

Informations nationales:

Les directives et la pratique en Inde

Aperçu technique des programmes et des plans

par N.S. Sunder Rajan

Le programme nucléaire de l'Inde prévoit un cycle du combustible entièrement autonome et fondé sur les ressources nationales. Dès le début, il a fallu évaluer les nuisances que pouvaient causer les déchets radioactifs aux différents stades du cycle — extraction et broyage du minerai, fabrication du combustible, exploitation du réacteur, retraitement du combustible épuisé. Il était indispensable de savoir aussi quelles pouvaient être les conséquences de l'évacuation de déchets radioactifs dans l'environnement et de mettre au point des techniques permettant d'isoler efficacement ces déchets. Plusieurs dizaines d'années d'expérience ont donné la preuve que les techniques actuellement utilisées sont sûres.

On cherche néanmoins toujours à mettre en œuvre de nouvelles techniques capables de réduire encore les rejets de radioactivité. Plus de 10 ans de recherche fondamentale et de développement dans différents domaines de la science et de la technologie nucléaires ont précédé la mise en œuvre du programme nucléo-énergétique indien, et un gros effort a été fait pour étudier et formuler des directives nationales en matière de gestion des déchets radioactifs.

Directives et objectifs

En apparence, la gestion des déchets radioactifs consiste à choisir entre deux options: soit conserver les déchets sous surveillance, soit les évacuer. Toutefois, comme on peut s'en douter, cette alternative apparemment simple est très difficile à résoudre, car la décision, quelle qu'elle soit, est lourde de conséquences économiques, sociales et autres.

Le programme indien prévoit en principe deux modes distincts d'élimination définitive des déchets radioactifs: le stockage à long terme des déchets d'activité basse et intermédiaire à faible profondeur sur un site spécialement aménagé et l'évacuation des déchets émetteurs alpha et de haute activité dans des couches géologiques profondes. D'autres options, tel le stockage souterrain à profondeur moyenne des déchets de moyenne activité, sont à l'étude, mais elles ne sont pas retenues dans la stratégie actuelle.

Une grande partie du futur programme indien concerne les déchets de haute activité et émetteurs alpha. Il s'agira notamment de mettre au point des matrices améliorées dont il faudra déterminer la stabilité à long

terme, compte tenu de l'effet des rayonnements et du vieillissement. Il faudra aussi mettre au point des procédés techniquement et économiquement viables pour traiter les radionucléides émetteurs alpha contenus dans les déchets de haute activité. Ce travail prendra toute son importance dans le proche avenir lorsque le programme de réacteurs à neutrons rapides de l'Inde sera mis en œuvre.

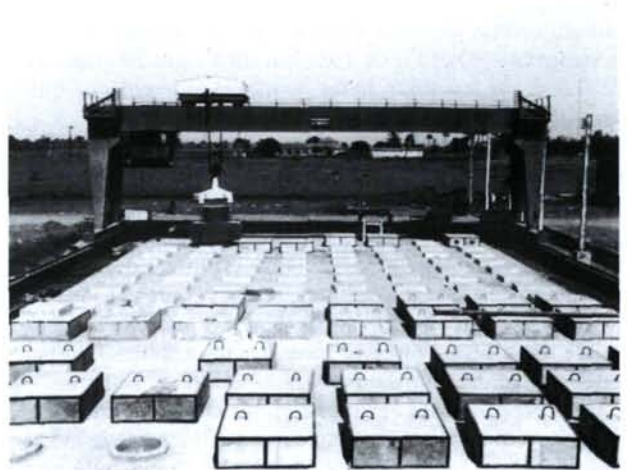
Il faudra aussi prévoir des opérations de démonstrations fondées sur des données expérimentales recueillies sur place, pour atteindre un degré de confiance suffisant dans l'évacuation de déchets vitrifiés de haute activité dans des formations géologiques profondes. Quant à la gestion des déchets de faible et moyenne activité, les résultats sont satisfaisants et l'on s'attend que les plans de gestion des déchets de haute activité qui seront bientôt mis à exécution marqueront aussi un progrès vers les objectifs du programme indien.

Politique de gestion

Les grandes directives de l'Inde en matière de gestion des déchets sont les suivantes:

- La radioactivité des déchets liquides et gazeux rejetés dans l'environnement devrait être maintenue à des niveaux aussi bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de considérations économiques et sociales (conformément au principe énoncé par la Commission internationale de protection radiologique).

