

# L'énergie nucléaire vue par les médecins

Résumé d'un rapport du Conseil scientifique de l'American Medical Association

*La production nucléo-électrique est-elle sans danger aux Etats-Unis? L'explosion d'un réacteur pourrait-elle disperser de la radioactivité dans un vaste périmètre, comme ce fut le cas à Tchernobyl en 1986? Comment fonctionnent les réacteurs et sur quels principes repose leur sûreté? Que devrait être l'attitude du médecin face à l'énergie nucléaire? Un récent rapport du Conseil scientifique de l'American Medical Association (AMA) traite de ces questions. Préparé par un comité d'experts, ce rapport a été approuvé par la Chambre des délégués de l'AMA. Les principaux sujets traités et toutes les conclusions sont résumés ci-après.*

**A** partir du milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, la consommation d'énergie aux Etats-Unis n'a fait que croître à mesure que les sources se multipliaient et que les prix baissaient<sup>1</sup>; de là, l'industrialisation, les transports plus rapides, la productivité accrue, l'amélioration de la qualité de la vie et de la santé. A l'heure actuelle, la production d'électricité compte à peu près pour un tiers dans la consommation d'énergie du pays. En 1960, trois réacteurs produisaient 0,1% de l'électricité consommée aux Etats-Unis; en 1987, 106 réacteurs en produisaient 18%<sup>2</sup>.

Pendant les années 80, cependant, l'énergie nucléaire a perdu des points aux yeux de certains. La fusion partielle du cœur du réacteur de Three Mile Island, en 1979, et l'explosion du mélange vapeur-hydrogène à Tchernobyl, en 1986, ont fait douter de la sûreté des réacteurs dont les coûts de construction et d'exploitation ont augmenté rapidement. L'homologation et la mise en service des centrales exigeaient alors de longs délais, surtout à cause de la réglementation fédérale. Des commandes de nouvelles centrales étaient annulées et la construction des centrales en cours était interrompue. Depuis 1977, aucune demande de construction de centrales n'a été enregistrée et, pourtant, les référendums sur l'interdiction de l'énergie nucléaire organisés dans plusieurs Etats de l'Union ont échoué.

## Les centrales nucléaires

Les réacteurs nucléaires utilisent l'énergie libérée par la fission pour produire de l'électricité. Dans la fission, des noyaux lourds, tels ceux de l'uranium 235, se brisent en noyaux plus légers, libérant en même temps une énorme quantité d'énergie. Le cœur d'un réacteur est constitué de plusieurs milliers de tubes longs et minces, à paroi fine en alliage au zirconium, dans lesquels sont empilées des pastilles de combustible nucléaire d'environ 2,5 cm d'épaisseur et 1,3 cm de diamètre. La fission est provoquée par la capture de neutrons de faible énergie. Chaque atome qui se brise libère deux ou trois neutrons «rapides» qui, une fois ralentis, provoquent à leur tour une fission qui entretient la réaction en chaîne. Le ralentissement des neutrons est obtenu à l'aide d'un «modérateur» de faible numéro atomique, tel que l'eau ou le graphite.

La plupart des réacteurs américains sont dits «à eau légère» parce que celle-ci est le fluide utilisé pour ralentir les neutrons et refroidir le cœur du réacteur. Il y a deux types de réacteurs à eau légère, celui à eau sous pression et celui à eau bouillante. Dans les deux cas, le

\* Ce rapport a paru dans le Journal of the American Medical Association du 17 novembre 1989, vol. 262, n° 19, Copyright 1989, American Medical Association, 535 Dearborn Street, Chicago, Illinois 60610 (Etats-Unis d'Amérique).

Centrale nucléaire Catawba (Etats-Unis).



cœur est contenu dans une cuve étanche en acier de 15 à 25 cm d'épaisseur, de 3,6 à 4,5 m de diamètre et d'une douzaine de mètres ou plus de hauteur, conçue de façon à contenir tout dégagement imprévu de radioactivité.

Dans le réacteur classique à eau sous pression, l'eau chauffée par le cœur du réacteur est envoyée dans un générateur de vapeur où elle cède une partie de sa chaleur à l'eau du circuit secondaire qui entre en ébullition, quoique à plus basse température et sous une moindre pression, et produit la vapeur qui alimente les turbo-alternateurs (voir les figures). La vapeur détendue qui sort des turbines est condensée et renvoyée au générateur de vapeur par la pompe d'alimentation. L'eau du circuit de refroidissement du condenseur est dirigée vers la tour de refroidissement ou vers une masse d'eau à proximité; elle n'est pas radioactive. Dans le réacteur à eau bouillante, la vapeur produite par le cœur du réacteur passe par le séparateur d'humidité situé à la partie supérieure de la cuve et va ensuite directement aux turbines.

Les produits de la fission nucléaire sont radioactifs; quant au combustible nucléaire, il devient radioactif et atteint de hautes températures lorsque le réacteur fonctionne. La plupart de cette radioactivité, qui représente quelque  $111 \times 10^{19}$  becquerels (Bq) dans le réacteur type, est piégée dans les pastilles de combustible, lesquelles finirait par fondre si elles n'étaient pas refroidies. L'une des principales mesures de sûreté intéressant les réacteurs à eau légère est d'assurer d'une manière fiable l'évacuation de cette chaleur de désintégration dans les circonstances créées par les divers cas postulés de défaillance des systèmes.

