

MÉTHODES D'ÉVALUATION

SÛRETÉ DE L'ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS SOLIDES

KEN BRAGG ET FERRUCCIO GERA

La sûreté de la gestion des déchets radioactifs provenant de tous les stades du cycle du combustible nucléaire est une question technique, économique et sociale importante. Il importe également de s'occuper des déchets issus des matières nucléaires utilisées en médecine, dans la recherche et dans l'industrie. Dans certains pays, les questions entourant la façon dont est mise en œuvre cette gestion des déchets ont pris un tour de controverse et risquent de compromettre la future utilisation de ces techniques. Le présent article traite de l'évacuation des déchets radioactifs solides en plaçant un accent particulier sur les questions de sûreté.

La distinction essentielle à opérer entre l'évacuation et d'autres opérations de gestion des déchets telles que l'entreposage et le conditionnement, est que l'évacuation a pour objet d'apporter une solution permanente et définitive au problème des déchets tout en protégeant les individus et l'environnement contre les nuisances. Il n'est pas prévu, normalement, de reprendre les déchets évacués ; il est généralement possible, cependant, en cas de besoin à l'avenir, de reprendre des déchets solides entreposés dans une installation d'évacuation.

Plusieurs solutions ont été proposées, au cours des dernières décennies, pour l'évacuation des déchets radioactifs solides : l'évacuation à proximité de la

surface, l'évacuation dans des formations géologiques profondes, et l'évacuation au fond ou dans le sous-sol des océans.

Or, la Convention de Londres (1972) interdit actuellement l'évacuation de déchets radioactifs solides en mer. Il n'existe par conséquent que deux possibilités d'évacuation.

En matière de gestion des déchets, l'une des premières décisions à prendre a trait à la définition des types de déchets qu'il est possible d'évacuer dans les différents types de dépôts envisagés par les plans nationaux d'évacuation. Cela doit logiquement amener à trier les déchets en fonction de la méthode d'évacuation envisagée.

Pour la plupart des types de déchets, la caractéristique distinctive est la longévité des éléments radioactifs. Ainsi, les déchets à longue période, qui peuvent mettre des dizaines ou des centaines de milliers d'années à décroître jusqu'à des niveaux pratiquement inoffensifs, devront être évacués dans des dépôts géologiques, tandis que les déchets à courte période pourront être entreposés dans des dépôts proches de la surface.

Indépendamment de la longévité de la radioactivité des déchets, les dépôts sont conçus pour fonctionner selon les principes combinés d'isolement et de confinement. Le confinement fait appel à différentes barrières (forme et colisage des déchets, ouvrages artificiels, supports naturels, etc.) qui doivent confiner les déchets pendant une période initiale. Du

fait de leur décroissance progressive, il peut se produire, par l'intermédiaire des eaux souterraines, un rejet et un transport lents de la fraction restante de l'inventaire radioactif initialement contenu dans les déchets. C'est ce qui est généralement considéré représenter l'évolution normale du système d'évacuation. Pour procéder à la mise en œuvre d'une installation d'évacuation, il faut également connaître le comportement des éléments du système, et la façon dont de futures variations pourraient influencer sur leur fonctionnement. Cette connaissance s'obtient dans le cadre d'études de sûreté, qui doivent convaincre dans une mesure suffisante que les normes de sûreté applicables au système proposé sont et seront respectées. L'étude de sûreté aux fins de l'évacuation de déchets radioactifs est un processus itératif qu'il faut mettre en œuvre, à différents niveaux de détail, aux stades critiques de la procédure d'autorisation (*voir figure page 56*).

