

Evacuation des déchets radioactifs: expérience et enjeux dans le monde

Grâce à l'expérience acquise dans l'évacuation des déchets radioactifs de faible et moyenne activité, les pays s'attaquent désormais à de nouveaux enjeux

Depuis que des déchets radioactifs ont été évacués pour la première fois à Oak Ridge, au Tennessee, en 1944, une expérience considérable a été acquise dans ce domaine. Le premier site d'évacuation — conçu pour accueillir «du verre brisé ou des matériaux qui étaient trop contaminés pour servir à d'autres travaux» — était constitué d'une simple tranchée remplie de déchets non conditionnés et située sur le site même d'Oak Ridge. D'autres installations nucléaires et producteurs de déchets aux Etats-Unis et ailleurs ont adopté des méthodes similaires au cours des premiers stades du développement de l'énergie nucléaire.

Aujourd'hui, les sites d'évacuation des déchets de faible et moyenne activité (DFMA) dans le monde vont des installations à faible profondeur aux dépôts artificiels dans les formations géologiques. Plus de 100 installations à faible profondeur sont ou ont été exploitées, et plus de 42 dépôts en sont à un stade quelconque de développement dans les Etats Membres de l'AIEA (voir tableau, pages 38 et 39).

En marge de ces progrès, nombre de questions et d'enjeux ont surgi dans les pays qui continuent à explorer les options offertes pour l'évacuation des déchets radioactifs. Au niveau mondial, l'AIEA s'efforce de soutenir ces initiatives en favorisant le transfert des techniques, surtout vers les pays en développement. Ces activités comprennent la collecte, la synthèse et la dissémination de données techniques à jour, ainsi que l'octroi d'un appui pour des programmes de recherche coordonnée sur des aspects techniques particuliers. Dans ce contexte, le présent article donne un aperçu de l'expérience internationale en ce qui concerne les systèmes d'évacuation terrestres des DFMA et traite des questions et enjeux nouveaux auxquels les pays doivent faire face à cet égard.

Pratiques et tendances

Choix des sites. Le choix du site d'une installation d'évacuation de déchets radioactifs consiste à déterminer un emplacement approprié, compte tenu de considérations techniques et autres. La liste des facteurs techniques est fort longue: géologie, hydrogéologie, géochimie, tectonique et sismicité, processus de surface, météorologie, agressions dues aux activités humaines, transport de déchets, utilisation des sols, répartition de la population, protection de l'environnement. Un autre facteur clé à l'heure actuelle est l'acceptation par le public, surtout dans les pays industrialisés où l'attitude «pas de ça chez moi» peut entraver le choix du site de tous les types d'installations de déchets industriels sans exception, y compris les sites pour les déchets radioactifs. Devant cette situation, les planificateurs ont dû prêter plus d'attention aux préoccupations sociétales au cours des premiers stades du processus de sélection. Dans certains cas, on a construit des dépôts sur le site même d'installations nucléaires existantes, notamment à Drigg (Royaume-Uni), au Centre de la Manche (France), à Rokkasho (Japon) et à Olkiluoto (Finlande). Certains pays ont aussi envisagé l'idée de créer des dépôts régionaux-multinationaux (dont il sera question plus loin). Toutefois, des facteurs politiques et les préoccupations du public ont empêché la création de tout dépôt de ce type dans le monde jusqu'à maintenant.

A l'heure actuelle, le site d'au moins 17 nouvelles installations dans le monde a déjà été choisi pour accueillir des DFMA, et certaines de ces installations sont déjà autorisées ou en construction, tandis que plus de 25 sites font l'objet d'études dans 17 pays. C'est le cas notamment de la Chine qui compte créer quatre dépôts de DFMA et qui a déjà déterminé deux sites d'évacuation dans le nord-ouest et le sud du pays, dont le premier se trouve dans une région aride peu peuplée du désert de Gobi. Aux Etats-Unis, aucun nouveau dépôt commercial de déchets de faible activité n'a été construit depuis l'adoption de la Loi sur la politique concernant les déchets radioactifs de faible activité,

par Kyong Won Han, Jorma Heinonen et Arnold Bonne

M. Bonne est chef de la Section de la technologie des déchets de la Division de l'énergie nucléaire et du cycle du combustible de l'AIEA, tandis que MM. Heinonen et Han sont membres de cette division.

en 1980. Dans huit Etats des Etats-Unis, le processus de sélection de sites en est à un stade plus ou moins avancé. Quatre sites ont déjà été choisis au Nebraska (*Central Interstate Compact*), en Caroline du Nord (*Southeast Compact*), en Californie (*Southwest Compact*) et au Texas (en attendant le *Texas Compact*) et en sont maintenant au stade de l'autorisation.

