

Ce plafond de risque découle du plafond de dose (principe n° 5). Par exemple, la limite de dose intégrale pour les membres du public recommandée actuellement par la CIPR, à savoir 1 millisievert par an, représente sur toute une vie un risque annuel grave pour la santé d'environ 1 personne sur 100 000. Le plafond de risque est une fraction de ce chiffre, à déterminer par les autorités nationales.

Principe n° 7 (sûreté radiologique supplémentaire). Les plafonds de dose et de risque servent à garantir le niveau de sûreté spécifié par individu et il est recommandé que toutes les expositions soient maintenues au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre.

Critères techniques

Des critères techniques complètent ces principes de sûreté par des recommandations relatives aux moyens de les appliquer. On note en particulier les prescriptions relatives aux systèmes à barrières multiples, au choix du site géologique et à la nécessité de tenir compte des ressources minérales naturelles lorsque l'on procède à ce choix.

Résumé

Le rapport de l'AIEA expose un ensemble de principes et de critères approuvés au niveau international concernant la conception de dépôts pour l'évacuation de déchets fortement radioactifs en couches géologiques profondes.

Dans la mesure du possible, au stade actuel de développement des techniques, et compte tenu de la diversité des méthodes appliquées dans les pays membres, la nouvelle norme vise à harmoniser les caractéristiques fondamentales de conception des dépôts de déchets fortement radioactifs.

Les principes de sûreté et les critères techniques sont là pour faciliter l'élaboration ultérieure de normes de performance plus précises et plus détaillées dont certaines devront être adaptées au site.

Protection des écosystèmes et stockage définitif des déchets radioactifs

Présentation d'études et d'évaluations récentes

par Gordon Linsley

La réglementation des activités impliquant un rejet de matières radioactives dans l'environnement a pour objet principal d'assurer la protection des personnes et des populations humaines. On suppose qu'une fois cet objectif atteint les autres espèces, sinon nécessairement les individus de ces espèces, seront automatiquement protégées*. Dans la plupart des cas, la limitation des doses de rayonnement à l'homme doit normalement garantir que les doses délivrées aux autres organismes seront elles aussi faibles et inférieures aux niveaux au-delà desquels des changements écologiques pourraient intervenir**. Depuis 30 ans que l'énergie nucléaire est exploitée, ces thèses n'ont jamais été sérieusement remises en cause. Cependant, la question est régulièrement débattue et a récemment fait l'objet de plusieurs études et évaluations.

Nous envisagerons ici trois scénarios (ou cas) d'expositions possibles de l'homme et des autres organismes vivants. (Voir schémas page 29.)

Cas A. L'hypothèse générale selon laquelle les espèces animales et végétales sont suffisamment protégées semble à première vue raisonnable lorsqu'il s'agit de rejets de radionucléides dans la biosphère, très près des lieux d'habitation humaine. Là, les concentrations de radionucléides dans l'environnement sont maintenues à de très faibles niveaux pour que les doses de rayonnement aux humains restent bien en deçà des limites fixées. Cependant, si l'on sait que la radiosensibilité des végétaux et des animaux est très variable et que la flore et la faune peuvent se trouver exposées à des doses

M. Linsley est membre de la Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets de l'AIEA.

* *Recommandations de la Commission internationale de protection radiologique*, publication de la CIPR n° 26 (1977).

** *Radionuclide Release into the Environment: Assessment of Doses to Man*, (Les rejets de radionucléides dans l'environnement, évaluation des doses à l'homme), publication de la CIPR n° 29 (1978).