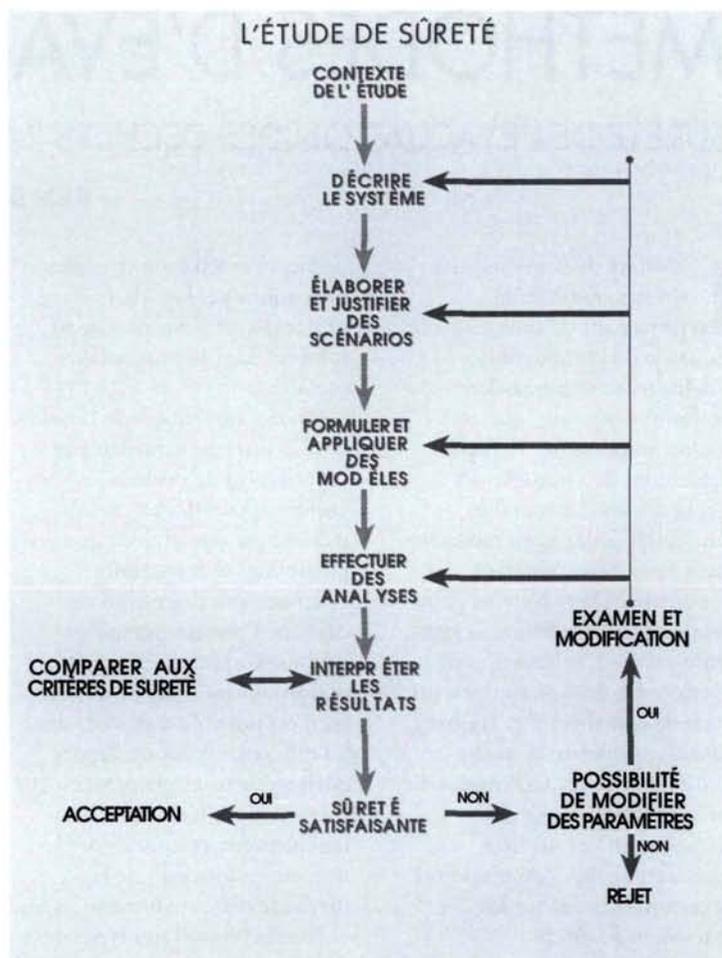
Une méthode d'évaluation généralement acceptée est l'appariement entre des catégories de déchets et des solutions d'évacuation (*voir tableau page 57*). Cette méthode inclut les scénarios génériques d'intrusion humaine censés correspondre aux différents types d'installations d'évacuation ; ces scénarios sont examinés plus en détail ci-après.

MM. Bragg et Gera travaillent à la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets de l'AIEA.

ÉVACUATION À PROXIMITÉ DE LA SURFACE

L'évacuation à proximité de la surface est une méthode utilisée pour évacuer des déchets radioactifs contenant des radionucléides à courte période en quantités qui décroîtraient à des niveaux radiologiquement insignifiants en quelques décennies ou quelques siècles. Des concentrations raisonnablement faibles de radionucléides à longue période peuvent également être évacuées dans des dépôts proches de la surface. Il existe principalement deux types d'installation : a) des installations peu profondes consistant en unités d'évacuation situées soit au-dessus (tumulus, etc.), soit en dessous (tranchées, fosses, etc.) de la surface initiale du sol, et b) des installations où les déchets sont entreposés à une plus grande profondeur dans des cavités rocheuses ou dans des forages. Dans le premier cas, l'épaisseur de la couverture située au-dessus des déchets est généralement de quelques mètres, tandis que dans le second, la couche de roche située au-dessus des déchets peut atteindre quelques dizaines de mètres.

Une caractéristique particulière de l'évacuation à proximité de la surface est la nécessité de soumettre le site du dépôt à un contrôle institutionnel pendant un certain temps. Les contrôles institutionnels ont pour objet de protéger les déchets contre toute intrusion humaine et contre tout processus qui risquerait de compromettre l'intégrité des barrières de confinement. Les études de sûreté concernant ces installations examinent souvent divers scénarios dont des intrusions humaines liées à la construction de logements, à



une exploitation agricole, au forage d'un puits, à la construction d'une route ou à la construction de structures commerciales. Chaque fois que les études de sûreté montrent que les divers scénarios auraient des conséquences radiologiques dépassant les limites normales de dose ou de risque, un contrôle institutionnel est prescrit. Pour des raisons de sûreté, ce contrôle institutionnel n'est levé que lorsque les incidences estimatives des scénarios que le contrôle institutionnel a pour mission de prévenir répondent aux normes de sûreté.

Une décision essentielle à prendre à cet égard a trait à la définition de ce qu'est une durée raisonnable de contrôle institutionnel. C'est également

l'un des éléments clés à prendre en compte pour définir, s'agissant du dépôt, les critères d'acceptation des déchets. Il existe un vague consensus international selon lequel il est possible d'envisager des périodes pouvant aller jusqu'à quelques centaines d'années. Les décisions réglementaires prises à ce jour semblent cependant laisser entendre que des contrôles institutionnels pourraient être nécessaires pendant des périodes bien plus longues. Cela risque de poser des problèmes en ce qui concerne la crédibilité d'un engagement de durée indéterminée et la justification d'une contrainte aussi longue pour les futures générations.

