



ONDRAF

Organisme national des déchets radioactifs
et des matières fissiles enrichies

**Programme de travail de l'ONDRAF
sur la mise en dépôt final des déchets de
faible activité et de courte durée de vie**

Dossier d'information

Résumé

Toute activité humaine produit des déchets. Qu'elles soient industrielles, scientifiques ou médicales, les activités nucléaires n'échappent pas à la règle, et certains des déchets qu'elles produisent sont radioactifs, c'est-à-dire qu'ils contiennent des substances qui émettent des rayonnements ionisants. Riches en énergie, ces rayonnements peuvent modifier la structure de la matière qu'ils traversent et dès lors endommager les tissus vivants. Les déchets radioactifs représentent donc un risque potentiel pour l'homme et l'environnement et doivent par conséquent faire l'objet d'une gestion stricte et sûre à même de les empêcher de nuire tant que leur niveau de radioactivité n'a pas suffisamment décliné.

Jusqu'à la décision du Conseil des ministres du 16 janvier 1998, l'ONDRAF — l'organisme responsable de la gestion des déchets radioactifs en Belgique — projetait de sélectionner le futur site de dépôt final des déchets de faible activité et de courte durée de vie, encore appelés déchets de catégorie A, selon une méthodologie purement technique tenant a priori peu compte du contexte local et de l'avis des populations. Les réactions parfois virulentes de l'opinion publique et les recommandations d'experts indépendants l'avaient toutefois peu à peu amené à remettre en question sa méthode de travail.

Le Conseil des ministres a en effet rejeté toute solution provisoire pour la gestion à long terme des déchets de catégorie A et a confié à l'ONDRAF de nouvelles missions tout en restreignant le cadre de ses investigations. Il a notamment demandé à l'ONDRAF de développer les méthodes permettant d'intégrer un projet de dépôt final — en surface ou en profondeur — au niveau local, tout en se limitant désormais à deux types de zones : les localités dont les autorités manifesteraient de l'intérêt pour des reconnaissances préliminaires sur leur territoire et les quatre zones nucléaires existantes, c'est-à-dire Doel et Tihange (où sont implantées les centrales nucléaires belges), la zone de Fleurus-Farciennes (où est installé l'Institut national des radioéléments) et celle de Mol-Dessel-Geel (où sont installés divers établissements nucléaires). Cette évolution a conduit l'ONDRAF à revoir son programme et sa méthode de travail.

Désormais convaincu que la concrétisation d'un projet de dépôt final passe par une concertation et une négociation précoces avec les collectivités loca-

les concernées, l'ONDRAF a adapté son programme de travail et a enrichi sa méthodologie, en collaboration avec l'*Universitaire Instelling Antwerpen* et la Fondation universitaire luxembourgeoise. Sa nouvelle méthodologie, qui donne une place centrale au citoyen, doit lui permettre de remplir ses nouvelles missions et, par voie de conséquence, permettre au Gouvernement d'effectuer dès que possible le choix technique et économique requis entre dépôt final en surface et dépôt final en profondeur.

Concrètement, l'ONDRAF a proposé fin 1998 à toutes les communes intéressées par une première prise de contact de s'asseoir avec elles autour de la table et de mettre sur pied des partenariats locaux avec celles dont la candidature pourra être retenue. Aucune commune « non-nucléaire » n'est actuellement candidate pour des travaux préliminaires. Les communes des quatre zones nucléaires existantes, dont l'examen a été explicitement demandé par le Conseil des ministres et qui ont été pressenties par l'ONDRAF, possèdent néanmoins, au même titre que les autres localités belges, la faculté de refuser leur concours à quelque forme de partenariat que ce soit.

Conformément à son nouveau programme de travail, l'ONDRAF a effectué, avec l'accord des autorités communales concernées, des reconnaissances préliminaires de terrain sur les zones de Mol-Dessel-Geel et de Fleurus-Farciennes ; il fera de même sur celles de Doel et de Tihange pour autant que les autorités locales marquent leur accord. Ces reconnaissances doivent, d'une part vérifier les résultats des études bibliographiques effectuées pour rassembler un maximum de données pertinentes sur les zones considérées et, d'autre part, déterminer si ces zones répondent aux critères de sûreté établis pour l'accueil éventuel d'un dépôt final pour déchets de catégorie A. Si les quatre zones sont a priori des candidates potentielles à l'implantation éventuelle d'un dépôt en surface, seules celles de Doel et de Mol-Dessel-Geel le sont a priori pour le dépôt en profondeur.

L'ONDRAF instaurera un partenariat local avec chacune des communes sur le territoire de laquelle la campagne de reconnaissances aura été concluante, pour autant toutefois que la commune en question y soit disposée. Ce partenariat rassemblera tous les acteurs locaux représentatifs intéressés ainsi qu'un représentant de l'ONDRAF. Il aura la responsabilité de proposer et de développer un avant-projet de dépôt final, intégré dans un projet global offrant une valeur ajoutée pour la région concernée, mais sans pour autant faire de concessions à la sûreté. L'ONDRAF assumera seul la responsabilité de la sûreté des avant-projets développés.

Conformément à l'idée même de partenariat, ceux-ci devront évaluer, adapter, compléter et enrichir les études génériques préliminaires de concept développées par l'ONDRAF pour le dépôt final des déchets de catégorie A. L'étude générique de dépôt en surface fait appel au concept du post-conditionnement des fûts de déchets dans des caissons en béton, tandis que les études de dépôt en profondeur prévoient, soit le dépôt direct des fûts de déchets en galeries d'enfouissement, soit le post-conditionnement des fûts préalablement à leur enfouissement.

Les avant-projets de dépôt final développés par les partenariats devront être conçus pour protéger l'homme et l'environnement contre les nuisances potentielles des déchets radioactifs, tant à court qu'à long terme. Tout dépôt final se doit en effet d'être intrinsèquement sûr : sa sûreté à long terme ne peut dépendre de mesures actives comme des entretiens, des contrôles ou des surveillances. Cette sûreté intrinsèque résulte d'une application correcte du principe des barrières multiples, qui y contribuent toutes à leur manière. En Belgique, tout dépôt final doit par ailleurs pouvoir être mis en œuvre de façon progressive et flexible, c'est-à-dire qu'il doit être possible, en cours de construction ou d'exploitation, de faire évoluer le concept ou de revenir sur une décision. Le dépôt doit en outre être réversible, c'est-à-dire qu'il doit permettre la récupération des déchets en cours d'exploitation, voire même après sa fermeture.

Bref, il n'entre pas dans les intentions de l'ONDRAF d'imposer un dépôt final à quelque commune que ce soit, pas plus qu'il n'entre dans ses intentions d'imposer une solution donnée à un partenariat. La création d'un partenariat local sera conditionnée à la fois par le résultat des reconnaissances préliminaires de terrain et par l'intérêt ou l'absence d'intérêt des autorités locales. En outre, la participation des autorités locales à un partenariat ne pourra à aucun moment être considérée comme un engagement ferme de la localité concernée à accueillir un dépôt final. Ses représentants pourront en effet se retirer à tout moment du partenariat, ce qui entraînera sa dissolution immédiate. Et même dans l'hypothèse où un partenariat mènerait à son terme le développement d'un avant-projet de dépôt intégré, la localité dont il émane pourra, si elle le désire, décider en fin de compte de ne pas le soumettre au Gouvernement.

Qu'elle le veuille ou non, la Belgique d'aujourd'hui est confrontée à la nécessité de trouver des solutions sûres, responsables et prudentes pour la gestion à long terme de ses déchets radioactifs et c'est à l'ONDRAF qu'il appartient de mettre en œuvre et de coordonner les moyens pour y parvenir. S'il s'efforce depuis toujours de travailler de manière responsable et transpa-

rente, il veut désormais également mieux prendre en considération les aspirations et les inquiétudes du public. La méthodologie des partenariats constitue un pas essentiel dans cette direction. Les exigences de sûreté, de progressivité, de flexibilité et de réversibilité du dépôt vont elles aussi dans le sens d'une meilleure prise en compte des risques réels et subjectifs associés à la présence d'un dépôt final de déchets radioactifs.

Ce dossier d'information rassemble les informations de base nécessaires à la compréhension du nouveau programme de travail de l'ONDRAF sur la mise en dépôt final des déchets de catégorie A. La première partie met en place les éléments nécessaires pour aborder les principaux aspects de la gestion des déchets radioactifs, avant de détailler cette gestion proprement dite. La deuxième partie, elle, explique le nouveau programme de travail de l'ONDRAF ainsi que le fonctionnement des partenariats locaux qu'il propose d'établir. Elle explique ensuite la notion de sûreté, avant de détailler la nature des reconnaissances préliminaires de terrain ainsi que les concepts génériques existants de dépôt final. Quels que soient les concepts développés par les partenariats, ceux-ci devront bien entendu être respectueux de l'environnement et leurs coûts devront pouvoir être estimés.

Programme de travail de l'ONDRAF sur la mise en dépôt final des déchets de faible activité et de courte durée de vie

Dossier d'information

Résumé	i
Tables des matières	v
Première partie La gestion des déchets radioactifs en Belgique	1
1 L'ONDRAF	3
2 Les déchets radioactifs	6
2.1 Des origines étonnamment variées	6
2.2 Activité et durée de vie : deux paramètres, trois catégories	7
3 La gestion des déchets radioactifs	10
3.1 La gestion à court terme : une routine bien maîtrisée	10
3.2 La gestion à long terme : un défi à notre portée	16
3.3 Les prévisions de production de déchets sont indispensables	19
Deuxième partie La mise en dépôt final des déchets de catégorie A et l'instauration de partenariats locaux	23
4 Le contexte historique	26
4.1 Les 98 zones potentiellement favorables	26
4.2 La méthodologie de sélection de sites	28
4.3 L'étude sur les alternatives au dépôt final en surface	28
4.4 La décision du Conseil des ministres	29
4.5 Les sites militaires	30
5 Les partenariats locaux	31
5.1 Un nouveau programme de travail, une nouvelle méthodologie	31
5.2 Les partenariats sont représentatifs et ont l'initiative	32
5.3 Les partenariats sont organisés en quatre niveaux	34

6 La sûreté	38
6.1 La radioactivité nous entoure	39
6.2 Les fonctions de sûreté : un cadre pour le raisonnement	40
6.3 La démonstration de sûreté : plus qu'un exercice mathématique	43
6.4 La mise en dépôt sera progressive, flexible et réversible	45
6.5 Le nouveau programme de travail privilégie la sûreté	46
7 Les reconnaissances de terrain	48
7.1 Dépôt en surface : les reconnaissances sont bien entamées	48
7.2 Dépôt en profondeur : beaucoup de données existent déjà	53
8 Les études de concept	54
8.1 En surface : concept avec monolithes	55
8.2 En profondeur : dépôt direct ou concept avec monolithes	58
8.3 Le type de bâtiments dépend peu de la solution	60
9 L'environnement	62
10 Les coûts	64
10.1 Une méthode d'évaluation entièrement paramétrisable	64
10.2 Les résultats les plus récents : la meilleure référence	65
Considérations finales	68
Annexe 1 : Liste des tables et des figures	69
Annexe 2 : Références	70
Annexe 3 : Ouvrages d'intérêt général	72
Annexe 4 : Sigles et acronymes	73
Annexe 5 : Glossaire	74
Annexe 6 : Index	78
Personne de contact	81

Première partie

La gestion des déchets radioactifs en Belgique

La Belgique a été l'un des premiers pays au monde impliqués dans des activités nucléaires à des fins pacifiques. C'était bien avant la seconde guerre mondiale, avec la production de radium à usage médical par l'usine Métallurgie Hoboken-Overpelt de Olen. Dès la fin de la guerre, notre pays s'est alors lancé dans un important programme de développement des applications civiles de l'énergie nucléaire. Ce programme a débuté dans les années cinquante par l'exploitation de laboratoires de recherche et d'installations-pilotes du cycle du combustible nucléaire dans la région de Mol-Dessel-Geel (CEN-SCK, usine-pilote de retraitement Eurochemic, ancien Bureau central des mesures nucléaires ou BCMN), suivie par celle de l'Institut national des radioéléments (IRE) à Fleurus. Enfin, entre 1975 et 1985, les producteurs d'électricité se sont dotés d'un parc de réacteurs nucléaires répartis entre Doel et Tihange, qui assuraient en 1998 un peu plus de la moitié de l'approvisionnement électrique du pays.

Or, malgré l'enjeu considérable associé au devenir de ses déchets radioactifs, la Belgique ne disposait, jusqu'en 1980, d'aucune structure apte à en assurer une gestion satisfaisante à long terme. L'industrie nucléaire s'était développée à un rythme accéléré depuis une trentaine d'années dans notre pays, mais de nombreuses questions restaient sans réponse. Comment en effet garantir que l'ensemble des déchets radioactifs produits en Belgique, depuis le combustible usé des centrales nucléaires jusqu'aux déchets des hôpitaux, en passant par le matériel contaminé des laboratoires de recherche, soit soumis à une gestion sûre et rigoureuse, à même de protéger l'homme et l'environnement, aujourd'hui et demain, de leurs nuisances potentielles ? Etait-il du reste tout simplement possible de mettre les déchets radioactifs en lieu sûr le temps qu'ils deviennent inoffensifs ? Qu'allait-il par ailleurs advenir des installations nucléaires au terme de leur exploitation ? Allait-on se contenter de les fermer et de les isoler à jamais derrière un périmètre de sécurité ? C'étaient là des questions essentielles, mais jusqu'alors sans réponses.

C'est pour apporter des réponses à toutes ces interrogations que le législateur a créé l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies (ONDRAF) en 1980. A l'image des autres instances responsables de la gestion des déchets radioactifs de par le monde, cet organisme public sans

but lucratif est à la recherche de solutions définitives permettant d'isoler de façon sûre les déchets de la biosphère pendant le temps nécessaire à une décroissance suffisante de leur radioactivité, autrement dit jusqu'à ce qu'ils ne présentent plus de danger radiologique pour l'homme et l'environnement.

Cette première partie offre un aperçu de la gestion des déchets radioactifs en Belgique. Après une brève présentation de l'ONDRAF, elle introduit quelques notions liées aux déchets radioactifs, pour détailler ensuite les différents aspects de leur gestion.

1 L'ONDRAF	3
2 Les déchets radioactifs	6
2.1 Des origines étonnamment variées	6
2.2 Activité et durée de vie : deux paramètres, trois catégories	7
3 La gestion des déchets radioactifs	10
3.1 La gestion à court terme : une routine bien maîtrisée	10
3.2 La gestion à long terme : un défi à notre portée	16
3.3 Les prévisions de production de déchets sont indispensables	19

1 L'ONDRAF

En créant l'ONDRAF le 8 août 1980, le législateur a voulu que la gestion à long terme des déchets radioactifs soit le fait d'un organisme unique sous contrôle public, afin de garantir que l'intérêt général prévale, aujourd'hui et demain, dans toutes les décisions à prendre. Un organisme public n'est en effet pas soumis aux aléas de la vie économique et aux contraintes de rentabilité des capitaux.

Les compétences et missions de l'ONDRAF ont été définies par l'arrêté royal du 30 mars 1981 et complétées par l'arrêté royal du 16 octobre 1991, qui doit lui-même être adapté aux nouvelles dispositions de la loi du 12 décembre 1997. Ses compétences portent sur trois domaines principaux et peuvent se résumer comme suit :

- *la gestion de tous les déchets radioactifs* présents sur le territoire belge, qui comprend
 - l'inventaire de toutes les installations nucléaires et de tous les sites contenant des substances radioactives ;
 - l'enlèvement des déchets radioactifs chez les producteurs ;
 - le transport, le traitement, le conditionnement et l'entreposage provisoire de ces déchets ;
 - la mise en dépôt final des déchets conditionnés au terme de la période d'entreposage provisoire ;
- *la gestion des quantités excédentaires de matières fissiles enrichies, de matières plutonifères et de combustible neuf ou usé ;*
- *le déclassement des installations nucléaires désaffectées.*

L'ONDRAF a pour mission d'exécuter toutes les opérations découlant de ses trois domaines de compétences. Ces opérations comprennent essentiellement des tâches de coordination et de gestion d'activités industrielles et scientifiques effectuées par des tiers. Toutes visent à préserver la population présente et les générations futures des nuisances potentielles des résidus de toutes les activités utilisant des substances radioactives effectuées en Belgique. Elles couvrent tant le court terme que le long terme, en ce sens que l'ONDRAF a également pour mission de proposer aux pouvoirs publics des solutions éthiques et sûres au problème des déchets radioactifs et de veiller ensuite à la mise en œuvre de celles qui seront retenues.

Dans un contexte plus général, l'ONDRAF doit établir et exécuter un programme d'information et de communication envers le public et les autorités, lequel couvre l'ensemble de ses activités. Il doit également définir, en colla-

boration avec les exploitants nucléaires, les programmes de recherche et de développement nécessaires à l'accomplissement de ses missions et les gérer.

Opérationnel depuis 1982, l'ONDRAF a développé un système de gestion centralisée de tous les déchets radioactifs présents sur le territoire belge, qu'il continue à améliorer. Ce système, qui s'accompagne d'un programme d'assurance de la qualité pour chaque phase de la gestion, vise prioritairement à assurer la sûreté. Il s'appuie pour ce faire essentiellement sur deux principes, appliqués à toutes les phases de cette gestion : d'une part, la concentration et le confinement des substances radioactives, de sorte qu'elles ne puissent se disperser dans l'environnement et, d'autre part, le blindage contre les rayonnements ionisants.

L'ONDRAF peut effectuer ses missions par ses propres moyens. Il peut aussi faire appel à d'autres experts et leur en sous-traiter tout ou partie des aspects, dans le cadre de conventions spécifiant les règles à observer. En pratique, il sous-traite les transports de déchets radioactifs à des transporteurs spécialisés et la majeure partie des activités de traitement de ces déchets ainsi que leur entreposage provisoire à son entreprise-filiale Belgoprocess, implantée à Dessel. Pour les études et projets de recherche, l'ONDRAF fait appel à des bureaux d'études tels que Belgatom et à des centres de recherche tels que le CEN-SCK, en Belgique comme à l'étranger.

Bien que disposant du monopole de la gestion des déchets radioactifs en Belgique, l'ONDRAF n'a pas de but lucratif. Il exécute ses missions dans des conditions de bonne pratique industrielle, financière et commerciale, au prix coûtant, et fait payer aux producteurs de déchets radioactifs le prix nécessaire pour assurer la sécurité présente et future de la population : c'est le principe du « pollueur payeur ». Il veille du reste à ce que tant ses propres collaborateurs que les organisations auxquelles il confie des missions exécutent leurs tâches le plus efficacement possible et pour un coût raisonnable. L'ONDRAF bénéficie toutefois également d'autres sources de financement. Ainsi, plusieurs de ses programmes de recherche et développement sont soutenus par la Commission européenne. Par ailleurs, le financement de l'assainissement des passifs nucléaires dont il a la charge est réglé par des conventions particulières avec l'Etat belge et les producteurs d'électricité. Enfin, l'ONDRAF dispose depuis début 1999 des moyens et autorisations qui lui permettent de gérer un fonds de financement alimenté par les producteurs et destiné à couvrir les coûts de la gestion à long terme des déchets radioactifs.

L'ONDRAF surveille l'exécution des missions qu'il confie à des tiers et en assume la responsabilité, sous le contrôle permanent de son autorité de tutelle, le ministre qui a l'énergie dans ses attributions. Il lui rend compte de ses activités à intervalles réguliers et présente annuellement un rapport d'activités au Parlement. En tant qu'acteur impliqué dans la gestion de substances radioactives, il est également soumis à la surveillance du ministère de la Justice, service de Sûreté nucléaire, et à celle de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN), officiellement instaurée en mai 1997.

L'ONDRAF travaille dans le respect de la réglementation en vigueur. En matière d'énergie nucléaire en général et de gestion des déchets radioactifs en particulier, cette réglementation provient essentiellement de recommandations et de directives internationales émises par des organisations telles que la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'Union européenne et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économique (AEN/OCDE). S'appuyant sur ces recommandations internationales, les pouvoirs publics belges ont institué un cadre législatif très strict qui régit l'ensemble des activités touchant à la radioactivité. Ce cadre est régulièrement adapté à l'évolution des sciences et des techniques, ainsi qu'aux recommandations des organisations internationales.

Ni juge ni partie mais souvent sur le devant de la scène, l'ONDRAF orchestre les efforts de ses nombreux partenaires, issus d'horizons variés. Tous ses membres, une soixantaine de personnes environ, s'efforcent de travailler en toute indépendance et en toute transparence, dans un esprit éthique respectueux des hommes et des femmes d'aujourd'hui et de demain.

2 Les déchets radioactifs

Quoiqu'issus de sources très diverses, les déchets radioactifs peuvent être caractérisés par deux paramètres qui reflètent l'importance du risque qu'ils représentent : leur activité et leur durée de vie, dont la combinaison détermine la catégorie radiologique à laquelle ils appartiennent.

2.1 Des origines étonnamment variées

Les déchets radioactifs ont des origines multiples. Actuellement, la plupart sont des déchets de production courante, c'est-à-dire des déchets produits dans le cadre d'activités industrielles, scientifiques ou médicales de routine. Une proportion croissante d'entre eux sera toutefois générée à l'avenir par le déclassement d'installations nucléaires désaffectées.

En Belgique, les déchets radioactifs de production courante proviennent pour 80% environ du secteur électronucléaire, et principalement de l'exploitation quotidienne des sept réacteurs commerciaux répartis entre les centrales de Doel et de Tihange. En 1998, le parc électronucléaire, d'une puissance totale de 5,7 GWe, fournissait 55% de la production nationale d'électricité. Trois autres branches du secteur électronucléaire génèrent également des déchets : la fabrication de combustibles nucléaires (par Belgonucléaire et FBFC International), le retraitement de combustibles nucléaires usés (par la société française COGEMA pour le compte de Synatom) et la recherche dans le domaine de l'énergie nucléaire (par le CEN-SCK, l'Institut des matériaux et mesures de références ou IMMR, et les universités). Enfin, l'industrie non-nucléaire, l'agriculture, la recherche scientifique en général et le monde médical utilisent aussi des substances radioactives et produisent dès lors également des déchets radioactifs.

Les déchets radioactifs de déclassement sont les déchets issus des opérations de décontamination et de démantèlement des installations nucléaires définitivement mises à l'arrêt. Ils proviennent presque exclusivement à ce jour des opérations de déclassement en cours sur les sites de l'ancienne usine-pilote de retraitement Eurochemic et du réacteur BR3 du CEN-SCK et sont donc encore peu abondants.

2.2 Activité et durée de vie : deux paramètres, trois catégories

Les déchets radioactifs se distinguent des autres types de déchets dangereux par le fait qu'ils évoluent spontanément vers un état inoffensif, tout au moins d'un point de vue radiologique : il suffit d'attendre. Le problème spécifique posé par les déchets radioactifs est que ce temps d'attente est parfois très long, pouvant aller pour certains radioéléments jusqu'à des millions d'années.

Deux paramètres principaux permettent de classer les déchets radioactifs : leur niveau d'activité (c'est-à-dire le nombre de désintégrations nucléaires par seconde, exprimé en becquerels ou Bq) combiné à la nature des rayonnements qu'ils émettent, et leur durée de vie (c'est-à-dire le temps après lequel leur activité est réduite de moitié). La durée de vie est différente pour chaque corps radioactif et peut aller de quelques secondes à quelques millions d'années. Ainsi, la durée de vie du technétium 99m, utilisé en médecine, est de six heures à peine, tandis que celle de l'américium 241, utilisé dans certains détecteurs de fumée, est de 430 ans. Un hôpital ou un laboratoire de recherche peut donc gérer lui-même ses déchets de suffisamment courte durée de vie s'il dispose des bâtiments adéquats : ainsi, après 60 heures d'entreposage, un déchet contaminé au technétium 99m peut, moyennant un dernier contrôle, être considéré comme un déchet non-radioactif, puisque son niveau d'activité a été réduit par un facteur 1 000.

