

La Conférence sur la gestion des déchets radioactifs

par S. Fareeduddin et J. Hirling*

L'énergie nucléaire est utilisée à l'échelle industrielle pour produire de l'électricité depuis bientôt 30 ans. On peut donc dire que l'industrie nucléo-énergétique a atteint sa maturité. Les problèmes de gestion des déchets radioactifs ont été résolus de manière satisfaisante dans le passé, mais avec la montée des préoccupations concernant la sûreté à long terme et la protection de l'environnement ces problèmes deviennent de plus en plus cruciaux dans les efforts déployés pour faire accepter l'énergie nucléaire en tant que source d'énergie industrielle à part entière.

On a donc jugé opportun d'organiser au début de cette année une conférence internationale chargée d'examiner l'ensemble des problèmes que pose la gestion des déchets radioactifs et leurs incidences sur les programmes nucléo-énergétiques nationaux. La conférence a eu lieu du 16 au 20 mai, à Seattle, Washington (Etats-Unis). La réponse a été satisfaisante, reflétant l'intérêt que la question suscite dans le monde: la conférence a réuni 528 participants de 29 Etats Membres de l'AIEA et de huit organisations internationales. Les travaux ont été répartis en 21 séances, au cours desquelles ont été présentés 149 mémoires et un rapport de l'AIEA sur ses propres travaux dans ce domaine. Une séance supplémentaire a été consacrée à deux tables rondes, l'une sur les perspectives d'intensification de la collaboration internationale et l'autre sur la synthèse des résultats de toutes les séances techniques.

Le programme de la conférence avait été conçu de manière à donner un aperçu de l'état des connaissances actuelles dans les cinq grands domaines suivants:

- politique de gestion des déchets et sa mise en œuvre: approches nationales et internationales; aspects juridiques, économiques, environnementaux et sociaux (quatre séances au cours desquelles 27 mémoires ont été présentés par 16 pays et quatre organisations internationales);
- manipulation, traitement et conditionnement des déchets provenant d'installations nucléaires, de centrales nucléaires et d'usines de retraitement, y compris la manipulation et le traitement des effluents

* M. Fareeduddin est Directeur de la Division du cycle du combustible nucléaire de l'AIEA et Président du Comité directeur de la Conférence internationale sur la gestion des déchets radioactifs. M. Hirling est Chef de la Section de la gestion des déchets de la Division du cycle du combustible nucléaire et Coordonnateur scientifique de la conférence.

gazeux et des déchets spéciaux (cinq séances, 35 mémoires);

- stockage provisoire et stockage définitif souterrain des déchets radioactifs: généralités, conceptions nationales, laboratoires souterrains, et modèles de dépôts pour le stockage définitif de déchets de haute activité, et de faible et moyenne activité (cinq séances, 35 mémoires);
- évaluation des systèmes de gestion des déchets au point de vue de l'environnement et de la sûreté — objectifs et méthodes des évaluations des dépôts de stockage dans des formations géologiques, des déchets de faible et moyenne activité et des résidus de traitement (quatre séances, 26 mémoires);
- rejets dans l'environnement de déchets radioactifs provenant d'opérations nucléaires: état actuel et perspectives de la technologie, processus de transport dans le milieu et limitation des rejets de déchets radioactifs dans l'environnement (trois séances, 23 mémoires).

Les mémoires présentés ont été choisis parmi près de 500. Le Secrétariat scientifique a pris soin d'inscrire au programme les nombreuses études qui ont été entreprises par l'Agence et d'autres organisations dans des domaines particuliers de la gestion des déchets ainsi que sur la politique de gestion des déchets et sa mise en œuvre dans les pays qui utilisent l'énergie nucléaire. On a jugé bon également de retenir des rapports sur les travaux réalisés dans des pays avancés dans le domaine nucléaire concernant le stockage définitif souterrain des déchets, le traitement et le conditionnement du combustible irradié et des déchets de retraitement, et la gestion des résidus du traitement de l'uranium; on s'est aussi efforcé de placer les problèmes de gestion des déchets radioactifs dans un cadre plus large et de les comparer aux autres incidences radiologiques de l'industrie nucléaire et à la question de la gestion des déchets chimiques. Environ 70 des mémoires présentés avaient été demandés expressément par le Secrétariat.

Le Directeur général de l'AIEA, M. Hans Blix, et des représentants du Gouvernement des Etats-Unis et de l'Etat de Washington ont pris la parole à la séance d'ouverture de la conférence. M. M.J. Lawrence, Directeur adjoint du Nuclear Waste Policy Act Project Office du Département de l'énergie des Etats-Unis, a déclaré que la conférence «était particulièrement

appropriée et opportune» parce-qu'elle était centrée sur «un défi que la communauté internationale doit relever si nous voulons mettre l'énergie nucléaire au service de tous» et sur «un secteur où notre intérêt commun pour un environnement mondial acceptable exige une coopération internationale étroite».

Le ton de la conférence a été donné par deux exposés introductifs sur l'état des techniques de gestion des déchets et sur les principales tendances des travaux de recherche-développement dans la réalisation des programmes de gestion des déchets. Le premier orateur, M. J.A. Liebermann, un pionnier de la gestion des déchets aux Etats-Unis depuis les années 50, a déclaré que l'on disposait des techniques voulues pour implanter, concevoir, construire et exploiter à des prix raisonnables des systèmes de gestion des déchets qui répondent à des exigences de radioprotection très rigoureuses, et qu'aucune percée technologique n'était nécessaire. Le deuxième orateur était M. J.F. Lefèvre, Directeur du Département des effluents et des déchets radioactifs au Commissariat à l'énergie atomique français. Les deux orateurs ont rappelé que les recherches réalisées et la longue expérience accumulée en matière de gestion des déchets radioactifs constituaient une base solide pour la mise en œuvre de systèmes industriels et de projets spécifiques.

L'Agence a présenté un rapport sur les objectifs, les activités et les résultats de son propre programme sur la gestion des déchets, en soulignant les faits nouveaux et la collaboration avec d'autres organisations internationales dans les domaines pertinents. Elle a notamment insisté sur les activités systématiques et complètes déjà réalisées ou en cours sur le plan international pour aider à la mise en œuvre des programmes nationaux de gestion des déchets et pour résoudre les problèmes internationaux connexes.