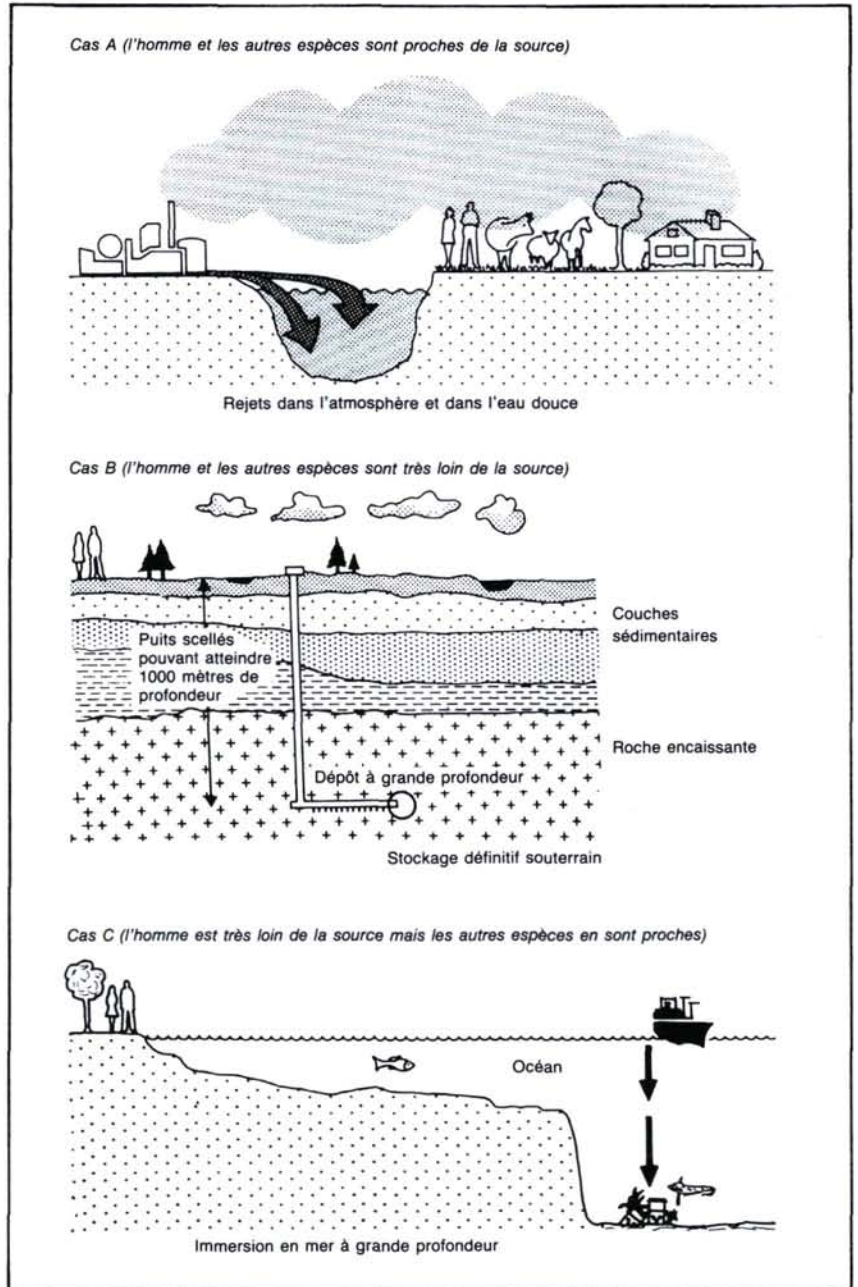
de rayonnement plus élevées que l'homme vivant dans le même environnement, on peut se demander si la question ne mérite pas un examen plus approfondi. L'accroissement de la radioactivité est parfois dû à des processus de transfert du sol vers la plante pouvant conduire à l'accumulation de radionucléides par les plantes et par les animaux. Il se peut aussi qu'en raison de leur régime alimentaire spécifique certains animaux soient amenés à incorporer certains radionucléides en grandes quantités. Parfois, les plantes et divers animaux se trouvent à proximité plus immédiate des radionucléides dispersés dans le sol et les eaux et risquent, de ce fait, de recevoir des doses de rayonnement externe plus élevées que l'homme vivant dans le même milieu ambiant.

Cas B. Le stockage définitif des déchets radioactifs solides dans des formations géologiques profondes se fait dans des environnements essentiellement abiotiques (dépourvus d'organismes vivants). Une série de barrières imperméables entourent les déchets pour empêcher la migration des radionucléides et leur retour à l'homme. Les installations de stockage définitif à faible profondeur constituent un cas à part car bon nombre d'entre elles sont situées dans des milieux accessibles aux végétaux et animaux supérieurs.