Tous les réacteurs à eau légère construits dans les pays occidentaux ont une importante caractéristique de sûreté, le coefficient de vide *néгатif*, c'est-à-dire que, lorsque la température du cœur augmente et que la vapeur qui se forme crée des vides dans le cœur, la puissance du réacteur diminue. Le réacteur de Tchernobyl avait, au contraire, un coefficient de vide *positif*, c'est-à-dire que la puissance *augmentait* lorsque l'eau devenait vapeur. Cette caractéristique défavorable, aggravée par de sérieuses infractions au mode d'exploitation et la faiblesse des structures de confinement, est à l'origine de l'explosion du mélange vapeur-hydrogène et de la dispersion généralisée de la radioactivité lors de l'accident<sup>3,4</sup>. La catastrophe n'aurait pas eu lieu si le réacteur avait eu un coefficient de vide négatif, caractéristique de tous les réacteurs des Etats-Unis. Il est donc impossible qu'un accident du type Tchernobyl se produise dans une centrale nucléaire américaine.

### Le cycle du combustible nucléaire

La production nucléo-électrique implique que l'on dispose des moyens d'extraire et d'affiner l'uranium, de fabriquer le combustible et de l'utiliser pour produire de l'électricité, d'évacuer le combustible épuisé et de transporter et gérer les matières radioactives (voir les figures)<sup>5</sup>. Lorsque le cœur d'un réacteur contenant de l'uranium 235 atteint la fin de sa période utile, environ la moitié de cet isotope a été consommée et une petite fraction de l'uranium 238 a été transformée en plutonium 239 et autres éléments transuraniens. Le combustible épuisé est généralement stocké à la centrale même

en attendant l'approbation et la construction d'une installation de stockage de déchets de haute activité.

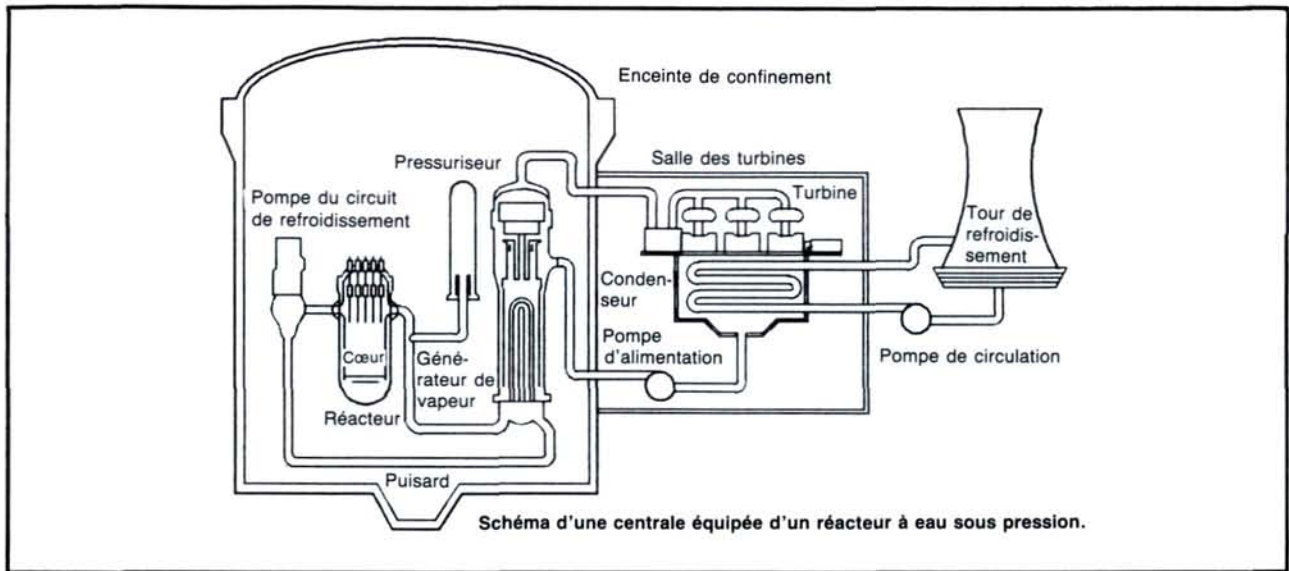
Environ 2,8 millions d'expéditions de matières radioactives représentant à peu près  $33,3 \times 10^{16}$  Bq, non compris les expéditions de combustible épuisé, sont faites chaque année aux Etats-Unis<sup>5</sup>. C'est le Département des transports qui est essentiellement responsable de la réglementation de ces expéditions, laquelle dépend du type et de la quantité des radionucléides en cause et des caractéristiques des véhicules utilisés. La plupart des matières expédiées sont relativement inoffensives et peuvent être transportées dans des caisses en aggloméré ou en bois, ou dans des fûts en acier (emballage du «type A»). Les matières de moyenne activité doivent être transportées dans des conteneurs du «type B» répondant à des normes plus rigoureuses. Les expéditions de déchets de haute activité, de combustible épuisé et de résidus de transuraniens, qui sont autant de matières fortement radioactives, exigent des protections plus sérieuses. Les pesants châteaux de transport utilisés pour ces déchets sont soumis à des épreuves très rigoureuses avant d'être acceptés par les services fédéraux responsables<sup>5</sup>.

En matière de gestion des déchets radioactifs, les aspects techniques posent d'ailleurs moins de problèmes que les incidences socio-politiques. La principale difficulté est que la population aux alentours d'un emplacement prévu veut toujours que les déchets soient expédiés ailleurs. Ces déchets radioactifs sont classés selon leurs propriétés physiques et chimiques et d'après leur provenance. La loi veut que les déchets produits par les programmes de défense nationale soient traités séparément de ceux des activités civiles. La période radioactive et la forme chimique des déchets ont aussi une influence sur leur mode de gestion.

