage, ventilation, alimentation en air et approvisionnement en électricité, éclairage interne et externe, etc.) ;
- les substances de procédé (dans des conteneurs ou des réservoirs, décharges non contrôlées, etc.).

La caractérisation radiologique a deux finalités. Premièrement, il s'agit de recenser les risques radiologiques pour les travailleurs qui devront pénétrer dans l'installation afin de s'acquitter de leurs tâches de démantèlement. Ce recensement des risques permet de savoir s'il est nécessaire ou non de décontaminer certaines zones de l'installation avant que les travailleurs n'y pénètrent, et il facilite la conception des mesures de protection radiologique pour les activités ultérieures. Ce travail consiste à faire des prélèvements sur les

matériaux inconnus, à mettre à jour les cartes radiologiques, à estimer les paramètres physiques ainsi que les quantités de déchets qui seront produits par les opérations ultérieures de décontamination et de démantèlement.

Le deuxième objectif est d'établir, à un niveau plus détaillé, l'inventaire des radionucléides dans les matériaux qui devront être entreposés, stockés en tant que déchets radioactifs ou qui seront exemptés de tout contrôle réglementaire par des mesures de libération. Ces travaux se poursuivent également à mesure que le démantèlement progresse et que l'on gagne accès à des zones. Pour des raisons techniques associées à la facilité de détection et de mesure, il est plus commode de détecter et de mesurer les radionucléides d'émetteurs gamma, comme le ^{60}Co et le ^{137}Cs , et de calculer les quantités des autres radionucléides à l'aide de corrélations connues avec les espèces mesurées. Néanmoins, les radionucléides qui sont faciles à mesurer ont une période relativement courte (5 ans pour le ^{60}Co et 30 ans pour le ^{137}Cs) de sorte que cette partie des opérations se complique plus le démantèlement est différé.

3.3 Incertitudes à long terme

Lorsque dans le cadre du choix d'une stratégie de démantèlement, l'on cherche le juste équilibre entre les facteurs cités ci-dessus, on doit tenir compte des incertitudes à long terme associées à ces facteurs. Les incertitudes les plus importantes sont les suivantes :

3.3.1 Évolution des normes

Comme nous l'avons déjà souligné dans la section 3.1.2, les dispositions réglementaires destinées à garantir la santé et la sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement et une gestion sûre des déchets correspondent aux normes internationales en vigueur. On constate qu'au fil des années, ces normes se sont nettement durcies. Dans certains cas, ce durcissement est dû à une sensibilité plus grande du public et à une amélioration générale des normes de sûreté. Dans d'autres, en particulier en ce qui concerne la gestion des déchets, ce durcissement s'explique par l'attitude négative à l'égard des « déchets radioactifs ». Rien n'indique aujourd'hui que ces normes s'assoupliront ; en fait, il est même plus probable qu'elles évolueront plutôt vers un durcissement.

Ce durcissement devrait retentir sur les niveaux d'activité auxquels les matériaux pourront être dispensés de tout contrôle réglementaire (à savoir, les « niveaux de libération »). Les niveaux en question déterminent largement la quantité des déchets qui doivent être stockés en tant que déchets radioactifs et, de ce fait, se répercutent sur les coûts de gestion des déchets et la capacité de stockage des déchets radioactifs.

3.3.2 Coûts et gestion des fonds

Sous l'effet du durcissement des normes et de la pression de l'opinion publique, les coûts de gestion et de stockage des déchets se sont alourdis au fil des ans. Il est peu probable que cette tendance se renverse dans un avenir proche, mais l'ampleur de cette augmentation est difficile à prévoir. De même, les coûts de la main-d'œuvre et des matériaux devraient augmenter sachant qu'il est de plus en plus difficile, à mesure que les délais s'allongent, de pouvoir déterminer dans quelle proportion. En calculant l'ensemble des coûts du cycle de vie d'un projet de démantèlement, ces incertitudes seront accrues par d'autres incertitudes associées à l'évolution des taux d'intérêt et des taux d'escompte applicables au calcul de la valeur actuelle nette sur de longues périodes. Il est extrêmement hasardeux de prendre pour hypothèse que la croissance économique se poursuivra et que l'on réussira à obtenir un taux d'intérêt net de 4 à 5 % par an, par exemple, sur une période allant jusqu'à 100 ans. Les incertitudes liées à ce calcul peuvent être facilement illustrées en examinant les 100 dernières années qui se sont caractérisées par des pertes monétaires considérables du fait de l'inflation et des conflits. Certains pays doivent prendre des dispositions financières en utilisant la méthode plus prudente des coûts non actualisés car le démantèlement incombera en fin de compte à l'État si toutes les dispositions adoptées échouent. Il est, par ailleurs, possible pour atténuer les incertitudes liées au financement, de procéder à un démantèlement immédiat dans un délai aussi bref que possible, car les incertitudes croissent avec le temps. Les incertitudes du financement sont réduites dans certains pays par des garanties financières imposées aux exploitants aux termes des accords réglementaires en plus de la constitution d'un fonds indépendant de démantèlement.