Politique de gestion des déchets et sa mise en œuvre

Les 27 mémoires présentés par 16 pays et quatre organisations internationales sur ce sujet ont montré que les gouvernements sont conscients de la nécessité de mettre en œuvre de manière appropriée et en temps voulu des systèmes de gestion des déchets radioactifs, et de définir les dispositions réglementaires, institutionnelles et financières nécessaires. De nombreux pays ont déjà choisi leur politique en la matière. Certains (comme l'Egypte) ont décidé de développer leurs programmes nucléaires dans les années à venir alors que d'autres (comme la Suède) n'envisagent d'utiliser l'énergie nucléaire que pendant encore une trentaine d'années. Beaucoup de pays (comme les Etats-Unis) ont adopté des programmes systématiques pour l'aménagement de sites de stockage de déchets de haute activité ou de combustible irradié dans des formations géologiques ou pour le choix de sites appropriés (comme l'Argentine, la République fédérale d'Allemagne, la Suède et la Suisse), tandis que dans d'autres pays (comme le Royaume-Uni) la politique prévoit en fait, dans le cadre d'une stratégie générale de gestion des déchets, de remettre à plus tard la décision de construire de tels dépôts.

La conférence a montré qu'il existait un certain nombre de points sur lesquels tout le monde est

d'accord. Il est apparu que l'élément fondamental dans le choix d'une politique est la nécessité d'assurer la protection de la santé humaine. Un cadre juridique, réglementaire, institutionnel, financier et administratif bien défini pour l'application des politiques choisies existe ou est en gestation dans de nombreux pays. Il a été reconnu dans l'ensemble, et pour ainsi dire admis d'un commun accord, que l'on disposait maintenant de techniques appropriées et sûres pour la gestion des déchets radioactifs.

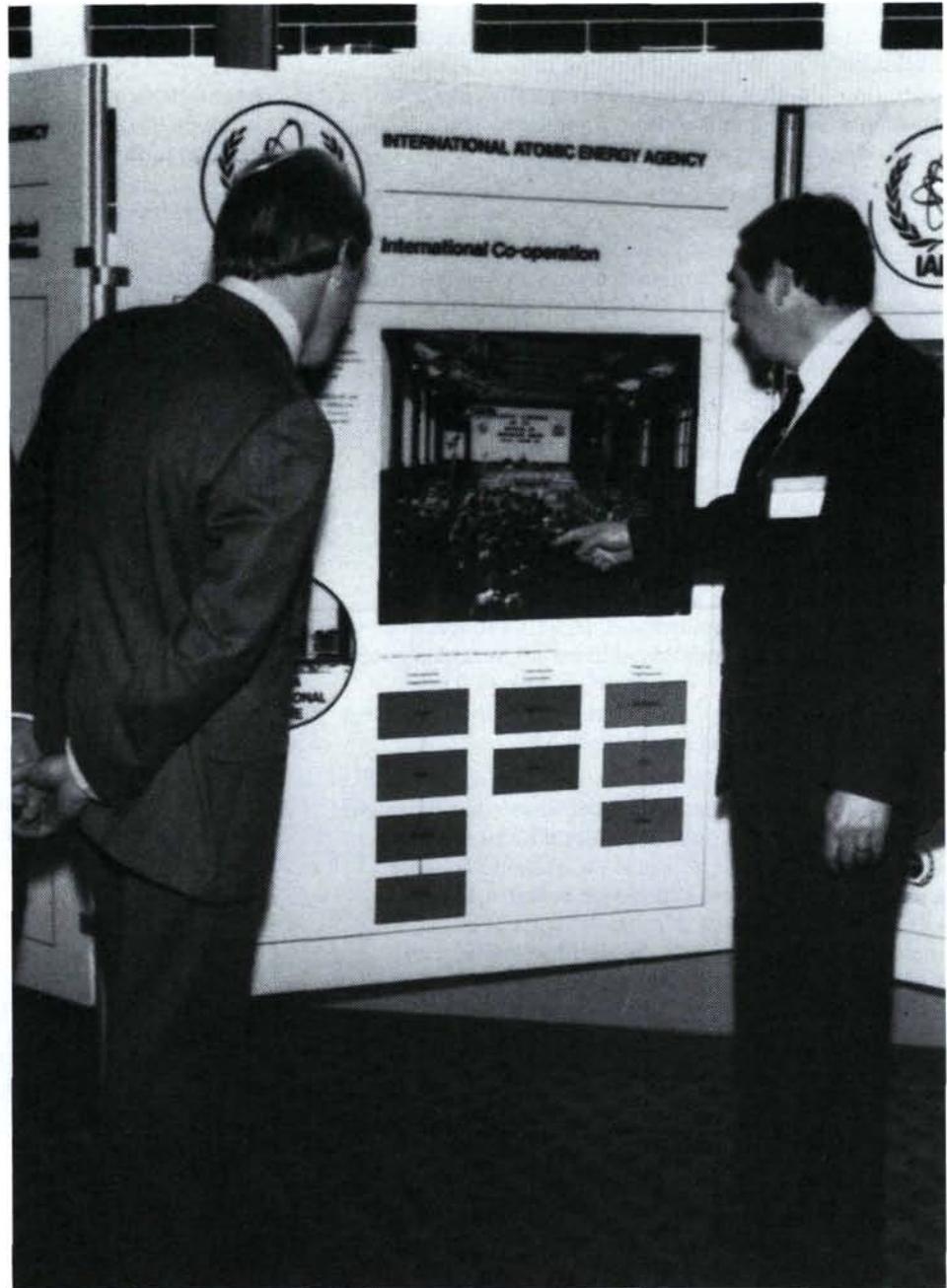
Divers pays, comme la France, l'Inde, la République démocratique allemande, l'URSS, le Royaume-Uni et les Etats-Unis, possèdent déjà des installations souterraines pour le stockage définitif des déchets de faible et moyenne activité. Dans ces pays et dans d'autres, on met au point des modèles nationaux de stockage définitif qui répondent aux exigences à long terme des programmes nucléaires. La tendance générale est de préférer la terre à la mer comme milieu hôte des déchets radioactifs, bien que certains pays (Royaume-Uni, Japon, Belgique, Pays-Bas et Suisse) continuent à s'intéresser à l'immersion en mer.

Les aspects socio-politiques de la gestion des déchets, qui de l'avis général posent des problèmes pour le progrès de l'énergie nucléaire, ont constitué un thème assez courant, sinon constant, de discussion et de prise de position. Il faut placer les risques que présente la gestion des déchets radioactifs dans une juste perspective pour gagner la compréhension et l'acceptation du public, mais la poursuite de cet objectif est une question difficile qui demande à être étudiée à l'échelon national et international.

