

Pratiques de gestion des déchets dans certains pays européens

par V.A. Morozov

INTRODUCTION

En automne 1978, l'AIEA a organisé un voyage d'étude sur la radioprotection et sur la gestion des déchets, dans le cadre de son assistance technique aux pays en développement. Ce voyage a été organisé en collaboration avec les gouvernements des pays suivants: Allemagne, République fédérale d', France, Hongrie, République démocratique allemande et Tchécoslovaquie, qui ont tour à tour accueilli les participants. Le présent article ne traite que d'un seul aspect de ce voyage d'étude, à savoir la gestion des déchets radioactifs, et il se fonde sur des conférences qui ont été faites aux participants dans les divers pays visités et à l'occasion de visites scientifiques effectuées dans des centres de recherche et dans des centrales nucléaires.

DECHETS RADIOACTIFS

Le développement de l'énergie d'origine nucléaire dépend inévitablement de la résolution de deux problèmes: la sûreté des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs. C'est ce second problème que nous allons examiner.

Les déchets radioactifs comprennent des éléments radioactifs naturels, qui proviennent par exemple du traitement du minerai d'uranium, et des éléments radioactifs artificiels, qui sont produits par les centrales nucléaires, les réacteurs de recherche et les accélérateurs. Pour que les effets de ces déchets sur l'ensemble de la population et de l'environnement soient insignifiants, il faut prendre certaines mesures pour les isoler de la biosphère.

Il y a deux méthodes de gestion des déchets radioactifs. La première consiste à rassembler, traiter, envelopper et stocker ou enfouir les déchets. La seconde consiste à rejeter dans l'environnement une certaine quantité de déchets de faible activité moyennant certaines précautions. Ce sont là deux méthodes très différentes qui s'appliquent à des catégories distinctes de déchets. En outre, étant donné que les déchets radioactifs peuvent être solides, liquides ou gazeux, il faut évidemment appliquer différentes méthodes de traitement. Les déchets sont également caractérisés par leur radioactivité et par leur radiotoxicité. Ces paramètres déterminent les conditions dans lesquelles le traitement et le transport des déchets sont possibles (épaisseur du blindage, etc.), ainsi que le degré requis d'isolement par rapport à l'environnement.

Selon leur niveau de radioactivité, les déchets sont traditionnellement répartis en déchets de faible, de moyenne et de haute activité, les derniers provenant en général du retraitement du combustible nucléaire épuisé. Ces déchets se caractérisent par une forte radioactivité spécifique et un dégagement de chaleur considérable.

Après avoir été convenablement traités et emballés, les déchets sont transportés vers des installations de stockage, d'où ils peuvent au besoin être extraits pour retraitement, ou vers des sites d'évacuation, d'où il n'est pas prévu qu'ils seront récupérés. Il est évident

M. Morozov est membre du personnel de la Section de la gestion des déchets, Division de la sûreté nucléaire et de la protection de l'environnement, AIEA.

qu'aucune méthode ne peut garantir un isolement absolu des déchets par rapport à la biosphère; on peut toutefois faire en sorte que dans les circonstances les plus défavorables le dégagement de matières radioactives à partir du lieu de stockage ou d'évacuation ait un effet radiobiologique insignifiant, ne représentant en général qu'une petite partie de l'effet du fond naturel de rayonnement.

ALLEMAGNE (REPUBLIQUE FEDERALE D')

La République fédérale d'Allemagne — tout comme la France, ainsi que nous le verrons ci-après — mène des recherches sur toutes les parties du cycle du combustible nucléaire, depuis l'enrichissement de l'uranium et le retraitement du combustible nucléaire jusqu'à l'évacuation définitive des déchets dans des formations géologiques profondes. On peut citer comme caractéristiques particulières du programme de la République fédérale d'Allemagne la mise au point d'un cycle de combustible du thorium et l'application pratique de l'évacuation dans les formations géologiques.

