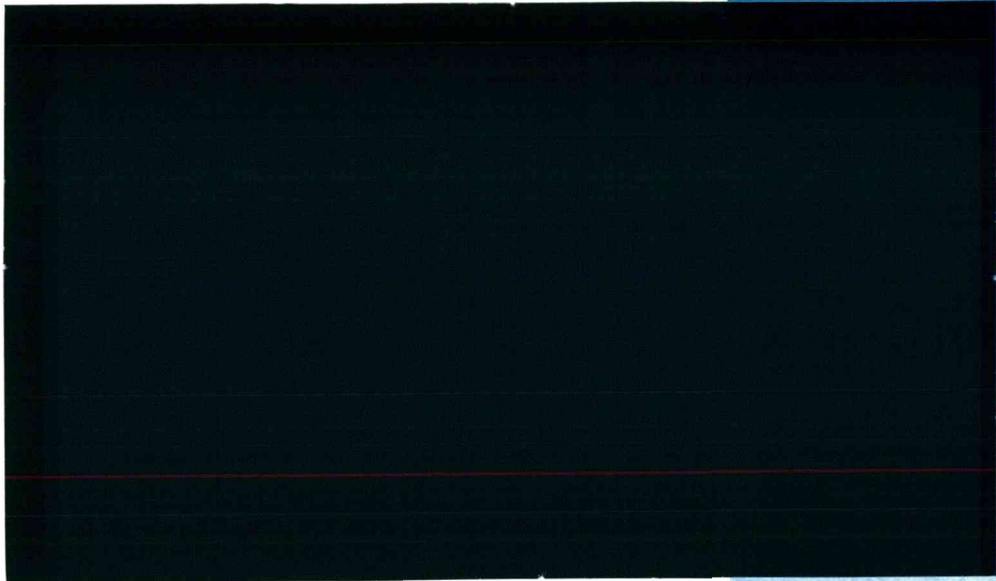


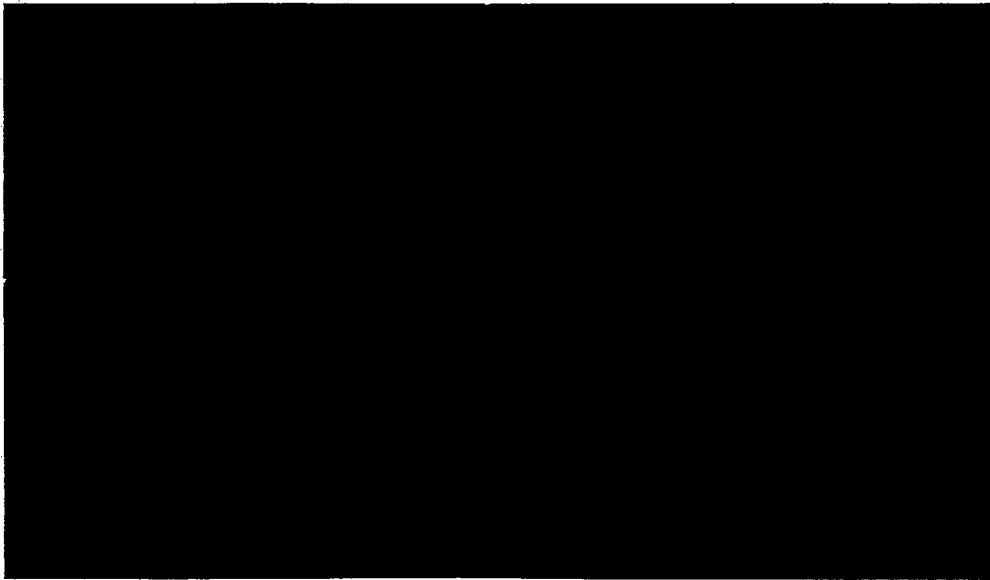
BLG-780



Actuele vragen rond kernenergie  
Questions actuelles sur l'énergie nucléaire



**SCK • CEN**  
STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE  
CENTRE D'ÉTUDE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE



**Laboratories:**

Boeretang 200

B-2400 Mol

Tel.: (+32-14) 33 21 11

Fax: (+32-14) 31 50 21

**Registered Office:**

Herrmann Debrouxlaan 40-42

B-1160 Brussels

Tel.: (+32-2) 661 19 51

Fax: (+32-2) 661 19 58

**Contact (Mol):**

Anne Verledens

Public Relations

Tel.: (+32-14) 33 25 86

Fax: (+32-14) 33 25 84

e-mail: [averlede@sckcen.be](mailto:averlede@sckcen.be)

# Déclassement et restauration Des sites nucléaires

Luc Noynaert  
André Rahier  
Pascal Deboodt  
Vincent Massaut



SCK•CEN – BLG780, Septembre 1998



## Inleiding

De wereldwijde discussies over het energiebeleid en zijn impact op het leefmilieu doen meer dan ooit een beroep op de verbeelding van de onderzoekers actief op dit gebied. Kernenergie kan een belangrijke rol spelen in de tegemoetkoming aan een (steeds grotere) vraag naar energie, op voorwaarde dat de bevolking en de investeerders overtuigd kunnen worden dat kernenergie veilig en economisch aantrekkelijk is en geen verborgen risico's met zich meebrengt. Het SCK•CEN ziet het als een plicht ten opzichte van de toekomstige generaties om een bijdrage te leveren aan het algemene energiedebat, zodat beslissingen hieromtrent niet emotioneel maar wetenschappelijk objectief kunnen genomen worden.

Dit rapport maakt deel uit van een reeks documenten dat de actuele vragen rond kernenergie vanuit een wetenschappelijk perspectief - doch met een kritische geest - benadert. Een lijst van de bestaande rapporten is weergegeven op de volgende bladzijde. De documenten werden opgesteld als antwoord op steeds terugkomende vragen omtrent kernenergie en behandelen zodoende de onderwerpen die vandaag van belang zijn bij de beslissingen in verband met de toepassing van de kernenergie en het onderzoek terzake:

- een visie over de toekomst van de kernenergie in het algemeen, met een bespreking van economische, sociale en politieke factoren en milieuaspecten die deze toekomst kunnen beïnvloeden;
- de rol van de huidige nucleaire reactoren en hun verdere betrokkenheid in de energievoorziening;
- de ontwikkelingen die plaats grijpen in de beheersing van de brandstofcyclus;
- een uitgebreid technologisch en economisch assessment over hybride systemen, o.a. de door Rubbia aangegeven nieuwe nucleaire produktiewijze van energie;
- andere nieuwe nucleaire ontwikkelingen omtrent splitsingsenergie;
- de vooruitgang van de fusie-energie.

**Referenties****Rapporten "Actuele vragen rond kernenergie - Questions actuelles sur l'énergie nucléaire"**

- SCK•CEN / BLG-771    Perspectives pour l'énergie nucléaire  
Jean-Marie Baugnet
- SCK•CEN / BLG-772    Review of possible nuclear fuel cycles in Belgium  
Charles De Raedt
- SCK•CEN / BLG-773    Beheer van radioactief afval  
Pierre Van Iseghem
- SCK•CEN / BLG-774    Le combustible usé et le plutonium en tant que déchets nucléaires - gestion à long terme  
Guy Collard
- SCK•CEN / BLG-775    Radiologische impact van de splijstofcycli  
Mark Loos
- SCK•CEN / BLG-776    Nieuwe reactorconcepten  
Gaston Meskens
- SCK•CEN / BLG-777    Perspectieven voor de fusie-technologie  
Frans Moons
- SCK•CEN / BLG-778    Snelle reactoren  
Jean Dekeyser
- SCK•CEN / BLG-779    Hybride systemen  
Luc Van Den Durpel
- SCK•CEN / BLG-780    Déclassement et restauration des sites nucléaires  
Luc Noynaert
- SCK•CEN / BLG-781    Proliferatierisico's  
Roland Carchon
- SCK•CEN / BLG-782    Plan Life Management  
José Van de Velde



# Table des matières

5	Résumé
6	1 Introduction
8	2 Aspects légaux réglementaires et normatifs
	2.1 demande et autorisation de déclassement
	2.2 Moyens humains et techniques
	2.3 Critères de Libération
	2.4 Déchets radioactifs
13	3 Etat de l'art
16	4 Gestion des flux de matériaux de déclassement
	4.1 Aspects sociaux
	4.2 Gestion des flux de matériaux
21	5 Stratégies de déclassement
	5.1 Niveaux et phases de déclassement
	5.2 Stratégies de déclassement
23	6 Evaluation des risques et impacts sur l'environnement
25	7 Besoins en R&D
28	8 Coûts et modes de financement
	8.1 Méthodologie d'établissement des coûts de déclassement
	8.2 Coûts de déclassement
	8.3 Provisions de déclassement
36	9 Conclusions
37	10 Lexique
40	11 Bibliographie



## Résumé

Le déclassement d'une installation nucléaire (c'est-à-dire les centrales de puissance, les réacteurs expérimentaux, les usines de fabrication des combustibles, les centres de recherche, les laboratoires, les accélérateurs de particules, etc.) consiste en un ensemble d'opérations techniques et administratives qui commencent lors de sa mise à l'arrêt définitif et qui se terminent lorsque le site concerné peut être banalisé sans restriction particulière c'est-à-dire que le site est rendu propre à d'autres usages. Suivant le type d'installations concernées, les opérations de déclassement peuvent s'effectuer selon des stratégies impliquant plusieurs phases et étapes de déclassement entre lesquelles peuvent s'écouler des périodes d'attente parfois très importantes (de quelques années à plusieurs dizaines d'années).

Le déclassement d'installations nucléaires a démarré en Belgique en 1988 avec les programmes de démantèlement de l'ancienne usine de retraitement EUROCHEMIC à Dessel, du premier réacteur à eau pressurisée d'Europe, le BR3 et d'anciens laboratoires de recherche au SCK•CEN (Centre d'études de l'Energie Nucléaire) à Mol, ainsi que de l'assainissement de l'ancien département Déchets du SCK•CEN.

Actuellement, les activités de déclassement s'inscrivent dans un contexte légal et administratif qui ne diffère pas fondamentalement de celui qui prévaut pendant la phase d'exploitation de l'installation. Certains aspects spécifiques ont cependant été précisés par des lois et arrêtés royaux. Ils concernent:

- la responsabilité de l'exploitant à évaluer les moyens techniques et financiers qui seront nécessaires à son déclassement;
- le rôle de l'ONDRAF dans le contrôle et l'approbation de ces évaluations.

D'autres aspects, concernant notamment les aspects de gestion d'un projet de déclassement et en particulier de gestion des flux de matières provenant du déclassement, font l'objet de recommandations de la part d'organismes internationaux comme l'AIEA et l'OCDE.

Dans la plupart des cas, le déclassement d'une installation nucléaire peut être réalisé, en toute sécurité, avec les techniques existantes. Des programmes R&D sont cependant nécessaires pour optimiser les activités de déclassement, en particulier en ce qui concerne les techniques de minimisation, de traitement et de conditionnement des déchets, la minimisation des doses et la sécurité des travailleurs.

Si le déclassement d'installations nucléaires est devenu aujourd'hui une réalité, des incertitudes pèsent sur la gestion des projets de déclassement, présents et futurs. Ces incertitudes concernent les évolutions de certains aspects du déclassement sur des périodes de quelques années à quelques dizaines d'années. Il s'agit des évolutions:

- du cadre légal et réglementaire précisant les conditions de protection des travailleurs, de la population et du milieu;
- de la politique nationale en matière de gestion des déchets, c'est-à-dire l'existence de sites d'entreposage final en surface et en couches géologiques profondes des déchets radioactifs;
- des coûts du déclassement, notamment le coût des déchets;
- des taux d'actualisation qui influencent le montant des provisions de déclassement à constituer avant la mise à l'arrêt définitif de l'installation.

# 1 Introduction

Le déclassement d'une installation nucléaire consiste en un ensemble d'opérations techniques et administratives qui commencent lors de sa mise à l'arrêt définitif et qui se terminent lorsque le site concerné peut être banalisé sans restriction particulière c'est-à-dire que le site est rendu propre à d'autres usages.

Suivant le type d'installations nucléaires concernées, centrales de puissance, réacteurs expérimentaux, usines de fabrication des combustibles, centres de recherche, laboratoires, accélérateurs de particules, etc., les opérations de déclassement peuvent s'effectuer en plusieurs étapes entre lesquelles peuvent s'écouler des périodes d'attente parfois très importantes (de quelques années à plusieurs dizaines d'années).

Afin de s'assurer de la disponibilité des moyens financiers, techniques et humains depuis la mise à l'arrêt définitif de l'installation jusqu'à la libération inconditionnelle du site, le déclassement d'une installation nucléaire se prépare légalement dès sa mise en service et se poursuit durant toute sa durée d'exploitation. Cette préparation fait l'objet d'un document appelé plan de déclassement qui est révisé tous les cinq ans.