Pour répondre aux préoccupations du public, les pays prennent plusieurs types de mesures. En Australie, une consultation étendue du public caractérise le processus de choix du site d'un dépôt artificiel de DFMA. Au Canada, où l'opposition de la population a retardé le choix du site d'une installation d'évacuation de déchets résultant du raffinage du radium et de l'uranium, les autorités ont interrompu le premier processus de sélection et établi un programme de coopération en cinq étapes qu'applique un groupe de travail indépendant pour le choix du site. Le groupe de travail coopère étroitement avec les conseils municipaux des localités participantes et avec les groupes de liaison spécialement institués pour communiquer avec la population en général. En Hongrie, où deux tentatives avaient échoué, la Commission hongroise de l'énergie atomique a lancé un nouveau projet national de choix de sites pour l'évacuation des DFMA en 1992. Par une méthode de gré à gré, elle a trouvé des collectivités qui ont répondu à son appel et a pu ainsi sélectionner six sites qui feront l'objet d'études approfondies auxquelles participeront les collectivités concernées. Aux Etats-Unis, des stratégies similaires ont été mises sur pied. Au Connecticut, par exemple, où la population s'était d'abord montrée réticente, le processus a été modifié pour permettre une plus grande participation du public sur deux points — «le choix et le contrôle» — ce qui pourrait avoir une influence déterminante sur la manière dont le processus est perçu et accueilli.

Facteurs de la conception. Le type de dépôt qui sera choisi en fin de compte dépendra des conditions géologiques, des besoins particuliers en matière d'évacuation et des approches réglementaires de chaque pays. Tous ces facteurs sont liés à la conception de l'installation. En général, la conception vise à limiter le rejet de contaminants ou de radionucléides dans la biosphère et à réduire au minimum tant l'exposition des travailleurs et du public que la maintenance après la fermeture. Ces objectifs peuvent être atteints grâce à des moyens techniques comme l'emballage des déchets, les structures artificielles, le site lui-même ou à une combinaison de deux ou plusieurs de ces moyens.

Certaines tendances discernables en matière de conception sont liées aux progrès techniques en matière d'évacuation des déchets et aux préoccupations du public concernant la sûreté. Une tendance générale consiste à s'en remettre surtout à un système de barrières artificielles multiples pour confiner les déchets. Ce genre de système fait appel à des

voûtes bétonnées, des matériaux de remblayage, des barrières chimiques, des dispositifs de dégazage et de drainage, et des zones tampons.

Plusieurs types différents d'installations pour les DFMA ont été mis au point dans le monde. Environ 62 % des dépôts de DFMA sont des installations artificielles peu profondes situées à moins d'une dizaine de mètres de la surface du sol, 18 %, des installations peu profondes simplifiées, 7 %, des cavités excavées, et 4 %, des dépôts dans des formations géologiques. Le type d'installation retenu et conçu en fin de compte dépend autant des caractéristiques des déchets eux-mêmes et du site que des stratégies nationales et des facteurs socio-économiques. Voici un bref aperçu des divers concepts d'installations:

Installations simples peu profondes. Ce type d'installations se retrouve notamment à Barnwell (Etats-Unis) et à Vaalputs (Afrique du Sud) où le site est caractérisé par une couche d'argile peu perméable et/ou un faible taux de précipitations. A Barnwell, le système d'évacuation comprend des tranchées dont le plancher est légèrement incliné et recouvert d'une couche de sable qui facilite la collecte des infiltrations d'eau dans un drain aboutissant à un puits surveillé. Les déchets, emballés dans des boîtes, fûts et châteaux de transport, sont empilés dans les tranchées. Les déchets de plus haute activité sont soit conditionnés dans du béton, du bitume ou tout autre matériau peu sensible à la lixiviation, soit placés dans des conteneurs de grande étanchéité pour en assurer la stabilité structurale. L'espace vide entre les conteneurs de déchets est rempli de terre sèche avant que la tranchée ne soit recouverte d'argile et de terre. A Vaalputs, de longues et larges tranchées de près de 8 m de profondeur sont couvertes de plusieurs couches d'argile compactée et de sable indigène, et mises en végétation.

Installations d'évacuation artificielles peu profondes. Des exemples de ce type d'installation existent notamment à Drigg où le concept de la tranchée unique a été abandonné en faveur de voûtes artificielles. L'installation est conçue pour accueillir des conteneurs de colis de déchets de faible activité fortement compactés qui sont enfermés dans des suremballages d'acier et que des chariots élévateurs à fourche empilent ensuite dans des voûtes bétonnées. Ces voûtes, situées au niveau du sol ou en dessous, comprennent une base et des murs bétonnés, ainsi qu'une couche sous-jacente de drainage. Tout écoulement dans et sous la voûte peut être surveillé séparément et être acheminé vers un système de gestion des eaux du site avant d'être rejeté par une canalisation marine.

Des voûtes bétonnées disposées en alvéoles sont utilisées dans des sites comme les Centres de la Manche et de l'Aube (France), El Cabril (Espagne), Trombay (Inde) et Rokkasho (Japon). Chacune présente des caractéristiques de conception

uniques. Au Centre de la Manche, on insère d'abord les fûts de DFMA plus actifs à courte période dans des monolithes bétonnés, puis on place les fûts de déchets moins actifs par-dessus avant de recouvrir le tout. Le second dépôt français, le Centre de l'Aube, a su tirer profit de cette expérience en isolant tous les déchets dans des voûtes de béton renforcé (30 m de largeur sur 30 m de longueur sur 8,5 m de hauteur, avec des parois de 30 cm d'épaisseur). Ces voûtes sont construites au-dessus du niveau le plus élevé de la nappe phréatique et comportent d'autres caractéristiques techniques contre l'infiltration des eaux de pluie. Le système de télémanipulation des colis de déchets qui a été mis au point permet de réduire les radioexpositions. En se fondant sur l'expérience antérieure, on a instauré un système de gestion des dossiers fortement automatisé.

