

Gestion des déchets radioactifs: une perspective internationale

*Rapport sur les politiques et pratiques nationales
dans le contexte des travaux de recherche, de développement
et de démonstration menés actuellement dans le monde*

par Candace Y.
Chan

Au cours des trente-cinq dernières années, la question des déchets radioactifs a vivement préoccupé les scientifiques, les gouvernements et le grand public. Elle est devenue encore plus actuelle depuis peu, avec la prise de conscience croissante des problèmes d'environnement. Les risques d'effets transfrontières ont encore renforcé cet intérêt, qui dépasse largement aujourd'hui le niveau local pour prendre une dimension régionale et même mondiale.

Presque tous les Etats membres de l'AIEA produisent des déchets radioactifs, mais ceux-ci sont divers par leur nature et par leur quantité, qui va de quelques grammes à plusieurs centaines de tonnes par an.

Le présent article résume la situation des activités de gestion et d'évacuation des déchets radioactifs dans les Etats membres de l'AIEA, en indiquant brièvement leur nature, leur origine et les modalités de leur gestion.

Politiques et pratiques nationales

Déchets de faible et moyenne activité. La plupart des programmes nationaux s'emploient actuellement à limiter au minimum les déchets de cette catégorie. La hausse des coûts d'évacuation des déchets radioactifs, au cours des dix dernières années, a incité ceux qui les produisent à déployer des efforts substantiels, qui ont généralement porté leurs fruits, pour en réduire le volume au stade de la production et en aval (*tableaux pages 13 et 14*).

Evacuation des déchets de faible et moyenne activité. Plusieurs pays, depuis plus de 30 ans, évacuent des déchets de faible activité et certains déchets de moyenne activité. Ils continuent aujourd'hui de les stocker dans des installations souterraines, plus ou moins proches de la surface, mais font de

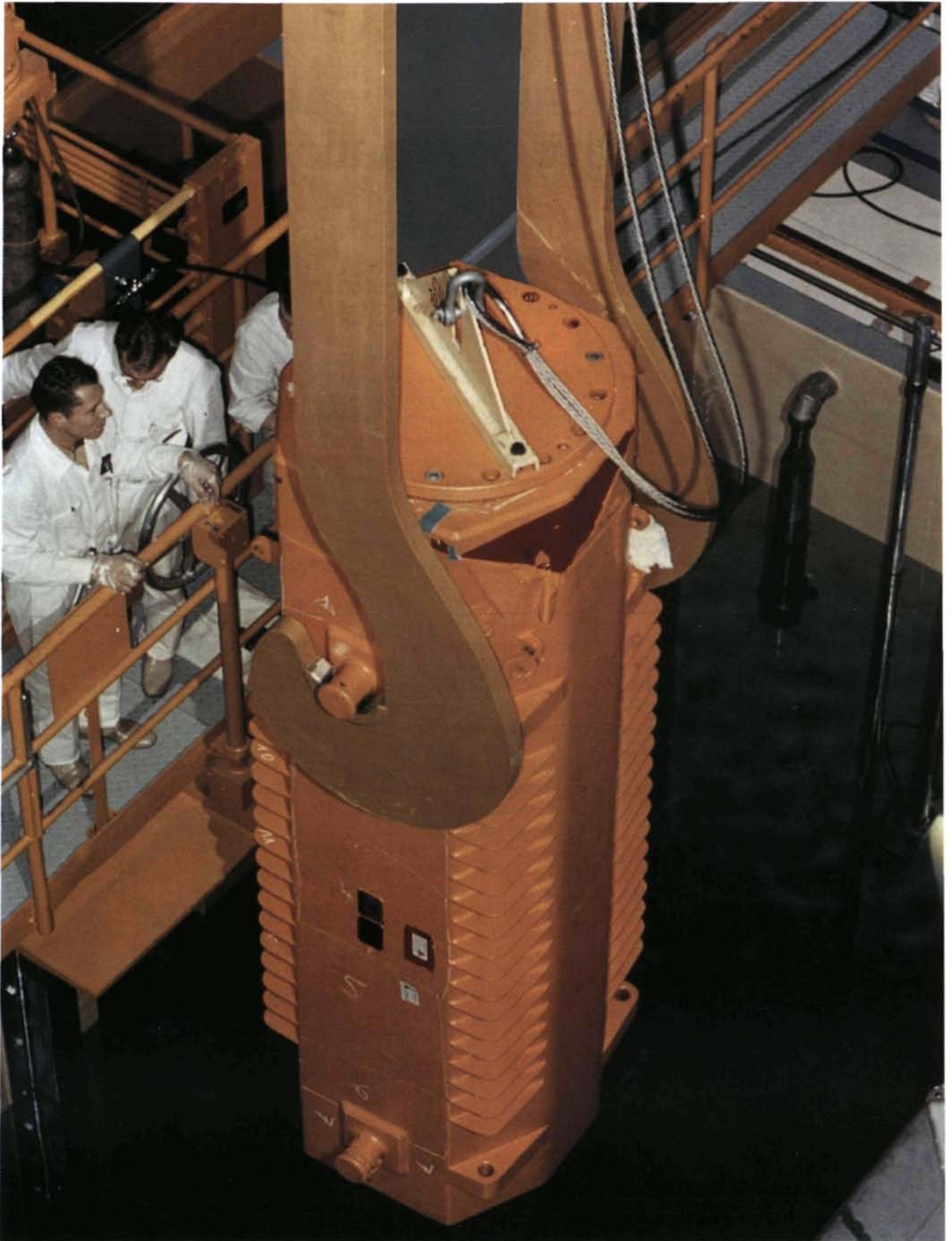
plus en plus appel à des barrières ouvragées pour les isoler. Certains pays, faute de sites appropriés à proximité de la surface, ou pour des considérations de politique nationale, enfouissent leurs déchets de faible et moyenne activité à de beaucoup plus grandes profondeurs. C'est le cas par exemple de la Suède, où le dépôt de stockage définitif de Forsmark, construit dans des grottes rocheuses situées à environ 60 mètres au-dessous du fond de la mer et accessible par la terre, est devenu opérationnel en 1988.