Coffres en béton à revêtement intérieur d'acier, utilisés pour la gestion des déchets solides à Tarapur. (Photo: Bhabha ARC)



M. Rajan est directeur de la Division de la gestion des déchets, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde).

- Les déchets solides primaires conditionnés et les déchets provenant du conditionnement des déchets liquides des réacteurs en exploitation et des laboratoires de recherche, doivent être stockés à faible profondeur dans des installations spécialement conçues à cet effet. Les déchets conditionnés de faible et moyenne activité, ainsi que les contaminants alpha à l'état de trace provenant des installations de retraitement du combustible peuvent aussi être stockés dans ces installations.
- Les déchets liquides de haute activité provenant des usines de retraitement doivent être d'abord stockés temporairement, avant leur conditionnement, dans des réservoirs en acier inoxydable parfaitement étanches et très résistants, placés dans des entrepôts souterrains. Ces déchets seront par la suite vitrifiés en vue de leur stockage provisoire à faible profondeur dans des installations appropriées. Cette méthode permet à la chaleur de se dissiper et facilite en outre l'assurance de la qualité du produit solidifié avant son transport et sa mise en place dans un dépôt central.
- Les déchets conditionnés de haute activité et émetteurs alpha seront évacués dans des dépôts centraux aménagés à grande profondeur dans des formations géologiques présentant les caractéristiques voulues.

Déchets de l'extraction et de la préparation des minerais

En Inde, les minerais sont extraits par les méthodes classiques; en général leur teneur en oxyde d'uranium (U_3O_8) se situe aux alentours de 0,1%. Les méthodes par voie aqueuse et la ventilation assurent dans les mines la protection contre les concentrations excessives de radioactivité. La liqueur brute obtenue est traitée à la chaux et à la baryte afin de précipiter le radium et autres produits de filiation de l'uranium. Elle est ensuite évacuée dans une dépression naturelle qui fait office de bassin, avec les déchets du broyage, où on la laisse se décanter. Le trop plein est surveillé afin de s'assurer que son niveau de contamination par le radium et autres nucléides, tel le manganèse, reste inférieur aux limites admissibles.

Déchets de faible et moyenne activité des réacteurs et des opérations de retraitement

Auprès d'un réacteur, le principal souci sur le plan de la gestion des déchets radioactifs est dû à la contamination du fluide de refroidissement par des produits d'activation, de corrosion et de fission. Les principaux radionucléides en cause dans ce cas sont le caesium 137, le strontium 90 et l'iode 131, qui sont tous des produits de fission, et le cobalt, le fer, le nickel et le chrome qui sont des produits de corrosion et d'activation.

Les déchets liquides de faible activité sont traités par des procédés chimiques, par échange ionique et par évaporation. Normalement, ces déchets subissent un pré-traitement chimique visant à amener leur pH à une valeur convenable. On les mélange ensuite à des produits chimiques tels que phosphates, ferrocyanures et ions ferriques. On sépare ensuite la phase liquide de la phase solide dans des précipitateurs et des décanteurs. On peut atteindre un facteur de décontamination de 200.

Des procédés par échange ionique sont également utilisés pour extraire certains radionucléides de la masse des déchets. Des matières échangeuses d'ions, telle la

vermiculite ou la bentonite, sont largement employées tant dans des colonnes non récupérables que dans les opérations *in situ*. La décontamination se fait aussi à l'aide d'échangeurs d'ions synthétiques, car on peut les régénérer et leur pouvoir échangeur est plus élevé.

Les déchets liquides d'activité intermédiaire provenant des usines de retraitement du combustible contiennent notamment des résidus concentrés d'évaporation, des solutions résultant de l'extraction par solvant et des boues produites par les procédés de décontamination à l'eau.

L'évaporation à la vapeur à un passage est employée pour concentrer des déchets d'activité spécifique relativement supérieure. Les évaporateurs à circulation naturelle, associés à des dispositifs périphériques spécialement conçus, ont permis d'obtenir de très fortes réductions volumiques. Des facteurs de décontamination de l'ordre de 10^6 ont pu être ainsi obtenus.

Le souci constant de réduire au minimum les rejets de radioactivité dans l'environnement pousse à rechercher de très fortes réductions volumiques, avec des rejets pratiquement nuls, que l'on a pu réaliser grâce à l'évaporateur solaire sans ébullition qui est installé à la centrale nucléaire du Rajasthan. Ce site bénéficie de conditions climatologiques favorables — températures ambiantes élevées, faible humidité, vents forts — qui sont nécessaires à ce genre d'installation.