Ce que l'on sait des incidences économiques de la gestion des déchets montre que si l'on tient compte de la totalité des coûts de stockage provisoire du combustible irradié et de stockage définitif des déchets, la part qu'ils occupent dans le prix de revient total de l'énergie nucléaire augmente (on a cité des chiffres dépassant 10%). Les coûts de la gestion des déchets sont la plupart du temps imputés sur le prix de l'électricité, et des règlements à cet effet sont déjà en vigueur ou le seront bientôt en Suède (2,3 mills* par kWh), aux Etats-Unis (1 mill par kWh), en République fédérale d'Allemagne (6 mills par kWh), en Suisse (5%), etc. Ces chiffres dépassent les prévisions, mais ne semblent pas de nature à avoir une incidence sérieuse ou décisive sur l'emploi de l'énergie nucléaire — même dans les pays ayant un programme nucléaire modeste. L'aspect économique n'est pas et ne sera pas un argument de poids pour atténuer la prudence des mesures de gestion des déchets radioactifs; des systèmes complexes répondant aux exigences de sûreté à long terme et aux normes de radioprotection sont d'un coût raisonnable, tout en n'étant peut-être pas toujours justifiés du point de vue technique.

Certains pays ont créé des organismes spéciaux pour mettre en œuvre ou exploiter des systèmes de stockage des déchets ou de gestion du combustible irradié dont les compagnies d'électricité ne sont pas en mesure de s'occuper elles-mêmes: il s'agit par exemple de l'ONDRAF en Belgique, de l'ANDRA en France, de SKBF en Suède,

* 1 mill = 1×10^{-3} dollar (0,1 cent) des Etats-Unis.



L'un des panneaux de l'exposition sur certaines activités de l'Agence dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs présentée lors de la Conférence de Seattle.

de NAGRA en Suisse et de NIREX au Royaume-Uni. Aux Etats-Unis, le Département de l'énergie a créé, dans le cadre de la Loi sur la politique de gestion des déchets nucléaires signée par le Président Reagan en janvier 1983, un bureau responsable de diverses activités: gestion des déchets radioactifs provenant d'activités civiles, aménagement d'installations de stockage provisoire et de dépôts de stockage provisoire et de stockage définitif des déchets de haute activité et du combustible nucléaire irradié, élaboration d'un programme de recherche, de réalisation et de démonstration à cet effet, etc.

La conférence a reconnu dans l'ensemble le rôle positif des organisations internationales, tout en notant le fait compréhensible que plus le nombre des membres d'une organisation est grand, plus l'approche tend à être

générale. La valeur de l'AIEA comme source d'informations et de conseils est évidente. A maintes reprises, il a été question pendant les séances de coopération internationale pour le stockage des déchets, et notamment du vœu émis par les pays ayant des programmes nucléaires modestes d'avoir accès aux dépôts des pays ayant des programmes plus importants ou d'avoir la possibilité de transférer leur combustible irradié, mais il a été reconnu que des activités opérationnelles dans ce domaine étaient prématurées.

Manipulation, traitement et conditionnement des déchets

Les 35 mémoires présentés au cours des séances consacrées à ce sujet ont passé en revue les techniques et l'expérience acquise en matière de manipulation, de

traitement et de conditionnement des déchets de faible, moyenne et haute activité produits dans les centrales nucléaires et les usines de retraitement, au cours des opérations de déclasserment et dans d'autres installations nucléaires, notamment celles qui sont associées aux cycles avancés du combustible.

Les mémoires présentés étaient basés essentiellement sur les résultats d'examen faits récemment par des groupes internationaux d'experts. Ils ont montré que les techniques de manipulation des déchets de faible et moyenne activité ont été éprouvées dans l'industrie, ce qui n'exclue pas la nécessité de chercher à améliorer encore ces techniques. Un travail considérable a été entrepris dans les pays des Communautés européennes pour caractériser les propriétés des déchets de faible et moyenne activité, pour obtenir le niveau requis d'assurance de la qualité pour les déchets conditionnés et les colis de déchets destinés au stockage provisoire et au stockage définitif, et pour créer une banque de données. De même, les résultats d'un programme de recherche coordonnée de l'AIEA sur l'évaluation de la forme physique et chimique des déchets conditionnés de haute activité ont montré qu'il est important d'adopter des méthodes de recherche communes et qu'il est nécessaire d'évaluer le comportement des déchets dans des conditions de stockage «réelles».

Un certain nombre d'installations pilotes ou prototypes pour la vitrification des déchets de haute activité sont en construction ou font l'objet d'essais intensifs dans plusieurs pays. La France est à l'heure actuelle le seul pays à avoir une expérience industrielle de la vitrification «réelle» de déchets de haute activité. Un mémoire sur le traitement des déchets spéciaux à la tranche 2 de la centrale de Three Mile Island a attiré l'attention sur les divers problèmes qui peuvent se poser lorsque l'on doit prendre des mesures de décontamination et des mesures correctives après des incidents survenus dans des installations nucléaires. Une étude internationale sur le déclasserment des installations nucléaires a montré que l'expérience acquise et les techniques actuelles d'ingénierie et de planification sont suffisantes pour faire des prévisions de coût fiables et prendre les mesures appropriées pour le stockage définitif des déchets résultant du démantèlement.

Un mémoire sur la gestion des déchets dans les centrales nucléaires était consacré aux techniques de compactage, d'incinération, de bitumage et de cimentation ainsi qu'aux problèmes spéciaux que comporte la manipulation des résines échangeuses d'ions irradiées et des déchets contenant du tritium. Il importe à cet égard de continuer à améliorer les techniques de réduction de volume, surtout pour faciliter le stockage provisoire: c'est ainsi que la République fédérale d'Allemagne s'est fixé pour objectif de ramener les déchets des centrales nucléaires au cinquième de leur volume.

Le problème le plus important pour ce qui est de la gestion des effluents gazeux est la récupération et le stockage provisoire de grosses quantités de quatre radionucléides — krypton 85, iode 129, tritium et carbone 14 — qui résultent de la dissolution du combustible dans les usines de retraitement. Le rejet de l'un quelconque de ces radionucléides aurait pour effet d'augmenter les doses engagées à la fois près de l'installation et dans le monde.

La gestion des contaminants en suspension dans l'air est complexe parce que leur récupération, leur immobilisation et leur stockage exigent des techniques différentes pour chaque élément. La récupération et le stockage provisoire de l'iode 129 et, à un moindre degré, du carbone 14 et du krypton 85 semblent justifiés. Aucun des critères évalués ne légitime le contrôle des rejets de tritium et sa récupération n'a donc pas été recommandée.