Ces deux dernières années, des permis de construire et/ou d'exploitation ont été délivrés pour plusieurs installations de stockage de déchets de faible activité: à la fin de 1991, le feu vert a été donné pour l'exploitation du Centre de l'Aube, en France, qui a reçu son premier lot de déchets au début de cette année. Le site d'El Cabril, en Espagne, et celui de Ward Valley, en Californie, entreront en service dès que les autorisations réglementaires nécessaires auront été délivrées et, en Finlande, le dépôt de stockage définitif VJL pour les déchets de réacteur, sur l'île d'Olkiluoto, a commencé à fonctionner cette année.

Déchets de haute activité et combustible irradié. A la fin du siècle, environ 200 000 tonnes de combustible oxyde irradié auront été déchargées des réacteurs nucléaires de puissance exploités dans le monde. Le choix entre l'évacuation directe et le retraitement de ce combustible dépend de plusieurs facteurs, notamment économiques et politiques, et de considérations de politique énergétique.

A l'heure actuelle, la solution prévue pour la majeure partie du combustible irradié est l'évacuation directe (*tableau page 12*). Le Canada, l'Espagne, les Etats-Unis, la Finlande et la Suède, en particulier, envisagent tous la formule du stockage, tandis que l'Argentine, la Belgique, la Chine, la France, l'Italie, le Royaume-Uni, la Russie et la Suisse donnent la préférence au retraitement. En Allemagne, seul le retraitement est officiellement approuvé, mais l'évacuation directe est une option envisagée.

M. Chan est membre de la Division du combustible nucléaire et de la gestion des déchets, à l'AIEA.



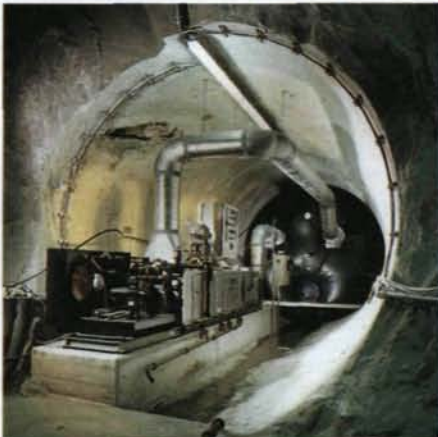
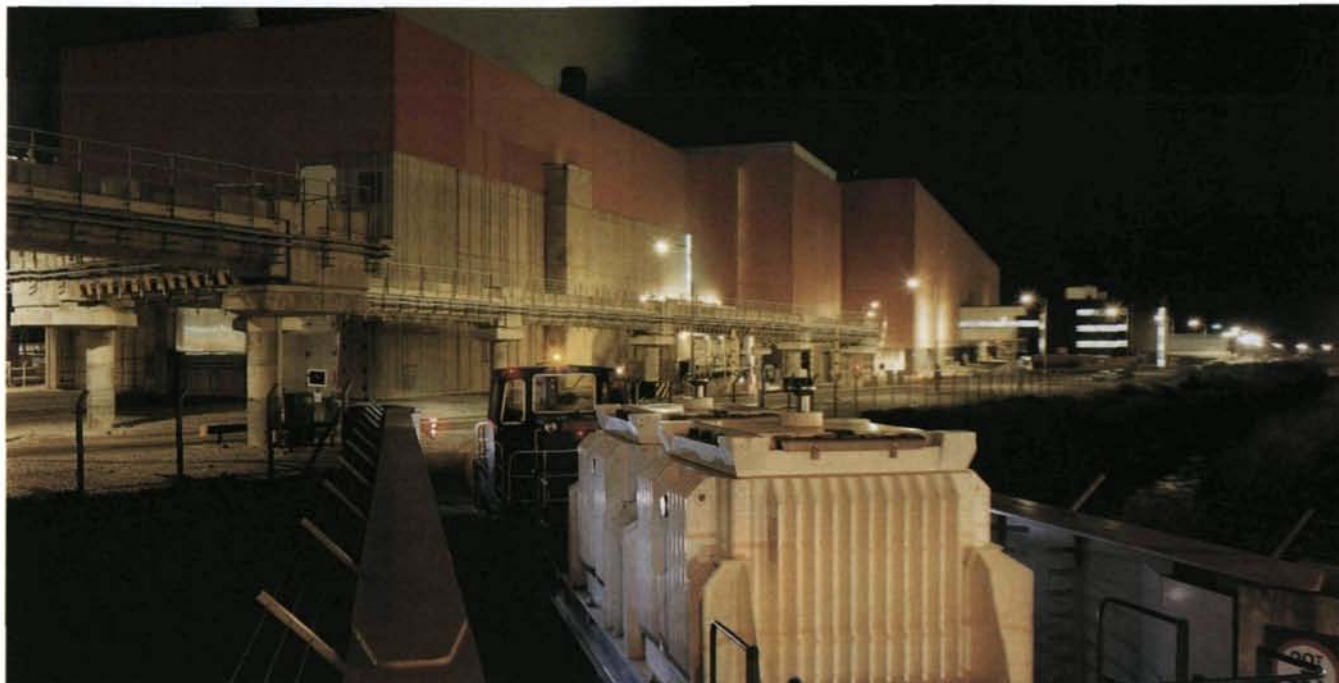