Cas C. Pour l'immersion en mer, à grande profondeur, de déchets emballés de faible activité, l'hypothèse avancée au sujet de la protection des espèces autres que l'espèce humaine est un peu plus discutable. En effet, les déchets sont immergés à grande profondeur et très loin de l'homme, mais il est possible que les organismes marins vivant en eau profonde reçoivent des doses de rayonnement relativement élevées alors que les doses aux humains restent acceptables.

Il est clair, dans ce cas tout au moins, que le risque est sans doute plus grand pour les biotes naturels que pour les humains. A cet égard, notons toutefois qu'il y a une différence fondamentale dans la manière dont nous considérons les risques encourus par notre propre espèce et ceux qui pèsent sur la flore et la faune. Lorsque nous évaluons le risque pour l'homme, nous pensons surtout à l'individu, auquel nous attribuons beaucoup de valeur et d'importance. En revanche, la plupart des autres espèces sont plutôt envisagées globalement comme des populations.

Nous allons maintenant faire le point des travaux récents ou actuels de l'Agence et de certains pays sur les



effets des rayonnements dus aux pratiques de stockage définitif des déchets. Ces études, il convient de le souligner, portent sur les effets imputables aux pratiques contrôlées de stockage définitif des déchets radioactifs, et non sur ceux qui pourraient être dus à des rejets accidentels de radionucléides ou à un stockage définitif non contrôlé des déchets.

Méthode d'évaluation

Pour les principales études considérées, on a procédé de la manière suivante: a) examen des informations relatives aux effets des rayonnements ionisants sur les organismes naturels; b) détermination des doses et débits de dose au-delà desquels on constate des effets nocifs pour les populations de différents types de plantes et d'animaux; c) estimation des doses et débits de dose aux

plantes et aux animaux résultant du rejet contrôlé de radionucléides dans des conditions conformes aux normes de radioprotection applicables à l'homme; et d) comparaison des doses et débits de dose décrits sous b) avec les valeurs indiquées sous c) en vue de déterminer si les normes de radioprotection applicables à l'homme protègent suffisamment les populations végétales et animales.

Cas A: Rejets dans l'atmosphère et dans les eaux de surface

Une étude patronnée par l'AIEA sur les conséquences pour les plantes et les animaux des rejets contrôlés de radionucléides dans l'atmosphère et dans les milieux aquatiques (eau douce) est sur le point de s'achever*. Une synthèse de toute la documentation relative aux effets des rayonnements sur les écosystèmes terrestres et aquatiques (eau douce) a permis de conclure que les irradiations chroniques à des débits de dose inférieurs ou égaux à 1 mGy/jour ($\text{mGy} \cdot \text{d}^{-1}$) dans les écosystèmes terrestres et à 10 $\text{mGy} \cdot \text{d}^{-1}$ dans les milieux d'eau douce ne sauraient avoir d'effets nocifs mesurables sur les populations. Des études antérieures de l'Agence et un rapport récemment publié aux Etats-Unis d'Amérique sont parvenus à des conclusions analogues en ce qui concerne l'environnement aquatique**.

Dans la toute dernière étude patronnée par l'AIEA, on a évalué, par des calculs simplifiés et en utilisant les valeurs les plus restrictives, les débits de dose de rayonnement maximaux pouvant être délivrés aux organismes vivant dans les écosystèmes terrestres et aquatiques d'eau douce, à la suite de rejets contrôlés de radionucléides. Les taux de dégagement ont été choisis de manière à ce que les doses de rayonnement aux êtres humains les plus exposés soient équivalentes à la limite de dose annuelle fixée pour les membres du public (1 millisievert/an). Les substances radioactives effectivement libérées dans l'environnement ne représentent qu'un faible pourcentage de ces valeurs en raison de l'application du principe du maintien des expositions au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre (ALARA). L'approche maximaliste adoptée pour les calculs (tant en ce qui concerne les taux de dégagement pris comme hypothèse que la méthode suivie pour l'évaluation des doses) donne des estimations de dose de rayonnement aux plantes et aux animaux qui se situent à la limite supérieure des doses possibles imputables à des rejets contrôlés.