En Espagne, l'établissement d'El Cabril est construit selon un concept similaire d'évacuation et permet de récupérer les colis de déchets; il comprend également des installations de conditionnement et de caractérisation des déchets. En Inde, où sont exploités six dépôts de DFMA, on utilise des tranchées et des cylindres bétonnés pour différents types de déchets. A Trombay, les tranchées en béton renforcé sont rendues étanches et recouvertes d'une nouvelle couche de béton renforcé, et l'on emploie des matériaux hydrofuges pour empêcher l'infiltration des eaux de mousson. Des cylindres bétonnés d'environ 4 m de profondeur sont conçus pour accueillir des déchets dont l'activité dépasse les limites admissibles pour les tranchées en béton renforcé et pour l'entreposage/l'évacuation des déchets contaminés alpha.

Dans les pays de l'ex-Union soviétique, la plupart des installations d'évacuation de DFMA ont été construites dans les années 60 et 70, et ont accueilli des déchets contenant divers radionucléides. Des dépôts de types similaires ont été construits dans les pays d'Europe orientale. Selon les exigences de conception standard, il fallait qu'ils soient situés à au moins 4 m au-dessus de la nappe phréatique. Au dépôt de Sergiev Posad (Russie), les voûtes bétonnées ont été construites juste au-dessous du niveau du sol. Elles comprennent des doubles parois bétonnées séparées par des couches de bitume. Les colis de déchets sont placés dans des alvéoles individuels que l'on remplit d'un mortier composé de béton et de déchets liquides de faible activité. Dès qu'un alvéole est plein, les déchets sont recouverts d'une couche de béton et d'une plaque en béton renforcé, de deux couches de bitume et d'une calotte de terre argileuse.

A Rokkasho-mura (Japon), on utilise des puits bétonnés entre lesquels passe un réseau de drainage qui sert de barrière artificielle afin de remédier au fait que le dépôt est situé sous la nappe phréatique. Chaque puits peut accueillir environ 5 000 fûts.

Une fois pleins, les puits d'évacuation seront remblayés et recouverts d'au moins 4 m de terre.

Au Canada, les ingénieurs chargés de l'évacuation des déchets ont mis au point ce qu'il est convenu d'appeler une «structure souterraine anti-intrusion» (IRUS) constituée par un module bétonné muni d'un épais couvercle en béton et d'un fond perméable qui sera construit dans du sable au-dessus de la nappe phréatique. Le fond perméable est conçu de manière à éviter au maximum que l'eau entre en contact avec les déchets. Comme les déchets contiendront de faibles concentrations de radionucléides à très longue période, les ingénieurs ont prévu l'infiltration éventuelle de l'eau à mesure que le béton se dégradera à long terme et ont fait en sorte que toute infiltration d'eau soit canalisée vers le plancher formé de deux couches de sable, d'argile et de zéolithe naturelle mélangés pour y être évacuée. Les propriétés adsorbantes de ces couches limiteront le rejet de radionucléides avec les eaux de drainage.

Cavités excavées. Cette formule a été adoptée notamment en République tchèque, en Suède, en Finlande et en Norvège. En République tchèque, une partie de la cavité excavée Richard II, à 70–80 m sous terre, est utilisée comme dépôt pour les déchets radioactifs institutionnels (essentiellement à courte période). Actuellement, la mine est sèche et son milieu géologique est composé de calcaire marneux et de marnes. En Suède, le dépôt d'évacuation suédois [*Swedish Final Repository – SFR*] est construit dans des formations cristallines à environ 60 m sous la mer; on y accède par un souterrain à partir de la terre ferme. La disposition des salles dans la roche a été adaptée aux différents types de DFMA à courte période, à leur contenu radioactif, à leur composition et aux conditions à respecter pour les manipuler. Des cavernes bétonnées en forme de silos de 50 m de hauteur, munies d'un tampon d'argile bentonitique et d'un réseau de dégazage, abritent les colis de déchets contenant les niveaux d'activité les plus élevés. En Finlande, l'établissement d'Olkiluoto est similaire au SFR, mais ne comprend que deux silos creusés à une profondeur variant de 60 à 100 m dans le sol, l'un servant aux déchets de faible activité et l'autre aux déchets de moyenne activité qui produisent de la chaleur. Des morceaux de roche encaissante plus ou moins gros servent de remblayage, et les principales zones de fracture aquifères seront obturées par des bouchons en béton.