Photo de gauche: Château de combustible irradié mis en position au Centre de recherche nucléaire de Karlsruhe (Allemagne).

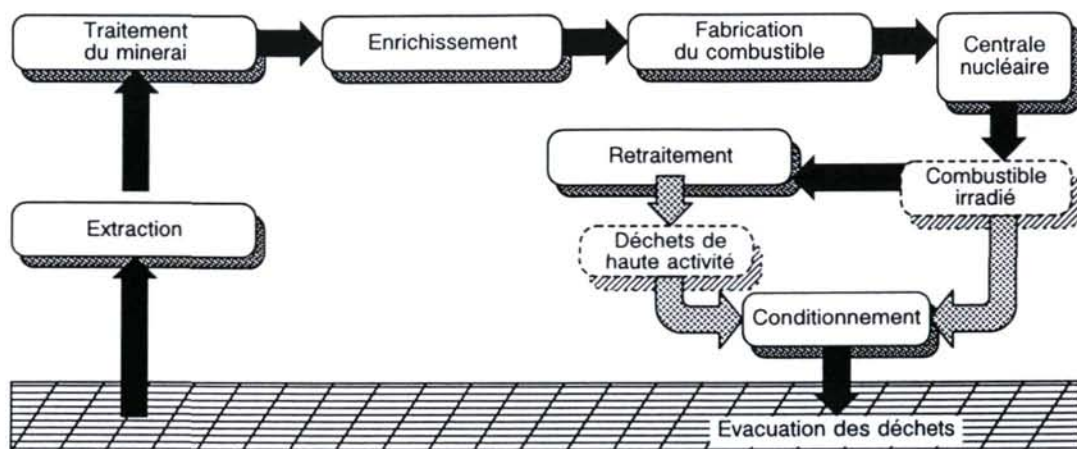
Photos de droite: En haut: Châteaux de combustible irradié arrivant au site de Sellafield (Royaume-Uni) en vue du retraitement.

Au milieu, à gauche: Manipulation de déchets radioactifs à vie courte au site de stockage de La Manche (France).

Au milieu, centre et droite: Recherche sur l'évacuation des déchets radioactifs à un site d'essai souterrain en Suisse.

En bas, à droite: Intérieur des chambres de stockage du dépôt définitif suédois à Forsmark. (Photos: KFZ, SKB, BNFL, Nagra)

Diagramme schématique du cycle du combustible nucléaire



Origine des déchets radioactifs et types de déchets

Les déchets, qu'ils soient d'origine domestique ou industrielle, font partie de notre vie quotidienne. Ils sont omniprésents, même si nous ne les voyons pas, comme c'est le cas des effluents gazeux rejetés dans l'atmosphère. Toutes les créatures vivantes et la plupart des activités humaines, comme la production d'électricité, que ce soit à partir du charbon, du pétrole ou du nucléaire, engendrent des déchets.

L'origine des déchets radioactifs

D'une façon générale, l'AIEA définit les déchets radioactifs comme « toute matière qui contient ou est contaminée par des radionucléides à des concentrations ou des niveaux de radioactivité supérieurs aux 'quantités exemptées' établies par l'organisme réglementaire et pour laquelle aucune utilisation future n'est prévue ». Ces déchets proviennent de cinq grandes activités :

- **L'extraction et le traitement des minerais d'uranium et de thorium.** Quelque 16 pays ont des activités en rapport avec l'extraction et le raffinage des minerais d'uranium et de thorium.

- **Les opérations du cycle du combustible nucléaire, comme la conversion et l'enrichissement de l'uranium, la fabrication du combustible et le retraitement du combustible irradié.** Jusqu'en 1991, 11 pays ont, pour ce qui est de l'enrichissement, exploité des installations de démonstration ou à l'échelle industrielle, 19 ont fabriqué des combustibles à oxyde d'uranium (UO_2) et/ou de plutonium (PuO_2), et 15 retraitent ou envisagent de retraiter le combustible irradié.