Activité et durée de vie déterminent les mesures à mettre en œuvre lors de la gestion des déchets radioactifs. Le niveau d'activité (faible, moyenne ou haute) des déchets, combiné avec la nature des rayonnements qu'ils émettent, dicte avant tout les mesures de confinement et de protection à mettre en œuvre lors de chacune des étapes de leur gestion à court terme. La durée de vie (courte ou longue) de ces déchets influe, elle, essentiellement sur le choix de la solution à mettre en œuvre pour leur gestion à long terme. Cette gestion doit en effet permettre de les empêcher définitivement de nuire à l'homme et à l'environnement, autrement dit de les maintenir isolés de la biosphère jusqu'à ce qu'ils aient atteint un niveau de radioactivité acceptable pour la santé publique. Pour les déchets de courte durée de vie, c'est-à-dire les déchets qui contiennent une majorité de radioéléments de durée de vie inférieure ou égale à 30 ans, on considère généralement que cette durée est de l'ordre de 300 ans, soit le temps nécessaire à une diminution par un facteur 1 000 au moins de leur niveau d'activité. Pour les déchets de longue durée de vie, ce laps de temps peut aller jusqu'à des millions d'années.

Du point de vue international, les déchets radioactifs conditionnés sont généralement subdivisés en deux groupes [1].

- *Le premier groupe* est constitué par les déchets dont les caractéristiques radiologiques, en l'occurrence les concentrations d'activité des radioéléments qu'ils contiennent et la durée de vie de ceux-ci, sont telles que leur isolement permanent de la biosphère est impératif et qu'il constitue la seule solution définitive envisageable. Cet isolement permanent est actuellement considéré comme réalisable via l'enfouissement en couche géologique profonde et stable.

Selon la classification belge, ces déchets correspondent aux déchets des catégories B et C (table 2.1). Les déchets de catégorie B regroupent les déchets de faible et moyenne activité contaminés par des émetteurs alpha de longue durée de vie en quantités trop importantes que pour pouvoir être rangés dans la catégorie A. Ces déchets contiennent aussi des quantités variables d'émetteurs bêta et gamma. Ce sont essentiellement des déchets issus de la fabrication des combustibles neufs et du retraitement des combustibles usés, mais près d'un quart d'entre eux proviendront des activités futures de déclasserment. Les déchets de catégorie C regroupent, eux, tous les déchets de haute activité, qui contiennent de grandes quantités d'émetteurs alpha de longue durée de vie. La plupart émettent de la chaleur en quantité importante. Ce sont soit des déchets issus du retraitement des combustibles usés, soit les combustibles usés eux-mêmes, s'ils ne sont pas retraités.

- *Le second groupe* est constitué par les déchets dont les caractéristiques radiologiques, par leurs valeurs moins élevées, autorisent que soient considérées des solutions alternatives à l'isolement en couche géologique profonde. Leur décroissance radioactive leur permet en effet d'atteindre un niveau jugé radiologiquement insignifiant dans un laps de temps compatible avec les possibilités de contrôle.

Selon la classification belge, ces déchets correspondent aux déchets de catégorie A (table 2.1). Ils regroupent les déchets de faible et moyenne activité et de courte durée de vie. Ce type de déchets peut également contenir de faibles quantités d'émetteurs alpha de longue durée de vie. Ce sont typiquement des tenues d'intervention, des filtres, des pièces d'équipement, des produits de consommation tels que des emballages, du papier, du plastique et des aiguilles de seringue, des résidus du traitement des eaux usées dans les centrales nucléaires, ainsi que certains déchets de déclasserment.

Table 2.1 Les trois catégories de déchets radioactifs selon la classification belge. Déterminée par son activité et sa durée de vie, la catégorie radiologique à laquelle appartient un lot de déchets radioactifs influence les modalités de sa gestion tant à court qu'à long terme.

	Faible activité	Moyenne activité	Haute activité
Courte durée de vie (30 ans ou moins)	A	A	C
Longue durée de vie (plus de 30 ans)	B	B	C

En pratique, niveaux d'activité et catégories radiologiques sont fréquemment utilisés l'un pour l'autre, et ce parfois de manière abusive. Ainsi, l'appellation « déchets de faible activité et de courte durée de vie », fréquemment associée aux déchets de catégorie A, qui sont au centre du présent dossier, constitue une simplification qui, pour être commode, n'en est pas moins importante. Premièrement, l'immense majorité des déchets de catégorie A contient plusieurs types de radioéléments présentant des activités et durées de vie différentes. Deuxièmement, les déchets de catégorie A peuvent contenir des radioéléments de moyenne activité, pourvu qu'ils aient des durées de vie suffisamment courtes, ainsi que des radioéléments de longue durée de vie, pourvu que leurs activités soient très faibles. L'appellation « déchets de haute activité ou de longue durée de vie » désigne, elle, les déchets des catégories B et C.

Les déchets radioactifs ne constituent qu'une fraction minime de l'ensemble des déchets, radioactifs et non-radioactifs, produits en Belgique. Ils représentent en effet en pratique moins d'un demi-kilo par habitant et par an, soit moins de 0,02 % du total des déchets industriels et ménagers produits, et sont constitués essentiellement de déchets de catégorie A. Quant aux déchets de catégorie C, ils ne représentent qu'un dixième de l'ensemble des déchets radioactifs.

Malgré les faibles volumes en jeu (sections 3.1 et 3.3), les déchets radioactifs constituent un danger potentiel pour l'homme et pour l'environnement. Ils doivent donc faire l'objet d'une gestion particulière, destinée à les empêcher de nuire.

3 La gestion des déchets radioactifs

La gestion des déchets radioactifs s'organise différemment selon les pays. Certains pays considèrent que c'est l'Etat qui porte la responsabilité de leur gestion : c'est par exemple le cas de l'Allemagne, de la Belgique, de l'Espagne et de la France. D'autres considèrent que c'est aux producteurs des déchets — soit, en pratique, à l'industrie — qu'il appartient de s'en charger : c'est le cas notamment de la Finlande, de l'Italie, du Royaume-Uni et de la Suède.

En Belgique, c'est l'ONDRAF qui assure, pour le compte de l'Etat, une gestion cohérente et sûre des déchets radioactifs. Les principes sur lesquels repose cette gestion relèvent du principe de précaution, qui recommande d'adopter une attitude prudente et responsable en cas d'incertitude quant aux conséquences d'une pratique donnée.

La gestion des déchets radioactifs débute dès leur production dans les installations qui utilisent des substances radioactives et s'achève avec leur mise en dépôt final. Comme la gestion des déchets industriels et ménagers conventionnels, elle implique le tri à la source des déchets, leur réduction de volume ainsi que leur recyclage et récupération éventuels. Les consignes et règles de sécurité sont toutefois adaptées à la nature spécifique des matières à gérer et garantissent, moyennant des infrastructures et des équipements adéquats, une protection efficace contre l'irradiation et la contamination par des substances radioactives. Ces mesures de radioprotection s'appuient sur le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), qui vise à faire en sorte que toute exposition à un rayonnement soit justifiée et que la dose soit aussi faible que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

3.1 La gestion à court terme : une routine bien maîtrisée

Les opérations de gestion à court terme des déchets radioactifs, qui s'étendent typiquement sur quelques dizaines d'années, sont regroupées en cinq étapes, dont l'ordre varie selon que les producteurs traitent et conditionnent ou non eux-mêmes leurs déchets. Elles débutent avec la gestion à la source des déchets — on peut même dire avec la prévention — et s'achèvent avec leur entreposage provisoire (figure 3.1). Ce sont aujourd'hui des opérations industrielles bien maîtrisées effectuées en routine par le personnel spécialisé de Belgoprocess. Certains producteurs, comme les centrales nucléaires de Doel et de Tihange, traitent et conditionnent toutefois eux-mêmes une partie de leurs déchets. L'armée belge fait de même avec des déchets contaminés

au radium, notamment des cadrans d'avions et certains objets peints. L'IRE quant à lui traite certains déchets du secteur non-nucléaire, tels des détecteurs de fumée, des paratonnerres ainsi que des sources radioactives usées utilisées dans des systèmes de mesure.

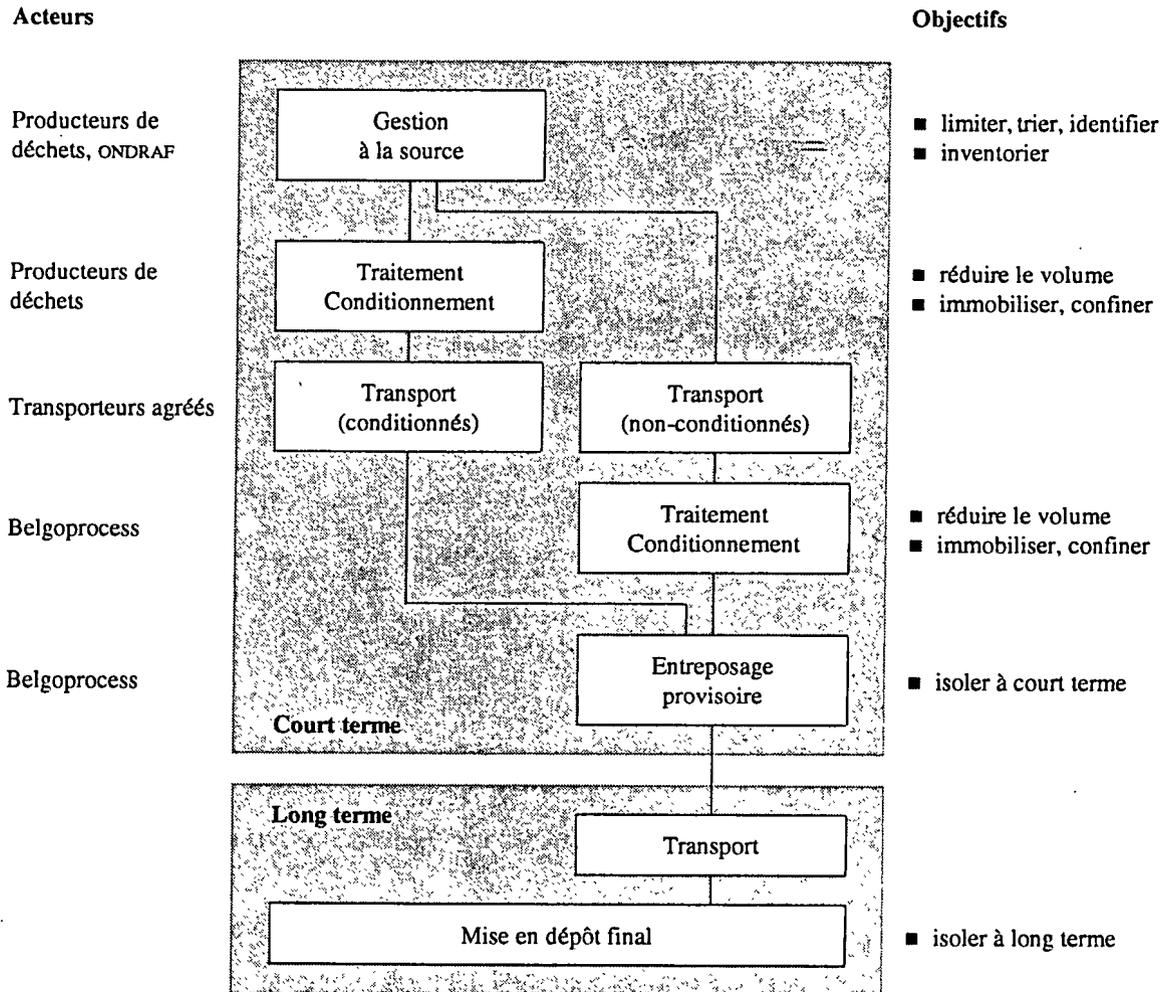


Figure 3.1 La gestion des déchets radioactifs en Belgique. Sous la responsabilité de l'ONDRAF, Belgoprocess exécute la majeure partie des opérations de traitement et de conditionnement requises et assure l'entreposage provisoire des déchets.

Gestion à la source La gestion à la source des déchets radioactifs s'entend à deux niveaux : le niveau individuel et local — celui des producteurs — et le niveau global et fédéral — celui de l'ONDRAF. Les producteurs sont tenus de limiter autant que possible la production de déchets à la source, effort qui se traduit par une diminution d'année en année de la quantité de déchets radioactifs de production courante. Ils doivent par ailleurs trier leurs déchets et identifier leur contenu radioactif et non-radioactif en suivant les normes imposées par l'ONDRAF afin de permettre un déroulement sûr et efficace des phases ultérieures de leur gestion. De son côté, l'ONDRAF tient en permanence à jour un inventaire qualitatif et quantitatif aussi précis que nécessaire de tous les déchets radioactifs présents et à venir : c'est là une condition essentielle de leur gestion optimale en toute sûreté, tant à court qu'à long terme, et c'est pourquoi quiconque détient des déchets radioactifs en Belgique est légalement tenu d'en informer l'ONDRAF (section 3.3).

Transport Le transport des substances radioactives est soumis à une réglementation internationale très stricte. Les transporteurs doivent par ailleurs avoir recours à des conditionnements appropriés, qui garantissent le confinement des radioéléments pendant le transport et offrent un blindage suffisant contre les rayonnements. Ces mesures de radioprotection sont établies de façon telle que tous les transports de substances radioactives, que celles-ci soient de faible, moyenne ou haute activité, garantissent toujours le même niveau de protection. C'est ainsi que le transport des déchets de faible activité ne nécessite aucune mesure extraordinaire, alors que les autres déchets nécessitent des moyens de transport spécifiques. Tous les transporteurs doivent par ailleurs faire contrôler chaque transport de substances radioactives au départ comme à l'arrivée, au niveau tant de la contamination externe que des rayonnements.

Responsable de l'organisation de tous les transports de déchets radioactifs en Belgique depuis 1986, l'ONDRAF supervise l'enlèvement des déchets chez les producteurs, afin qu'ils soient acheminés vers les installations centralisées de traitement, de conditionnement et d'entreposage de Belgoprocess et, pour une faible minorité d'entre eux, vers l'IRE. L'ONDRAF fait appel pour ces transports à des firmes spécialisées, Transnubel et Transrad, qui disposent du matériel requis et des autorisations adéquates délivrées par l'autorité compétente, le ministère de la Santé publique. Le CEN-SCK et plusieurs petits producteurs, essentiellement les universités, assurent néanmoins eux-mêmes le transport de leurs déchets vers Belgoprocess, moyennant contrôle et accord des autorités compétentes.

Traitement Le traitement des déchets radioactifs bruts et hétérogènes, qui dépend de leurs caractéristiques physiques et chimiques, vise à les mettre dans un état physique et chimique compatible avec les paramètres du procédé de conditionnement et à en réduire le volume, ceci afin de faciliter un confinement performant et de limiter le coût d'entreposage et de gestion à long terme. Ainsi, les déchets solides sont soumis à des traitements d'incinération ou de compaction, tandis que les déchets liquides sont soumis à des traitements physicochimiques ou chimiques. Ces différentes opérations permettent de concentrer au maximum les radioéléments dans les boues, cendres ou déchets métalliques issus du traitement. Les effluents liquides et gazeux qui en résultent peuvent, eux, être rejetés dans l'environnement moyennant des précautions sévères destinées à les purifier de leurs polluants non-radioactifs et à ramener leurs niveaux de radioactivité en dessous des limites légales.

Si les caractéristiques physicochimiques des déchets radioactifs dictent les procédés de traitement à mettre en œuvre, leur niveau d'activité impose les moyens de protection à utiliser en termes tant de blindage des rayonnements et de confinement de la contamination que d'équipement individuel.

- *Le traitement des déchets de faible activité* ne nécessite généralement pas de blindage très important. Les opérateurs portent cependant une tenue de protection (généralement une combinaison plastifiée), des gants et un masque avec filtre lorsqu'ils risquent d'être en contact direct avec des substances radioactives.
- *Le traitement des déchets de moyenne activité* doit se faire dans un espace fermé et blindé. Les opérateurs, protégés par des murs en béton et des vitres en verre blindé, effectuent toutes les manipulations à l'aide d'appareils télécommandés.
- *Le traitement des déchets de haute activité*, enfin, requiert le même type de précautions que celui des déchets de moyenne activité. Les blindages nécessaires sont toutefois plus importants.

Grâce aux investissements considérables consentis par l'ONDRAF depuis sa création, Belgoprocess dispose aujourd'hui, en tant qu'exploitant nucléaire, d'une infrastructure très complète pour le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs. L'ONDRAF a en effet fait rénover et moderniser certaines des installations du site de Belgoprocess et en a fait construire de nouvelles. Les différentes installations de Belgoprocess peuvent donc aujourd'hui traiter et conditionner la grande majorité des déchets radioactifs produits en Belgique, qu'ils soient solides ou liquides, et de faible, moyenne ou haute activité. (Les déchets provenant du retraitement par la société fran-

çaise COGEMA des combustibles nucléaires usés déchargés des centrales belges sont traités et conditionnés sur place par COGEMA.)

Conditionnement Le conditionnement sous forme solide des déchets radioactifs traités permet d'obtenir un matériau solide, compact, chimiquement stable et non-dispersable, répondant à des spécifications précises, et donc d'en faciliter la manutention ultérieure. Il comprend généralement l'immobilisation dans une matrice de conditionnement et la mise dans un emballage métallique cylindrique résistant à la corrosion, de manière à obtenir des colis aptes à remplir un rôle de barrière dans le dépôt final. Après sa fermeture, chaque emballage reçoit sa propre fiche d'identification, qui indique l'origine, le contenu radioactif et les caractéristiques physiques et chimiques des déchets qu'il renferme.

En plus de dicter les mesures de protection à prendre, le niveau d'activité des déchets influence leur mode de conditionnement.

- *Les déchets de haute activité émettant de la chaleur en quantité importante* sont vitrifiés, c'est-à-dire qu'ils sont incorporés à du verre en fusion, lui-même coulé dans des emballages cylindriques en acier inoxydable appelés conteneurs. Ainsi, ceux qui renferment les déchets du retraitement par la société française COGEMA des combustibles usés belges ont une capacité de 120 litres et pèsent en moyenne 450 kg une fois remplis.
- *Les déchets de faible et moyenne activité et les autres déchets de haute activité* sont cimentés, bétonnés ou bituminés, selon leurs caractéristiques physicochimiques. Ils sont emballés dans des fûts standard en acier, qui ont une capacité de 400 litres et pèsent le plus souvent entre 900 et 1000 kg une fois remplis. Il existe toutefois également des fûts de 200 litres.

Deux installations se distinguent parmi les installations de conditionnement du site de Belgoprocess. L'installation PAMELA, mise en service en 1985, a permis la vitrification de déchets solides et liquides de haute activité et permet encore la cimentation de déchets solides de moyenne et haute activité. L'installation CILVA, elle, est la nouvelle infrastructure ultramoderne de traitement et de conditionnement des déchets solides et liquides de faible activité, qui remplace depuis 1994-1995 diverses installations devenues obsolètes.

Entreposage provisoire Les colis de déchets radioactifs conditionnés sont entreposés à titre provisoire sur le site de Belgoprocess, dans cinq bâtiments spécialement conçus à cet effet. Ces bâtiments sont dotés de blindages appropriés et, si nécessaire, de systèmes de commande à distance.

- *Les déchets de faible activité* sont entreposés dans deux bâtiments dotés de murs en béton armé de 25 cm d'épaisseur.
- *Les déchets de moyenne activité* sont entreposés dans un bâtiment doté de murs en béton armé de 80 cm d'épaisseur. Ce bâtiment est équipé du même type de systèmes de commande à distance que les bâtiments destinés à l'entreposage des déchets de faible activité.
- *Les déchets de haute activité*, enfin, sont entreposés dans deux bâtiments dotés de murs en béton armé de 1,2 à 1,7 m d'épaisseur. Ces bâtiments sont conçus pour résister à des conditions externes extrêmes, comme des séismes, explosions ou chutes d'avions militaires, et leur durée de vie escomptée est de 75 à 100 ans. Les conteneurs y sont manipulés par des machines de chargement blindées commandées à distance et la chaleur qu'ils émettent est évacuée par un puissant système de ventilation. Les déchets y seront conservés pendant 50 ans au moins, soit jusqu'à ce qu'ils aient suffisamment refroidi pour pouvoir être mis en dépôt final.

Les quantités de déchets radioactifs entreposés par Belgoprocess augmentent à un rythme régulier, qui s'accroîtra avec l'intensification des activités de déclassement au XXI^e siècle. Fin 1998, Belgoprocess accueillait 10845 m³ (25910 colis) de déchets conditionnés de catégorie A, 3715 m³ (15313 colis) de déchets conditionnés de catégorie B et 215 m³ (2335 colis) de déchets conditionnés de catégorie C (table 3.1).

Table 3.1 Comparaison des volumes de déchets conditionnés qui étaient entreposés sur le site de Belgoprocess fin 1998 avec les volumes attendus d'ici 2060, soit d'ici la fin des opérations de démantèlement des installations nucléaires existantes (section 3.3). Le maintien ou l'abandon de l'option de retraitement des combustibles usés affecte nettement le volume attendu de déchets de catégorie C.

	Volumes existants	Volumes totaux attendus		Pourcentages	
		avec retrait.	sans retrait.	avec retrait.	sans retrait.
Catégorie A	10845 m ³	60000 m ³	60000 m ³	18 %	18 %
Catégorie B	3715 m ³	8800 m ³	7800 m ³	42 %	48 %
Catégorie C	215 m ³	900 m ³	6700 m ³	24 %	3 %

Quoique l'entreposage provisoire des déchets radioactifs conditionnés constitue une solution acceptable à court terme pour tous les types de déchets, sa prolongation en tant que solution à long terme est plus difficile. Elle est même tout simplement exclue pour les déchets des catégories B et C. Un dépôt final bien conçu, qu'il soit en surface ou en profondeur, permet par contre d'isoler les déchets radioactifs de la biosphère de façon telle qu'ils ne nécessitent plus, à terme, aucune intervention des générations futures.

3.2 La gestion à long terme : un défi à notre portée

Les opérations de gestion à long terme des déchets radioactifs, encore au stade de la recherche et du développement en Belgique, visent à élaborer des concepts de dépôt aptes à garantir un héritage nucléaire sûr et bien maîtrisé aux générations futures. De tels dépôts doivent à terme pouvoir assurer passivement, c'est-à-dire sans intervention extérieure, la protection de l'homme et de l'environnement contre les effets nocifs potentiels des déchets qu'ils abritent. C'est ainsi que le dépôt en surface ne requerra de surveillance rapprochée que durant environ 300 ans après sa fermeture, tandis que le dépôt en profondeur ne fera vraisemblablement l'objet d'une telle surveillance que durant quelques décennies après sa fermeture.

Si la mise en dépôt final des déchets radioactifs signifie qu'il n'y a pas d'intention a priori de les récupérer, les dépôts envisagés en Belgique seront néanmoins conçus pour être réversibles, c'est-à-dire pour permettre aux générations futures de récupérer les déchets si elles le souhaitent, avant voire même après la fermeture du dépôt. Les différentes phases de la vie d'un tel dépôt — construction, remplissage et fermeture — ne seront par ailleurs mises en œuvre qu'étape par étape, chacune devant faire l'objet d'évaluations de sûreté intermédiaires approfondies, de sorte que le processus de décision sera progressif et qu'il sera possible, le cas échéant, de revenir sur une décision antérieure (section 6.4).

Toutes les méthodes de mise en dépôt final envisagées aujourd'hui dans le monde reposent sur deux principes : la décroissance naturelle de la radioactivité au fil du temps ainsi que la concentration et le confinement des déchets radioactifs à l'aide de barrières artificielles et naturelles successives. La décroissance progressive de la radioactivité est un phénomène naturel connu, qui permet de prévoir avec précision le laps de temps nécessaire pour qu'un colis de déchets d'une catégorie donnée ne présente plus de danger radiologique, de sorte qu'il suffit d'isoler ce colis de la biosphère pendant cette période. C'est là le rôle des barrières multiples, qui concentrent les déchets

en un endroit unique et les isolent de la biosphère selon le modèle des poupées gigognes, à cette différence près que les barrières successives sont de natures différentes. Elles contribuent toutes, et de manière indépendante, à limiter la dispersion des substances radioactives dans la biosphère, de sorte que l'impact radiologique des déchets enfouis soit et reste négligeable au regard de celui de la radioactivité naturelle. Les deux premières barrières sont artificielles : ce sont le colis de déchets et l'installation de dépôt proprement dite. La troisième est naturelle : c'est le milieu géologique dans lequel les deux premières barrières sont intégrées.