Les déchets de faible activité comprennent les résidus de laboratoires de recherche, tels que papiers et matières biologiques contaminés, et certains déchets peu radioactifs des centrales nucléaires tels que chiffons, matières plastiques, ferraille et matériaux de construction. Deux autres sortes de déchets de cette catégorie se sont accumulées en grandes quantités sur certains sites; ce sont les résidus du broyage et traitement des minerais d'uranium ou des opérations de nettoyage des usines de traitement de l'uranium, du radium et du thorium.

L'irradiation du public due à l'évacuation de déchets de faible activité est peu de chose comparée à celle qui provient des sources naturelles et médicales de rayonnement. Les opérations d'évacuation ont néanmoins donné lieu à quelques difficultés dans le passé. En 1980 et 1985, le Congrès des Etats-Unis a adopté une loi en vertu de laquelle chaque Etat de l'Union sera tenu, à dater du 1er janvier 1993, d'éliminer les déchets de faible activité produits sur son territoire; les Etats sont également invités à se grouper éventuellement par région pour choisir des sites communs de stockage définitif. La question des déchets de faible activité fait l'objet d'un récent rapport de l'AMA (rapport A, réunion intérimaire de 1988).

Quant aux déchets de haute activité, il en existe deux types: les combustibles nucléaires épuisés non retraités et les résidus liquides et solides du retraitement de ces combustibles. Il existe également des déchets contenant des éléments transuraniens, provenant pour la plupart



des usines d'armement nucléaire. Plusieurs méthodes d'isolement de ces déchets sont à l'étude depuis une quarantaine d'années : solidification sur place, stockage dans des formations géologiques, enfouissement dans les sédiments marins à plus ou moins grande profondeur, injection sous forme de coulis dans les fissures de formations rocheuses profondes<sup>6,7</sup>. Le dépôt dans des excavations souterraines profondes protégées par des barrières multiples semble être la meilleure option. La législation fédérale promulguée en 1988 prévoit une reconnaissance du mont Yucca, dans le Nevada, comme site possible d'un dépôt national.

L'évaluation des risques que comporte l'évacuation de déchets radioactifs soulève d'importantes questions. Premièrement, la période dont cette évaluation doit tenir compte est d'une durée sans précédent dans l'histoire. Ensuite, l'élaboration des critères à retenir pour un dépôt de déchets de haute activité a été entravée par la lenteur de l'évolution des idées sur la limitation des doses de rayonnement qu'il est éthiquement permis d'imposer aux générations futures. Un dépôt bien conçu pourrait facilement respecter les limites de dose spécifiées par la Commission de réglementation nucléaire des Etats-Unis en ce qui concerne les réacteurs à eau légère, soit de 0,10 à 0,25 millisievert (mSv) par personne et par an.

Plusieurs chercheurs ont utilisé des modèles naturels pour prédire le comportement de déchets radioactifs déposés dans des couches géologiques profondes<sup>5</sup>. L'étude de ces modèles, dont la mine d'uranium d'Oklo en Afrique occidentale et un vaste dépôt de thorium et de terres rares dans l'Etat de Minas Gerais, au Brésil, a montré que les gisements de minerai naturel étaient stables pendant des périodes de durée géologique.

### Fonctionnement normal d'une centrale nucléaire

Parmi les 106 réacteurs en exploitation aux Etats-Unis en 1987, on comptait 68 réacteurs à eau sous pression, 37 réacteurs à eau bouillante et un réacteur à haute température refroidi par un gaz. La radioexposition du

personnel des centrales et du public semblait un peu plus élevée auprès des centrales déjà anciennes ou équipées de réacteurs à eau bouillante. Les principales sources d'exposition du personnel sont les produits de corrosion des surfaces métalliques des vannes, des conduites et des éléments structuraux du cœur du réacteur. Ces matières, devenues radioactives au cours du fonctionnement du réacteur, proviennent d'impuretés qui se rencontrent normalement dans les éléments alliés à l'acier pour la fabrication des composants. De moindre importance sont les quantités infimes d'uranium qui demeurent à la surface des éléments combustibles au cours de leur fabrication, ainsi que les composés d'uranium et les produits de fission qui se dégagent, dans les conditions normales d'exploitation, du fait des légères imperfections du gainage des barreaux de combustible.

La radioexposition des travailleurs intervient principalement au cours des travaux de maintenance de quelque importance et des opérations de rechargement, c'est-à-dire pendant que le réacteur est à l'arrêt. Les irradiations les plus fortes se produisent pendant les opérations importantes de maintenance: démontage et remontage des vannes, dépose et remplacement des panneaux de visite des circuits primaires, vérification, décontamination, nettoyage et obturation de la tubulure des générateurs de vapeur des réacteurs à eau sous pression; inspection et réparation d'organes des réacteurs à eau bouillante; dépose et remplacement des couvercles des cuves et de certaines pièces du cœur pour permettre le rechargement. La décontamination des matériels et l'évacuation des déchets radioactifs sont aussi une cause de radioexposition. La meilleure estimation de l'effet global de l'industrie nucléo-énergétique sur la santé est la dose collective de rayonnement dans cette industrie. En 1986, elle était, pour tous les travailleurs, de 4,8 homme-sieverts (Sv) par réacteur à eau sous pression et de 6,5 homme-Sv par réacteur à eau bouillante. La moyenne s'établissait à 4 mSv par travailleur et les doses reçues par ceux d'entre eux qui étaient les plus exposés demeuraient bien en deçà des limites spécifiées par la Commission de réglementation nucléaire. Le contrôle radiologique et la surveillance de la radio-

exposition du personnel par les compagnies d'électricité, les exploitants, l'Institut de la production nucléo-énergétique et la Commission de réglementation nucléaire contribuent à maintenir les doses dans les limites des normes fédérales.