Le déclassement d'installations nucléaires a démarré en Belgique en 1988 avec les programmes de démantèlement de l'ancienne usine de retraitement EUROCHEMIC à Dessel, du premier réacteur à eau pressurisée d'Europe, le BR3 au SCK•CEN (Centre d'études de l'Energie Nucléaire) à Mol, et de l'assainissement de l'ancien département Déchets du SCK•CEN. Il s'est concrétisé avec l'obtention d'attestations de libération inconditionnelle de quatre bâtiments du SCK•CEN qui, suite à l'arrêté royal 16.10.1991 [AR-91a], devaient être et ont été transférés au VITO (Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek). La problématique du déclassement des installations nucléaires et de la restauration des sites concernent, en Belgique, les sites suivants:

## 1 Centrales nucléaires de puissance:

- 1.1 Doel 1, PWR (Pressurised Water Reactor) de 390 MW<sub>e</sub> mis en service en 1975;
- 1.2 Doel 2, PWR de 390 MW<sub>e</sub> mis en service en 1975;
- 1.3 Doel 3, PWR de 900 MW<sub>e</sub> mis en service en 1982;
- 1.4 Doel 4, PWR de 980 MW<sub>e</sub> mis en service en 1985;
- 1.5 Tihange 1, PWR de 870 MW<sub>e</sub> mis en service en 1975;
- 1.6 Tihange 2, PWR de 900 MW<sub>e</sub> mis en service en 1983;
- 1.7 Tihange 3, PWR de 980 MW<sub>e</sub> mis en service en 1985.



**2 Réacteurs expérimentaux:**

- 2.1 Mol-BR1, réacteur graphite-gaz de 4 MW mis en service en 1956;
- 2.2 Mol-BR2, réacteur de tests de matériaux de 60 à 120 MW(max.) mis en service en 1961;
- 2.3 Mol-BR3, réacteur à eau pressurisée (PWR) de 10,5 MW<sub>e</sub> mis en service en 1962 et en démantèlement depuis 1989;
- 2.4 Mol-VENUS, assemblage critique mis en service en 1964;
- 2.5 Mol-BR02, modèle critique du BR2 mis en veilleuse en 1987;
- 2.6 Gand-THETIS, réacteur piscine (avec présence également de graphite) mis en service en 1967 avec une puissance de 15 kW, il subit des modifications dans les années 1970 lui permettant de fonctionner à 250 kW.

**3 Fabrication de combustibles:**

- 3.1 Belgonucléaire, fabrique de combustible MOX (mixed oxide fuel Pu-UO<sub>2</sub>);
- 3.2 FBFC (Franco-Belge de Fabrication de Combustibles).

**4 Traitement des déchets et du combustible:**

- 4.1 Belgoprocess, la filiale industrielle de l'ONDRAF/NIRAS de traitement et conditionnement des déchets radioactifs;
- 4.2 Département WASTE transféré en 1988 du SCK•CEN à l'ONDRAF/NIRAS (Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies) contenant notamment deux incinérateurs, des installations de traitement d'effluents et de stockage de déchets. Certaines installations sont encore momentanément exploitées par Belgoprocess;
- 4.3 Eurochemic, l'ancienne installation de retraitement du combustible située à Dessel, est en démantèlement depuis 1990 et contient encore plus d'une centaine de cellules contaminées principalement par de l'uranium, du plutonium et des produits de fission

**5 Laboratoires de recherche:**

- 5.1 SCK•CEN qui, en plus de réacteurs expérimentaux, comprend aussi des laboratoires de haute et moyenne activité, de radiochimie et de radiobiologie;
- 5.2 IRMM (Institut des Matériaux et Mesures de Référence) comprenant plusieurs accélérateurs de particules et les laboratoires associés.

**6 Autres:**

- 6.1 IRE (Institut des Radioéléments) comprenant un cyclotron, fournissant des protons de 90 MeV, et deux irradiateurs au <sup>60</sup>Co: Gammir-I de 1,5 MCi utilisé pour la stérilisation de matériel médico-chirurgical à usage unique et Gammir-II de 0.5 MCi pour le radiotraitement d'aliments ainsi que de nombreuses cellules chaudes et des boîtes à gants;
- 6.2 Hôpitaux et Universités (accélérateurs de particules).

Outres ces installations nucléaires qui sont classées conformément à l'arrêté royal 1987 [AR-87], il existe des installations industrielles non classées. Exemptes de certains contrôles, elles peuvent néanmoins être amenées à générer des résidus de procédés où la radioactivité est concentrée en des quantités telles que des techniques spécifiques de traitement de ces résidus et d'assainissement des sites devront être appliquées. Il s'agit par exemple, des installations de traitement et extraction de minerais ou de phosphates. Un exemple en Belgique, est le site de Olen (usine de production du radium). Pour ces sites comme pour les sites classés, des techniques de restauration devront être appliquées pour permettre leur banalisation.

# 2

## Aspects légaux réglementaires et nominatifs

### 2.1 Demande et Autorisation de déclassement

En Belgique, le déclassement ne fait pas actuellement l'objet d'une législation spécifique détaillée. Le déclassement s'apparente à une "modification importante de l'installation". En ces termes, le déclassement est régi par la loi du 29 mars 1958 et l'arrêté royal du 28 février 1963, portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes, ainsi que par ses amendements successifs [AR-87].

Cependant, pour pouvoir mettre une installation nucléaire à l'arrêt, l'exploitant est obligé, conformément à l'arrêté royal du 16.10.91 [AR-91b], de soumettre à l'ONDRAF/NIRAS le plan de déclassement final de l'installation. Ce plan de déclassement final répondra aux prescriptions définies par l'Organisme [SC-94]. Ces prescriptions sont elles-mêmes basées sur un document de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique) [IAEA-90].

Il est à noter que par ce même arrêté royal [AR-91b], l'exploitant de toute installation nucléaire, à l'exception des centrales de puissance qui font l'objet depuis 1985 d'une convention particulière avec l'Etat, doit soumettre, à l'ONDRAF/NIRAS, un plan de déclassement, dit "initial", décrivant les moyens humains, techniques et financiers qu'il compte mettre en oeuvre à l'arrêt définitif de l'installation pour répondre à ses propres obligations en matière de déclassement. Ce plan de déclassement initial est révisé tous les 5 ans et ensuite, pour la dernière fois, 3 ans avant la mise à l'arrêt définitif de l'installation. Il est alors appelé plan final de déclassement. Il comporte une description de la méthode de constitution des provisions de déclassement.

Récemment, la mission de l'ONDRAF/NIRAS relative à l'inventaire a été précisée. Cette mission comprend l'établissement d'un répertoire de localisation et d'état de toutes les installations nucléaires et de tous les sites contenant des substances radioactives, l'estimation de leur coût de déclassement et d'assainissement, l'évaluation de l'existence et de la suffisance de provisions pour le financement de ces opérations futures ou en cours et la mise à jour quinquennale de cet inventaire [LO-97].

### 2.2 Moyens humains et techniques

Les moyens humains et techniques à engager dans le cadre du déclassement d'une installation doivent satisfaire aux prescriptions légales de sécurité "industrielle" (Règlement Général pour la Protection du Travail, "R.G.P.T") et "radiologique" (loi du 29.03.1958 et AR du 28.02.1963 - avec amendements - sur l'emploi des radiations ionisantes). Dans les

amendements de cet arrêté royal, la limite autorisée de dose annuelle aux travailleurs de l'industrie nucléaire est de 50 mSv/an.

Actuellement, l'évolution réglementaire [CEC-96] tend à une baisse des limites autorisées des doses mensuelle et annuelle aux travailleurs de l'industrie nucléaire (nouvelle valeur proposée 20 mSv/an, vis-à-vis de la limite actuelle de 50 mSv/an). La modification de ces limites peut avoir, par son impact sur les moyens humains et techniques à engager, un impact non négligeable sur le coût du programme de déclassement.

De plus, les opérations de déclassement, comme toute autre opération de type nucléaire, font l'objet d'études d'optimisation de la radioprotection (application du principe *As Low As Reasonably Achievable*, ALARA) pour les doses distribuées aux travailleurs et à la population.

## 2.3 Critères de libération

Comme indiqué précédemment, l'objectif du déclassement d'une installation nucléaire est la libération sans conditions. Il faut noter que la problématique de la libération sans restrictions ne concerne pas uniquement le site de l'installation nucléaire, mais aussi la gestion des matériaux provenant du démantèlement de cette même installation. Ce niveau est actuellement, de manière implicite, défini par l'arrêté royal du 28 février 1963 [AR-87] et ses amendements. Il y est stipulé "qu'est considéré comme matière radioactive, toute matière montrant un rayonnement supérieur au bruit de fond du rayonnement naturel". Or ce bruit de fond du rayonnement naturel varie dans le temps et suivant les régions.

Les organismes internationaux tels que l'ICRP, l'AIEA, la CE (Commission Européenne) et l'AEN/OCDE (Agence de l'Energie Nucléaire/ Organisation pour la coopération et le Développement Economique) tentent d'harmoniser les directives et les règlements existants. Cette harmonisation se base d'abord sur l'adoption de deux principes, à savoir:

- les risques radiologiques, pour les individus, pouvant résulter de la pratique faisant l'objet d'une libération sont suffisamment faibles pour ne pas entrer dans le champ de la réglementation;
- l'impact radiologique collectif de la pratique faisant l'objet d'une libération est suffisamment faible pour ne pas entrer dans le champ de la réglementation.

Sur la base d'études de risques liés à des scénarii, l'AIEA et la CE ont traduit ces principes en des critères quantitatifs qui sont [IAEA-88]:

- la dose individuelle pouvant être reçue par tout citoyen en raison de la pratique faisant l'objet d'une libération est maximum de 10  $\mu$ Sv/an (*ndlr*: 10  $\mu$ Sv/an correspond à la dose individuelle annuelle due à la fréquentation d'un poste de télévision à raison d'une demi heure par jour, ou encore à 4 jours par an de séjour à la montagne);
- la dose collective engagée par la pratique faisant l'objet d'une libération est maximum de 1 homme.Sv/an.

L'AIEA [IAEA-96] et la CE [CEC-96] ne considèrent que le risque radiologique associé à la pratique de libération. Or, une étude basée sur les risques ne peut pas, si elle veut être optimisée, oublier de comparer les risques radiologiques liés à la pratique de libération avec les risques liés à une pratique de non libération. Dans ce dernier cas, les risques sont liés aux activités industrielles classiques qui, par exemple dans le cas de l'extraction minière, ne sont pas négligeables.

Pour des raisons pratiques, ces critères se traduisent en niveaux de libération c'est-à-dire des valeurs guides d'activité par unité de masse (Bq/g) ou de surface (Bq/cm<sup>2</sup>). Ces niveaux de libération sont à fixer par les autorités compétentes.

L'AIEA et la CE travaillent encore à l'élaboration de recommandations de valeurs guides pour la libération des matières solides. Ces recommandations se basent sur une

évaluation de différents scénarii. A titre informatif, les valeurs guides données ci-après correspondent aux niveaux en-dessous desquels la libération inconditionnelle serait permise suivant le document provisoire de l'AIEA. Il s'agit de:

- 0,3 Bq/g pour la plupart des émetteurs alpha (par exemple  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) et pour les émetteurs gamma de haute énergie (par exemple  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ );
- des valeurs allant jusqu'à 3000 Bq/g pour les émetteurs bêta/gamma de faible énergie.

Les valeurs guides pour la libération inconditionnelle sont en cas de contamination surfacique (Bq/cm<sup>2</sup>) les mêmes qu'en cas d'activité spécifique (Bq/g).

Néanmoins, la CE propose, dans le cas du recyclage de mitraille métallique, des valeurs guides légèrement différentes, à savoir:

- 1 Bq/g ou 10 Bq/cm<sup>2</sup> pour les émetteurs gamma de haute énergie;
- 1 Bq/g ou 0,1 Bq/cm<sup>2</sup> pour la plupart des émetteurs alpha et;
- des valeurs allant jusqu'à 10.000 Bq/g ou 10.000 Bq/cm<sup>2</sup> pour les émetteurs bêta/gamma de faible énergie.

Comme indiqué précédemment, les valeurs actuelles doivent être considérées comme des valeurs-guides. La définition de limites constitue un sujet de discussion permanent tant au niveau belge qu'au niveau international. Les propositions les plus récentes tentent de relier les critères quantitatifs de libération aux limites d'exemption, prenant en compte les masses libérées, ou, en d'autres mots, l'activité libérée par pratique. Au stade actuel, les valeurs-guides sont, comme leur nom l'indique, destinées davantage à fixer un ordre de grandeur plutôt que des limites au sens strict.

Certains pays ont déjà légiféré et défini des niveaux de libération inconditionnelle. Ces niveaux varient cependant d'un pays à l'autre (cfr. Table 1) [ME-97].

En France, le débat sur les limites de libération et d'exemption a conduit à l'introduction d'un nouveau concept appelé "Très Faible Activité" (TFA) [ME-97]. Un déchet TFA a une activité spécifique inférieure à 100 Bq/g, valeur minimale considérée par la réglementation des matériaux radioactifs (contrôlés), dans la législation française actuelle. Le concept TFA est lié à une répartition des bâtiments d'un site nucléaire en zones nucléaires et en zones non nucléaires. Les matériaux provenant des zones non nucléaires sont libérables sans aucun contrôle. Les matériaux des zones nucléaires répondant au critère TFA peuvent être évacués en une décharge spécifique TFA similaire aux décharges pour déchets toxiques ou industriels. Les matériaux de ces zones ne répondant pas à ce critère TFA sont considérés comme des déchets radioactifs à évacuer dans des décharges spécifiques (comme par exemple, le Centre de l'Aube).