- **Les opérations des centrales nucléaires.** A la fin de 1991, 420 réacteurs nucléaires de puissance, représentant une capacité totale de 326 611 mégawatts électriques, étaient en service dans 29 pays.

- **La décontamination et le déclassement des installations nucléaires.** En l'an 2000, environ 64 centrales nucléaires et 256 réacteurs nucléaires de recherche atteindront l'âge de 30 ans.

- **Les applications non énergétiques de l'énergie nucléaire.** Ces applications sont répandues et comprennent l'utilisation de radionucléides et de sources de rayonnements en médecine, dans la recherche (réacteurs de recherche et installations d'essai), dans l'industrie et dans l'agriculture.

Bien que, sur l'ensemble des Etats membres de l'AIEA, quelques-uns seulement soient engagés dans toutes les activités ci-dessus, il est intéressant de noter que presque tous produisent des déchets radioactifs, ne serait-ce que du fait des applications non énergétiques de l'énergie nucléaire.

Les déchets résultant de ces activités se présentent sous diverses formes (gazeuse, liquide ou solide)

et ont des caractéristiques différentes. Pour des raisons techniques et de sûreté, on les classe généralement en fonction de leur niveau de radioactivité, de leur puissance thermique et de leur risque potentiel.

L'un des paramètres de tout radionucléide est sa **période** — qui est le temps moyen nécessaire pour que l'activité diminue jusqu'à la moitié de sa valeur. Cela signifie que les déchets radioactifs finissent par se désintégrer en éléments non radioactifs (ce qui est à mettre à l'actif des substances radioactives). Les radionucléides dominants dans les déchets et hautement radioactifs ont des périodes d'environ 30 ans ou moins; c'est le cas par exemple du césium 137. Quelques-uns, comme l'iode 129, ont des périodes de plusieurs millions d'années. Pour situer les choses, l'uranium présent à l'état naturel dans la terre a une période d'environ 4500 millions d'années. On distingue généralement **les déchets à vie courte** et **les déchets à vie longue** . Ceux dont la période est supérieure à environ 30 ans sont généralement considérés comme ayant une vie longue.

Catégories de déchets radioactifs

Les catégories ci-après tiennent compte des paramètres techniques des déchets radioactifs sur la base de leurs caractéristiques générales à l'égard de l'évacuation.

Les déchets de faible activité contiennent une quantité négligeable de radionucléides à vie longue. Issus des activités nucléaires pacifiques de l'industrie, de la médecine, de la recherche et des activités nucléo-énergétiques, ils comprennent des objets tels que des gants emballés, des chiffons, du verre, de petits outils, du papier et des filtres contaminés par des matières radioactives. Leur évacuation dans les structures enterrées à proximité de la surface ou leur enfouissement à faible profondeur sont largement pratiqués.

Les déchets d'activité moyenne contiennent moins de radionucléides et ont une moins grande puissance thermique que les déchets de haute activité, mais ils doivent tout de même être protégés pendant la manutention et le transport. Il s'agit par exemple de résines provenant de l'exploitation de réacteurs ou de boues chimiques solidifiées, ainsi que de pièces de matériel ou de morceaux de métal. Pour traiter et immobiliser ces déchets, on applique des procédés techniques industriels. Les options d'évacuation sont analogues à celles des déchets de faible activité.

Les déchets de haute activité résultent du retraitement du combustible irradié provenant des réacteurs nucléaires de puissance, opération qui vise



à récupérer de l'uranium et du plutonium. Ils contiennent des éléments transuraniens et des produits de fission à vie longue fortement radioactifs, et engendrent de la chaleur. Les déchets de haute activité liquides sont généralement immobilisés dans une matrice de verre solide et entreposés dans des installations de stockage provisoire avant d'être définitivement évacués et isolés dans des formations géologiques profondes stables, comme le prévoient actuellement de nombreux programmes nationaux. Le **combustible irradié** non retraité est considéré comme un déchet de haute activité.

Les déchets émetteurs alpha (encore appelés transuraniens, matières contaminées par du plutonium, ou déchets alpha) comprennent des déchets contaminés par des nucléides émetteurs alpha à vie longue en nombre suffisant pour rendre inacceptable un stockage à proximité de la surface. Ils proviennent principalement du retraitement du combustible irradié et de la fabrication des combustibles à mélange d'oxydes. Ils peuvent être évacués de la même façon que les déchets de haute activité.

Les définitions générales données ci-dessus sont utilisées par de nombreux pays, mais il faut savoir que d'autres définitions acceptées sont en usage.

La «gestion» des déchets radioactifs

Pour l'AIEA, la gestion des déchets radioactifs englobe les activités, administratives ou opérationnelles, liées à la réduction des quantités, à la manutention, au traitement, au conditionnement, au transport, au stockage et à l'évacuation des déchets radioactifs. Si la méthode retenue peut varier d'un pays à l'autre, les scientifiques et les ingénieurs sont d'accord pour penser que l'objectif primordial est de protéger l'homme et son environnement contre les risques présents et futurs associés à ces déchets.