- *Le colis de déchets* doit contenir la radioactivité le plus longtemps possible. Ce sont la matrice de conditionnement et l'emballage métallique qui remplissent ce rôle. Deux des trois concepts génériques actuels de dépôt final pour les déchets de catégorie A prévoient toutefois un post-conditionnement des fûts de déchets conditionnés dans des caissons en béton, de manière à former des monolithes, qui deviennent alors eux-mêmes les colis à enfouir (chapitre 8).
- *L'installation de dépôt*, qu'elle soit en surface ou en profondeur, accueille les colis de déchets radioactifs et doit les protéger. Construite en béton, elle doit être adéquatement scellée et protégée au terme de sa phase d'exploitation.
- *La géologie du site d'accueil*, enfin, doit protéger les deux barrières artificielles. Elle doit en outre, une fois que les barrières artificielles ont perdu leur étanchéité, ralentir suffisamment la migration des substances radioactives résiduelles vers la biosphère ou les diluer suffisamment pour que cette radioactivité ne représente plus de risque pour l'homme et l'environnement. Elle doit pour cela répondre à des exigences de sûreté spécifiques (section 6.5).

Le choix du type de dépôt final — en surface ou en profondeur — dépend de la durée de vie et de l'activité des déchets qu'il doit abriter. Les déchets de catégorie A pourront être mis en dépôt en surface ou, le cas échéant, juste en dessous de la surface, puisqu'il est possible de construire des installations qui conservent une intégrité suffisante durant la période nécessaire, c'est-à-dire environ 300 ans, pour que le niveau de la radioactivité retombe, par décroissance naturelle, à un niveau acceptable pour la santé publique. Ces installations doivent néanmoins faire l'objet d'une surveillance rapprochée pendant cette même période. Le dépôt en couche géologique profonde était, lui, étudié jusqu'il y a peu avant tout pour l'enfouissement des déchets des catégories B et C, pour lesquels il constitue l'unique solution raisonnablement envisageable. Il est aujourd'hui également envisagé pour les déchets de catégorie A, conformément aux nouvelles missions que le Conseil des minis-

tres a confiées à l'ONDRAF en janvier 1998 (section 4.4). Il garantit de façon passive et robuste la sûreté à long terme et ne requiert en principe qu'une surveillance très réduite après sa fermeture.

La solution du dépôt final en surface développée par l'ONDRAF fait appel au concept du post-conditionnement (section 8.1). Elle prévoit que les fûts de déchets conditionnés seront immobilisés par groupes de quatre dans des caissons en béton pour former des monolithes, eux-mêmes déposés dans des modules de dépôt final également en béton. Ces modules, qui seront recouverts d'une dalle de fermeture en béton, seront en outre protégés par plusieurs couches de matériaux artificiels et naturels étanches à l'eau, qui est le seul vecteur significatif du transport des substances radioactives vers l'environnement. Une fois le remplissage du dépôt terminé et les modules ensevelis sous plusieurs couches de protection, le site pourra être recouvert d'une couche de végétation, qui rendra au paysage une apparence naturelle. Le dépôt aura été doté de galeries d'inspection, qui permettront de déceler d'éventuelles fuites de radioactivité, au cas peu probable où les barrières artificielles viendraient à présenter une déficience prématurée. Il fera l'objet d'un contrôle après sa fermeture durant environ 300 ans, contrôle qui consistera essentiellement en analyses des eaux souterraines, du sol et de l'air, après quoi le site pourra être définitivement affecté à d'autres usages.

La solution du dépôt final en profondeur suppose la construction d'une installation de dépôt à grande profondeur, solution qui fait aujourd'hui l'objet d'un consensus au niveau international, en tout cas pour le dépôt des déchets des catégories B et C. Ce dépôt serait construit dans une couche d'argile.

Dès 1974, le CEN-SCK a entamé un programme de recherche sur l'Argile de Boom, présente dans son sous-sol, en vue d'étudier la possibilité d'utiliser l'argile pour l'enfouissement des déchets des catégories B et C. Géré par l'ONDRAF depuis le milieu des années quatre-vingt, ce programme de travail, récemment étendu à l'Argile d'Ypres, a permis d'accumuler une énorme quantité de connaissances, comme en témoigne le rapport SAFIR 1 [2], que viendra compléter le rapport SAFIR 2 d'ici la mi-2000. Ce programme a montré, via les évaluations de sûreté, que les couches d'argile offrent une protection efficace à très long terme. Ces couches sont en effet peu perméables à l'eau et retardent efficacement la migration des substances radioactives de longue durée de vie vers la biosphère. Stables depuis des millions d'années, elles possèdent en outre un bon pouvoir autocicatrisant grâce à leur caractère plastique : excavations et fissures s'y referment spontanément avec le temps.

Les travaux du CEN-SCK l'ont rapidement conduit à construire l'installation de recherche souterraine HADES, située à 225 mètres de profondeur, prouvant du même coup la possibilité de creuser industriellement des galeries d'un diamètre approprié dans l'argile. Les expériences qu'il y mène in situ depuis une quinzaine d'années lui ont permis d'accumuler, grâce à l'utilisation de déchets simulés, une somme de connaissances sur la compatibilité, c'est-à-dire l'influence mutuelle, des déchets radioactifs conditionnés avec l'argile environnante. Ces expériences ont notamment abouti au programme PRA-CLAY, avec lequel le concept de dépôt final pour les déchets vitrifiés issus du retraitement est entré dans sa phase de démonstration.

Des travaux de recherche et développement complémentaires sont néanmoins nécessaires pour étudier la compatibilité des déchets de catégorie A avec la formation d'argile. En particulier, l'impact des phénomènes de corrosion de ces déchets dans l'argile fait encore l'objet d'études approfondies. Ces déchets contiennent en effet des quantités non-négligeables de métaux facilement corrodables, qui pourraient conduire à la production de quantités de gaz telles que, compte tenu de la très faible perméabilité de l'argile, il apparaîtrait à terme des surpressions locales génératrices de fissures préjudiciables à un confinement correct des déchets.

L'ONDRAF envisage aujourd'hui deux concepts de dépôt final en profondeur pour les déchets de catégorie A : la mise en dépôt direct des fûts de déchets conditionnés et la mise en dépôt de ces fûts après conditionnement sous forme de monolithes (section 8.2). Ces deux concepts impliquent la construction d'un réseau de galeries horizontales dans une des couches d'argile présentes dans le sous-sol. Deux puits d'accès mènent à une ou deux galeries principales permettant le transport et la manutention des colis de déchets. Ces galeries desservent des galeries de diamètre plus petit, destinées à l'enfouissement des colis. Les espaces vides dans l'installation de dépôt sont colmatés à l'aide d'un matériau de remblai.

3.3 Les prévisions de production de déchets sont indispensables

Tout bon gestionnaire de stocks se doit autant de connaître à tout moment l'état des stocks dont il a la charge que d'anticiper leur évolution probable ; il n'en va pas autrement en gestion des déchets radioactifs. Pour pouvoir mener à bien sa mission, l'ONDRAF doit disposer en permanence d'un inventaire qualitatif et quantitatif précis de l'état des stocks de déchets auxquels il est et sera confronté dans les prochaines décennies. Un tel inventaire nécessite un suivi constant de l'état des stocks existants de déchets conditionnés et

non-conditionnés et une mise à jour fréquente des prévisions de production de déchets. Ces prévisions sont naturellement avant tout influencées par la durée et le volume du programme électronucléaire belge, qui détermine également le calendrier de gestion des déchets jusqu'à leur mise en dépôt final.

Pour les dix à vingt prochaines années, les hypothèses qualitatives et quantitatives relatives aux données de production de déchets radioactifs sont relativement précises. En effet, les stocks de déchets non-conditionnés entreposés à Belgoprocess sont connus, les prévisions des producteurs communiquées à l'ONDRAF peuvent être contrôlées par comparaison avec les fournitures des années antérieures et les programmes de déclassément des installations mises à l'arrêt de Belgoprocess et du CEN-SCK sont relativement bien définis.

La prédiction du volume total des déchets de déclassément des installations nucléaires s'avère toutefois plus incertaine. Cette difficulté a trois causes : l'existence de nombreux scénarios possibles quant à la gestion dans le temps des différentes phases du déclassément de chaque installation et à l'affectation finale de son site, l'absence de pratique industrielle établie et l'évolution vers des techniques toujours plus performantes.

Faute de disposer à ce jour d'une stratégie de déclassément définitive de la part des producteurs d'électricité, l'ONDRAF doit baser ses estimations sur des hypothèses de travail pour les déchets qui seront issus du déclassément futur des installations nucléaires existantes. Le scénario réaliste qu'il a retenu suppose le démantèlement complet de chacun des sept réacteurs nucléaires commerciaux belges au terme d'une période d'exploitation de quarante ans.

Selon ses hypothèses, l'ONDRAF estime les quantités de déchets conditionnés qui seront produites d'ici la fin de toutes les opérations de démantèlement, soit d'ici l'an 2060, aux volumes suivants.

- *60000 m³ de déchets de catégorie A* Ces déchets, environ 135000 tonnes, représentent environ 80% du total des déchets radioactifs attendus, toutes catégories confondues. Ils correspondent actuellement à une production annuelle inférieure à un demi-kilo par habitant pour l'ensemble du programme nucléaire belge actuel, soit moins de 0,02% du total des déchets industriels et ménagers produits. Chaque Belge produit en effet en moyenne chaque année quelque 300 kilos de déchets ménagers et 2,5 tonnes de déchets industriels, dont près de 100 kilos sont toxiques. Fin 1998, 10845 m³ de déchets de catégorie A étaient déjà entreposés dans les bâtiments de Belgoprocess. En 2030 environ, c'est-à-dire quand toutes les installations nucléaires actuelles auront atteint la fin de leur vie

active, le volume cumulé de ces déchets atteindra 30000 m³. Il augmentera ensuite au rythme moyen de 1000 m³ par an suite aux opérations de déclasserment de ces installations, qui devraient se poursuivre durant une trentaine d'années. A l'horizon 2060, il aura donc doublé, mais sera bien inférieur au chiffre de 150000 m³ estimé par l'ONDRAF au milieu des années quatre-vingt et maintenu inchangé jusqu'au début des années nante. (Cette diminution constitue une preuve tangible des efforts de prévention consentis à la source par les producteurs de déchets et de l'amélioration des techniques de décontamination.) Au total, la Belgique devrait donc voir ses stocks de déchets radioactifs conditionnés de catégorie A augmenter de 50000 m³ environ dans les soixante prochaines années.

Contrairement à une idée largement répandue, le volume total attendu de déchets conditionnés de catégorie A n'est que peu influencé par la durée d'exploitation des réacteurs. Le volume total des déchets de déclasserment, estimé à 26000 m³, constitue en effet un volume incompressible, qui proviendra des installations encore en fonctionnement ou déjà mises à l'arrêt. En d'autres termes, même si la Belgique renonçait aujourd'hui à l'énergie nucléaire, elle aurait de toute façon à gérer environ deux tiers du volume total des déchets radioactifs qui seront produits si le programme électronucléaire actuel est mené à son terme, puisqu'aux déchets de déclasserment s'ajoutent les 11000 m³ de déchets déjà produits.

A titre de comparaison, la France et le Royaume-Uni, qui sont les plus gros producteurs de déchets radioactifs d'Europe occidentale, auront produit d'ici 2020 un volume de déchets conditionnés de faible activité compris entre 1 et 1,5 million de m³. Ils sont suivis par l'Allemagne, l'Espagne, la Finlande, la Suède et la Suisse, qui en produiront chacune de 50000 à 200000 m³.

- *de 7800 à 8800 m³ de déchets de catégorie B* Fin 1998, Belgoprocess abritait 3715 m³ de déchets de catégorie B. Le rapatriement progressif des déchets du retraitement par la société française COGEMA des combustibles usés belges, l'assainissement des passifs nucléaires et les opérations de déclasserment représenteront 5085 m³ de déchets additionnels. Si l'option du retraitement des combustibles futurs était abandonnée, 1000 m³ de déchets de catégorie B viendraient en déduction du total escompté, qui serait ainsi ramené à 7800 m³.

- *de 900 à 6700 m³ de déchets de catégorie C* Fin 1998, le stock de déchets de catégorie C se montait à 215 m³. Dans l'hypothèse d'un retraitement complet des futurs combustibles usés des centrales belges par la société française COGEMA, ce stock augmentera de 700 m³, alors qu'en cas de non-retraitement de ces combustibles, les déchets supplémentaires de catégorie C se subdiviseront en 76 m³ de conteneurs de verre déjà produits mais encore à rapatrier de France et 6400 m³ de combustibles usés conditionnés tels quels.

Deuxième partie

La mise en dépôt final des déchets de catégorie A et l'instauration de partenariats locaux

Au début des années nonante, l'ONDRAF projetait de sélectionner le futur site de dépôt final des déchets de catégorie A selon une méthodologie purement technique ne tenant que fort peu compte du contexte local et de l'avis des populations. Les réactions parfois virulentes de l'opinion publique et les recommandations d'experts indépendants l'amènèrent toutefois peu à peu à remettre en question sa méthode de travail. Cette remise en question devint inévitable avec la décision du Conseil des ministres du 16 janvier 1998.

La décision du Conseil des ministres s'alignait sur les recommandations de l'ONDRAF en matière de gestion à long terme des déchets de catégorie A. Le Conseil des ministres optait en effet pour ces déchets en faveur d'une solution définitive ou pouvant le devenir. Cette solution devait en outre pouvoir être mise en œuvre de façon progressive et flexible, ainsi qu'être réversible, c'est-à-dire permettre la récupération ultérieure des déchets.

Le Conseil des ministres confiait également trois nouvelles missions à l'ONDRAF, destinées à permettre au Gouvernement d'effectuer, dès que possible, le choix technique et économique requis entre dépôt final en surface et dépôt final en profondeur. L'ONDRAF devait

- approfondir et finaliser les concepts de mise en dépôt final en surface, notamment du point de vue de la réversibilité et de la contrôlabilité ;
- approfondir et finaliser les études de faisabilité et de coût de mise en dépôt final en profondeur ;
- développer les méthodes, y compris les structures de gestion et de concertation, permettant d'intégrer un projet de dépôt final au niveau local.

L'ONDRAF devait par ailleurs limiter désormais ses investigations aux quatre zones nucléaires existantes — soit celles de Doel, Fleurus-Farciennes, Mol-Dessel-Geel et Tihange — ainsi qu'aux localités intéressées par la réalisation d'une étude préliminaire sur leur territoire. Enfin, il devait remplir ses nouvelles missions en collaboration avec les autorités de sûreté, en particulier avec l'AFCN, pour tous les aspects touchant à la sûreté des installations et à la protection de l'environnement.

Cette évolution amena l'ONDRAF à revoir son programme de travail et à améliorer sa méthodologie. L'obligation qui lui était faite de développer les méthodes permettant d'intégrer un projet de dépôt final au niveau local tout en se limitant désormais à certains types de zones signifiait que le moment était venu de penser davantage aux inquiétudes et aspirations du public.

L'ONDRAF a dès lors mis sur pied un nouveau programme de travail et a élaboré, en collaboration avec l'*Universitaire Instelling Antwerpen* (UIA) et la Fondation universitaire luxembourgeoise (FUL), une méthodologie plus riche, destinée à lui permettre de remplir ses nouvelles missions. Concrètement, il a proposé fin 1998 à toutes les communes intéressées par une première prise de contact de s'asseoir avec elles autour de la table et de mettre sur pied des partenariats locaux avec celles dont la candidature pourra être retenue. Ces partenariats auront la responsabilité de proposer et de développer un avant-projet de dépôt final, intégré dans un avant-projet global offrant une valeur ajoutée pour la région concernée et faisant l'objet d'un large consensus, mais sans pour autant faire de concessions à la sûreté. L'ONDRAF est en effet désormais convaincu que la concrétisation d'un projet de dépôt final passe par une concertation et une négociation précoces avec les collectivités locales concernées, et donc pas quand tout est déjà décidé ou presque.

Cette deuxième partie présente le nouveau programme de travail de l'ONDRAF sur la mise en dépôt final des déchets de catégorie A, les moins dangereux mais aussi les plus abondants des déchets radioactifs. Après avoir rappelé le contexte historique dans lequel s'inscrit ce projet, elle détaille la nouvelle méthodologie élaborée par l'ONDRAF en collaboration avec l'UIA et la FUL afin de parvenir à intégrer un avant-projet de dépôt final au niveau local. Elle passe ensuite en revue les différents aspects à prendre en considération pour l'élaboration de tels avant-projets : la sûreté, les reconnaissances préliminaires de terrain, les études de concept proprement dites, les aspects environnementaux et les évaluations des coûts associés.

4 Le contexte historique	26
4.1 Les 98 zones potentiellement favorables	26
4.2 La méthodologie de sélection de sites	28
4.3 L'étude sur les alternatives au dépôt final en surface	28
4.4 La décision du Conseil des ministres	29
4.5 Les sites militaires	30

5 Les partenariats locaux	31
5.1 Un nouveau programme de travail, une nouvelle méthodologie	31
5.2 Les partenariats sont représentatifs et ont l'initiative	32
5.3 Les partenariats sont organisés en quatre niveaux	34
6 La sûreté	38
6.1 La radioactivité nous entoure	39
6.2 Les fonctions de sûreté : un cadre pour le raisonnement	40
6.3 La démonstration de sûreté : plus qu'un exercice mathématique	43
6.4 La mise en dépôt sera progressive, flexible et réversible	45
6.5 Le nouveau programme de travail privilégie la sûreté	46
7 Les reconnaissances de terrain	48
7.1 Dépôt en surface : les reconnaissances sont bien entamées	48
7.2 Dépôt en profondeur : beaucoup de données existent déjà	53
8 Les études de concept	54
8.1 En surface : concept avec monolithes	55
8.2 En profondeur : dépôt direct ou concept avec monolithes	58
8.3 Le type de bâtiments dépend peu de la solution	60
9 L'environnement	62
10 Les coûts	64
10.1 Une méthode d'évaluation entièrement paramétrisable	64
10.2 Les résultats les plus récents : la meilleure référence	65

4 Le contexte historique

Les activités de l'ONDRAF en matière de gestion à long terme des déchets de catégorie A ont débuté très peu de temps après sa création. La poursuite du rejet en mer des déchets conditionnés de faible activité, couramment pratiqué par la Belgique jusqu'au début des années quatre-vingt, était en effet devenue très incertaine en 1984, puisque la Belgique avait souscrit volontairement cette année-là au moratoire international de fait intervenu en 1983 entre les pays signataires de la Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers. (Ce moratoire allait d'ailleurs se transformer en interdiction définitive en 1993.) L'adhésion de la Belgique amena inévitablement l'ONDRAF à entamer des études en vue de trouver une solution de remplacement sûre et techniquement réalisable pour la mise en dépôt final sur le territoire national de ce type de déchets. Ces études, qui s'inscrivent dans le prolongement d'importants programmes de recherche et développement mis en œuvre par la Commission européenne et d'autres organisations internationales, ont connu des développements divers et sont consignées dans des rapports de synthèse successifs.

4.1 Les 98 zones potentiellement favorables

De 1985 à 1987, l'ONDRAF effectua une première sélection bibliographique de zones susceptibles de convenir à l'implantation d'un dépôt en surface pour les déchets de catégorie A sur la base des critères établis par des institutions internationales comme l'AIEA et l'AEN ou nationales comme la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) américaine. Il proposa cinq zones présentant des caractéristiques géologiques favorables : les zones de Chimay, Custine et Marche-en-Famenne dans le sud du pays et de Alveringem et Kruibeke dans le nord du pays.

A cette époque, l'ONDRAF envisageait néanmoins deux alternatives à la mise en dépôt final en surface des déchets de catégorie A : l'utilisation d'anciennes mines de charbon ou de carrières et le dépôt en profondeur dans une formation argileuse. Le rapport NIROND 90-01, publié en 1990 et intitulé *L'évacuation des déchets de faible activité : bilan et perspectives* [3], conclut toutefois que, des trois options proposées, c'était celle du dépôt en surface qui était la plus prometteuse, tant en termes de faisabilité technique qu'en matière de sûreté et de coûts. Il rejetait définitivement l'option mines ou carrières, qui n'était en réalité qu'une variante du dépôt en profondeur, en raison du risque de contamination des couches aquifères. Il rappelait par ailleurs que les études menées à Mol sur l'Argile de Boom avaient démontré

la nécessité de recherches complémentaires sur la compatibilité chimique des déchets avec le milieu de dépôt en profondeur. L'ONDRAF décida dès lors, avec l'accord de son ministre de tutelle (le ministre qui a l'énergie dans ses attributions), de focaliser ses efforts sur l'étude du dépôt final en surface. (La France et l'Espagne avaient fait le même choix pour leurs déchets de catégorie A et construisaient à cette époque les dépôts de Soulaines et d'El Cabril respectivement.)

L'ONDRAF entreprit alors, toujours sur base bibliographique, d'élargir sa première étude afin d'identifier davantage de zones. De 1990 à 1993, il identifia donc sur l'ensemble du territoire national les zones potentiellement favorables à l'établissement en surface d'un dépôt de déchets de catégorie A. Il travailla en deux phases, évitant de procéder à une sélection stricte des zones étudiées. Dans une première phase, il retint les zones dont le sous-sol est constitué de formations sableuses reposant sur des formations argileuses. La structure lithologique « couche perméable sur couche imperméable » permet en effet de mieux localiser les sources et canaliserait les éventuels flux de radioéléments s'échappant du dépôt. Cette étude le conduisit à identifier 68 zones potentiellement favorables dans les provinces du Brabant, des deux Flandres, du Hainaut et du Limbourg. Dans une deuxième phase, l'identification des zones favorables fut élargie aux zones sur substrat schisteux présentant un contraste de perméabilité, c'est-à-dire constitué de schistes altérés relativement perméables en surface sur des schistes non-altérés moins perméables en profondeur. Cet élargissement des recherches le conduisit à identifier 30 zones supplémentaires, situées dans les provinces de Liège, de Luxembourg et de Namur.

L'étude bibliographique de l'ONDRAF le conduisit à publier en 1994 le rapport NIROND 94-04, intitulé *Le dépôt définitif en surface, sur le territoire belge, des déchets radioactifs de faible activité et de courte durée de vie : synthèse et recommandations* [4]. Ce rapport conclut qu'il est techniquement possible d'évacuer en surface de façon sûre au moins 60% des déchets de catégorie A produits en Belgique. Il liste en outre les 98 zones potentiellement favorables à l'implantation éventuelle d'une installation de dépôt en surface pour ce type de déchets. Son évaluation par la commission scientifique consultative composée d'experts de différentes disciplines instaurée par le Conseil d'administration de l'ONDRAF afin de l'examiner se solda par un avis globalement positif, estimant qu'« au stade actuel des études, le concept du dépôt définitif en surface peut être considéré comme réalisable au niveau technique sur le territoire belge, pour une fraction importante des déchets de faible activité et de courte durée de vie ». Cette commission recommanda

également d'« étendre le champ des investigations aux aspects relevant des sciences économiques et humaines ».

Loin de passer inaperçu, le rapport de 1994 suscita un rejet unanime de la part des communes concernées, qui confirmait les recommandations de la commission. L'ONDRAF allait devoir prendre en considération les aspects socioéconomiques de l'implantation d'une installation de dépôt final.