Tableau 1

Valeurs légales en matière de limites de libération et d'exemption dans quelques pays européens [ME-97].

	Niveaux	Allemagne	Finlande	Suède
1.0	Libération inconditionnelle			
1.1	Contamination surfacique b-g Bq/cm <sup>2</sup>	0,5 ou 5,0 (faible énergie)	0,4	4,0
	a Bq/cm <sup>2</sup>	0,05	0,04	0,4
1.2	Activité spécifique a - b/g Bq/g	0,1	1,0	0,5
	a Bq/g		0,1	0,1
2.0	Libération conditionnelle			
2.1	Fusion (Bq/g)	1,0		0,5 (moyenne) 1,0 (maximum)
2.2	Mise en décharge a - b/g Bq/g			5,0
	a Bq/g			0,5
2.3	Autre (permis spécial) Bq/g	0,5	10	
3.0	Exemption (Bq/g)			100

Une activité spécifique de 100 Bq/g est aussi la limite d'exemption appliquée dans certains pays comme par exemple, la Suède et la Belgique. Des matériaux d'une activité spécifique inférieure à 100 Bq/g peuvent donc être manipulés dans des installations non nucléaires et ne sont soumis à aucun contrôle.

En Belgique, chaque responsable du Contrôle physique d'un site fixe pour son domaine de responsabilité des procédures et méthodes de libération des matériaux. Ces procédures sont mises au point en concertation avec les Organismes de Contrôle et les autorités compétentes ("Service de Protection contre les Radiations Ionisantes" (SPRI)). Il s'agit d'une pratique transitoire car l'arrêté royal de 1991 [AR-91b] a chargé l'ONDRAF/NIRAS de proposer des limites en matière de libération.

Il faut noter que les niveaux de libération ont un impact immédiat sur les coûts du déclassement. En effet, plus les valeurs des niveaux de libération sont faibles, plus les techniques de décontamination doivent être performantes et plus les appareils de mesure de libération doivent être sensibles. De plus, les limites de libération exprimées par unité de surface obligent à mesurer toutes les surfaces d'une pièce à libérer, ce qui n'est pas toujours possible dans le cas de structures compliquées ou présentant des surfaces internes difficiles d'accès. C'est pourquoi la libération requiert soit le recours à des techniques de décontamination et de mesure de plus en plus performantes (et donc bien souvent plus onéreuses), soit à une mesure de libération après une étape supplémentaire d'homogénéisation, comme par exemple la fusion des métaux.

Pour apprécier les différents niveaux de libération et les risques qui y sont intimement liés, il est bon de rappeler que:

- en Belgique, la réglementation actuelle prévoit que les établissements, où sont mises en oeuvre des quantités variables de substances radioactives de concentration inférieure à 100 Bq/g ou 500 Bq/g pour les substances solides naturelles, sont rangés dans la classe IV, au sens de l'arrêté royal de 1987 [AR-87]. Ils sont donc exemptés de certaines obligations réglementaires et notamment de la mise en place d'un service de Contrôle Physique.
- il est maintenant reconnu que certaines activités non nucléaires peuvent par leur activité ou par les sous-produits qu'elles génèrent engager des doses supérieures à celles retenues à la base des niveaux de libération [ME-97],[SC-97a]. Il s'agit par exemple:
  - du gypse, sous-produit de la production d'acide phosphorique, qui est rejeté dans le Rhin en Hollande ce qui induit une dose individuelle estimée à 150  $\mu$ Sv/an et une dose collective de 170 homme.Sv/an;
  - de la combustion de la tourbe en Suède qui induirait une dose individuelle équivalente à 4000  $\mu$ Sv/an;
  - de la production de pétrole qui produira dans les vingt prochaines années (à partir de 1991) aux Etats Unis environ 8,3 millions de tonnes de boues et d'autres résidus d'activité spécifique moyenne de 5,7 Bq/g;
  - du traitement de l'eau potable par des résines sélectives au radium produisant sur une période de 20 ans près de 840 000 tonnes ayant une activité spécifique de 1300 Bq/g;
  - des cendres provenant de la combustion du charbon présentent une activité spécifique allant jusqu'à 5 Bq/g.

## 2.4 Déchets radioactifs

Les matériaux qui ne peuvent être libérés inconditionnellement ou conditionnellement sont à considérer comme des déchets radioactifs. Ces déchets radioactifs font aussi l'objet de lois et règlements, ainsi que de règles établies par l'organisme de gestion des déchets radioactifs (en Belgique, ONDRAF/NIRAS). Après caractérisation sur le lieu de production, ils font l'objet d'une demande de prise en charge par l'ONDRAF. Les déchets sont alors enlevés, traités et conditionnés à BELGOPROCESS en fonction de la catégorie à laquelle ils appartiennent.

Le fait que la Belgique n'ait pas encore défini sa stratégie en matière d'évacuation des déchets radioactifs, ni le dispositif d'enfouissement de surface ou géologique en fonction de la spécificité des déchets, ajoute une incertitude supplémentaire sur les montants à

prévoir pour le déclassement d'une installation nucléaire. (Le coût '98 estimé de l'enfouissement est de 296.000 BEF/m<sup>3</sup> pour l'enfouissement de surface et de 539.000 BEF/m<sup>3</sup> pour l'enfouissement géologique).

Enfin, les opérations de déclassement génèrent aussi des effluents liquides et gazeux. Le rejet dans l'environnement d'effluents liquides et gazeux est réglementé par l'arrêté royal du 28 février 1963 et ses amendements [AR-87]. Les critères et limites de rejet sont finalement fixés dans les autorisations d'exploitation de chaque installations ou site. Ces prescriptions restent valables pendant la phase de déclassement de l'installation ou du site.

# 3

## Etat de l'art

Le déclassement d'installations nucléaires est devenu une réalité. Ainsi, l'AEN suit et analyse régulièrement l'évolution de trente projets de déclassement (tableau 2) [AEN-96a]. Ces projets concernent les différentes étapes du cycle du combustible depuis les usines d'enrichissement en passant par les réacteurs et les usines de retraitement du combustible. Pour la Belgique, on notera les projets de déclassement d'Eurochemic et de BR3, ce dernier étant un des quatre projets pilotes de déclassement repris dans le programme de recherche et de développement de la CE.

Certains déclassés sont terminés comme, par exemple, le déclassement des réacteurs de Fort St. Vrain et de Shippingport [AEN-96a]. En Belgique, 4 bâtiments du SCK•CEN ont été transférés au VITO après avoir été déclassés (1993-1998).

Ces différents projets de déclassement font appel à des techniques industrielles adaptées aux spécificités du démantèlement et de la décontamination. Ils permettent aussi de mettre au point de nouvelles techniques. L'état de l'art en matière de techniques de déclassement font notamment l'objet de deux manuels, l'un édité par la CE [CEC-95] et l'autre par la DOE (Department of Energy) [DOE-94].

Enfin, il faut noter que l'AIEA élabore un document intitulé "State of the Art in Decommissioning", rédigé par de nombreux experts internationaux où la Belgique est représentée.

Dans ces projets, l'accent est mis sur la minimisation des déchets à chaque étape du processus de déclassement depuis le choix des techniques de découpe jusqu'au choix des procédés de décontamination et ou de recyclage. Le tableau 3 montre à quel point ce souci est présent dans l'esprit des démantelateurs [ME-97].

Tableau 2

Liste des installations en démantèlement suivies par l'AEN [AEN-96a].

	Installation	Type	Opération	Stratégie	Planning
1	Eurochemic (Belgique)	Retraitement du combustible	1966-1974	Niveau 3	1989-2004
2	BR3 (Belgique)	PWR	1962-1987	Niveau 3	1989-2010
3	Gentilly (Canada)	BWR modéré à l'eau lourde	1967-1982	Variante du Niveau 1	1984-1986
4	NPD (Canada)	PHWR CANDU	1967-1987	Variante du Niveau 1	1987-1988
5	Tunney's Pasture (Canada)	Manipulation d'isotopes	1952-1983	Niveau 3	1990-1994
6	Rapsodie (France)	MFBR (expérimental)	1967-1982	Niveau 2	1983-1994
7	G2/G3 (France)	GCR	1958-1980	Niveau 2	1982-1993
8	AT-1 (France)	Retraitement du combustible	1969-1979	Niveau 3	1982-1998
9	EL4 (France)	Réacteur refroidi au gaz et modéré à l'eau lourd e	1966-1985	Niveau 2	1989-1999
10	Building 211 (France)	Atelier de retraitement	1963-1994	Niveau 3	1995-2010
11	KKN-Niederachbach (Allemagne)	Réacteur refroidi au gaz et modéré à l'eau lourd e	1972-1974	Niveau 3	-1994
12	MZFR Karlsruhe (Allemagne)	HWR	1965-1984	Niveau 3	1984-2001
13	KWL Lingen (Allemagne)	BWR	1968-1977	Niveau 1	1985-1988
14	Greifswald (Allemagne)	VVER	1973-1990	Niveau 3	-
15	HDR (Allemagne)	BWR	1969-1971	Niveau 3	-
16	WAK (Allemagne)	Installation de retraitement	1971-1990	Niveau 3	-
17	AVR (Allemagne)	HTGR	1967-1988	Niveau 1	-
18	Carigliano (Italie)	BWR	1964-1978	Niveau 1	1985-1995
19	JPDR (Japon)	BWR	1963-1976	Niveau 3	1986-1996
20	JRTF (Japon)	Installation de retraitement	1968-1970	Niveau 3	1991-2004
21	Bohunice A1 (Slovaquie)	Réacteur refroidi au gaz et modéré à l'eau lourd e	1972-1979	Niveau 1	-
22	Vandellós 1 (Espagne)	GCR	1972-1989	Niveau 2	1992-2000
23	WAGR (Royaume Uni)	AGR	1962-1981	Niveau 3	1983-1998
24	BNFL-Sellafield (Royaume Uni)	Fabrication UO <sub>2</sub> , MOX	1969-1976	Niveau 3	1986-1990
25	BNFL-B204 (Royaume Uni)	Installation de retraitement	1952-1973	Niveau 2	1990-2010
26	Shippingport (USA)	PWR	1957-1982	Niveau 3	1985-1989
27	West Valley (USA)	Installation de retraitement	1966-1972	Niveau 3	1982-2024
28	EBWR (USA)	BWR	1956-1967	Niveau 3	1986-1996
29	Fort St Vrain (USA)	HTR	1976-1989	Niveau 3	1972-1995
30	FEMP (USA)		1954-1956	Niveau 3	-



Légende des types de réacteurs:

AGR: Advanced Gas cooled Reactor HTR: High Temperature Reactor  
 BWR: Boiling Water Reactor; HWR: Heavy Water moderated Reactor  
 Candu: Canadian Deuterium/Uranium HWR; LWGR: Light Water Graphite Reactor  
 FBR: Fast Breeder Reactor; PWR: Pressurised Water reactor  
 GCR: Gas-Cooled Reactor (Magnox) VVER: PWR, Russian version

**Tableau 3**

**Bilan en matière de flux de matériaux dans les différents projets de déclassement suivis par l'AEN [ME-97].**

Pratique	Quantités (tonnes)	Matière
<b>Libération inconditionnelle</b>	6.750	acier carbone
	900	acier inox
	420	autres métaux (sans décontamination)
	2.130	autres métaux (après décontamination)
	2.800	gravier
<b>Mise en décharge sans restrictions radiologiques</b>	156.000	divers
	34.700	béton
	36.600	sol et gravier
<b>Réutilisation limitée dans l'industrie nucléaire</b>	308	divers
	33	autres métaux (sans décontamination)
	1.100	autres métaux (après décontamination)
	349	béton
<b>Mise en décharge avec restrictions radiologiques</b>	814	divers
	4.090	acier carbone
	3.490	acier inox
	44.100	béton
	57.900	sol et gravier
<b>Libération par fusion</b>	7.220	divers
	220	autres métaux (sans décontamination)
	2.025	autres métaux (après décontamination)

# 4

## Gestion des flux de matériaux de déclassement

### 4.1 Aspects sociaux

Encore plus que dans d'autres activités industrielles, la minimisation des quantités de déchets est devenue dans le domaine nucléaire et en particulier dans le domaine du déclassement, une opération essentielle. Nous nous devons de minimiser les quantités de déchets radioactifs ou non radioactifs non seulement pour préserver les ressources naturelles et pour minimiser la charge globale en déchets à surveiller de notre planète, mais aussi et surtout, pour minimiser les risques encourus lors de certaines activités industrielles comme par exemple, les activités d'extraction de minerais.

Cette nécessité de minimiser les déchets est, d'année en année, renforcée par l'augmentation du coût de la gestion des déchets radioactifs. Dans certains cas, l'augmentation du coût de la gestion des déchets atteint, sur une base annuelle, une dizaine de pour-cent au-dessus du taux de l'inflation. Il est donc normal d'intégrer, dans les programmes de déclassement, des opérations de minimisation de déchets telles que le tri, le recyclage, la réutilisation et la décontamination des composants et matériaux démantelés.