Jusqu'à récemment, le principe adopté en République fédérale d'Allemagne consistait à utiliser un seul site centralisant l'évacuation des déchets provenant des centrales nucléaires et des centres de recherche nucléaire, ainsi que des déchets provenant de l'application des radioisotopes en industrie, en médecine, etc. Les anciennes mines de sel d'Asse ont été utilisées à cette fin. Toutefois, en automne 1978, ce site a été fermé, le permis d'exploitation étant expiré, et il faudra attendre la délivrance d'un nouveau permis pour pouvoir y évacuer d'autres déchets.

Les principales exigences relatives à l'évacuation des déchets qui étaient encore en vigueur récemment sont les suivantes: a) les déchets doivent être solidifiés de façon homogène dans une matière peu lessivable; b) les conteneurs pour le transport des déchets doivent limiter le débit de dose à un maximum de 200 mrem/h à la surface du contenant et à 10 mrem/h à une distance d'un mètre; c) l'activité maximale admissible ne doit pas dépasser 25 Ci pour un conteneur qui enveloppe des déchets incorporés dans du béton.

Après la fermeture des mines de sel d'Asse, il a fallu stocker temporairement les déchets sur les sites mêmes des centrales nucléaires; cette période de stockage peut être assez longue — de l'ordre de plusieurs années.

Les déchets radioactifs liquides constituent une grande partie des déchets produits dans les centrales nucléaires, et ils sont traités par filtration mécanique, par évaporation et par échange d'ions.

Les déchets radioactifs solides sont compactés dans des barils d'acier de 200 litres.

Une seule méthode de solidification des déchets est actuellement employée dans les centrales nucléaires, à savoir l'incorporation dans du béton. Les autres méthodes qui pourraient être utilisées aux sites des centrales nucléaires, comme l'incorporation dans le bitume ou la solidification avec usage de plastiques, en sont encore au stade de la mise au point. Leur utilisation a été retardée principalement par le danger d'incendie que présente la bitumisation et le coût comparativement élevé du plastique.

Il existe une tendance intéressante dans le traitement des déchets provenant des centrales nucléaires en République fédérale d'Allemagne. Comme il n'existe pas de règlement définitif sur l'évacuation des déchets ni sur les propriétés des déchets traités destinés à être enfouis, il est impossible, étant donné que les coûts d'investissement sont très élevés, de mettre au point des systèmes stationnaires pour le traitement définitif des déchets sur le site même de la centrale. C'est la raison pour laquelle des travaux intensifs ont été menés sur la mise au point de systèmes mobiles de solidification des déchets, qui puissent être transportés d'une centrale à une autre. Ces systèmes consistent en général à incorporer les

déchets dans le béton; le plastique n'est utilisé que dans un seul dispositif pour la solidification des déchets de moyenne activité, comme les résines échangeuses d'ions.

On envisage de construire une grande installation de retraitement du combustible nucléaire, d'une capacité de 1400 tonnes de combustible par an, à Gorleben, où il existe des conditions favorables d'évacuation des déchets dans des formations salines profondes. Plusieurs procédés de solidification des déchets de haute activité sont en cours de mise au point en République fédérale d'Allemagne. L'un d'entre eux a été mis au point à Karlsruhe; il s'agit de la solidification de déchets de haute activité par le procédé PUREX. Le système est fondé sur l'utilisation d'un dispositif de calcination à pulvérisation, avec un creuset en céramique. L'alimentation du dispositif pilote est assez élevée: 30 litres de solution de déchets par heure. Les recherches se poursuivent sur la vitrification des solutions inactives.

Dans un autre centre nucléaire, à Juliers, on a mis au point le procédé FIPS, qui convient pour la vitrification des déchets à partir du retraitement non seulement du combustible des réacteurs à eau légère, mais encore du combustible des réacteurs à haute température contenant du thorium. Des essais ont été menés sur des solutions radioactives dans cette installation pilote. Ces deux installations sont conçues pour la production de verre borosilicaté.

Un troisième procédé, dénommé PAMELA, est conçu pour la production de perles de verre de phosphate et leur incorporation dans une matrice de métal. Ce procédé est conçu pour la vitrification des déchets de haute activité stockés à l'installation de retraitement du combustible de Mol (Belgique).