4.2 La méthodologie de sélection de sites

Conformément aux recommandations du rapport NIROND 94-04 [4], l'ONDRAF commença à développer une méthodologie appropriée à la sélection, selon des critères objectifs, des meilleurs sites de dépôt final parmi les 98 zones potentiellement favorables identifiées. Il pensait, un peu naïvement sans doute, que l'implantation effective d'un dépôt final irait de soi dès lors qu'il aurait apporté la preuve que le site retenu était parmi les meilleurs possibles, techniquement parlant. La durée de vie des installations de dépôt en surface étant limitée, quel que soit le soin apporté à leur réalisation, il convient en effet de les installer dans un environnement qui puisse suppléer, par ses caractéristiques, aux déficiences accidentelles des barrières artificielles avant la fin de la période de confinement et à leurs déficiences forcément inéluctables à plus long terme. Outre les aspects géologiques, hydrogéologiques et radiologiques attendus, cette méthodologie prenait en compte des considérations écologiques et socioéconomiques. L'ONDRAF ne publia toutefois jamais la synthèse de cette étude en raison du tournant qu'avait pris entre-temps une partie des recherches.

4.3 L'étude sur les alternatives au dépôt final en surface

Soucieux d'apaiser les remous causés par la publication du rapport NIROND 94-04 et de sortir de l'impasse, le Gouvernement avait commandé à l'ONDRAF en juin 1995 une étude sur les alternatives possibles au dépôt final en surface des déchets de catégorie A. Il voulait être en mesure de faire un choix définitif en matière de gestion à long terme de ce type de déchets sur la base d'un examen des diverses alternatives possibles, en tenant compte de leur sûreté et de leurs coûts respectifs. L'ONDRAF entreprit donc d'étudier la faisabilité, soit de prolonger l'entreposage provisoire de ces déchets dans des bâtiments conçus à cet effet, soit de les enfouir dans des couches géologiques profondes, tout comme les déchets des catégories B et C. Trois types de solutions susceptibles de satisfaire aux exigences techniques de la gestion à

long terme des déchets radioactifs étaient donc désormais envisagés : une solution provisoire, l'entreposage de longue durée, et deux solutions définitives, le dépôt final, en surface ou en profondeur.

Transmis aux autorités fédérales à la mi-1997, le rapport final de l'étude sur les alternatives, intitulé *Comparaison des diverses options pour la gestion à long terme des déchets radioactifs de faible activité et de courte durée de vie : aspects sûreté et différences de coûts* (NIROND 97-04 [5]), recommandait au Gouvernement de baser son choix entre solution provisoire et solution définitive sur des considérations éthiques. L'ONDRAF y défendait l'idée selon laquelle les générations actuelles portent la responsabilité de faire en sorte que les générations futures n'aient pas à se préoccuper activement de la gestion des déchets radioactifs qu'elles auront reçus en héritage ; il désapprouvait donc toute solution provisoire. Une telle solution requerrait en effet une gestion et un contrôle à long terme ainsi que, très probablement, le passage ultérieur à une solution définitive. Le dépôt final, du reste recommandé au niveau international, ne nécessite par contre qu'une surveillance rapprochée : environ 300 ans après la fermeture dans le cas du dépôt en surface ; probablement quelques décennies dans le cas du dépôt en profondeur.

4.4 La décision du Conseil des ministres

Le rapport sur les alternatives conduisit le Conseil des ministres à décider, le 16 janvier 1998, de rejeter désormais toute solution provisoire pour la gestion à long terme des déchets de catégorie A et de confier de nouvelles missions à l'ONDRAF tout en restreignant le cadre de ses investigations. Le Conseil des ministres demandait notamment à l'ONDRAF de développer les méthodes permettant d'intégrer un projet de dépôt final au niveau local, tout en se limitant désormais aux quatre zones nucléaires existantes — soit celles de Doel, Fleurus-Farciennes, Mol-Dessel-Geel et Tihange — ainsi qu'aux localités intéressées par la réalisation d'une étude préliminaire sur leur territoire. Cette évolution modifiait le programme de travail de l'ONDRAF et plus particulièrement sa méthodologie de sélection de sites à partir des 98 zones potentiellement favorables qu'il avait identifiées en 1994. Plus question de l'approche classique et somme toute un peu autoritaire suivie jusqu'alors : il était temps d'innover.

4.5 Les sites militaires

Fin 1996, l'ONDRAF avait par ailleurs été chargé par son ministre de tutelle d'une nouvelle étude bibliographique, portant cette fois sur les 25 sites militaires en voie de désaffectation sur le territoire national. Outre la possibilité d'y implanter un dépôt final en surface, l'ONDRAF devait évaluer dans quelle mesure ces sites se prêtaient à l'accueil d'une installation d'entreposage de longue durée ou d'un dépôt final en profondeur. Cette étude le conduisit, durant l'été 1997, à identifier seize sites potentiellement favorables : onze sites favorables pour l'entreposage de longue durée, un site favorable pour un dépôt final en surface et quatre sites favorables pour un dépôt final en profondeur. Les sites militaires ainsi identifiés se répartissaient entre les provinces d'Anvers, de Brabant, de Hainaut, de Liège, de Luxembourg et de Namur.

Suite à l'étude préliminaire sur les sites militaires et quelques jours seulement après la décision du Conseil des ministres, la commune de Beauraing proposa sa candidature pour que soit effectuée une première étude sur l'ancienne base militaire de Baronville, située sur son territoire. Cette base figurait en effet au nombre des seize sites retenus jusqu'alors par l'ONDRAF, qui y fit donc réaliser une campagne de reconnaissances en mai 1998. Ces reconnaissances devaient déterminer si la géologie et l'hydrogéologie du site de Baronville présentaient les caractéristiques voulues pour contribuer à assurer la sûreté à long terme d'un dépôt final pour déchets de catégorie A. Elles révélèrent que le site de Baronville pouvait entrer en ligne de compte pour le développement d'un avant-projet de dépôt et le rapport d'évaluation de Belgatom *Reconnaisances géologiques préliminaires à Baronville* [6] fut transmis aux autorités fédérales et communales en juin 1998. Les autorités communales de Beauraing s'étaient toutefois engagées à organiser une consultation populaire destinée à demander aux habitants s'ils approuvaient l'idée d'un projet de dépôt final sur leur commune. Cette consultation populaire, qui eut lieu le 28 juin 1998, révéla qu'environ 95% des habitants de la commune étaient opposés à ce projet. La commune retira donc sa candidature.

5 Les partenariats locaux

Suite à la décision du Conseil des ministres du 16 janvier 1998, l'ONDRAF a mis sur pied début 1998 un nouveau programme de travail accompagné d'une méthodologie entièrement originale dans le secteur nucléaire et même non-nucléaire, élaborée en collaboration avec l'UIA et la FUL et destinée à lui permettre de remplir ses nouvelles missions. Il propose dorénavant aux collectivités locales qui le souhaitent de participer véritablement — par le biais de partenariats locaux représentatifs — à la recherche d'une solution pour la gestion à long terme des déchets de catégorie A. Organisés en quatre niveaux, ces partenariats auront pour tâche de générer des avant-projets de dépôt final, chacun intégré dans un avant-projet global créant des perspectives nouvelles pour la région concernée et faisant l'objet d'un large consensus, sans pour autant faire de concessions à la sûreté.

5.1 Un nouveau programme de travail, une nouvelle méthodologie

Le nouveau programme de travail de l'ONDRAF, qui s'étend sur quatre à cinq ans, suppose la participation active de tous les acteurs locaux représentatifs intéressés. Il est divisé en trois phases.

- Durant la phase 1 (lancée en 1998), l'ONDRAF identifiera les zones de travail potentielles sur le territoire des communes intéressées, par le biais d'études préliminaires administratives et sur le terrain. Il établira alors un partenariat local avec chaque commune candidate qui aura pu être retenue.
- Durant la phase 2 (jusqu'en 2000–2001), l'ONDRAF caractérisera en détail sur le terrain les zones de travail retenues et développera avec chaque partenariat un ou éventuellement plusieurs avant-projets de dépôt final intégrés dans des avant-projets globaux offrant une valeur ajoutée pour la région concernée et adaptés à ses besoins et atouts.
- Durant la phase 3 (en 2001–2002), des experts indépendants évalueront en termes de sûreté, de respect de l'environnement et de rentabilité socioéconomique et culturelle les différentes propositions d'avant-projets globaux. Les partenariats décideront alors de soumettre ou non leurs propositions au Gouvernement, afin que celui-ci statue sur celles qu'il souhaite faire poursuivre.

N'ayant reçu aucune candidature spontanée depuis celle de Beauraing début 1998 (section 4.5), l'ONDRAF concentre aujourd'hui ses activités sur les quatre zones nucléaires existantes. Celles-ci, dont aucune ne figurait sur la liste

des 98 zones potentiellement favorables, pourraient sembler avoir été désignées d'autorité par le Conseil des ministres. Elles possèdent néanmoins, au même titre que les autres localités belges, la faculté de refuser leur concours à tout projet de dépôt.

Il n'entre donc pas dans les intentions de l'ONDRAF d'imposer un site de dépôt à quelque commune que ce soit. La mise sur pied d'un partenariat local est en effet conditionnée à la fois par le résultat des reconnaissances préliminaires de terrain et par l'intérêt ou l'absence d'intérêt des autorités locales. Si les reconnaissances ne sont pas concluantes ou si les autorités locales refusent toute participation à un partenariat, il ne saurait tout simplement être question d'avant-projet pour la zone en question. Dans le cas contraire, le partenariat, qui réunira des représentants des acteurs locaux et de l'ONDRAF, aura pour tâche de développer un avant-projet de dépôt sûr, intégré dans un avant-projet global supporté par un large consensus social.

A aucun moment durant les trois phases du programme de travail, la participation des autorités locales et des acteurs locaux représentatifs à un partenariat ne pourra donc être considérée comme un engagement ferme de la localité concernée à accueillir un dépôt final. Ses représentants pourront en effet se retirer à tout moment du partenariat, ce qui entraînera sa dissolution immédiate. Et même dans l'hypothèse où un partenariat développerait un avant-projet de dépôt intégré, la localité dont il émane pourra, si elle le désire, décider en fin de compte de ne pas le soumettre au Gouvernement.

5.2 Les partenariats sont représentatifs et ont l'initiative

En pratique, le lancement des partenariats locaux fait intervenir une tierce partie, en la personne d'un informateur délégué par les équipes d'accompagnement de l'UIA ou de la FUL. Cet informateur organise sur place les rencontres et discussions préalables à la constitution du partenariat. En aucun cas toutefois il ne peut devenir partenaire.

Les partenariats locaux rassemblent tous les acteurs locaux représentatifs intéressés, ainsi que des membres de l'ONDRAF. A l'exception de ce dernier, qui est un partenaire incontournable de par sa mission légale et parce qu'il est le responsable ultime des études de dépôt, les partenaires potentiels doivent donc être domiciliés dans la ou les communes concernées.

Les partenaires locaux sont avant tout les autorités communales, qu'elles représentent une commune isolée ou une association de deux ou de plusieurs

communes. D'autres partenaires potentiels sont les groupements locaux à vocation écologique, professionnelle ou socioculturelle ayant leur siège dans la ou les communes partenaires et disposés à s'investir dans l'étude et le développement d'un avant-projet robuste. D'autres acteurs peuvent participer aux partenariats en tant que membres associés au niveau des groupes de travail. Ce sont les acteurs non-locaux ou supra-locaux (communes voisines, province, région, AFCN, etc.) et les particuliers (certains fonctionnaires communaux, les personnes dont l'expertise ou la position peut être utile au partenariat, etc.).

Disposant d'une grande liberté, les partenariats locaux servent de forum de réflexion et de négociation, encouragent la concertation au niveau local et informent la population durant toute la durée de leurs travaux. Ce sont eux qui proposent les idées d'avant-projets et les développent. C'est à eux que revient la responsabilité de veiller à ce que les avant-projets de dépôt développés soient intégrés dans des avant-projets globaux qui soient bénéfiques aux localités dont ils émanent et qui fassent l'objet d'un large consensus.

Avant d'aborder la conception concrète de son ou de ses avant-projets de dépôt intégré, chaque partenariat réunit toutes les informations nécessaires à une évaluation détaillée des caractéristiques de la commune dont il est issu et de son ou de ses sites de dépôt potentiels, et ce avec l'aide des équipes d'accompagnement de l'UIA, de la FUL et de l'ONDRAF. Il effectue ensuite une étude approfondie des données techniques, socioéconomiques, environnementales et culturelles ainsi recueillies, au terme de laquelle il élabore un ou éventuellement plusieurs avant-projets de dépôt intégré.

Les partenaires négocient alors entre eux les différents avant-projets avancés. Ils ne peuvent décider de poursuivre un avant-projet et de le développer concrètement jusqu'au stade de maquette que s'il satisfait à deux conditions : d'une part être jugé sûr par l'ONDRAF ; d'autre part présenter un attrait socioéconomique suffisant aux yeux de tous les partenaires. Si l'une de ces deux conditions n'est pas satisfaite, le dossier est réétudié ou clôturé. Dans le cas contraire, le partenariat réalise des estimations budgétaires et établit des recommandations pour la réalisation et l'exploitation de son avant-projet. L'ONDRAF est bien entendu responsable des aspects techniques des avant-projets et veille à leur sûreté, remplissant ainsi le double rôle de partenaire et d'expert.

Au terme du processus, chaque partenariat aura développé un avant-projet de dépôt final intégré, accompagné de ses modalités de mise en œuvre. Après avoir été évalués par des experts indépendants en termes de sûreté, d'apport socioéconomique et de coût, ces avant-projets devront être approuvés par les communes concernées pour pouvoir ensuite être transmis avec les avis émis au Gouvernement, afin que ce dernier statue, vers 2001–2002, sur celui ou ceux qu'il entend faire poursuivre.

Les travaux des partenariats locaux sont entièrement financés par l'ONDRAF, à concurrence des montants suivants :

- un budget annuel de 10 millions de francs belges destiné à couvrir les coûts logistiques et de fonctionnement ainsi que le salaire des deux collaborateurs à temps plein ;
- un budget unique de 3 millions de francs belges pour les études socioéconomiques (le coût des études techniques est directement supporté par l'ONDRAF) ;
- un budget unique de 3 millions de francs belges pour le développement de l'avant-projet de dépôt intégré.

5.3 Les partenariats sont organisés en quatre niveaux

Les partenariats locaux, même s'ils ont des formes juridiques éventuellement distinctes en raison des différences de sensibilités locales (ASBL, SA, association de fait, etc.), possèdent idéalement des structures comparables. Celles-ci comptent quatre niveaux, dont les dénominations précises sont fonction de la forme juridique adoptée. De manière générique, ce sont l'assemblée générale, le conseil d'administration, la cellule de coordination et les groupes de travail.

L'assemblée générale, où siègent des représentants de tous les partenaires, représente et légitime le partenariat. Elle rassemble un représentant de l'ONDRAF ainsi que des représentants du conseil communal et des acteurs sociaux et économiques. Elle détermine la politique générale du partenariat, en contrôle le fonctionnement et veille à ce que ses objectifs soient satisfaits. C'est elle qui, au terme des travaux du partenariat, prend la décision de soumettre ou non un avant-projet de dépôt final intégré au Gouvernement. Ce n'est donc qu'à ce moment que la commune se porte effectivement candidate à l'implantation d'un dépôt final sur son territoire.

Le conseil d'administration, dont les membres sont nommés par l'assemblée générale sur proposition des partenaires, compte un représentant de l'ON-DRAF et des représentants des acteurs politiques, sociaux et économiques. Il a en charge la gestion quotidienne du partenariat, avec notamment la gestion du budget et celle des questions liées à la constitution ou à la modification de la composition des différents organes du partenariat, ou encore le suivi et la coordination des travaux des groupes de travail. C'est à lui que sont rattachés les deux collaborateurs qui forment la cellule de coordination.

La cellule de coordination compte deux personnes engagées à temps plein, les collaborateurs. Elle est au service des différents organes du partenariat et en coordonne les activités. Ses tâches se situent sur trois plans.

- *Administration et organisation* La cellule de coordination assure le secrétariat du partenariat, qui comprend notamment les tâches administratives, la préparation des réunions de l'assemblée générale, du conseil d'administration et des groupes de travail, la gestion des agendas des groupes de travail, la coordination de leurs travaux et la rédaction des comptes rendus de leurs réunions et, enfin, l'organisation de réunions entre les présidents des groupes de travail.
- *Rédaction scientifique* La cellule de coordination rédige les rapports d'avancement intermédiaires ainsi que le dossier final qui présentera l'avant-projet de dépôt développé par le partenariat.
- *Information de la population* La cellule de coordination est responsable des contacts avec la population de la commune concernée et des communes voisines. Elle assure une permanence ouverte au public et organise des soirées d'information et des audiences publiques. Elle peut également, sur demande d'un groupe de travail et après accord du conseil d'administration, consulter la population sur des questions spécifiques.

Les groupes de travail permanents et les éventuels groupes de travail temporaires sont les véritables acteurs du partenariat, travaillant sous la surveillance du conseil d'administration. Ils réunissent des représentants de chacun des partenaires et c'est à leur niveau que les membres associés interviennent. Ce sont les groupes de travail qui développent concrètement le ou les avant-projets de dépôt et formulent les propositions relatives à leurs possibilités d'intégration dans un projet global. Ils proposent et discutent les options possibles et sollicitent l'avis des experts ou des autres groupes de travail. Les groupes de travail permanents sont typiquement les quatre groupes suivants : les groupes « Développement local » et « Implantation et aménagement », qui sont les deux groupes opérationnels, et les groupes « Environnement et santé » et « Sécurité », qui exercent une fonction de surveillance et formulent

des avis à l'intention des deux autres groupes. Leurs tâches sont détaillées ci-après à titre exemplatif.

- Le groupe de travail *Développement local* étudie la plus-value socioéconomique potentielle du ou des avant-projets globaux pour le site. Il examine les plans de développement existants (projets touristiques, projets d'implantation de PME, etc.), recense les plans et initiatives semi-formels et récolte les idées encore en gestation au sein de la population. Il veille toutefois à ce que les travaux du partenariat, et plus particulièrement l'orientation du ou des avant-projets globaux, soient les plus compatibles possibles avec les initiatives reprises dans les plans stratégiques englobant la commune. Parallèlement, il identifie tous les acteurs à impliquer dans ce ou ces avant-projets. Enfin, il recherche des sources de financement supplémentaires (région, Union européenne, etc.).
- Le groupe de travail *Implantation et aménagement* gère tous les aspects liés à l'implantation de l'avant-projet global au niveau local. Il fait exécuter par des tiers toutes les études nécessaires. Il évalue la répartition des affectations et utilisations du sol et examine concrètement les possibilités d'implantation d'un dépôt sur le site en fonction des contraintes (configuration du terrain, distances minimales à respecter, nuisances sonores et visuelles éventuelles, etc.). Il établit la liste des permis de bâtir requis ainsi que celle des activités soumises à autorisation, avant de déterminer précisément la marche à suivre pour les obtenir. Il se procure les normes de construction applicables au site, évalue les besoins et implications en termes d'infrastructures routières et propose les infrastructures périphériques requises par l'avant-projet global. Enfin, il estime les différents coûts : les coûts d'acquisition des terrains, les coûts d'aménagement du site, les coûts d'investissement pour l'infrastructure périphérique, les coûts d'exploitation de celle-ci, etc.

L'ONDRAF joue un rôle central dans le groupe de travail *Implantation et aménagement* et réalise pour lui la majeure partie des études requises. Il lui fournit les informations de base, telles le dossier d'information sur le programme de travail relatif à la mise en dépôt final des déchets de catégorie A et le rapport sur les études préliminaires de terrain. Il spécifie par exemple également les exigences techniques liées aux différents concepts génériques de dépôt final ainsi que celles liées aux transports de déchets (volumes à transporter, cadences souhaitées, etc.). Enfin, il adapte et complète le ou les concepts génériques de dépôt retenus en fonction des caractéristiques du site d'implantation étudié, mais toujours en concertation étroite avec les différents partenaires.

- Le groupe de travail *Environnement et santé* étudie les conséquences éventuelles de l'implantation d'un dépôt final sur l'environnement et sur la santé. Il enquête sur les perceptions de la population ainsi que sur les conditions qu'elle pourrait poser à l'implantation d'un dépôt final sur le territoire de sa commune (suivi médical de la population, éloignement minimal par rapport à d'éventuelles réserves naturelles, assainissement d'autres sites, etc.). Il établit, tant pour la phase de construction du dépôt que pour la phase d'exploitation, la liste des activités qui requièrent un permis d'environnement. Il établit également la liste des activités qui doivent être couvertes par des rapports d'environnement et détermine les structures adéquates pour produire ces derniers.

Selon les besoins, l'ONDRAF met à la disposition de ses partenaires, effectue ou fait effectuer des études bibliographiques, des reconnaissances hydrogéologiques et hydrologiques de terrain, ainsi que des évaluations biologiques. Il établit une méthodologie d'évaluation de la sûreté des dépôts et étudie les caractéristiques environnementales, et plus particulièrement radiologiques, du site, de manière à pouvoir mettre en évidence ultérieurement l'impact ou l'absence d'impact du dépôt sur l'environnement. L'ONDRAF peut également apporter une contribution en matière d'aspects légaux relatifs à la protection de l'environnement.

- Le groupe de travail *Sécurité* étudie toutes les questions relatives à la sécurité et au plan d'urgence du site. Il étudie les méthodes de surveillance de la sûreté radiologique du site, les mesures de protection physiques du site ainsi que les mesures de surveillance et de contrôle de l'accès au site. Il établit la carte de tous les acteurs sécurité concernés (pompiers, services médicaux, forces de l'ordre, etc.) et étudie l'intégration du plan d'urgence du site dans le plan communal catastrophe. Le groupe de travail Sécurité veille donc à la coordination des forces de plusieurs communes adjacentes. Il peut dès lors réunir des représentants de ces dernières comme il peut du reste être commun à d'éventuels partenariats voisins.

L'ONDRAF exécute la préétude de sécurité et émet des recommandations relatives aux instruments de contrôle et aux études de terrain nécessaires. Il fournit en outre une première description des différents bâtiments qui pourraient constituer l'installation de dépôt ainsi qu'une première description des étapes de leur réalisation.

6 La sûreté

Chaque fois qu'est évoquée la question de la gestion à long terme des déchets radioactifs, la sûreté radiologique surgit au cœur du débat. Il suffit que quelqu'un affirme qu'il existe une solution sûre et réalisable au problème pour que naissent le doute, la méfiance et même l'incrédulité. Ce n'est pas étonnant : quelle que soit l'activité humaine considérée, force est en effet de constater que son niveau de sûreté n'est pas facile à évaluer, car il est déterminé par une multitude de facteurs éventuellement interdépendants. Et le fait que la sûreté, et plus particulièrement la sûreté radiologique, de tout dépôt final de déchets radioactifs doive être assurée pendant très longtemps représente à l'évidence une difficulté supplémentaire. L'évaluation de la sûreté d'un dépôt exige donc une définition précise des objectifs et exigences auxquels il doit satisfaire en termes de sûreté. C'est l'objet du cadre de sûreté, traité en détail dans la première partie de la charte de sûreté de l'ONDRAF pour le dépôt des déchets radioactifs [7].

Tout dépôt final doit être conçu et réalisé de telle sorte que les déchets qu'il abrite ne puissent à aucun moment constituer un risque inacceptable pour l'homme et que leur impact sur l'environnement soit suffisamment faible, voire négligeable. La fonction première d'un dépôt est donc d'offrir une protection à court et à long terme contre les nuisances potentielles de ces déchets, en les concentrant et en les confinant de façon telle que les générations futures n'aient pas à s'en préoccuper. Ce principe éthique important signifie donc qu'il appartient aux générations actuelles de trouver et de développer une solution définitive au problème des déchets radioactifs, afin que les générations futures en soient déchargées.