Lors du choix d'une technique de minimisation des déchets, comme dans toute autre opération de déclassement, il faut veiller à respecter les principes de sûreté et les principes ALARA. Ce respect oblige de s'assurer que le déchet secondaire généré par cette opération puisse être correctement conditionné en vue de son évacuation comme déchet radioactif. Ce problème concerne tant les techniques de décontamination qui concentrent la radioactivité enlevée éventuellement dans un produit chimique agressif que certaines techniques de découpe.

### 4.2 Gestion des flux de matériaux

#### 4.2.1 Réutilisation

La réutilisation concerne des équipements qui sont maintenus dans leur configuration initiale pour une utilisation future conventionnelle ou nucléaire. Il s'agit par exemple, des réservoirs de stockage, des pompes (éventuellement après révision ou remplacement de parties usées), etc. qui seront utilisés dans des fonctions similaires dans l'industrie nucléaire, pétrochimique, chimique ou autre. Ainsi, ces équipements sont maintenus lors du démantèlement dans leur état d'origine. La réutilisation peut se pratiquer après libération inconditionnelle ou conditionnelle des matériaux. Dans le premier cas, les équipements

se retrouvent dans le circuit conventionnel sans aucune restriction à leur utilisation, tandis que, dans le second cas, ils sont soumis à des restrictions strictes quant à leur utilisation.

Il n'est cependant pas certain que le suivi des matériaux dans l'industrie conventionnelle permette d'appliquer cette stratégie sans réserve. En effet, si l'on peut relativement facilement s'assurer de la première réutilisation de l'équipement, il n'en est pas ainsi de la suite. Par exemple, un réservoir pourrait être recyclé comme réservoir d'alimentation d'eau industrielle dans un premier temps, puis d'eau potable dans un second, par manque de traçabilité.

#### 4.2.2 Recyclage

Le recyclage concerne des équipements ou infrastructures démantelés de telle sorte que leur état et leur fonction d'origine ne sont, en général, plus reconnaissables. Ils peuvent avoir subi des traitements de décontamination afin de respecter les critères d'acceptation à leur recyclage. Le recyclage peut se pratiquer après libération inconditionnelle ou conditionnelle des matériaux.

Les matériaux métalliques sont destinés en principe à des fonderies où ils sont recyclés dans la fabrication de conteneurs de stockage et/ou d'évacuation de déchets radioactifs ou de blindages biologiques. C'est, par exemple, une pratique courante en Allemagne via la fonderie de Siempelkamp et aux Etats Unis via la fonderie de Duratec. Cette pratique est généralement appliquée lorsque l'activité spécifique des matériaux ne dépasse pas environ 200 Bq/g. Il s'agit, dans ce cas, d'une pratique de libération conditionnelle.

Comme indiqué ci-dessus, les matériaux métalliques ayant subi un processus de décontamination, peuvent, par leur configuration géométrique, être difficilement libérables sur la base d'une mesure surfacique de la contamination. Pour résoudre ce problème, on a recours à la fusion. En plus d'une mesure de libération, plus aisée et donc moins coûteuse, la fusion permet une décontamination supplémentaire parce que certains radionucléides sont piégés dans les scories et les filtres, qui sont alors traités comme déchets secondaires.

Les fonderies actuellement opérationnelles et habilitées en Europe à pratiquer sous contrôle des autorités la libération des lingots sont: Studvisk (Suède), Siempelkamp (Allemagne) et Cappenhurst (Royaume-Uni).

Les bétons et autres matériaux de construction peuvent être destinés à servir à la construction de routes ou autres infrastructures sur des sites nucléaires ou publics. Par exemple, les bétons et certains matériaux de construction pourraient, après un traitement approprié, servir de ballast au béton servant de matrice de conditionnement de certains déchets nucléaires.

#### 4.2.3 Décontamination

La décontamination d'équipements peut intervenir à deux moments dans le processus de déclassement. La décontamination peut être préalable aux travaux de démantèlement; elle a alors essentiellement comme objectif la réduction des doses du démantèlement proprement dit. Elle se distingue des opérations de décontamination *in situ* réalisées pendant l'exploitation d'une centrale, par exemple sur son circuit primaire, par le produit utilisé. En effet, compte tenu que la centrale est en démantèlement, certains produits plus agressifs peuvent être utilisés. La décontamination peut se dérouler après démantèlement; elle a comme objectif la libération des composants ainsi traités. Les techniques de décontamination s'appliquent tant aux matériaux métalliques et aux matériaux d'infrastructures (murs, sols, plafonds) qu'aux sols et terrains contaminés.

#### 4.2.4 Déchets de très basse activité

Les activités de déclassement génèrent des quantités importantes de matériaux de très basse activité c'est-à-dire inférieure à 500 Bq/g (Tableau 4a et 4c). Il s'agit, par exemple, des structures activées du blindage biologique des réacteurs et des accélérateurs de

particules (cyclotrons, ...). En général, une période de décroissance de 20 à 60 ans suffit pour permettre à ces structures d'être libérées sans condition et d'être évacuées par exemple vers une décharge classique.

Si leur réutilisation ou leur recyclage n'est pas possible, les matériaux doivent être considérés comme des déchets radioactifs. Cependant, comme il s'agit de déchets dont l'activité radiologique est largement en-dessous de la moyenne des déchets de basse activité en provenance de l'exploitation des installations nucléaires et que, dans certains cas, leur caractère radioactif disparaît au bout d'une période 20 à 50 ans, il est justifié d'envisager des voies de gestion différentes de celles prévues pour les déchets de basse activité. Des solutions alternatives pour ces déchets sont actuellement à l'étude. En ce qui concerne les bétons, il s'agit, par exemple, d'une réutilisation comme matières constitutives des matrices de conditionnement des déchets ou de matériau de remplissage des sites d'évacuation [SC-97b].

#### 4.2.5 Déchets radioactifs de faible activité

Les déchets radioactifs de faible activité sont les déchets présentant un débit de dose en contact inférieur à 2 mSv/h (soit de l'ordre de 8000 fois le débit de dose provenant de la radioactivité naturelle). Ils sont répartis en catégories en fonction de leur type de contamination ( $\beta$ - $\gamma$ ,  $\alpha$ -suspect,  $\alpha$ -contaminé) et en fonction de leur traitement par Belgoprocess (combustible, compactable, supercompactable).

Les déchets radioactifs de faible activité représentent  $\pm 51$  % des déchets radioactifs (Tableau 4a et 4c). Ils sont constitués par les matériaux de démantèlement qui ne peuvent être économiquement décontaminés ou recyclés et par les déchets secondaires (vêtement de protection, filtres, produits décontaminants, effluents, ...) générés par les activités de déclassement.

#### 4.2.6 Déchets radioactifs de moyenne activité

Les déchets radioactifs de moyenne activité sont les déchets présentant un débit de dose en contact supérieur à 2 mSv/h et inférieur à 200 mSv/h. Ils sont constitués par des matériaux activés, par exemple les parties de cuve de réacteur, ou fortement contaminés, par exemple les cellules chaudes utilisées dans le cadre d'examens post-irradiatoires de combustibles nucléaires (Tableau 4a et 4c).

#### 4.2.7 Déchets radioactifs de haute activité

Les déchets radioactifs de haute activité sont les déchets présentant un débit de dose en contact supérieur à 200 mSv/h. Ils sont constitués principalement par la partie centrale de la cuve de réacteur c'est-à-dire la partie à hauteur des faisceaux de combustible et les internes de la cuve (Tableau 4a et 4c). Il est à noter qu'une stratégie de démantèlement différé de la cuve et de ses internes, de plus de 65 ans par exemple, permet une certaine décatégorisation des déchets.

#### 4.2.8 Déchets radioactifs spéciaux et/ou toxiques

Une dernière catégorie spécifique pour le déclassement est celle des déchets spéciaux et/ou toxiques. Il s'agit également de déchets qui, en général, ne sont pas générés en exploitation.

Ce sont des matériaux structuraux ou fonctionnels de certaines installations comme par exemple:

- l'Aluminium, utilisé notamment pour la cuve du réacteur BR2 et pour des installations expérimentales, est considéré encore comme un déchet spécial, par sa réactivité avec le béton qui est la matrice de conditionnement usuelle pour les déchets;
- le Béryllium, utilisé dans les réacteurs du type "Material Testing Reactor" (MTR) comme modérateur. Cette matière est hautement activée. Le BR2 au SCK•CEN est un réacteur de ce type;

- le Bore provenant des concentrats d'évaporateur de centrales nucléaires et des grappes de contrôle des réacteurs;
- le Cadmium provenant des grappes de contrôle des réacteurs;
- le Graphite servant de modérateur dans des réacteurs comme le BR1 au SCK•CEN et THETIS à Gand. Ces matières sont, pour une bonne partie, activées;
- le Mercure provenant de l'usine Eurochemic où il a été utilisé comme catalyseur pour dissoudre les gaines de combustible en aluminium, et de laboratoires d'analyse où il est utilisé comme réactif;
- le Plomb, utilisé comme écran biologique notamment pour les cellules chaudes ou comme blindage dans les conteneurs de transport;
- le Radium;
- le Sodium utilisé comme caloporteur dans les réacteurs surgénérateur. Ce métal est également présent dans les centres de recherche, comme p.ex. le SCK•CEN, pour la mise au point de cette filière;
- les combustibles irradiés et autres matières fissiles excédentaires présents principalement dans les centres de recherche (uranium, plutonium et thorium);
- le Zinc présent dans les produits galvanisés.

Pour ces déchets spéciaux/toxiques, il y a lieu d'initier des programmes de R&D en concertation avec l'organisme responsable de la gestion des déchets et en particulier avec les responsables des études de sûreté des entreposages de déchets et les responsables du conditionnement des déchets. Une fois que la solution de gestion et de conditionnement est précisée, ces déchets suivent un processus similaire à celui des autres déchets. La gestion de ces déchets spéciaux doit encore être optimisée en tenant compte de leur propriétés chimiques et/ou toxiques ainsi que du caractère spécifique des activités de déclassement.

Certaines matières toxiques ou métaux lourds entrent dans les procédés de conditionnement et d'emballage des déchets. C'est le cas, par exemple, des déchets vitrifiés qui contiennent suivant les procédés de 14 à 33 % d'oxyde de bore et du zinc utilisé pour la galvanisation de fûts de déchets. Ces quantités ne sont pas reprises dans le bilan présenté au tableau 4b.

#### 4.2.9 Bilan belge

L'estimation du bilan en matière de gestion des flux de matériaux de déclassement est présentée au tableau 4 sur base des données existantes dans la littérature [SC-97c],[BR-95],[NO-95],[NO-97],[SK-95]. Ces quantités sont données à titre indicatif car elles sont influencées par la stratégie de démantèlement, les possibilités de recyclage, les techniques de décontamination et le coût du déchet radioactif.

Tableau 4 a

#### Estimation des quantités à démanteler (hors matières fissiles) en Belgique

		Quantités (tonnes)	Quantités (%)
<b>Masses à démanteler</b>			
<b>béton</b>		817.000	89.8
<b>acier</b>		76.500	8.4
<b>autres</b>		16.500	1.8
	Total	910.000	100.0
<b>Déchets non radioactifs</b>			
<b>béton</b>		789.500	86.8
<b>acier</b>		65.000	7.1
<b>autres</b>		12.000	1.3
	Total	866.500	95.2
<b>Déchets radioactifs</b>			
<b>béton</b>		27.500	3.0
<b>acier</b>		11.500	1.3
<b>autres</b>		4.500	0.5
	Total	43.500	4.8

**Tableau 4 b**

**Estimation des quantités de matières toxiques ou spéciales en Belgique**

Inventaire des matières toxiques ou spéciales	Quantités (tonnes)
Aluminium	202
Argent	23
Bore	128
Béryllium	5
Cadmium	6
Chrome	1
Cuivre	560
Graphite	566
Plomb	4.215
Mercure	2
Nickel	1
Zinc	51
Total	5.760

**Tableau 4 c**

**Estimation de la production de déchets radioactifs de démantèlement par catégorie (hors matières fissiles) en Belgique**

Déchets radioactifs	Quantités (tonnes)	Quantités (%)
Très faible activité	17.510	40.2
Faible activité	22.110	50.8
Moyenne activité	2.730	6.3
Haute activité	1.150	2.7
Total	43.500	100.0

# 5

## Stratégies de déclassement

### 5.1 Niveaux et phases de déclassement

L'AIEA [IAEA-93] a identifié, en se référant principalement aux centrales productrices d'électricité, trois phases principales d'opération au bout desquelles un niveau de démantèlement est atteint. Ces différents niveaux et phases ne sont pas obligatoires. Elles permettent simplement une structure et une base de comparaison des différents projets de déclassement.

Les trois niveaux définis par l'AIEA se résument comme suit:

La phase 1 comporte:

- l'enlèvement des matières d'exploitation (p.ex. combustible d'un réacteur, sources radioactives d'un laboratoire, déchets d'exploitation, etc.);
- le rinçage ou le nettoyage de l'installation par les moyens normaux et habituels de l'exploitation et la vidange des circuits d'eau ou d'autres fluides chimiques.

A la fin de la phase 1, le niveau 1 "Stockage sous surveillance" est atteint. Les barrières de sûreté sont maintenues en service et l'installation doit être surveillée, inspectée et vérifiée régulièrement; dans beaucoup de cas, elle devra continuer à être ventilée. L'enceinte de confinement reste en service et sous contrôle, l'accès aux installations reste réglementé.