Comme nous l'avons déjà signalé, le principe d'une évacuation centralisée des déchets est accepté en République fédérale d'Allemagne. L'évacuation des déchets qui est réalisée de façon tout à fait satisfaisante dans les mines de sel d'Asse depuis plus de dix ans démontre que cette méthode est réalisable. Une autre possibilité d'utilisation des formations géologiques profondes est l'enfouissement des déchets dans des mines de fer. Des recherches sont menées sur la possibilité d'utiliser de telles formations en Allemagne.

FRANCE

En France, la physique nucléaire est étudiée depuis la découverte par Becquerel du phénomène de la radioactivité en 1896, et depuis qu'ont été découverts par la suite les éléments radioactifs et la radioactivité artificielle, grâce aux recherches de ces pionniers qu'ont été Pierre Curie, Marie Sklodowska-Curie et Irène et Frédéric Joliot-Curie. Le programme nucléoénergétique français se caractérise par des plans polyvalents dont elle poursuit résolument la réalisation. Le fonctionnement d'un grand nombre de centrales fondées sur l'utilisation de réacteurs à eau ordinaire d'une capacité installée d'environ 40 000 MW(e) est prévu pour 1985. Etant donné que la France construit des réacteurs rapides et qu'elle retire le combustible nucléaire, l'éventail de la gestion des déchets radioactifs dans ce pays est de toute évidence très large, allant des déchets de faible activité aux déchets de haute activité. Les sources principales de déchets en France sont les centrales nucléaires et les installations de retraitement du combustible nucléaire. Prenons comme exemple la centrale nucléaire moderne de Fessenheim, qui a une capacité installée de 900 MW(e) et qui fonctionne avec un réacteur à eau pressurisée, principal type de réacteur qui sera utilisé à l'avenir dans les centrales nucléaires françaises. On peut s'attendre qu'une centrale de ce genre produise, après traitement et emballage, quelque 500 mètres cubes de déchets de faible et de moyenne activité par an. Ces déchets sont traités par incorporation dans du béton pour les déchets liquides, et par compactage pour les déchets solides. Pour le futur, la possibilité d'incorporer les déchets dans du bitume ou dans une matrice de plastique résistant à la chaleur est à l'étude. Après avoir été condi-

tionnés, les déchets solidifiés sont transportés vers une centrale de stockage située près de la centrale de retraitement du combustible nucléaire de La Hague.

Depuis 1969, quelque 70 000 mètres cubes de déchets ont été stockés dans cette installation. Le stockage des déchets pour une longue période sur le site des centrales nucléaires est interdit.

Le retraitement du combustible nucléaire provenant des réacteurs à eau pressurisée doit commencer à La Hague en 1980. La capacité prévue — 1600 tonnes par an — sera atteinte en 1987. Une tonne de combustible d'uranium épuisé produit jusqu'à 500 litres de déchets liquides de haute activité (jusqu'à 10 000 ci/l). Les déchets de haute activité font actuellement l'objet de stockage, mais cela implique des dépenses d'investissement considérables pour la construction de réservoirs, et exige un contrôle minutieux. C'est pourquoi, depuis près de 20 ans déjà, la France étudie de très près le problème de la solidification des déchets liquides de haute activité. De toutes les méthodes possibles de solidification de ces déchets, la plus poussée jusqu'à présent est la vitrification. Les principaux avantages de cette méthode sont que l'on peut produire une matière solidifiée peu lessivable, tout en réduisant considérablement le volume des déchets, et que le procédé peut être pratiqué à l'échelle industrielle. Après la mise au point du procédé de vitrification au verre borosilicaté sur le dispositif PIVER, l'AVM (Atelier de Vitrification de Marcoule) a été construit à Marcoule pour la vitrification des déchets de haute activité. Cette installation a été terminée en février 1977 et, après une période d'essai sur des solutions inactives, le traitement de solutions radioactives a commencé en juin 1978. Dans l'atelier de vitrification, on utilise un procédé continu de calcination des déchets liquides, puis on fait fondre le calcinat avec des additifs de vitrification. La production maximale de l'atelier est de 18 kg de verre par heure pour un apport de 40 litres de solution de déchets par heure. Le verre en fusion est versé dans des conteneurs métalliques de 50 cm de diamètre et d'un mètre de long.

Ces conteneurs sont stockés dans la même installation, dans des chambres spéciales à refroidissement par air pulsé.