Compte tenu de tous ces éléments, il est de toute évidence indispensable de procéder à une évaluation approfondie des modalités de financement afin de réduire au minimum les incertitudes, notamment les incertitudes associées à la performance des investissements, aux taux d'inflation et aux éventuelles crises économiques et politiques.

3.3.3 Propriété de l'installation et disponibilité de personnel qualifié

Ces deux questions sont liées, en particulier lorsqu'un pays s'est engagé à abandonner progressivement l'énergie nucléaire ou lorsque cet abandon est déjà effectif.

Les grandes installations nucléaires sont habituellement exploitées par des entreprises dont la survie dépend des revenus tirés de l'exploitation. Si une centrale nucléaire doit être supprimée pour une raison quelconque, rien ne

prouve que les entreprises propriétaires seront toujours en activité pour financer et réaliser les opérations de démantèlement requises au moment voulu. Les pays qui sont parties à la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs sont tenus d'assumer la responsabilité si aucun propriétaire n'est identifiable. Dans tout pays, on doit néanmoins tenir compte, dans la stratégie, des incertitudes associées à cette éventualité, dont la probabilité aura tendance à croître à mesure que la période après l'arrêt de l'installation s'allongera.

De même, la disparition d'une compagnie d'électricité, après l'abandon du nucléaire, risque également de se traduire par la perte de personnel qualifié pour réaliser les opérations de démantèlement et la gestion des déchets correspondante. Les incertitudes associées à la disparition des entreprises et du personnel qualifié devront être intégrées dans les décisions stratégiques relatives au recrutement futur de ce personnel ou au maintien d'une formation destinée aux spécialistes des techniques nucléaires en vue des opérations de démantèlement et pour leur contrôle efficace. Là encore, ce problème risque fort de se compliquer à mesure que l'on s'éloigne dans le temps du moment de la mise à l'arrêt de l'installation.

3.3.4 Disponibilité d'installations de stockage de déchets radioactifs

Il serait idéal de pouvoir acheminer les déchets radioactifs issus du démantèlement directement dans l'installation de stockage appropriée. En l'absence de cette installation, ces déchets doivent être conservés en toute sécurité dans des installations d'entreposage pour des temps indéterminés et pour des coûts incertains mais de toute évidence importants.

Cette situation s'applique au stockage de tous les types de déchets appartenant à la catégorie des déchets radioactifs, en particulier si des mécanismes de libération efficaces n'ont pas été mis en place. Certains pays, quoique rares, disposent d'installations de stockage qui, généralement ne peuvent recevoir que des déchets faiblement et moyennement radioactifs à courte durée de vie. Il en résulte que les exploitants hésiteront vraisemblablement à traiter et à conditionner des déchets sans connaître la solution de stockage finale et les spécifications associées. Certains pays confrontés à cette incertitude ont élaboré et appliquent des prescriptions (préliminaires) relatives à l'acceptation des déchets dans de futurs dépôts, après un examen minutieux des autorités de contrôle, ce qui permet aux exploitants de procéder au conditionnement de leurs déchets (voir 3.1.5).

Dans quelques pays où les seuils de libération des matériaux sont très bas ou dans lesquels les coûts et les problèmes pratiques associés à l'administration

et à la surveillance du processus de libération sont décourageants, il est probable que le volume des déchets de très faible activité à stocker sera important. Le stockage de ce type de déchets dans des installations conçues pour des types plus habituels de déchets radioactifs a peu de chances d'être pratique ou économique, ce qui renforcera les incertitudes pesant sur le sort des déchets issus du démantèlement.

Ces incertitudes, ajoutées les unes aux autres, risquent de décourager les exploitants d'entreprendre les opérations de décontamination et de démantèlement qui produiront ces déchets et les amèneront à remettre ces opérations au moment où les installations de stockage indispensables seront disponibles. Dans ce cas, la réflexion sur la stratégie de démantèlement risque d'être influencée par la politique nationale et la stratégie de stockage des déchets radioactifs. Néanmoins, les déchets solides et liquides sont plus sûrs après traitement et conditionnement de sorte que le risque global présenté par une installation sera bien moindre après ces opérations.