En 1974, la Commission de réglementation a exigé que les réacteurs soient dorénavant conçus ou modifiés de manière que les doses de rayonnement délivrées par leurs effluents aux populations environnantes soient «aussi faibles qu'il est raisonnablement possible». La Commission a fixé les limites supérieures à 0,05 mSv/an pour l'exposition de l'organisme entier aux effluents gazeux atmosphériques, à 0,15 mSv/an pour l'exposition de la thyroïde aux rejets de radio-iodes, et à 0,03 mSv/an pour l'exposition aux effluents liquides de tout individu se trouvant sur le périmètre du site ou au-delà. Ces doses limites ne représentent que de petites fractions de la dose moyenne de 3 mSv/an que l'homme reçoit du fond naturel de rayonnement<sup>8</sup>.

Après l'accident de Three Mile Island, tant la Commission de réglementation nucléaire que l'industrie nucléo-énergétique ont regardé de plus près les programmes de radioprotection. L'Institut de la production nucléo-énergétique centralisait l'essentiel de l'activité de l'industrie dans ce domaine. Actuellement, l'Institut et les compagnies qui exploitent des centrales nucléaires apportent leur appui à de vastes programmes de protection radiologique et de formation visant à maintenir la radioexposition au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre. La plupart des réacteurs sont maintenant exploités de telle sorte que les doses de rayonnement provenant de leurs effluents sont bien inférieures aux limites prescrites. Les doses se maintiennent généralement à moins de 0,001 mSv/an à l'organisme entier et de 0,01 mSv/an à la thyroïde, quelle que soit la voie de contamination. En 1983, dernière année pour laquelle on dispose de statistiques de la Commission de réglementation nucléaire, la dose totale imputable aux effluents des 80 réacteurs alors en exploitation était de 0,95 homme-Sv par voie atmosphérique et de 0,76 homme-Sv par voie liquide. La dose individuelle moyenne aux personnes résidant dans un rayon de 80 km autour des centrales était de  $4 \times 10^{-5}$  mSv.

### Rejets accidentels de radioactivité

Les réacteurs américains sont conçus de telle manière qu'ils ne peuvent pas exploser comme un engin nucléaire. En outre, l'uranium 235 fissile qu'ils contiennent est largement dilué avec de l'uranium 238, et le taux de montée en puissance est limité à des valeurs bien inférieures à celles qu'exige la libération d'énergie dans un engin nucléaire. Il n'en reste pas moins que le cœur d'un réacteur contient une grande masse de matières radioactives et que le dégagement d'une fraction substantielle de cette radioactivité pourrait avoir de sérieux effets sur la santé des personnes et poser de graves dommages aux biens et à l'environnement.

Ce ne sont que les états du réacteur ou les incidents menant à une fusion du combustible qui peuvent avoir de graves conséquences pour la santé de la population. Avec le type de réacteur exploité aux Etats-Unis, le plus grave qui puisse se produire est que, la réaction en chaîne étant arrêtée, les systèmes d'évacuation de la cha-

leur produite dans le cœur tombent en panne. En pareil cas, la température montera rapidement jusqu'au point de fusion du combustible. A la centrale de Three Mile Island, c'est une vanne qui s'est bloquée en position ouverte, laissant échapper de l'eau de refroidissement, et un opérateur a fermé par erreur le circuit de refroidissement d'urgence, ce qui a provoqué la fusion partielle du cœur du réacteur.