Comme beaucoup de procédés, la gestion des déchets est susceptible d'approches différentes; l'approche de l'AIEA est systémique et consiste en l'application d'une stratégie logique intégrée pour déterminer les besoins, la technologie, les ressources et les impacts d'un système de gestion des déchets. Elle considère chaque aspect de l'ensemble du système — depuis la production jusqu'à l'évacuation définitive des déchets.

Gestion et évacuation des déchets de faible et moyenne activité. Ces déchets sont souvent

traités (réduction du volume) et/ou conditionnés (immobilisation) avant d'être évacués. Ces opérations, que l'on pratique avec succès depuis 35 ans, sont considérées comme ayant atteint la maturité technologique, et il existe plusieurs options efficaces, sûres et réalisables pour le traitement et le conditionnement de ces déchets, à savoir: le stockage et la décroissance, le compactage et le supercompactage, l'incinération, la précipitation chimique, l'évaporation, la filtration, et l'échange d'ions; ces opérations peuvent être suivies par une immobilisation dans des matières telles que le ciment, le béton ou des polymères.

Les méthodes d'évacuation les plus courantes des déchets de faible et moyenne activité sont le stockage dans des tranchées peu profondes en terre ou à revêtement de béton, et dans des structures en surface. Un certain nombre de pays procèdent depuis plus de 30 ans à l'évacuation sûre des déchets de faible activité dans des structures proches de la surface. Cette pratique se justifie par le fait que la période d'isolement de ce type de déchets est relativement limitée (jusqu'à 300 ans), de sorte que le contrôle institutionnel ou administratif du site peut être assuré.

Gestion et évacuation des déchets de haute activité et du combustible irradié. Après sa vie utile, le combustible nucléaire irradié est extrait du réacteur, puis généralement stocké à titre provisoire sur le site avant d'être:

- soit entreposé dans un site de stockage provisoire à distance du réacteur (pendant 5 à 100 ans), conditionné après une période de décroissance suffisante, et stocké avant d'être évacué définitivement dans un dépôt géologique;
- soit retraité après stockage supplémentaire à distance du réacteur. Les déchets de haute activité liquides qui en résultent, et qui contiennent la majeure partie des produits de fission ainsi qu'une faible fraction des actinides, sont ensuite immobilisés dans une matrice stable (par exemple verre borosilicaté) en vue d'être évacués ultérieurement dans un dépôt géologique.

Quelle que soit l'option choisie, les scientifiques sont d'accord dans l'ensemble pour penser que l'évacuation en formation géologique profonde, avec un système de barrières naturelles et artificielles permettant d'isoler ces déchets, est la meilleure solution.

Vue aérienne du site de stockage définitif des déchets radioactifs de Forsmark (Suède).

Plans de gestion des déchets de haute activité et du combustible irradié dans certains pays

	Temps de stockage (années)	Forme finale des déchets	Statut/Milieu géologique
Afrique du Sud	40	CI	AD
Allemagne	Jusqu'à 30	DHA	R Sel
Argentine	20 ou plus	DHA	R Granit
Belgique	50	DHA	E Argile
Bulgarie	3	DHA CI*	
Canada		CI	E Granit E Roche cristalline
Chili	10	CI	AD
Chine	30-40	DHA	E Granit E Basalte E Tuf
Cuba	10	CI	
Espagne	30	CI	E Argile E Granit E Roche cristalline
Etats-Unis	5-10	CI	E Tuf
Finlande	40	CI	E Granit E Roche cristalline
France	30 ou plus	DHA	E Argile E Granit E Schiste E Sel
Indonésie	5 ou plus	CI	E Granit E Roche cristalline
Italie	AD	DHA CI	E Argile
Japon	30-50	DHA	E Roche cristalline E Roche sédimentaire
Mexique	30	CI	E Argile E Granit E Schiste E Roche cristalline E Sel E Roche sédimentaire E Tuf
Norvège	5-15	CI	AD
Pays-Bas	50 ou plus 50 ou plus	DHA CI	
Pologne	30 3-5	DHA CI*	
Roumanie	2	CI	
Royaume-Uni	50	DHA	AD
Suède	40	CI	E Roche cristalline
Suisse	40	DHA	E Argile E Granit E Roche sédimentaire
Tchécoslovaquie	3-5	CI	
(ex-)URSS	30 30-40	DHA CI	R Granit E Roche cristalline E Sel E Tuf E Argile

* Combustible irradié renvoyé au fournisseur.

Notes: DHA = Déchet de haute activité; CI = Combustible irradié; R = Retenu; E = A l'étude; AD = A déterminer.

Source: Base de données de l'AIEA sur la gestion des déchets

Tous les pays qui pratiquent le retraitement prévoient de vitrifier les déchets de haute activité dans du verre borosilicaté monolithique solide, dont les excellentes propriétés chimiques de durabilité ont été démontrées. Parmi ceux qui préfèrent l'évacuation directe du combustible conditionné, le Canada et la Suède prévoient l'incorporation à une matrice faite de sable et de cuivre ou de plomb, respectivement. L'Allemagne et les Etats-Unis n'envisagent pas pour le moment d'utiliser de matrice.