La phase 2 a comme objectif de conserver et de rassembler les équipements radioactifs dans un nombre minimum de bâtiments qui seront rendus étanches. Elle comporte:

- l'enlèvement et le conditionnement des équipements facilement démontables, leur mise en colis et l'entreposage des colis, soit dans les bâtiments eux-mêmes, soit dans un centre d'entreposage des déchets radioactifs;
- l'enlèvement ou la fixation de la contamination labile des surfaces et des isotopes radioactifs pouvant être libérés pendant la période de surveillance;
- le démantèlement des équipements situés hors des bâtiments contenant les installations les plus radioactives, et en particulier de toutes les tuyauteries entrant ou sortant de ces bâtiments;
- la fermeture étanche de toutes ces tuyauteries et des orifices ou gaines de ventilation;
- la fermeture et le scellement de tous les orifices des bâtiments.

A la fin de la phase 2, l'installation atteint le niveau 2 "Accès restreint". La surveillance de la barrière de confinement peut être allégée mais des contrôles périodiques et réguliers de son efficacité restent néanmoins nécessaires ainsi qu'une vérification périodique de l'état des scellements.

La surveillance de l'environnement est également maintenue. Ce niveau de déclassement peut être maintenu aussi longtemps que le permet le vieillissement de la barrière de confinement.

La phase 3 consiste à démanteler les parties activées et contaminées; les bâtiments restants peuvent être réaffectés à d'autres usages ou démolis classiquement, à partir du moment où ils sont déclarés libres de radioactivité. Après décontamination, démantèlement et évacuation des parties radioactives, l'installation atteint le niveau 3 "Réutilisation sans restrictions". L'installation étant déclassée sans restriction du point de vue de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, aucune surveillance, inspection ou vérification ne sont plus nécessaires.

## 5.2 Stratégies de déclassement

La manière dont les différents niveaux et phases se succèdent dans le temps fait l'objet de ce qui est communément appelé la stratégie de déclassement.

Ainsi, lorsque les activités de déclassement débutent peu de temps après la mise à l'arrêt définitif de l'installation et que le niveau 3 est atteint sans interruption dans les activités de démantèlement, on parle de démantèlement immédiat (option "DECON" suivant la terminologie américaine).

Si par contre, après son arrêt définitif, l'installation est portée soit au niveau 1 soit au niveau 2 (selon l'AIEA), y est maintenue sous surveillance pendant quelques dizaines d'années et est par après déclassée pour atteindre les limites de libération, on parle de démantèlement différé (option "SAFSTOR" suivant la terminologie américaine).

Un historique et un aperçu des pratiques en matière de stratégie de déclassement sont présentés et commentés au paragraphe VIII intitulé "Coûts et modes de financement".



# 6

## Evaluation des risques et impacts sur l'environnement

Le déclassement d'installations nucléaires ne peut pas, à supposer qu'il le soit jamais, être considéré comme une pratique routinière. De plus, cette étape de la vie d'une installation nucléaire s'écarte assez sensiblement des conditions prévalant durant la période d'exploitation proprement dite.

Ces deux observations relativement triviales permettent de comprendre que, loin de réduire les efforts fournis en matière de protection des travailleurs et de la population, le déclassement d'installations nucléaires constitue un terrain privilégié où doivent se concrétiser les grands principes de la radioprotection tels qu'on les trouve énoncés dans l'arrêté royal du 28 février 1963, article 20.1.1 à savoir "Justification", "Optimisation" et "Limitation".

Les activités de déclassement trouvent leur justification dans la nécessité de ne pas abandonner, comme cela se passe malheureusement dans l'industrie non nucléaire (cfr. les cancers industrielles), des installations après leur mise à l'arrêt définitif sans autre forme de procès. De plus, dans un souci de sécurité de la population, il est totalement justifié d'accorder l'attention nécessaire à l'ensemble des opérations visant à garantir un niveau de sécurité après l'arrêt de l'installation au moins égal à celui qui a prévalu lors de la période d'exploitation.

C'est ainsi qu'une première opération, relativement indépendante de l'option retenue à terme pour l'installation, consiste à décharger le réacteur de son combustible et à le stocker en piscine, ainsi qu'à mettre en sécurité les circuits, composants et autres dispositifs en usage lors de la période d'exploitation. Cette mise en sécurité conduit, notamment, à assurer une surveillance constante des installations et le maintien de toutes les procédures applicables aux situations d'urgence.

Lorsque l'option visant au démantèlement de l'installation est retenue, les principes d'optimisation et de limitation se traduisent dans la pratique journalière par des voies multiples comme:

- une concertation préalable à toute opération avec le service du Contrôle Physique et, de manière régulière, réunions avec les chefs de projet;
- l'écriture de procédures spécifiques pour chaque étape avec, notamment, application de procédures d'optimisation;
- l'information et la notification aussi fréquentes et précises que possible à l'autorité de sûreté responsable, des diverses phases planifiées ainsi que des résultats, tant sur les aspects techniques que dosimétriques des opérations effectuées;

- une attention spécifique apportée aux interactions accrues durant les opérations de démantèlement entre sécurité nucléaire et sécurité industrielle;
- le maintien des programmes de surveillance du personnel et de contrôle de l'environnement; à cet égard, il est à noter qu'en ce qui concerne les travailleurs, la mise en place d'une dosimétrie opérationnelle constitue un passage obligé;
- l'optimisation des interventions en zones par un training du personnel basé éventuellement sur des essais à froid sur des maquettes.

Les lignes qui précèdent illustrent brièvement que le déclassement d'installations nucléaires n'est pas considéré, pour ce qui est de la sécurité des travailleurs et de la population, comme une étape allant de soi. Chaque déclassement doit être envisagé comme une nouvelle opportunité mais aussi comme un nouveau défi. L'expérience acquise avec une installation telle que le BR3 montre que, malgré le caractère original du projet et la nécessité de concilier les impératifs de sécurité avec les nécessités de la recherche dans un cadre financier défini, les objectifs visant à assurer d'une part, la sécurité des travailleurs et de la population et d'autre part, à limiter l'impact sur l'environnement, constituent des objectifs parfaitement réalisables.

# 7

## Besoins en R&D

En une dizaine d'années, les activités de déclassement se sont multipliées et sont passées du stade Recherche et Développement (R&D), c'est-à-dire de recherche et de développement, au stade industriel. Comme dans toute autre activité industrielle, des programmes de R&D sont nécessaires pour améliorer d'une part les conditions de déclassement (sûreté, protection des travailleurs, de la population et du milieu, minimisation des déchets et des coûts) et d'autre part pour s'adapter aux nouveaux règlements. Sur la base de l'évolution constatée cette dernière décennie, les programmes de recherche sont ou devraient être axés sur l'amélioration et/ou le développement de:

- techniques de découpe, en particulier dans le cas de structures hautement activées ou contaminées, qui ne permettent pas un accès direct des opérateurs;
- méthodes de décontamination essentiellement pour les métaux et les bétons;
- la robotique et de l'automatisation des techniques de déclassement;
- procédés de recyclage;
- techniques de minimisation des déchets produits par différents procédés comme par exemple la régénération des produits de décontamination, ou l'extraction et le recyclage du bore des circuits primaires des centrales PWR;
- méthodes de traitement et de conditionnement des déchets organiques;
- méthodes de traitement et de conditionnement des déchets constitués par exemple, par l'aluminium, le béryllium, le graphite, le sodium, les résidus de combustible nucléaire et autres matières dangereuses et/ou toxiques ...;
- techniques d'assainissement des sols contaminés c'est-à-dire des techniques permettant la fixation et/ou l'extraction de la contamination;
- appareils et méthodes de mesure aussi bien dans le cadre de la problématique de la libération de matériaux que dans celle de la caractérisation des déchets radioactifs, caractérisation nécessaire pour les études de sûreté pour les stockages de déchets.

Par ses installations et les programmes de recherche qui y ont été développés, le SCK•CEN est intéressé par les différents domaines de recherche cités. En effet, un certain nombre de matériaux radioactifs y sont présents (cfr. § 4 gestion des flux de déchets: déchets spéciaux et/ou toxiques). En ce qui concerne la recherche concernant la restauration de sites, elle est motivée par les besoins immenses existant en Europe de l'Est. De plus ces activités de recherche cadrent dans sa mission telle que définie par l'arrêté royal du 16 octobre 1991 [AR-91c].

De surcroît, ces recherches ont ou auront des retombées sur le déclassement de toutes installations nucléaires. Ainsi pour les centrales, on signalera:

- dans leur phase de conception:
  - l'utilisation de matériaux conduisant à une réduction des volumes de déchets conditionnés;
  - la prise en compte dès la phase de conception des aspects de démantèlement et de décontamination par des techniques éventuellement commandées à distance;
- dans leur phase d'exploitation:
  - l'extraction et recyclage du bore du circuit primaire des centrales PWR (comment extraire et recycler le bore utilisé en appoint pour le contrôle des réacteurs de sorte que les volumes de déchets bétonnés diminuent?);
  - le traitement des effluents et des concentrats d'évaporateurs (quelles sont les meilleures techniques de traitement et de conditionnement?);
- et dans leur phase de démantèlement:
  - les techniques mises en oeuvre pour minimaliser les quantités de déchets par découpe, recyclage, décontamination, traitement, conditionnement etc.;
  - le traitement et conditionnement des métaux lourds présents dans les réacteurs (cadmium, béryllium, plomb, zinc, mercure, etc.);

Dans ce domaine, on peut citer les projets de recherche du SCK•CEN en précisant leur statut.

Tableau 5

**Détail des projets de recherche en cours (ou terminés) et liens avec la stratégie générale (cadre de la recherche).**

Réf.	Projet	Cadre de la recherche (stratégie)	Statut au 1/1/1998
1	Extraction et recyclage du bore du circuit primaire des centrales PWR	Minimalisation des volumes de déchets par traitement	En phase terminale
2	Modélisation de la régénération électrolytique de l'ion cérique en milieu sulfurique	Minimalisation des volumes de déchets par décontamination	Terminé
3	Extraction de l'acide sulfurique des effluents issus de la décontamination des pièces métalliques	Minimalisation des volumes de déchets par décontamination	En phase terminale
4	Oxydation des déchets organiques par médiation électrochimique réalisée à basse température	Nouvelle méthode de traitement des déchets nucléaires	En cours
5	Traitement et conditionnement du sodium métallique contaminé	Nouvelle méthode de traitement des déchets nucléaires	En cours

Le projet 1 concerne la réduction des volumes de déchets produits en cours d'exploitation par les centrales nucléaires.

Les projets 2 et 3 s'inscrivent dans le cadre de la décontamination des pièces métalliques en général. Leur application principale est directement liée au démantèlement des centrales de puissance. Les techniques étudiées ici permettent de réduire considérablement les volumes de déchets associés aux opérations de démantèlement.

Le projet 4 est destiné à pallier aux inconvénients résultant de la combustion des déchets organiques (corrosion des fours, difficultés liées au traitement des fumées, récupération des cendres etc.). Le procédé étudié fonctionne à basse température et ne produit pas de cendres, les isotopes radioactifs étant confinés dans une phase aqueuse de volume

réduit. De cette manière, la corrosion peut être maîtrisée sans difficulté et le traitement des fumées est également plus aisé.

Le projet 5 est en relation directe avec la sécurité du traitement des métaux alcalins. On sait que ces métaux sont extrêmement réactionnels (particulièrement en présence d'eau) et que les méthodes de traitement reconnues comme étant classiques peuvent conduire à des accidents graves. Dès lors, la cellule de recherche a mis au point un nouveau procédé dont les qualités essentielles sont les suivantes:

- l'élimination des risques d'explosion et d'incendie;
- la possibilité de conditionner par vitrification les déchets directement après leur traitement par vitrification;
- l'applicabilité aux métaux alcalins contaminés ou non contaminés sans préjudice à l'économie de l'approche; en l'absence de contamination, le produit obtenu est stable et peut soit être valorisé, soit être très aisément éliminé ou conditionné par des techniques autres que la vitrification.

Les projets futurs sont renseignés au tableau 6.

Tableau 6

**Détails des projets futurs en R&D.**

Réf.	Projet	Cadre de la recherche (stratégie)	Statut au 1/1/1998
1	Valorisation des sols contaminés par gazéification de taillis à très courte rotation	Assainissement des sites	Proposé en 1998
2	Extraction des métaux lourds des sols contaminés par des moyens biochimiques (Datura Innoxia)	Assainissement des sites	Proposé en 1998
3	Extraction sélective du cobalt et du cérium présents dans les effluents de décontamination (par complexation)	Minimalisation des volumes de déchets par décontamination	Proposé en 1998
4	Traitement et conditionnement des résidus de combustible	Minimalisation des volumes de déchets par traitement adéquat	A proposer

Les projets 1 et 2 adressent l'assainissement de sols contaminés par remédiation (projet 1) et par restauration (projet 2).

Le projet 3 est une extension des travaux en cours dans le cadre de la décontamination des pièces métalliques.

Le projet 4 est lié à l'utilisation du médiateur argentique (voir tableau 1, projet 3) dans le cadre de la dissolution d'oxydes réfractaires.