Dépôts dans des formations géologiques. Les sites de Morsleben et de Konrad (Allemagne), ainsi que le dépôt prévu par la NIREX (Royaume-Uni), sont des exemples de dépôts de DFMA situés dans des formations géologiques. Le site de Morsleben est une mine de sel stable très sèche à environ 500 m sous terre qui peut accueillir 40 000 m³ de déchets. Les déchets de moyenne activité sont évacués dans une grande cavité que l'on remblaie ensuite par couches successives pour assurer la protection,

les déchets de faible activité étant empilés dans des salles excavées. Le site de Konrad est une ancienne mine de fer exceptionnellement sèche, facile à creuser, stable, confinée par d'autres couches et recouverte d'une couche d'argile épaisse d'environ 400 m. Selon l'étude de sûreté, il faudrait 380 000 années pour que l'eau du dépôt atteigne la surface du sol. On prévoit de construire des tunnels d'évacuation horizontaux à une profondeur d'environ 800 m pour y déposer des déchets qui ne produisent pas de chaleur et d'utiliser deux puits et des tunnels pour y transporter les déchets.

Autorisation. En raison de différences dans les structures et les exigences juridiques et réglementaires, le processus d'autorisation varie selon les pays. En Allemagne, par exemple, la procédure d'autorisation couvre à la fois la construction, l'exploitation et la fermeture des dépôts, alors que dans d'autres pays elle comporte plusieurs étapes. En général, la demande d'autorisation se fonde sur des évaluations de la conception du dépôt et de la sûreté du site démontrant que l'installation proposée est conforme aux exigences réglementaires. Le processus d'autorisation comporte normalement des procédures juridiques et politiques complexes, des études techniques approfondies par l'organisme de réglementation et une interaction avec le public.

En Suisse, on a annoncé en juin 1993, après des investigations approfondies, que le site de Wellenberg, dans le canton de Nidwalden, convenait comme site d'évacuation de DFMA. La procédure suisse d'autorisation prévoit la délivrance de permis fédéraux, cantonaux et locaux d'abord pour la construction et, ensuite, pour l'exploitation des dépôts. De plus, il est nécessaire d'obtenir une concession minière spéciale du canton. Le Gouvernement fédéral a reçu la demande d'autorisation générale en juin 1994, mais sa décision est soumise à ratification par le Parlement fédéral. Entre-temps, la collectivité de Wolfenschiessen, près du site envisagé, et le conseil municipal de l'endroit ont voté en faveur du projet en 1994, mais la concession minière a été refusée de peu au niveau cantonal, en juin 1995.

En Allemagne, des études ont été menées de 1976 à 1982 à la mine Konrad, située en Basse-Saxe, pour déterminer si elle pouvait servir de dépôt de déchets radioactifs. A l'issue des études, une demande d'autorisation a été présentée en vue de la construction d'un dépôt. Bien que la demande ait franchi toutes les étapes au niveau fédéral, les autorités régionales n'ont pas encore pris de décision sur la question. Aux Etats-Unis, quatre Etats (Californie, Nebraska, Caroline du Nord et Texas) ont présenté des demandes d'autorisation à la fin de 1989, en juillet 1990, en décembre 1993 et en mars 1992, respectivement. Pour le moment, seule la Californie a obtenu, le 16 septembre 1993, une autorisation du Département des services de santé de Californie, qui a cependant imposé

comme condition que celui-ci soit propriétaire du terrain. Le Département s'est vu intimer l'ordre par la Cour supérieure de l'Etat de Californie, le 1er juin 1994, de réexaminer sa décision et a décidé de faire appel. Au Nebraska, US Ecology, à qui incombe le choix des sites, a présenté le 15 juin 1995 la huitième et dernière version du rapport de sûreté, ainsi que divers documents liés à la demande d'autorisation. En Caroline du Nord, pour des raisons politiques, la Division de la radioprotection du Département de l'environnement, de la santé et des ressources naturelles de l'Etat n'approuvera pas la demande avant février 2000.

Fermeture. Dès qu'une installation est pleine ou que les activités cessent pour d'autres raisons, le processus connu sous le nom «fermeture» et «post-fermeture» commence. Le processus de fermeture comprend des étapes ayant pour objet de maintenir l'installation dans un état sûr, notamment en couvrant ou en scellant les zones d'évacuation, en compilant des documents et en effectuant des évaluations de sûreté. Dans de nombreux pays, il est prévu que la surveillance réglementaire après la fermeture dure plusieurs centaines d'années. Elle pourrait comprendre des restrictions de l'accès, des activités de maintenance, des contrôles radiométriques, la tenue de dossiers et des mesures correctives, selon le cas.

En France, le Centre de la Manche a reçu ses derniers colis de déchets en juin 1994, et des mesures sont prises actuellement en vue de sa fermeture. L'Agence nationale française de gestion des déchets radioactifs (ANDRA), qui exploite l'installation, a demandé l'autorisation de passer à l'étape de la surveillance réglementaire. Après que l'autorisation aura été délivrée, le site demeurera sous la responsabilité de l'ANDRA. On s'attend que l'autorisation soit accordée en 1997, après une deuxième série d'audiences publiques qui donnera des indications pour les activités de contrôle institutionnelles, y compris la surveillance active et passive.