Fixation des déchets

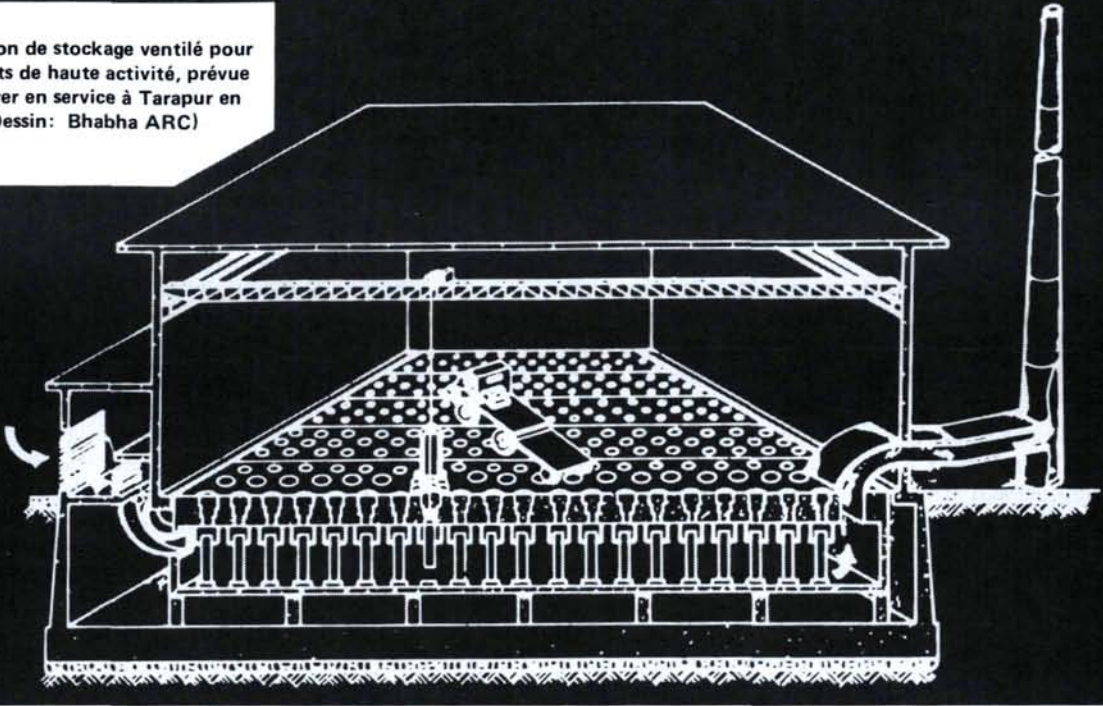
Les critères de conditionnement des déchets radioactifs concentrés sont généralement fonction de la teneur radioactive de ces déchets, de leur compatibilité avec le milieu dans lequel ils seront incorporés, et aussi des conditions environnementales si l'on envisage un stockage/élimination de longue durée. Diverses matrices, telles le ciment, le bitume et les polymères composites, sont employées pour fixer les concentrés de déchets de faible et moyenne activité.

● **Ciment.** Vu leur faible coût et la simplicité de leur préparation, le ciment et ses composés répondent au critère d'acceptation pour servir de matrice fixatrice aux concentrés de déchets de radioactivité relativement faible. Toutefois, vu leur forte porosité, il faut leur ajouter certains additifs ayant la propriété essentielle d'obturer activement les pores, afin d'augmenter leur durée utile.

● **Bitume.** Le bitume a été choisi pour y incorporer les déchets d'activité intermédiaire, car il peut accepter des courants aqueux contenant un fort pourcentage de solides dissouts et en suspension; il présente en outre l'avantage de se prêter à un traitement semi-continu et il est facile à manipuler à distance. Etant donné les caractéristiques du bitume que l'on peut se procurer sur place, la teneur du produit en sels ne doit pas dépasser 50%. Dans ces limites de teneur en sels et en activité, la radiolyse devrait être négligeable pendant le stockage à long terme.

L'installation de bituminisation de Tarapur a une capacité nominale de 120 litres à l'heure de déchets de radioactivité intermédiaire. Des évaporateurs à ruissellement avec agitateur, spécialement conçus, chauffés extérieurement par un circuit de fluide thermique, ont été utilisés pour opérer à la fois le mélange et l'évapor-

Installation de stockage ventilé pour les déchets de haute activité, prévue pour entrer en service à Tarapur en 1986. (Dessin: Bhabha ARC)



tion. Le produit résultant est soutiré près du fond de l'évaporateur dans des fûts d'acier spécialement fabriqués à cet effet. Ce procédé semi-continu permet d'obtenir environ 1000 fûts de déchets bituminisés par an. Les fûts pleins sont déposés dans des coffres souterrains à revêtement intérieur d'acier.