L'AVM est conçu pour traiter tous les déchets industriels de la centrale nucléaire de Marcoule, y compris les déchets qui y ont été accumulés antérieurement. L'atelier de vitrification qu'il est prévu de construire à La Hague (l'AVH) sera réservé à la vitrification des déchets produits pendant le retraitement du combustible des réacteurs à eau légère. Les déchets vitrifiés de ce combustible produiront sensiblement plus de chaleur, car la combustion nucléaire sera plus élevée, et ils devront faire l'objet d'un refroidissement préliminaire dans des bassins d'eau pendant quatre ans avant de pouvoir être refroidis à l'air. Etant donné qu'aucune décision n'a encore été prise sur la méthode d'évacuation définitive des déchets de haute activité, les déchets des installations de stockage seront récupérés ultérieurement et transportés vers le site d'enfouissement.

On considère que la méthode d'évacuation la plus prometteuse est l'enfouissement des déchets de haute activité dans des formations géologiques stables, en particulier de roches granitiques, qui représente l'option la plus acceptable en France. Toutefois, l'étude de cette possibilité en est encore à ses débuts, car on ne prévoit aucun besoin urgent d'évacuation géologique avant la période 1985—1990, en fonction du rythme d'expansion de l'énergie d'origine nucléaire.

HONGRIE

En Hongrie, l'usage des radioisotopes est fort répandu en médecine, en industrie et en agriculture, et le pays s'est lancé dans un programme nucléoénergétique. Dans la mise au

point de systèmes de traitement, de stockage et d'évacuation des déchets radioactifs, les autorités hongroises prennent comme hypothèse qu'il ne s'agira que de déchets radioactifs de faible et de moyenne activité. La raison en est que le programme hongrois de production nucléoénergétique ne comporte aucun plan pour le retraitement du combustible nucléaire épuisé. La première centrale nucléaire du pays, appelée PAKS, commencera à fonctionner au début des années 80.

Les déchets radioactifs liquides et solides qui seront produits par les centrales nucléaires hongroises seront stockés temporairement sur les sites des centrales, les concentrés, résidus et résines échangeuses d'ions épuisées étant emmagasinés dans des réservoirs, et les déchets solides dans des conteneurs appropriés. On pense que le volume prévu des installations de stockage sera suffisant pour permettre d'exploiter les centrales nucléaires pendant cinq à dix ans. Aucune décision n'a encore été prise sur le traitement et l'évacuation définitifs des déchets provenant de la centrale PAKS. Les méthodes envisagées de solidification des déchets liquides sont: l'incorporation dans le béton, la bitumisation et l'évaporation par un système d'évaporation-cristallisation. Les déchets solides seront compactés.

Le procédé d'évaporation-cristallisation repose sur l'emploi d'air chaud pour évaporer les déchets liquides. Dans ce procédé, la température du liquide n'atteint pas le point d'ébullition, et l'on peut obtenir un facteur élevé de décontamination des condensats par suite du transport réduit de radioactivité par entraînement des gouttelettes. Au cours des essais types, un facteur de décontamination de l'ordre de 10^4 à 10^5 a été obtenu pour divers éléments radioactifs. Le réservoir dans lequel se produit l'évaporation est utilisé par la suite comme conteneur pour l'enfouissement des déchets. La réduction significative du volume des déchets qui est obtenue réduit sensiblement le coût du transport des déchets.

Aucun site d'évacuation définitive des déchets des centrales nucléaires n'a été choisi jusqu'à présent.

Actuellement, la Hongrie possède une installation centrale d'évacuation des déchets provenant de l'utilisation médicale et industrielle des radioisotopes. Elle est située à 50 km de Budapest. Les boues et les concentrés obtenus après le traitement des déchets liquides y sont solidifiés, par incorporation dans du béton, dans les conteneurs de l'installation de stockage. Ces conteneurs sont des réceptacles de béton qui sont enfouis dans le sol à une profondeur qui peut atteindre six mètres. Outre le traitement et l'évacuation des déchets liquides, ce centre est également utilisé pour l'évacuation des déchets solides, des déchets liquides organiques et biologiques et des sources scellées de radiation de haute activité.