Un mémoire de la CCE donnait un aperçu des activités de recherche-développement relatives à la gestion des déchets radioactifs provenant du déclasserment des centrales nucléaires. On met au point à l'heure actuelle des techniques de décontamination extrêmement efficaces — utilisant notamment un puissant décontaminant chimique sous forme de liquide et de gel. Des techniques électrochimiques et hydromécaniques sont aussi à l'étude. Des résultats encourageants ont été obtenus avec une technique de décontamination qui consiste à chauffer rapidement les surfaces, ce qui entraîne la chute d'une mince couche.

Des auteurs de différents pays (France, République fédérale d'Allemagne, Inde, Japon, Royaume-Uni et Etats-Unis) ont décrit l'expérience et les approches de leurs pays respectifs en matière de gestion de divers déchets radioactifs provenant d'usines de retraitement. Ces pays ont construit des installations de traitement efficaces dont certaines sont utilisées par l'industrie et d'autres en sont encore au stade expérimental; l'expérience des opérations industrielles s'étend sur de nombreuses années. L'emploi de techniques comme l'évaporation, la coprécipitation, l'incinération et le compactage pour récupérer le plutonium, et de l'enrobage par bitume et par ciment pour le conditionnement des déchets de faible et moyenne activité est devenu courant. Des mémoires ont expliqué en détail l'expérience et les projets des Etats-Unis en ce qui concerne le traitement et le conditionnement de toute la gamme de déchets produits dans les usines de retraitement de Hanford, Idaho et Savannah River. L'expérience obtenue à l'usine de retraitement française de La Hague, ainsi que les dispositions qui ont été prises pour construire de nouvelles installations sur le site, ont également été présentées.

Le Département des centrales énergétiques des Etats-Unis a entrepris de nombreuses activités concernant le traitement et le conditionnement des déchets entreposés pour stockage définitif, en application de la Loi de 1983 sur la politique de gestion des déchets nucléaires. On a mis au point et utilisé des techniques de séparation du césium 137, du strontium 90, du krypton 85 et de l'américium 241 contenus dans les déchets de haute activité.

D'après l'expérience acquise dans les usines de retraitement du Royaume-Uni, la gestion des déchets de moyenne activité a pris le pas sur celle des déchets de haute activité, pour lesquels des usines de vitrification sont en construction. A la Wiederaufarbeitungsanlage de Karlsruhe (WAK) en République fédérale d'Allemagne, on cherche plus particulièrement à améliorer les procédés de récupération du plutonium, de traitement des solvants organiques et de réduction du volume des déchets. L'installation de vitrification qui a été construite en Inde et les installations pilotes italiennes utilisent des techniques semblables à celles d'autres pays.

D'autres mémoires ont présenté la situation actuelle dans des installations pilotes de vitrification en Belgique, en République fédérale d'Allemagne, en Italie, en URSS et au site de West Valley (Etats-Unis), où des déchets provenant de précédentes activités commerciales de retraitement sont stockés. D'autres exemples de l'amélioration des techniques de traitement des déchets de basse et moyenne activité sont d'une part le traitement par digestion acide des déchets de combustible émetteurs alpha — étape préliminaire de la récupération du plutonium — et le procédé d'incinération à haute température utilisé en Belgique pour le traitement intégré des émetteurs alpha, bêta et gamma. Ce dernier procédé semble très prometteur pour ce qui est de réduire très fortement le volume des déchets et de leur donner des formes stables. En Australie, on continue à étudier le procédé Synroc qui pourrait remplacer la vitrification des déchets de haute activité; les recherches poursuivies portent sur l'évaluation de la faisabilité industrielle de ce procédé dans des installations pilotes et sur l'étude de différentes possibilités de mélanges déchets-roches, dont l'incorporation de combustible irradié en solution.

Tous les mémoires ont indiqué que les techniques de gestion des déchets de haute activité et émetteurs alpha dans les installations de retraitement ont dépassé le stade de la recherche-développement et sont maintenant suffisamment éprouvées pour être utilisées à l'échelle industrielle dans des installations en service ou en construction dans différents pays. Toutefois, d'autres améliorations sont possibles et certains secteurs mériteraient d'être approfondis. Ceci s'applique particulièrement à la récupération des nucléides de gaz tels que le krypton 85, l'iode 129, le carbone 14 et le tritium. L'expérience acquise jusqu'à présent en France au sujet des déchets des réacteurs surgénérateurs et de leur cycle du combustible indique que la gestion de ces déchets ne posera pas de problèmes techniques nouveaux majeurs.

La conclusion générale de tous les mémoires présentés dans cette série de séances est que l'on dispose de techniques éprouvées pour gérer les déchets radioactifs dans les installations nucléaires. La poursuite des recherches ne doit pas nécessairement faire obstacle aux programmes nucléo-énergétiques en cours.

Stockage provisoire et stockage définitif souterrain des déchets radioactifs

Les 35 mémoires de cette série de séances avaient trait à l'expérience acquise, la pratique actuelle et les améliorations possibles concernant le stockage définitif souterrain des déchets de faible et moyenne activité et le stockage provisoire du combustible irradié et des déchets de haute activité. Le stade très avancé où se trouve maintenant l'élaboration des modèles de dépôts et les dispositions pratiques préalables au stockage définitif des déchets de haute activité et du combustible irradié ont fait l'objet de descriptions très détaillées.

Le point commun de tous les travaux présentés était la nécessité de définir, pour le stockage définitif souterrain des déchets radioactifs, des objectifs de radioprotection généralement acceptés permettant d'établir des critères pour les différentes options de stockage. Les directives données dans de récents rapports de l'AIEA — comme les publications No 54, 56 et 60 de la

Collection Sécurité préparées dans le cadre du programme de l'Agence dans ce domaine — s'appliqueraient dans ce contexte.