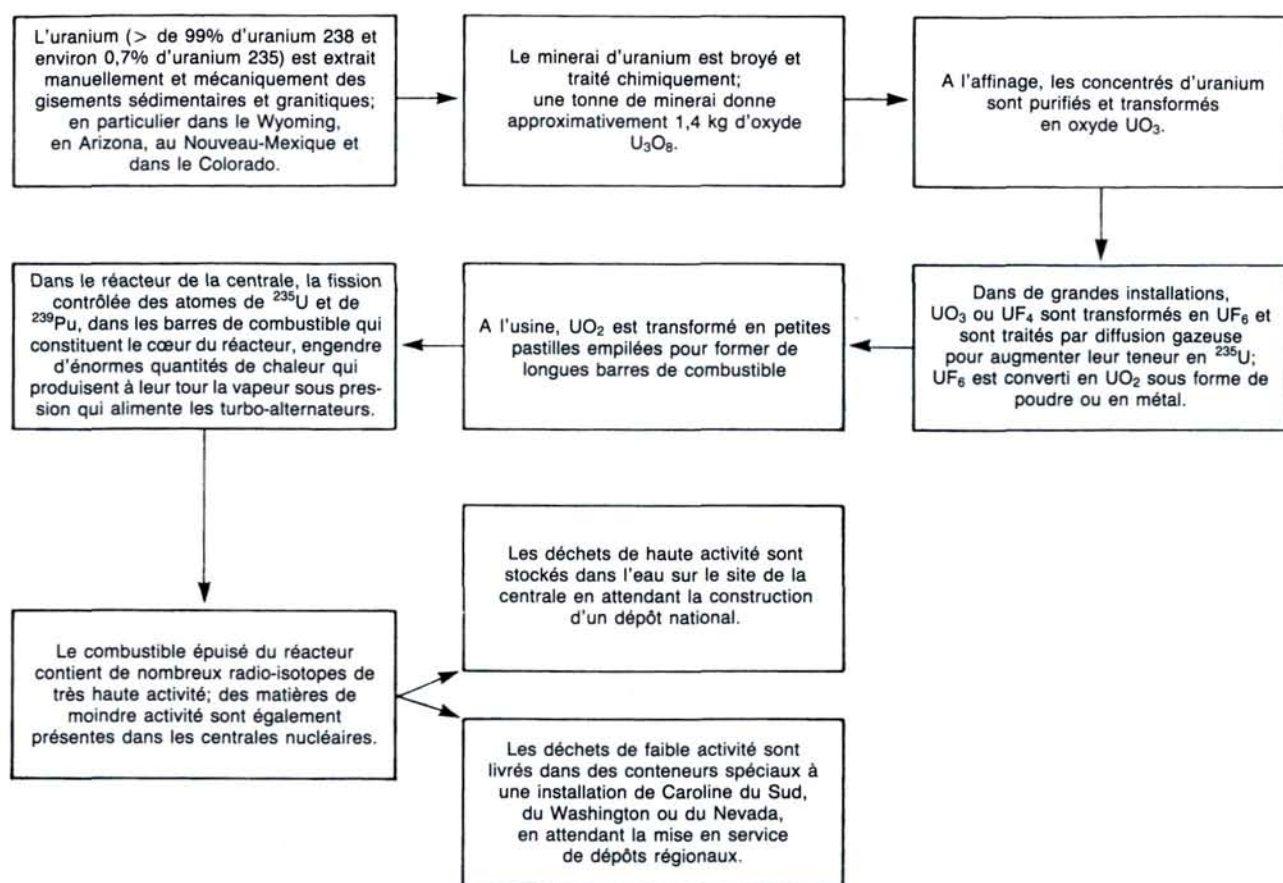
Certains produits de fission radioactifs sont volatils à la température de fusion du combustible, qui est très élevée, et se dégagent du combustible en fusion sous forme de fines particules ou d'aérosols. Une bonne partie de ces aérosols se fixe sur les surfaces métalliques plus froides à l'intérieur du réacteur. Indépendamment, le dispositif d'élimination des produits de fission comportant un réseau d'aspersion ou des bassins d'eau entre en action. Certains produits de fission sont des isotopes radioactifs de gaz nobles — xénon et krypton — qui, du fait de leur nature inerte, ne posent pas de problèmes lorsqu'ils sont rejetés dans l'atmosphère.

La fusion d'un cœur peut avoir des effets délétères dans la mesure où des produits de fission chimiquement actifs franchissent le confinement. Dans un rapport de 1975, la Commission de réglementation nucléaire a analysé le fonctionnement du réacteur à eau légère et a conclu que la probabilité d'une fusion du cœur est d'environ 1/20 000 par an et par réacteur<sup>9</sup>. La marge d'incertitude dans ces calculs est un facteur 10, c'est-à-dire que la probabilité se situe en réalité entre 1/2000 et 1/200 000 par réacteur. La Commission précise que moins de 1% des fusions du cœur peuvent libérer des quantités éventuellement mortelles de radioactivité. On pourra déduire des statistiques de la Commission qu'avec 100 centrales nucléaires exploitées aux Etats-Unis pendant dix ans la probabilité qu'une fusion du cœur libère pendant cette période des quantités de radioactivité dangereuses pour la vie serait de  $100 \times 10 \times 1/20\ 000 \times 1/100$ , soit 1/2000. Ce calcul ne tient d'ailleurs pas compte des améliorations successives de la sûreté au niveau de la conception et de l'exploitation des centrales nucléaires.

La connaissance des caractéristiques des effluents radioactifs rejetés par les centrales nucléaires a son utilité lorsqu'il s'agit d'élaborer des programmes de protection du public en cas de dégagement de radioactivité. L'exposition initiale à ces effluents est moindre si l'on se confine dans des locaux fermés, car ceux-ci protègent contre le rayonnement externe et réduisent l'exposition à la radioactivité atmosphérique. La réduction de la dose est faible dans les constructions en bois sans sous-sol, mais assez importante à l'intérieur des grands immeubles.

En cas de rejets atmosphériques importants, le mieux que l'on puisse faire, sauf si l'on se trouve à quelques kilomètres de la centrale, consiste à se réfugier dans les maisons et dans les immeubles et y demeurer jusqu'à ce que la première vague de radioactivité, qui constitue le «nuage radioactif», se soit retirée de la zone considérée. En revanche, les secteurs très contaminés devraient être évacués. Même dans le pire des cas, l'évacuation devrait être possible quelques heures après le passage du nuage. Le confinement à l'intérieur des habitations pendant plusieurs heures présente trois avantages. Premièrement, il limite le nombre de personnes à évacuer immé-

## Perspectives



Origine, fabrication et évacuation du combustible nucléaire aux Etats-Unis. (Source: National Geographic (1979)<sup>5</sup>)

diatement; deuxièmement, il protège les gens pendant que le nuage est sur eux; troisièmement, il contribue à éviter la panique. Lorsque le nuage est passé, les autorités peuvent déterminer les secteurs contaminés et donner de nouvelles instructions.