- **Polymères.** Des matrices en polymère (avec barrières incorporées) sont utilisées pour fixer les déchets générateurs de chaleur qui proviennent du retraitement de quelques combustibles. Les pièges destinés à retenir certains radionucléides sont en vermiculite de fine granulométrie. Ces pièges sont ensuite fixés dans une résine polyester-styrène non saturée durcissant par catalyse aux conditions ambiantes, ce qui donne un produit monolithique de bonne homogénéité et chimiquement stable. La teneur du produit en déchets peut atteindre 50%. Jusque à présent, on a pu fixer dans cette matrice de polymère, avec de bons résultats, environ 250 000 litres de ce type de déchets, représentant une radioactivité totale d'environ 1 million de curies.

Déchets de haute activité

Les déchets liquides de haute activité provenant des installations de retraitement du combustible sont actuellement stockés dans des réservoirs d'acier inoxydable de haute intégrité. Ces réservoirs sont entreposés dans des silos souterrains dont les parois portent un revêtement d'acier inoxydable qui sert de confinement secondaire et d'écran biologique. Un programme en trois étapes a été élaboré pour ces déchets: 1) fixation des déchets, essentiellement des oxydes, dans une matrice solide; 2) stockage aménagé pour environ 25 ans; 3) élimination.

Compte tenu des considérations techniques et économiques, il est prévu de stocker provisoirement les déchets liquides dans des réservoirs pendant 3 à 5 ans sur le site des installations de retraitement.

Les matrices de verre et de céramique satisfont au critère d'acceptation pour la fixation des déchets de

haute activité composés d'oxyde. En particulier, les verres au borosilicate présentent les avantages suivants: bonne résistance à la lixiviation, très bonne stabilité sous les contraintes radiologiques et thermiques, forte résistance mécanique, facilité relative de manutention et de transport.

L'usine de Tarapur

A Tarapur, la première installation de conditionnement des déchets de haute activité par fixation est en exploitation; on y utilise les procédés et les matrices fusibles déjà mis au point. Une matrice au borosilicate destinée à recevoir les oxydes est obtenue par un procédé au creuset en semi-continu consistant en une calcination suivie de fusion. Le verre est ensuite coulé dans le fût de stockage. Le matériel est disposé de façon à séparer les produits d'activités différentes, afin de permettre une maintenance facile et, lorsque c'est possible, moins mécanisée des diverses sections de l'installation.

Un projet récent prévoit l'implantation d'une usine analogue à Trombay. Le procédé de base sera le même qu'à Tarapur, mais le matériel, notamment le four, sera de conception sensiblement différente. On prévoit que cette seconde installation entrera en service en 1990. Une troisième usine est également en projet; elle sera installée à Kalpakkam et devrait entrer en service en 1993. Elle comportera une section spéciale pour les déchets du retraitement du combustible d'un réacteur surgénérateur rapide.

Stockage provisoire des déchets de haute activité conditionnés

Le stockage provisoire des déchets de haute activité conditionnés dans des lieux spécialement aménagés et sous surveillance est une nécessité qui n'est plus à démontrer. Parmi les diverses méthodes possibles de refroidissement, c'est le système de ventilation par convection (par l'intermédiaire d'une cheminée) qui a

été choisi pour l'installation de stockage surveillé des déchets solides de Tarapur. Cette installation, qui doit entrer en service en 1986, recevra les déchets conditionnés par les usines de Tarapur et de Trombay pendant 25 ans; la surveillance continue, le refroidissement et le contrôle radiologique y seront assurés.

Cette installation est spécialement conçue pour garantir l'intégrité des déchets conditionnés et des conteneurs à tout moment; pour assurer le refroidissement continu des déchets stockés échauffés par la décroissance radioactive; pour permettre de récupérer les conteneurs de déchets dans toutes les circonstances. La chaleur de décroissance établit un tirage dans une cheminée spécialement étudiée qui assure le renouvellement de l'air dans l'enceinte du dépôt. Le système se règle lui-même d'après les variations de température et les conditions atmosphériques.