La plupart des scénarios d'intrusion ne pénétrant pas, à

**MÉTHODES D'ÉVACUATION POUR DIFFÉRENTS TYPES
DE DÉCHETS ET SCÉNARIOS TIPIQUES D'INTRUSION HUMAINE**

Méthode d'évacuation	Type de déchet	Scénarios d'intrusion	Notes
Évacuation géologique dans des roches hôtes stables peu perméables, généralement à des profondeurs supérieures à 200 m.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Déchets de haute activité. ■ Combustible usé (si déclaré comme déchet). ■ Autres déchets à longue période (matières radioactives généralement exclues pour des raisons pratiques). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Forage à travers colis de déchets. ■ Forage à travers le dépôt (pas à travers des déchets). ■ Forage à travers la zone de diffusion d'eau contaminée. ■ Extraction à travers dépôt. 	La probabilité d'intrusion est très faible. À réduire par l'implantation et à estimer en fonction des caractéristiques du site.
Dépôt dans cavité rocheuse à proximité de la surface.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Déchets à courte période, de faible ou moyenne activité (DFMA). ■ DFMA dépassant les critères d'acceptation pour une évacuation à faible profondeur. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Forage à travers colis de déchets. ■ Forage à travers la zone de diffusion d'eau contaminée. ■ Extraction à travers dépôt. 	Le forage à proximité du dépôt peut faire partie d'un scénario d'évolution normal.
Installations de confinement/forages plus importants.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sources radioactives hors service. ■ DFMA dépassant les critères d'acceptation pour une évacuation à faible profondeur. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Forage à travers ou à proximité d'un colis de déchets. ■ Scénario résidentiel. 	Probabilité d'intrusion relativement faible. À déterminer en fonction des caractéristiques du site.
Dépôts peu profonds, proches de la surface.	<ul style="list-style-type: none"> ■ DFMA à courte période. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Scénario de construction. ■ Scénario résidentiel. ■ Combinaison des deux. 	Après la fin des contrôles institutionnels, la probabilité d'intrusion est élevée.
Proximité de la surface : matières de faible activité spécifique, à longue période, volumineuses.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résidus d'extraction et de traitement de l'uranium et du thorium. ■ Autres matières radioactives naturelles. 	Globalement mêmes scénarios que pour les autres activités d'évacuation à faible profondeur près de la surface.	Idem ci-dessus. Compte tenu de la longévité des déchets, la probabilité d'intrusion éventuelle est de 1.

l'exception des forages de puits, de plus de quelques mètres dans le sol, une profondeur d'isolement supérieure peut présenter l'avantage de réduire les exigences en matière de contrôle institutionnel. Bien évidemment, cela devra être confirmé, au cas par cas, par l'étude de sûreté.

ÉVACUATION DANS LES FORMATIONS GÉOLOGIQUES

Pour les déchets à longue période contenant des radionucléides artificiels (définis dans le projet de glossaire de sûreté de l'AIEA comme étant des déchets radioactifs contenant d'importants niveaux de radionucléides de période

supérieure à 30 ans), la seule solution viable est l'évacuation dans un dépôt géologique situé dans une roche hôte appropriée à une profondeur d'au moins quelques centaines de mètres. Comme exemples de ce type de déchets, on peut citer le combustible usé et les déchets de haute activité provenant du retraitement du combustible. Ces déchets contiennent généralement environ 99 % de la radioactivité totale produite dans le cycle du combustible nucléaire, et se caractérisent par une intense radioactivité. D'autres types de déchets de faible ou moyenne activité peuvent également contenir des niveaux de radionucléides à longue période trop élevés pour une évacuation

à proximité de la surface. En fait, plusieurs États Membres ont décidé de résoudre le problème des déchets radioactifs à longue période de faible ou moyenne activité en les entreposant dans les mêmes dépôts géologiques que le combustible usé et les déchets de haute activité. Une autre solution choisie parfois consiste à évacuer au moins une partie de ce type de déchets à une profondeur de quelques dizaines de mètres.

Les dépôts géologiques comportent généralement, outre la profondeur, diverses barrières artificielles très fiables. Les radionucléides devraient parcourir de longues distances pour atteindre l'environnement accessible ; c'est pourquoi l'on estime qu'il ne se produira aucun effet radiologique