Quatre facteurs contribuent à la sûreté ou à la confiance dans la sûreté d'un dépôt final de déchets radioactifs. Ce sont

- les fonctions dites « de sûreté » du système de dépôt final, assurées par les différentes barrières artificielles et naturelles du dépôt (section 6.2) ;
- la démonstration de sûreté, qui doit montrer de façon convaincante que l'ensemble des barrières et des fonctions de sûreté offre effectivement la protection requise (section 6.3) ;
- la progressivité et la flexibilité de la mise en œuvre du dépôt et la réversibilité de la mise en dépôt des déchets (section 6.4) ;
- les procédures et normes légales, ainsi que les évaluations, appréciations et contrôles indépendants de la sûreté qui sont effectués tout au long du développement et de la réalisation de l'installation de dépôt.

Deux éléments doivent néanmoins être précisés. Premièrement, la sûreté absolue ou, en d'autres termes, le risque nul n'existe pas : toute activité humaine comporte un risque. On peut par contre parler de niveau de sûreté suffisant. Ce niveau, fixé par la société mais donc susceptible de changer avec le temps, est traduit en termes concrets dans des normes et des réglementations par les autorités compétentes, et plus précisément par les autorités de sûreté pour les installations nucléaires. Deuxièmement, la sûreté possède indiscutablement une forte composante subjective, qui s'exprime notamment dans la notion de « sentiment d'insécurité ». Cette composante est très importante dans tout processus de prise de décision et mérite donc que l'on s'y arrête. C'est ce que l'ONDRAF entend faire dans le cadre du dossier de la gestion à long terme des déchets de catégorie A et c'est notamment la méthodologie des partenariats qui doit l'y aider.

6.1 La radioactivité nous entoure

L'exposition aux rayonnements ionisants ne résulte pas seulement des applications médicales et des activités industrielles liées à la production d'énergie d'origine nucléaire. L'exposition aux rayonnements ionisants est avant tout d'origine naturelle. Omniprésents, les rayonnements ionisants ont sur l'organisme un effet qui varie en fonction de la nature et de la quantité des rayonnements et de la partie du corps exposée. Cet effet est mesuré par l'équivalent biologique de la dose de rayonnement (souvent appelé « dose » par abus de langage), dont l'unité est le sievert (Sv), généralement remplacé par le millième ou le millionième de sievert (mSv ou μ Sv respectivement).

En Belgique comme dans la plupart des pays, les limites de dose réglementaires de rayonnements ionisants artificiels, à l'exclusion des rayonnements utilisés à des fins médicales, sont établies sur la base des recommandations de la CIPR et de l'AIEA. Actuellement, la limite est de 50 mSv par an et de 100 mSv sur cinq années consécutives pour les personnes exposées dans le cadre de leur activité professionnelle. Elle est de 1 mSv par an pour le reste de la population.

Pour préciser les idées, les limites de dose réglementaires peuvent être comparées à l'exposition moyenne aux rayonnements ionisants en Belgique, qui est estimée à 3,6 mSv par an. Cette exposition a trois origines :

- les sources naturelles (2,6 mSv, soit 72%), qui se classent en deux grandes catégories : d'une part, le cosmos (un voyage de quelques heures en avion engendre typiquement une dose de 3 μ Sv), d'autre part, les radioéléments de longue durée de vie présents dans la croûte terrestre, avec

principalement le radon. Celui-ci contribue à 1,6 mSv, soit 45 % environ de la dose totale de rayonnement que nous recevons en moyenne.

- les applications médicales (0,95 mSv, soit 26,5 %). Ainsi, une radiographie des dents engendre une dose de 25 μ Sv et une radiographie des poumons engendre une dose de 50 μ Sv.
- les autres sources d'origine humaine (0,05 mSv, soit 1,5 %), dont la production d'énergie par fission nucléaire. Ainsi, le fait de regarder la télévision une heure par jour en moyenne pendant un an engendre une dose de 20 μ Sv.

6.2 Les fonctions de sûreté : un cadre pour le raisonnement

Les déchets de catégorie A présentent la caractéristique importante de voir leur activité et leur radiotoxicité décroître très fortement en quelques centaines d'années, de sorte qu'ils ne présentent plus réellement de danger après cette période. Leur activité à ce moment n'a toutefois pas totalement disparu — tous les matériaux contiennent en effet naturellement une certaine quantité d'activité — mais est réduite à un niveau permettant de ne plus contrôler le site sur lequel ils étaient mis en dépôt.

Un principe fondamental de la protection contre les rayonnements ionisants, et donc de la protection contre les risques potentiels des déchets radioactifs, impose de faire tous les efforts raisonnablement possibles pour augmenter la sûreté. Une solution donnée, même si elle est sûre, n'est donc pas acceptable si elle peut être rendue plus sûre encore sans efforts démesurés. Ce principe, le principe ALARA, s'applique naturellement aussi au dépôt des déchets radioactifs.

Toute installation de dépôt final doit être conçue de façon telle qu'elle puisse, à terme, assurer la sûreté de façon passive, c'est-à-dire qu'elle ne doit pas avoir besoin d'être entretenue pour rester sûre. Le dépôt en surface devra toutefois être contrôlé durant 300 ans environ, de manière à pouvoir détecter et remédier à toute anomalie qui se produirait avant que l'activité des déchets ait suffisamment décliné. Cette période de contrôle institutionnel permet également de mettre l'installation à l'abri des intrusions humaines. Dans le cas du dépôt en profondeur, la période de contrôle institutionnel ne sera vraisemblablement que de quelques dizaines d'années. Elle aura pour objectif de confirmer l'absence d'augmentation du niveau d'activité dans l'environnement du dépôt.

La robustesse d'une installation de dépôt, c'est-à-dire le fait qu'elle offre la protection nécessaire malgré toutes les incertitudes qui subsistent inévitablement, résulte des effets conjugués de quatre fonctions de sûreté essentielles :

- le confinement physique,
- le retard et l'étalement du relâchement,
- la dispersion et la dilution,
- la limitation de l'accessibilité.

Remplies chacune par une ou plusieurs barrières, ces fonctions de sûreté ont un poids variable selon que le dépôt est en surface ou en profondeur. Les deux premières sont toutefois de loin les plus importantes dans les deux cas et doivent être optimisées.

Confinement physique L'eau est le plus grand ennemi de toute installation de dépôt final, qui vise avant tout à concentrer et à confiner les déchets radioactifs. C'est en effet par l'eau que les radioéléments peuvent être dispersés dans la biosphère pour finalement aboutir à l'homme. Inversement, tant que l'eau ne peut rentrer en contact avec les déchets, il ne peut y avoir de dissémination significative de la radioactivité.

La première fonction de sûreté vise à isoler autant que possible les déchets de l'eau. Dans un dépôt en surface, elle est notamment assurée par les couches de recouvrement étanches, les modules en béton et les monolithes en béton. Dans un dépôt en profondeur, elle est assurée par le colis de déchets et les barrières ouvragées, mais revêt une importance moindre en raison du caractère prédominant de la deuxième fonction de sûreté.

Retard et étalement du relâchement Aucun moyen de confinement physique n'étant éternel, l'eau atteindra tôt ou tard les déchets radioactifs. L'installation de dépôt doit donc être conçue de manière à freiner autant que possible la dispersion de l'activité, de sorte qu'elle soit libérée en quantités si faibles qu'elle ne présente aucun danger.

La deuxième fonction de sûreté vise à empêcher, ou tout au moins à freiner, la migration des radioéléments vers la biosphère. C'est la fonction qui contribue le plus à la sûreté dans le cas du dépôt en profondeur dans l'argile, où elle est assurée par la couche d'argile elle-même, très peu perméable à l'eau et formant une remarquable barrière à la dispersion des radioéléments. Dans le dépôt en surface, les déchets conditionnés et les parois en béton des monolithes et des modules de dépôt sont les principales barrières au relâchement des radioéléments : beaucoup de ceux-ci ne sont en effet que peu solubles

dans ce milieu chimique et sont de plus fortement adsorbés sur le béton, de sorte qu'ils ne peuvent être dispersés que très lentement par l'eau. L'efficacité des deux premières barrières décroît toutefois avec le temps pour le dépôt en surface, ce qui impose de limiter les quantités de radioéléments de longue durée de vie présents dans les déchets de catégorie A.

Dispersion et dilution Les effets nocifs possibles sur l'homme et sur l'environnement des radioéléments qui finiraient par aboutir dans la biosphère seront d'autant plus réduits que ces radioéléments auront d'abord été dilués dans les nappes aquifères et les eaux de surface.

La troisième fonction de sûreté fait en sorte que les radioéléments qui franchiraient les barrières artificielles soient progressivement dispersés et dilués lors de leur migration vers ou dans la biosphère. Elle n'intervient pour ainsi dire pas dans le cas du dépôt en profondeur, étant donné la haute capacité de rétention de l'argile. Elle intervient de façon limitée dans le cas du dépôt en surface, où elle ne peut toutefois être sollicitée que pour de faibles concentrations de radioéléments. Elle est alors assurée par les exutoires naturels, par exemple des rivières à grand débit ou des nappes aquifères de grande capacité.

Que le dépôt soit en surface ou en profondeur, la fonction de sûreté de dispersion et dilution a toutefois moins de poids que les deux premières fonctions, qui sont donc les fonctions à optimiser. Ce moindre poids s'explique de deux façons. D'une part, toute tentative de maximiser la fonction de dispersion et dilution irait à l'encontre de l'objectif même du dépôt, qui est de concentrer et de confiner les radioéléments. D'autre part, la barrière qui remplit cette fonction est la moins robuste des barrières de l'installation de dépôt. L'environnement hydrogéologique peut en effet être perturbé par des événements externes, tels des changements climatiques, des processus géomorphologiques ou encore des interventions humaines.

Limitation de l'accessibilité Parce qu'il doit concentrer et confiner les déchets radioactifs qu'il abrite, un dépôt final doit être à l'épreuve à la fois de l'eau et des intrusions humaines. L'homme lui aussi pourrait en effet entrer en contact direct avec les déchets suite à des activités particulières.

La quatrième fonction de sûreté vise à exclure les intrusions humaines, ou tout au moins à les rendre très improbables et à en limiter les conséquences. Le dépôt en profondeur réduit très fortement les possibilités d'accès aux dé-

chets de par sa profondeur même. Dans le cas du dépôt en surface, c'est la période de contrôle institutionnel après la fermeture qui exclut toute intrusion.

6.3 La démonstration de sûreté : plus qu'un exercice mathématique

Tout comme la sûreté absolue n'existe pas, il est impossible de prouver la sûreté de manière irréfutable. Cette constatation nécessite donc une approche prudente et progressive pour parvenir à un avis fiable quant au niveau de confiance que l'on peut avoir dans la sûreté d'une solution ou d'une situation donnée. C'est là le rôle de la démonstration de sûreté, qui utilise tous les éléments et arguments techniques et scientifiques disponibles pour établir si la solution étudiée peut assurer un niveau de sûreté tel qu'on peut décider de la mettre en œuvre. D'autres évaluations de la sûreté, qui sont soumises à des évaluations critiques indépendantes, sont alors effectuées en cours de réalisation, de manière à pouvoir améliorer la solution ou, en cas d'absolue nécessité, de revenir sur des décisions antérieures. La méthodologie de la démonstration de sûreté est détaillée dans la deuxième partie de la charte de sûreté de l'ONDRAF pour le dépôt des déchets radioactifs [8].

La mise en dépôt final des déchets radioactifs impose une exigence très particulière à la démonstration de sûreté : elle doit démontrer que la solution est sûre pendant très longtemps. Cette exigence requiert donc de l'imagination, tant au niveau des solutions développées que des approches suivies par les évaluations de sûreté. Elle a fait l'objet de nombreux programmes de recherche et développement nationaux et internationaux. Ces travaux, qui ont notamment conduit à l'élaboration d'une approche méthodologique de l'évaluation de la sûreté radiologique à long terme d'un dépôt, se poursuivront sans relâche pour améliorer encore cette dernière et pour la rendre plus ouverte et plus transparente pour toutes les parties et tous les acteurs concernés.

La démonstration de sûreté n'est possible que si le fonctionnement des différentes barrières et fonctions de sûreté est bien compris. Dans son nouveau programme de travail, l'ONDRAF travaillera en étroite concertation avec les autorités de sûreté afin de garantir la compatibilité avec les exigences de sûreté des solutions développées par les partenariats. Conformément à ses responsabilités, il proposera donc des solutions sûres, mais c'est en fin de compte aux autorités de sûreté qu'il appartiendra de décider si celles-ci sont effectivement sûres.

Deux aspects de la démonstration de sûreté méritent une attention toute particulière : la simplicité ou robustesse de l'installation de dépôt et le fait qu'on ne cherche pas à en prédire l'avenir. Pour être convaincante, la démonstration de sûreté doit porter sur un système de barrières et de fonctions de sûreté aussi simple et dépourvu d'inconnues que possible, ce qui renforce sa robustesse et simplifie la compréhension de son fonctionnement. A défaut de pouvoir prévoir son avenir, on soumet par ailleurs l'installation de dépôt à toute une série de tests à l'aide de modèles mathématiques et de codes de calcul. Etendues et systématiques, les évaluations de sûreté visent à répondre à une longue suite de questions du type « que se passerait-il en cas de ... ? » Elles envisagent un grand nombre de situations possibles ayant une influence sur la sûreté : différents scénarios d'évolution, différents mécanismes de dégradation des barrières, ou encore différentes valeurs des paramètres. Elles utilisent par ailleurs différents modèles mathématiques, développés indépendamment les uns des autres, afin de modéliser un même aspect ou une même composante de l'installation de dépôt (par exemple les barrières artificielles ou l'environnement hydrogéologique), de manière à éviter les erreurs systématiques. Les évaluations de sûreté testent donc une par une et de façon très poussée les différentes fonctions de sûreté avant de tester ensuite l'installation de dépôt dans sa globalité.

Dès le milieu des années quatre-vingt, le CEN-SCK a commencé, à la demande de l'ONDRAF, à développer une méthodologie destinée à évaluer la sûreté d'un dépôt en surface des déchets de catégorie A. Il l'a depuis affinée et testée de manière approfondie, y compris à l'occasion de différents exercices à l'échelon international, de sorte qu'il dispose aujourd'hui d'un outil au point. Cette méthodologie utilise trois modèles mathématiques différents pour modéliser le fonctionnement des différentes composantes de l'installation de dépôt : premièrement, les déchets conditionnés et les barrières artificielles ; deuxièmement, l'environnement hydrogéologique du dépôt final ; et, troisièmement, la biosphère, au niveau de laquelle l'homme peut entrer en contact avec les radioéléments. Aujourd'hui encore, le CEN-SCK participe, avec l'ONDRAF, à des exercices internationaux afin d'apporter d'autres améliorations à sa méthodologie.

6.4 La mise en dépôt sera progressive, flexible et réversible

Directement conditionnée par la robustesse de l'installation de dépôt, la confiance dans son niveau de sûreté est aussi partiellement conditionnée à la fois par la possibilité d'intervenir sur la mise en œuvre du dépôt, de manière à tirer le meilleur parti possible de l'évolution des connaissances techniques et scientifiques, et par la possibilité de récupérer les déchets mis en dépôt en cas de besoin. C'est pourquoi la mise en œuvre du dépôt — et donc les processus décisionnels qui l'accompagnent — doivent être progressifs et flexibles. Et c'est pourquoi la mise en dépôt elle-même doit être réversible pendant un certain temps.

- *Progressivité* Etant donné que le développement et la construction d'une installation de dépôt est un processus progressif qui prendra plusieurs dizaines d'années, il sera possible de tenir compte de l'évolution des connaissances, des idées nouvelles et de l'expérience acquise. Il sera également possible de tenir compte des résultats des évaluations de sûreté qui seront effectuées tout au long des travaux.
- *Flexibilité* Le processus décisionnel progressif permettra de revenir si nécessaire sur toute décision prise et de faire marche arrière. Il en sera ainsi pendant plusieurs dizaines d'années, voire même pendant plusieurs centaines d'années dans le cas du dépôt en surface.
- *Réversibilité* Le dépôt sera conçu de manière telle qu'il restera possible pendant longtemps de récupérer les déchets d'une manière simple et sûre, par exemple si l'impensable devait se produire, comme une erreur dans le concept ou dans les évaluations de sûreté, ou si une nouvelle technique devait permettre de rendre les déchets plus rapidement non-radioactifs. L'exigence de réversibilité est une application directe du principe de précaution.

Les autorités de sûreté offriront par ailleurs une garantie importante, durant tout le processus décisionnel, quant au fait que tous les aspects de sûreté de la solution de dépôt seront soumis à un examen approfondi, critique et indépendant. Elles devront être convaincues à l'unanimité qu'un haut degré de sûreté peut être assuré pour donner leur feu vert au passage à l'étape suivante de la réalisation du dépôt.

6.5 Le nouveau programme de travail privilégie la sûreté

Le nouveau programme de travail de l'ONDRAF évaluera la sûreté d'un dépôt potentiel de déchets de catégorie A, en surface ou en profondeur, sur le territoire des quatre zones nucléaires existantes, voire de toute nouvelle commune qui se déclarerait intéressée par une telle perspective. Seules les solutions dont la sûreté peut être démontrée de manière convaincante seront retenues.

L'évaluation de la sûreté requerra toute une série de données et d'informations pour chacun des environnements d'implantation à étudier :

- une bonne connaissance des déchets à enfouir, c'est-à-dire notamment de leur inventaire en radioéléments et autres substances chimiques toxiques ainsi que de leurs propriétés chimiques et physiques ;
- une description détaillée des barrières artificielles de l'installation de dépôt et une bonne connaissance de leurs performances ainsi que des performances des matériaux utilisés (comme la perméabilité, la capacité d'adsorption, la résistance mécanique et la résistance à la dégradation) ;
- une bonne connaissance de l'environnement hydrogéologique, c'est-à-dire des flux d'eau autour de l'installation de dépôt ;
- une bonne connaissance de tous les phénomènes externes perturbateurs éventuels, comme les intrusions humaines.

Parce qu'il joue un rôle important dans la sûreté globale d'un dépôt, tout site d'implantation potentiel pour un dépôt final en surface ou en profondeur doit satisfaire à divers critères (rapports NIRON 94-04 [4] et NIRON 98-02, rév. 1 de mai 1999 [9]). Un dépôt en surface doit être situé en zone non-inondable, présenter une stabilité géotechnique suffisante, une activité sismique compatible avec la stabilité du dépôt et une absence de ressources minérales exploitables en sous-sol (section 7.1). Un cinquième critère, une hydrogéologie se prêtant à une modélisation convaincante, offre un moyen de contrôle après la fermeture du dépôt et constitue un élément important de la démonstration de sûreté. Le dépôt en profondeur, lui, doit posséder une géologie suffisamment caractérisable, présentant une bonne capacité de rétention des radioéléments, et être dépourvu de ressources minérales exploitables en sous-sol. Aucun mouvement d'eau important n'est permis à travers le dépôt et les éventuels mouvements d'eau autour du dépôt doivent être lents. Enfin, le site potentiel ne peut présenter de risque important de changements naturels (sismicité, volcanisme, etc.).

Dans le cas du dépôt en surface, trois éléments sont particulièrement importants pour la sûreté : l'application correcte des mesures de sûreté nucléaire pendant les opérations de mise en dépôt final, la performance et la robustesse des barrières artificielles et la période de contrôle institutionnel avant banalisation du site. La performance et la robustesse des barrières artificielles dépendent des études de concept, de la qualité des matériaux utilisés, de leur mise en œuvre correcte et du choix d'un environnement géologique adéquat. La période de contrôle institutionnel permet, elle, que soient effectuées des mesures hydrogéologiques et radiologiques dans les différentes couches aquifères, les sources, les ruisseaux et les rivières, ainsi que dans le système de drainage et de contrôle situé en dessous des modules de dépôt final dans le cas du dépôt en surface. L'environnement hydrogéologique même ne peut toutefois contribuer que de façon limitée à la sûreté à long terme, en sorbant, c'est-à-dire en fixant, les petites quantités de radioéléments qui finiraient par traverser les barrières artificielles ou en les diluant dans l'eau.

Dans le cas du dépôt en profondeur, les résultats des nombreuses études menées depuis 25 ans pour évaluer le potentiel de la formation argileuse de Boom en tant que roche hôte pour un dépôt de déchets des catégories B et C indiquent que ce type de déchets peut être enfoui dans de bonnes conditions de sûreté dans l'Argile de Boom. La capacité de confinement de cette dernière est en effet tellement grande que la quantité de radioéléments qui pourraient atteindre la biosphère est négligeable.

L'enfouissement dans l'argile de déchets de catégorie A impliquerait toutefois l'apport dans le milieu de dépôt de grandes quantités de matériaux susceptibles de se corroder [10, 11]. Ces déchets contiennent en effet d'importantes quantités de métaux facilement corrodables, sans parler de l'acier au carbone dont sont faits les fûts. Après fermeture du dépôt, de grandes quantités d'hydrogène se formeront très lentement par corrosion, qui pourront se transformer en méthane dans l'argile. L'installation de dépôt devra donc être conçue de manière telle que les gaz produits ne puissent causer de pression excessive, c'est-à-dire de manière telle qu'ils puissent s'échapper, mais sans pour autant que la capacité de confinement des radioéléments soit amoindrie. Ce problème est étudié depuis longtemps déjà et fera l'objet d'études complémentaires dans le cadre du nouveau programme de travail, études qui confirmeront ou infirmeront la faisabilité et la sûreté de cette solution.

7 Les reconnaissances de terrain

L'ONDRAF concentre actuellement les activités prévues dans son nouveau programme de travail sur les quatre zones nucléaires existantes, conformément à la demande du Conseil des ministres. Ce sont les sites de Doel et de Tihange, qui accueillent chacun une centrale nucléaire, celui de Fleurus-Farciennes, où est implanté l'IRE, et la zone de Mol-Dessel-Geel, qui est une zone déclarée nucléaire au plan de secteur et qui regroupe différents établissements : Belgonucléaire, Belgoprocess, CEN-SCK, Ecole européenne, FBFC International, IMMR et VITO.

Le Gouvernement ne s'étant pas encore prononcé sur le type de dépôt final, en surface ou en profondeur, qui accueillera les déchets de catégorie A, l'ONDRAF a gardé ouvertes toutes les options envisageables compte tenu des connaissances géologiques disponibles sur les quatre zones nucléaires.

- *Les zones de Doel et de Mol-Dessel-Geel* seront étudiées tant dans l'optique d'un dépôt en surface que dans celle d'un dépôt en profondeur. Présente dans le sous-sol des deux zones, l'Argile de Boom est en effet étudiée intensivement depuis plus de vingt ans comme roche hôte potentielle pour le dépôt final des déchets des catégories B et C et pourrait se révéler adéquate pour le dépôt des déchets de catégorie A.
- *Les zones de Fleurus-Farciennes et de Tihange* ne seront a priori étudiées que dans l'optique d'un dépôt en surface. La géologie en profondeur de la première est en effet défavorable, tandis que certaines caractéristiques de la géologie de la seconde sont actuellement manquantes. L'ONDRAF examinerait néanmoins toute demande de ces communes allant dans le sens d'un dépôt en profondeur.

7.1 Dépôt en surface : les reconnaissances sont bien entamées

Les reconnaissances préliminaires pour le dépôt en surface se divisent en deux phases : d'une part, des études bibliographiques approfondies de toutes les données régionales et locales pertinentes ; d'autre part, des reconnaissances de terrain préliminaires.

Les études bibliographiques consistent à rassembler puis à analyser les données disponibles sur chacune des zones étudiées en matière d'aménagement du territoire, de géographie (humaine et physique) de l'environnement, de géologie générale, d'hydrologie, d'hydrogéologie et de géotechnique. Parmi toutes les sources disponibles, les plus importantes sont celles qui permettent

de répondre aux questions relatives aux exigences minimales de sûreté du dépôt (section 6.5 et table 7.1). Ce sont principalement

- *pour l'aménagement du territoire* : les administrations locales (plans cadastraux et plans de secteurs) ;
- *pour l'environnement* : les départements spécialisés des universités et des institutions de protection de la nature ;
- *pour la géologie générale* : les archives du Service géologique de Belgique, la carte géologique de Belgique, les universités et les bureaux d'études ;
- *pour l'hydrologie et l'hydrogéologie* : les archives du Service géologique de Belgique, les cartes hydrogéologiques de Belgique, les données des intercommunales et compagnies de distribution d'eau ;
- *pour la géotechnique* : les cartes géotechniques et les exploitants industriels des zones considérées (données récoltées à l'occasion de la construction de leurs installations) ainsi que les bureaux d'études.

