

L'énergie d'origine nucléaire, l'homme et l'environnement

par A. Hagen*

Malgré les efforts de conservation de l'énergie et l'usage plus efficace qui en est fait, la demande d'énergie continue d'augmenter dans le monde. Le choix d'un système énergétique est une décision nationale qui doit tenir compte de valeurs parfois opposées et des poids respectifs des facteurs économiques, techniques, sociaux, institutionnels et environnementaux. Les valeurs qui confèrent une grande importance au développement et à la croissance économique d'un pays sont souvent en conflit avec celles qui confèrent une grande importance au maintien ou à la préservation d'un environnement de qualité. Il est également nécessaire de juger de l'étendue des risques auxquels la société devrait être exposée. La perception du risque par la population, de quelque manière qu'elle soit calculée, est aussi importante pour la prise de décisions que les analyses des spécialistes, bien que le terme «population» recouvre de nombreux groupes différents qui peuvent percevoir très différemment les risques inhérents à une situation donnée. La protection de l'environnement est un but qui doit être pris en considération et comparé à d'autres. L'importance donnée à un certain but variera suivant les valeurs, les besoins et les objectifs nationaux.

Toutes les activités de l'homme, y compris l'emploi de l'énergie, sont susceptibles d'influencer l'environnement dans lequel il vit. Les systèmes énergétiques ne posent pas de problèmes exceptionnels qui les distinguent des autres sources de risque. Toutes les méthodes utilisées pour fournir de l'énergie aux sociétés industrialisées comportent certains inconvénients pour l'environnement, la santé et la société qui se traduisent par des coûts.

En collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé, l'Agence internationale de l'énergie atomique publiera prochainement un ouvrage** qui mettra à jour les questions d'environnement liées à l'énergie d'origine nucléaire. Cet ouvrage traitera du cycle du combustible nucléaire, des effets des rayonnements sur la santé et de leurs conséquences radiobiologiques, des critères de radioprotection, de la sûreté nucléaire et de l'élimination des déchets.

Les aspects environnementaux des centrales nucléaires et du cycle du combustible qui leur est associé ne sont pas très différents de ceux de toute autre activité industrielle importante. Néanmoins, les matières radioactives qui font l'objet des diverses opérations du cycle du combustible, en particulier celles qui sont produites

dans les réacteurs nucléaires, doivent être strictement contrôlées. Pour évaluer les conséquences d'une activité industrielle pour l'environnement et la santé, il faut l'examiner sous de multiples aspects: risque prévu pour les travailleurs et pour la population en dehors des installations; nature et étendue de la pollution de l'environnement; nature, quantité et toxicité des déchets qui doivent être manipulés et isolés de l'environnement; utilisation rationnelle des ressources naturelles, y compris le sol et l'eau et besoins secondaires comme les transports; risques d'accidents ayant des conséquences graves.

Il est très difficile de comparer les sources d'énergie, et encore plus difficile de quantifier certains facteurs pour obtenir des indications sûres en vue de la prise de décision, mais ces comparaisons sont indispensables. Ainsi, on est amené à passer des jugements qu'il faut placer dans le contexte général des avantages et des risques qu'une société est prête à accepter.

Philosophie de la protection de l'environnement

La philosophie de la protection de l'environnement peut être exposée en trois parties: la première concerne la *conservation des ressources*; la deuxième le maintien d'un *statu quo écologique* et la troisième la *protection de la santé*. On peut donner effet à ces principes en fixant des normes et critères. Toutefois, il est souvent impossible de concilier et d'atteindre des objectifs environnementaux souvent qualitatifs et contradictoires.

Par conservation des ressources naturelles, il faut entendre non pas simplement la création de parcs et de réserves naturelles ni la gestion et l'exploitation de ressources naturelles comme le bois, les minéraux et les ressources énergétiques, mais aussi l'utilisation rationnelle du sol, de l'eau et de l'air.

Le maintien d'un *statu quo écologique* en tant que principe de la protection de l'environnement concerne les parties biologiques ou vivantes de l'environnement. Toutes les activités de l'homme troublent ou modifient la biosphère fragile dans laquelle il vit. La question est de savoir quel degré de changement ou de trouble devrait être autorisé.

Le concept de la protection de la santé n'est pas nouveau. Des normes et critères de radioprotection existent depuis les tout premiers jours de l'industrie nucléoélectrique. Dans ce secteur, les objectifs sont liés à l'étendue des risques que la société peut tolérer. Toutefois, dans le domaine de la radioprotection, il existe des normes et critères internationalement reconnus. Toutes les formes de radioprotection reposent sur le principe de la limitation des doses

* Mme Hagen fait partie de la Section de la gestion des déchets de la Division du cycle du combustible nucléaire de l'Agence.