D'un autre côté, les activités de démantèlement pilotes entreprises sur le site d'Eurochemic ont aussi amené à effectuer des développements spécifiques, permettant de minimiser la quantité de déchets radioactifs produits, d'améliorer la sécurité et le confort des travailleurs et de réduire l'exposition des opérateurs en charge des activités de démantèlement. On citera notamment :

- Le développement d'une machine automatique de décontamination de grandes parois de béton (par "rasage" au moyen de roues diamantées);
- Le développement de tenues de protection et de systèmes respiratoires ergonomiques et résistant mieux à la déchirure et au feu. Ces équipements permettent de réduire la fatigue des travailleurs et améliore leur sécurité en opération;
- La recherche effectuée sur les effets des vibrations dues aux outils de coupe et de décontamination, sur le métabolisme des opérateurs (effet dit de "doigt blanc").

# 8

## Coûts et modes de financement

### 8.1 Méthodologie d'établissement des coûts de déclassement

Un des aspects importants du déclassement d'une installation consiste à définir les moyens financiers qui sont nécessaires. Communément, le coût de déclassement d'une centrale nucléaire de puissance est rapporté à la puissance installée laissant croire, erronément, l'existence d'un rapport constant "Coûts sur puissance installée" [DU-93] comme cela est démontré à la figure 1 [AD-92].

En fait, les coûts de déclassement d'une installation nucléaire sont intimement liés à la complexité de l'installation ainsi qu'aux quantités de matériaux à démanteler et à leur caractéristique radiologique. La méthodologie, née de cette observation, est applicable à toute installation nucléaire quels que soient son type ou sa taille. Il est généralement admis de classer les coûts du déclassement en trois catégories:

1. coûts fonction de l'opération;
2. coûts fonction de la durée;
3. coûts annexes ou correspondants à des opérations spécialisées.

Les coûts fonction de l'opération sont directement liés à l'ampleur des travaux effectivement exécutés sur le site lors du déclassement. En outre, ils incluent des opérations telles que le démontage, la décontamination, la découpe des composants et leur conditionnement, l'expédition et l'évacuation des déchets. Les coûts correspondent à la rétribution de la main-d'oeuvre, des matériaux, de l'énergie, des équipements et des services. Ces coûts se prêtent bien à une estimation sur la base de la méthode dite des "coûts unitaires".

Cette méthode requiert un inventaire détaillé de l'installation. Un tel inventaire spécifie, par exemple, la longueur totale de tuyauterie classée en fonction de la dimension et de la radioactivité, le nombre de pompes, de vannes, d'échangeurs de chaleur, classés en fonction de la capacité et du niveau de contamination, la quantité de béton ventilée en fonction de la dimension et de la densité de l'acier à béton, etc.

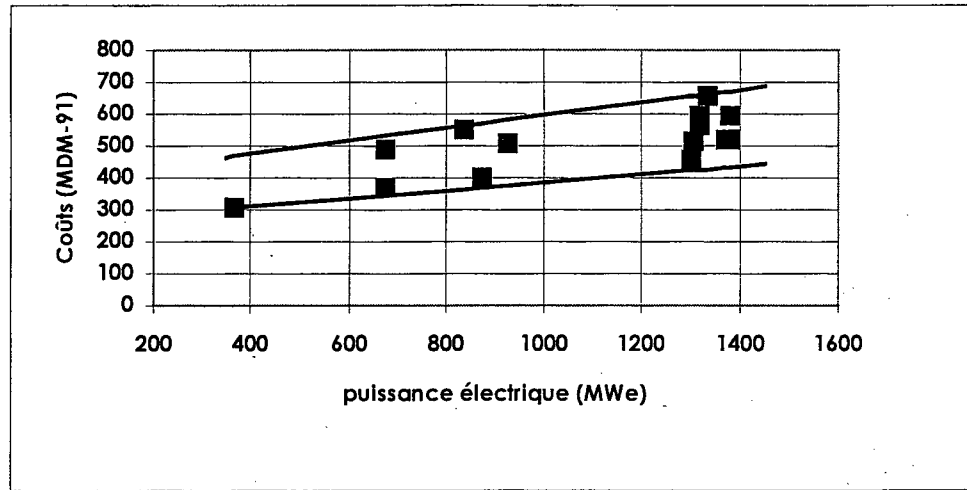
Cet inventaire renseigne aussi le degré de difficulté à prendre en compte pour le démantèlement des objets inventoriés comme l'ambiance radiologique, la hauteur...

D'autres classifications peuvent se révéler nécessaires en fonction des dispositions réglementaires et des critères qui régissent les pratiques d'évacuation des déchets. Les coûts fonction de l'opération seront calculés à partir de la liste des opérations, de leur coût unitaire, de l'inventaire de l'installation et des facteurs de difficulté.

Les coûts fonction de la durée comprennent les coûts de gestion et d'administration du projet, ceux de la surveillance et de la maintenance de l'installation suivant les règlements et normes en matière de sécurité ainsi que les honoraires des Organismes de contrôle et des autorités. Ils sont souvent totalement indépendants du niveau précis des opérations s'effectuant de façon concomitante sur le terrain. Ils s'évaluent sur base du planning de déclassement.

Figure 1

Coûts de déclassement des réacteurs en fonction de la puissance électrique



Les coûts annexes ou correspondant à des opérations spéciales sont les coûts qu'il est impossible d'assigner à une opération déterminée et qui ne sont pas non plus fonction de la durée. Ces coûts sont alors déterminés par des études spécifiques. C'est le cas, par exemple, des travaux de confinement et de mise en sécurité d'une installation avant sa mise en attente ainsi que des opérations de remise en service de l'installation après la période d'attente.

Dans cette catégorie, il est aussi envisageable de considérer les investissements et les achats. Néanmoins, en tenant compte d'un amortissement similaire dans ses principes aux usages en matière de location de matériel, il est possible d'inclure ces coûts dans les tarifs unitaires des opérations. Cette pratique permet une assignation plus correcte des coûts.

## 8.2 Coûts de déclassement

A l'exception des centrales de puissance qui ont signé une convention particulière avec l'Etat en 1985, l'exploitant estime les coûts de déclassement de son installation dans le cadre du plan de déclassement à soumettre à l'ONDRAF/NIRAS [AR-91b] [SC-94], et propose sa méthodologie de financement. L'Organisme donne son avis sur ces propositions et approuve le plan de déclassement, s'il estime que l'évaluation du coût est suffisante et que la méthodologie du financement est adéquate.

Pour faire face à ses obligations en tant qu'exploitant aussi bien qu'en tant qu'opérateur de déclassement des installations nucléaires relevant de son "Passif technique", le SCK•CEN a développé un outil de calcul [NO-95] basé sur la méthodologie décrite ci-dessus. Cet outil a permis, depuis sa mise au point, d'évaluer les coûts de déclassement des installations nucléaires du SCK•CEN [NO-95], [NO-97], [MA-95], réacteurs de recherche et laboratoires, ainsi que de confirmer les coûts de déclassement de la centrale Tihange 2 [MA-97]. Récemment, cet outil a été utilisé pour estimer les coûts de déclassement de la centrale de Dodewaard. Ces évaluations ont été faites en tenant compte des différentes stratégies de déclassement possibles.

Dès lors, sur la base des conditions présentes en matière de législation, salaires et coûts des équipements et de la gestion des déchets, il est possible, suivant la méthode expliquée ci-avant, d'établir le coût du déclassement d'une installation nucléaire en fonction d'une stratégie de déclassement (Tableau 7).

A ce jour, le déclassement des installations nucléaires et la restauration des sites représentent, pour la Belgique, un montant qui dépasse les 100 milliards de francs (coûts du cycle du combustible et des matières fissiles non compris).

Tableau 7

Données de la littérature concernant le coût de déclassement des centrales de puissance (hors gestion du combustible nucléaire).

Pays/réacteur	Puissance (MW <sub>e</sub> )	Stratégie	Coûts	Année	Coûts (**) (MBEF 1998)
<b>Allemagne</b>			(MDM)		
Biblis [AD-92]	1146	30 ans + Niveau 3	490	1991	11.850
Biblis [AD-92]	1146	Immédiat	473	1991	11.440
<b>Finlande</b>			(MFIM)		
Loviisa I + II [NU-94]	445 x 2	Immédiat	1744	1992	12.350
<b>France</b>			(MFF)		
PWR [NU-94]	1300	60 ans + Niveau 3	1678	1991	11.950
PWR [NU-94]	1400	60 ans + Niveau 3	2129	1991	15.160
<b>Suisse</b>			(MSF)		
KKB [NU-94]	2 x 350	? ans + Niveau 3	355	1989	10.440
KKG [NU-94]	940	? ans + Niveau 3	320	1989	9.409

(\*\*) les coûts en MBEF 1998 tiennent compte du cours de chaque devise renseigné dans le rapport [NU-94] et de la dépréciation de la monnaie depuis la date de l'évaluation jusqu'à nos jours. Ils s'entendent hors actualisation.

### 8.3 Provisions de déclassement

La constitution des provisions nécessaires au déclassement d'une installation suppose l'existence d'un plan de financement qui tient compte des facteurs suivant:

1. une stratégie de déclassement avec, en corollaire le planning de déclassement et l'échéancier des coûts qui lui sont associés;
2. l'évolution des coûts de la main d'oeuvre, de l'énergie, des équipements et surtout celui des déchets;
3. l'évolution du taux net d'actualisation de l'argent jusqu'à la mise à disposition des provisions en vue du déclassement;  
les possibilités de constitution de provisions sur base des exercices annuels d'exploitation de l'installation nucléaire.



### 8.3.1 Choix d'une stratégie

Le choix d'une stratégie se base sur une étude d'optimisation prenant en compte les connaissances du moment, les nécessités de protection des travailleurs, de la population et du milieu et les intérêts sociaux, économiques et financiers.

Historiquement, la stratégie communément admise pour le déclasserement des centrales de puissance était celle du démantèlement différé avec une période de 30 ans avant le début de la phase 3 du déclasserement (type Safstor de 30 ans). Cette stratégie trouvait sa justification dans la diminution du contenu radiologique de l'installation avec comme corollaire une diminution correspondante de la dose supportée par les travailleurs.

Au fur et à mesure que les études des programmes de déclasserement se sont affinées, elles ont démontré que, même si l'activité du  $^{60}\text{Co}$ <sup>1</sup>, c'est-à-dire l'isotope contribuant principalement à la dose, n'est plus, après 30 ans, que de 2 % par rapport à son activité au moment de l'arrêt définitif, la dose collective, pour l'ensemble des travaux de déclasserement, représente encore 75 % de la dose exposée lors d'un déclasserement immédiat après la mise à l'arrêt définitif [AD-92]. En effet, dans le cadre du démantèlement différé, certaines activités supplémentaires, telles que la mise en confinement de l'installation, la surveillance régulière pendant la période qui sépare la phase 2 de la phase 3 et la remise en service de l'installation après la période d'attente, génèrent des doses non négligeables. Cela a conduit à porter la période d'attente, avant l'enclenchement de la phase 3, de 30 ans à 60 ans ou 80 ans [MA-95], voire à 135 ans [GO-91],[LA-97].

Ce report à moyen et long terme des activités de démantèlement a conduit à s'interroger, notamment, sur l'évolution:

- du confinement et donc de l'intégrité des bâtiments et infrastructures pendant la période d'attente avant la mise à la phase 3 c'est-à-dire encore de 30, 60 ou 135 ans au-delà des 30 à 40 ans d'exploitation;
- des normes et règlements en vigueur par exemple en matière de conditions de travail et de sécurité;
- des différentes composantes des coûts de déclasserement (main d'oeuvre, déchets...).

Il n'a donc pas été étonnant de constater qu'au fur et à mesure que les études des programmes de déclasserement se sont affinées, notamment dans la prise en compte des problèmes liés à un démantèlement différé, les études démontraient que les stratégies de déclasserement immédiat et de déclasserement différé étaient économiquement équivalentes en valeur monétaire absolue (c'est-à-dire sans la prise en compte d'une actualisation nette).

A titre d'information, le tableau 2 [AEN-96a] donne une liste non exhaustive des installations nucléaires à l'arrêt définitif et des stratégies de déclasserement retenues. Les stratégies retenues peuvent différer sensiblement d'un pays à l'autre pour des installations similaires.

Ainsi, pour les réacteurs de puissance, la stratégie de déclasserement retenue par EDF [DU-93] (France), qui s'inscrit aussi dans le cadre d'une gestion optimisée d'un site de plusieurs centrales, correspond, pour une centrale mise à l'arrêt définitif, à une mise assez rapide au niveau 2, suivie d'une période d'attente d'environ 50 à 60 ans après laquelle, le démantèlement est repris jusqu'à l'obtention du niveau 3. La phase 2 comprend le démantèlement des équipements et parties d'installations pour lesquelles, il n'est pas possible de garantir un confinement sûr. La phase 3 comprend le démantèlement des équipements et parties d'installation dont le confinement peut être garanti pendant 50 ans ainsi que des équipements dont il est économiquement indifférent de démanteler immédiatement ou de façon différée.

---

<sup>1</sup> Le  $^{60}\text{Co}$  est un isotope produit par l'activation des métaux. Cet isotope a une durée de demi-vie de 5.3 ans c'est-à-dire qu'en 5.3 ans, son activité a diminué d'un facteur 2.