Pour le combustible irradié et les déchets de haute activité vitrifiés, il y a lieu de distinguer deux étapes: le stockage provisoire et le stockage définitif. Deux mémoires étaient consacrés au stockage provisoire et aux techniques de manipulation. Deux décennies d'expérience du stockage provisoire du combustible irradié permettent de conclure que ce mode de stockage peut être utilisé pendant plusieurs autres décennies, ce qui laisse le temps de déterminer sans hâte le moment le plus opportun pour passer du stockage provisoire au stockage définitif. A propos du stockage définitif de combustible irradié ou de déchets de haute activité vitrifiés, plusieurs mémoires ont expliqué comment des modèles de dépôts avaient été élaborés et des études de sites réalisées au moyen de méthodes d'exploration géophysiques, géochimiques et autres. Les résultats obtenus pour différents types de roches, comme le granite, le sel, l'argile, le basalte et le tuf, montrent clairement que l'on peut envisager plusieurs manières d'atteindre les objectifs de radioprotection. Le mémoire d'un spécialiste suédois sur le stockage de combustible irradié emballé dans un dépôt de granite a particulièrement retenu l'attention des participants. D'après ce mémoire, l'état actuel des techniques permet de réunir des données suffisantes pour faire des prévisions à très long terme et l'ensemble du système de stockage définitif assurerait une protection pendant bien plus longtemps que ne l'exige la société d'aujourd'hui.

Une séance entière a été consacrée aux laboratoires et aux installations pilotes souterrains auxquels d'importants investissements ont été consacrés en Belgique, au Canada, aux Etats-Unis, en République fédérale d'Allemagne, en Suède (projet Stripa) et en Suisse. La conception des installations pilotes dépend évidemment du système retenu. Elle varie selon le modèle de dépôt et la nature des roches hôtes: granite (Canada, Etats-Unis, Suède, Suisse), sel (République fédérale d'Allemagne et Etats-Unis), argile (Belgique), basalte (Etats-Unis), etc. Les mémoires ont montré comment la création de dépôts dans des couches géologiques profondes est un objectif qui peut être atteint et qui le sera. Les méthodes de conceptions utilisées sont très proches en Argentine, en Belgique, au Canada, aux Etats-Unis, en France, en Suède et en Suisse. Les dépôts de déchets de haute activité ne devraient entrer en service que bien après le début du siècle prochain, à une exception près: un dépôt situé dans du basalte, du tuf ou du sel qui devrait être opérationnel aux Etats-Unis en 1998.

La situation est différente pour le stockage définitif des déchets de faible et moyenne activité à faible profondeur ou dans des cavités rocheuses. Le stockage définitif à faible profondeur se pratique depuis plusieurs décennies et de nombreux mémoires ont présenté un tour d'horizon intéressant de l'expérience acquise en France, en Inde et aux Etats-Unis. Auparavant, les colis n'étaient pas conçus comme des barrières de confinement de longue durée (certains conteneurs, par exemple, étaient en carton). Malgré tout, les mesures de radio-nucléides spécifiques dans les eaux souterraines avoisinantes faites sur de nombreuses années permettent de conclure que dans des conditions hydrologiques, topo-

graphiques et climatiques normales, les rejets ne dépassent nullement les limites acceptables.

Un mémoire était consacré exclusivement aux problèmes géohydrologiques que pose le stockage définitif à faible profondeur aux Etats-Unis. Tout en reconnaissant que les pratiques de stockage précédentes et actuelles soulèvent des problèmes bien précis, les auteurs étaient néanmoins optimistes. Ils ont souligné qu'aucun des problèmes observés n'avait apparemment causé de dommages aux êtres humains, que l'expérience acquise en étudiant les problèmes de la migration des radionucléides avait permis de mieux comprendre les contraintes imposées par la physique des sols et que chacun des problèmes identifiés se prêtait à une solution pratique si l'on choisissait correctement le site, le modèle et le mode d'exploitation des dépôts.

Plusieurs mémoires ont fait ressortir les progrès réalisés dans la conception des dépôts. Ces dépôts se présentent parfois sous forme de tranchées souterraines sans revêtement, mais parfois aussi sous forme de tumulus et de monolithes. Les plus récents modèles de ce dernier type, qui se trouvent en France, ont un système incorporé de collecte des eaux qui permet de limiter la migration des radionucléides hors du dépôt.

L'utilisation de cavités dans des roches de différents types, qu'il s'agisse de mines abandonnées ou d'excavations spéciales, semble être une solution de plus en plus fréquente pour le stockage définitif des déchets de faible et moyenne activité. Certains pays exploitent déjà des dépôts dans des cavités rocheuses (République fédérale d'Allemagne [mines abandonnées], République démocratique allemande et Espagne) et d'autres se proposent de construire des dépôts de ce genre dans des roches dures (Finlande, Royaume-Uni, Suède et Suisse).

L'examen des pratiques de gestion des résidus de traitement de l'uranium a surtout porté sur les tentatives récentes de réduire les incidences du stockage sur l'environnement. Avec l'appui des gouvernements, des travaux ont été entrepris en vue d'améliorer la protection des eaux souterraines et de réduire les rejets de radionucléides à longue période présentant des risques particuliers pour l'environnement. Les pays touchés par ces problèmes n'ignorent pas les effets à longue échéance des rejets de résidus industriels et ils s'efforcent donc d'améliorer les méthodes de confinement et de gestion.

Evaluations du point de vue de l'environnement et de la sûreté: objectifs et méthodologie

Vingt-six mémoires traitaient de l'évaluation des systèmes de gestion des déchets du point de vue de l'environnement et de la sûreté. Les critères à retenir pour fixer les objectifs ont donné lieu à de longs échanges de vues, qui ont abouti à un consensus en ce qui concerne les exigences de limitation des doses actuelles et futures. Le point de vue de la Commission internationale de protection radiologique semble être maintenant communément accepté. Il a été suggéré d'utiliser une fraction de la limite de dose individuelle comme limite supérieure. Des difficultés ont surgi à propos de la discussion des doses que pourrait entraîner la destruction d'un dépôt, des événements de probabilité variable pouvant alors se produire.

Les facteurs à considérer dans l'optimisation de la radioprotection ont été longuement discutés. Une intéressante partie de cette discussion a jeté la lumière sur les problèmes de l'intégration des doses *collectives* dans un avenir extrêmement éloigné. Il apparaît clairement que la seule partie de la dose collective qui entre en jeu est celle qui diffère selon l'option choisie, étant donné que le reste est annulé par soustraction d'une option à l'autre. Les tentatives d'évaluation portant sur de courtes périodes sembleraient donc plus raisonnables que l'intégration sur des périodes géologiques. Un autre argument intéressant est qu'il faudrait, dans le choix des options, prendre en considération la partie de la dose collective la moins incertaine, parce que, si l'on prend la valeur complète et ses énormes incertitudes, le choix d'une option par rapport à une autre ne peut plus être fait précisément. Ces deux facteurs, la partie qui est influencée par le choix de l'option et la partie moins certaine, détermineraient la période d'intégration — qui ne peut pas être illimitée.