Les rapports relatifs aux quatre études bibliographiques, effectuées par le bureau d'études Tractebel Development, constituent les documents techniques de base des études ultérieures. (L'étude bibliographique du site de l'IRE en particulier a conduit à rassembler auprès de l'Administration des Mines des données géologiques et géotechniques spécifiques, et ce en raison des dégâts miniers causés par les anciennes exploitations charbonnières.) Ces rapports mettront en effet à la disposition des partenariats un ensemble de données pertinentes sur les zones considérées. Celles-ci seront ordonnées suivant le canevas proposé dans le rapport *Méthodologie générale pour la détermination des zones de travail en vue d'un dépôt définitif en surface ou en profondeur* (NIROND 98-02, rév. 1 de mai 1999 [9]) publié par l'ONDRAF en vue de l'identification des zones de travail intéressantes.

Table 7.1 Les principales sources utilisées pour les études bibliographiques relatives aux possibilités de dépôt final en surface. Les sources les plus importantes sont celles qui permettent de réunir les données nécessaires pour répondre aux questions liées à la sûreté.

Exigences relatives à la disponibilité du terrain

Superficie libre suffisante (minimum 15 à 20 ha)

- Plans des exploitants
- Cadastre

Affectation prévue autorisée par les plans de secteur

- Aménagement du territoire
- Futurs projets communaux

Exigences relatives aux caractéristiques naturelles du terrain

Absence de risques d'inondation

(en dehors des plaines alluviales des rivières ou des plaines littorales)

- Cartes topographiques
- Cartes oro-hydrographiques
- Cartes géologiques
- Statistiques pluviométriques

Stabilité géotechnique suffisante ; absence de dégâts miniers importants

- Cartes géotechniques générales
- Données propres des exploitants locaux
- Archives de l'Administration des Mines

Activité sismique compatible avec la stabilité du dépôt

- Cartes sismiques
- Etudes de l'Observatoire royal
- Données propres des exploitants locaux

Absence de ressources minérales exploitables en sous-sol

- Cartes des concessions minières
- Histoire locale

Hydrogéologie se prêtant à une modélisation convaincante

- Cartes de vulnérabilité des eaux souterraines
 - Cartes géologiques et hydrogéologiques et descriptions de forages existants (Service géologique et universités)
 - Données propres des exploitants
-

Les reconnaissances de terrain préliminaires sont dictées à la fois par le ou les types de dépôt envisageables sur chacune des zones et par les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, topographiques et géotechniques de celles-ci. Elles constituent une étape fondamentale dans l'élaboration de tout projet de dépôt de déchets radioactifs, car elles doivent permettre de vérifier les résultats des études bibliographiques et permettre de déterminer, sur chacune des zones nucléaires, les zones dites « de travail », c'est-à-dire les zones satisfaisant aux critères de sûreté établis et qui sont donc a priori favorables à l'implantation éventuelle d'un dépôt. Ces reconnaissances ne préjugent toutefois en rien de la décision finale relative à l'implantation éventuelle d'un dépôt sur une des zones considérées. Elles ont déjà eu lieu sur les zones de Fleurus-Farciennes et de Mol-Dessel-Geel ; celles sur les zones de Doel et de Tihange restent à effectuer, pour autant que les autorités locales les autorisent. Ces reconnaissances sont de cinq types (table 7.2).

- *Les reconnaissances aériennes* par hélicoptère permettent de repérer les linéaments éventuels, c'est-à-dire les traits structuraux visibles à la surface du sol, ainsi que les failles locales.
- *Les forages superficiels* de quelques mètres servent de piézomètres. Ils permettent de mesurer le niveau de la nappe phréatique dans les zones étudiées et de procéder à différents essais sur la nappe. Dans le cas de Doel, ils pourront aussi servir à des essais avec traceurs colorés ou chimiques afin de déterminer l'influence de l'Escaut sur la nappe phréatique et sur ses écoulements.
- *Des forages géologiques profonds* de 50 à 100 mètres permettent de mesurer les caractéristiques géotechniques (pressiométriques et dilatométriques) des formations traversées, lesquelles sont auscultées en continu par méthodes géophysiques afin d'en analyser la nature. Ces forages servent aussi de piézomètres pour des mesures statiques du niveau des différentes nappes et pour divers essais hydrauliques et avec traceurs.
- *Les tests pénétrométriques* permettent de préciser les caractéristiques géomécaniques du sol. Ils sont ensuite intégrés au réseau piézométrique.
- *Les mesures, durant plusieurs mois, des débits des cours d'eau drainant la zone* permettent de préciser localement les termes (ruissellement et infiltration) du bilan hydrologique de celle-ci. Ces mesures permettent d'évaluer pour différentes périodes les quantités d'eau infiltrée dans le sol de la zone par rapport aux quantités totales d'eau transitant par le bassin versant. Quoique les polders de la zone de Doel présentent un enchevêtrement d'écoulements à faible débit, quelques gabarits de mesure de débit pourront être placés sur les écoulements les plus importants afin d'évaluer l'influence des marées dans l'Escaut.

Pour chacune des quatre zones nucléaires, une modélisation hydrogéologique préliminaire réalisée sur la base des résultats des mesures effectuées en forage et du bilan hydrologique doit permettre d'estimer la direction et le débit des écoulements souterrains sous et autour de la zone. Elle doit aussi permettre d'étudier l'influence sur ces écoulements

- des anciens travaux miniers pour la zone de Fleurus-Farciennes ;
- du Canal Bocholt-Herentals et de la Nete pour la zone de Mol-Dessel-Geel ;
- de la Meuse pour la zone de Tihange.

Pour la zone de Doel, cette modélisation tiendra compte de la nécessité de surélever l'installation de dépôt sur des terres rapportées et de l'influence des marées dans l'Escaut.

La construction d'un dépôt en surface sur la zone de Doel ou celle de Mol-Dessel-Geel nécessiterait de surélever la base du dépôt. La zone de Doel étant une région de polders protégée de l'Escaut par des digues, toute installation de dépôt en surface devrait être établie, tout comme le site de la centrale, sur un remblai rapporté d'une hauteur suffisante, fixée actuellement à une quinzaine de mètres par rapport au niveau moyen de la mer. De même, celle de Mol-Dessel-Geel étant une région à faible relief susceptible d'être inondée par les crues des rivières locales, en particulier de la Nete, tout concept de dépôt en surface devrait prévoir la possibilité de surélever la base du dépôt. De plus, le niveau de la nappe phréatique de cette zone étant très haut, cette surélévation s'impose tant pour des questions de drainage que pour des questions de pérennité des fondations de l'installation.

Table 7.2 Les reconnaissances de terrain réalisées et à réaliser sur les quatre zones nucléaires existantes. Comme la géologie de surface de la zone de Doel a fait l'objet d'études approfondies lors de la construction de la centrale (résultats disponibles auprès de l'exploitant), l'ONDRAF n'y envisage que deux types de reconnaissances.

Types de tests	Doel	Fleurus-Farciennes	Mol-Dessel-Geel	Tihange
	à faire	fait (août-oct. 1999)	fait (printemps 1999)	à faire
Reconnais. aériennes	-	1	-	1
Forages superficiels	probablement	environ 15	environ 10	-
Forages plus profonds	-	7, de 50 à 80 mètres	2, de 50 à 70 mètres	probablement 2 ou 3
Tests pénétrométriques	-	environ 10	environ 20	-
Mesures des débits	oui	en cours	en cours	oui

7.2 Dépôt en profondeur : beaucoup de données existent déjà

La construction éventuelle d'un dépôt final en profondeur sous la zone de Doel ou celle de Mol-Dessel-Geel impliquerait le creusement de galeries de dépôt dans la couche d'Argile de Boom, qui s'étend de 50 à 115 mètres de profondeur sous la zone de Doel et de 180 à 280 mètres de profondeur sous celle de Mol-Dessel-Geel. (L'influence du creusement sur la stabilité du terrain au droit des bâtiments de la centrale de Doel ainsi qu'en profondeur devrait être mesurée avec soin.)

Contrairement au cas du dépôt en surface, l'identification sur les zones de Doel et de Mol-Dessel-Geel de zones de travail a priori susceptibles d'accueillir un dépôt en profondeur ne nécessite pas d'étude bibliographique approfondie et ne nécessite qu'un complément minime d'études sur le terrain, car les études de terrain déjà réalisées ont fourni une quantité considérable d'informations. Pour la zone de Doel, les reconnaissances préliminaires se limiteront en réalité à une première modélisation hydrogéologique des sables recouvrant l'argile, afin d'estimer la direction et le débit des écoulements souterrains à cette profondeur, ainsi éventuellement qu'à des essais avec traceurs dans les puits existants. La géologie à moyenne profondeur de la zone a en effet fait l'objet d'études approfondies lors de la construction de la centrale (résultats disponibles auprès de l'exploitant) et les récents forages exécutés pour l'ONDRAF (Doel 1A et Doel 1B, ciblés sur l'Argile d'Ypres, ainsi que Doel 2B, ciblé sur l'Argile de Boom) ont permis de récolter un grand nombre de données supplémentaires sur plusieurs centaines de mètres de profondeur. Quant à la zone de Mol-Dessel-Geel, toutes les données nécessaires à une évaluation préliminaire de ses caractéristiques géologiques sont déjà disponibles, car la solution du dépôt en profondeur, qui y est envisagée depuis plus de vingt ans pour les déchets des catégories B et C, a fait et fait toujours l'objet d'un programme intensif de recherche, ainsi qu'en témoigne le rapport SAFIR 1 [2], qui sera complété par le rapport SAFIR 2 vers le milieu de l'an 2000.

Comme pour le dépôt en surface, tout site potentiel de dépôt en profondeur doit toutefois satisfaire à des exigences minimales de sûreté [9]. Plus précisément, il doit posséder une géologie suffisamment caractérisable, présentant une bonne capacité de rétention des radioéléments, et être dépourvu de ressources minérales exploitables en sous-sol. Aucun mouvement d'eau important n'est permis à travers le dépôt et les éventuels mouvements d'eau autour du dépôt doivent être lents. Enfin, le site potentiel ne peut présenter de risque important de changements naturels futurs (sismicité, volcanisme, etc.).

8 Les études de concept

L'ONDRAF étudie actuellement deux solutions pour le dépôt final des déchets de catégorie A : le dépôt en surface et le dépôt en profondeur, pour lesquels il a développé des concepts génériques qui seront présentés aux partenariats avant d'être évalués, adaptés et complétés par ceux-ci. La solution en surface fait appel au concept du post-conditionnement des fûts de déchets dans des caissons en béton, de manière à former des blocs monolithiques, tandis que la solution en profondeur prévoit, soit le dépôt direct des fûts de déchets en galeries d'enfouissement, soit leur post-conditionnement en caissons préalablement à leur enfouissement. Dans tous les cas, la capacité totale d'enfouissement du dépôt doit être de 150000 fûts standard. Ces fûts ont une capacité de 400 litres et mesurent 1,07 m de haut pour 0,77 m de diamètre (figure 8.1). Une fois remplis, leur poids oscille le plus souvent entre 900 et 1000 kg.

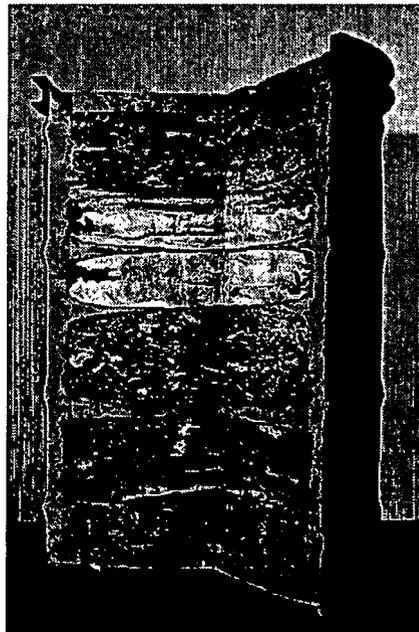


Figure 8.1 Le fût standard de 400 litres.

Que la solution retenue soit celle du dépôt en surface ou celle du dépôt en profondeur, l'ONDRAF préconise le choix d'un concept avec monolithes. Un tel concept présente en effet différents avantages :

- le monolithe accroît la résistance mécanique et la durabilité des fûts ;
- le monolithe améliore le confinement des radioéléments, car il constitue une barrière chimique et physique supplémentaire ;
- le monolithe procure un blindage radiologique supplémentaire ;
- le monolithe facilitera la récupération des déchets en cas de besoin (exigence de réversibilité).

Un concept avec monolithes présente toutefois l'inconvénient d'augmenter d'un facteur deux le volume utile de dépôt nécessaire.

Dans ce cas, la construction d'un atelier de fabrication des caissons sur le site même du dépôt ou dans ses environs immédiats permettrait de limiter les transports tout en ouvrant des perspectives socioéconomiques. La solution du dépôt en surface avec monolithes pourrait en effet nécessiter la construction de plus de 37000 caissons en béton d'ici 2060, tandis que celle du dépôt en profondeur avec monolithes pourrait nécessiter la construction de 50000 caissons.

Les trois concepts génériques de dépôt final élaborés par l'ONDRAF au cours de ces dernières années reposent sur la mise en œuvre du principe multibarrière (section 3.2) et tiennent compte des fonctions et critères de sûreté (sections 6.2 et 6.5). Ils sont décrits de façon relativement succincte ci-après. Bien entendu, l'ONDRAF a déjà réalisé des études préliminaires détaillées sur la plupart de leurs aspects. Elles serviront de base de réflexion pour les travaux des groupes de travail (section 5.3).

8.1 En surface : concept avec monolithes

Les études de l'ONDRAF sur le dépôt final en surface ont débuté au milieu des années quatre-vingt et se poursuivent encore actuellement (chapitre 4). Celles réalisées entre 1990 et 1993 ont été consignées dans le document de synthèse NIROND 94-04 [4]. Ce document proposait une ébauche d'installation de dépôt final en surface inspiré des concepts les plus modernes. Dans cette proposition, les déchets conditionnés considérés, des fûts standard de 400 litres, étaient mis en place tels quels dans les modules du dépôt final et les espaces vides entre les fûts ainsi qu'entre les fûts et les parois des modules étaient comblés à l'aide d'un matériau de remblai à base de béton, de manière à transformer chaque module en un grand bloc de béton contenant les déchets.

Depuis lors, plusieurs études [12, 13, 14] ont conduit l'ONDRAF à apporter différentes modifications à son concept initial de dépôt final en surface. Reprises dans le rapport NIROND 97-04 [5], ces modifications portent notamment sur les colis à mettre en dépôt : ce ne sont plus les fûts standard eux-

mêmes, mais bien des monolithes en béton qui, à l'époque, contenaient chacun deux fûts immobilisés dans du mortier. Ces monolithes sont ensuite placés dans les modules du dépôt sans remblayage interstitiel.

Bien qu'aucune décision n'ait encore été prise, l'ONDRAF donne aujourd'hui la préférence au concept du post-conditionnement, c'est-à-dire au concept « avec monolithes ». Les hypothèses de base sur lesquelles celui-ci s'appuie sont détaillées dans la note ONDRAF 99-0653 [15]. Très générique, le concept sera toutefois revu, adapté et complété par les partenariats, en fonction notamment de la géologie, de l'hydrologie, de la topographie et de la mécanique des sols des zones considérées, ainsi que des souhaits de la population en matière d'environnement.

Selon le concept actuel, le dépôt en surface se présente schématiquement comme un empilement de monolithes dans des modules en béton protégés par une couverture étanche, mais néanmoins pourvus d'un système de drainage des éventuelles eaux d'infiltration (figure 8.2). La structure des monolithes et la conception d'ensemble des modules doivent permettre la réalisation d'empilements très stables et suffisamment résistants pour supporter le poids de la dalle de fermeture des modules et de la couverture du dépôt.

Plus précisément, le concept de dépôt en surface avec post-conditionnement prévoit de déposer les fûts standard de 400 litres dans des caissons en béton armé, où ils sont immobilisés dans du mortier pour former des blocs appelés monolithes. Les caissons en béton ont été provisoirement dimensionnés de manière à pouvoir accueillir quatre fûts standard. Leur poids à vide serait d'environ 4400 kg et leur poids une fois rempli oscillerait entre 10500 et 13500 kg. Ils doivent en outre notamment posséder un système empêchant la stagnation éventuelle d'eaux d'infiltration sur la face supérieure du mortier, de même qu'un système anti-flottement des fûts, empêchant les fûts les plus légers de remonter à la surface du mortier liquide frais sous la poussée d'Archimède. Après durcissement du mortier, les monolithes sont alors déposés à l'aide d'un pont roulant dans des modules de dépôt final également en béton. Les modules, dont les dimensions intérieures seraient d'environ 25 × 23 × 8 mètres, sont surmontés d'une toiture de protection contre les intempéries. Enfin, un système de drainage doit permettre l'évacuation des eaux d'infiltration éventuelles vers un système de collecte contrôlé en permanence pour pouvoir déterminer exactement et rapidement l'origine d'une fuite radioactive éventuelle.

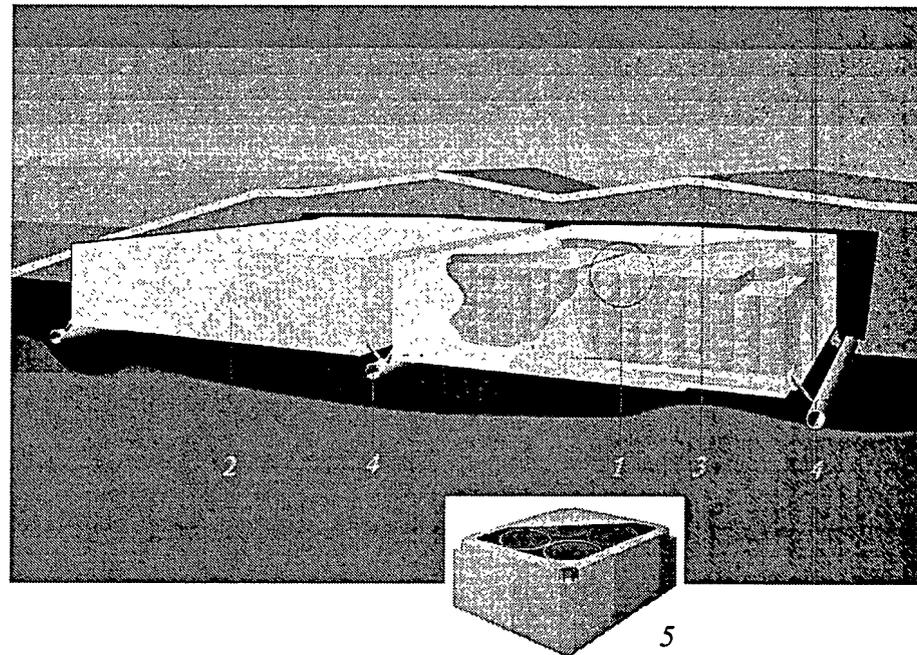


Figure 8.2 Vue tridimensionnelle d'une installation type de dépôt en surface montrant l'empilement des monolithes (1) dans les modules en béton (2), la couverture des modules (3), le système de drainage (4) et le détail d'un monolithe (5).

Le dépôt en surface devra être étanche au moins pendant la durée du contrôle institutionnel, qui sera de l'ordre de 300 ans. Une fois rempli de monolithes, chaque module sera donc recouvert d'une dalle de fermeture en béton, après quoi la surface extérieure du module sera recouverte de plusieurs couches d'une peinture synthétique imperméable, afin de parfaire l'étanchéité de l'ensemble vis-à-vis des eaux de pluie. Quand le dépôt lui-même sera rempli, l'ensemble sera protégé par plusieurs couches de matériaux artificiels et naturels étanches à l'eau, dont la pose pourra éventuellement être différée de quelques dizaines d'années pour permettre un meilleur suivi de l'évolution des différents éléments du dépôt. Le site sera alors recouvert d'une couche de végétation, qui rendra au paysage une apparence naturelle. Le contrôle institutionnel après la fermeture du dépôt consistera essentiellement en analyses des eaux souterraines et de surface, du sol et de l'air.

Les contrôles et mesures radiologiques sont du reste des facteurs essentiels de la protection contre les rayonnements ionisants. Durant l'exploitation du dépôt, ils portent sur les fûts de déchets et les installations, le personnel occupé

en zone contrôlée et les rejets dans l'environnement. Après la fermeture du dépôt, ils portent sur la vérification de l'absence de contamination radiologique dans l'environnement.

8.2 En profondeur : dépôt direct ou concept avec monolithes

Une des missions attribuées à l'ONDRAF le 16 janvier 1998 par le Conseil des ministres consistait à approfondir et à finaliser les études de faisabilité et de coût de mise en dépôt final en profondeur des déchets de catégorie A. Plusieurs éléments jouent effectivement a priori en faveur de la mise en dépôt de ces déchets dans l'argile profonde :

- le dépôt en profondeur éloigne les déchets de la biosphère ;
- l'argile est très peu perméable ;
- l'argile et, dans certains cas, les couches supérieures adjacentes présentent des caractéristiques favorables de sorption, c'est-à-dire de fixation, des radioéléments ;
- l'argile possède un caractère plastique, qui devrait permettre d'éviter la formation de failles ouvertes, et donc la dispersion des radioéléments via ces chemins préférentiels en cas de déformations tectoniques du massif.

L'impact de la corrosion de ces déchets sur l'argile reste toutefois à préciser (section 6.5).

L'ONDRAF a donc lancé l'étude générique d'un dépôt final en profondeur pour les déchets de catégorie A, en s'appuyant sur les études menées en Belgique depuis le milieu des années septante afin d'évaluer le potentiel de la formation argileuse de Boom en tant que roche hôte pour le dépôt final des déchets des catégories B et C. Cette étude générique a débuté par l'analyse des avantages et inconvénients des différents concepts applicables à l'enfouissement des déchets de catégorie A [16], pour aboutir finalement aux deux concepts suivants, dont le second constitue la solution de référence :

- la mise en dépôt direct des fûts standard de 400 litres ;
- la mise en dépôt des fûts standard de 400 litres après leur conditionnement sous forme de monolithes.

Les hypothèses ou critères techniques de base propres aux concepts de dépôt en profondeur sont exposés dans la note ONDRAF 99-1058 [17]. Ces concepts sont toutefois destinés à évoluer en fonction des travaux des partenariats.

Les deux concepts de dépôt final en profondeur envisagés aujourd'hui en Belgique pour les déchets de catégorie A impliquent la construction d'un réseau de galeries horizontales dans une des couches d'argile présentes dans le sous-sol (figure 8.3). Deux puits d'accès mènent à une ou deux galeries principales et à des galeries d'enfouissement de diamètre plus petit. Les puits

servent au transfert des fûts ou des monolithes vers les installations souterraines, à l'accès normal du personnel et à l'alimentation en utilités. L'un d'eux doit également comprendre un ascenseur de secours pour le personnel. Les galeries destinées à l'enfouissement des colis mesurent 1600 mètres de long chacune. Au nombre de quatre dans le concept du dépôt direct des fûts (soit un total de 6400 mètres pour le dépôt de 150000 fûts), elles seraient sept dans le concept avec monolithes (soit un total de 11000 mètres pour le dépôt de 50000 monolithes). Comme les galeries principales, elles doivent permettre le passage de toutes les utilités requises et accueillir les équipements de secours et de mesure requis. Leur partie inférieure comporte un plancher, ou radier, sur lequel sont fixés les rails de circulation de la navette de transport des fûts ou des monolithes. Ceux-ci doivent en effet être acheminés depuis le bas du puits d'accès jusqu'à une machine de mise en place, qui les saisit et les empile en position horizontale dans la galerie d'enfouissement.