** *Nuclear power, man, and the environment* (en préparation).

qui prescrit: que chaque source de rayonnements soit justifiée par rapport à ses avantages ou à ceux de toute autre solution existante; que toute irradiation nécessaire soit maintenue au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre; et que les équivalents de dose aux individus ne dépassent pas des limites spécifiées. La limite recommandée pour la protection des travailleurs par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) est que la dose effective ne dépasse pas 50 mSv pour tout travailleur au cours d'une année donnée. L'observation de cette limite et des exigences susmentionnées assure généralement que la dose annuelle moyenne est considérablement inférieure à cette limite, souvent d'un facteur de dix. La limite de dose ne tient pas compte des apports dus aux sources naturelles ou médicales.

La limite correspondante recommandée pour les membres du public interdit de dépasser en une année quelconque une dose annuelle de 5 mSv, les apports des sources naturelles et médicales étant à nouveau exclus. En outre, dans les cas où un membre du public pourrait être irradié annuellement pendant des périodes prolongées, la dose annuelle moyenne ne devrait pas dépasser 1 mSv. On estime que le respect de ces limites devrait se traduire par des doses moyennes très inférieures à 0,5 mSv par an.

Sur la base du système de limitation de dose recommandé par la CIPR, les autorités nationales fixent diverses espèces de limites autorisées. L'application de ces limites autorisées assure que les irradiations effectives sont maintenues à un niveau très inférieur aux valeurs citées dans les alinéas précédents. On mesure la radioactivité de l'effluent des installations nucléaires pour vérifier que les limites de rejet autorisées ne sont pas dépassées et pour déceler et identifier les rejets non prévus. Le contrôle radiologique de l'environnement hors du site permet de mesurer l'exposition et de déceler les tendances à long terme.

Quelques problèmes d'environnement à l'échelle du globe

Après consultation, délibération et discussion, les dirigeants peuvent fixer des niveaux admissibles pour les risques entraînés par des activités données. Bien que les expositions pour un individu puissent être calculées sur une période assez longue pour englober des débits de dose significatifs, il est plus difficile de calculer l'exposition pour la population car les prévisions relatives à l'évolution des populations sont incertaines et on obtient de très fortes doses à la population en intégrant des doses très faibles sur de très longues périodes. L'importance de cette considération ne peut apparaître que par comparaison à une exposition de référence pendant la même période, par exemple l'irradiation naturelle. Ceci amène à se poser une question restée sans réponse et qui peut-être n'en a pas: quelle dose à une population future est jugée acceptable? Des réponses pourraient être fournies sous la forme des normes actuelles (par exemple 0,05 mSv/génération); d'un certain pourcentage au dessus de l'irradiation naturelle; d'un niveau qui se traduirait par des effets biologiques non observables (c'est-à-dire supérieur à 5 mSv) ou

même de niveaux dont on sait actuellement qu'ils se traduisent par des effets chroniques à long terme.

En exploitation normale, le principal impact de l'industrie nucléoélectrique sur l'environnement est celui des déchets radioactifs produits pendant le cycle du combustible nucléaire. Trois principes régissent la gestion des déchets radioactifs. Les déchets qui perdent leur radioactivité dans un délai relativement court sont souvent stockés jusqu'à ce que la radioactivité ait atteint un niveau «inoffensif». Les déchets contenant des quantités significatives de radionucléides à longue période sont concentrés et confinés. Les déchets gazeux et liquides en quantités inférieures aux limites autorisées sur la base des critères de radioprotection sont directement évacués dans l'environnement (air, eau) où ils se dispersent et se diluent rapidement (voir tableau). Il ne faudrait pas considérer que ces catégories s'excluent mutuellement car pour certains déchets, par exemple les déchets de basse activité évacués au fond de la mer, on applique à la fois les principes du confinement et de la dispersion. Dans cet exemple, les matières sont confinées pour assurer leur arrivée en toute sécurité au fond de la mer; à partir du moment de cette arrivée, on ne compte plus sur l'intégrité du conteneur et on suppose que les matières se disperseront.

Pour évaluer et analyser de manière plus réaliste les risques provenant d'une installation ou d'un moyen d'isolement des déchets, il faut tenir compte de l'efficacité des nombreuses barrières qui isolent les déchets de la biosphère — des phénomènes physiques comme l'insolubilité, les propriétés d'échange d'ions, l'adsorption et le potentiel de migration lente peuvent réduire le risque estimé dû aux radionucléides toxiques comme le plutonium. La mesure dans laquelle tout transport depuis le point de stockage jusqu'au retour dans la biosphère est acceptable dépendra des critères et normes de performance.