L'explosion de Tchernobyl a libéré des milliards de mégabecquerels dans l'environnement et, cependant, l'évacuation n'a pas commencé avant 48 heures. Ceux qui sont restés chez eux ont reçu une dose d'exposition moyenne d'environ 0,03 gray (Gy), alors que les personnes non abritées ont reçu une dose de 0,1 à 0,15 Gy<sup>10</sup>. La réponse des services médicaux après l'accident comportait trois degrés: sauvetage et premiers soins d'urgence sur le site de l'accident, traitement d'urgence dans les hôpitaux de la région, diagnostic et traitement dans les centres médicaux spécialisés de Moscou.

En cas d'exposition aux radio-iodes, il faut administrer un agent inhibant tel l'iodure de potassium pour empêcher l'absorption du radio-isotope. Le produit doit être administré en temps opportun et selon les recommandations du Conseil national de la radioprotection et des mesures radiologiques<sup>11</sup>. Après l'accident de Tchernobyl, les services médicaux soviétiques ont distribué de l'iode à tous les établissements hébergeant des enfants dans la région et le traitement s'est avéré très efficace<sup>12</sup>.

L'intensité de la radioexposition due à un important rejet de radioactivité peut varier considérablement. Les fortes expositions, c'est-à-dire plus de 2 Sv, provoquent

le mal des rayons chez de nombreux sujets et pourraient même menacer la vie de quelques-uns. Seule une désorganisation totale des services de protection sanitaire pourrait éventuellement mettre un petit groupe de personnes dans cet état, à part le personnel de la centrale. Le cas de Tchernobyl semble le confirmer: personne, parmi la population, n'a reçu une dose suffisante pour provoquer le mal des rayons. Cela dit, une centaine de sujets ont reçu des doses supérieures à 1 Sv et l'on a relevé 31 cas de brûlures et de radiolésions parmi le personnel de la centrale et les équipes de pompiers<sup>3, 10</sup>.

Un dégagement de matières radioactives peut exposer un grand nombre d'individus à des doses de 0,1 à 1 Sv. Ces cas ne présenteraient pas de symptômes de mal des rayons, mais ils seraient certainement dans un état de tension et d'angoisse. Plus nombreux encore serait le groupe susceptible de recevoir des doses inférieures à 0,1 Sv, ce qui n'appelle aucun traitement à part une décontamination. Après l'accident de Tchernobyl, plus de 100 000 personnes se sont trouvées dans ce cas<sup>10</sup>. On a constaté lors de l'accident de Three Mile Island que les habitants de la région qui n'avaient pas reçu de doses mesurables présentaient néanmoins des symptômes provoqués par l'anxiété.

Aux Etats-Unis, nous l'avons déjà dit, les réacteurs à eau légère ne sont pas sujets à des catastrophes du genre de celle de Tchernobyl. On peut concevoir que la fusion du cœur, combinée à une défaillance de l'enveloppe de confinement, puisse libérer une quantité de

radioactivité approchant celle de Tchernobyl, mais l'analyse des scénarios possibles montre qu'une issue analogue à ce qui s'est passé à Three Mile Island est bien probable. En l'occurrence, l'enceinte de confinement du réacteur a tenu et l'on a évalué la contamination à  $37 \times 10^{16}$  Bq de gaz radioactifs nobles et à moins de  $111 \times 10^{10}$  Bq de radio-iode. A l'extérieur du site de la centrale, personne n'a reçu une dose supérieure à 1 mSv.

Les effets différés de la radioexposition peuvent être le cancer, les affections de la thyroïde, la cataracte et éventuellement des anomalies génétiques. L'incidence de ces affections dans une population exposée est généralement évaluée à partir de la dose collective à cette population et de l'hypothèse prudente d'un rapport linéaire entre la dose et l'effet.

Dans une population donnée, la dose à l'organisme entier due à la fusion du cœur d'un réacteur se situe, selon les évaluations, dans la fourchette de 10 homme-Sv si le confinement du réacteur résiste, à  $10^6$  homme-Sv si tous les systèmes tombent en panne dans les pires conditions possibles. Un calcul empirique donne de 200 à 400 cas mortels de cancer dans une population collectivement exposée à 10 000 homme-Sv; la possibilité qu'il y en ait moins ou même aucun n'est pas à exclure<sup>13</sup>. On peut en déduire qu'une dose collective de  $10^6$  homme-Sv peut être la cause de 40 000 cas mortels de cancer pendant plusieurs décennies. Ces cas se produiraient probablement dans une population de 10 millions d'habitants vivant aux alentours de la centrale. Dans cette même population, environ 1,9 million de personnes mourraient de toute façon d'un cancer «naturel». L'irradiation augmenterait ce chiffre de moins de 2%, ce qui serait d'ailleurs difficile à distinguer.

Une conséquence plus vraisemblable du pire accident nucléaire imaginable serait l'apparition de cas supplémentaires de nodules de la thyroïde en nombre égal à l'incidence spontanée. Les effets génétiques se situeraient probablement à moins de 0,1% de l'incidence naturelle et passeraient inaperçus<sup>14</sup>.

### Les risques du nucléaire

La production d'électricité par quelque moyen que ce soit comporte certains risques; par exemple, l'explosion en juillet 1988 d'une plate-forme pétrolière en mer du Nord a fait 166 morts. Dans les charbonnages, les mineurs de fond sont parmi les travailleurs les plus dangereusement exposés et, aux Etats-Unis, quelque 100 personnes sont tuées chaque année dans des accidents de circulation à l'occasion du transport de charbon vers les centrales thermiques. Les émissions de gaz de combustion du charbon contribuent à la pollution atmosphérique et les cendres et scories résultant de cette combustion doivent être évacuées. Toutes ces opérations comportent des risques.