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE ALLEMANDE

La République démocratique allemande, comme la Tchécoslovaquie, met systématiquement en œuvre un programme nucléoénergétique. Actuellement, quatre centrales nucléaires d'une capacité installée d'un total de 1390 MW(e) fonctionnent dans le pays.

Le contrôle de la sûreté nucléaire, y compris les questions relatives à la gestion des déchets radioactifs, est effectué par un organe gouvernemental indépendant, le Conseil de la sûreté nucléaire et de la protection contre les rayonnements. Le programme de gestion des déchets radioactifs repose sur le principe suivant: stockage temporaire des déchets sur les lieux mêmes de production (centres de recherche nucléaire et centrales nucléaires), puis évacuation dans des formations géologiques profondes (formations salines).

Il existe un service d'évacuation des déchets, qui dépend du Conseil, et dont les fonctions comprennent le transport, le traitement et l'évacuation dans des mines désaffectées des déchets de faible activité provenant des centres de recherche nucléaire et des entreprises médicales et industrielles.

Un programme de recherche est mené sur la mise au point et l'essai de modèles de conteneurs pour le transport des déchets et des matières radioactives, y compris le combustible nucléaire épuisé.

TCHECOSLOVAQUIE

La Tchécoslovaquie possède non seulement une industrie d'extraction d'uranium, mais elle mène également des recherches approfondies en sciences nucléaires fondamentales et appliquées, et met en œuvre un vaste programme nucléoénergétique. Au cours des trente prochaines années, plusieurs centrales nucléaires, d'une capacité totale installée de 45 000 à 50 000 MW(e), doivent être construites en Tchécoslovaquie.

En Tchécoslovaquie, on peut diviser les déchets radioactifs en deux catégories: les déchets qui proviennent des installations nucléaires, et ceux qui proviennent des recherches sur les radioisotopes, en médecine et dans d'autres domaines de l'économie nationale.

La gestion des déchets en Tchécoslovaquie est influencée par les facteurs ci-après:

a) l'environnement a une capacité limitée d'absorption des rejets radioactifs, étant donné que la Tchécoslovaquie est un petit pays sans littoral, où les conditions géologiques et hydrologiques sont défavorables et la densité de la population élevée; b) les endroits inhabités à utiliser pour l'évacuation définitive des déchets font défaut; c) il est prévu que toutes les ressources d'eau seront utilisées comme eau potable ou eau d'irrigation; d) l'opinion publique s'oppose résolument à toute contamination radioactive de l'environnement.

C'est la raison pour laquelle toutes les activités nationales de gestion des déchets sont réglementées par des décrets du Ministère de la santé publique et contrôlées par un certain nombre de services d'inspection: santé, protection atmosphérique et ressources en eau. Les déchets provenant de l'industrie d'extraction d'uranium sont traités principalement par des méthodes d'échange d'ions et de coprécipitation, pour extraire l'uranium et le radium. Les résidus sont recouverts d'une couche de terre plantée d'arbres et de verdure.

Les déchets radioactifs liquides provenant des centrales nucléaires A-1 (150 MW(e)) et V-1 (440 MW(e)) sont traités par filtration, échange d'ions et évaporation. La pratique actuelle consiste à stocker temporairement les concentrés, les scories, les résidus et les résines échangeuses d'ions épuisées dans des réservoirs situés sur les sites des centrales.

Par exemple, les centrales V-1 doivent être équipées de 5 réservoirs souterrains, d'une capacité de 470 mètres cubes chacun, pour le stockage des concentrés liquides contenant jusqu'à 400 grammes de sel par litre. Grâce à ces récipients, la centrale devrait pouvoir fonctionner sans interruption de cinq à sept ans. Les résines échangeuses d'ions épuisées doivent être stockées pendant 15 ans dans deux réservoirs de 400 mètres cubes.

Les déchets de ce type seront solidifiés par cimentation sous vide ou par bitumisation. Pour le premier de ces procédés, on met successivement sous pression et sous vide un mélange de béton et de déchets. Les blocs obtenus sont très solides et leur teneur en eau très réduite. Le lessivage de ces déchets solidifiés ne dépasse pas 10^{-4} g/cm² par jour.