pendant plusieurs milliers d'années. L'étendue de la période que l'étude de sûreté doit prendre en considération et le long délai qui doit s'écouler avant qu'un effet radiologique soit censé se produire rendent incertaines les estimations. Cela peut poser des problèmes pour défendre le point de vue de la sûreté aussi bien devant les experts que devant les membres profanes du public. De nombreuses personnes estiment que les estimations de doses ou de risque concernant un avenir lointain ne sont pas crédibles car il est impossible de prédire l'état de la biosphère et les habitudes humaines qui prévaudront alors. Cela les conduit à mettre en doute la sûreté dans son ensemble. Pour surmonter, du moins partiellement, ce problème de communication, on étudie actuellement diverses méthodes, dont l'utilisation de biosphères normalisées ou stylisées, l'utilisation d'indicateurs de sûreté supplémentaires fondés sur les flux et concentrations de radionucléides naturels, et la recherche d'analogues naturels qui étaieraient les hypothèses de modélisation utilisées dans les études de sûreté. Ces méthodes ne devraient pas remplacer les arguments présentés habituellement pour montrer que le système d'évacuation est à même d'offrir des assurances raisonnables de sûreté. En fait, ces arguments supplémentaires sont précieux, car ils permettent de fonder une argumentation de sûreté sur de multiples raisonnements. Cela est considéré en soi comme un facteur positif, car une telle argumentation de sûreté pourrait se révéler plus convaincante pour différents secteurs de la société.

DÉCHETS ET MRN À LONGUE PÉRIODE

Il existe une catégorie particulière de déchets radioactifs volumineux, qui

contiennent uniquement des matières radioactives naturelles (MRN) à longue période mais de relativement faible activité spécifique. Les quantités les plus importantes de ces déchets proviennent de la transformation de l'uranium en combustible utilisé pour la production d'énergie nucléaire. Il existe également d'importants volumes d'autres déchets présentant des caractéristiques analogues, qui sont produits par d'autres activités industrielles telles que l'extraction des phosphates destinés à la production d'engrais ou l'extraction d'hydrocarbures. Les déchets de matières radioactives naturelles sont généralement considérés comme ne relevant pas du nucléaire et ne sont donc pas réglementés par les mêmes organes que les autres déchets radioactifs. Les résidus d'extraction et de traitement de l'uranium, en revanche, sont réglementés dans la plupart des pays comme des déchets radioactifs. Ainsi, des déchets comparables sont réglementés de façons très différentes.

La longue vie des radionucléides contenus dans les résidus d'extraction et de traitement et dans d'autres déchets de matières radioactives naturelles semblerait devoir imposer un niveau élevé d'isolement. Dans certains pays, cependant, il existe des centaines de millions de tonnes de ces déchets et il n'est pas possible de les évacuer tous dans des dépôts géologiques. Lorsque c'est impossible, on place les déchets dans des remblais traditionnels de résidus d'extraction en utilisant des systèmes de confinement bien conçus. Les ouvrages artificiels du système de confinement veillent à ce que les rejets et doses qui se produisent normalement respectent les critères de dose/risque

traditionnels. On ne peut s'attendre, cependant, à ce que les barrières de confinement fonctionnent aussi bien pendant toute la durée d'activité des déchets (centaines de milliers d'années). En outre, il existe le problème des doses inacceptables qui se produiraient suite à une intrusion. Des contrôles institutionnels peuvent, nous l'avons vu, garantir l'entretien des barrières de confinement et prévenir les intrusions aussi longtemps qu'ils durent, mais probablement pas aussi longtemps que persisterait le risque radiologique.

NORMES DE SÛRETÉ DES DÉCHETS

Ces dernières années, l'AIEA a pris conscience de la nécessité de définir et d'harmoniser les principes et critères clés qui devraient s'appliquer à l'évacuation des différents types de déchets radioactifs. Cela n'est pas aussi simple qu'il pourrait paraître à première vue. Entrent en jeu des calendriers très variables allant de quelques dizaines d'années à des centaines de milliers d'années. Il est très difficile pour la plupart des gens de saisir le sens du temps au-delà de quelques générations. Il est également très difficile de produire, en ce qui concerne le fonctionnement à long terme des éléments artificiels et naturels du système d'évacuation, des estimations capables de convaincre de larges pans de la société. Et il est encore plus problématique de tenter de prédire le comportement des individus et de la société pendant ces périodes.

Certains des critères proposés, cependant, nécessitent d'estimer ces deux facteurs (pour définir un critère de risque, par exemple, il faut estimer tant la

probabilité d'un quelconque événement futur que ses conséquences). Ces longs délais sont source d'incertitude. Même lorsqu'on connaît parfaitement le comportement des éléments artificiels, géologiques et biologiques du système, il n'est pas inhabituel qu'on obtienne, dans l'étude de sûreté, des résultats finals caractérisés par une grande incertitude. En outre, à un certain point de l'évaluation, il n'est pas inhabituel que les analystes parviennent à la conclusion qu'on ne peut pas, raisonnablement, réduire davantage l'incertitude. Cela signifie que les organes de réglementation et autres décideurs pourront avoir à prendre des décisions en présence d'incertitudes bien supérieures à celles auxquelles ils peuvent être habitués.