Problèmes et enjeux nouveaux

L'apparition d'un certain nombre de problèmes nouveaux n'a pas manqué d'attirer l'attention aux niveaux tant national que mondial. Ces problèmes sont notamment les suivants:

Matières radioactives naturelles. Le milieu terrestre contient certains radionucléides naturels, notamment le potassium 40 et le carbone 14, ainsi que des métaux lourds radioactifs appartenant à la famille radioactive de l'uranium et du thorium. Ils peuvent être contenus dans des résidus ou dans des déchets issus de toute activité liée à l'extraction de matières naturelles du sol ou à leur traitement (par exemple, exploitation minière ou production de pétrole et de gaz).

La combustion du charbon entraîne une concentration des radionucléides dans les cendres et donne lieu à d'importants rejets d'aérosols radioactifs. Le risque radiologique lié aux matières radioactives naturelles contenues dans des déchets est lié surtout au radium et à ses produits de filiation. Les doses de rayonnement correspondantes pourraient bien ne pas être négligeables, et il arrive souvent qu'elles soient supérieures aux normes fixées pour le contrôle des pratiques comportant l'emploi ou l'application des matières radioactives.

Ces préoccupations ont incité les responsables de la réglementation à se pencher sur les dangers liés à l'évacuation des déchets contenant des matières radioactives naturelles. Dans quelques pays, certains de ces déchets sont déjà gérés comme des déchets radioactifs, mais l'étendue des contrôles varie beaucoup. Une étude récente a montré que les concentrations de radionucléides dans les canalisations de traitement du pétrole et du gaz pouvaient approcher des niveaux au-dessus desquels l'évacuation des déchets radioactifs à faible profondeur serait jugée inacceptable. Dans certains pays, les sous-produits de la production et du traitement du pétrole et du gaz sont gérés comme des déchets radioactifs de faible activité, alors qu'ils ne sont pas du tout contrôlés ailleurs.

Déchets de très faible activité (DTFA).

Ils sont parfois produits en grandes quantités, mais ils présentent peu de risques. Ils posent un problème dans la mesure où il n'est ni pratique de les évacuer dans des dépôts de DFMA ni acceptable de les éliminer comme déchets industriels. A l'heure actuelle, ils ne font l'objet d'aucune définition unanime à travers le monde, et la résolution de ce problème est notamment subordonnée à la définition de critères réglementaires.

En Suède, plusieurs installations en forme de tumulus sont exploitées sur chaque site de centrale nucléaire pour évacuer les DTFA. Ce procédé d'évacuation ne peut s'appliquer qu'aux déchets qui doivent être soumis à un contrôle réglementaire pendant moins de 100 ans. En France, une grande partie des DTFA sont envoyés au Centre de l'Aube et le reste est conservé sur les sites. Les représentants de l'industrie française estiment qu'il existe au total environ 15 millions de tonnes de DTFA, et l'on redouble d'efforts afin de trouver une solution plus satisfaisante pour leur évacuation. L'étude récente d'un groupe de travail de l'industrie a examiné quatre types d'installations d'évacuation de DTFA, dont trois dans des tumulus et une sous terre. Tous ces concepts sont actuellement à l'étude par l'organisme de réglementation. Au Japon, l'Institut de recherches sur l'énergie atomique du Japon (JAERI) a lancé un programme pour démontrer la sûreté de l'évacuation des DTFA à faible profondeur. Le principal type de déchets à évacuer est composé de gravats de béton provenant de boucliers de réacteur et de structures contaminées du réacteur de puissance de démonstration du pays,

dans lesquels la concentration de radionucléides est inférieure de plusieurs ordres aux limites réglementaires. Depuis la délivrance de l'autorisation pour la construction de l'installation expérimentale, une fosse à ciel ouvert a été creusée sur le site du réacteur pour accueillir 1 700 tonnes de déchets de novembre 1995 à mars 1996, puis remblayée par une épaisse couche de terre qui a été mise en végétation; le site sera surveillé pendant une trentaine d'années.

Sources de rayonnements scellées (SRS) épuisées. Plus d'un demi-million de SRS sont couramment utilisées en médecine, dans la recherche, en agriculture et dans d'autres domaines. Une fois usées, elles doivent être gérées avec soin avant d'être évacuées en toute sûreté. Une expérience suffisante a été acquise en ce qui concerne toutes les étapes de la gestion de ces sources, sauf dans le cas des sources à longue période. Il demeure, cependant, que tous les pays ne disposent pas des ressources voulues pour appliquer les méthodes existantes.

A condition d'être située, construite et exploitée comme il convient, toute installation d'évacuation à faible profondeur peut servir à évacuer en toute sûreté la plupart des SRS, sauf celles qui contiennent de l'américium 241 et du radium 226 ou les grandes sources utilisées en téléthérapie ou dans les installations d'irradiation. Pour que des déchets puissent être placés dans tel ou tel dépôt, il faut qu'ils satisfassent à certains critères, notamment à la limite de concentration admissible pour les différents radionucléides ou groupes de radionucléides présents dans le colis de déchets et pour ce qui est de l'activité totale.