Le délai d'attente de 50 à 60 ans avant d'initier la phase 3 est généralement admis en France, Hollande et Espagne [NU-94]. Dans le cas de la centrale de Dodewaard, un déclassement différé après un délai d'attente de 40 ans est à l'étude. Il est comparé à une stratégie de déclassement immédiat. La stratégie de déclassement différée à 40 ans a, pour le moment, la préférence grâce à la prise en compte, pour ce projet, d'un taux d'actualisation net de 4% qui permet de diminuer la charge financière du démantèlement d'un facteur de l'ordre de 3,5 [GKN-97].

Au Royaume-Uni, la stratégie d'un démantèlement différé à 135 ans (type Safstor de 135 ans<sup>2</sup>) a été proposée pour diminuer la charge financière du déclassement des réacteurs du type gaz-graphite [GO-91], [LA-97].

Aux USA, la disponibilité des sites d'enfouissement des déchets et l'escalade des coûts des déchets ont convaincu les exploitants de centrale d'opter pour un démantèlement immédiat [HE-94], [LI-95], [LA-96].

En Finlande et en Suède, la stratégie du démantèlement immédiat après la mise à l'arrêt définitif est préféré en raison des incertitudes sur les coûts de maintien du contrôle et de la surveillance du confinement pendant une période de quelques dizaines d'années [NU-94], [SKB-94].

En Belgique, comme aucune centrale de puissance ne devrait être mise à l'arrêt définitif avant l'année 2005 au plus tôt, aucune option stratégique définitive n'a encore été arrêtée ni du côté des exploitants ni du côté des autorités.

Pour le réacteur expérimental BR3, la stratégie de déclassement immédiat a été finalement retenue. Dans le cas du BR3, il fallait notamment attendre une période de 80 ans pour obtenir un bénéfice en termes de dose aux travailleurs. De plus, le démantèlement immédiat des pièces hautement activées, la cuve et ses internes, est possible sous eau ce qui permet de se découpler pratiquement totalement du niveau de radioactivité des pièces à démanteler [MA-98]. Dans ce cas, la dose collective suite à un déclassement immédiat est plus faible que celle d'un déclassement différé, par exemple à 60 ans [NI-95].

Pour les laboratoires, usines de fabrication du combustible, installations de traitement des déchets, la stratégie généralement retenue est celle du démantèlement immédiat. En effet, il n'y a pour ces installations nucléaires, aucun gain substantiel à attendre de la décroissance radiologique et le confinement des ces installations est difficile à réaliser et à garantir.

En ce qui concerne les accélérateurs de particules, la stratégie de déclassement doit prendre en compte le fait qu'on est confronté avant tout avec des quantités importantes de déchets de très faible activité (en général inférieur à 500 Bq/g). Il y a donc lieu d'abord de définir une gestion spécifique de ces matières avant de retenir une stratégie particulière de déclassement.

Pour les sites à restaurer, la stratégie est à définir au cas par cas en tenant compte des risques, de facteurs sociaux et environnementaux et des solutions technico-économiques existantes.

### 8.3.2 Evolution des coûts de déclassement

L'évolution des coûts de la main d'oeuvre, de l'énergie, des équipements et surtout celui des déchets est difficile à estimer. En général, un taux moyen d'inflation est pris en compte et appliqué de façon indifférente aux différents postes (main d'oeuvre, équipements, déchets...), alors que, sur une même période, à une inflation de 2% du coût de la main d'oeuvre peut correspondre une augmentation de 15% du coût du déchet.

---

<sup>2</sup> Après 135 ans, les isotopes responsables de la dose, lors du démantèlement des pièces les plus activées d'un réacteur, sont des isotopes comme le <sup>108m</sup>Ag et <sup>94</sup>Nb ayant une durée de demi-vie respectivement de 127 ans et de 20.000 ans [WO-89].

L'étude du déclassement de BIBLIS [AD-92] est, à cet égard, très intéressante. Le coût du déclassement de Biblis a été régulièrement estimé (figure 2). L'évolution des estimations comparées à l'augmentation du coût de la vie pendant la même période montre que l'évolution du coût du déclassement lui reste inférieur. Il faut cependant noter que le poste déchets représentait, en 1977, 6,5 % du total du coût de déclassement et qu'en 1991, il en représente 18,5 %. De même, les frais de gestion du projet, y compris les aspects de radioprotection et d'autorisation, passe de 1977 à 1991, de 6,5 % à 33,5 %. La comparaison de ces deux évaluations montre une diminution des activités de démantèlement proprement dites de 50 %.

Cependant, il a lieu de modérer les enseignements de cette étude, certainement en matière de l'évolution des coûts des activités spécifiques de démantèlement. En 1977, le nombre de projet de déclassement d'installations nucléaires était très limité. En effet, sur base du tableau 2, un seul projet parmi les 30 actuellement suivis par l'AEN existait.

Il n'est cependant pas moins vrai que les tendances observées, dans cette étude, en matières d'augmentation des coûts de déchets et de coûts liés obligations légales et administratives se sont confirmées ces dernières années.

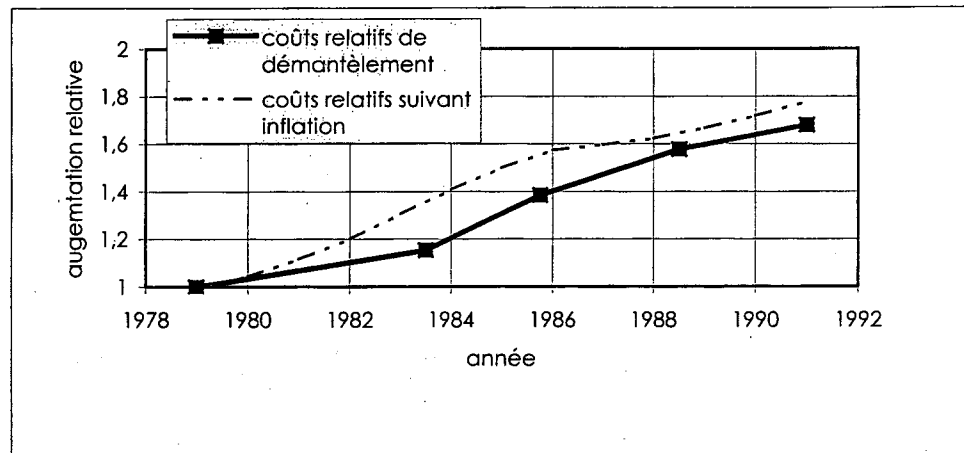
**8.3.3 Constitution et gestion des provisions**

En France, pour le scénario de référence, l'échéancier des coûts d'un site de 4 tranches couvre une période de 65 ans. Les différents stages de déclassement représentent respectivement 54 %, 10 % et 36 % des coûts. Les dépenses de démantèlement complet d'une tranche PWR, qui sont supposées être concentrées 10 ans après l'arrêt de la tranche soit 40 ans après sa mise en service (30 ans étant la durée de vie retenue depuis 1993 pour les tranches PWR dans les études économiques) représentent 15 % du coût d'investissement [DU-93].

En Belgique, les provisions de démantèlement sont constituées par les sociétés sur la base d'une évaluation annuelle. Ces provisions sont inscrites dans leurs comptes.

**Figure 2**

**Augmentation relative des coûts de déclassement de BIBLIS A**



Cette pratique est similaire à celle en vigueur dans d'autres pays comme l'Allemagne, la France, les Pays-Bas et le Royaume Uni. En Belgique, on notera cependant, comme exception, les provisions pour les Passifs Techniques du SCK•CEN et de Belgoprocess qui sont constitués par l'Etat.

En Suède et en Espagne, les provisions sont constituées par l'Etat sur base d'un système de taxes prélevées sur le KWh consommé. Ces provisions sont gérées par un organisme

gouvernemental. Il faut noter qu'en Espagne, il s'agit même d'une taxe sur tout type de KWh consommé: autrement dit le KWh produit par du gaz contribue aux provisions "nucléaires". A cet égard, l'application équitable du principe "pollueur-payeur" oblige à répercuter dans le prix du KWh une part des provisions de démantèlement dans le cas de l'énergie nucléaire ou d'une taxe CO<sub>2</sub> dans le cas d'autres productions énergétiques (charbon, mazout, gaz...).

Les provisions nécessaires à la constitution du fond de déclassement doivent être investies dans des conditions telles que leur disponibilité soit garantie au moment où l'on en aura besoin. A ce sujet, il est bon de noter que le taux net d'actualisation de l'argent, c'est-à-dire le taux d'actualisation après déduction de l'inflation, diffère d'un pays à l'autre (tableau 8) [NU-94].

**Tableau 8**

**Taux net d'actualisation par pays [NU-94].**

Pays	Taux net d'actualisation (%)
Belgique	8
Canada	3,4
Finlande	0
France	0
Hongrie	3
Italie	8
Hollande	4
Afrique du Sud	0
Espagne	3,5
Suède	2,5-3
Royaume Uni	2

Ce taux net d'actualisation qui varie de 0 à 8 % suivant les pays est d'autant plus incertain qu'il doit être englober de manière conservatrice l'évolution de la situation économique sur des périodes de quelques décennies. Néanmoins, ce taux s'avère être un argument essentiel dans le choix d'une stratégie de déclassement (cf. le report des activités de déclassement à 135 ans au Royaume-Uni pour diminuer les charges financières [GO-91]).

Cet aspect est explicité au tableau 9. Ainsi, si dans 60 ans, les travaux de déclassement à réaliser coûtent 100 MBEF, le montant à provisionner aujourd'hui est de 30 MBEF, 10 MBEF ou 1 MBEF suivant que le taux net de valorisation est de respectivement 2%, 4% ou 8%.

**Tableau 9**

**Montant à placer aujourd'hui pour réaliser des travaux de 100 MBEF dans 30 ans ou 60 ans en fonction de différents taux nets (hors inflation).**

Taux net (hors inflation)	Montant actuel pour un placement à 30 ans (MBEF)	Montant actuel pour un placement à 60 ans (MBEF)
2%	55	30
4%	31	10
8%	10	1

En fait, dans la gestion des provisions de déclassement, il y a lieu de distinguer deux phases à savoir la phase de constitution des provisions qui est simultanée à la phase d'exploitation d'une centrale et la phase de gestion de la provision de démantèlement après la mise à l'arrêt définitif de la centrale.

Pendant la phase d'exploitation de la centrale, la constitution des provisions et leur gestion annuelle se font dans le cadre de la gestion propre de l'entreprise. Un certain niveau de risque de placement peut être accepté ce qui permet d'atteindre des rendements assez élevés comme par exemple du 8 % d'intérêt net.

Lors de la mise à l'arrêt définitif d'une centrale, cette installation ne dégage plus de bénéfice et dès lors il est raisonnable d'opter pour une gestion moins risquée et en bon

père de famille des provisions de démantèlement qui ont été constituées. Dans ce cas, les rendements nets à espérer, par rapport à l'inflation des biens de consommation courants, sont limités à de l'ordre de 4 %.

On peut encore noter que, compte tenu des incertitudes sur des termes aussi longs (30 ans à 135 ans), des économistes proposent actuellement, pour éviter de prendre des risques inconsidérés et d'entraîner des effets pervers, d'adopter comme taux d'actualisation à plus de 30 ans, un taux de 0 % [MK-95].

# 9

## Conclusions

Le déclassement d'installations nucléaires est devenu aujourd'hui une réalité de même que celui de la constitution des provisions de déclassement. La gestion correcte de cette activité suppose que désormais:

- le cadre légal et réglementaire soit précisé de manière raisonnée en ce qui concerne la protection des travailleurs, de la population et du milieu autrement dit les doses admissibles et les niveaux de libération;
- la politique en matière de gestion des déchets, d'entreposage final en surface ou d'enfouissement dans des couches géologiques, soit définie;
- les coûts, en particulier ceux liés aux déchets et aux prescriptions réglementaires soient maîtrisés.

Dans la plupart des cas, le déclassement d'une installation nucléaire peut être réalisé, en toute sécurité, avec les techniques existantes. Des programmes R&D sont cependant nécessaires pour optimiser les activités de déclassement, en particulier en ce qui concerne les techniques de minimisation, de traitement et de conditionnement des déchets, la minimisation des doses et la sécurité des travailleurs.

En ce qui concerne le choix d'une stratégie de déclassement, il est bon de rappeler, notamment, que dans le cadre d'un déclassement différé:

- la prise en compte d'un taux d'actualisation net génère une incertitude importante sur les montants des provisions à constituer (cf. Tableau 9);
- l'évolution des coûts du conditionnement et de l'enfouissement des déchets est sur le long terme difficilement prévisible (actuellement une évolution de 10 à 15 % est constatée dans certains pays);
- le gain en dose collective n'est pas aussi important que la décroissance de l'activité radiologique pourrait le laisser supposer et peut même s'avérer illusoire dans certains cas;
- les incertitudes liées à l'évolution des lois, normes et règlements peuvent être difficilement évalués.