L'Agence américaine de protection de l'environnement, la Commission de réglementation nucléaire et d'autres organismes réglementaires fédéraux se sont efforcés de réglementer les cycles du combustible des systèmes de production d'énergie afin d'éliminer les risques excessifs. Par exemple, de nouvelles normes de

performance sont imposées aux chaudières à charbon de grande capacité afin de limiter les émissions d'anhydride sulfureux et sulfurique et de particules; l'extraction souterraine du charbon est désormais réglementée de façon à réduire la fréquence des accidents et des cas de pneumoconiose parmi les mineurs; de même, la radioexposition du public provenant du cycle du combustible nucléaire est aussi contrôlée. Grâce à ces mesures, les centrales thermiques et nucléaires sont probablement plus sûres actuellement qu'il y a 20 ans.

Dans des articles parus au début des années 70, Sagan<sup>15</sup> et Lave et Freeberg<sup>16</sup> ont comparé les divers systèmes de production d'énergie et conclu que les centrales nucléaires comportaient sensiblement moins de risque pour la santé publique que les centrales thermiques au charbon. En 1974, Hamilton<sup>17</sup>, du Laboratoire national de Brookhaven (New York), a réexaminé le problème et conclu lui aussi que les centrales thermiques modernes au charbon sont toujours moins sûres que les centrales nucléaires.

Pour ce qui est du charbon, l'extraction souterraine et la pollution atmosphérique sont les principaux responsables de la morbidité et de la mortalité; viennent ensuite les risques inhérents au transport. Si le charbon provient de mines souterraines et est transporté par chemin de fer, le cycle du combustible, depuis l'extraction jusqu'à la combustion, est la cause, selon les estimations, de 279 cas de maladies et de lésions, et de 18,1 décès par gigawatt-an<sup>17</sup>. En revanche, le cycle du combustible nucléaire, avec extraction souterraine de l'uranium, est la cause — toujours selon les estimations — de 17,3 cas de maladies et de lésions et d'un seul décès par gigawatt-an.

Ces estimations sont entachées d'une certaine incertitude parce qu'il est difficile de se mettre d'accord en ce qui concerne tant les effets sur la santé des émissions d'aérosols particulaires et d'anhydride sulfureux par les centrales au charbon que les risques auxquels les populations sont exposées en cas d'accident dans une centrale nucléaire. Selon Morris et ses collaborateurs<sup>18</sup>, les chaudières actuelles chauffées au mazout et au gaz sont un peu plus sûres que les chaudières au charbon ou les réacteurs nucléaires, tandis que l'exploitation de l'énergie solaire est moins sûre car des matières toxiques entrent dans la composition des capteurs, de grandes structures sont nécessaires pour capter et emmagasiner l'énergie, et la maintenance de ces structures comporte des risques d'accident.

### L'énergie nucléaire, le médecin et la société

Aux Etats-Unis, il faut disposer d'un approvisionnement suffisant en énergie électrique pour assurer la bonne marche des affaires, l'éclairage des habitations et des écoles, la climatisation des grands immeubles, la conservation des denrées alimentaires, les soins médicaux, et bien d'autres activités encore. Pour répondre à ces besoins, l'énergie nucléo-électrique n'est qu'une option, tout comme le charbon, le mazout, le gaz, l'eau, le vent et le soleil. Elle implique l'émission de rayonnements ionisants qui peut nuire à la santé. Il faut donc que les médecins sachent sur quels principes repose l'exploitation de cette source d'énergie.



Centrale nucléaire Onagawa (Japon).

L'expérience montre qu'en cas d'accident dans une centrale nucléaire le médecin est sollicité par le patient et sa famille, par les journalistes, par ses confrères, etc. Il devrait savoir comment se renseigner sur la quantité de radioactivité libérée et être en mesure de conseiller pertinemment ses malades et le public. Il devrait connaître les indices, les symptômes et les méthodes de diagnostic comparé concernant les lésions radio-induites, ainsi que l'importance des tests hématologiques spécifiques (les deux derniers ouvrages cités dans les références devraient pouvoir être consultés dans les bureaux, les cliniques et les services d'urgence<sup>19, 20</sup>). Les cas difficiles peuvent exiger un avis spécialement compétent que l'on peut obtenir, aux Etats-Unis, 24 heures sur 24, en s'adressant au Service d'assistance d'urgence en cas d'irradiation, Oak Ridge (Tennessee), tél. 615/482-2441.

Les médecins sont considérés par le public comme des personnes compétentes aptes à donner des conseils avisés sur les décisions et les activités dangereuses pour la santé. A la demande de divers groupes de la collectivité — police, sapeurs-pompiers, services de radioprotection, unités d'intervention en cas d'urgence, hôpitaux et industries — ils peuvent être appelés à prendre des dispositions en cas d'urgence radiologique, de contamination par des produits chimiques, d'incendies et de catastrophes naturelles. Dans ces situations d'exception, il est normal que le cabinet du Gouverneur

et les services de l'Etat interviennent, l'aide nécessaire étant généralement fournie par des organismes ou des services fédéraux tels que l'Agence fédérale d'intervention en cas d'urgence, le Service de la santé publique, le Réseau médical national de secours et la Commission de réglementation nucléaire, dont la plupart ont des antennes à Boston, New York, Philadelphie, Atlanta, Chicago, Dallas, Kansas City, Denver, San Francisco et Seattle.