De nombreux pays ne produisent que peu de déchets radioactifs, y compris les SRS épuisées, qui ne dépassent jamais quelques mètres cubes par an. Il pourrait être avantageux pour eux d'établir des dépôts régionaux-multinationaux. D'autres pays qui ont déjà des dépôts font face à d'autres préoccupations à cause des SRS. En Russie, par exemple, les SRS à longue période épuisées (telles que les sources de radium) sont entreposées en attendant d'être évacuées dans des formations géologiques, tandis que d'autres sont évacuées dans des voûtes bétonnées ou dans des forages à faible profondeur. Dans le système des forages, mis au point à la fin des années 50 et au début des années 60 dans l'ex-Union soviétique, on laisse tomber les SRS épuisées dans un canal de chargement en spirale qui aboutit à une cuve en acier inoxydable placée à l'intérieur d'un forage bétonné à 5 m sous la surface du sol. Depuis 1986, pour des raisons de sécurité, l'espace entre les cuves est rempli d'une matrice en métal ou de matériaux composites en polymère selon le niveau d'activité et la période radioactive des SRS épuisées. Depuis 1995, on surveille les forages pour en évaluer la performance. Aux Etats-Unis, les SRS épuisées se répartissent en différentes catégories qui ne satisfont pas toutes aux conditions requises pour être évacuées

Pays	Dépôt (date d'ouverture ou de fermeture)	Type de dépôt	Pays	Dépôt (date d'ouverture ou de fermeture)	Type de dépôt
Ukraine (suite)	Centre de Odessa	IAPP	Déjà fermées		
	Centre de Kharkov	IAPP	Etats-Unis	Beatty, Nevada (1962-1992)	IAPP
	Centre de Donetsk	IAPP		Maxey Flats,	
Viet Nam	Dalat (1986-)	IAPP		Kentucky (1963-1978)	ISPP
Activités interrompues ou en cours de fermeture					
Allemagne	Asse (1967-1978)	DFG		ORNL SWSA 1 (1944-1944) ³	ISPP
Arménie	Erevan	IAPP		ORNL SWSA 2 (1944- 1946)	ISPP
Bulgarie	Novi Han (1964-1994)	IAPP		Sheffield, Illinois (1967-1978)	ISPP
Estonie	Tammiku		Hongrie	West Valley,	
	(ancienne Saku) (1964-1996)	IAPP	Japon	New York (1963-1975)	ISPP
France	Centre de la Manche (1969-1994)	IAPP	Lituanie	Solymer (1960-1976) ³	IAPP
			Mexique	JAERI, Tokai (1995-1996)	ISPP
Russie, Féd. de ²	Mourmansk	IAPP	Norvège	Maishogala (années 70-1989)	IAPP
	Groznyi (Tchéchénie)	IAPP	République tchèque	La Piedrera (1983-1984)	IAPP
Tadjikistan	Bechkek	IAPP		Kjeller (1970-1970) ⁴	IAPP
Ukraine	Centre de Kiev (-1992)	IAPP		Hostim (1953-1965)	CE

Notes

Abréviations: ISPP = installation simple peu profonde; CE = cavité excavée; IAPP = installation artificielle peu profonde; DFG = dépôt dans des formations géologiques; IS(A)PP = ISPP et IAPP.

¹Il existe 77 dépôts construits pour recevoir les déchets résultant de l'accident de Tchernobyl.

²L'exploitation des dépôts de la Fédération de Russie a commencé entre 1961 et 1967.

³Les déchets ont été transférés vers d'autres dépôts, soit de Solymer vers le RHFT Puspokszilagy et du ORNL SWSA-1 vers le ORNL SWSA-2, respectivement.

⁴Les déchets seront transférés vers le nouveau dépôt de Himdalen quand il sera construit.

Définitions

Déchets de faible et moyenne activité (DFMA). Selon l'AIEA, déchets radioactifs dans lesquels la concentration ou la quantité de radionucléides dépasse les niveaux de libération établis par les organismes de réglementation, mais dont la teneur en radionucléides et la puissance thermique sont inférieures à celles des déchets de haute activité (environ 2 kW/m³). Les DFMA sont souvent divisés en déchets à courte période et déchets à longue période. Ils résultent de l'exploitation des centrales nucléaires (500 m³/GWe par an) et d'autres installations du cycle du combustible (retraitement: 90 m³/GWe par an; extraction et concentration d'uranium: 60 000 m³/GWe par an), du déclassement de ces installations (5 000 à 10 000 m³/GWe par an dans le cas d'une centrale de 1 MW), ainsi que des applications des radio-isotopes. Ces déchets doivent être gérés convenablement, c'est-à-dire traités et conditionnés puis finalement évacués.

Evacuation. Mise en place des déchets dans une installation spécifique approuvée sans intention de les récupérer. Elle peut comprendre également le rejet direct approuvé d'effluents dans l'environnement et leur dispersion ultérieure (dont il n'est pas question dans le présent article). Là aussi, l'évacuation par confinement et isolement comprend l'évacuation terrestre, le rejet en mer (qui a été pratiqué par certains pays avant d'être interdit par la Convention de Londres) et d'autres procédés. (Le présent article est centré sur l'évacuation terrestre qui correspond à la pratique prédominante.) Dans ce contexte, l'objectif de l'évacuation est d'isoler suffisamment les déchets pour protéger les humains et l'environnement et ne pas imposer de contraintes indues aux générations futures, notamment en appliquant des mesures de protection multiples au système d'évacuation et en tenant compte des interdépendances entre les éléments du système (stratégie des systèmes). Les mesures de protection nécessitent plusieurs niveaux de protection et des barrières multiples pour isoler les déchets, limiter les rejets de matières radioactives et faire en sorte que les défaillances ou les combinaisons de défaillances qui pourraient avoir des conséquences radiologiques importantes aient une probabilité très faible.