On utilise pour la bitumisation un dispositif d'évaporation à couches minces qui fonctionne à une température de 150°C et dans lequel on charge les déchets liquides et une émulsion de bitume. Des recherches approfondies sur les propriétés du produit fini ont montré que des déchets d'une activité pouvant aller jusqu'à 10 Ci/kg peuvent être incorporés dans le bitume.

Les déchets solides seront stockés dans des conteneurs en béton, puis, après les opérations de tri et de réduction de dimension, ils seront compactés dans des barils métalliques de

200 litres. Les déchets combustibles ne seront brûlés que lorsque des installations centrales de traitement des déchets seront disponibles sur les sites mêmes des centrales nucléaires.

Une installation de ce genre sera construite à Jaslowšk Bohunice.

Les déchets radioactifs de faible niveau provenant des centrales nucléaires seront évacués dans des chambres de béton imperméable enfouies dans le sol à une profondeur pouvant atteindre cinq mètres. Selon les plans, la construction de deux aires d'évacuation commencera en 1980, l'une en Moravie, l'autre en Slovaquie.

Les déchets radioactifs provenant des centres de recherche nucléaire, des instituts médicaux et des entreprises industrielles sont enfouis dans les puits d'une mine de calcaire désaffectée située près de Litoměřice. En cas de besoin, ces déchets sont solidifiés à l'Institut de recherche nucléaire de Rež. Il y a également un site d'évacuation pour les déchets provenant de l'industrie d'extraction d'uranium, qui est situé dans les anciennes mines d'uranium de Jachymov.

CONCLUSION

Si les exemples ci-dessus n'épuisent pas la question de la gestion des déchets radioactifs, ils permettent malgré tout de tirer un certain nombre de conclusions.

Le traitement et le stockage des déchets de faible et de moyenne activité ne posent pas actuellement de problèmes particuliers. Cela ne signifie pas, bien sûr, que les techniques de traitement de ces déchets ne seront pas développées plus avant, mais il est certain que l'utilisation sûre de l'énergie atomique est limitée par notre capacité de traiter et d'évacuer les déchets de faible et de moyenne activité.

Les centrales nucléaires, gros producteurs de déchets de faible et de moyenne activité, sont dotées de systèmes qui permettent de traiter les déchets conformément aux normes de sûreté applicables. La méthode la plus répandue jusqu'à présent consiste à incorporer les déchets dans du béton. Toutefois, les recherches se poursuivent sur la possibilité d'utiliser des procédés comme la bitumisation, la combustion, l'évaporation-cristallisation, etc. pour le traitement des déchets sur le site même de la centrale nucléaire.

On peut supposer que les méthodes de traitement des déchets qui peuvent réduire considérablement le volume des déchets seront de plus en plus utilisées, tant dans les pays qui pratiquent le stockage à long terme des déchets sur le site des centrales nucléaires que dans les pays où les déchets sont transportés vers une installation centrale de stockage.

Le retraitement du combustible nucléaire épuisé est en rapport direct avec le problème des déchets de haute activité. Actuellement, la vitrification est considérée comme la méthode la plus prometteuse de traitement de ces déchets. Leur évacuation définitive se fera probablement en deux étapes: stockage initial des déchets vitrifiés dans des installations où ils seront refroidis pendant la période nécessaire, puis transfert des déchets vers un site d'évacuation définitive, par exemple dans des formations géologiques profondes.

Des données sur les perspectives d'une méthode de ce genre sont déjà disponibles.

Des expériences réalisées aux Laboratoires nucléaires de Chalk River (Canada) sur des déchets vitrifiés enfouis dans le sol pendant 20 ans ont montré que le lessivage des radioisotopes du verre et leur taux de migration à travers le sol sont beaucoup plus faibles que prévu. Une expérience beaucoup plus impressionnante réalisée par la nature au Gabon — le phénomène Oklo — a également montré que presque tous les éléments radioactifs qui ont été constitués pendant le fonctionnement d'un réacteur naturel sont restés à leur emplacement de formation. Tous ces exemples nous donnent l'assurance que le problème de l'évacuation des déchets de haute activité pourra être résolu de façon satisfaisante.