Pour leur verre borosilicaté, l'Allemagne, la Belgique, la France, le Japon, le Royaume-Uni et la Suisse envisagent d'utiliser le conteneur de type français (en acier inoxydable aux parois de 5 mm d'épaisseur). Les Etats-Unis, de leur côté, s'intéressent à un conteneur en acier inoxydable plus épais (1 cm) mais, pour les petites quantités de déchets vitrifiés de haute activité d'origine civile, ils feraient appel à des conteneurs en acier inoxydable comparables à ceux utilisés par la plupart des pays. Parmi les modèles de conteneurs à parois épaisses figurent le conteneur suédois en cuivre de 10 cm et le château en acier allemand Pollux pour le combustible irradié. Pour évacuer le combustible irradié, l'Allemagne envisage d'utiliser un emballage à triple usage, protégé pour le transport par un suremballage jetable. Pour les déchets solidifiés de haute activité, les Etats-Unis et la Suisse prévoient eux aussi des suremballages, et le Royaume-Uni y viendra plus tard.

Normalement, dans le cas du retraitement, le combustible irradié fait l'objet d'un stockage provisoire prolongé (en général jusqu'à 10 ans) dans des bassins de stockage sur le site du réacteur, avant d'être expédié à l'usine de retraitement, où il sera de nouveau stocké provisoirement en piscine. Dans les programmes d'évacuation directe, on prévoit ou l'on pratique déjà le stockage provisoire à sec ou sous eau. C'est le cas au Canada, qui prévoit un stockage sur site jusqu'à l'évacuation, ainsi qu'en Suède, qui procède à un stockage sur site pendant quelques années, puis à un stockage sous eau dans son installation centrale distante du réacteur (CLAB). La Suisse et l'Allemagne prévoient un stockage provisoire à sec en un ou plusieurs endroits centraux, y compris dans des installations éloignées des réacteurs, pour compléter le stockage sur site.

Dans la plupart des pays, le combustible irradié et/ou les déchets solidifiés de haute activité seront stockés pendant une période d'environ 20 à 100 ans avant d'être évacués, car il n'y aura probablement aucun dépôt géologique en service avant une vingtaine d'années. Les pays qui retraitent (ou envisagent de retraiter) le combustible irradié prévoient un stockage provisoire des déchets de haute activité pendant au moins 10 à 50 ans — voire davantage. Au Royaume-Uni, l'aménagement de dépôts est remis à plus tard, au profit du stockage à long terme, qui peut durer jusqu'à 100 ans. On pense que tous les systèmes de stockage provisoire des déchets solidifiés de haute activité appliqueront des méthodes de stockage à sec.

Transport des déchets radioactifs

Les matières radioactives bénéficient de l'un des systèmes de transport les plus efficaces et les plus éprouvés du monde. Si l'on considère le nombre élevé d'expéditions auxquelles elles donnent lieu chaque année, ce système est, sur le plan de la sûreté, l'un des meilleurs que l'on puisse voir dans l'industrie. Ce résultat tient en partie à l'existence de règlements de transport internationaux (par exemple le Règlement de transport de l'AIEA) et de codes ainsi qu'à un degré élevé de coopération entre les pays.

Pour transporter le combustible irradié et les déchets de haute activité, la plupart des pays utilisent des fûts à usage unique. Certains sont en train de mettre au point et/ou utilisent des fûts à double usage (transport et stockage). Des fûts à triple usage (transport, stockage et évacuation) sont à l'étude en Allemagne et au Canada.

Evaluation de sûreté des dépôts de déchets

Bien que l'évacuation des déchets de haute activité n'ait pas encore fait ses preuves, de nombreux travaux de recherche et développement lui ont été consacrés, y compris l'aménagement de laboratoires souterrains et d'autres installations d'essais en champ proche et en champ lointain. Les résultats obtenus et les études effectuées ont montré que l'évacuation en formation géologique profonde de déchets de haute activité et de combustible irradié, avec la mise en place de barrières multiples, est, sur le plan technique, l'option la plus rationnelle, la plus facile à réaliser et la plus sûre. L'idée est d'avoir une succession de barrières, à la fois artificielles et naturelles (milieu géologique), empêchant la migration potentielle de radionucléides à partir du site du dépôt.

En mars 1991, après plusieurs années de travaux, un groupe consultatif d'experts de l'AIEA et de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques a présenté, avec l'approbation de la Commission des Communautés européennes, un document qui a fait date. Il s'agit d'une déclaration, appelée «Opinion collective», sur l'évaluation scientifique des dépôts destinés à recevoir des déchets de haute activité, dans laquelle les experts réaffirment leur appui à l'idée de dépôts géologiques. Une de leurs conclusions importantes est que l'application appropriée des méthodes d'évaluation de la sûreté, en conjuguée à une information suffisante sur les sites d'évacuation, permet, sur le plan technique, de déterminer si les systèmes d'évacuation des déchets radioactifs offriraient à la société un niveau satisfaisant de sûreté à la fois pour les générations actuelles et futures.