Installation à faible profondeur. Installation nucléaire prévue pour l'évacuation des déchets et située à la surface du sol ou à quelques dizaines de mètres de profondeur. Ce type d'installation comprend des tranchées et des voûtes bétonnées.

Cavité excavée. Installation à faible profondeur construite à l'intérieur d'une mine ou d'une caverne.

Dépôt géologique. Installation nucléaire prévue pour l'évacuation des déchets et située sous terre (habituellement à plusieurs centaines de mètres de profondeur) dans une formation géologique stable afin d'isoler à long terme les radionucléides de la biosphère.

à faible profondeur. En conséquence, certaines options d'évacuation plus prudentes sont à l'étude, comme un dépôt dans des formations géologiques ou des forages profonds. Quelle que soit la technologie utilisée, la quantité de SRS épuisées pour ce type d'évacuation pourrait ne pas être suffisante pour justifier les coûts économiques et institutionnels d'une installation distincte.

Amélioration des installations d'évacuation existantes. Certains pays où existent déjà des systèmes d'évacuation sont en train d'améliorer l'exploitation de leurs installations d'évacuation ou de modifier leurs caractéristiques pour renforcer la protection qu'elles assurent ou pour se conformer à de nouvelles réglementations. Les modifications comprennent la récupération des déchets, l'immobilisation des déchets *in situ*, la décontamination *in situ*, et le confinement *in situ*, y compris la mise en place d'un bouchon, de parois étanches ou de barrières posées au fond. Dans un certain nombre de pays, notamment en Allemagne, en Inde, en Bulgarie et dans d'autres pays d'Europe orientale, des évaluations de sûreté ont été ou seront effectuées dans le cadre d'examen généraux de la performance des installations d'évacuation existantes.

A la suite d'une évaluation de sûreté au dépôt de Morsleben (Allemagne), on a formulé des exigences d'acceptabilité pour les déchets et des procédures d'assurance de la qualité. En Hongrie, le dépôt de Puspokszilagy qui accueillait à la fois des déchets non conditionnés et des déchets emballés s'est donné comme règle, à compter de 1997, de n'accepter que des déchets emballés dans des fûts d'acier de 200 litres. Au Royaume-Uni, le dépôt de Drigg a subi d'importantes améliorations à la fin des années 80. Les anciennes tranchées simples ont été laissées fermées et une nouvelle voûte bétonnée a été construite pour accueillir de nouveaux types de colis de déchets. Des parois étanches ont été installées pour limiter le débit d'eau à l'intérieur et à l'extérieur des tranchées d'évacuation existantes. En Norvège, conformément au plan de mesures correctives dans une ancienne installation d'évacuation à faible profondeur de déchets à longue période, on creuse pour récupérer tous les colis de déchets en vue de les entreposer dans une installation provisoire en surface, en attendant qu'une installation d'entreposage et d'évacuation soit construite dans une caverne rocheuse, à Himdalen.

Entreposage à long terme. Dans certains pays, cette option commence à susciter de l'intérêt. Elle permet de surseoir à l'évacuation définitive des déchets et de déployer de nouveaux efforts pour mieux faire accepter les activités d'évacuation au public. Il se peut que cette stratégie appelle un examen plus approfondi des aspects réglementaires et techniques de la question.

Au site prévu d'Himdalen en Norvège, on creusera des tunnels horizontaux pour l'évacuation des DFMA, et des tunnels distincts pour le stockage

des déchets contenant du plutonium pendant une période d'exploitation de 30 ans durant laquelle les déchets stockés ne seront pas récupérés. Lorsque le dépôt sera fermé, l'expérience acquise servira à déterminer si l'évacuation se fera sur le site ou non. La Suisse a adopté une stratégie similaire face aux préoccupations du public à propos de l'impossibilité de récupérer les déchets qui doivent être évacués dans le dépôt prévu de Wellenberg. Les autorités suisses s'interrogent actuellement sur la possibilité de laisser l'installation ouverte et de la surveiller pendant deux générations ou plus jusqu'à ce que la décision de fermer le dépôt soit prise.

Coûts d'évacuation. A mesure que les installations d'évacuation se sont perfectionnées, le coût de l'évacuation a augmenté sensiblement. Dans certains pays, on note une tendance générale à réduire au minimum la production de déchets radioactifs dans le cadre des efforts généraux d'abaissement des coûts. En outre, on recherche des solutions moins coûteuses pour évacuer les DTFA, comme il a été mentionné précédemment.

Un groupe de travail, formé récemment par l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques, a pour mandat de déterminer les composants des coûts, d'analyser les facteurs influant sur le coût de l'évacuation et d'examiner l'incidence de celui-ci sur le coût global de la production d'énergie électronucléaire.