Les médecins peuvent aussi contribuer à mieux faire comprendre le rôle de la science dans la société. Tout le monde, y compris eux, profite des avantages de l'exploitation active des sciences et des techniques et souffre de leur délaissement. Pour que les choses marchent au mieux, les membres d'une société démocratique doivent avoir un honnête bagage scientifique pour être en mesure de se prononcer sur des questions importantes telles que l'énergie nucléaire, la contamination chimique de l'eau potable, les déchets dangereux, les pesticides et les additifs alimentaires.

Nombre de personnes réfléchies sont convaincues que les programmes d'enseignement actuel, aux Etats-Unis, négligent l'instruction des jeunes dans le domaine scientifique. Vu leur prééminence au sein des communautés nationales, les médecins peuvent tenter de combler cette lacune en cherchant à améliorer les connaissances de chacun dans les divers domaines de la science, de la technique et de leurs applications.

## Recommandations

Le Conseil scientifique de l'AMA a formulé les recommandations suivantes:

- **Utilité de l'électricité** — une puissance installée suffisante doit être prévue pour assurer la santé publique et le progrès de la société.

- **Conservation de l'énergie** — il faut continuer de veiller à la conservation et à l'emploi rationnel de l'énergie.

- **Sûreté de la production de l'électricité** — depuis plusieurs décennies, la production de l'électricité aux Etats-Unis devient de plus en plus sûre et douce pour l'environnement.

- **Sûreté du nucléaire** — le parc nucléo-électrique est passablement sûr aux Etats-Unis.

- **Sûreté des réacteurs** — les réacteurs industriels américains sont conçus et construits de manière à garantir la sûreté de leur exploitation et à prévenir les rejets accidentels de radioactivité; leurs caractéristiques de sûreté ont fait la preuve de leur efficacité.

- **Radioexposition professionnelle** — l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants a diminué au cours des dix dernières années jusqu'à un niveau extrêmement bas.

- **Elimination des déchets radioactifs** — chaque Etat de l'Union devrait continuer à se préparer pour assurer la gestion des déchets de faible activité à partir du 1er janvier 1993, comme l'a recommandé le Congrès.

- **Rôle des médecins** — les médecins devraient disposer d'instructions pour le traitement des personnes souffrant de radiolésions. D'une façon générale, il leur appartient de conseiller le public et de le rassurer en cas d'urgence radiologique. Ils devraient aussi contribuer à l'information du public sur les avantages, et aussi les risques, de l'énergie nucléaire.

- **Rôle de l'AMA** — l'association devrait continuer à suivre les activités qui ont une incidence sur la santé publique et tenir le corps médical au courant des techniques qui ont un rapport avec la profession médicale.

## Références

1. *Energy in Transition: 1985-2010*, National Research Council, W.H. Freeman & Co, New York, NY (1979)
2. *Commercial Nuclear Power 1987 — Prospect for the United States and the World*, US Department of Energy, Energy Information Administration, Washington, D.C. (1987).
3. «A Visit to Chernobyl», par R. Wilson, *Science*, 236:1636-1640 (1987).
4. «Nuclear Power after Chernobyl», *Science*, 236:673-679 (1987).
5. *Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources*, M. Eisenbud, 3ème éd., Academic Press Inc. Orlando, FL (1987).
6. *Radiological Assessment: Predicting the Transport, Bioaccumulation, and Uptake by Man of Radionuclides Released to the Environment*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Rapport n° 76, Bethesda, MD (1984).
7. *A Study of the Isolation System for Geological Disposal of Radioactive Waste*, Board on Radioactive Waste Management, National Academy of Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. (1983).
8. *Public Radiation Exposure from Nuclear Power Generation in the United States*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Rapport n° 92, Bethesda, MD (1987).
9. *Reactor Safety Study, an Assessment of Accident Risk in US Commercial Nuclear Power Plants*, US Nuclear Regulatory Commission, Publication WASH 1400, Washington, D.C. (1975).
10. «Soviet medical response to the Chernobyl nuclear accident», par R.E. Linnemann, *JAMA*, 258:637-643 (1987).
11. *Protection of Thyroid Gland in the Event of Releases of Radioiodine*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Rapport n° 55, Washington, D.C. (1977).
12. «Conséquences radiologiques de l'accident de Tchernobyl en Union soviétique et mesures prises pour en atténuer l'impact», par L. Ilyin et O. Pavlovskij, *Bulletin de l'AIEA*, vol. 29, n° 4, Vienne (1987).
13. *The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, Division of Medical Sciences, Assembly of Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. (1980).
14. «Chernobyl: a radiobiological perspective», par J. Goldman, *Science*, 238:622-625 (1987).
15. «Human cost of nuclear power», par L.A. Sagan, *Science*, 177:487-493 (1973).
16. «Health effects of electricity generation from coal, oil and nuclear fuel», par L.B. Lave et L.C. Freeberg, *Nuclear Safety*, 14:409-428 (1973).
17. «Practical consequences of the assessment of different energy health risks», par L.D. Hamilton, *Environ Int.*, 10:383-394 (1984).
18. *Health and Environmental Effects of the National Energy Plan: A Critical Review of Some Selected Issues*, S.C. Morris, H. Fischer, C. Calef, et coll., Brookhaven National Laboratory, Rapport 51300, Upton, NY (1980).
19. *Medical Basis for Radiation Accident Preparedness*, K.F. Huebner, S.A. Fry, Elsevier North-Holland, New York, NY (1980).
20. *What the General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of Overexposed Individuals*, AIEA, Vienne (1986).