3.3.5 Évolution de la politique sur l'avenir du nucléaire

L'avenir de l'énergie nucléaire semble, pour l'instant, être plutôt incertain dans de nombreux pays. Les menaces qui pèsent sur le monde incluent le changement climatique produit par les gaz à effet de serre rejetés par les installations brûlant des combustibles fossiles ainsi que diverses menaces pesant sur les sources et les itinéraires d'acheminement des combustibles importés, comme le gaz naturel. Ce facteur, conjugué à la révision des prévisions concernant la capacité, les caractéristiques économiques et l'acceptabilité environnementale des sources d'énergie renouvelables, incite plusieurs pays qui prévoyaient apparemment d'abandonner le nucléaire à se poser des questions.

Ces incertitudes peuvent se répercuter sur le choix de l'état final visé des installations démantelées dans les pays où *a priori* on aurait pensé que l'état final préféré était le retour à l'herbe ou la réutilisation des sites pour des industries conventionnelles, et où l'on envisage à présent la possibilité de réimplanter des installations nucléaires sur des sites autorisés à recevoir ce type d'installation. Dans ce dernier cas, il pourrait être plus commode et économique de conserver des parties des installations mises à l'arrêt, et notamment les entrepôts de déchets.

4. SÉLECTION D'UNE STRATÉGIE DE DÉMANTÈLEMENT

4.1 Le processus de sélection de la stratégie

Les propriétaires ou les exploitants d'installations nucléaires sont normalement responsables du choix de la stratégie de démantèlement, dans le cadre de laquelle sont établis les plans détaillés. Dans certains cas, ces opérations peuvent finir par relever des pouvoirs publics nationaux mais, quoi qu'il en soit, la stratégie devra être conçue en tenant compte des politiques nationales et de la nécessité de respecter les prescriptions réglementaires (sections 3.1.1 et 3.1.2.).

En outre, il est essentiel de faire participer la société civile au processus dès les tous premiers stades (voir section 3.1.7.) La première tâche consiste à déterminer ceux qui ont un intérêt légitime à participer et, ensuite, d'établir les moyens de communication, de consultation et de prise de décision. L'expérience montre que les traits caractéristiques de ces arrangements sont en gros les suivants :

- Le processus doit être ouvert, transparent, juste et véritablement participatif.
- Les décisions doivent être prises par étapes, ces étapes ou paliers devant être clairement définis.
- Les étapes doivent, dans la mesure du possible, être réversibles en fonction des nouvelles connaissances.
- Ce que l'on attend à chaque étape ainsi que la manière dont les faits, les avis d'experts et les jugements de valeurs interagiront dans la prise de décision, devront être clairement établis.
- Les responsabilités de chaque partie prenante devront être définies et acceptées pour chacune des étapes.

En ce qui concerne la pondération et la conciliation des facteurs différents et souvent contradictoires qui influent sur le choix de la stratégie, il existe diverses approches et aides à la décision. Il convient de noter, toutefois, que ces techniques ne servent qu'à orienter le processus de prise de décision et que leur valeur réelle réside dans le fait qu'elles permettent de constituer un dossier transparent et documenté de la procédure décisionnelle et de l'évaluation de l'importance relative des divers facteurs.

Les conditions précises et le poids accordé à chacun des facteurs varient d'un pays à l'autre et même d'une installation à une autre, de sorte que les stratégies choisies diffèrent pour des raisons valables et qu'il n'existe de toute évidence pas de meilleur choix. Les exemples suivants de différents pays illustrent cette constatation.

4.2 Exemples de choix de stratégie

4.2.1 France et Japon

Ces pays ont décidé de poursuivre l'exploitation de l'énergie nucléaire. Ils veulent pouvoir réutiliser les sites nucléaires existants pour de nouvelles installations nucléaires et, en raison des futurs besoins importants qu'ils prévoient, ils doivent conserver et renforcer la capacité et l'expertise industrielle en matière de démantèlement. En outre, parallèlement aux divers types de réacteurs de puissance, ils ont tous deux des installations expérimentales et du cycle du combustible anciennes qui sont contaminées par des radionucléides à vie longue, pour lesquelles il n'est pas intéressant d'attendre la décroissance radioactive. Des dispositions ont déjà été prises pour le stockage des déchets de faible activité et, en France du moins, pour le stockage de gros volumes de déchets de très faible activité issus du démantèlement.

C'est pourquoi, ils ont choisi des variantes du démantèlement immédiat aboutissant à un état final du site compatible avec la poursuite de l'exploitation nucléaire, mais admettent que des plans de démantèlement détaillés doivent être préparés par les exploitants au cas par cas. Il est prévu, en France, d'achever le démantèlement des centrales nucléaires déjà mises à l'arrêt dans un délai de 25 ans. Au Japon, il est prévu de démanteler les installations au terme de 5 à 10 ans seulement de confinement sûr, une fois le combustible usé évacué et la décontamination initiale réalisée.