Les participants ont discuté des modalités du choix entre les options. L'analyse coût-avantages semble ne poser aucun problème si les principales décisions concernant certains des composants ont été prises auparavant. D'autres méthodes comme l'analyse de décision ont aussi été prises en considération et les participants ont longuement discuté du sens à donner au mot «raisonnable». Les responsables des évaluations semblent préférer des normes qui ne s'appuient que sur les doses individuelles futures, avec une certaine part d'incertitude acceptable et éventuellement des critères de réduction des doses. Dans l'ensemble cependant, les approches semblent converger vers l'application de techniques complexes de radioprotection à l'évaluation des pratiques de gestion des déchets.

Certains mémoires étaient plus particulièrement consacrés aux évaluations de sûreté pour le stockage définitif de déchets de faible et moyenne activité et des résidus du traitement de l'uranium. Dans le cas des résidus, on s'est efforcé d'appliquer les techniques d'optimisation, ou du moins de définir les problèmes fondamentaux qui sont en jeu. On a aussi analysé les moyens techniquement réalisables de réduire les émissions de radon et d'évaluer leur importance réelle à longue échéance. A propos des déchets de faible et moyenne activité, la question clé est probablement de tenter de quantifier ce que l'on entend par «sûreté» au lieu de simplement évaluer si un système est «bon» ou «mauvais». Des participants ont décrit les mécanismes «normaux» de transfert par lixiviation et ils ont fait des comparaisons avec les critères basés sur les doses individuelles. L'événement destructeur le plus vraisemblable a aussi été identifié: il s'agit de la perforation de la formation. On a présenté des évaluations de la durée de surveillance minimum nécessaire pour respecter les objectifs fondamentaux. Les discussions sur les dépôts dans des formations géologiques profondes concernaient surtout les évaluations de sûreté et de performance. D'autres mémoires ont porté sur l'évaluation de la sûreté de dépôts théoriques dans différents types de roches et sur les évaluations liées au site. Dans tous les cas, les résultats obtenus avec les différents types de barrières ont été analysés: dissolution effective de la matrice contenant les déchets, matériaux des colis, des tampons

et des barrières et leur comportement, migration dans la biosphère à travers le système rocheux et, enfin, estimation des doses à la population qui en résultent.

M. Thomas H. Pigford, président de l'une des tables rondes, a présenté un rapport sur une étude des incidences de la gestion des déchets sur l'environnement, qui fait partie d'une étude plus complète sur le stockage définitif des déchets dans des formations géologiques réalisée par le Groupe d'étude des systèmes d'isolement des déchets du Conseil national de la recherche des Etats-Unis. Des paramètres hydrologiques et géochimiques spécifiques des sites auxquels s'ajoutent, le cas échéant, des paramètres généraux, permettent de calculer les doses de rayonnement futures aux personnes les plus exposées pour des modèles de dépôts dans le basalte, le granite, le sel et le tuf. Ces doses sont comparées à un critère de performance de 10^{-4} Sv par an pour l'irradiation due à des événements «probables». D'après les hypothèses de cette étude, la dose individuelle maximale prévisible est largement inférieure au critère de performance. L'étude comportait un certain nombre de recommandations et de conclusions: nécessité d'adopter un critère général bien défini qui établisse un niveau de performance générale acceptable pour les systèmes d'isolement des déchets dans des formations géologiques; directives et approches à adopter dans les secteurs techniques et autres; moyens d'améliorer la précision des prévisions des rejets futurs dans l'environnement.

Les mémoires présentés pendant ces séances ont montré à quel point les évaluations de la sûreté se sont affinées. Le plus important est peut-être que beaucoup de données ne sont pas très fiables et que les analyses de sensibilité sont donc essentielles, notamment pour quantifier l'effet des incertitudes concernant divers paramètres physiques. Certains paramètres physiques influent considérablement sur le résultat final, d'autres non. La manière de traiter les incertitudes varie également beaucoup. Dans l'approche «déterministe», l'incertitude doit être prise en compte pour maximiser la dose collective finale aux fins de comparaison avec un objectif quelconque. Dans l'approche «probabiliste», il faut combiner les meilleures estimations disponibles avec les probabilités correspondantes.

Processus et modèles de transport dans le milieu

Les 23 mémoires présentés au cours des séances sur les processus et les modèles de transport dans le milieu concernaient l'élaboration des moyens techniques d'évaluer les conséquences des rejets dans l'environnement. Décrivant un modèle de transport dans le milieu de radionucléides à longue période, un auteur a souligné certaines insuffisances des modèles de transport du tritium et de l'iode 129, notamment lorsque l'on veut connaître les doses dans les environs immédiats du point de rejet. Un autre mémoire était un rapport préliminaire sur le projet INTRACOIN, qui deviendra peut-être un exercice international de comparaison de la plus grande importance, puisqu'il s'agit de comparer 20 codes machine pour la modélisation du transport des radionucléides dans les couches géologiques profondes; cette étude est réalisée par des groupes de modélisation de plusieurs pays: Canada, Danemark, Etats-Unis, France, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

Plusieurs mémoires relatant des travaux de recherche et de mesure ont souligné la complexité de l'environnement et la sensibilité du transport des radionucléides aux interactions chimiques et biochimiques. Une étude est en cours au site de stockage de déchets de faible activité de Maxey Flats (Etats-Unis) sur les effets de la mobilité d'association des nucléides avec des agents complexants comme l'acide éthylène diamine tétra-cétique et d'autres espèces organiques comme les acides carboxyliques.

Il est évident que l'on a besoin de modèles de prévision plus réalistes à mesure que l'accent se déplace vers les études liées aux sites et que l'attention se concentre sur l'optimisation des installations et des procédés de stockage définitif des déchets. Par ailleurs, établir des modèles qui simulent dans le détail toutes les interactions complexes des caractéristiques d'un site de stockage réel sera une tâche ardue. Il faudra trouver un juste équilibre.

La plupart des mémoires sur le contrôle du stockage des déchets radioactifs dans le milieu marin avaient trait à l'immersion en mer de déchets solides en colis. De nombreuses recherches coordonnées à l'échelon international sont en cours dans les diverses disciplines concernées en vue de réévaluer les risques que présente l'immersion en mer et de réexaminer la définition des déchets de haute activité formulée par l'AIEA. Plusieurs mémoires décrivaient certains aspects de ces recherches: étude des modèles océanographiques qui vient d'être achevée par le Groupe d'experts des Nations Unies sur les aspects scientifiques de la pollution des mers, programme de recherche coordonnée et de surveillance de l'environnement mis en œuvre par l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE et mesures expérimentales faites au Laboratoire international de radioactivité marine de l'AIEA à Monaco. L'idée générale qui se dégage de ces mémoires est que l'on disposera bientôt de modèles améliorés, plus appropriés et plus réalistes qui pourront être utilisés avec la base de données améliorée actuellement produite pour réaliser les diverses études nécessaires. Aucune des recherches menées jusqu'à présent n'indique que les évaluations de risque précédentes étaient trop optimistes. En fait, on a pu identifier un plus grand nombre de processus retardant le transfert des radionucléides à l'homme. Il s'agit à l'évidence d'un domaine où la collaboration scientifique internationale est de mise et où l'AIEA continue à jouer un rôle actif et crucial.