Elimination des déchets radioactifs de courte période

L'isolement sous terre de ce type de déchets semble être actuellement la meilleure solution pour les éliminer. Les déchets de faible activité et de courte période déjà conditionnés sont reçus, transférés et placés dans des dépôts aménagés à faible profondeur dans le sol. Compte tenu de la nécessité de respecter les impératifs généraux de la sûreté, tant pour l'environnement que pour les opérations, l'expérience indienne montre qu'il est pratiquement inévitable d'accepter et d'adopter une approche globale en ce qui concerne la conception, l'emplacement et l'exploitation de ce genre de dépôt.

En général, l'aménagement des dépôts indiens consiste en tranchées de ciment et de béton armé, et en coffres de béton revêtus d'acier intérieurement. Etant donné la variété des conditions géohydrologiques rencontrées sur les différents sites, il faut en étudier les aspects spécifiques qui peuvent influencer la conception et la réalisation de chaque dépôt.

Au cours des années, la conception et la construction de ces dépôts n'a cessé d'évoluer. Parmi les principales innovations par rapport aux projets antérieurs, citons les suivantes: création d'une zone neutre entre la limite extérieure du dépôt et ses différents secteurs opérationnels; nette séparation, dès le stade de la conception, des services administratifs et d'appui et des secteurs opérationnels; aménagement d'installations éventuellement nécessaires pour séparer les déchets et, le cas échéant, pour les réemballer ou les recouvrir; aménagement et équipement d'emplacements réservés à la décontamination. Divers contrôles radiologiques et autres contrôles techniques sont effectués pour assurer l'intégrité et la surveillance de routine de ces installations.

Elimination des déchets radioactifs de longue période

La présence d'éléments transuraniens dans les déchets de haute activité et émetteurs alpha peut constituer une nuisance pendant de longues périodes. Diverses possibilités d'aménagement ont été examinées et l'on dispose de toute une gamme d'options possibles, mais c'est l'évacuation dans des formations géologiques

profondes qui a essentiellement retenu l'attention dans plusieurs pays. En Inde, le choix s'est fixé sur les formations de roche ignée et sur certains dépôts sédimentaires. Il existe dans le sud du bouclier péninsulaire, en particulier, des formations qui semblent se prêter au stockage à long terme, et même à l'élimination, des déchets de haute activité.

Le programme indien envisage actuellement d'étudier des sites possibles dans des formations homogènes et massives de gneiss et de granite de la région péninsulaire. A cette fin, une station expérimentale de recherche a été installée dans une partie désaffectée d'une mine souterraine située à Kolar, près de Bangalore. Les études en cours visent à déterminer si ces formations peuvent se prêter à l'évacuation définitive des déchets. Des dispositions ont été prises pour procéder à des expériences *in situ*, dans des conditions simulées, pour étudier le comportement thermique, mécanique, hydrologique, et chimique de la roche réceptrice.

Analyses de la sûreté

Les déchets destinés à être évacués dans ces dépôts doivent être définis et caractérisés quant à leur type et aux quantités en cause, compte tenu des critères relatifs aux doses de rayonnement acceptables, aux protections du dépôt et aux exigences techniques. Vu les échelles de temps qui s'appliquent en pareil cas, la performance de ces dépôts, peut, au mieux, être prédite. L'évaluation comporte une définition des caractéristiques génériques du milieu rocheux récepteur, une étude de la géohydrologie de la zone et de l'interaction entre les déchets et la roche. Dans le cas des dépôts à faible profondeur, l'analyse de sûreté consiste essentiellement à prévoir comment les radionucléides se distribueraient, dans le temps et dans l'espace, à la suite d'un rejet accidentel.

Estimation de la production de déchets en Inde

Les déchets solides primaires et les concentrés de déchets de faible activité constituent l'essentiel de la masse estimée des déchets qui seront produits en Inde jusqu'en l'an 2000, considérant une production prévue d'électricité de 10 000 mégawatts. Ces déchets se composent de matériel d'exploitation contaminé, de vêtements de protection, de filtres usagés, de précipités concentrés et de boues provenant des usines de traitement des déchets liquides de faible activité. Les déchets d'activité intermédiaire et de haute activité représentent un faible volume, mais ils contiennent l'essentiel de la radioactivité.

	1985	2000
Puissance installée (mégawatts électriques)	1350	10 000
Déchets solides primaires* (en m ³)	1850	107 000
Concentrés de déchets de faible activité (en m ³)	3000	77 100
Déchets d'activité moyenne (en m ³)	800	19 900
Déchets de haute activité (en m ³)	450	8 000

* Jusqu'à 10⁴ röntgens/heure.