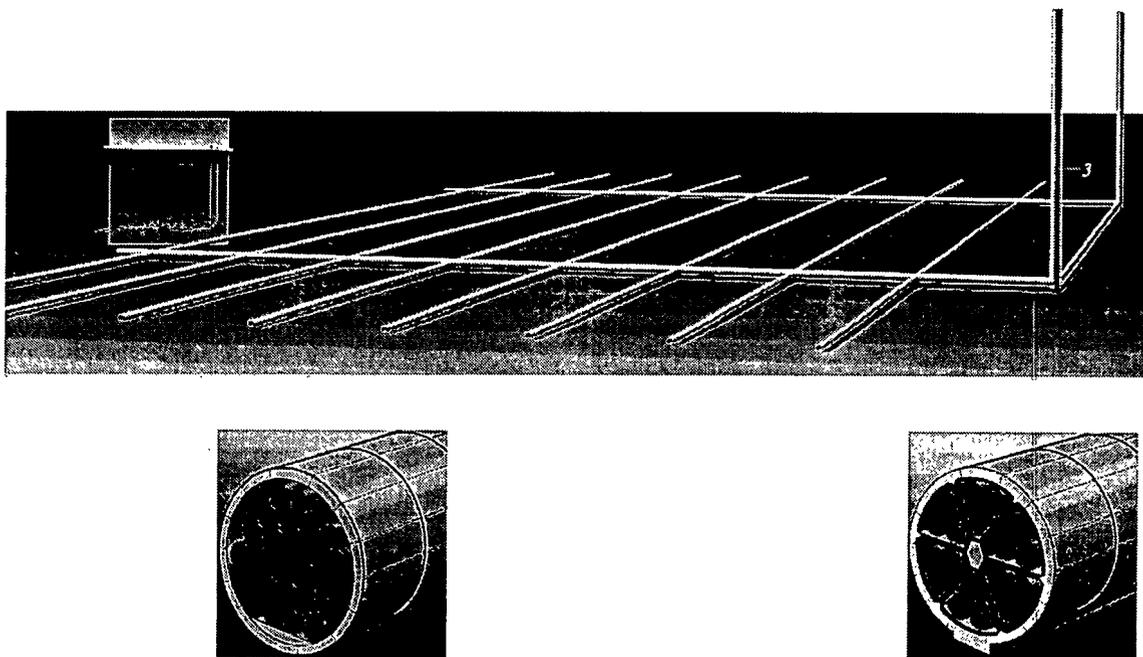


Figure 8.3 Vue tridimensionnelle d'une installation type de dépôt en profondeur montrant les galeries d'enfouissement (1), les galeries principales (2) et les puits d'accès (3). Les deux figures du dessous montrent le détail de la galerie d'enfouissement, selon qu'il s'agit du concept du dépôt direct des fûts (à gauche) ou du concept du dépôt avec monolithes (à droite).

Le modèle de monolithe actuellement proposé pour le concept de dépôt avec monolithes contient trois fûts standard. Il a une section en forme de sixième de tarte, dimensionnée de telle sorte que chaque section de galerie d'enfouissement puisse en accueillir six et que le volume d'espaces vides à remblayer soit minimum. Son poids une fois rempli serait d'environ 8000 kg, répartis comme suit :

- poids du caisson vide = environ 2500 kg
- poids des trois fûts de 400 litres = environ 3000 kg
- poids de la matrice de remplissage = environ 2500 kg

Les vides qui subsisteront après la mise en place des fûts ou des monolithes en galerie d'enfouissement devront être comblés à l'aide d'un matériau de remblai (par exemple du béton, du mortier ou du sable sec) pour éviter que la galerie ne s'affaisse localement au cours du temps, ce qui risquerait de provoquer la fissuration des couches d'argile environnantes. Ainsi, le remblayage d'une longueur de 30 mètres de galerie remplie de fûts nécessiterait l'injection d'environ 200 m³ de matériau de remblai, contre 30 m³ environ pour le concept avec monolithes.

Pour résorber dans un délai raisonnable (10 à 15 ans) le stock actuel (soit 25000 fûts) et à venir de fûts entreposés, il faudrait enfouir en moyenne 25 fûts par jour pendant les premières années d'exploitation du dépôt, après quoi, il suffirait d'enfouir la production journalière, qui est actuellement d'environ 9 fûts par jour.

8.3 Le type de bâtiments dépend peu de la solution

La liste des bâtiments du site de dépôt, qui sera établie par les partenariats, sera sensiblement identique pour le dépôt en surface et le dépôt en profondeur. Elle comportera typiquement

- *un poste de garde – poste incendie* assurant le gardiennage et la surveillance du site et abritant le matériel et les véhicules d'intervention ;
- *un centre d'accueil des visiteurs*, équipé d'un espace de communication et d'information, d'un centre de documentation, et de salles de réunion et de projection ;
- *un bâtiment administratif* abritant les bureaux et salles de réunion du personnel technique et administratif ;

- *un bâtiment de réception et de stockage intermédiaire des fûts de déchets, éventuellement intégré au bâtiment de post-conditionnement, destiné au déchargement des fûts du camion conteneur et à leur stockage dans une zone tampon ;*
- *un bâtiment de post-conditionnement des déchets dans des caissons en béton ;*
- *un atelier de fabrication des caissons en béton, dont l'implantation sur ou à proximité du site du dépôt présenterait des avantages techniques et socioéconomiques ;*
- *un bâtiment des services généraux, abritant le service de protection radiologique du personnel, le service médical ou encore des laboratoires ;*
- *un bâtiment de maintenance électrique et mécanique, équipé pour assurer le bon fonctionnement et la maintenance des installations du site ;*
- *un bâtiment des auxiliaires, abritant tous les équipements nécessaires à la production et à la distribution des fluides indispensables au bon fonctionnement des installations du site (eau, air, etc.).*

9 L'environnement

Toute installation de dépôt final doit être réalisée et implantée de façon telle que son impact non-radiologique sur l'environnement reste limité à un niveau admissible. Comme pour tous les aspects liés à la sûreté, un impact donné, même s'il est en principe acceptable, n'est pas satisfaisant s'il peut être réduit moyennant des efforts raisonnables.

En matière d'environnement, le nouveau programme de travail de l'ONDRAF prend en compte deux aspects qui ont déjà fait l'objet d'une étude préliminaire par des experts indépendants [18, 19]. Ce sont, d'une part, le relevé des réglementations légales, prescriptions et autres dispositions d'application et, d'autre part, la détermination du contenu d'une étude d'incidence d'une installation de dépôt final sur l'environnement.

Le cadre réglementaire qui sera d'application pour l'évaluation de l'impact non-radiologique sur l'environnement d'une installation de dépôt n'est pas encore entièrement déterminé et devra être fixé en concertation avec les autorités fédérales et régionales compétentes. Il pourrait regrouper les différentes directives européennes d'application, la réglementation fédérale relative aux installations nucléaires et la réglementation régionale en matière d'urbanisme, d'aménagement du territoire et d'environnement.

L'étude d'incidence devra décrire et évaluer l'impact non-radiologique direct et indirect de l'implantation et de l'exploitation d'une installation de dépôt final sur l'homme, la faune et la flore, sur le sol, l'eau, l'air, le climat et le paysage, ainsi que sur les biens matériels et le patrimoine culturel. Son contenu sera déterminé par les partenariats (section 5.3), qui pourront s'inspirer de la récente étude finlandaise de l'impact sur l'environnement d'un dépôt final en profondeur pour les déchets de catégorie C [20].

Par ailleurs, conformément à la directive européenne 97/11/CE du 3 mars 1997, l'ONDRAF devra au minimum fournir aux autorités compétentes les informations suivantes :

- une description du projet comportant des informations relatives à sa conception et à ses dimensions, ainsi qu'à son site d'implantation ;
- une description des mesures envisagées pour éviter et réduire des effets négatifs importants et, si possible, y remédier ;
- les données nécessaires pour identifier et évaluer les effets principaux que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement ;

- une esquisse des principales solutions de substitution examinées et une indication des principales raisons du choix effectué, eu égard aux effets sur l'environnement ;
- un résumé non-technique des différents aspects traités.

10 Les coûts

Les premières évaluations des coûts relatifs à la mise en dépôt final des déchets de catégorie A remontent à 1988. Tout au long des années nonante, diverses études économiques ont tenté de préciser, malgré les grandes incertitudes sur les concepts et les calendriers de réalisation, les données de coûts indispensables à l'établissement des tarifs d'enlèvement applicables aux déchets radioactifs de cette catégorie. Ces études, comme les montants tarifaires qui en découlent, se fondaient sur l'hypothèse que les déchets de catégorie A seraient évacués dans un dépôt en surface, cette solution constituant à l'époque l'unique référence pour les études économiques.

En 1996, l'ONDRAF a confié à l'entreprise spécialisée Widnell Europe le soin d'effectuer une réévaluation globale du coût d'un dépôt final de déchets de catégorie A implanté en surface sur un site générique. Cette étude constitue la première évaluation économique détaillée de la solution « surface ». Bien que les études de concept pour la solution « profondeur » étaient beaucoup moins avancées, l'ONDRAF a réalisé en 1997 une première évaluation similaire des coûts liés à la mise en dépôt en profondeur des déchets de catégorie A. Les résultats de ces études ont été intégrés dans le volet économique du rapport NIROND 97-04 [5] sur la base duquel le Conseil des ministres a décidé, le 16 janvier 1998, d'abandonner définitivement l'idée d'une éventuelle solution provisoire pour la gestion à long terme des déchets de catégorie A, et ce au profit d'une solution définitive.

10.1 Une méthode d'évaluation entièrement paramétrisable

Pour les évaluations de coûts à réaliser dans le cadre de son nouveau programme de travail, l'ONDRAF préconise la méthode d'analyse développée par Widnell Europe, semblable d'ailleurs à celle qu'utilise couramment l'industrie dans le domaine de la planification ou des études de prix. Cette méthode est en effet très analytique et aisément paramétrisable, deux qualités essentielles compte tenu du fait que quel que soit le concept retenu, de nombreux paramètres sont susceptibles d'évoluer d'ici la mise en service d'un dépôt final, voire même après : ses composantes, son architecture, les matériaux et techniques utilisés, les modalités d'exploitation, la planification des différentes étapes et leur durée, ainsi que les quantités et les types de déchets à évacuer. Un même concept pourra par ailleurs prendre des formes assez variables selon son lieu d'implantation, puisqu'il devra tenir compte de la spécificité de ce lieu (topographie, surface disponible, capacité portante du sol, paysage, voies d'accès existantes, etc.) et des contraintes imposées par

les instances locales (contraintes urbanistiques et démographiques, exigences particulières de sécurité, etc.).

La méthode de Widnell Europe consiste à établir, pour l'installation de dépôt envisagée, une feuille de calcul intégrant, pour chaque exercice d'évaluation,

- le descriptif du concept retenu,
- le schéma organisationnel de référence de l'entité chargée de l'exploitation,
- les calendriers de référence (réalisation, production des déchets, etc.),
- un métré détaillé des éléments constitutifs du concept,
- une estimation des coûts unitaires,
- l'identification des sources d'information,
- les marges d'incertitudes.

Le résultat de l'intégration est un outil de calcul entièrement paramétrisé, que l'ONDRAF prévoit d'utiliser pour évaluer et comparer au plan économique les avant-projets développés par les différents partenariats. Son contenu technique ou financier peut être adapté à tout moment sans difficulté particulière et son résultat final revu automatiquement s'il s'avère, à la lumière des derniers développements ou en raison de circonstances locales particulières, qu'un paramètre donné doit être corrigé. Ce peut être par exemple une quantité, un volume, une longueur, une architecture, une durée, un matériau, une technique, un prix unitaire, ou encore une fourchette d'incertitude.

10.2 Les résultats les plus récents : la meilleure référence

Les études économiques réalisées en 1996 et 1997 en vue du rapport NIROND 97-04 [5] sont les dernières en date et, à ce titre, particulièrement illustratives du niveau de connaissances atteint. Devant les inconnues qui subsistent, notamment sur le plan du concept, du lieu d'implantation, de la date de commencement des travaux et des délais de réalisation, la bonne gestion conduit à prévoir des marges d'incertitudes qui peuvent parfois sembler très importantes. Même si le nouveau programme de travail ne prévoit pas de dépasser le stade de l'avant-projet, il devrait permettre d'obtenir d'ici 2001 une meilleure vision des coûts liés au dépôt final des déchets de catégorie A, puisqu'il permettra à la fois de travailler sur le terrain, et non plus sur la base de sites théoriques, et de développer les avant-projets en concertation étroite et ouverte avec les autorités et les populations locales.

Pour fixer les idées, l'ONDRAF a sélectionné trois scénarios de référence parmi la multitude des scénarios possibles pour la mise en service du dépôt final :

- un scénario de mise en service « au plus tôt » (vers 2005 pour le dépôt en surface et vers 2015 pour le dépôt en profondeur) ;
- un scénario de mise en service « intermédiaire » (vers 2035) ;
- un scénario de mise en service « au plus tard » (vers 2060).

La comparaison des coûts associés aux trois scénarios de référence, qui couvrent de très longues périodes, s'appuie sur les principes suivants.

- *Les coûts sont compris comme étant instantanés.* Il est en effet impossible de faire des hypothèses réalistes quant à l'évolution des prix de la main d'œuvre et des matières premières sur d'aussi longues périodes. L'unité de coût est le franc belge aux conditions économiques de la mi-1996 (BEF 1996).
- *Les coûts sont évalués en francs constants non-actualisés.* Les techniques d'actualisation ayant pour effet de déprécier les coûts lointains, on considère généralement inapproprié de les utiliser pour des projets à très long terme, affectant de multiples générations. Il est en effet difficile d'admettre qu'on puisse déprécier les coûts futurs qui, même s'ils sont encore lointains, représenteront une charge pour les générations concernées.
- *La comparaison économique doit intégrer les différences très marquées dans la qualité des données des différents postes de coûts.* Les coûts de base, à considérer comme meilleures estimations, doivent être affectés de marges pour incertitudes combinant les imprévus de projet et les imprévus liés au degré de maturité technologique des solutions techniques proposées. Ces marges ont été établies conformément aux recommandations de l'EPRI (*Electricity Power Research Institute*, Etats-Unis) : celles pour imprévus de projet varient de 10 à 40% selon le degré de précision de l'estimation ; celles pour imprévus technologiques varient de 10 à 70% selon le niveau de maturité et d'expérience disponible.
- *Certains postes de coûts sont tellement différés qu'ils ne peuvent être combinés avec les autres postes.* Ces coûts sont, en particulier, ceux de la phase de contrôle institutionnel consécutive à la fermeture du dépôt. Même si des estimations rudimentaires sont possibles, les coûts restent si lointains et/ou imprécis qu'ils ne peuvent être utilisés dans la comparaison des trois scénarios ; ils ne peuvent être additionnés aux autres postes, mieux connus, afin d'obtenir un coût total.

La table 10.1 reprend la synthèse des calculs de coûts, marges pour incertitudes incluses, relatifs aux cinq phases de la mise en œuvre d'une solution technique. Elle appelle les commentaires suivants.

- *Entreposage provisoire* Son coût augmente au fur et à mesure que la date de mise en dépôt recule. Pour ce qui est des scénarios « au plus tôt », le coût de l'entreposage provisoire qui précède la mise en dépôt en profondeur est plus élevé que celui de l'entreposage qui précède la mise en dépôt en surface, car le premier est postérieur au second et ne permettra normalement que des cadences de mise en dépôt plus lentes.
- *Investissements* Leur coût couvre les dépenses d'études et de construction des installations. Il traduit la complexité de la solution choisie.
- *Mise en place des déchets* Son coût est influencé, d'une part, par la complexité de la solution mise en œuvre et, d'autre part, par la durée de la période opérationnelle, qui est d'autant plus courte que la mise en œuvre de la solution est plus tardive.
- *Fermeture* La fermeture du dépôt final correspond à la mise en place des dernières couvertures de terre dans le cas du dépôt en surface et au scellement des puits d'accès dans le cas du dépôt en profondeur.
- *Opérations postérieures* Le coût des opérations en aval de la mise en place des déchets est difficile, voire impossible à estimer. Il correspond au coût de la période de surveillance et de contrôle institutionnel après fermeture du dépôt, qui ne générera en principe que des dépenses annuelles plus faibles. Il devrait être couvert par un fonds capitalisable créé au début de cette période et est estimé, en première approximation, à 5,6 milliards de francs belges pour le dépôt final en surface et à 2 milliards de francs belges pour le dépôt final en profondeur.

Table 10.1 Les plages de variation des coûts des trois scénarios de référence de mise en dépôt final (en milliards de BEF 1996).

Phases de réalisation	Au plus tôt (2005 / 2015)		Intermédiaire (2035)		Au plus tard (2060)	
	Surface	Profondeur	Surface	Profondeur	Surface	Profondeur
1. Entreposage provisoire	0,1	0,7	1,3 - 1,4	1,4 - 1,5	3 - 3,3	3 - 3,3
2. Investissements	5 - 7,8	8,6 - 16,7	5 - 7,8	8,6 - 16,7	5 - 7,8	8,6 - 16,7
3. Mise en place des déchets	9,4 - 13,6	8,5 - 16,6	4,9 - 7,1	5,8 - 11,3	3,4 - 4,9	3,9 - 7,6
4. Fermeture	2,3 - 4,3	1,8 - 4,3	2,3 - 4,3	1,8 - 4,3	2,3 - 4,3	1,8 - 4,3
Total	16,8 - 25,8	19,6 - 38,3	13,5 - 20,6	17,6 - 33,8	13,7 - 20,3	17,3 - 31,9
5. Opérations postérieures	Surface : dépenses annuelles modérées pendant 200 à 300 ans ; capital estimé : 5,6 Profondeur : montant total étalé sur quelques décennies ; capital estimé : 2					

Considérations finales

Contrairement à une idée largement répandue, la gestion à court terme des déchets radioactifs ne pose pas aujourd'hui de problèmes en Belgique et le développement de solutions sûres, responsables et prudentes pour leur gestion à long terme est très avancé.

L'ONDRAF a suivi de près l'évolution de la société moderne vers une vraie participation du citoyen aux décisions qui le concernent ; il a adapté sa méthode de travail à cette évolution et l'a enrichie en conséquence. Parce que sa véritable préoccupation, son vrai partenaire, c'est le citoyen, il s'est engagé dans une méthodologie de partenariats afin d'aboutir à une solution définitive pour la gestion des déchets de catégorie A qui puisse faire l'objet d'un large consensus au sein de la population. Cette méthodologie prend directement en compte les inquiétudes et aspirations de la collectivité.

Pour atteindre son objectif, l'ONDRAF compte sur la participation volontaire des collectivités locales intéressées, en lesquelles il souhaite trouver des partenaires actifs. Conformément à sa mission légale, il veillera à la faisabilité technique et à la sûreté des avant-projets proposés. Les exigences de sûreté, de progressivité, de flexibilité et de réversibilité vont d'ailleurs dans le sens d'une meilleure prise en compte des risques associés à la présence d'un dépôt final. Parallèlement, l'ONDRAF fournira à ses partenaires les moyens financiers et techniques nécessaires au développement de leurs avant-projets respectifs, dont la qualité finale et l'intégration au niveau local seront le résultat des contributions et des efforts de tous. Cette approche devrait, du moins il l'espère, permettre au Gouvernement fédéral de décider en connaissance de cause entre dépôt final en surface et dépôt final en profondeur ainsi que de sélectionner, vers 2001-2002, le ou les avant-projets de dépôt final intégré qu'il souhaite faire poursuivre. L'ONDRAF prend toutefois le risque, avec la méthodologie des partenariats, de se retrouver sans avant-projet viable de dépôt intégré en 2001-2002. Si tel était le cas, c'est au Gouvernement qu'il appartiendrait de décider de la suite à donner au dossier. D'ici là, rien ne sera décidé.

Des solutions pour la gestion à long terme des déchets de catégorie A sont déjà opérationnelles en Allemagne, en Espagne, en Finlande, en France, au Royaume-Uni, en Suède, en Afrique du Sud, aux Etats-Unis et au Japon. La Belgique pourrait disposer d'une installation de dépôt final au début du XXI^e siècle.

Annexe 1 : Liste des tables et des figures

Table 2.1	Les trois catégories de déchets radioactifs selon la classification belge.	9
Table 3.1	Les volumes de déchets conditionnés entreposés à Belgoprocess fin 1998.	15
Table 7.1	Les principales sources des études bibliographiques relatives au dépôt final en surface.	50
Table 7.2	Les reconnaissances de terrain sur les quatre zones nucléaires existantes.	52
Table 10.1	Les plages de variation des coûts des scénarios de référence de mise en dépôt final.	67
Figure 3.1	La gestion des déchets radioactifs en Belgique.	11
Figure 8.1	Le fût standard de 400 litres.	54
Figure 8.2	Vue tridimensionnelle d'une installation type de dépôt en surface.	57
Figure 8.3	Vue tridimensionnelle d'une installation type de dépôt en profondeur.	59

Annexe 2 : Références

- [1] Guide de sûreté *Classification of Radioactive Waste*, IAEA Safety Series No. 111-G-1.1, IAEA, Vienne (mai 1994)
- [2] Rapport SAFIR 1, ONDRAF (1989)
- [3] Rapport ONDRAF *L'évacuation des déchets de faible activité : bilan et perspectives*, NIROND 90-01 (janvier 1990)
- [4] Rapport ONDRAF *Le dépôt définitif en surface, sur le territoire belge, des déchets radioactifs de faible activité et de courte durée de vie : synthèse et recommandations*, NIROND 94-04 (avril 1994, épuisé)
- [5] Rapport ONDRAF *Comparaison des diverses options pour la gestion à long terme des déchets radioactifs de faible activité et de courte durée de vie : aspects sûreté et différences de coûts*, NIROND 97-04 (juin 1997)
- [6] Rapport Belgatom *Reconnaisances géologiques préliminaires à Baronville* (juin 1998)
- [7] Document ONDRAF *Veiligheidscharter voor de berging van radioactief afval. Deel 1 : Veiligheidsdoelstellingen en veiligheidsvereisten* (version du 20 septembre 1999)
- [8] Document ONDRAF *Veiligheidscharter voor de berging van radioactief afval. Deel 2 : Veiligheidsstrategie en veiligheidsdemonstratie* (version du 20 septembre 1999)
- [9] Rapport ONDRAF *Méthodologie générale pour la détermination des zones de travail en vue d'un dépôt définitif en surface ou en profondeur*, NIROND 98-02 (rév. 1 de mai 1999)
- [10] Rapport CEN-SCK *De gasproblematiek bij het bergen van radioactief afval in een oppervlakte bergingsinstallatie of in een diepe geologische berging in de klei van Boom* (avril 1997)
- [11] Rapport CEN-SCK *Doenbaarheidsstudie diepe berging van categorie A afval : invloed van de gasproblematiek op het concept* (version draft de mars 1999)
- [12] Rapport Belgatom *Site d'évacuation de surface de déchets faiblement radioactifs. Phase 1 : étude conceptuelle générique pour l'optimisation de l'étanchéité*, réf. 686 (rév. 00) (septembre 1995)
- [13] Rapport Belgatom *Evacuation de surface : dimensionnement des parois des modules* (novembre 1996)
- [14] Rapport Widnell Europe NV *Revisie budget oppervlakteberging* (septembre 1996)
- [15] Note ONDRAF *Liste des hypothèses de base considérées pour le développement du concept de dépôt définitif en surface dans le cadre du projet POSTALTSURF*, ONDRAF 99-0653 (février 1999)
- [16] Note ONDRAF *Stockage géologique profond des déchets de catégorie A : analyse des différentes techniques d'enfouissement*, ONDRAF 98-2550 (juillet 1998)
- [17] Note ONDRAF *Choix conceptuels de base préliminaires aux études POSTALTSURF relatives au dépôt en profondeur des déchets de catégorie A*, ONDRAF 99-1058 (mars 1999)