Les estimations donnent des doses inférieures aux niveaux au-delà desquels on peut prévoir des effets délétères sur les populations. En outre, et dans la plupart des cas de figure, le pourcentage des populations animales et végétales susceptibles de recevoir ces doses est minime.

* *Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards*, projet de rapport.

** *Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms and Ecosystems*, AIEA, n° 172 de la Collection Rapports techniques, Vienne (1976); *Assessing the Impact of Deep Sea Disposal of Low Level Radioactive Waste on Living Marine Resources*, AIEA, n° 288 de la Collection Rapports techniques, Vienne (1988); *Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms*, US National Council on Radiation Protection and Measurements, projet de rapport.

Il faut toutefois souligner que l'on est relativement peu renseigné sur les effets des rayonnements sur les espèces autres que l'homme et que les estimations ci-dessus doivent être considérées avec prudence car elles peuvent ne pas valoir pour tous les scénarios possibles.

Une autre étude qui tente de répondre aux questions concernant les effets possibles sur les arbres et les forêts du rejet d'aérosols radioactifs par les centrales nucléaires montre que les doses imputables à ces aérosols ne peuvent constituer qu'une infime fraction des doses dues au fond de rayonnement naturel*.

Cas B: Stockage définitif des déchets radioactifs à grande profondeur

Cette opération a pour objet d'isoler ces déchets de l'environnement de l'homme. Les formations géologiques profondes offrent des barrières naturelles et les déchets sont isolés par toute une série de barrières artificielles. Celles-ci comprennent la forme ou la matrice du déchet, souvent constituée de matières insolubles comme le verre, le conteneur qui, pour un déchet de haute activité, peut être conçu pour durer pendant des milliers d'années et, enfin, le matériau tampon, généralement une couverture d'argile, destiné à empêcher les entrées d'eau et à retarder la migration des radionucléides. Cette dernière n'est envisageable que dans un avenir très lointain; en outre, toute activité parvenant jusqu'à la biosphère sera nécessairement très faible vu les phénomènes de désintégration radioactive et de dilution en cours de transport souterrain, et il est pratiquement impossible qu'elle atteigne des niveaux assez élevés pour nuire à l'homme, aux plantes ou aux animaux.

Stockage des déchets radioactifs à faible profondeur

Le stockage définitif à faible profondeur et en milieu terrestre est la solution retenue par de nombreux pays pour l'évacuation des déchets de courte période et de faible à moyenne activité. Avec ce mode de stockage, l'isolation est moindre que dans des formations géologiques profondes, et il est possible que dans certains types de sites de stockage à faible profondeur les plantes et les animaux entrent en contact avec les déchets. Lors d'expériences antérieures de stockage de déchets non emballés dans de simples tranchées, on a parfois constaté que la tranchée était inondée en raison d'un mauvais choix du site ou d'un drainage insuffisant, et que les radionucléides débordaient latéralement la zone de la tranchée, s'infiltraient dans le sol et parfois même atteignaient un cours d'eau ou les eaux souterraines**. Dans les installations modernes à faible profondeur, les plantes, les animaux et l'homme risquent beaucoup moins d'être en contact avec les déchets qui sont enrobés et isolés par des barrières en béton. L'enrobage des déchets et le choix approprié des sites, associés à une

* *Betrachtungen zur Strahlenexposition von Bäumen durch natürliche und künstliche Strahlenquellen*, par W. Jacobi et H.G. Paretzke, GSF, rapport 5/86 (1986).

** *Shallow land burial of low-level radioactive wastes in the USA*, IAEA-SM-243/152 (1980).

bonne conception du dépôt, contribuent aussi à réduire les risques de migration des radionucléides.