La technologie de l'évacuation en formation géologique profonde est un thème d'étude dans un

Stockage et évacuation des déchets de faible et moyenne activité dans certains pays d'Afrique, du Moyen-Orient et d'Europe

	Temps (années) et méthode de stockage	Statut/ Méthode d'évacuation
Afrique et Moyen-Orient		
Afrique du Sud	Aucun	C Enfouissement peu profond
Egypte	50 Installation de stockage	P Installation de stockage en surface
Jordanie	10 Installation terrestre à faible profondeur (prévue)	P Enfouissement à faible profondeur
Syrie	15 Installation terrestre à faible profondeur	P AD
Zambie	NC Installation de stockage Enfouissement dans un puits	P Installation de stockage en surface C Enfouissement à faible profondeur
Europe		
Allemagne	Aucun Installation de stockage	C Cavités rocheuses P Dépôts géologiques profonds
Belgique	20-25 NC	P Options étudiées
Bulgarie	NC Installation terrestre à faible profondeur Installation de stockage	C Enfouissement à faible profondeur C Installation de stockage en surface
Espagne	NC Installation de stockage	P Installation de stockage en surface
Finlande	Jusqu'à 25 Installation de stockage	P Cavités rocheuses
France	1 Installation de stockage (sur le site de production)	C Installation de stockage en surface P Enfouissement à faible profondeur
Hongrie	NC Installation terrestre à faible profondeur	C Enfouissement à faible profondeur
Italie	NC Installation de stockage	P Installation de stockage en surface
Norvège	1-5 Installation de stockage Installation terrestre à faible profondeur	C Enfouissement à faible profondeur
Pays-Bas	50 ou plus Installation de stockage	P Dépôts géologiques profonds
Pologne	0-5 AD, pas de stockage prévu pour certains déchets	C Installation de stockage en surface P Dépôts géologiques profonds
Royaume-Uni	Aucun	C Installation de stockage en surface P Dépôts géologiques profonds
Suède	1-10 Installation de stockage	P Enfouissement à faible profondeur
Suisse	Minimum Installation de stockage	P Dépôts géologiques profonds
Tchécoslovaquie	Aucun Installation terrestre à faible profondeur	P Installation de stockage en surface P Enfouissement à faible profondeur C Cavités rocheuses P Dépôts géologiques profonds
(ex-)URSS	20 ou plus Installation de stockage	C Installation de stockage en surface P Enfouissement à faible profondeur P Dépôts géologiques profonds

Notes: C = Pratiques courantes; P = Pratiques prévues; AD = A déterminer; NC = Non communiqué à la base de données de l'AIEA sur la gestion des déchets.
Source: Base de données de l'AIEA sur la gestion des déchets

Stockage et évacuation des déchets de faible et moyenne activité dans certains pays d'Amérique du Nord, d'Amérique latine, et d'Asie et du Pacifique

	Temps (années) et méthode de stockage		Statut/ Méthode d'évacuation	
Amérique du Nord				
Canada	NC	Installation de stockage	P	Enfouissement à faible profondeur
Etats-Unis	Minimum	NC	P	Installation de stockage en surface
			C	Enfouissement à faible profondeur
			P	Installation souterraine de stockage
Mexique	Jusqu'à 10	Installation terrestre à faible profondeur	C	Enfouissement à faible profondeur
		Installation de stockage	P	Enfouissement à faible profondeur
Amérique latine				
Brésil	10	Installation de stockage	P	Enfouissement à faible profondeur
Chili	30	Installation de stockage (de décroissance)	C	Installation de stockage en surface
			C	Stockage de décroissance
Cuba	10-15	Installation de stockage	C	Installation de stockage en surface
			P	Enfouissement à faible profondeur
Asie et Pacifique				
Australie	AD	Installation temporaire	P	Enfouissement à faible profondeur
Chine	5	Installation de stockage	P	Enfouissement à faible profondeur
			P	Cavités rocheuses
Corée, Rép. de	1	Installation de stockage	P	Cavités rocheuses
Indonésie	1-5 ou plus	Installation de stockage	P	Installation de stockage en surface
		Installation terrestre à faible profondeur	P	Enfouissement à faible profondeur
			C	Dilution/dispersion
Japon	310	Installation terrestre à faible profondeur	P	Enfouissement à faible profondeur
			P	Immersion
Malaisie	30	Installation de stockage	P	Installation de stockage en surface
Pakistan	Jusqu'à une semaine	Stockage liquide	C	Décroissance/rejets
			C	Enfouissement à faible profondeur

Notes: C = Pratiques courantes; P = Pratiques prévues; AD = A déterminer; NC = Non communiqué à la base de données de l'AIEA sur la gestion des déchets.
Source: Base de données de l'AIEA sur la gestion des déchets

certain nombre de programmes internationaux de recherche et développement. Au cours des 20 dernières années, de nombreuses activités communes de recherches internationales et multinationales ont été menées avec succès. Bien que la plupart d'entre elles aient été de caractère général et non consacrées à des sites particuliers, elles ont été extrêmement utiles, car elles ont permis de valider des modèles, de vérifier des données d'essai et de montrer le bien-fondé de diverses techniques et méthodes d'investigation, et elles ont étayé dans l'ensemble le concept d'évacuation géologique des déchets de haute activité.