Questions liées à l'acceptation par le public. Ainsi qu'il a été dit plus haut, le problème de l'acceptation par le public a grandement influencé le processus de gestion et d'évacuation des déchets radioactifs. Dans de nombreux pays, surtout ceux qui sont industrialisés, on s'efforce de plus en plus de surmonter les vives appréhensions du public. De meilleurs programmes de communication ont ainsi été mis sur pied pour améliorer les échanges avec les collectivités locales et le public en général, de même que s'est manifesté plus clairement un engagement ferme en faveur de l'excellence scientifique, de la protection de l'environnement et de la sûreté à long terme dans le choix des sites et l'exploitation des dépôts.

Dans certains pays, des avantages financiers ont été offerts aux collectivités qui accepteraient d'accueillir des installations d'évacuation de déchets sur leur territoire. Cette compensation ne doit cependant pas être considérée comme une prime de risque, et il est nécessaire de débattre et de résoudre les questions de sûreté avant d'aborder toute discussion sur la compensation. Les avantages financiers comprennent des versements d'argent, l'alimentation gratuite en électricité ou l'augmentation des offres d'emploi.

Dépôts régionaux-multinationaux. Certains pays s'intéressent à la solution du dépôt régional-multinational en vertu de laquelle un site établi dans un pays hôte accueillera des déchets provenant d'autres pays. Cette stratégie comporte

des avantages économiques, techniques et liés à la sûreté, spécialement pour les pays d'une même région. Une condition préalable est que les pays et les régions concernés s'entendent notamment sur le mouvement transfrontière des déchets radioactifs. L'AIEA a récemment évalué quelques-uns des principaux facteurs en jeu pour que les pays intéressés parviennent à un consensus sur les diverses questions que pose une telle stratégie régionale.

En principe, les questions fondamentales que pose un dépôt régional-multinational ne diffèrent guère de celles que soulèvent les projets nationaux. Il existe cependant des différences qualitatives quant aux caractéristiques des déchets acceptés, de la responsabilité des pays partenaires, de la répartition des responsabilités, de l'application des garanties requises, ainsi que de la propriété et du transfert des déchets.

Ces dépôts régionaux, qui seraient construits conformément aux meilleures pratiques internationales en matière de gestion des déchets, permettraient à certains pays de ne pas avoir à créer leurs propres installations nationales, ce qui réduirait d'autant le nombre total de dépôts à travers le monde. Qui plus est, ils offriraient une solution de rechange aux pays où les conditions ne sont pas propices à l'implantation d'installations d'évacuation. Néanmoins, ils risquent d'intensifier les activités de transport. Il pourrait aussi se révéler difficile d'établir un régime durable capable à la fois de survivre aux changements politiques ou institutionnels et d'assurer la collaboration à long terme entre tous les pays partenaires. L'une des tâches les plus complexes dans le cas d'une telle stratégie est de négocier des accords donnant à tous les pays partenaires l'assurance que toutes les obligations techniques, politiques et financières seront respectées.

que de très faibles niveaux de radioactivité. On prête une attention accrue aux questions liées à l'évacuation sûre des déchets contenant des matières radioactives naturelles, à la gestion et à l'évacuation des SRS épuisées, aux coûts d'évacuation, à l'acceptation par le public, à l'amélioration ou à l'assainissement des sites d'évacuation existants, au stockage sûr à long terme des déchets, ainsi qu'à la création éventuelle de dépôts régionaux-multinationaux.

D'une manière générale, la création de dépôts, pour ce qui est du choix des sites et de la délivrance d'autorisations, progresse lentement, en particulier dans les pays industrialisés. Les étapes en question comportent ordinairement des examens techniques détaillés par les organismes de réglementation, des audiences publiques, et des procédures réglementaires et juridiques complexes.

Dans les pays en développement, la situation est différente. La plupart de ces pays ne produisent pas beaucoup de déchets radioactifs, mais ont besoin d'assistance et de conseils techniques afin de mettre en place les infrastructures et les moyens voulus pour gérer et évacuer leurs déchets en toute sécurité. Par le biais de ses divers programmes techniques et de recherche, l'AIEA appuie des projets et des activités de collaboration dans ce domaine. A mesure que de nouvelles installations d'évacuation de déchets radioactifs entrent en service dans le monde, le transfert de techniques et de savoir-faire aux pays en développement continuera à revêtir une importance capitale pour les aider à se doter des capacités nécessaires dans ce domaine.

La coopération internationale

L'évacuation des DFMA est basée sur des techniques éprouvées et bien démontrées. Si les dépôts sont implantés, construits et exploités comme il convient — et si la teneur des déchets en radionucléides est contrôlée et limitée — il est possible d'assurer la sûreté pendant longtemps, en appliquant des mesures de protection multiples, y compris des barrières artificielles et naturelles, ainsi que des contrôles opérationnels et institutionnels.

Dans les Etats Membres de l'AIEA, on fait de plus en plus appel aux barrières artificielles multiples pour assurer la sûreté des installations et la protection de l'environnement et pour renforcer la confiance du public. Une grande importance est accordée à la sûreté et à la fiabilité des systèmes de télémanipulation, de confinement et d'enregistrement des colis de déchets. On recherche des solutions abordables pour évacuer en toute sécurité certaines catégories de déchets volumineux qui ne contiennent