Deux mémoires étaient consacrés à la possibilité de stocker les déchets de haute activité sur le fond marin. Des travaux sur le sujet ont été entrepris sous les auspices du Groupe de travail de l'AEN sur les fonds marins et l'un des mémoires décrivait la mise en place, l'organisation actuelle et les programmes de ce groupe. Il semble que le stockage définitif sur les fonds marins soit techniquement réalisable, mais il reste beaucoup de questions techniques et de problèmes réglementaires à résoudre avant de pouvoir envisager de mettre cette méthode en pratique.

Un mémoire portait sur l'exposition du public résultant du rejet en mer de nucléides transuraniens provenant de la centrale de Sellafield, au Royaume-Uni (plus connue sous le nom de Windscale). Il soulignait

le rôle des résultats des programmes de mesure dans l'évaluation de la dose et la difficulté de prévoir de manière réaliste les doses futures imputables à ces radionucléides à longue période.

Les résultats d'une étude sur le terrain, d'une durée de neuf ans, de la migration des radionucléides provenant d'une explosion nucléaire expérimentale souterraine de faible puissance dans des alluvions de tuf au site d'essais du Nevada (Etats-Unis) ont été présentés dans un mémoire qui indiquait que la majeure partie des matières radioactives avait été retenue par les débris fondus de la cavité. On a analysé des échantillons prélevés juste en-dessous de la surface et jusqu'à une profondeur de 50 mètres en dessous du point de détonation: on a constaté que l'activité ne dépassait pas le fond de rayonnement naturel dans les échantillons provenant des couches les plus profondes et que seules les doses de tritium et de strontium 90 présents dans l'eau de la cavité dépassaient les concentrations recommandées pour l'eau dans des zones non contrôlées.

Plusieurs autres mémoires présentés pendant les séances qui étaient consacrées aux rejets dans l'environnement résultant de la production d'énergie nucléaire ont porté sur les niveaux généraux de contamination de l'environnement et les doses qui en découlent; c'était le cas, par exemple, d'un résumé du rapport de 1982 du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR). Les participants ont aussi discuté des procédures à adopter pour l'autorisation des rejets et de la nécessité d'élargir l'éventail des possibilités d'optimisation, par exemple en comparant, pour certains nucléides, les effets de l'entreposage, de la solidification et du stockage définitif avec le rejet direct. D'autres difficultés apparaissent quand il s'agit de déterminer la marge à prévoir pour tenir compte de l'accumulation dans l'environnement et des doses qui seront reçues à très longue échéance à de grandes distances du point de rejet.

Sur le plan international un fait nouveau important est que l'on s'efforce de parvenir à un accord sur le contrôle de la pollution transfrontalière. La clé du problème est de reconnaître qu'il faut attacher autant d'importance aux doses reçues par les «étrangers» qu'à celles reçues par la population du pays où ont lieu les rejets de radionucléides. L'AIEA participe activement à ces travaux.

Un mémoire de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a rappelé que, par rapport à celui des autres déchets toxiques, le stockage définitif des déchets radioactifs suscite des préoccupations et requiert l'application de connaissances et de méthodes d'une ampleur et d'une complexité très nettement supérieures. Il est difficile de savoir ce qu'il faudrait faire dans la pratique pour placer la question de la gestion des déchets radioactifs dans une juste perspective.

Possibilités de coopération internationale

En dehors de la présentation de mémoires émanant de diverses organisations internationales et des résultats d'études internationales sur des thèmes précis pendant les séances techniques, une table ronde composée de représentants des organisations internationales intéressées

et de quelques Etats Membres a étudié les possibilités de renforcement de la coopération internationale.

M. E. Svenke, de la Société suédoise d'approvisionnement en combustible nucléaire, qui présidait la table ronde, a parlé de ce qu'il a appelé la «menace tridimensionnelle» de l'énergie nucléaire: «menace des armes nucléaires», «menace des rayonnements» et «troisième dimension» caractérisée par le temps pendant lequel les déchets doivent rester isolés. Il a conclu que la collaboration internationale est non seulement utile mais, dans un tel domaine, indispensable en raison du caractère «moral» des exigences de sûreté à longue échéance. Il s'ensuit que, sans mettre en cause les droits souverains et les frontières dans des Etats actuels, il faudrait tout au moins parvenir à un consensus international sur des principes généraux et des méthodes d'évaluation. Il a été fait allusion à l'utilité potentielle de dépôts multinationaux.

Des représentants de la CIPR, de l'AIEA, de l'OMS, de l'AEN, de la CCE et du Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM) ont décrit leurs domaines de responsabilité et d'activité; puis des représentants de pays comme les Etats-Unis, la France, l'Inde et la Suède ont indiqué les avantages que la coopération internationale avait eus, ou pouvait avoir, pour leurs pays. Outre les motivations d'ordre général comme le partage de l'expérience acquise, les économies d'échelle ou la mise en commun des ressources, il apparaît que la coopération internationale peut avoir un effet considérable pour ce qui est d'harmoniser les approches nationales ou d'en expliquer les divergences et de gagner l'acceptation des milieux socio-politiques et du public. Plusieurs domaines où la coopération internationale serait importante ont été signalés, mais les participants ont tous admis que la mise au point de critères de sûreté au niveau international, dont des méthodes et des critères de base permettant de prouver le respect des exigences de sûreté à long terme, devrait être un objectif fondamental pour bien montrer que le stockage sûr de toutes sortes de déchets radioactifs est possible de même que l'évaluation de projets et de conceptions appropriés qui puissent être acceptés et mis en œuvre.

Les avantages de la coopération internationale sont évidents. A partir d'un consensus international suffisamment large sur les principes, ainsi que sur les méthodes et les critères d'évaluation de la sûreté, il devrait être possible de convaincre le public que des mesures de sûreté appropriées sont prises.