- [18] L. Triest, M. Van Molle, F. Bogemans, A. De Brabander, vUB, *Situering en globale inhoudsbepaling van een MER voor de oppervlakteberging van laagactief en kortlevend afval: niet-nucleair gebonden milieueffecten* (avril 1999)
- [19] L. Triest, M. Van Molle, F. Bogemans, A. De Brabander, vUB, *Situering en globale inhoudsbepaling van een MER voor de diepe berging van laagactief en kortlevend afval: niet-nucleair gebonden milieueffecten* (avril 1999)
- [20] Rapport Posiva Oy *The Final Disposal Facility for Spent Nuclear Fuel: Environmental Impact Assessment Report* (mai 1999)

Annexe 3 : Ouvrages d'intérêt général

- Th. De Putter, L. André, A. Bernard, J.-M. Charlet, Ch. Dupuis, J. Jedwab, D. Nicaise, A. Perruchot, Y. Quinif, *Géologie et altération de surface — Analogies naturelles et archéologiques*, NIROND 97-09, Ed. F. Decamps (1997)
- Th. De Putter, J.-M. Charlet, *Analogies naturelles en milieu argileux — Essai de synthèse bibliographique*, NIROND 94-13, Ed. F. Decamps (1994)
- M. Eisenbud, Th. Gesell, *Environmental Radioactivity—From Natural, Industrial, and Military Sources*, Academic Press, 4^e édition (1997)
- J. Foos, *Manuel de radioactivité à l'usage des utilisateurs* (tomes 1, 2 et 3), Formascience (1993)
- Ch. Hoenraet (réd.), *De energiebronnen en kernenergie — Vergelijkende analyse en ethische reflecties*, ISBN 90.334.4349.X, Acco (1999)
- J. Leclercq, *L'ère nucléaire — Le monde des centrales nucléaires*, ISBN 2.85108.599.9, Hachette (1988) (également disponible en anglais)
- G. Van den Noortgate, *La Belgique nucléaire*, ISBN 2.930088.17.6, Ed. L. Pire (1996)
- H. Vanmarcke, L. Bagniet-Mahieu, J.-P. Culot, P. Govaerts, L. Holmstock, *Rayonnements ionisants — Effets de faibles doses*, NIROND 96-03F, Ed. J.-P. Minon (1996)
- L. Wouters, N. Vandenberghe, *Géologie de la Campine — Essai de synthèse*, NIROND 94-12, Ed. F. Decamps (1994)
- Guide de sûreté *The Principles of Radioactive Waste Management*, IAEA Safety Series No. 111-F, IAEA, Vienne (1995)
- Rapport ONDRAF *Politique et pratique de la gestion des déchets radioactifs de faible activité et de courte durée de vie en Europe*, NIROND 97-08 (octobre 1997)

Annexe 4 : Sigles et acronymes

- AEN** Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (Paris, France)
- AFCN** Agence fédérale de contrôle nucléaire (Bruxelles, Belgique)
- AIEA** Agence internationale de l'énergie atomique (Vienne, Autriche)
- ALARA** As Low As Reasonably Achievable
(un des principes de base de la radioprotection qui vise à faire en sorte que toute exposition à un rayonnement soit justifiée et que la dose soit aussi faible que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux)
- BCMN** Bureau central des mesures nucléaires (Geel, Belgique)
- CEN-SCK** Centre d'étude de l'énergie nucléaire (Mol, Belgique)
- CILVA** Centrale Infrastructuur voor Laagactief Vast Afval
(infrastructure pour le traitement et le conditionnement des déchets solides et liquides de faible activité, située sur le site de Belgoprocess)
- CIPR** Commission internationale de protection radiologique (New-York, Etats-Unis)
- COGEMA** Compagnie générale des matières nucléaires
(société française qui exploite à La Hague une usine de retraitement des combustibles usés)
- EPRI** Electricity Power Research Institute (Palo Alto, Californie, Etats-Unis)
- FBFC International** Franco-belge de fabrication de combustibles International (Dessel, Belgique)
- FUL** Fondation universitaire luxembourgeoise (Luxembourg, Belgique)
- HADES** High-Activity Disposal Experimental Site
(laboratoire souterrain du CEN-SCK situé dans l'Argile de Boom)
- IMMR** Institut des matériaux et mesures de références (Geel, Belgique)
- IRE** Institut national des radioéléments (Fleurus, Belgique)
- NRC** US Nuclear Regulatory Commission (Washington DC, Etats-Unis)
- OCDE** Organisation de coopération et de développement économique (Paris, France)
- ONDRAF** Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies
(Bruxelles, Belgique)
- PAMELA** Pilotanlage Mol zur Erzeugung Lagerfähiger Abfälle (installation pilote de production de colis de déchets stockables, située sur le site de Belgoprocess)
- PRACLAY** Preliminary Demonstration Test for Clay Disposal (test préliminaire de démonstration en vue du dépôt final dans l'argile des déchets de haute activité)
- SAFIR** Safety Assessment and Feasibility Interim Report (Le rapport SAFIR 1 établit le bilan des travaux menés de 1974 à 1988 dans le domaine du dépôt final dans l'argile de Boom.)
- UIA** Universitaire Instelling Antwerpen (Antwerpen, Belgique)
- VITO** Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (Mol, Belgique)

Annexe 5 : Glossaire

Le secteur nucléaire utilise de nombreux mots du vocabulaire courant dans un sens spécifique. Le glossaire qui suit, nullement exhaustif, explique les principaux termes utilisés dans ce dossier, sans toutefois prétendre en donner des définitions scientifiques complètes.

Activation Transformation d'une substance stable en substance radioactive par exposition à un rayonnement ionisant ou par bombardement par un flux de particules.

activité Pour une quantité donnée de substance radioactive, nombre de désintégrations (transitions radioactives spontanées) par unité de temps. L'unité d'activité est le becquerel (Bq), équivalent à une désintégration par seconde.

argile Roche sédimentaire molle ou légèrement durcie formée essentiellement de particules de taille inférieure à deux microns, principalement des silicates d'aluminium hydratés (minéraux argileux) résultant de la désintégration de roches anciennes et déposés sur les fonds marins. L'argile a une bonne capacité à retarder ou empêcher la migration des radioéléments ainsi qu'une faible perméabilité à l'eau. Par ailleurs, c'est un matériau très plastique, doté d'une bonne capacité de cicatrisation : les vides accidentels (cavités, fractures) qui s'y créent tendent à se refermer spontanément.

Barrière Environnement naturel ou construction artificielle qui fait obstacle à la migration de l'eau vers les déchets radioactifs enfouis et à la migration des radioéléments de ces déchets vers l'environnement.

becquerel Unité d'activité (Bq), équivalente à une désintégration par seconde.

biosphère Partie de la terre où vivent et se développent les organismes vivants. Pour les évaluations de sûreté, la biosphère est l'endroit où l'homme peut être exposé aux substances radioactives qui peuvent s'échapper d'une installation de dépôt.

blindage Ensemble des mesures et moyens destinés à protéger l'homme et l'environnement contre les effets nuisibles des rayonnements ionisants.

Colis de déchets Ensemble constitué par les déchets radioactifs, qu'ils soient ou non conditionnés, et l'emballage qui les contient. Ainsi, cet emballage est un fût en acier pour les déchets de faible et moyenne activité et un conteneur en acier inoxydable pour les déchets de haute activité.

combustible neuf Matières fissiles ou plutonifères contenues dans une structure permettant leur utilisation dans un réacteur nucléaire, avant leur chargement en réacteur.

combustible nucléaire Matière fissile et fertile (uranium naturel, uranium enrichi, plutonium, etc.) qui, placée dans un réacteur nucléaire, produit de l'énergie par le biais d'une réaction en chaîne contrôlée.

combustible usé Matières fissiles ou plutonifères contenues dans une structure permettant leur utilisation dans un réacteur nucléaire, après leur déchargement définitif du réacteur.

conditionnement Ensemble des opérations postérieures au traitement des déchets qui permettent, moyennant l'utilisation d'une matrice de conditionnement, d'obtenir un matériau solide, compact, chimiquement stable et non-dispersable, et donc de transporter les déchets radioactifs et de les entreposer temporairement, en attente de leur mise en dépôt final. Le conditionnement comprend généralement l'immobilisation par enrobage ou par blocage dans une matrice et la mise dans un emballage. L'enrobage est appliqué aux déchets homogènes tels que des boues, des résines et des concentrats ; il consiste à envelopper chaque particule du déchet dans la matrice de conditionnement. Le blocage s'applique aux déchets hétérogènes ; il consiste à injecter une matrice dans les vides existant entre les éléments des déchets de façon à constituer un monolithe.

confinement Ensemble des mesures et moyens destinés à protéger l'homme et l'environnement contre la dispersion des radioéléments dans l'environnement.

contamination radioactive Présence de substances radioactives au sein (contamination interne) ou à la surface (contamination surfacique) d'un matériau ou en tout lieu où cette présence est inopportune ou susceptible de provoquer des effets néfastes.

contrôle institutionnel Contrôle, par une autorité ou une institution compétente, d'un site abritant des déchets radioactifs. Ce contrôle peut être actif (surveillance, entretien) ou passif (contrôle de l'utilisation du site).

Déchets alpha Déchets produits lors de la fabrication et du retraitement du combustible nucléaire. De longue durée de vie, les déchets alpha doivent être stockés comme les déchets de haute activité.

déchet radioactif Toute matière pour laquelle aucune utilisation n'est prévue et qui contient des radioéléments en concentration supérieure aux valeurs que les autorités

compétentes considèrent comme admissibles dans des matériaux propres à une utilisation ou à un rejet sans contrôle.

déclassement Ensemble des opérations administratives et techniques qui permettent de retirer une installation nucléaire 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 englobent entre autres la décontamination, le démantèlement et la gestion des déchets radioactifs. Le déclassement ne vise pas à démolir les bâtiments, mais à les libérer des obligations et contrôles liés à la classe à laquelle ils appartiennent.

décontamination Ensemble des opérations permettant l'élimination ou la réduction de la contamination par des procédés généralement mécaniques, chimiques ou électrochimiques. Au contraire du démantèlement, la décontamination ne modifie pas les équipements et les infrastructures. Une première décontamination avant démantèlement vise à réduire la dose radiologique aux opérateurs lors du démantèlement. Une seconde décontamination après démantèlement vise par contre à « libérer », c'est-à-dire à banaliser, les matériaux et les déchets.

décroissance radioactive Décroissance de la radioactivité avec le temps par l'émission de radiations, qui résulte de la transformation d'éléments radioactifs en éléments stables.

démantèlement Ensemble des opérations utilisant des techniques de démontage, de découpe et de démolition pour enlever les matériaux et structures contaminés ou activés. Selon les doses radiologiques, le démantèlement se fait par accès direct, au moyen d'un blindage local ou à distance.

dépôt final (mise en) Ensemble des opérations visant à isoler les déchets radioactifs

de l'environnement, sans intention a priori de les récupérer.

dose absorbée Quantité d'énergie de rayonnement déposée par unité de masse. L'unité de dose absorbée est le gray (Gy). Par abus de langage, le terme « dose » est souvent utilisé à la place de « dose équivalente », qui est le produit de la dose absorbée par un facteur de pondération caractéristique de la nature du rayonnement et exprimant son impact biologique sur le tissu. L'unité de dose équivalente est le sievert (Sv).

durée de vie Temps après lequel la valeur initiale de l'activité d'un radioélément est réduite de moitié par décroissance. Les déchets ayant une durée de vie de trente ans ou moins sont considérés comme déchets de courte durée de vie. Cette durée est propre à chaque radioélément. (On parle aussi de période de demi-vie ou de demi-vie.)

Effluent radioactif Liquide ou gaz sortant d'une installation et contenant des substances radioactives.

entreposage de longue durée Entreposage provisoire prévu pour une durée d'au moins cent ans. Envisagé comme solution au problème de la mise en sûreté des déchets de faible activité et de courte durée de vie, l'entreposage de longue durée n'est toutefois pas une solution définitive.

entreposage provisoire Stockage temporaire en surface des déchets radioactifs conditionnés avant leur mise en dépôt final. L'entreposage provisoire permet notamment aux déchets de haute activité de refroidir.

évacuation Terme parfois utilisé pour signifier « dépôt final ». En Belgique, l'expression « dépôt final » est préférée au terme « évacuation ».

évaluation de sûreté Examen circonstancié des conséquences et des risques associés à une pratique envisagée. Cette évaluation inclut une comparaison des résultats obtenus

avec une série de critères et de limites acceptés au plan national ou international.

Géomécanique Etude des propriétés mécaniques du sol.

géophysique Etude des propriétés physiques du globe terrestre ou étude de la terre au moyen de méthodes physiques.

géotechnique Partie de la géologie qui étudie les propriétés des sols et des roches en fonction des projets de construction d'ouvrages de génie civil ou de génie minier.

Hydrogéologie Partie de la géologie qui traite de la recherche portant sur les écoulements et le captage des eaux souterraines.

hydrologie Etude des eaux et de leurs propriétés.

Immobilisation (voir conditionnement)

installation nucléaire Tout site, équipement, usine ou centrale mettant en œuvre des matières radioactives. Les installations nucléaires sont classées selon les termes de l'arrêté royal du 28 février 1963 et de ses amendements.

irradiation Exposition externe ou interne aux rayonnements émis par une source radioactive.

isotopes Noyaux du même élément chimique contenant le même nombre de protons et différant par le nombre de neutrons. Les isotopes d'un même élément possèdent des propriétés chimiques identiques mais des propriétés physiques légèrement différentes.

Matières excédentaires Matières fissiles enrichies, matières plutonifères ou combustible neuf ou usé pour lesquels aucune utilisation ou transformation ulté-

rieure n'est prévue par le producteur ou l'exploitant.

matrice Substance utilisée lors du conditionnement pour immobiliser les déchets radioactifs dans une structure monolithique (verre, béton, bitume, etc.).

multibarrière Caractéristique du principe de confinement des déchets radioactifs, qui recourt à plusieurs obstacles successifs et redondants (naturels ou artificiels).

Passif nucléaire Ensemble des déchets radioactifs, des équipements hors-service, des matières fissiles et des installations nucléaires désaffectées pour la gestion à long terme desquels aucunes provisions n'ont été prévues. Le financement de l'assainissement du passif nucléaire des sites concernés fait l'objet de conventions avec l'Etat belge et les producteurs d'électricité.

période radioactive Un autre nom de la durée de vie.

Radioactivité Phénomène physique caractérisé par la désintégration, c'est-à-dire la réorganisation, de noyaux instables. Cette désintégration est accompagnée de l'émission de rayonnement ionisant. A la suite d'une ou de plusieurs désintégrations, le noyau instable se transforme en un noyau stable, non-radioactif.

radioélément Élément dont le noyau est radioactif.

rayonnement ionisant Rayonnement fortement énergétique qui, lorsqu'il traverse la matière, peut éjecter un électron du nuage électronique d'un atome. Cet atome devient donc chargé électriquement : c'est un ion.

retraitement Traitement du combustible nucléaire après son utilisation dans un réacteur en vue de récupérer les matières fissiles ou fertiles et de les séparer des produits de fission.

réversibilité Caractéristique d'un dépôt final qui permet la récupération des déchets enfouis, avant la fermeture du dépôt, voire même après.

robustesse Caractéristique d'une fonction ou d'un dépôt dont la sûreté n'est pas influencée de façon significative par des facteurs incertains.

Sievert Unité d'équivalent de dose (Sv), permettant de comparer les effets biologiques des rayonnements ionisants.

sûreté Résultat des mesures techniques et organisationnelles prises afin d'assurer que le fonctionnement d'une installation n'engendre aucun risque inacceptable pour l'homme et l'environnement.

Terme (long) Terme utilisé dans le contexte de la mise en dépôt final pour désigner des durées qui excèdent celle du contrôle institutionnel actif.

traitement Ensemble des opérations techniques visant à mettre les déchets radioactifs bruts, qu'ils soient solides ou liquides, dans un état physique et chimique compatible avec les paramètres du procédé de conditionnement et à en réduire le volume.

Vitrification Procédé par lequel les solutions de produits de fission résultant du retraitement des combustibles nucléaires usés sont immobilisées dans du verre. Ces solutions sont fondues à très haute température avec du verre pour obtenir un produit solide homogène dans la structure duquel sont incorporés les déchets.

Annexe 6 : Index

- accessibilité, limitation de l'**, 41, 42, 43
activité, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 17, 40, 41.
Voir aussi radioactivité
 AEN, 5, 26
 AFCN, 5, 23, 33
 AIEA, 5, 26, 39
 ALARA, 10, 40
alternatives, 8, 28, 29
Argile
 de Boom, 18, 26, 47, 48, 53, 58
 d'Ypres, 18, 53
arrêté royal
 du 30 mars 1981, 3
 du 16 octobre 1991, 3
assainissement, 4, 21
- Baronville**, 30
barrière, iii, 14, 16, 17, 18, 28, 38, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 55
 BCMN, 1
Beauraing, 30, 31, 48
Belgom, 4, 30
Belgonucléaire, 6, 48
Belgoprocess, 4, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 48
bibliographiques, études, ii, 37, 48, 49, 50, 51, 53
Boom, Argile de, 18, 26, 47, 48, 53, 58
- catégorie A**, i, ii, iii, iv, 8, 9, 15, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 36, 39, 40, 42, 44, 46, 47, 48, 54, 58, 64, 65, 68
catégorie B, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 21, 28, 47, 48, 53, 58
catégorie C, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 28, 47, 48, 53, 58, 62
catégories de déchets, 6, 7, 8, 9, 15, 20, 21
 CEN-SCK, 1, 4, 6, 12, 18, 19, 20, 44, 48
 CILVA, 14
 CIPR, 5, 39
 COGEMA, 6, 14, 21, 22
combustible usé, 3, 6, 8, 14, 15, 21, 22
Commission européenne, 4, 26
compétences de l'ONDRAF, 3
- concentration et confinement**, 4, 16, 38, 41, 42
concepts, ii, iii, 16, 17, 18, 19, 23, 27, 36, 45, 47, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 64, 65
conditionnement, 3, 10, 11, 12, 13, 14, 17
confinement, *voir* concentration
Conseil des ministres, décision du, i, ii, 17, 18, 23, 29, 30, 31, 32, 48, 58, 64
contrôlabilité, 23
contrôle institutionnel, 18, 40, 43, 47, 57, 66, 67
Convention de Londres, 26
corrosion, 14, 19, 47, 58
coût, 4, 13, 23, 26, 28, 34, 36, 58, 64, 65, 66, 67
critères de sûreté, ii, 17, 46, 49, 50, 51, 53, 55
- déchets**
 catégories de, 6, 7, 8, 9, 15, 20, 21, 22
 sources de, 6
décision du Conseil des ministres, i, ii, 17, 18, 23, 29, 30, 31, 32, 48, 58, 64
déclassement, 3, 6, 8, 15, 20, 21
démantèlement, 6, 15, 20
démonstration de sûreté, 38, 43, 44
dépôt final, i, ii, iii, iv, 3, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 20, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 51, 54, 55, 62, 64, 65, 66, 67, 68
 en profondeur, i, ii, iii, 16, 17, 18, 19, 23, 26, 27, 29, 30, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 62, 64, 66, 67, 68
 en surface, i, ii, iii, 16, 17, 18, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 64, 66, 67, 68
Dessel, *voir* Mol-Dessel-Geel
dilution, 41, 42
dispersion, 17, 41, 42, 58
Doel, i, ii, 1, 6, 10, 23, 29, 48, 51, 52, 53
drainage, système de, 47, 56, 57

durée de vie, 6, 7, 8, 9, 17

El Cabril, 27

entreposage, 12, 13
 de longue durée, 16, 28, 29, 30
 provisoire, 3, 4, 10, 11, 15, 16, 28, 67
 environnement, i, iii, 1, 2, 4, 7, 9, 13, 16,
 17, 23, 31, 35, 37, 38, 42, 48, 49, 56,
 58, 62, 63

EPRI, 66

Eurochemic, 1, 6

évacuation, *voir* dépôt final

excédentaires, matières, 3

FBFC International, 6, 48

fissiles enrichies, matières, 3

Fleurus-Farciennes, i, ii, 23, 29, 48, 51, 52

flexibilité, iv, 38, 45, 68

fonctions de sûreté, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 55

FUL, 24, 31, 32, 33

fût standard, 14, 54, 55, 56, 58, 60

**galeries souterraines, iii, 19, 53, 54, 58,
 59, 60**

Geel, *voir* Mol-Dessel-Geel

HADES, 19

historique (catégorie A), 26

IMMR, 6, 48

inventaire, 3, 11, 12, 19, 46

IRE, 1, 11, 12, 48, 49

limitation de l'accessibilité, 41, 42, 43

loi

du 8 août 1980, 3

du 12 décembre 1997, 3

matières

excédentaires, 3

fissiles enrichies, 3

plutonifères, 3

militaires, sites, 30

missions de l'ONDRAF, i, ii, 3, 4, 5, 17, 19,
 23, 24, 29, 31, 32, 58, 68

modules de dépôt, 18, 41, 55, 56, 57

Mol-Dessel-Geel, i, ii, 1, 23, 29, 48, 51,
 52, 53

monolithes, 17, 18, 19, 41, 54, 55, 56, 57,
 58, 59, 60

non-retraitement, voir retraitement

NRC, 26

OCDE, 5

PAMELA, 14

partenariats, ii, iii, iv, 23, 24, 31, 32, 33,
 34, 35, 36, 37, 39, 43, 49, 54, 56, 58,
 60, 62, 65, 68

passifs nucléaires, 4, 21

plutonifères, matières, 3

post-conditionnement, iii, 17, 18, 19, 54,
 56, 58, 60, 61

PRACLAY, 19

précaution, principe de, 10, 45

programme de travail, i, ii, iv, 24, 29, 31,
 32, 36, 43, 46, 47, 48, 62, 64, 65

progressivité, iii, iv, 16, 23, 38, 45, 68

**radioactivité, i, 2, 5, 7, 13, 16, 17, 18, 39,
 40, 41**

radioprotection, 10, 12, 13, 40, 44, 57, 61

reconnaitances de terrain, i, ii, iii, 30, 31,
 32, 36, 37, 48, 51, 52, 53

rejet en mer, 26

relâchement, 41, 42

remblayage, 19, 56, 60

retraitement, 1, 6, 8, 13, 14, 15, 19, 21

réversibilité, iv, 16, 23, 38, 45, 55, 68

robustesse, 18, 41, 42, 44, 45, 47

SAFIR, 18, 53

scénarios de référence, 66, 67

SCK-CEN, *voir* CEN-SCK

sites

militaires, 30

sélection de, 28, 29

Soulaines, 27

sûreté, ii, iii, iv, 4, 12, 16, 18, 23, 24, 26,
 28, 30, 31, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 41,
 43, 44, 45, 46, 47, 50, 62, 68

critères de, ii, 17, 46, 49, 50, 51, 53, 55

démonstration de, 38, 43, 44, 46

fonctions de, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 55

Synatom, 6

Tihange, i, ii, 1, 6, 10, 23, 29, 48, 51, 52

Tractebel Development, 49

traitement, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 14

transport, 3, 4, 11, 12, 36, 55

travail, programme de, i, ii, iv, 24, 29, 31,
32, 36, 43, 46, 47, 48, 62, 64, 65
tutelle, 5, 27, 30

UIA, 24, 31, 32, 33

VRTO, 48
vitrification, 14

Widnell Europe, 64, 65

Ypres, Argile d', 18, 53

Personne de contact

Pour tout renseignement complémentaire,
contacter Evelyn Hooft, porte-parole de presse de l'ONDRAF,
au (02) 212 10 33 ou au (075) 60 25 04,
ou par fax au (02) 212 10 40,
ou encore par e-mail à l'adresse e.hooft@nirond.be.

ONDRAF

**Organisme national des déchets radioactifs
et des matières fissiles enrichies**

Avenue des Arts 14

1210 Bruxelles

tél. +32 2 212 10 11

fax +32 2 218 51 65

info@nirond.be