Cette décision élimine toutes les difficultés liées aux incertitudes décrites à la section 3.3, exception faite, toutefois, de la disponibilité des installations de stockage pour recevoir les déchets de haute et moyenne activité et les grandes quantités de graphite provenant des réacteurs refroidis au gaz. (Dans la pratique, la disponibilité d'installations de stockage du graphite risque d'avoir une influence déterminante sur le calendrier du démantèlement des réacteurs à gaz dans les deux pays.)

Pour la France, du moins pour ses réacteurs de puissance de la première génération, cela représente un changement de cap par rapport à la politique initiale de démantèlement différé choisie pour bénéficier de la décroissance du ⁶⁰Co. Cette décision provient, du moins en partie, du désir de démontrer que le

démantèlement est parfaitement réalisable, que la technologie existe et peut être effectué, à des coûts raisonnables, et que le système général de gestion des déchets fonctionne. Cela prouve que, du moins en ce qui concerne le démantèlement sûr et écologiquement acceptable des installations mises à arrêt, l'énergie nucléaire est compatible avec un développement durable. Cela prouve également qu'en choisissant entre le démantèlement immédiat et le démantèlement différé, les différences de coûts associées à l'utilisation de techniques de démantèlement à distance ou de gestion des déchets par exemple, soit n'étaient pas importantes, ou ont moins pesé dans la balance que les autres facteurs.

Dans les deux pays les exploitants sont tenus de constituer et de gérer des fonds pour le futur démantèlement. Au Japon, les autorités de contrôle s'assurent que ces fonds sont suffisants en procédant à un audit financier et en examinant les états comptables présentés par l'exploitant. En France, la Cour des Comptes réalise des fonctions similaires. Dans ce dernier cas, la Cour des Comptes s'est inquiétée du montant des fonds disponibles et de la possibilité que les coûts du respect des obligations à long terme de l'exploitant doivent être pris en charge par le consommateur ou l'État. Cela pourrait influencer sur la stratégie qui est véritablement mise en place.

4.2.2 Corée et Finlande

Ces pays ont également décidé de poursuivre l'exploitation de l'énergie nucléaire. La stratégie choisie par la Corée est le démantèlement des installations après cinq à dix ans de confinement sûr, ce qui n'est guère différent de la situation française et japonaise. Lorsque deux réacteurs sont situés sur le même site, néanmoins, ce pays envisage d'attendre jusqu'à ce que les deux puissent être démantelés en même temps. Cette décision implique que des économies d'échelle sont prévues et que les coûts sont un facteur décisif. Ces pays ne font pas de différence apparemment entre les stratégies de démantèlement des réacteurs à eau lourde et des réacteurs à eau sous pression, ce qui montre que les différences de caractéristiques techniques, radiologiques et de gestion des déchets entre ces installations ou toute différence des techniques utilisées pour leur démantèlement ne pèsent pas lourd par rapport à d'autres facteurs.

À cet égard, la situation de la Finlande est quelque peu différente. Pour démanteler le premier réacteur à eau sous pression, la Finlande a choisi le démantèlement immédiat (dans les 10 ans qui suivent sa mise à l'arrêt) sans s'engager à parvenir à un état de retour à l'herbe, un choix qui a aussi été fait par la France. Toutefois, pour le premier réacteur à eau bouillante, il est prévu un confinement sûr de 30 ans avant le démantèlement.

Dans le cas de la Finlande, le plan de démantèlement du réacteur à eau sous pression se caractérise par le fait que les grands composants (à savoir, les cuves sous pression et les générateurs de vapeur) seront évacués entiers sans être préalablement découpés. Pour le réacteur à eau bouillante, il était initialement prévu de découper la cuve du réacteur et les internes, mais ce plan a été revu ; et on a choisi à présent d'utiliser la cuve du réacteur comme conditionnement des internes du réacteur et de l'évacuer ainsi. Ceci prouve que la Finlande considère qu'un délai même de 30 ans pour la décroissance des radionucléides présente des avantages radiologiques importants quand des opérations de découpe sont prévues. Cela indique également, du moins dans le cas des réacteurs à eau sous pression, que la technologie permettant de réduire les doses de rayonnement reçues par les travailleurs en manipulant de larges composants sans les découper, sans même attendre la décroissance des radionucléides, existe, est économique et est considérée préférable.