Dans la toute dernière étude de l'AIEA, on a calculé les doses de rayonnement aux plantes et aux animaux en contact avec un dépôt à faible profondeur, en supposant que la radioactivité des déchets avait été auparavant ramenée aux limites fixées pour l'homme. On est parvenu à des conclusions analogues à celles auxquelles on était parvenu pour les rejets contrôlés dans l'atmosphère et dans l'environnement aquatique d'eau douce; cela dit, il se peut que certains des sites de stockage définitif les plus anciens contiennent des concentrations de radionucléides plus élevées que prévu. Cependant, dans les dépôts modernes ouverts qui contiennent des déchets sous forme conditionnée, les effets des rayonnements sur les plantes et les animaux ne peuvent être que très localisés dans l'espace, et la part de la population animale ou végétale susceptible d'être exposée est réduite.

Cas C: Immersion en mer

Un rapport de l'Agence traitant des effets que l'immersion en mer de déchets emballés de faible activité peut avoir sur les organismes marins vivant à grande profondeur a récemment été publié; un article à son sujet est paru dans le *Bulletin de l'AIEA**. En résumé, cette étude montre que certaines espèces marines vivent à proximité de lieux d'immersion par ailleurs très éloignés des populations humaines et risquent de ce fait de recevoir des doses de rayonnement relativement importantes, alors que les doses à l'homme restent elles très faibles. L'immersion en mer de déchets emballés de faible activité aux taux de dégagement maximaux autorisés par la définition actuelle de l'AIEA pour la Convention de Londres sur l'immersion peut, semble-t-il, avoir un certain impact sur l'environnement**. C'est là un des

facteurs dont il faudra tenir compte pour toute révision future des recommandations de l'Agence concernant les pratiques d'immersion en mer. Il convient toutefois de souligner que les pratiques d'immersion suivies dans l'Atlantique Nord avant le moratoire volontaire décrété en 1983 par les Etats parties à la Convention de Londres se caractérisaient par des taux de dégagement qui ne représentaient qu'un petit pourcentage des valeurs autorisées par la définition en vigueur. Une étude de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire a conclu que les pratiques d'immersion antérieures au moratoire ne causeraient pas de dommages perceptibles à l'environnement*.

Conclusion

Les études évoquées ci-dessus tendent à confirmer la thèse de la Commission internationale de protection radiologique relative à la radioprotection des populations d'espèces vivantes autres que l'espèce humaine.

Lorsque l'homme vit à proximité immédiate des autres espèces exposées, ce que l'on sait de la radiosensibilité des organismes vivants donne à penser qu'en protégeant l'homme on protège aussi les autres espèces. Cependant, ces données sont loin d'être complètes et la radiosensibilité de nombreuses populations végétales et animales n'a jamais fait l'objet de recherches**. En outre, les effets synergétiques dus à la présence d'autres polluants de l'environnement sont encore mal connus. C'est pourquoi les hypothèses avancées sont trop fragiles pour que l'on s'estime en droit de négliger le problème.

En effet, dans certaines circonstances, l'homme peut se trouver bien plus éloigné d'un point de rejet de radionucléides que d'autres espèces vivantes; il est alors nécessaire d'examiner séparément la question de la protection des populations végétales et animales.

* "Les rejets en mer et la protection des poissons ... et de l'homme" par A. Hagen, *Bulletin de l'AIEA*, n° 4, volume 30 (1988), commentaire sur un rapport technique de l'AIEA intitulé *Assessing the Impact of Deep Sea Disposal of Low-Level Radioactive Waste on Living Marine Resources*, n° 288 de la Collection Rapports techniques (1988).

** *Définition et recommandations pour la Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et autres matières*, 1972, édition de 1986, n° 78 de la Collection Sécurité de l'AIEA, Vienne (1986).

* "Review of the Continued Suitability of the Dumping Site for Radioactive Wastes in the North-East Atlantic", Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques, Paris (1985).

** "Environmental Monitoring for Radionuclides in Marine Ecosystems: Are Species Other Than Man Protected Adequately?" par P.M. Thompson, *Journal of Environmental Radioactivity* (1988) 275-283.