En ce qui concerne la gestion des déchets de haute activité, les barrières à long terme comprennent l'immobilisation des déchets dans du verre au borosilicate, et la technologie existe pour le stockage provisoire. L'isolement de longue durée peut être obtenu par stockage dans des formations géologiques — aussi longtemps qu'on choisit un site approprié tel qu'il est peu probable que l'érosion, les éruptions volcaniques, l'impact des météorites et d'autres phénomènes naturels portent atteinte au dépôt. Il est aussi possible de limiter l'éventualité d'une intrusion accidentelle de l'homme. Le mécanisme le plus important pouvant entraîner le transfert des radionucléides d'un dépôt dans une formation géologique à la biosphère est le transport hydrogéologique. Pour le choix du site il faut donc tenir compte de l'hydrogéologie. A condition de pouvoir établir un modèle de système et déterminer quels sont les paramètres et hypothèses critiques, y compris les évaluations de la dose à l'homme, il devrait être plus facile de choisir un site approprié et de déterminer la période pendant laquelle l'isolement est nécessaire.

Les principaux effluents gazeux qui influent sur l'irradiation à long terme de la population sont ^{14}C , ^{85}Kr , ^3H et ^{129}I . Ces nucléides pourraient être dispersés autour du globe et leur surveillance exigera un accord international.

Gestion des déchets radioactifs

Source des déchets	Type de radioactivité des déchets	Forme des déchets	Isotopes typiques	Traitement et élimination
Extraction et traitement des minerais d'uranium	Activité naturelle	Solides	U-238 Radium 226 Thorium 230	Confinement et puits ouvert sous surveillance
		Liquides	Radium 226	Traitement et dilution
		Aéroportés	Radon 222	Ventilation et dispersion
Usines de fabrication du combustible	Activité naturelle	Solides		Décontamination ou confinement
		Liquides	U-235 et -238	Concentration et confinement
		Aéroportés		Filtrage et dispersion
Exploitation des réacteurs	Activité des produits d'activation et de fission	Solides	Cobalt 58 et 60, Fe-59, Manganèse 59	Concentration et confinement
		Liquides	Cérium 144, Césium 137 Tritium, Strontium 90	Traitement et dilution
		Aéroportés	Argon 41, Soufre 33, Iode 131, Xénon 133	Stockage provisoire et dispersion
Usines de retraitement du combustible	Activité des produits de fission et transuraniens	Solides	Américium 241, Strontium 90	
		Liquides	Césium 137, Américium 241, Plutonium, Cérium 144, Tritium et Zirconium 99	Concentration et confinement
		Aéroportés	Iode 131 et 129, Krypton 85 et Tritium	Concentration et dispersion ou confinement
Production et utilisation d'isotopes	Activité des produits d'activation et transuraniens	Solides	Cobalt 60, Strontium 90, Césium 137, Plutonium	Concentration et confinement
		Liquides	Tritium, Carbone 14 Phosphore 32 Cérium 144	Traitement et dilution
		Aéroportés	Iode 131	Dilution et dispersion ou confinement

Tiré de *Nuclear Energy and the Environment*, AIEA (1977).

Le radium provenant de l'extraction et du traitement de l'uranium pourrait contribuer davantage à l'irradiation de la population que le plutonium, et au niveau de la région les déchets des usines d'uranium ont à cet égard une importance au moins égale à celle des déchets de haute activité, étant donné que les déchets des usines sont relativement accessibles alors que les déchets de haute activité et contenant des actinides sont isolés.

La possibilité d'évacuer les déchets de basse activité dans les mers fait l'objet d'une attention générale. A l'heure actuelle, une convention internationale interdit l'évacuation des déchets de haute activité dans les océans, et quelques pays évacuent des déchets de basse activité emballés dans des profondeurs océaniques (supérieures à 4000 mètres). Comme l'atmosphère, les océans sont à l'échelle du globe et, à la différence du stockage dans le sous-sol, l'immersion de déchets dans les océans a des répercussions non seulement sur le pays qui les évacue mais aussi sur une partie de la population du globe qui peut être importante. Les décisions à prendre à l'échelle internationale sur l'évaluation de l'environnement, la prévention de la pollution et la prévention des inter-

férences avec d'autres utilisations devront obtenir l'accord d'un grand nombre de pays ayant des intérêts différents et des vues différentes quant aux bienfaits qu'ils pourront retirer de l'emploi de l'atmosphère ou de l'océan comme milieu d'évacuation.

Les décisions des gouvernements sont rendues difficiles par l'incapacité à quantifier des attitudes politiques, sociales et morales qui doivent être confrontées à des aspects plus faciles à quantifier, c'est-à-dire la théorie de l'allocation optimale des ressources. Les données disponibles sont souvent insuffisantes et des désaccords sur les méthodes à appliquer compliquent aussi la prise de décision. Depuis les années 70, on est davantage conscient des problèmes que pose la protection de l'environnement et les lois, règlements, normes nationales ainsi que les accords et conventions bilatérales, multilatérales et internationales prolifèrent. Ces conflits de systèmes de valeurs, qui opposent fréquemment les valeurs économiques et techniques aux risques et aux conséquences écologiques, et qui sont difficiles à résoudre à l'échelon national, peuvent devenir une source de problèmes encore plus graves à l'échelon international.