Il est possible également que d'autres facteurs diffèrent entre les deux filières de réacteurs. Par exemple, la libération des sites pour l'implantation de nouvelles installations n'est peut-être pas toujours nécessaire dans les deux cas.

4.2.3 Allemagne, Italie et Suède

Ces pays ont choisi d'abandonner l'énergie nucléaire et, de ce fait, n'ont pas besoin de libérer de la place sur les sites nucléaires existants pour y implanter de nouvelles installations nucléaires. En Italie, cet abandon remonte à 1987.

En Allemagne, trois anciens réacteurs sont maintenus dans un confinement sûr, en mettant à profit, pour le premier, la décroissance radioactive (Lingen) et, pour les deux autres, en raison de l'absence des fonds nécessaires (THTR-300). Actuellement, la tendance à choisir un démantèlement immédiat des réacteurs de puissance s'explique principalement par des aspects sociaux, la disponibilité du personnel qualifié et formé ainsi que des considérations financières. Le gouvernement fédéral est extrêmement favorable à un démantèlement immédiat. Néanmoins, les compagnies d'électricité souhaitent également conserver l'option du démantèlement différé ouverte. Quoi qu'il en soit, l'état final visé est le retour à l'herbe ou un état permettant l'utilisation du site et des bâtiments restants.

L'Italie a décidé au départ de différer le démantèlement, principalement parce que la fermeture anticipée des centrales nucléaires s'est traduite par l'absence de fonds, l'absence d'installations d'entreposage et l'absence d'une politique nationale définie de libération des matériaux. Néanmoins, d'autres facteurs, comme les risques associés à la perte éventuelle de connaissances et de compétences, ont conduit à la mise en place de mécanismes de financement complémentaires, à la définition de seuils de libération et à l'adoption d'une stratégie nationale coordonnée prévoyant de réaliser le démantèlement de toutes

les installations dans un délai de 20 ans. Parallèlement à cela, on estime nécessaire de créer rapidement des installations de traitement, d'entreposage et de stockage des déchets bien que l'existence de ces installations n'est pas considérée comme une condition sine qua non de la réalisation des opérations de démantèlement.

Cet exemple révèle les difficultés stratégiques rencontrées lorsque les dispositifs de financement et de gestion des déchets sont insuffisants, comme il met en évidence le poids des facteurs sociétaux et politiques. Le fait qu'en Italie les différences techniques entre les réacteurs à eau bouillante, les réacteurs à eau sous pression et les réacteurs à gaz ne soient pas mentionnées, indique, comme nous l'avons noté pour la Corée, que les différences entre les caractéristiques techniques, radiologiques et de gestion des déchets entre des installations ou toute autre différence entre les techniques de démantèlement sont soit mineures ou ne priment pas sur les autres facteurs de décision.

Dans le cas de la Suède, jusqu'à récemment du moins, les autorités de sûreté estimaient que le démantèlement devait être achevé dans un délai de 10 à 15 ans suivant la mise à l'arrêt de l'installation, mais que les installations d'entreposage des déchets issus de ce démantèlement devaient être disponibles avant que le démantèlement ne soit entrepris. Les facteurs qui les avaient amenés à choisir plutôt le démantèlement immédiat étaient les incertitudes associées à la perte de personnel expérimenté, à la conservation des dossiers et des documents et à l'incidence sur la sûreté et les coûts d'une dégradation inévitable des installations fermées. Les facteurs sociaux ont également joué un rôle en Suède où, de l'avis général, on estimait que les générations qui avaient bénéficié de l'exploitation de l'énergie nucléaire devaient financer et prendre soin des déchets issus de l'exploitation et du démantèlement. Malgré cette préférence des autorités de sûreté, le pays a choisi une stratégie de confinement sûr pendant une période de 15 à 18 ans (jusqu'aux années 2020-2023) pour le premier réacteur à eau bouillante de la centrale nucléaire de Barsebäck.

4.2.4 Les Pays-Bas

Bien que les Pays-Bas se soient engagés en principe à abandonner l'exploitation de l'énergie nucléaire, le nucléaire continuera d'être utilisé dans les décennies à venir. En 2005, la décision a été prise d'allonger la durée d'exploitation de la centrale nucléaire de Borssele. Cette centrale devrait donc rester en service 60 ans jusqu'en 2033 si la sûreté et les considérations économiques le permettent.

La petite centrale nucléaire de Dodewaard a été mise à l'arrêt en 1997 après 28 ans d'exploitation. Tout le combustible usé a été évacué, et, depuis 2005, la centrale est maintenue dans un état de confinement sûr.