# 10

## Lexique

ALARA	As Low As Reasonably Achievable; principe de maintien des expositions aux radiations à un niveau aussi faible que raisonnable, les facteurs économiques et sociaux pris en compte
Becquerel	unité d'activité correspondant à une désintégration radioactive par seconde (Bq).
Bruit de fond	ensemble des rayonnements ionisants qui provient des sources naturelles terrestres et cosmiques, dans la mesure où l'exposition qui en résulte n'est pas augmentée de manière significative du fait de l'homme.
Déchet radioactif	toute matière contenant des radionucléides en concentration supérieure aux valeurs que les autorités compétentes considèrent comme admissibles dans les matériaux propres à une utilisation sans contrôle et pour laquelle aucun usage n'est prévu.
Déclassement	ensemble des opérations administratives et techniques qui permettent de retirer une installation de la liste des installations classées. Les opérations administratives comprennent notamment l'élaboration des plans de déclassement et l'obtention des autorisations et des certificats de libération des installations et du site; les opérations techniques, quant à elles, englobent entre autres la décontamination, le démantèlement et la gestion des déchets.
Décontamination	ensemble des activités permettant l'élimination ou la réduction de la contamination par des procédés généralement mécaniques, chimiques ou électrochimiques.
Décroissance radioactive	transformation nucléaire spontanée par laquelle des particules radioactives sont émises.
Démantèlement	ensemble des activités utilisant des techniques de démontage, de découpe et de démolition pour enlever les matériaux et structures contaminés ou activés.
Démolition	ensemble des activités conventionnelles exécutées après déclassement et libération inconditionnelle d'une installation ou d'un site, en vue de restituer l'état naturel du site.
Dose (absorbée)	quotient de l'énergie moyenne communiquée par les rayonnements ionisants à la matière contenue dans un élément de volume par la masse de matière contenue dans cet élément de volume.
Equivalent de dose	produit de la dose absorbée par un facteur de pondération prenant en compte le type de la radiation.
Equivalent de dose collective	somme des quantités de radiation absorbées par divers groupes d'individus exposés à ces radiations.

Equivalent de dose effective	somme des équivalents de doses moyen dans les divers organes ou tissus pondérés par des facteurs appropriés.
Emetteur alpha	isotope émettant des particules alpha, c'est-à-dire des noyaux d'hélium-4; le rayonnement alpha est peu pénétrant mais très ionisant.
Emetteur bêta	isotope émettant des particules bêta, c'est-à-dire des électrons de charge positive ou négative; le rayonnement bêta est plus pénétrant que le rayonnement alpha mais moins ionisant.
Emetteur gamma	isotope émettant des rayonnements électromagnétiques très pénétrants mais peu ionisants.
Exemption	pratique qui consiste à exclure de tout contrôle, des matières radioactives dont leur contrôle serait disproportionné par rapport au faible risque encouru.
Isotope	les isotopes d'un élément sont des nucléides ayant le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons.
Financement du déclassement	constitution de la provision de déclassement nécessaire et suffisante pour réaliser le programme de déclassement. La technique de financement retenue garantit la disponibilité des moyens financiers nécessaires pour exécuter le programme de déclassement selon la stratégie et le planning retenus dans le plan de déclassement.
Installation nucléaire	tout site, équipement, usine ou centrale mettant en oeuvre des matières radioactives. L'installation nucléaire est classée selon les termes de l'arrêté royal du 28 février 1963 et de ses amendements.
Libération inconditionnelle	processus permettant de retirer de toutes formes de contrôle nucléaire ultérieur des équipements, bâtiments ou déchets. Leur niveau de radioactivité doit être inférieur à la limite de libération inconditionnelle. Ce niveau est également appelé "de minimis".
Mise à l'arrêt définitif	cessation définitive de l'exploitation de toute ou d'une partie d'une installation nucléaire pour des raisons techniques, économiques ou de sûreté, ainsi que les opérations techniques et administratives permettant de modifier son autorisation d'exploitation.
Niveaux d'exemption	les niveaux en-dessous desquels une installation, traitant des matériaux possédant une certaine radioactivité, ne rentre pas dans le système de contrôle et ne fait pas l'objet de la réglementation spécifique.
Niveaux de libération	les niveaux en dessous desquels les matériaux de déclassement peuvent être libérés de toutes ou de certaines mesures de radioprotection, ou être réutilisés sans ou sous certaines conditions.
Nucléide	atome défini par son nombre de masse A, son nombre atomique Z et son état énergétique.
Passif Technique	ensemble des obligations résultant du déclassement des installations afférent aux activités nucléaires jusqu'au 31 décembre 1988.
Phases de déclassement	trois étapes distinctes dans le programme de déclassement, mais pas obligatoires, initialement définies par l'AIEA, menant à trois niveaux de déclassement. Le niveau 3 implique la libération inconditionnelle de l'installation ou du site.
Plan de déclassement	étude conceptuelle comprenant l'analyse technique et économique du déclassement. Le plan de déclassement initial d'une nouvelle installation en exploitation évolue par révisions quinquennales vers le plan de déclassement final, qui devient d'application peu avant la mise à l'arrêt définitif.



Programme de déclasserment	ensemble des activités techniques et administratives nécessaires à la préparation et à l'exécution du déclasserment.
Provisions de déclasserment	tous les moyens financiers accumulés avant la mise à l'arrêt définitif de l'installation et réservés pour la réalisation du programme de déclasserment, y compris la gestion des déchets qui en résulteront.
Remédiation	pratique consistant à traiter un site contaminé en vue d'identifier, de placer sous contrôle, d'immobiliser et de confiner les isotopes radioactifs pour limiter les conséquences de la contamination à un seuil acceptable.
Restauration	l'application de toute technique conduisant à l'extraction finale de toute trace de radioactivité d'un site contaminé en vue de le rendre propre à toute activité non nucléaire.
Sv	le Sievert est l'unité d'équivalent de dose dans le système international d'équivalent de dose.

# 11

## Bibliographie

- [AD-92] J. Adler, P. Petrasch, "Decommissioning costs of light water nuclear power plants in Germany from 1977 to date", NIS, Contract FI2D-0051, Final report, EUR-14798-EN.
- [AD-95] J. Adler, "Decommissioning costs of the Belgian nuclear power reactor BR3", NIS, report n° 1456/3379/0, December 1995.
- [AEN-96a] AEN, The NEA co-operative programme on decommissioning: the first ten years 1985-95, OCDE 1996.
- [AEN-96b] AEN, Nuclear decommissioning: recycling and reuse of scrap metals, OCDE 1996.
- [AR-87] Arrêté royal du 11 février 1987 modifiant l'arrêté royal du 28 février 1963 portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre les dangers des radiations ionisantes, Moniteur belge du 12.03.1987.
- [AR-91a] Arrêté royal du 16 octobre 1991 relatif au transfert d'une partie des missions, biens, droits et obligations du Centre d'Etudes de l'Energie nucléaire à la Région Flamande. Moniteur belge du 22.11.1991.
- [AR-91b] Arrêté royal du 16 octobre 1991 modifiant l'arrêté royal du 30 mars 1981 déterminant les missions et fixant les modalités de fonctionnement de l'organisme public de gestion des déchets radioactifs et des matières fissiles. Moniteur belge du 22.11.1991.
- [AR-91c] Arrêté royal du 16 octobre 1991 portant les règles relatives au contrôle et au mode de subvention du Centre d'Etudes de l'Energie nucléaire et modifiant les statuts du Centre. Moniteur belge du 22.11.1991.
- [BR-95] M. Braeckveldt, "Hergebruik en recyclage van ijzer/staal en beton afkomstig van de ontmanteling van nucleaire installaties in België", eindwerk ter bekoming van de graad van gediplomeerde in de gespecialiseerde studies nucleaire techniek, KUL, Academiejaar 1994-1995.
- [CA-97] M. Campani (EDF), J.G. Nokhamzon, "The strategy, the achievements and the prospects for decommissioning in EDF and CEA", proceeding 2607 of ICON 5: 5<sup>th</sup> international conference on nuclear engineering, May 26-30, 1997, Nice, France.
- [CEC-95] "Handbook on decommissioning nuclear installations", EUR report nr EUR 16211 EN, EC-DG XII, 1995.
- [CEC-96] CEC, Directive 96/29/Euratom du Conseil du 13 mai 1996, fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants, J.O. L159, 39<sup>ième</sup> année, 29 juin 1996.

- [DOE-94] "Decommissioning Handbook", U.S. Department of Energy, Office of Environmental Restoration, DOE/EM-0142P, March 1994.
- [DU-93] B. Dupraz, M. Campani, G. Betsch, "Financement et coût du démantèlement des centrales nucléaires EDF", SFEN, section technique n° 12 et 8, 2 décembre 1993.
- [GKN-97] "Decommissioning of the Dodewaard BWR options, costs and recommendations", Report 97-025/PCB/R, GKN, June 1997.
- [GO-91] S.C. Gordelier, F.H. Passant, "Decommissioning of Nuclear Electric's Gas-Cooled Reactor, the Development of a New Strategy", NEA/OCDE International seminar on Decommissioning Policies for Nuclear Facilities, Paris, 2-4 October 1991, NEA, Paris, pp 337-352.
- [HE-94] K.J. Heider, R.A. Mellor, "Decommissioning Yankee Rowe", Radwaste Magazine, July 1994, pp 27-32.
- [IAEA-88] IAEA, Principles for the exemption of radiation sources and practices from regulatory control, IAEA Safety Series N°89, Vienna, 1988.
- [IAEA-90] IAEA, "The regulatory process for the decommissioning of nuclear facilities". Safety Guides. Safety Series n°105. Vienna, 1990.
- [IAEA-93] IAEA, "Planning and Management for the Decommissioning of Research Reactors and Other Small Nuclear Facilities", Technical report series n°351, IAEA, Vienna, 1993.
- [IAEA-96] IAEA, Clearance levels for radionuclides in solid materials, interim report for comment, IAEA-TECDOC-855, January 1996.
- [LA-96] M.B. Lackey, M.L. Kelly, "The Trojan Large Component Removal Project", ICON-4, International Conference on Nuclear Engineering, New Orleans, 10-14 March 1996, ASME, pp 89-94.
- [LA-97] M. Laraya, "Decommissioning of nuclear installations: a way to maturity", proceeding 2249 of ICON 5: 5<sup>th</sup> international conference on nuclear engineering, May 26-30, 1997, Nice, France.
- [LI-95] V.F. Likar, D.M. Popp, "Licensing Experience for Decommissioning Fort St. Vrain", Symposium on Waste Management, Tucson, 28 February-4 March 1995, Waste Management symposium, pp 1495-1499.
- [LO-97] Loi du 12.12.1997, chapitre III - "De l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles - Inventaire des passifs nucléaires".
- [MA-95] V. Massaut et al, "Plan de déclassement BR3".
- [MA-97] V. Massaut, M. Klein, L. Noynaert, "Evaluation de l'estimation de coûts de déclassement de la centrale Tihange 2 par NIS", Contract KNT 90 96 890, SCK-CEN R-3158, Mol, 1997.
- [MA-98] V. Massaut et al, "The BR3 Pressurized Water Reactor pilot decommissioning project", Contract F12D-CT89-0003, (Draft) Final Report (to be published as EUR report).
- [MK-95] G. MacKerron, University of Sussex: "The Politics and Economics of Decommissioning", in 4th International Conference on Decommissioning of Nuclear Facilities, London, February 14-15, 1995.
- [ME-97] S. Menon, "Clearance of material from nuclear facilities: overview of current practices and proposed regulations, proceeding 2611 of ICON 5: 5<sup>th</sup> international conference on nuclear engineering, May 26-30, 1997, Nice, France.

- [NO-95] L. Noynaert, R. Cornelissen, V. Van Alsenoy, R. Van Bael, S. Schraeyen, "Plan de déclassement SCK•CEN Passif Technique, SCK•CEN" R-3059, Mol, Belgique, Juin 1995.
- [NO-97] L. Noynaert, R. Cornelissen, "Ontmantelingsplan SCK•CEN Neo-Technisch Passief, SCK•CEN" R-3143, Mol, Belgium, January 1997.
- [NU-94] NUCLEWAD, "An international survey of radioactive waste and decommissioning in terms of policy, strategy, finance and public relations", February 1994.
- [SC-94] M. Schrauben, "Recommandations pour la constitution des plans de déclassement des installations nucléaires" ONDRAF/NIRAS réf. 910294 révision 1 du 29/07/94.
- [SC-97a] LC. Scholten, "Natural radioactivity in the non nuclear industries", lecture BNS meeting, september 23, 1997.
- [SC-97b] M. Schrauben, V. Massaut, "Déclassement des installations nucléaires", Diplôme d'études spécialisées en génie nucléaire, Avril 1997.
- [SC-97c] M. Schrauben, I. Verstraeten, M. Braeckveldt, "The management of decommissioning in Belgium: NIRAS/ONDRAF's responsibilities, decommissioning waste streams and cost breakdowns", proceeding 2507 of Waste Management '97, Tucson, Arizona, March 1997.
- [SK-95] B. Ska, A. De Goeyse, "Etude d'évaluation des éléments toxiques présents dans les déchets nucléaires", ONDRAF/NIRAS, Contrat FI2W-CT90-0045, Rapport final, EUR 15687 FR, 1995.
- [SKB-94] SKB, "Technology and costs for decommissioning of swedish nuclear power plants", Swedish Power Industry, June 1994.
- [WO-89] P.B. Woollam, "The potential radiological consequences of deferring the final dismantling of a magnox nuclear power station", Proc of international conference on decommissioning of nuclear installations, 24-27 October 1989, Brussels, Belgium.