Il a également été reconnu que la communauté nucléaire devrait peut-être s'intégrer plus délibérément à la société en général et il a été suggéré que l'AIEA, en sa qualité d'organisation internationale de haut niveau, pourrait étudier les moyens de communiquer objectivement avec d'autres groupes professionnels et autres.

Conclusions générales

M. B.A. Semenov, Directeur général adjoint chargé du Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires de l'AIEA, a présidé la table ronde qui a fait le bilan de la conférence. Cinq experts, qui avaient présidé certaines des séances techniques, ont présenté les points saillants des discussions sur les cinq principaux sujets. Les conclusions générales sont les suivantes:

1) Personne ne s'attendait à ce que la conférence dévoile des découvertes scientifiques ou technologiques révolutionnaires et elle ne l'a pas fait; mais elle a montré que dans la plupart des pays la mise en œuvre de systèmes de gestion et de stockage définitif des déchets radioactifs a commencé. Dans de nombreux pays ce progrès s'est traduit par des décisions de principe et des dispositions réglementaires et financières.

2) Les techniques de gestion des déchets sont passées du stade des études à celui de la mise en œuvre industrielle à grande échelle. On entend souvent dire que l'on «dispose des techniques» nécessaires pour mettre en œuvre des systèmes de gestion des déchets appropriés qui répondent aux exigences des programmes nucléo-énergétiques et aux objectifs de sûreté à long terme. Cette affirmation appelle peut-être des réserves, car elle ne signifie pas que les techniques sont également disponibles ou accessibles dans tous les pays ou dans toutes les installations à un même niveau de perfectionnement (si elles le sont d'ailleurs) ou qu'il n'est plus nécessaire de faire des recherches. Les programmes actuels sont caractérisés par le passage des études générales aux études de sites et d'installations données; les recherches devront se poursuivre pendant la mise en œuvre industrielle.

3) Il est nettement reconnu que pour pouvoir appliquer avec succès les techniques «disponibles», il faudra résoudre en temps voulu certains problèmes institutionnels, réglementaires, financiers et socio-politiques, problèmes particulièrement importants si l'on veut atténuer les appréhensions du public.

4) Etant donné que la préoccupation principale a trait aux incidences à long terme du stockage des déchets sur la santé et la sûreté, il est essentiel, si l'on veut gagner la compréhension et l'acceptation générales, de formuler clairement les objectifs de sûreté et les critères techniques pertinents et de démontrer que ces objectifs et critères peuvent être atteints et respectés.

5) Aussi bien sur le plan national que sur le plan international, des progrès considérables ont été faits en vue de fixer de tels objectifs, ainsi que des critères et des méthodes d'évaluation de la sûreté. Diverses manières d'appliquer les recommandations de la CIPR au stockage définitif des déchets ont été présentées à la conférence et il ne fait guère de doute maintenant que certaines questions d'interprétation seront résolues pendant les prochaines années. Pour prouver le respect des exigences de sûreté à long terme, on doit s'appuyer sur des prévisions. Il faudra encore travailler à la réduction des incertitudes et à la validation des modèles, mais les mécanismes qui régissent les rejets de radionucléides seront mieux compris à mesure que les données concernant des sites de projets réels deviendront disponibles. Il faudra que les experts se mettent d'accord sur ce qu'on entend par validation des évaluations de sûreté à long terme, et d'autres études pluridisciplinaires de situations analogues se rencontrant dans la nature aideront à parvenir à un consensus.

6) Pour situer les problèmes de gestion des déchets radioactifs dans une meilleure perspective il faut tenir compte, d'une part, des incidences radiologiques de la production d'énergie d'origine nucléaire et de la part attribuable à la gestion des déchets dans la dose

d'irradiation totale tant à court terme qu'à long terme, telle qu'elle ressort des données présentées dans le rapport de 1982 de l'UNSCEAR, et, d'autre part, des renseignements fournis par l'OMS sur la gestion des déchets chimiques toxiques.

7) La conférence a traité principalement de la gestion de déchets de haute activité, mais il est apparu clairement qu'il faudra continuer les études sur la gestion des déchets de faible et moyenne activité pour permettre à l'industrie nucléaire d'aujourd'hui d'évacuer ses déchets de manière satisfaisante et sans retards injustifiés. La conférence a montré que le stockage de ce genre de déchets à faible profondeur ou dans des cavités rocheuses est une pratique bien établie que de nombreux pays utilisent ou se proposent d'utiliser. Certains pays, toutefois, continuent à s'intéresser à l'immersion en mer des déchets de faible activité dans les conditions prévues par la Convention de Londres. Pour satisfaire aux critères d'acceptation des déchets et pour des raisons d'économie, on continue à s'efforcer d'améliorer les techniques de réduction de volume et les formes des déchets, tant pour le stockage provisoire que pour le stockage définitif. Les participants ont également souligné la nécessité d'une gestion appropriée des déchets provenant des opérations de déclassement et des situations d'urgence.

8) La recherche constante d'améliorations de la sûreté, même dans le cas de pratiques industrielles établies de longue date, et le souci accru de l'environnement ont également attiré l'attention sur les incidences radiologiques à longue échéance des résidus provenant des opérations de traitement de l'uranium.

9) De nombreux pays ont déjà entamé ou commenceront bientôt des études théoriques et des recherches dans des laboratoires pilotes souterrains, en vue d'élaborer des modèles de dépôts de stockage pour les déchets de haute activité. On pense que les activités de démonstration de dépôts opérationnels de taille réelle seront entreprises au cours des dix ou quinze prochaines années aux Etats-Unis et peut-être même dans d'autres pays. Par ailleurs, des sites de dépôt qui seraient opérationnels après l'an 2000 seront sélectionnés par un certain nombre de pays.

10) La conférence a mis en évidence une fois de plus le fait que les méthodes de contrôle des effluents liquides et gazeux sont suffisamment efficaces pour faire de l'énergie nucléaire une source d'énergie très propre. Les rejets de certains radionucléides dans l'environnement peuvent néanmoins avoir des incidences transfrontalières. La solution de ces problèmes nécessite un consensus et des directives internationales. Par ailleurs, on continue d'être confronté aux difficultés que posent l'adaptation des techniques actuelles de traitement des effluents liquides et gazeux à des radionucléides particuliers et l'amélioration de la conception et de l'application de ces techniques pour maintenir les rejets dans l'environnement au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre.

D'une façon générale, la conférence a confirmé les conclusions des études précédentes, à savoir que l'énergie nucléaire peut être mise au service de l'humanité sans poser de problèmes insurmontables de stockage définitif des déchets.