Les trois principales stratégies de démantèlement ont été prises en considération dans l'étude d'impact sur l'environnement réalisée pour la centrale de Dodewaard. Comme l'impact sur l'environnement est minime pour chacune de ces trois stratégies, l'exploitant, à qui il revient de prendre cette décision, s'est prononcé pour la stratégie la moins coûteuse, à savoir le démantèlement différé. Il ressort, en effet, des calculs de la valeur actuelle nette que le démantèlement différé est le moins coûteux. Ces calculs ont été réalisés en prenant pour hypothèse un taux d'intérêt de 4 % corrigé de l'inflation sur une période de 40 ans. L'état final visé est le retour à l'herbe et une utilisation inconditionnelle du site. On a adopté la même stratégie pour la centrale nucléaire de Borssele pour des raisons financières.

Le Groupe de recherche et de conseil sur les questions nucléaires NRG-Petten prépare son dossier de demande d'autorisation pour un nouveau réacteur de recherche. Si l'autorisation est accordée, l'ancien réacteur à haut flux sera probablement démantelé et déclassé dans les 10 à 15 ans.

Urenco Netherlands BV a commencé à démanteler une première série de centrifugeuses de l'usine d'enrichissement d'uranium SP 3, qui a été fermée.

En dépit de la légère préférence manifestée par le gouvernement pour le démantèlement immédiat, aucun moyen juridique ne permettait de contester la décision de l'exploitant. Cette préférence du gouvernement s'expliquait principalement par a) l'inquiétude au sujet de la disponibilité d'un savoir-faire de démantèlement ou plus généralement nucléaire aux Pays-Bas dans l'avenir ; b) l'inquiétude suscitée par l'évolution des coûts du démantèlement ; c) la disponibilité de fonds suffisants dans l'avenir et d) le sentiment que la société préférerait le démantèlement direct.

Les discussions et les négociations sur le transfert de la centrale de Dodewaard maintenue dans un état de confinement sûr aux mains de l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs COVRA n'ont pas abouti jusqu'à présent en raison des divergences d'opinion sur les responsabilités et les charges.

4.2.5 Royaume-Uni et États-Unis d'Amérique

Ces pays réexaminent à présent leurs politiques sur l'utilisation future de l'énergie nucléaire. Ce réexamen peut avoir une incidence sur l'avenir des sites nucléaires existants et leur éventuelle réutilisation pour de nouvelles installations nucléaires dans l'avenir. Il peut, d'autre part, avoir un impact sur la disponibilité dans l'avenir de personnel qualifié.

Le Royaume-Uni et les États-Unis ont tous deux des charges d'un montant d'environ 56 milliards £ au Royaume-Uni et de 225 milliards USD aux États-Unis pour des installations exploitées dans le passé. Lorsque les pays héritent de ce genre de situation, les décisions stratégiques portent plus sur la définition des priorités que sur le choix entre un démantèlement immédiat ou différé.

Le Royaume-Uni avait un large éventail d'installations expérimentales et de prototypes, qui appartenaient pour la plupart à l'État. Les stratégies choisies pour leur démantèlement ont varié pour des raisons tout à fait justifiées. Ainsi, certaines installations ont été démantelées immédiatement afin de recueillir des informations et d'accumuler de l'expérience et pour tester de nouvelles techniques, ou encore parce qu'elles étaient en mauvais état ou que leur état radiologique était préoccupant, ou simplement parce qu'elles occupaient un espace dont on avait besoin à d'autres fins. D'autres installations, en revanche, ont été maintenues dans un état de confinement sûr pour une trentaine d'années afin de mettre à profit la décroissance du ^{60}Co . Ces choix illustrent l'importance d'adapter la stratégie à chaque cas particulier.

En ce qui concerne le démantèlement des réacteurs de puissance refroidis au gaz au Royaume-Uni, les exploitants ont préféré se tourner vers l'ajournement pendant environ 100 ans du démantèlement avec confinement sûr de l'installation après l'évacuation du combustible et de certains équipements et bâtiments périphériques. Ce choix s'explique par l'absence d'une installation d'entreposage du graphite, par la mise à profit de la décroissance radioactive, qui permet ensuite des opérations manuelles et qui aboutit à une réduction importante des volumes de déchets et, en outre, par une réduction significative des coûts exprimés en valeurs actuelles nettes sur une période de 100 ans (bien que des doutes aient été exprimés sur des périodes aussi longues). En outre, le report des opérations permet de ne pas trancher immédiatement sur le choix de l'état final visé, ce qui laisse le temps au gouvernement de définir plus clairement sa future politique nucléaire. Le gouvernement n'a pas refusé ce choix bien qu'il estime que le démantèlement devrait être entrepris aussi rapidement que possible compte tenu de tous les facteurs pertinents. L'autorité de démantèlement nucléaire NDA (*Nuclear Decommissioning Authority*) qui vient d'être créée a fixé le calendrier en déclarant son intention d'accélérer le démantèlement pour qu'il ne dépasse pas la durée de vie d'une génération (environ 25 ans) pour toutes les installations, y compris les réacteurs Magnox mais à l'exclusion de Sellafield. Cette décision contraste singulièrement avec la stratégie précédemment adoptée par le propriétaire exploitant BNFL (aujourd'hui *British Nuclear Group*). Cet exemple révèle que le gouvernement se soucie peut-être de l'attitude de la société face à des délais de démantèlement si longs.