Un autre élément qui s'est manifesté par le passé est que les normes et prescriptions d'évacuation des différents types de déchets ont souvent été considérées isolément les unes des autres. Il en résulte parfois des incohérences dans la façon dont chaque type est jugé. Cela est indésirable d'un point de vue purement technique, mais encore plus indésirable du point de vue de la perception du public.

Pour résoudre ce problème, l'AIEA s'emploie à élaborer un cadre commun d'évaluation de l'acceptabilité des installations destinées à recevoir les différents types de déchets radioactifs. Toute méthode nécessiterait au moins la mise en œuvre de bonnes pratiques de construction et une réduction de dose conforme au principe d'optimisation de la radioprotection. Il faut prendre en compte, cependant, les réalités concrètes d'un respect des principes et critères finalement mis en place. Cela

pose un problème lorsque l'on considère la diversité des volumes, des activités et des durées de vie des déchets. Malgré ce problème, des progrès s'accomplissent actuellement et l'on espère qu'un cadre commun sera bientôt disponible, ce qui se traduira probablement, dans les années à venir, par une harmonisation des prescriptions et guides de sûreté.

Un problème clé, si l'on veut concevoir un plus grand nombre de dépôts, sera de convaincre, dans la plupart des pays, les différents secteurs de la société. Si les études de sûreté mentionnées plus haut continuent de bénéficier de la confiance des spécialistes, elles ne suffisent manifestement pas à convaincre la population. L'AIEA est consciente de ces différences et étudie le moyen de les combler en associant aux futurs programmes de travail des individus d'origines plus diverses. Outre les travaux évoqués précédemment concernant la diversification des méthodes d'argumentation en faveur des installations d'évacuation, l'Agence a également produit un document consacré à la prise de décisions réglementaires en présence des grandes incertitudes liées aux évaluations du fonctionnement et de la sûreté sur de très longues périodes de temps.

En ce qui concerne la production de normes de sûreté actualisées, l'AIEA a élaboré toute une gamme de prescriptions et guides de sûreté dans le cadre du programme RADWASS (voir article page 30). Cette collection comprend des documents spécifiquement consacrés à l'évacuation des déchets radioactifs (voir encadré ci-contre).

On peut constater qu'un accent a rapidement été placé, à la demande des États Membres,

ÉTAT DES PRESCRIPTIONS ET GUIDES DE SÛRETÉ RELATIFS À L'ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

L'AIEA a publié plusieurs prescriptions et guides de sûreté concernant différents types de déchets radioactifs et méthodes d'évacuation.

■ **Évacuation à proximité de la surface** : cette publication, intitulée *Évacuation des déchets radioactifs à proximité de la surface*, a été publiée en 1999 sous la forme d'une Prescription de sûreté. Deux Guides de sûreté ont été publiés, l'un en 1994, *Implantation d'installations d'évacuation à proximité de la surface*, l'autre en 1999, *Études de sûreté aux fins de l'évacuation de déchets radioactifs à proximité de la surface*.

■ **Résidus d'extraction et de traitement de l'uranium ; autres déchets contenant des matières radioactives naturelles** : un Guide de sûreté sur la *Gestion des déchets radioactifs provenant de l'extraction et du traitement des minerais d'uranium et de thorium* est prévu en 2001.

■ **Évacuation dans des formations géologiques** : une publication, *L'évacuation des déchets radioactifs dans des formations géologiques*, est en préparation sous la forme d'une Prescription de sûreté. En préparation également : *Argumentation en faveur de l'évacuation dans des formations géologiques*, à paraître sous la forme d'un Guide de sûreté. Un Guide de sûreté consacré à l'*implantation d'installations d'évacuation dans des formations géologiques*, a été publié en 1994.

sur l'élaboration de documents concernant l'évacuation à proximité de la surface. Les pays ont besoin d'installations d'évacuation à proximité de la surface pour gérer des déchets radioactifs provenant davantage des hôpitaux et de l'industrie que de l'extraction et du traitement de l'uranium ou de centrales nucléaires. Cependant, on a bien progressé dans l'élaboration d'un guide concernant les résidus d'extraction et de traitement de l'uranium et l'on s'appête à élaborer un guide de sûreté consacré à l'évacuation dans des formations géologiques.

On peut donc penser que l'on disposera, dans les prochaines années, d'une collection complète de prescriptions et guides de sûreté accompagnés de documents techniques d'appui couvrant tous les aspects de l'évacuation des déchets radioactifs. □