Toutefois, plusieurs Etats qui vont bientôt atteindre la phase de l'identification de sites susceptibles d'être aménagés en dépôts géologiques profonds s'orientent de plus en plus vers des évaluations de

sûreté spécifiques en utilisant les données fournies par les recherches sur les sites retenus. De telles évaluations ont déjà été réalisées pour les dépôts de déchets de faible et moyenne activité existant dans des formations rocheuses en Suède, en Allemagne et en Finlande, ainsi qu'aux Etats-Unis, pour le dépôt destiné aux déchets alpha, dans l'installation pilote d'isolement des déchets.

Les critères ou objectifs de sûreté adoptés dans de nombreux pays pour les dépôts de déchets radioactifs s'appuient principalement sur la limitation des doses de rayonnement et/ou des risques pour les membres du public qui sont potentiellement les plus exposés. Plusieurs pays prennent des mesures pour améliorer les critères de façon qu'ils correspondent mieux aux besoins des évaluateurs de la sûreté et deviennent des objectifs de sûreté plus crédibles.

Le principal problème tient au fait que, aux échéances lointaines, qui intéressent l'évaluation de la sûreté des dépôts, le concept de prévision des doses à des groupes hypothétiques d'êtres humains a de moins en moins de signification, du fait que les incertitudes relatives à ces groupes et à l'environnement augmentent avec le temps. Certains pays se proposent de fixer une limite de 10 000 ans, délai au bout duquel on considère que les risques associés aux déchets radioactifs deviennent comparables à ceux des déchets engendrés par les sources d'énergie traditionnelles actuellement exploitées. Les résultats de certaines évaluations de sûreté montrent cependant que l'impact radiologique maximum survient après cette durée, et certains règlements nationaux exigent, en conséquence, que des évaluations de sûreté soient faites au moins jusqu'à ce qu'il se produise.

Les dépôts de déchets naturels

Pour la civilisation humaine, une période de 10 000 années représente une éternité mais, si l'on considère l'histoire de la Terre, ce n'est qu'un moment au regard de l'évolution passée. L'évacuation (ou l'isolement) géologique de matières radioactives n'est pas une invention de l'homme, et l'on en trouve des exemples dans la nature (on parle alors d'analogues naturels).

Le cas le plus significatif est celui du gisement d'uranium au Gabon, où s'est déclenchée il y a près de 2 milliards d'années une réaction nucléaire spontanée. Ce réacteur naturel a fonctionné pendant environ 500 000 ans et a produit tous les radionucléides importants présents dans les déchets de haute activité. Le plus étonnant, c'est que ces radionucléides sont restés en place et ont fini par se transformer en éléments non radioactifs. L'étude de ces analogues naturels est un aspect important de l'évaluation des dépôts géologiques et fait l'objet de plusieurs projets internationaux de recherche, comme les projets Alligator River et Cigar Lake.



Faits et perceptions

Dans les années qui viennent, les gouvernements et le public vont, à juste titre, se préoccuper de plus en plus de gestion et d'évacuation des déchets. Comme en toute chose, un minimum de vigilance est sain et nécessaire pour garder le contrôle des programmes, les maintenir sur la bonne voie et les garder en perspective, mais il ne faut pas aller trop loin, sous peine de freiner, voire d'arrêter le progrès scientifique.

A l'approche du XXIème siècle, l'humanité ne peut se permettre de renoncer aux utilisations pacifiques de l'atome. Il faudrait reconnaître que les déchets radioactifs sont un sous-produit naturel de ces utilisations et que l'on peut les gérer de façon sûre, efficace et économique.

Dans les discussions parfois animées et les craintes qui s'expriment au sujet de la gestion et de l'évacuation de ces déchets, il faudrait tenir compte des faits suivants:

- Les déchets radioactifs sont tangibles et peuvent être confinés.
- La radioactivité peut être mesurée avec précision.
- La toxicité des déchets radioactifs diminue avec le temps.
- Les quantités totales de déchets radioactifs sont relativement faibles par rapport à celles des déchets industriels.

- Les déchets de haute activité représentent une fraction extrêmement faible de la quantité totale de déchets radioactifs.
- Il existe des systèmes de stockage provisoire sûrs et éprouvés pour tous les déchets.
- Il existe des installations de stockage définitif pour les déchets à vie courte et autres déchets de faible activité.
- Les méthodes sûres d'évacuation des déchets de haute activité sont connues.
- Il existe de vastes réseaux internationaux pour l'échange d'informations.
- Il y a un consensus international sur l'évaluation de la sûreté des dépôts.
- Les coûts de gestion des déchets et de déclasserment des installations nucléaires ne représentent qu'une part minime des coûts de l'électricité nucléaire.

En aidant les pays à poursuivre leurs activités, l'AIEA continuera de fournir divers services pour contribuer à renforcer encore les moyens de gérer de façon sûre et fiable les déchets radioactifs à l'échelle mondiale.

Au Gabon s'est déclenchée, il y a 2 milliards d'années, une réaction nucléaire spontanée qui a produit des déchets radioactifs.