Aux États-Unis, aussi, l'État était propriétaire d'un large éventail d'installations expérimentales et de prototypes, et les stratégies de démantèlement de ces installations avaient été choisies au cas par cas selon les circonstances. En 2004, le ministère de l'Énergie (DOE) a annoncé que les opérations d'assainissement étaient achevées dans 76 de ses sites anciens, et que 32 autres sites seraient réhabilités d'ici 2025, ce qui ne laissait que six sites à démanteler après 2025.

En ce qui concerne les centrales nucléaires, les exploitants sont relativement libres de choisir leurs propres stratégies de démantèlement. À ce jour, 9 centrales ont été immédiatement démantelées, et 11 environ sont maintenues dans un confinement sûr. Les plans établis pour l'avenir révèlent, toutefois, qu'il est prévu de démanteler immédiatement environ 11 centrales et de choisir de différer le démantèlement de neuf installations seulement, ce qui révèle un changement d'attitude à l'égard du démantèlement immédiat. Si les idées ont évolué dans ce domaine, c'est que l'on ne sait pas qui sera propriétaire des centrales dans l'avenir et à qui incombera la charge du démantèlement à long terme, comme on ignore si les mécanismes de financement seront véritablement sûrs et les fonds seront suffisants au moment voulu et qu'il est impossible de dire quels seront les futurs coûts des installations de stockage des déchets et si celles-ci seront véritablement disponibles. Néanmoins, le nombre de ceux qui restent favorables à un démantèlement différé continue d'être important, apparemment en raison de la présence sur les mêmes sites d'installations fermées et de centrales en exploitation et de la possibilité d'organiser avec efficacité le démantèlement de toutes les tranches et d'éviter de construire des installations d'entreposage des déchets.

Il en ressort qu'aux États-Unis, les coûts et le financement restent les principaux facteurs qui déterminent le choix de sorte que la stratégie du démantèlement différé est préférée pour les centrales. Toutefois, les incertitudes pesant sur l'avenir commencent à donner l'avantage au démantèlement immédiat.

4.2.6 Espagne

En Espagne, 9 centrales sont actuellement en exploitation. Elles sont supposées avoir une durée de vie de 40 ans. Aucune nouvelle construction n'est prévue. Le réacteur graphite-gaz de Vandéllos I a été mis à l'arrêt, les bâtiments auxiliaires ont été démontés, et le réacteur est à présent maintenu dans un confinement sûr.

La stratégie de démantèlement choisie pour les centrales nucléaires en exploitation est le démantèlement total qui doit être lancé trois ans après la mise à l'arrêt des installations, après le retrait du combustible des piscines.

Il est prévu de mettre à l'arrêt le réacteur à eau sous pression José Cabrera en mai 2006 (Zorita). La stratégie de démantèlement exposée ci-dessus sera appliquée, et les plans de démantèlement sont en cours de préparation depuis 2003. Ceci signifie que les véritables travaux de démantèlement commenceront trois ans après la mise à l'arrêt de l'installation, une fois le combustible évacué.

En Espagne, le démantèlement immédiat est la stratégie choisie pour toutes les centrales nucléaires en exploitation. Les sites seront libérés puisqu'aucune politique n'a été définitivement arrêtée en ce qui concerne l'avenir du nucléaire.

5. CONCLUSIONS

Le choix de la stratégie est une condition importante de la sûreté du démantèlement des installations nucléaires. Ce choix dépend d'un grand nombre de facteurs qui doivent être pris en considération au moment d'opter entre un démantèlement immédiat, un démantèlement différé/confinement sûr ou une mise sous sarcophage.

En règle générale, la mise sous sarcophage n'est pas une option recommandée. Cette option peut être choisie, par exemple, dans un pays qui ne possède qu'une seule centrale nucléaire. En général, le choix se fait entre un démantèlement immédiat et un démantèlement différé.

À l'heure actuelle, on constate, au niveau international, une nouvelle tendance qui consiste à préférer le démantèlement immédiat (par exemple en France, en Italie, au Royaume-Uni, en Espagne, au Japon). Les craintes que suscitent dans la société les conséquences d'un démantèlement différé semblent jouer un rôle important, du moins au niveau des gouvernements. La participation des intéressés/collectivités locales au processus de décision varie d'un pays à l'autre.

Les incertitudes pesant en particulier sur la préservation des connaissances et des compétences, l'évolution des coûts/fonds et des charges financières ainsi que sur la gestion des déchets et la libération des sites et des matériaux sont aussi extrêmement importantes.

La décroissance radioactive semble ne pouvoir être mise à profit que dans un certain type d'installation et est souvent moins importante que d'autres facteurs, comme les éventuelles économies/les doses reçues par les travailleurs par opposition à ce qu'elles seraient durant un confinement sûr. Les techniques de télémanipulation existent et ont été utilisées à plusieurs occasions. Le coût de ces techniques ne pose pas non plus de problèmes, de sorte qu'une pression moindre est exercée en faveur d'un délai permettant la décroissance radioactive avant d'entreprendre les opérations.

La réduction des coûts sont extrêmement importants pour les exploitants des installations nucléaires mais aussi pour les autorités de sûreté qui doivent

s'assurer que les fonds indispensables seront disponibles le moment venu. Des calculs précis des coûts, le provisionnement de sommes suffisantes pendant l'exploitation et la sécurité du fonds constitué, en particulier, lorsque le démantèlement est différé jouent un rôle déterminant. Néanmoins, la minimisation des coûts reste un facteur décisif, par exemple, lorsque l'on planifie le démantèlement de plusieurs installations situées sur un même site.

Le degré de certitude au sujet de l'état final visé peut influencer sur le choix du type de démantèlement, immédiat ou différé. Lorsque la politique nucléaire future est clairement établie, qu'elle consiste à poursuivre le développement du nucléaire ou à l'abandonner, il n'y a aucun risque à choisir le démantèlement immédiat. En revanche, si la politique n'est pas claire et que l'on ne sait pas quel doit être l'état final du site, et/ou qu'un dépôt n'est pas disponible pour recevoir les déchets, il y a une tendance à choisir le report des opérations de démantèlement jusqu'au moment où un dépôt existera et qu'on saura ce que l'on veut faire du site.

La multitude des facteurs déterminants et leur extrême diversité permettent de comprendre aisément que le choix de la stratégie de démantèlement diffère d'un pays à l'autre pour une même installation ou même dans un même pays pour des sites différents.

RÉFÉRENCES

1. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire : *The Decommissioning and Dismantling of Nuclear Facilities in OECD/NEA Member Countries – A Compilation of National Fact Sheets*.
www.nea.fr/html/rwm/wpdd/welcome.html
2. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire : *Strategy Selection for the Decommissioning of Nuclear Facilities*, Seminar Proceedings, Tarragone, Espagne, 1-4 septembre 2003, OECD/NEA, Paris (2004)
3. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire : *Safe, Efficient and Cost-Effective Decommissioning*, WPDD Workshop, Rome, Italie, 6-10 septembre 2004, NEA/RWM/WPDD(2005)6, OECD Nuclear Energy Agency, Paris (2005). www.nea.fr/rwm/docs/2005/rwm-wpdd2005-6.pdf
4. US, NRC, Clarification of the rules regarding entombment:
nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/decommissioning.html
5. Agence internationale de l'énergie atomique : *Safe Decommissioning for Nuclear Activities*, Proceedings of an International Conference, Berlin, Allemagne, 14-18 octobre 2002, IAEA, Vienne (2003)
http://www-pub.iaea.org-MTCD-publications-PDF-Pub1154_web.pdf
6. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire : *Démantèlement des centrales nucléaires : Politiques, stratégies et coûts*, OCDE/AEN, Paris (2003).
7. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire : *Removal of Regulatory Control for Materials and Sites – National Regulatory Positions*, NEA/RWM/RF(2004)6.
<http://www.nea.fr-html-rwm-docs-2004-rwm-rf2004-6.pdf>
8. Agence internationale de l'énergie atomique : *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption, and Clearance*, Safety Standards Series No. RS-G-1.7, IAEA, Vienne (2004).
http://www-pub.iaea.org-MTCD-publications-PDF-Pub1202_web.pdf
9. “Nuclear Plant Decommissioning, Technology, Cost Evaluation, Management, Regulation, Safety, Health and Environment Protection”, M. Cumo, I. Tripputi, U. Spezia, ISBN 88-900812-0-1, SOGIN, 2004.
10. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the safety of Radioactive Waste management (IAEA, 1997).

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE