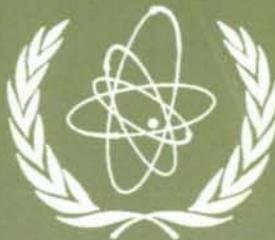


AIEA BULLETIN



VOL.36, N°4
1994
VIENNE, AUTRICHE

REVUE TRIMESTRIELLE DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE



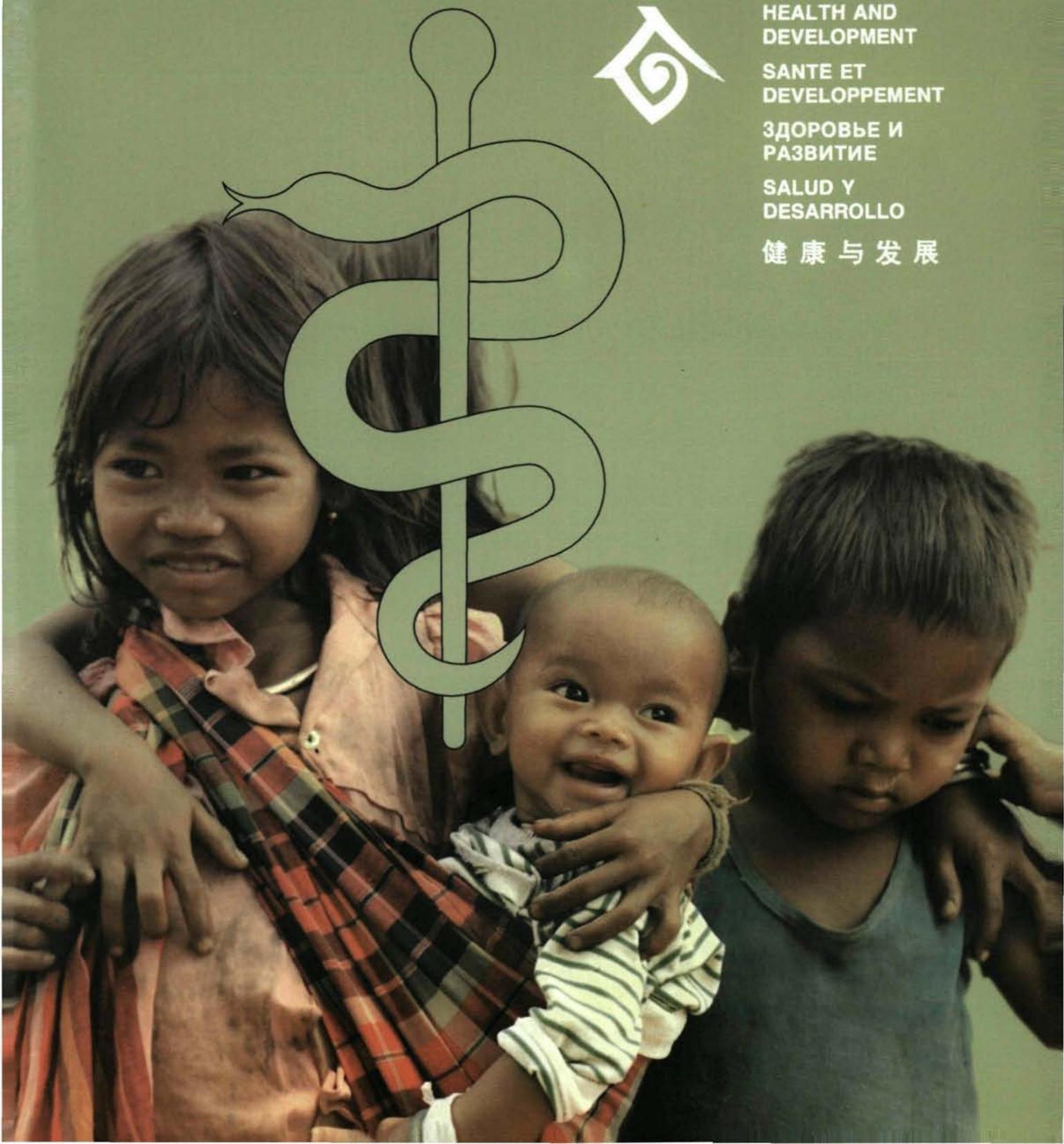
HEALTH AND
DEVELOPMENT

SANTE ET
DEVELOPPEMENT

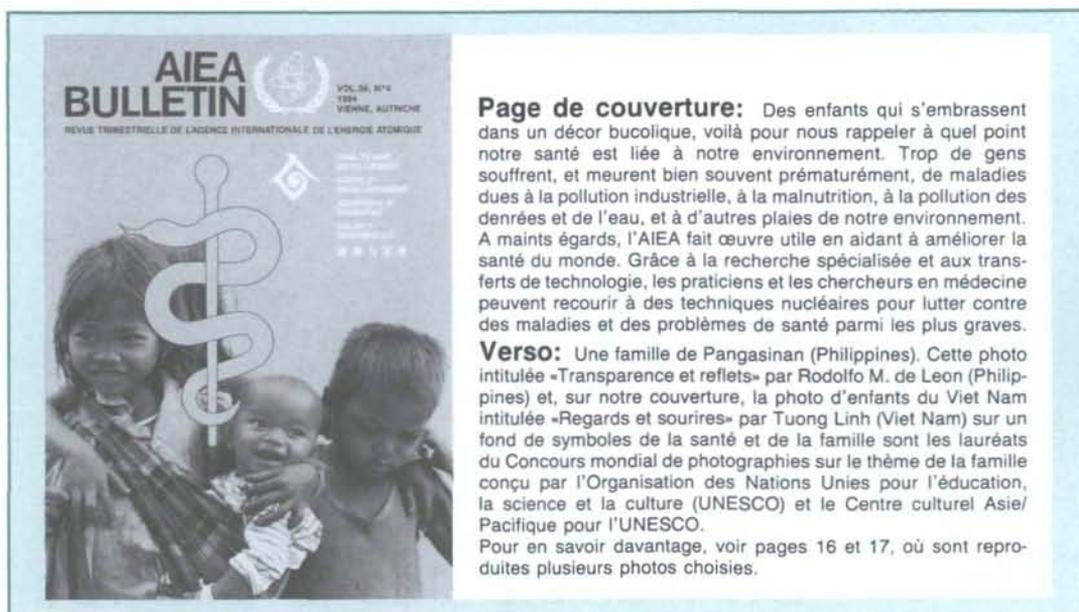
ЗДОРОВЬЕ И
РАЗВИТИЕ

SALUD Y
DESARROLLO

健康与发展







Page de couverture: Des enfants qui s'embrassent dans un décor bucolique, voilà pour nous rappeler à quel point notre santé est liée à notre environnement. Trop de gens souffrent, et meurent bien souvent prématurément, de maladies dues à la pollution industrielle, à la malnutrition, à la pollution des denrées et de l'eau, et à d'autres plaies de notre environnement. A maints égards, l'AIEA fait œuvre utile en aidant à améliorer la santé du monde. Grâce à la recherche spécialisée et aux transferts de technologie, les praticiens et les chercheurs en médecine peuvent recourir à des techniques nucléaires pour lutter contre des maladies et des problèmes de santé parmi les plus graves.

Verso: Une famille de Pangasinan (Philippines). Cette photo intitulée «Transparence et reflets» par Rodolfo M. de Leon (Philippines) et, sur notre couverture, la photo d'enfants du Viet Nam intitulée «Regards et sourires» par Tuong Linh (Viet Nam) sur un fond de symboles de la santé et de la famille sont les lauréats du Concours mondial de photographies sur le thème de la famille conçu par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et le Centre culturel Asie/Pacifique pour l'UNESCO.

Pour en savoir davantage, voir pages 16 et 17, où sont reproduites plusieurs photos choisies.

SOMMAIRE

- Perspectives** Les techniques nucléaires au service de la santé: On n'arrête pas le progrès
Alfredo Cuarón / 2
- Santé et environnement: Quelques aspects de leurs rapports
Gopinathan Nair, Robert M. Parr et John Castelino / 10
- Photos: Santé, environnement, famille / 16*
- Santé humaine et nutrition: Comment calmer la «faim latente» à l'aide des isotopes
Robert M. Parr et Carla R. Fjeld / 18
- Recherche médicale: Essais cliniques de radiothérapie du cancer
Jordanka Mircheva / 28
- La dosimétrie des rayonnements en médecine: Expansion des réseaux mondiaux
Peter Nette et Hans Svensson / 33
- Dossiers** Effets biologiques des faibles doses de rayonnements ionisants: On en sait plus
Abel J. González / 37
- Les transferts de technologie pour la gestion des déchets radioactifs: Adapter l'approche
Donald Saire, Curt Bergman, Candace Chan et Vladimir Tsyplenkov / 46
- Repères** Experts sans frontières:
Améliorer les compétences pour le transfert des techniques nucléaires
Robert Lauerbach et Alicia Reynaud / 51
- Les boursiers en science et technologie nucléaires: Mise en pratique de leur formation
John P. Colton / 55
-
- Rubriques** Actualités internationales/Données statistiques / 60
Vacances de postes annoncées à l'AIEA / 72
Nouvelles publications de l'AIEA / 73
Bases de données connectées / 74
Colloques et séminaires organisés par l'AIEA/
Programmes de recherche coordonnée de l'AIEA / 76

Les techniques nucléaires au service de la santé: On n'arrête pas le progrès

*Aperçu de l'évolution des programmes de l'AIEA
et des diverses applications médicales actuelles de l'énergie nucléaire
pour le bien de l'humanité*

par **Alfredo
Cuarón**

Peu avant l'aube du XX^e siècle, la découverte des rayons X, en 1895 et de la radioactivité, en 1896 a ouvert de nouveaux et vastes horizons à la science. Pour le monde médical, celle-ci n'a pas cessé d'évoluer depuis lors, très rapidement dans certains pays, beaucoup plus lentement dans d'autres.

Au cours de ces dernières années, les rayons X sont devenus pour la plupart des gens tout aussi familiers que la roulette du dentiste. A l'approche du XX^e siècle, on s'intéresse davantage aux applications des rayonnements et de l'énergie nucléaire, moins connues mais beaucoup plus élaborées, qui sont à la portée du médecin pour diagnostiquer plus tôt de graves maladies et les traiter. Maintes de ces techniques nouvelles sont l'âme des programmes de l'AIEA dans le domaine de la santé, programmes qui, pour encourager et assister la diffusion des applications médicales de l'énergie nucléaire, sont constamment adaptés à la situation changeante et problématique de la santé humaine et de sa sauvegarde, notamment dans le monde en développement.

Dans cet article sous forme de questions et de réponses, j'expliquerai les différences entre les diverses applications médicales des techniques

nucléaires et je parlerai de l'évolution et des stratégies des activités de l'AIEA dans ce domaine.

Applications de l'énergie nucléaire: Ce qu'elles sont

En quoi consistent les applications médicales de l'énergie nucléaire? Fondamentalement, elles exploitent le pouvoir ionisant des rayonnements ou les propriétés spécifiques d'un radionucléide particulier. Les applications du premier genre servent à détruire les tissus affectés; c'est le cas de la radiothérapie du cancer. Les secondes servent à acquérir une information utile pour le diagnostic; c'est le cas des études de médecine nucléaire. Certaines de ces applications font appel aux techniques nucléaires les plus anciennes et les plus bienfaitrices pour l'être humain, et sont aussi les plus largement utilisées dans le monde.

Qu'est-ce que la radiothérapie? Ce traitement consiste à focaliser un rayonnement ionisant intense sur une tumeur maligne pour détruire tout le tissu atteint. On estime actuellement que 10 millions de nouveaux cas de cancer se présentent chaque année, pour la plupart dans les pays en développement. Plus de 60% de tous les cancéreux sont soumis à une radiothérapie au cours de leur traitement. Un grand nombre d'entre eux sont traités uniquement par la chirurgie, mais les traitements curatifs combinant la radiothérapie et la chimiothérapie sont de plus en plus fréquents.

M. Cuarón est directeur de la Division de la santé humaine, Département de la recherche et des isotopes de l'AIEA.

Les patients dont la guérison est possible (30 à 40% des cas) auraient beaucoup de chance d'être guéris si tous les moyens permettant un diagnostic correct et un traitement optimal étaient utilisés à leur endroit. Malheureusement, cela n'est pas toujours possible et un choix s'impose. Selon l'Organisation mondiale de la santé, «une bonne opération vaut mieux qu'une mauvaise radiothérapie mais il est tout aussi vrai qu'une bonne radiothérapie vaut mieux qu'une mauvaise opération». La radiothérapie est un excellent palliatif, ce qui signifie qu'elle est appelée à intervenir dans la plupart des cas à un stade avancé.

La radiothérapie est-elle une nouveauté?

Pas du tout. Elle fit ses débuts il y a près d'un siècle, en 1896 avec les rayons X; on l'appelait *röntgen-thérapie* en hommage au physicien allemand W.C. Röntgen qui venait de découvrir les rayons X en 1895. A partir de 1903, on parla de préférence de *curiethérapie*, pour honorer la savante française Marie Curie. Techniquement parlant, ce fut la première application pratique de l'énergie nucléaire. Elle consistait à appliquer une source de radium directement sur la tumeur. Cette pratique a duré près d'un demi-siècle, jusqu'à l'apparition des radionucléides artificiels produits dans les cyclotrons et les réacteurs, et dont les propriétés nucléaires et radiobiologiques sont supérieures.

De nos jours, les oncologues ont le choix entre plusieurs modalités radiothérapeutiques pour soigner leurs malades:

La *curiethérapie* consiste à appliquer une source de rayonnement bêta directement sur la tumeur, notamment dans le cas du cancer du col de l'utérus et autres cavités ou surfaces;

La *téléthérapie* consiste à positionner une source de rayonnement gamma à une certaine distance de la tumeur, par exemple dans le cas de cancers profonds.

Dans la plupart des pays industriels et dans bon nombre de pays en développement, on utilise aussi des accélérateurs d'électrons au lieu de sources de rayonnements, souvent avec de meilleurs résultats. En outre, de nouvelles techniques font maintenant leur apparition; elles sont plus complexes et plus onéreuses, mais aussi plus sûres et plus précises. Elles sont fondées sur les accélérateurs de protons, les irradiateurs neutroniques, la capture de neutrons par le bore, et les accélérateurs d'ions lourds.

Les techniques de marquage en médecine nucléaire

Qu'entend-on par «technique de marquage»?

Il y a des milliers d'années, les Chinois utilisaient de petits morceaux de liège coloré pour étudier les courants dans le Yang-tsé kiang. Quelques millénaires plus tard, les Egyptiens déversaient des quantités massives de teinture soluble dans les eaux du Nil pour en suivre les courants. De nos jours, il suffit de

quelques molécules d'eau radioactive pour marquer les courants dans un cours d'eau, dans un lac ou dans la mer, ou pour révéler le métabolisme de l'eau dans un organisme vivant.

Le meilleur exemple de l'extrême sensibilité du radiomarquage est apparu quelques mois après que Becquerel eut découvert la radioactivité, en 1896. Marie Curie avait constaté que la radioactivité de la pechblende était quatre fois supérieure à celle que l'on pouvait attendre de sa teneur en uranium et en thorium, les deux éléments connus à l'époque. Elle conclut à la présence dans la pechblende d'un autre radioélément encore inconnu. Elle décida d'en isoler la radioactivité à l'aide de divers solvants et de diverses réactions chimiques afin d'en déterminer les propriétés chimiques. Elle parvint finalement à isoler 100 mg de radium contenu dans huit tonnes de pechblende. Un rapport de poids de 1 à 80 millions!

Quand commença-t-on à utiliser les techniques de marquage en science biomédicale?

En 1932, lorsque Blumgart utilisa un radio-isotope naturel du bismuth comme indicateur du flux sanguin. En mesurant la radioactivité en différents points du corps, il put en déduire avec une grande précision les temps de parcours du sang à partir du point d'injection intraveineuse. Ce fut la toute première expérience de physiologie humaine faite selon le principe du radiomarquage.

Quelques années plus tard, divers chimistes commencèrent à utiliser les radionucléides pour suivre le phénomène continu d'édification et de désintégration de certaines molécules organiques; la biochimie moderne était née. L'étude des différents cycles du métabolisme dans un organisme vivant serait impossible sans indicateurs isotopiques. Seuls les isotopes stables ou radioactifs marquent des atomes déterminés et permettent d'en suivre le cheminement d'une molécule à une autre dans un milieu biochimique complexe.

Comment exploite-t-on le principe du radiomarquage en médecine nucléaire? La médecine nucléaire se fonde sur l'emploi de quantités infinitésimales de molécules radioactives d'une activité biologique connue pour suivre des fonctions et des processus biochimiques spécifiques. Ces indicateurs, appelés «produits radiopharmaceutiques», peuvent être vus comme des sondes moléculaires dirigées. Une fois le produit administré au patient (*in vivo*) ou ajouté à un spécimen de tissu dans un tube à essai (*in vitro*), les centaines de millions de sondes moléculaires commencent à fouiner dans le spécimen jusqu'à ce qu'elles rencontrent un site privilégié dans la cellule visée où, grâce à leur solubilité, à leur charge et à leur forme, elles se lient sélectivement à un composant de la cellule, ou se concentrent dans un tissu déterminé, ou encore sont excrétées par l'organe étudié.

Quel est l'intérêt de cette information pour le diagnostic? Ces sondes moléculaires peuvent être suivies par des détecteurs extérieurs et mesurées d'après leur rayonnement, à mesure qu'elles se

déplacent avec le sang et se concentrent en certains points, fournissant ainsi une information quantitative, fonctionnelle et biochimique. Cette information, généralement acquise par une caméra gamma, est visualisée en deux dimensions. L'image donne la distribution spatiale du radio-indicateur dans l'organisme, et révèle ainsi la qualité et l'extension régionale du processus biochimique ou fonctionnel à l'étude. La méthode de tomographie dite à émission d'un photon unique donne elle aussi une image bidimensionnelle, mais par coupes successives dans l'organisme. La technique de pointe est la tomographie à émission de positrons. Les images sont obtenues grâce à des sondes moléculaires marquées à l'aide d'émetteurs de positrons produits dans un cyclotron. On peut ainsi analyser les processus biochimiques vitaux les plus délicats, et notamment les interactions entre neurotransmetteurs et neuro-récepteurs radioactifs dans le cerveau. On obtient ainsi une représentation tout à fait remarquable du fondement biochimique de maladies autrefois jugées d'origine «mentale» (démence, schizophrénie, dépression, paranoïa) ou simplement «dégénératives» (maladie de Parkinson).

En résumé, la visualisation en médecine nucléaire est unique en ce qu'elle permet de matérialiser diverses fonctions d'un organe déterminé à l'aide de radio-indicateurs différents. En cardiologie, par exemple, on peut désormais étudier 14 fonctions du cœur, dont certains processus biochimiques et métaboliques dans ses différentes structures.

La médecine nucléaire, une variante raffinée de la radiologie clinique? Nullement. Elles utilisent toutes deux les rayonnements mais ce sont deux disciplines médicales différentes:

La radiologie clinique est née en novembre 1895, peu après la découverte des rayons X par Röntgen. Pour la première fois, le médecin pouvait examiner les organes internes de son malade sans recourir à la chirurgie, en se contentant d'observer leur projection sur une plaque photographique. La densité des ombres est fonction de la densité des tissus. L'image montre très nettement la taille, la forme, la position et la densité de l'organe examiné. Ce sont en somme des images anatomiques. Cela dit, la radiographie expose le corps du patient, certes pendant très peu de temps, à un large faisceau de rayonnements ionisants très intense, qui n'est pas d'origine nucléaire. Bien qu'elle soit évidemment importante, l'étude anatomique ne porte que sur des structures dont les altérations se manifestent à un stade très avancé de la maladie. La radiographie ne donne aucune indication sur la biochimie et la fonction. De fait, le radiologue capte de superbes images d'un cadavre.

La médecine nucléaire, en revanche, a débuté près d'un demi-siècle plus tard, lorsque l'on obtint des radionucléides artificiels grâce aux cyclotrons et aux réacteurs nucléaires. Elle est l'aboutissement naturel du principe du marquage qui permet d'étudier le comportement moléculaire de l'organisme vivant. Elle va bien au-delà de l'anatomie

et explore les domaines de la physiologie, de la biochimie et de la biologie moléculaire — elle a besoin de la pulsion légère de la vie et ne peut produire une image à partir d'un cadavre.

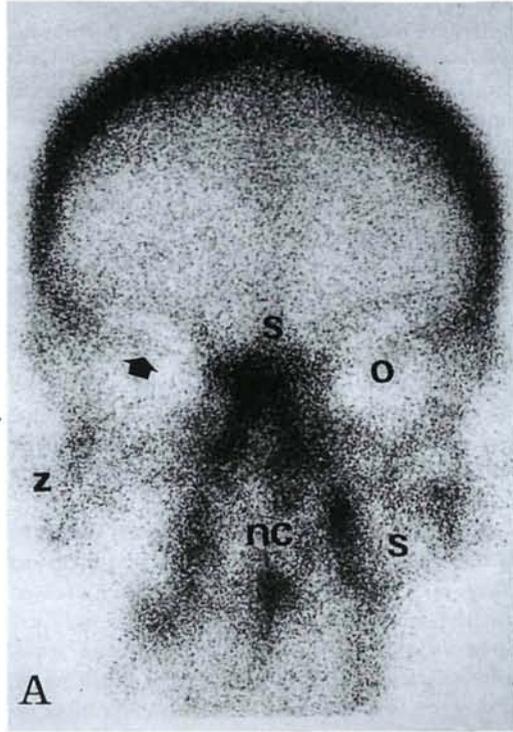
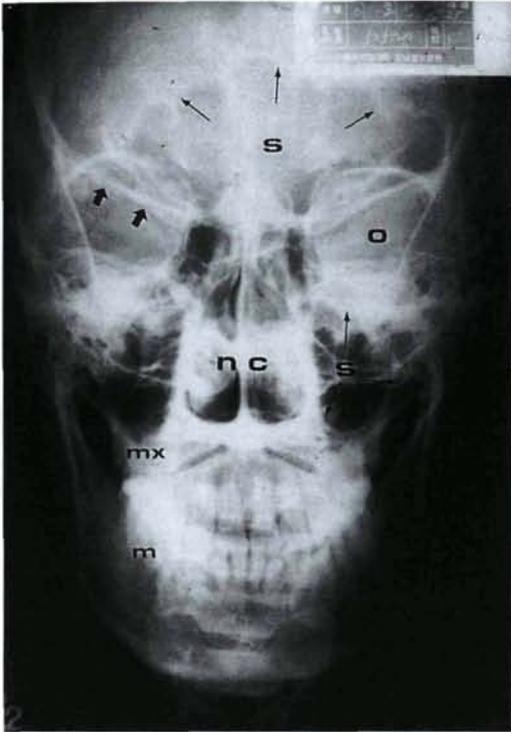
Les différences entre la radiologie et la médecine nucléaire ont-elles une incidence sur le diagnostic médical? Les deux techniques donnent au médecin des indications différentes. La radiologie sert à révéler les effets de la maladie sur les structures, tandis que la médecine nucléaire sert à étudier ses conséquences biochimiques et fonctionnelles. La radiologie est essentielle pour réduire une fracture alors que la médecine nucléaire ne sert pratiquement à rien dans ce cas. Leur intérêt respectif apparaît au niveau de l'étiologie, la maladie débutant généralement par une perturbation biochimique moléculaire dans une région de l'organe ou du système affecté. Avec le temps, la fonction régionale ou globale est atteinte, mais les premières altérations de structure ne se manifestent qu'à un stade très tardif. La médecine nucléaire permet de détecter les premières manifestations biochimiques de métastases osseuses provenant d'un cancer du sein ou de la prostate, et cela de six à 12 mois avant que les changements structuraux n'apparaissent sur une radiographie du squelette. Dans ce cas particulier, la visualisation grâce aux radio-indicateurs est vitale pour le patient.

Le grand intérêt de la médecine nucléaire est de viser non l'organe, comme la radiologie, mais le problème. Elle ne consiste pas seulement à faire de nouveaux tests sur des maladies bien connues. Elle définit les problèmes cliniques par la biochimie et la physiologie régionales, et les mesures obtenues servent à résoudre ces problèmes. La caractérisation biochimique et fonctionnelle d'une maladie est essentielle non seulement pour le diagnostic, mais aussi pour le pronostic et le traitement, qu'il s'agisse d'une médication, de chirurgie, de radiothérapie ou d'une combinaison quelconque de ces moyens.

Le cancer du sein fournit un bon exemple. On le diagnostique fort bien par une mammographie radiologique qui peut indiquer un pronostic grave et faire appel à la chirurgie et à la radiothérapie. En revanche, si l'image nucléaire montre que la tumeur concentre des œstrogènes radioactifs, cela prouve qu'il y a des récepteurs d'œstrogènes dans la tumeur et que celle-ci peut être traitée avec succès par une médication. Non seulement le pronostic est modifié, mais un traitement traumatisant est alors évité. La médecine nucléaire n'exclut pas pour autant la radiologie. Les deux se complètent. Dans le cas présent, la mammographie sert à diagnostiquer tandis que la médecine nucléaire détermine le meilleur traitement.

Sûreté et sensibilité

L'administration interne de radionucléides aux patients est-elle sans risque? En médecine nucléaire, les radionucléides sont spécialement choisis et de



Dans le sens horaire à partir du haut, à gauche:

IMAGES D'UN CRANE HUMAIN:

radiographie antérieure d'un crâne normal montrant le détail anatomique des structures osseuses.

A droite, image du même crâne obtenue par visualisation nucléaire. Le médecin peut noter que le métabolisme normal des phosphonates diffère d'une région à l'autre, étant plus actif dans les os de la voûte et de la face.

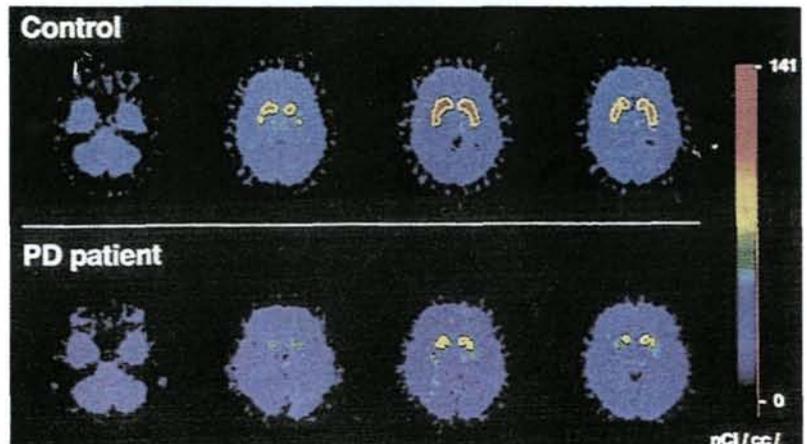
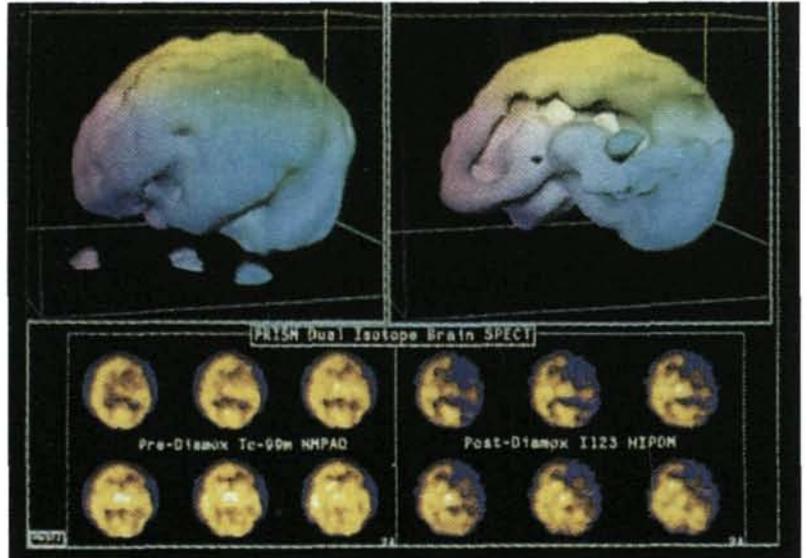
IMAGES DU CERVEAU:

tomographie à émission d'un photon unique obtenue à l'aide de technétium 99m-HMPAO. La concentration du radio-indicateur dans les tissus est proportionnelle au flux sanguin régional.

Les 12 tomographies successives (moitié inférieure) font apparaître une sérieuse diminution du flux sanguin dans l'hémisphère gauche.

Les images tridimensionnelles de la moitié supérieure de la photo, composées à partir de la série de tomographies, précisent nettement la région atteinte.

La dernière photo représente une tomographie du cerveau à émission de positrons. La moitié supérieure montre les images obtenues sur un sujet normal, la moitié inférieure révèle l'insuffisance fonctionnelle des neurorécepteurs dans les noyaux de la base du cerveau chez un patient atteint de la maladie de Parkinson.



courtes périodes. La radioactivité de la dose est juste suffisante pour être détectée par les instruments sensibles. S'il est vrai que le radionucléide séjourne dans l'organisme pendant une période relativement longue comparée à l'extrême brièveté d'une exposition aux rayons X, la dose de rayonnement que reçoit le patient est moindre que dans le cas de la radiographie qui exige un rayonnement fondamentalement très intense.

En outre, la quantité de radio-indicateurs chimiques est si minime qu'elle ne peut pas avoir d'effets pharmacologiques ni modifier les paramètres physiologiques. De même, elle est exempte d'effets toxiques. Ces particularités de la technique nucléaire médicale permettent de l'appliquer à la femme enceinte et au nouveau-né, ou encore de répéter l'opération périodiquement pour suivre l'évolution de la maladie ou les effets du traitement.

En quoi consiste un essai *in vitro* en médecine nucléaire? La méthode est la plus simple et la moins onéreuse. Les essais se font en laboratoire avec un matériel très facile qui traite simultanément des centaines d'échantillons en quelques heures seulement. Comme pour les autres tests cliniques en laboratoire, les spécimens biologiques (de sang ou d'autres tissus) sont placés dans des tubes à essai, de sorte que le patient n'est pas irradié. Les techniques les plus courantes sont la radioimmunoanalyse (RIA) et l'immunoanalyse radiométrique (IARM), qui combinent la spécificité exceptionnelle des processus immunologiques avec l'extrême sensibilité qu'offre la radioactivité.

Ces méthodes ont multiplié par un million la précision des mesures biochimiques qui passent du microgramme (0,001 mg) au picogramme (0,000 000 001 mg), ce qui permet de détecter une production d'hormones autrement insoupçonnée. Elles sont appliquées dans la pratique pour détecter et mesurer des quantités infinitésimales de substances immunogènes d'un intérêt médical, dont les hormones, les enzymes, les protéines, les médicaments, les drogues dures, ainsi que des substances spécifiquement produites et secrétées par certaines tumeurs dont elles sont les indicateurs.

Pour les essais *in vitro*, on utilise aussi des sondes ADN radioactives ou des indicateurs génétiques, qui servent à identifier des maillons spécifiques d'ADN présents dans le matériel génétique de la cellule. Ces maillons peuvent être développés ou copiés par réaction en chaîne à base de polymérose, et l'on dispose alors d'un matériel suffisant pour tester même un petit échantillon qui ne contient que l'infime quantité d'ADN d'une seule cellule. Le marquage génétique, comme on dit souvent, est particulièrement utile pour dépister les maladies transmissibles telles que le paludisme, la lèpre, la leishmaniose et la schistosomiase ainsi que des maladies héréditaires comme la fibrose kystique, l'hémophilie et la thalassémie. Il l'est également en recherche de paternité, en médecine légale, en criminalistique, en anthropologie et en paléontologie.

Les applications thérapeutiques de la médecine nucléaire différent-elles de celles de la radiothérapie? La radiothérapie consiste à utiliser des faisceaux de rayonnements de sources extérieures au patient pour détruire les tissus tumoraux. La médecine nucléaire thérapeutique se fonde sur la concentration physiologique spécifique de radionucléides émetteurs bêta administrés par voie orale ou intraveineuse, dont la radioactivité est suffisante pour détruire sélectivement le tissu visé. Dans ce cas, la sonde moléculaire devient un «engin guidé» de grande précision. Si le site de fixation de ses molécules est une tumeur cancéreuse, le but est de la détruire spécifiquement et totalement à l'aide d'une dose de radioactivité intense, pratiquement sans affecter les cellules saines environnantes. On utilise de plus faibles doses quand on veut simplement éliminer partiellement des tissus non cancéreux suractifs pour ramener à la normale la chimie et la fonction d'un organe. C'est ainsi que l'on administre de l'iode 131 pour détruire le tissu thyroïdien suractif dans le traitement de l'hyperthyroïdie, et le phosphore 32 pour détruire la moelle osseuse hyperactive responsable d'une surproduction d'hématies. Des doses d'iode 131 dix fois supérieures sont nécessaires pour détruire les métastases d'un cancer de la thyroïde.

On utilise de la même manière des radionucléides ostéotropes pour alléger les souffrances des patients avec métastases osseuses des cancers du sein ou de la prostate. Une nouvelle discipline est à l'étude: la radio-immunothérapie. Des anticorps monoclonaux radioactifs spécifiques, tels des engins guidés «magiques», détruisent certains types de cancers et leurs métastases, comme le mélanome, le lymphome et les cancers du côlon, de l'ovaire et du foie — sans trop irradier les tissus voisins.

Le coût de la médecine nucléaire est-il compétitif avec celui de la radiologie et autres modes de visualisation clinique? La médecine nucléaire n'est pas bon marché, mais son coût global est compétitif. Certains procédés d'imagerie médicale sont plus onéreux que d'autres. La tomographie à émission de positrons, par exemple, est presque un article de science-fiction — science dans les pays industriels et fiction dans les pays en développement — parce qu'il faut disposer d'un cyclotron sur place.

Dans l'ensemble, le coût du matériel de médecine nucléaire est égal à celui de la radiologie, et inférieur à celui des systèmes de visualisation de pointe, tels que l'imagerie par résonance magnétique. En revanche, l'exploitation de la médecine nucléaire revient plus cher que la radiologie, car il faut disposer constamment d'une réserve de radionucléides et de produits radiopharmaceutiques dont la radioactivité décroît dans le temps, qu'on les utilise ou non. Au niveau du personnel, un service de radiologie a besoin d'un petit groupe de radiologues, de techniciens et de radioprotectionnistes médicaux, tandis que la médecine nucléaire est plus exigeante, étant pluridisciplinaire, et doit disposer de physiciens

nucléaires, de techniciens, de radiopharmaciens, d'ingénieurs biomédicaux, de radioprotectionnistes médicaux et d'informaticiens.

La médecine nucléaire peut donc paraître onéreuse mais, bien menée, elle peut en fait réduire le coût des soins médicaux. Devoir prendre des décisions dans l'incertitude, voilà ce qui coûte cher en médecine. Une meilleure certitude aux premiers stades d'une maladie prépare de meilleurs soins à moindres frais. C'est en cela que réside tout l'intérêt de la médecine nucléaire: un diagnostic précoce mène à prescrire opportunément le meilleur traitement et élimine le risque de complications. En outre, elle limite les dépenses afférentes aux médicaments, aux méthodes de diagnostic plus complexes, plus onéreuses et plus traumatisantes, et aux séjours à l'hôpital. Elle peut aussi abrégé la convalescence et le congé de maladie.

Autres applications médicales des rayonnements

L'irradiation a-t-elle d'autres applications en médecine? L'irradiation est un moyen efficace de stérilisation bactériologique. Nombreux sont les articles médicaux — pansements chirurgicaux, sutures, sondes et seringues — qu'il est impossible de stériliser à la vapeur ou à l'étuve sèche car ils contiennent des matériaux thermosensibles, telles les matières plastiques. La stérilisation à l'oxyde d'éthylène ou autres composés chimiques peut laisser des résidus dangereux pour la santé. Pour ces produits, la stérilisation par les rayons gamma du cobalt 60 s'est avérée très efficace et peu onéreuse. Les tissus pour greffes sur l'être humain — os, nerfs, aponeuroses, dure-mère, valvules cardiaques, chorion pour les brûlures — ont également été stérilisés par irradiation gamma, d'où leur utilisation accrue en pratique clinique dans nombre de pays en développement.

D'autres applications sanitaires de l'irradiation ont été vulgarisées par la Division FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture. L'irradiation des denrées alimentaires, par exemple, peut détruire des organismes vivants et des micro-organismes pathogènes spécifiques qui ne se forment pas en spores tels que *Salmonella*, ce qui élimine de nombreux risques de contamination par les aliments. Une autre application importante consiste à stériliser sexuellement des insectes en vue de campagnes de destruction de ravageurs dangereux pour la santé humaine, tels que la lucilie bouchère américaine et la mouche tsé-tsé.

Que dire de la nutrition et des problèmes d'écologie sanitaire? Le principe du radiomarquage est le fondement de l'étude de tous les processus qui interviennent dans la nutrition. Les isotopes stables de l'hydrogène, du carbone, de l'azote et de l'oxygène ne comportent aucun risque pour le sujet étudié puisqu'ils ne sont pas radioactifs. Les méthodes

analytiques nucléaires permettent aussi d'obtenir des données sur la biodisponibilité et l'ingestion de divers éléments par la voie alimentaire normale; ces études, menées dans plusieurs pays, donnent des renseignements inédits utiles pour formuler des régimes alimentaires. (Voir l'article page 18.)

Les techniques nucléaires et le principe du radiomarquage sont aussi fondamentalement utiles pour l'étude de la pollution de l'environnement qui nuit à la santé et au bien-être de millions de personnes. Le fait que les isotopes radioactifs et stables sont détectables en très petites quantités les désigne comme indicateurs parfaits pour suivre le cheminement des polluants dans l'air, dans l'eau ou dans les sols. Les isotopes non radioactifs doivent être mesurés avec précision par les méthodes nucléaires que sont l'analyse par activation ou celle par fluorescence X. D'autres méthodes nucléaires à base de faisceaux d'électrons peuvent aussi utilement servir à séparer les polluants gazeux délétères tels que l'anhydride sulfureux ou les oxydes d'azote que rejettent les centrales électriques au charbon.

Quel est l'intérêt de la dosimétrie pour la santé?

Il est impératif, dans tous les cas, que l'irradiation soit dosée avec précision. Quand il s'agit d'applications thérapeutiques, ce peut être une question de vie ou de mort. Si la dose est plus faible que prévu, elle risque d'être insuffisante pour traiter et d'accroître la radiorésistance des tissus tumoraux; si elle est trop forte, elle peut être l'origine de graves complications. En pratique radio-oncologique moderne, il est bien spécifié que la dose doit être précise, ou au moins reproductible, à moins de 5% près. C'est pourquoi l'AIEA et l'OMS ont organisé dans les pays en développement un réseau de 70 laboratoires secondaires d'étalonnage pour la dosimétrie (LSED). Comme la précision de la dosimétrie est une condition préalable de la radiothérapie, les dosimètres utilisés par les centres de traitement doivent être étalonnés à intervalles réguliers par les LSED. Ils sont en outre vérifiés tous les ans lors des intercomparaisons organisées par le Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA. De plus, en collaboration avec l'OMS, l'AIEA offre un service mondial de dosimétrie destiné aux centres de radiothérapie. Les résultats concernant plus de 700 centres de radiothérapie montrent que plus de 10% des patients traités pour un cancer reçoivent des doses qui s'écartent de plus de 20% de la dose prescrite, à cause des imperfections du matériel, du manque de personnel ou de formation. Dans 70% de tous les hôpitaux compris dans une récente évaluation, l'écart moyen de leurs mesures dosimétriques est passé de 20% à 5%. D'autres centres s'efforcent actuellement d'améliorer leurs mesures. (Voir l'article page 33.)

Certaines applications industrielles des rayonnements, telles la radiostérilisation des produits médicaux et l'irradiation des denrées alimentaires, nécessitent des doses beaucoup plus fortes. Des techniques récemment mises au point sont utilisées par les LSED pour assurer les doses prescrites.

Par ailleurs, les deux services ci-dessus mettent en œuvre un vaste programme prévoyant l'étalonnage de tous les instruments de radioprotection et de mesure des fortes doses.

Transferts de technologie: Assister les applications dans les pays en développement

Les pays en développement sont-ils prêts pour les applications médicales des rayonnements? Tout dépend de leur degré d'évolution historique. N'oublions pas la contribution importante de certains pays en développement au progrès de la médecine nucléaire, la plus complexe des applications médicales de l'énergie nucléaire. Le premier institut national de médecine nucléaire a été fondé en 1948 par l'Université de São Paulo, au Brésil; une validation totale du principe du radiomarquage comme moyen pratique de recherche médicale a été faite dans les années 50 par les pays andins (Argentine, Bolivie, Chili, Equateur, Pérou) et au Mexique, à l'occasion d'études pilotes sur le goitre endémique; les premières associations nationales de médecine nucléaire, après celle des Etats-Unis, ont été fondées dans des pays d'Amérique latine au début des années 60; c'est également en Amérique latine qu'a été fondée en 1965 la première fédération régionale de ces associations, prélude à la fondation de la

Personnel médical
péruvien
assisté par l'AIEA
pour les applications
médicales
de l'énergie nucléaire.



fédération mondiale, à Mexico, en 1970. Nombre de méthodes actuellement appliquées en médecine ont été initialement mises au point dans ces pays pendant les années 60 et au début des années 70.

Cet élan optimiste du début a néanmoins été brisé par l'irruption fortuite de la crise financière internationale de la fin des années 70 et par les progrès technologiques sans précédent accomplis dans les pays industriels au cours des années 80. Ces événements ont totalement bloqué le progrès de la médecine nucléaire dans les pays en développement. Ces derniers ont désormais un besoin urgent de rattraper le temps perdu et de combler l'écart technologique. Or, les fabricants n'offrent que du matériel de pointe — très cher et très perfectionné mais peu adapté aux conditions qui règnent dans de nombreux pays en développement. Ces pays doivent faire très attention et chercher à adapter de nouvelles technologies à leurs propres besoins et conditions plutôt qu'adopter des techniques onéreuses et inapplicables.

Les techniques nucléaires médicales n'ont pas besoin d'une infrastructure nucléaire très compliquée. Ce qu'il faut, c'est une bonne infrastructure médicale. La médecine nucléaire a ses mérites mais seulement en tant que soutien d'autres moyens fondamentaux de diagnostic tels que laboratoires cliniques, radiologie courante et ultrasons. De même, la radiothérapie serait inefficace contre le cancer en l'absence d'un système de diagnostic précoce, d'oncologues ou de chimiothérapeutes. En pareil cas, elle ne pourrait vraiment servir qu'à atténuer la souffrance et certains symptômes, mais le patient serait finalement emporté par la maladie.

Evoluer pour faire face

Au cours des dix dernières années, les programmes de l'AIEA en faveur des applications médicales de l'énergie nucléaire ont évolué pour s'adapter à de nouvelles réalités. L'organisation des activités et des projets plus ciblés témoigne du changement. En août 1993, la Division des sciences biologiques a disparu de l'organigramme de l'AIEA pour être remplacée par la Division de la santé humaine, dont le personnel se répartit dans quatre sections: médecine nucléaire; radiobiologie appliquée et radiothérapie; dosimétrie; études de nutrition et d'écologie sanitaire.

Pourquoi ce changement de nom? L'ancienne appellation n'avait plus de raison d'être parce que les sous-programmes de la Division ne concernaient plus la biologie animale et végétale, sujets déjà entièrement confiés à la Division mixte FAO/AIEA. La nouvelle désignation a en outre l'avantage de faire mieux apparaître aux homologues éventuels — appartenant pour la plupart à des établissements médicaux — la similitude entre les objectifs de la Division et leurs propres démarches. Grâce à cette évolution, l'AIEA est mieux placée pour se tenir au fait du progrès et modeler ses stratégies à moyen

terme relatives aux applications médicales de l'énergie nucléaire. Ces stratégies prévoient des moyens d'atteindre la plupart des utilisateurs d'instruments de médecine nucléaire des pays en développement.

Cette division est-elle rivale de l'OMS? Aucunement. Les priorités de l'OMS concernent la salubrité et la prophylaxie. Il s'ensuit que l'AIEA est le seul organisme international qui ait pour mission expresse de promouvoir les applications médicales de l'énergie nucléaire essentiellement orientées vers le diagnostic et la thérapie. Elle entretient depuis longtemps d'excellents rapports avec l'OMS, lui demande fréquemment son avis et coordonne nombre de ses projets avec elle, ses bureaux régionaux, telle l'Organisation panaméricaine de la santé, et d'autres organismes internationaux s'occupant de la santé humaine ou de l'environnement.

Les nouvelles stratégies de l'AIEA

Les applications médicales des techniques nucléaires ne valent que si on peut y recourir quand on en a besoin pour soigner un malade et si le clinicien peut compter sur les résultats. C'est pourquoi l'AIEA s'efforce de mettre en place un dispositif permettant d'atteindre la plupart des utilisateurs, de veiller à l'assurance de la qualité clinique et de faciliter le recours à ces applications dans les pays en développement.

On n'y parvient qu'en baissant les prix. Les programmes de coopération technique et de recherche coordonnée sont conçus pour développer les moyens nationaux de production de réactifs pour la radio-immunoanalyse, de générateurs de technétium 99m, de produits radiopharmaceutiques, et des radionucléides à usage médical pour que chaque région puisse se les procurer à un prix modeste.

Une interface permettant de connecter n'importe quelle caméra gamma à un ordinateur personnel et un programme informatique de visualisation ont été mis au point grâce à des contrats techniques. Ce système peu onéreux est actuellement à l'essai à Vienne et servira à moderniser un millier d'anciennes caméras gamma analogiques en service dans des pays en développement pour les adapter au système numérique. Une enquête mondiale sur les caméras gamma a été entreprise et des programmes régionaux sont prévus pour s'assurer que la maintenance et la réparation sont incluses dans les opérations de contrôle de la qualité. Ces mesures viseront à réduire les périodes d'indisponibilité des instruments et à prolonger leur durée utile. On est parvenu à convaincre les fabricants de produire, pour la médecine nucléaire et la radiothérapie, des instruments simples mais techniquement à jour et d'un coût modeste.

Cela dit, les projets dont on attend les meilleurs résultats dans les pays en développement sont ceux qui ont pour but d'atteindre tous les utilisateurs de

techniques nucléaires médicales. Ils sont mis en œuvre en étroite collaboration par l'AIEA, l'OMS/Organisation panaméricaine de la santé, les autorités médicales nationales, ainsi que les associations médicales et entreprises industrielles nationales et régionales, et créent des réseaux coordonnés en vue d'améliorer le rendement clinique des techniques nucléaires au service de la santé humaine sur le plan national, régional et mondial.

Le premier succès de cette politique a été l'inauguration à Bogotá (Colombie), le 15 octobre 1993, du Conseil ibéro-américain des médecins nucléaires fondé sous l'égide de l'AIEA. Il se compose de six anciens présidents de l'association latino-américaine des sociétés de médecine et de biologie nucléaires, d'un comité d'étude réunissant dix experts de renom international dans différents domaines de la médecine nucléaire, et de gouverneurs nationaux qui le représentent dans chaque pays. Ce réseau fonctionnera comme un dispositif extérieur de contrôle de la qualité pour relever le niveau de l'enseignement supérieur de la médecine en Amérique latine, en Espagne et au Portugal. Il fera passer des examens aux candidats qui se présenteront et délivrera un certificat à ceux qui s'avéreront qualifiés pour la pratique clinique en médecine nucléaire. Ce certificat sera validé tous les cinq ans après examen de l'activité professionnelle des intéressés pour s'assurer qu'ils se tiennent au courant des progrès dans leur spécialité. Il sera un gage de confiance pour les patients et les établissements, et rehaussera le prestige des médecins qui le détiennent. Le réexamen périodique incitera ces derniers à participer plus souvent et plus activement à des activités scientifiques et universitaires qui sont, dans tous les pays, les meilleurs garants du progrès d'une spécialité.

Il est prévu de constituer deux autres groupes analogues avec la Fédération de médecine nucléaire d'Asie et d'Océanie. L'un assurera la liaison à distance pour la formation et la certification des techniciens de la médecine nucléaire, et l'autre sera une association des utilisateurs de caméras gamma chargée de surveiller les services de maintenance et de réparation d'instruments de médecine nucléaire offerts par des entreprises privées de la région.

Ces nouvelles stratégies, qui complètent l'action traditionnelle que mène l'AIEA depuis des décennies, témoignent des précieuses qualités d'une organisation à la fois flexible et dynamique. Grâce à son aptitude d'adaptation aux conditions nouvelles, l'AIEA a pu redoubler d'efforts pour améliorer tant l'efficacité que la qualité des applications médicales des techniques nucléaires dans les pays en développement.

Santé et environnement: Quelques aspects de leurs rapports

Grâce à l'aide de l'AIEA, des chercheurs étudient les effets de l'évolution du milieu sur la santé humaine

par
**Gopinathan Nair,
Robert M. Parr et
John Castelino**

Un développement viable de l'environnement, sous toutes ses formes, est plus qu'un concept de protection des fragiles écosystèmes de notre planète. Au niveau de l'individu, c'est une recette de bonne santé. Des milliards d'habitants de ce monde, par exemple, ont des problèmes de santé à cause de la pollution de l'atmosphère par l'industrie, de leur exposition à des métaux et déchets toxiques, et à de dangereux parasites qui s'adaptent rapidement à un environnement dégradé. La salubrité de la Terre va de pair avec la santé de ses habitants.

L'AIEA collabore à divers égards avec des organismes nationaux et internationaux pour mieux connaître les rapports qui existent entre l'environnement et la santé. Les techniques nucléaires et apparentées sont souvent mises à contribution pour chercher les réponses à des questions complexes et inquiétantes. Nous nous proposons ici de présenter l'essentiel de ces travaux en soulignant toute l'importance des problèmes et de leurs solutions possibles.

La pollution atmosphérique: L'atome radioactif éclaire le poumon citoyen

L'industrialisation a beaucoup apporté à l'humanité. Dans nombre de pays, la vie est mieux orga-

nisée, plus confortable et plus productive. Elle a aussi ses mauvais côtés — à commencer par l'urbanisation, dont l'environnement est la première victime. Quant à ses effets sur la santé humaine, la pollution atmosphérique est l'une des perturbations les plus significatives de l'environnement mondial, qui fait peser une sombre menace sur toute l'humanité. Elle est la conséquence de l'activité humaine et de l'économie, toutes deux en rapide expansion.

Cette situation met les pays en développement devant un choix douloureux. Tandis qu'ils doivent s'industrialiser activement pour assurer la croissance de leur économie, ils n'ont pas les moyens de se doter de systèmes de sûreté convenables pour museler la pollution. Déchirés par le conflit entre ces deux options que sont la croissance économique rapide et la protection de l'environnement, la plupart des pays en développement cèdent aux pressions de l'économie. C'est seulement récemment que leurs gouvernements ont commencé à faire face aux dangers qui en découlent. Néanmoins, nombre d'entre eux ne respectent pas strictement les règles de protection de l'environnement.

L'Asie est un exemple parfait de cette situation précaire. Il n'existe dans le monde que 13 villes de plus de dix millions d'habitants. Sept d'entre elles se trouvent en Asie où un milliard environ d'êtres humains vivent dans des agglomérations surpeuplées dans lesquelles règne le chaos. Sur les sept villes du monde dont l'atmosphère est la plus polluée, on en compte cinq en Asie.

La pollution atmosphérique est la pire des plaies de l'environnement car elle peut facilement franchir les frontières. Elle résulte essentiellement de la combustion des combustibles fossiles dans les moteurs et

M. Nair est chef de la Section de la médecine nucléaire, Division de la santé humaine de l'AIEA, et M. Castelino est un cadre de cette section. M. Parr est chef de la Section des études de nutrition et d'écologie sanitaire de la même division.

les centrales électriques, des fumées des poêles à bois, des incinérateurs et des usines, etc. mais aussi des poussières provenant des produits agricoles, des chantiers de construction et des mines, par exemple. Les polluants les plus courants sont le plomb, l'anhydride sulfureux, l'acide sulfurique et les sulfates, les oxydes d'azote, l'ozone et les composés photochimiques, l'oxyde de carbone, les composés organiques volatiles et les matières organiques particulaires dispersées, dont les aéro-allergènes. Au-delà d'une certaine concentration, tous ces polluants sont dangereux pour l'être humain.

Les effets pathogènes de la pollution atmosphérique sont bien connus depuis le célèbre épisode du brouillard londonien de 1952. Environ 4000 décès excédentaires ont été imputés à cet incident qui a magistralement démontré la corrélation directe entre une forte pollution et la mortalité. Même un moindre degré de pollution fait augmenter la mortalité, comme l'indiquent maintes études faites depuis cet événement. Les rapports sur les vagues de pollution atmosphérique mentionnent aussi un accroissement des entrées en service d'urgence pour troubles respiratoires et cardio-vasculaires et des prestations de sécurité sociale aux travailleurs. Les examens en laboratoire de la fonction respiratoire montrent une augmentation du volume expiré forcé par seconde (VEF) pendant les épisodes de pollution atmosphérique. Ce volume varie d'une région à l'autre, selon le degré de pollution.

L'accroissement de la mortalité et de la morbidité dues à la pollution atmosphérique est un phénomène encore mal connu. L'air pollué peut rendre le poumon plus perméable et mener à l'œdème ou à l'engorgement hypodermique. Les échanges gazeux au niveau des alvéoles sont alors entravés, causant une anoxie générale. On sait que les personnes souffrant de troubles respiratoires aigus ou chroniques sont plus sensibles aux particules en suspension dans l'air.

Les moyens de défense habituels de l'organisme — telles la membrane ciliée et l'immunoglobuline présente dans la tunique muqueuse des voies respiratoires — ne protègent pas le poumon contre les polluants inhalés. Au mieux, les grosses particules ne peuvent pas atteindre les zones profondes du poumon car elles sont arrêtées par la tunique muqueuse des voies respiratoires supérieures. La sensation subjective de gêne et d'insuffisance respiratoires sont les symptômes habituels d'une forte exposition à de l'air pollué.

La pollution atmosphérique aggrave les états morbides installés et diminue les chances de guérison, et elle est particulièrement néfaste aux malades atteints d'affections chroniques comme la bronchite, l'asthme et les troubles cardio-vasculaires. Les personnes âgées sont plus vulnérables que les jeunes.

Le principal danger, ce sont les particules de très fine granulométrie qui peuvent pénétrer profondément dans le poumon. Elles proviennent essentiellement, mais pas exclusivement, des gaz d'échappe-

ment des moteurs. Selon de récentes estimations, elles tuent chaque année quelque 60 000 personnes aux Etats-Unis et environ 10 000 au Royaume-Uni. On sait peu de choses sur les autres pays, mais l'information dont on dispose semble indiquer que le problème est général.

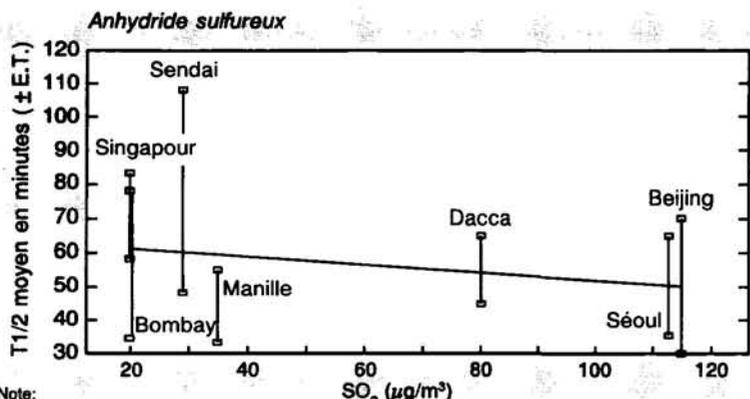
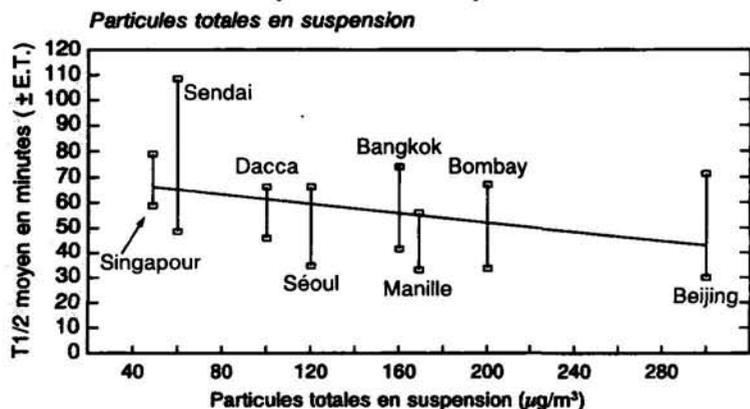
Utilité des bio-indicateurs. L'exposition à l'oxyde de carbone, par exemple, peut se juger en mesurant soit la concentration de ce gaz dans l'air, soit la teneur du sang en carboxyhémoglobine. De même, l'exposition au plomb atmosphérique peut être évaluée à partir des concentrations moyennes de cet élément dans le sang et dans l'urine parmi les populations exposées. Ces indicateurs biologiques facilitent l'estimation du risque de morbidité par le médecin. Or, il n'existe actuellement aucun bio-indicateur des effets de l'exposition du poumon à la pollution.

Les techniques nucléaires viennent combler cette lacune en offrant un moyen d'investigation scientifique. On les utilise déjà depuis une trentaine d'années pour examiner les poumons et les voies respiratoires. Les résultats permettent par exemple de déterminer et de quantifier les principales sources de pollution.

Par ailleurs, les radio-indicateurs sont utiles aux chercheurs pour étudier les fonctions respiratoires, c'est-à-dire l'irrigation sanguine et les débits ventilatoires. Ce n'est que récemment que les fonctions non respiratoires telles que la clairance mucociliaire et la perméabilité du poumon ont retenu l'attention des cliniciens. Un des examens se fait par visualisation du poumon à l'aide d'une technique de scintigraphie après inhalation d'un aérosol au diéthylène triamine penta marqué au technétium ^{99m}Tc, qui permet de mesurer la perméabilité de la membrane alvéolo-capillaire; cette technique simple, sûre et rapide est à la portée de tout service de médecine nucléaire. Le patient doit inhaler l'aérosol pendant cinq minutes environ, après quoi on mesure le taux d'élimination de la radioactivité du poumon à l'aide d'une caméra gamma informatisée. On peut ainsi déterminer le temps d'élimination de la moitié de la radioactivité initiale du poumon. Toute lésion alvéolo-capillaire modifie la perméabilité et donc le taux d'élimination. Cette technique est couramment appliquée à l'examen de nombreuses affections pulmonaires caractérisées par une inflammation diffuse due à une lésion alvéolo-capillaire.

Cette méthode à base d'aérosol a été employée par des chercheurs participant à un récent programme de recherche coordonnée de l'AIEA. L'équipe s'intéressait spécialement aux effets de la pollution atmosphérique urbaine sur le poumon. Les sujets étaient des volontaires de dix villes d'Asie — Dacca, Beijing, Bombay, Bandung, Sendai, Séoul, Lahore, Manille, Singapour et Bangkok. Tous non fumeurs, ils ne présentaient aucun symptôme de troubles respiratoires, leurs radiographies étaient normales et ils ont été soumis à des épreuves spirométriques normales. L'aérosol était produit par

**Résultats de la recherche assistée par l'AIEA
dans la région Asie et Pacifique
Effets de la pollution atmosphérique
sur la perméabilité du poumon**



Note:
T1/2 = temps d'élimination de la moitié de la radioactivité initiale introduite dans le poumon par l'aérosol.

un appareil conçu et réalisé par le Centre Bhabha de recherches atomiques, à Bombay, mis à l'essai et homologué pour des études à l'aide d'aérosol inhalé. On disposait pour ce travail d'une compilation de données annuelles sur la qualité de l'air dans les dix villes en question, qui indiquaient les teneurs totales en particules en suspension (TPS), anhydride sulfureux (SO₂), oxydes d'azote (NO_x), oxyde de carbone (CO) et ozone.

Cette étude a révélé l'atteinte d'une fonction, à savoir la perméabilité du poumon, en rapport avec la concentration de polluants dans l'air, et plus spécialement de TPS — le polluant le plus agressif pour le poumon — et de SO₂. On peut raisonnablement penser que cette atteinte est peut-être due à une lésion du poumon résultant d'une longue exposition à la pollution ambiante, vu que les sujets sont par ailleurs sains et non fumeurs. Ce que l'on constate, ce sont donc les effets de la pollution atmosphérique urbaine sur les poumons. Toutefois, avant de tirer des conclusions définitives, il faudra confirmer les résultats.

A maints égards, la recherche assistée par l'AIEA a apporté du nouveau en offrant un moyen de



Participant à une étude de la pollution atmosphérique assistée par l'AIEA, inhalant un aérosol radiomarqué en vue de mesurer la perméabilité de ses poumons.

préciser quantitativement les effets de la pollution sur la physiologie du poumon. Comme cet organe est le premier à être exposé directement à l'environnement, il est désormais possible d'associer plus étroitement les lésions pulmonaires à l'incidence des troubles respiratoires. Cela mène à une meilleure compréhension de l'action délétère de la pollution atmosphérique sur la santé humaine.

Grâce à ses programmes de recherche et de coopération technique, l'AIEA assiste toute une série d'études sur divers aspects de la pollution atmosphérique, de l'environnement et de la santé. On envisage par exemple, pour 1995, d'élargir un projet exécuté en collaboration par l'AIEA, le Programme des Nations Unies pour le développement, et des pays parties à l'accord régional de coopération pour l'Asie et le Pacifique, qui portera principalement sur l'emploi des isotopes et des rayonnements pour renforcer la technologie et soutenir un développement écologiquement viable. A l'heure actuelle, 15 pays de la région Asie et Pacifique participent à ce projet qui prévoit également des études sur les sédiments et les sols, les masses d'eau et les bio-indicateurs.

**Métaux lourds toxiques:
Etude de l'exposition de l'être humain
due à l'eau et à l'alimentation**

Depuis des siècles, l'homme extrait et affine des métaux lourds toxiques tels le plomb et le mercure. Avec le temps, ces deux éléments, et d'autres encore, ont malheureusement contaminé l'environ-

nement, y compris les denrées alimentaires et l'eau potable (voir le tableau). Certains pensent même que la toxicité du plomb est une des causes de la chute de l'Empire romain. Ce qui est certain, c'est que l'homme est en partie responsable de la contamination de la planète par le plomb, qui a commencé bien avant l'ère chrétienne ainsi que l'analyse de carottes de glace du Groenland en a fait récemment la preuve.

De nos jours, l'activité humaine demeure le facteur le plus important du cycle biogéochimique mondial des métaux lourds toxiques. De surcroît, la toxicité annuelle totale de tous les métaux mobilisés par les activités humaines est actuellement supérieure à la toxicité globale de tous les déchets radioactifs et organiques produits chaque année*.

Il n'est donc pas surprenant que maints programmes nationaux et internationaux d'évaluation de l'exposition de l'être humain aux polluants de l'environnement prévoient en priorité l'étude des métaux lourds toxiques. Au niveau des Nations Unies, nombre de ces programmes relèvent de l'initiative «Action 21» issue de la Conférence des Nations Unies de 1992 sur l'environnement et le développement, qui groupe des activités concernant le développement durable.

Programmes financés par l'AIEA. L'arsenic, le cadmium, le cuivre, le plomb et le mercure, entre autres éléments toxiques, peuvent tous être analysés par diverses méthodes nucléaires et associées. Les principales sont l'activation neutronique, la fluorescence X à dispersion d'énergie, l'émission X induite par des particules, la spectrométrie de masse à couplage inductif et diverses méthodes de marquage isotopique. L'AIEA assiste de diverses manières les travaux de recherche dans des domaines déterminés. (Voir l'encadré, page suivante.)

Une des applications les plus utiles des méthodes analytiques nucléaires a recours à des «bio-indicateurs», dont le cheveu humain est un bon exemple, avec ses applications tant dans le domaine de l'histoire que dans celui de l'environnement. (On se demande toujours, par exemple, si Napoléon ne serait pas mort empoisonné à l'arsenic et si l'on peut établir ce fait en analysant quelques spécimens de son système pileux prétendument prélevés sur son cadavre.)

Une application plus «vivante» de cette méthode est à l'essai au titre d'un programme de recherche assisté par l'AIEA: des cheveux de femmes enceintes et de nouveau-nés sont utilisés pour détecter une exposition éventuelle au mercure. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime que les concentrations de mercure dans les cheveux ne devraient pas excéder quatre à six microgrammes par gramme,

Principaux métaux lourds présents dans l'environnement et limites d'exposition de l'être humain

	Limite dans l'air ¹	Limite dans l'eau potable ²	Limite provisoire tolérable d'absorption par semaine ³	Principales sources d'exposition
Arsenic	0*	10 µg/litre	14 µg/kg de poids du corps	Eau potable contaminée
Cadmium	10-20 ng/m ³ (en ville)	3 µg/litre	approximativement 7 µg/kg de poids du corps	Activité; fumée de cigarette
Cuivre	—	1 µg/litre	0,35-3,5 µg/kg de poids du corps	Eau potable contaminée
Plomb	0,5-1 µg/m ³	10 µg/litre	50 µg/kg de poids du corps	Activité; pica ⁴ ; dépôt de produits pétroliers au plomb
Mercure	1 µg/m ³	1 µg/litre	5 µg/kg de poids du corps (mercure total) 3,3 µg (diméthylmercure)	Poisson contaminé; activité

* Quelqu'en soit la concentration, l'arsenic est considéré comme un facteur de risque de cancer.

¹ Limite supérieure indicative de concentration: moyenne pondérée dans le temps sur un an (OMS).

² Limite supérieure indicative de concentration dans l'eau potable (OMS).

³ Absorption maximale admissible par semaine pour les adultes (OMS/FAO). Multiplier par le poids du corps en kilogrammes pour obtenir l'absorption maximale admissible par semaine pour l'individu.

⁴ Pica est l'habitude d'absorber de l'argile, de la terre, des ordures et autres substances non comestibles. C'est une source importante de plomb chez les enfants qui vivent dans un milieu contaminé, en particulier dans des habitations peintes avec d'anciennes peintures au plomb.

sinon le nouveau-né risque de subir des dommages neurologiques. Les études de l'AIEA ont montré que cette teneur est dépassée dans des groupes de population de plusieurs pays en développement. L'exposition est généralement due à la consommation de poisson contaminé. Les teneurs particulièrement élevées (notamment chez certaines personnes vivant dans le bassin amazonien) sont probablement dues à l'emploi du mercure pour l'extraction et l'affinage de l'or. Des études portent aussi sur le diméthylmercure, principal composé organique du mercure.

Les maladies transmissibles et l'environnement: Adaptation aux changements

Le développement socio-économique devrait mener à une amélioration de la santé et de la qualité de vie de l'être humain. Or, récemment encore, le développement était souvent considéré comme synonyme de dégradation de l'environnement, avec pollution, accroissement de la morbidité et détérioration de la qualité de vie tout au moins d'un secteur de la population que le développement était censé avantager. Depuis peu, on commence fort heureusement à reconnaître que l'amélioration de la santé et de la qualité de vie doit aller de pair avec un développement durable, si l'on veut éviter des effets négatifs certains.

* Mesurée en quantité d'eau nécessaire pour diluer les déchets radioactifs et organiques jusqu'au niveau acceptable pour l'eau potable. Voir l'article de J.O. Nriagu et J.P. Pacyna, *Nature*, volume 3, 33 (mai 1988).

Quelques programmes de recherche coordonnée de l'AIEA comportant l'emploi de techniques nucléaires pour les études d'écologie sanitaire

Années	Participants*	Titre
1984-1989	14	Analyse des minéraux du cheveu pour l'étude des charges corporelles internes de polluants de l'environnement
1984-1990	14	Absorption quotidienne avec les aliments d'oligo-éléments importants pour la nutrition de l'homme
1985-1990	11	Eléments toxiques dans les denrées alimentaires (région du RCA)
1987-1992	20	Pollution du milieu due aux déchets solides
1987-1992	10	Analyse des éléments traces dans les produits agro-industriels et les denrées alimentaires (région de l'ARCAL)
1990-1995	10	Exposition de populations humaines au mercure de l'environnement
1992-1997	19	Pollution atmosphérique: recherche appliquée
1996-2000		Evaluation des polluants de l'environnement par radio-immunoanalyse et méthodes associées
1995-2000		Surveillance des lieux de travail et étude des maladies professionnelles
1995-2000		Matières de référence secondaires (régionales) pour les études écologiques**
1995-2000		Surveillance biologique de l'environnement et groupement des échantillons à l'intention des pays en développement**

* Nombre de pays participants.

** Selon les ressources extrabudgétaires disponibles.

Note: on trouvera un exposé plus détaillé des activités pertinentes de l'AIEA dans le compte rendu du colloque de l'AIEA réuni à Karlsruhe (Allemagne) en 1992, sur les applications des isotopes et des rayonnements à la protection de l'environnement. Pour passer commande, voir la rubrique «Nouvelles publications» du présent numéro du Bulletin.

A titre d'exemple, les plans de développement agricole peuvent provoquer dans l'environnement des changements propices à la transmission des maladies. Le barrage d'Assouan et le réseau d'irrigation qu'il alimente ont certes permis d'accroître la production de coton et de céréales, mais ils ont aussi fait monter en flèche l'incidence de la bilharziose (ou schistosomiase, grave affection débilante qui, selon l'OMS, touche 200 millions de personnes dans plus de 70 pays) car l'escargot vecteur prolifère dans les canaux d'irrigation.

De même, au Kenya, le plan d'irrigation de Mwea-Tebera assure au pays une récolte de riz suffisante pour ses besoins, mais il lui a apporté le paludisme (maladie qui, selon les estimations de l'OMS, touche près de 300 millions de personnes dans 103 pays) du fait des migrants venus des

régions voisines et des moustiques provenant du bassin inférieur du fleuve Tana. Au Brésil, la pénétration dans l'Amazonie a provoqué une explosion de leishmaniose et de paludisme. Un diptère, le phlébotome, qui fait partie du cycle de la leishmaniose dans la forêt vierge, et le moustique vecteur du paludisme sont maintenant en contact avec les colons mal immunisés venus des villes brésiliennes pour exploiter les nouvelles possibilités qu'offre l'Amazonie et devenir, tout simplement, les nouvelles victimes de l'agression de ces insectes pathogènes.

Dans des régions telles que les forêts du Brésil et de Colombie, on ne dispose généralement pas de l'information nécessaire pour décider quels sont les vecteurs du paludisme parmi les diverses variétés de moustiques. Au début des années 80, une méthode a été mise au point pour tenter d'enrayer l'épidémie; il s'agit de l'analyse immunoradiométrique (AIRM) fondée sur le marquage à l'iode 125 d'un anticorps monoclonal qui fixe l'antigène du sporozoïte (stade infectieux de l'agent pathogène du paludisme que porte le moustique).

Cette analyse permet de distinguer les sporozoïtes de *Plasmodium falciparum* et de *P. vivax*, responsables des deux formes les plus communes du paludisme humain, de ceux qui contaminent les primates et autres animaux, et d'identifier ainsi nettement la variété de moustique vecteur du paludisme humain. On étudie ensuite l'écologie et l'éthologie de ce moustique afin de prendre des mesures efficaces. De la sorte, une espèce qui se reproduit et séjourne dans les habitations et aux alentours et se nourrit sur l'être humain est combattue par pulvérisation de pesticides du genre DDT. Cette tactique est, en revanche, inefficace quand le vecteur vit dans la forêt.

Si l'on utilise l'antigène NANP du paludisme, la méthode AIRM permet de mesurer la quantité d'anticorps produits chez l'être humain en réponse aux sporozoïtes inoculés par la piqûre du moustique. Vu sa brève période, l'anticorps révèle la contamination qui a eu lieu dans les trois à six mois qui précèdent. Le test sert à comparer la fréquence de transmission du paludisme dans différentes régions et à détecter ses variations résultant de l'évolution des conditions écologiques ou de l'application des mesures prophylactiques.

L'industrialisation et la migration associée vers les villes créent des problèmes de santé outre ceux qui sont directement dus à la pollution atmosphérique imputable aux véhicules à moteur et à l'industrie. La cause en est souvent la concentration d'émigrants dans des bidonvilles où le surpeuplement et l'insalubrité provoquent une recrudescence des affections diarrhéiques, mycobactériennes et autres.

L'accès facile aux pharmacies, dans nombre d'agglomérations urbaines, favorise en outre l'abus de médicaments et l'apparition de souches résistantes de micro-organismes pathogènes. En s'installant

dans les villes, l'émigrant y apporte les vecteurs et les maladies qui jusqu'alors se cantonnaient dans l'espace rural. C'est ainsi par exemple que, dans certains pays d'Amérique latine, la maladie de Chagas a fait son apparition dans les villes. La voie de transmission principale n'est plus l'insecte *triatoma*, mais les banques de sang où les pauvres vont vendre leur sang, malheureusement contaminé.

Un bon diagnostic aide à juguler une maladie. Or, dans les laboratoires qui s'occupent du diagnostic des maladies transmissibles, le premier examen du spécimen clinique se fait généralement au microscope et sur culture. Les deux méthodes manquent de sensibilité et de spécificité. De plus, la culture est un procédé lent et laborieux et certains organismes pathogènes ne s'y prêtent pas. Pour un diagnostic rapide, on peut recourir à un procédé immunologique tel que la radio-immunoanalyse, qui utilise un réactif marqué à l'iode 125. Le test immunologique est sensible mais manque parfois de spécificité. C'est le cas dans les pays en développement où les tests considérés «très spécifiques» dans les pays industriels ne sont plus aussi efficaces contre les légions de micro-organismes qui envahissent de nombreuses régions en développement.

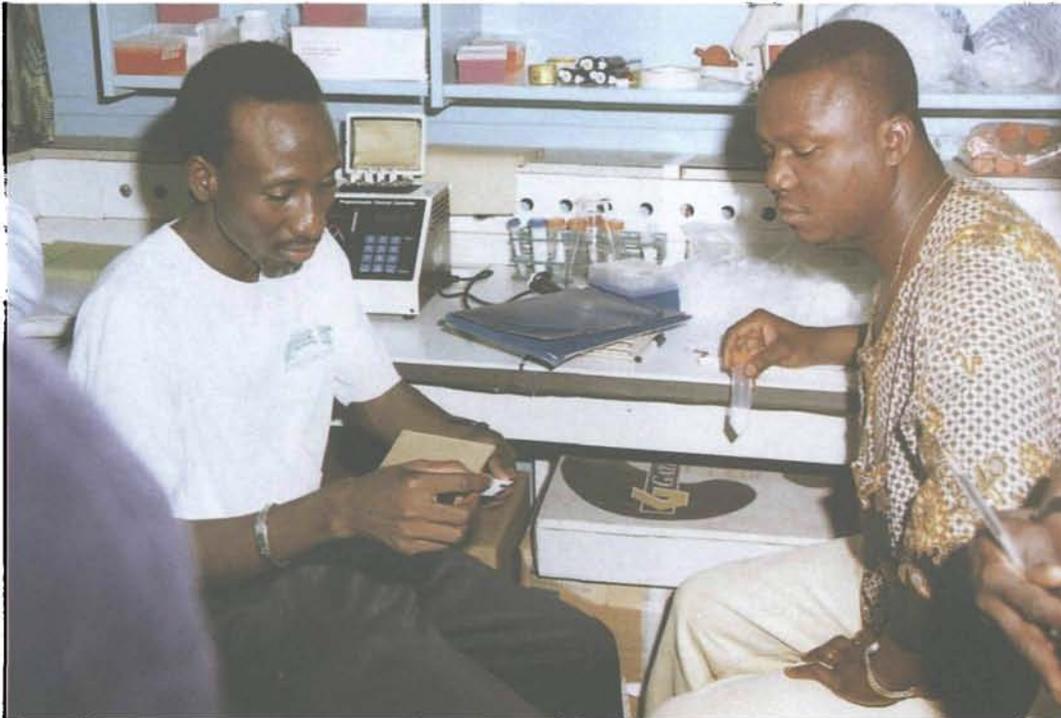
En science, il arrive parfois qu'un progrès technique fasse faire un bond en avant aux connaissances et favorise l'innovation. La recherche biomédicale a connu ce genre de révolution avec la mise au point de la technologie de l'ADN qui a ouvert un large horizon à la biologie moléculaire. L'ADN, cloné et amplifié, permet de déterminer la séquence des nucléotides. Des fragments d'ADN sont synthétisés et servent de sondes moléculaires, lesquelles se

fixent spécifiquement aux séquences complémentaires de l'ADN. Comme la sonde ADN peut être marquée avec des radio-isotopes de forte radioactivité spécifique, les microbiologistes détectent son point d'insertion dans l'ADN complémentaire d'un organisme déterminé et repèrent ainsi des organismes pathogènes, depuis les virus jusqu'aux helminthes, dans de nombreux spécimens cliniques.

Le succès d'une analyse par cette méthode dépend en partie du nombre d'organismes présents dans le spécimen. Certaines maladies, telles la méningite tuberculeuse, la lèpre et la maladie de Chagas, sont connues pour le faible nombre d'organismes pathogènes que l'on trouve dans le spécimen. En pareil cas, le microbiologiste dispose d'un autre moyen technique qui consiste à amplifier le fragment d'ADN grâce à la réaction en chaîne de la polymérase, processus *in vitro* de synthèse enzymatique.

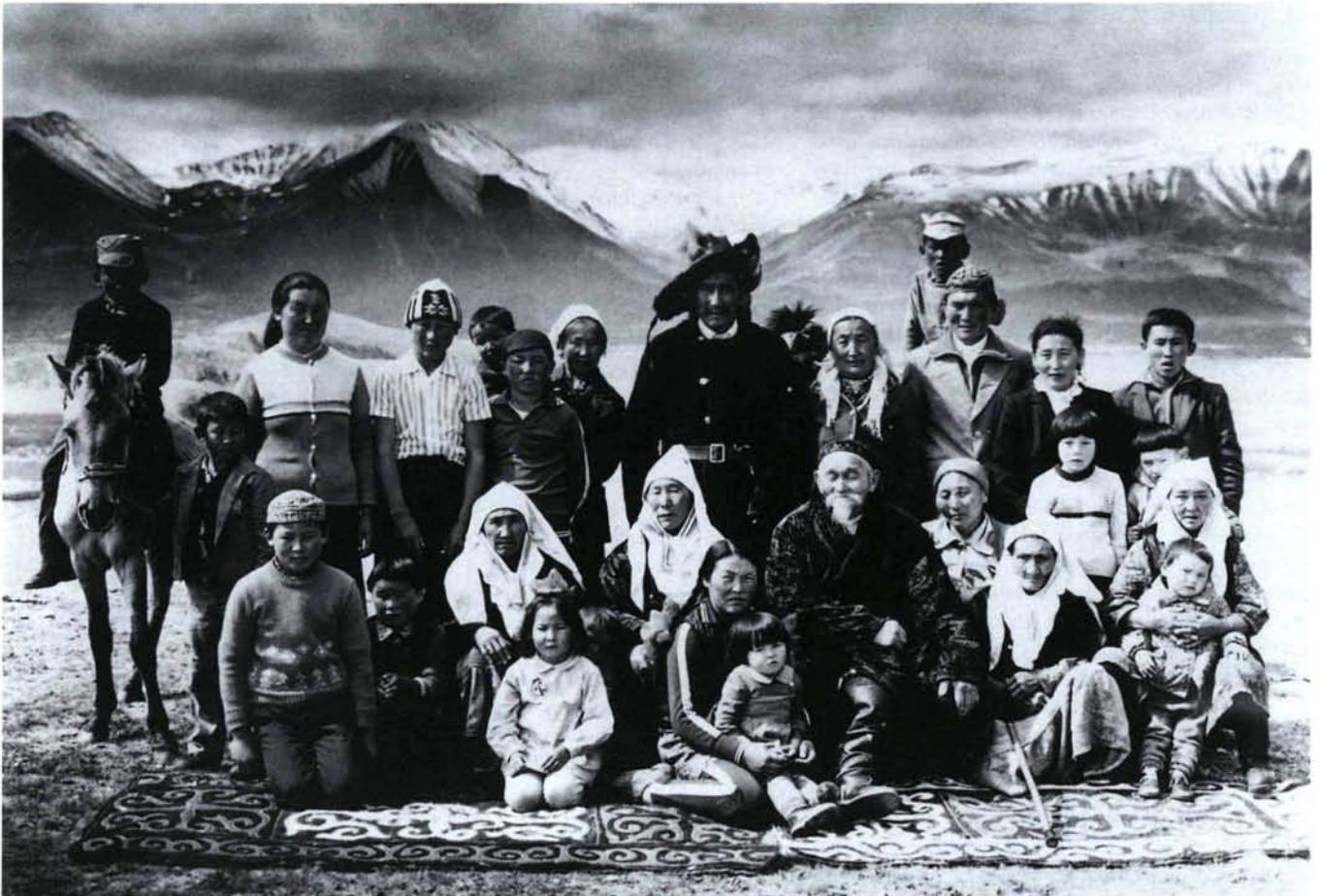
Les techniques moléculaires sont pleines de promesses pour la solution des problèmes cliniques associés aux maladies transmissibles. Elles sont le point fort d'un nombre croissant de laboratoires de diagnostic dans les pays industriels. Comme maintes de ces techniques impliquent l'usage de radio-indicateurs, l'AIEA se trouve activement engagée dans le transfert de la technologie correspondante vers les pays en développement par l'intermédiaire de ses programmes qui favorisent la recherche, la formation et la diffusion de l'information.

Ces techniques, parmi d'autres, sont vouées à un rôle mondial croissant pour l'étude, la prophylaxie et le traitement de maladies transmissibles, qui parviennent à s'adapter aux conditions changeantes de l'environnement.



A Bamako (Mali), deux participants à un projet assisté par l'AIEA et l'Italie s'entraînent aux méthodes moléculaires pour l'étude du paludisme.

(Photo: Castellino, AIEA)

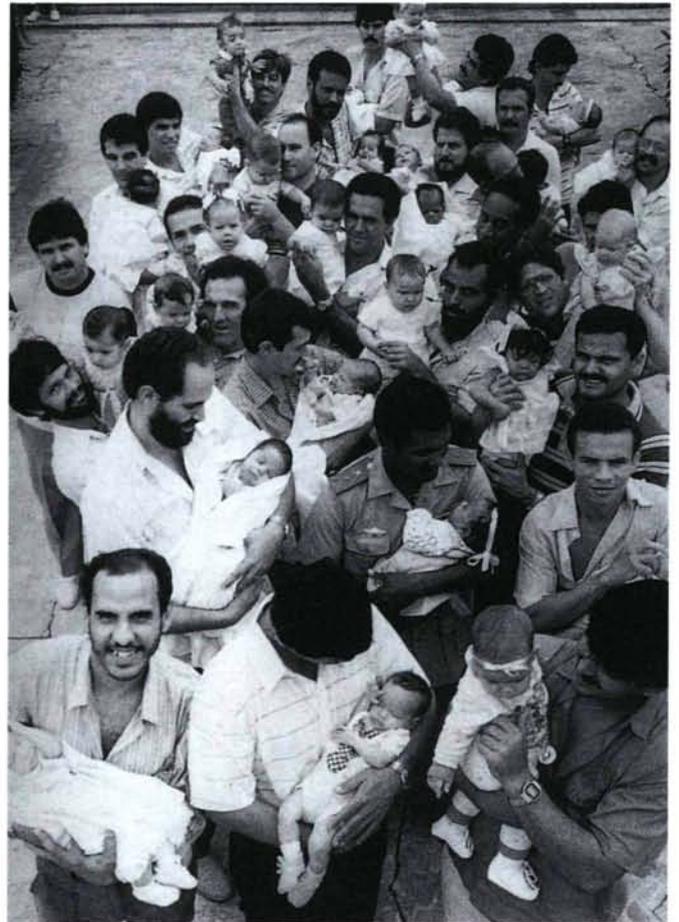


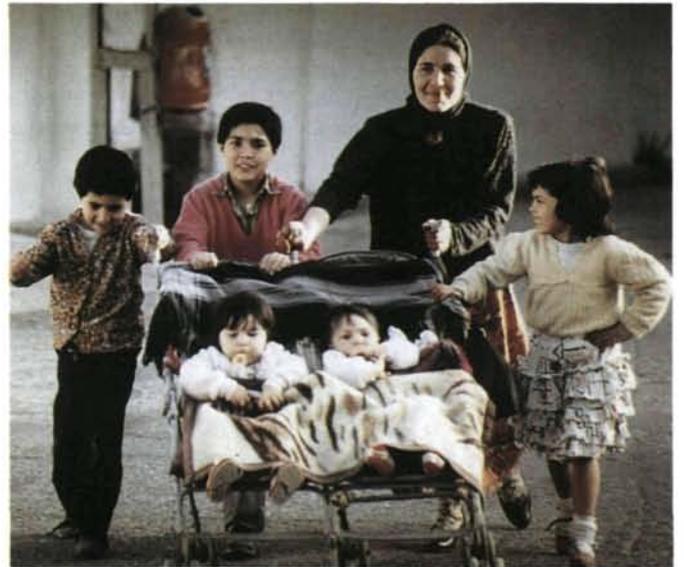
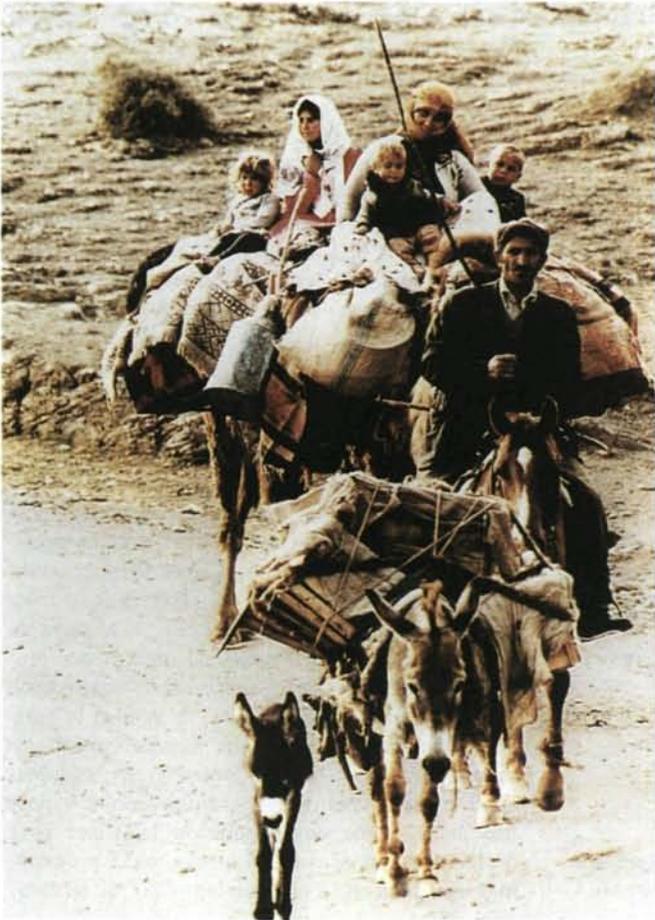
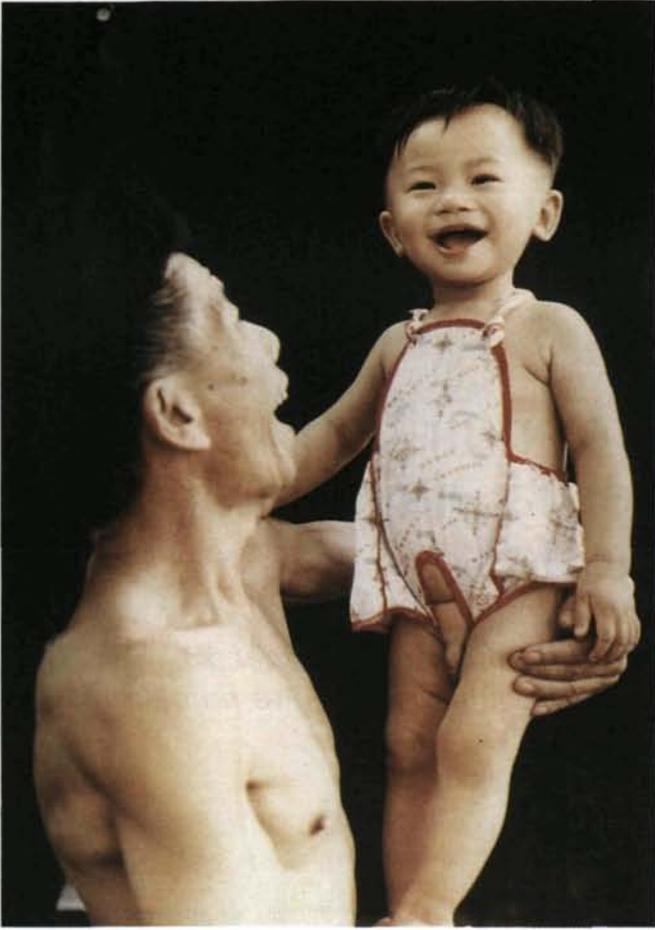
Santé, environnement, famille

La joie et la fierté de dorloter son nourrisson, l'affection et la gaité des réunions de famille éclatent sur ces images de la richesse des peuples et des cultures du monde — qui nous rappellent aussi, malheureusement, les dures épreuves que maintes familles doivent affronter. Parmi les problèmes les plus pressants, la santé et la nutrition sous leurs différents aspects font l'objet d'articles du présent numéro du *Bulletin de l'AIEA*. Les photographies reproduites ici ainsi qu'au recto et au verso de notre page de couverture ont toutes remporté un prix. Elles ont été choisies parmi plus de 10 000 photographies présentées au Concours mondial de photographie consacrée à la famille que l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et le Centre culturel Asie/Pacifique pour l'UNESCO (ACCU) ont organisé à Tokyo, dans le cadre de la décennie mondiale du développement culturel et en tant que contribution spéciale à l'année internationale des Nations Unies en l'honneur de la famille, 1994.

Sur cette page: «Famille kazakh» par R. Gombojav (Mongolie): famille réunie à Bayan Olgui aimak pour une photo souvenir qui a reçu un prix spécial. «Cher papa» de Umberto G. Mayol (La Havane, Cuba): toute la joie d'être père.

A droite dans le sens horaire à partir du haut, à gauche: «Fierté» de Elaine Abrams (Etats-Unis): l'émotion d'un père chinois avec son fils. A Ho Chi Minh ville, «Regards et sourires» radieux, de Tuong Linh (Viet Nam). A Maseru (Lesotho), «J'ai un an», de A.C. Ebenebe (Nigeria): jeune couple et leur petite fille. A Antalya (Turquie), deux jumeaux en première ligne sur cette photo sans titre de Timurtas Onan (Turquie). «Familles», de Mohammad Reza Baharnaz (Iran), lauréat d'un prix spécial, nous montre des familles en route vers des ciels plus cléments, à l'approche de l'hiver. (Photos gracieusement offertes par ACCU)





Santé humaine et nutrition: Comment calmer la «faim latente» à l'aide des isotopes

*Nouvelles applications des isotopes stables et radioactifs
à l'étude des graves problèmes de nutrition de l'être humain*

par
Robert M. Parr
et **Carla R. Fjeld**

Dans tous les pays, les services de santé se préoccupent de la nutrition des populations.

Dans le monde industriel, c'est plutôt la suralimentation qui cause des soucis. L'abondance et l'urbanisation font que les régimes alimentaires sont plus riches en énergie et en matières grasses, notamment, en acides gras saturés. Ils contiennent aussi moins de fibres et d'hydrates de carbone complexes, mais plus d'alcool. Ces conditions ajoutées à d'autres facteurs de risque favorisent l'obésité, l'hypertension, les maladies cardio-vasculaires, le diabète sucré, l'ostéoporose, l'anémie et certaines formes de cancer, qui coûtent très cher à la société et aux services de santé.

Dans les pays en développement, c'est plutôt l'inverse. Le principal ennemi, c'est l'hypotrophie, autrement dit la malnutrition, qui affecte gravement la grande majorité des «pauvres».

Certaines statistiques sont vraiment alarmantes. Plus de 780 millions d'êtres humains, soit 20% du monde en développement, sont chroniquement sous-alimentés. Environ 190 millions d'enfants de moins de cinq ans, dont plus de 150 millions en Asie et 27 millions en Afrique, manquent de protéines. Chaque jour, 40 000 enfants de ce groupe d'âge meurent, pour la plupart de malnutrition. Quelque deux milliards d'habitants de plus de 100 pays en développement souffrent de carences de micro-

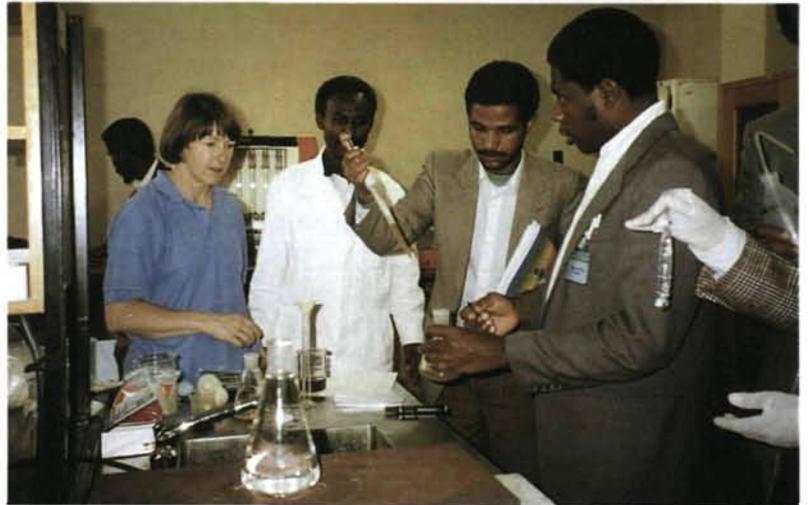
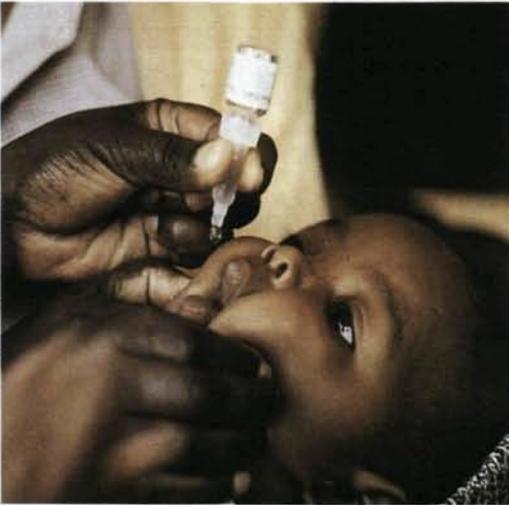
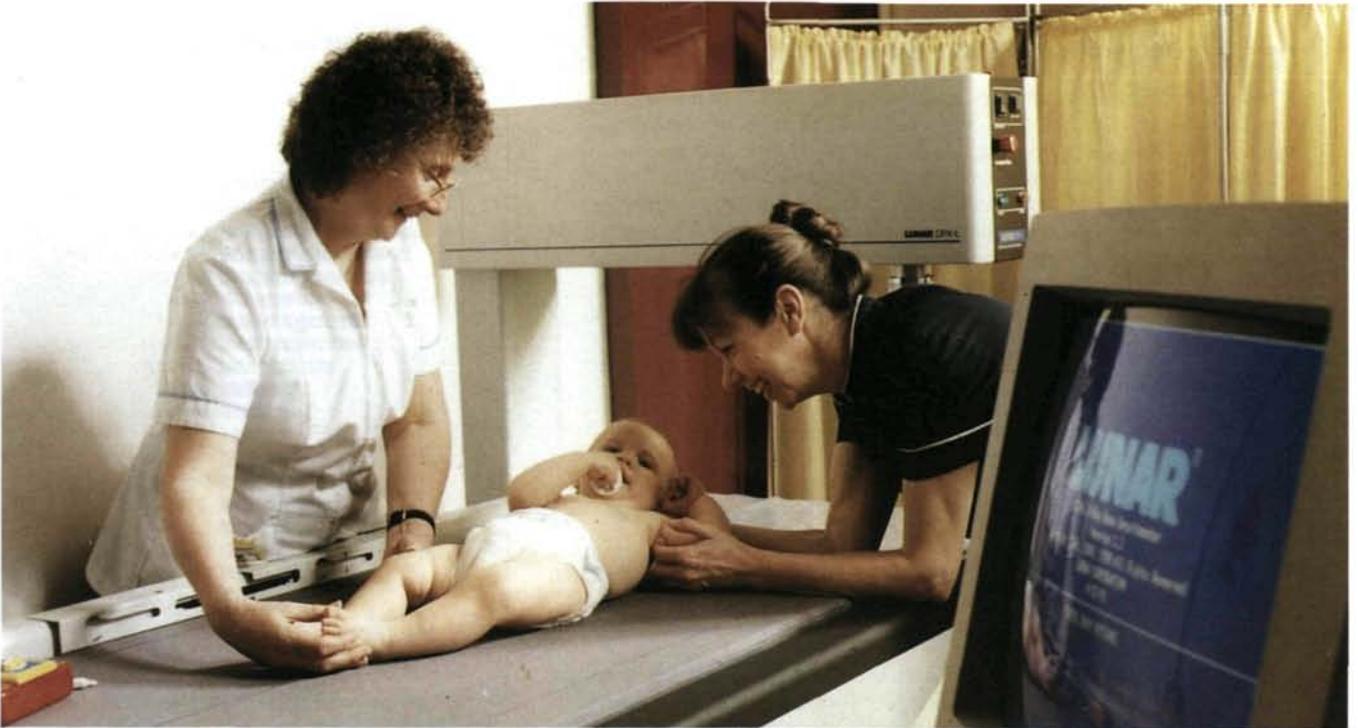
nutriments qui mènent à la cécité, à l'arriération mentale et même à l'issue fatale.

Nombre de problèmes ne sont pas nouveaux; ils sont même bien connus depuis des années. Leur gravité varie d'un pays à l'autre, et dans le temps. Dans certains pays, au cours des dernières années, une baisse sensible de la mortalité due au régime alimentaire a été observée mais, dans d'autres pays, c'est le contraire (*voir les graphiques page 20*).

Les problèmes nutritionnels qui sous-tendent cette situation (notamment dans les pays en développement) ne sont généralement pas liés à une déficience absolue de l'alimentation, en d'autres termes à la faim pure et simple. Ils tiennent le plus souvent à la mauvaise *qualité* de l'alimentation, ou à son manque de variété, d'où le manque de vitamines et de minéraux essentiels. Comme les manifestations n'apparaissent pas toujours à première vue, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) parle de «faim latente» pour désigner le phénomène.

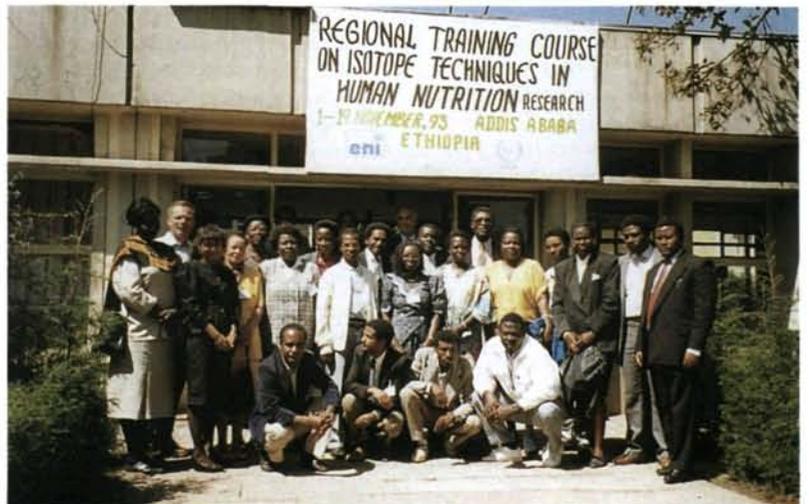
De diverses manières, les activités de l'AIEA contribuent à l'action entreprise pour remédier à cette faim latente et autres problèmes de nutrition. L'AIEA participe pour deux raisons. Premièrement, assurer une bonne nutrition est essentiel dans toute stratégie visant à améliorer la *santé*, et le statut de l'AIEA spécifie que le principal objectif des programmes doit consister à «accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la *santé* et la prospérité dans le monde entier». Deuxièmement, les techniques isotopiques se prêtent à de multiples applications — dont certaines sans précédent — pour une étude ciblée de la nutrition humaine, pour évaluer son état et assurer l'efficacité des programmes nutritionnels d'intervention (*voir le tableau, page 21*).

M. Parr est chef de la Section des études de nutrition et d'écologie sanitaire, Division de la santé humaine, AIEA; Mme Fjeld est membre de cette section.



Des millions d'hommes, de femmes et d'enfants de par le monde sont sous-alimentés pour une raison ou pour une autre. Plusieurs programmes de l'AIEA assistent l'étude des problèmes de nutrition en vue d'améliorer la santé des populations, en accordant une attention particulière à la mère et à l'enfant. Cette activité comporte des projets de recherche ciblés, une assistance technique et des cours à l'intention des scientifiques qui étudient divers aspects de la malnutrition et de la santé — ci-dessus quelques instantanés du cours d'Addis-Abeba (Ethiopie) de novembre 1993. Depuis 1990, l'AIEA assiste des programmes de nutrition dans plus de 50 pays.

(Photo: AEA Technology; Schytte/OMS; R. Parr, AIEA)

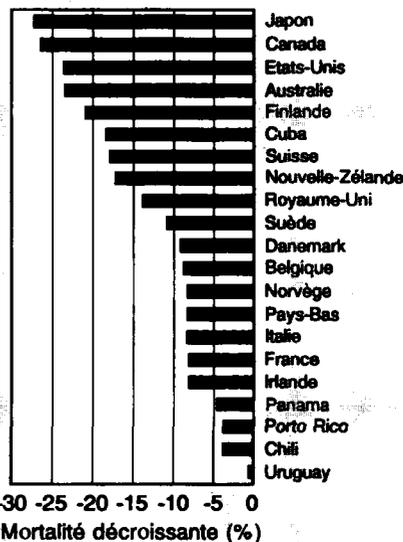


Déclaration mondiale sur la nutrition

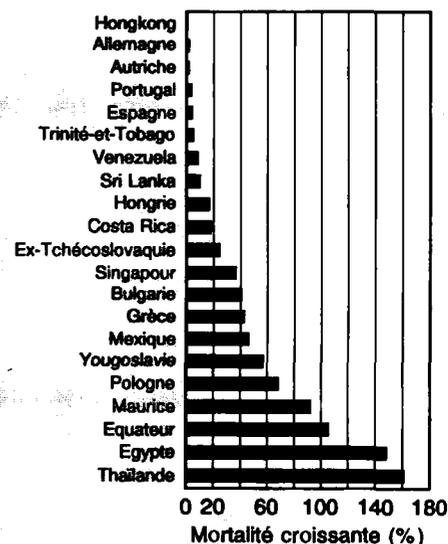
Un des événements récents les plus importants dans le domaine de la nutrition humaine a été la Conférence internationale sur la nutrition (CIN) organisée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), à Rome, à la fin de 1992. Pour la première fois dans l'histoire, des gouvernements représentés au sein d'une réunion internationale ont été invités à se placer, par la pensée, au-delà des problèmes trop actuels de la faim et de la survie, pour aborder franchement ceux de nutrition et de santé. L'issue de cette conférence fut une «Déclaration mondiale sur la nutrition». Elle a été adoptée par des ministres et des hauts fonctionnaires de plus de 150 pays, auxquels s'étaient joints des représentants d'organisations non gouvernementales. Voici quelques passages de cette déclaration:

- Le bien-être nutritionnel de toutes les populations est une condition préalable au développement des sociétés (...) il devrait figurer parmi les objectifs fondamentaux des programmes de développement humain et être au cœur des stratégies et des plans de développement économique et social;
- Il y a dans le monde assez de nourriture pour tous (...) la principale difficulté, c'est l'accès;
- Chaque individu a le droit de se procurer une nourriture suffisante et saine;
- Il existe dans certaines régions d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et des Caraïbes un nombre considérable et toujours croissant d'enfants mal nourris (...) il faudrait s'occuper tout particulièrement de leurs problèmes de nutrition;
- Plus de deux milliards d'individus, pour la plupart des femmes et des enfants, manquent d'un ou plusieurs micronutriments;
- Au nombre des objectifs nutritionnels de la quatrième décennie des Nations Unies pour le développement figure (...) la réduction substantielle de la malnutrition et de la mortalité infantiles;
- Les objectifs nutritionnels du Sommet mondial pour l'enfance (fixés pour l'an 2000) sont les suivants: réduire la malnutrition aiguë et moyenne des enfants de moins de cinq ans de la moitié de l'effectif de 1990; réduire le nombre des cas d'anémie par carence de fer parmi les femmes d'un tiers de l'effectif de 1990; élimination pratiquement totale des troubles dus à la carence d'iode; élimination virtuellement totale des carences de vitamine A et de ses conséquences; institutionnalisation de la promotion et du contrôle régulier de la croissance dans tous les pays pour la fin des années 90;
- Des travaux scientifiques de recherche pure et appliquée, ainsi que des systèmes de surveillance de l'alimentation et de la nutrition, sont nécessaires pour préciser les facteurs responsables des problèmes de malnutrition et pour trouver les moyens de résoudre ces problèmes, en particulier pour les femmes, les enfants et les personnes âgées;
- Les organes directeurs de la FAO, de l'OMS (...) et d'autres organisations internationales concernées devraient (...) étudier les moyens d'accorder la priorité nécessaire à leurs programmes de travail en matière de nutrition afin d'assurer dans les meilleurs délais une mise en œuvre énergique et coordonnée des activités recommandées par la Déclaration mondiale et Plan d'action pour la nutrition (...) qui comporterait, selon les besoins, une assistance accrue aux pays membres.

Evolution des taux de mortalité dus à des infections non contagieuses d'origine nutritionnelle



Mortalité décroissante (%)



Note: chez le groupe d'âge de 65 ans et plus, en 1960-1964 et 1985-1989, dans 42 pays.

Source: OMS

Nous nous proposons de donner ici un bref aperçu de ces techniques et de leurs principales applications dans le domaine de la nutrition et de montrer comment les programmes de l'AIEA cherchent à faciliter la solution de problèmes nutritionnels particuliers, notamment ceux qui affectent les femmes et les enfants des pays en développement.

Malnutrition et micronutriments: Les carences de vitamines et de minéraux

Survol de la question. Les micronutriments — vitamines et minéraux — sont très importants pour la santé et la croissance. Outre la prévention de troubles spécifiques, ils protègent la vie des mères et des

**Exemples de l'aide de l'AIEA
aux programmes de nutrition humaine
(1990-1994)**

	Reserche et assistance technique*	Formation et séminaires**
Allemagne	1	
Argentine	1	
Australie	2	
Bangladesh	4	1
Bolivie	1	
Brésil	2	2
Cameroun	1	4
Canada	2	1
Chili	3	2
Chine	3	2
Espagne	1	
Etats-Unis	11	4
Ethiopie		4
Finlande	1	
France	1	
Ghana		2
Guatemala	2	
Hongrie	1	
Inde	6	20
Indonésie	2	1
Iran	1	
Italie	1	
Jamaïque	2	
Kenya		4
Madagascar		1
Malaisie	3	2
Maurice		1
Mexique	1	
Myanmar	1	2
Népal		1
Nigéria		2
Ouganda		1
Pakistan	2	1
Papouasie-Nouvelle- Guinée	1	
Pays-Bas	1	
Pérou	2	1
Philippines	1	2
Pologne	1	1
Portugal	1	
République tchèque	1	
Roumanie	1	1
Royaume-Uni	5	2
Sénégal		2
Sierra Leone		2
Slovénie	2	
Soudan	1	2
Sri Lanka	1	1
Tanzanie		2
Thaïlande	1	2
Turquie	1	
URSS (ex-)	1	
Venezuela	1	1
Zaïre		1

enfants, stimulent le développement cognitif, contribuent à parer les infections et améliorent l'aptitude au travail.

Les carences de micronutriments ont un effet nocif dès le moment de la conception, car elles affectent la croissance et d'autres processus physiologiques. Elles sont à l'origine d'un cercle vicieux qui dure plus d'une génération: les mères mal nourries mettent au monde des enfants qui en subissent les effets jusque dans l'âge adulte, et les filles les transmettent à la génération suivante.

Carence de fer. C'est l'insuffisance nutritionnelle la plus commune dans le monde d'aujourd'hui. Elle affaiblit la faculté d'apprendre et de résister aux maladies. La léthargie qu'elle provoque chez l'adulte réduit l'aptitude au travail et au soin de la famille et du foyer. Plus de deux milliards d'êtres humains dans le monde, dont la plupart dans les pays en développement, sont anémiques ou déficients en fer. L'hémorragie menstruelle rend les femmes en âge de procréer particulièrement vulnérables. L'anémie est en partie responsable de la forte mortalité des jeunes mères, du faible poids de l'enfant à la naissance et de la mortalité infantile accrue.

Carence d'iode. Elle affecte la production des hormones thyroïdiennes qui commandent le développement et les fonctions de l'encéphale et du système nerveux et règlent la température et l'énergie de l'organisme. L'insuffisance d'hormones thyroïdiennes réduit les capacités tant physiques que mentales. Elle peut être la cause, chez la femme enceinte, de fausses couches et d'enfants mort-nés, chez le fœtus et le nouveau-né, de dommages cérébraux irréversibles et, chez l'enfant, d'une arri-

**Quelques
techniques
isotopiques
pour l'étude
de la nutrition
humaine**

Technique	Application
Etude avec marqueurs radio-isotopiques (et comptage d'échantillons)	Composition de l'organisme (eau marquée au tritium) Etude <i>in vivo</i> de l'absorption et de la biodisponibilité du fer (fer 59/fer 55) Etude <i>in vitro</i> de la dialyse du fer (fer 59)
Radio-immunoanalyse	Bilan du fer (avec la ferritine du sérum) Bilan de l'iode (avec T ₃ , T ₄ , TSH)
Méthodes analytiques nucléaires (par exemple analyse par activation neutronique)	Teneur des denrées alimentaires, des régimes alimentaires et des tissus humains en oligo-éléments
Anthroporadiamétrie	Composition de l'organisme (masse corporelle maigre — potassium 40) Absorption et biodisponibilité des oligo-éléments essentiels tels le fer (fer 59) et le zinc (zinc 65)
Analyse par activation neutronique <i>in vivo</i>	Composition de l'organisme (hydrogène total, calcium, etc.)
Etude à l'aide de traceurs isotopiques stables	Composition de l'organisme (eau marquée au deutérium) Métabolisme de substrats (acides aminés, graisses, etc., marqués au carbone 13 et à l'azote 15) Dépense d'énergie (eau marquée au deutérium et à l'oxygène 18) Absorption et biodisponibilité de micronutriments essentiels (fer, zinc et vitamine A) à l'aide d'isotopes stables

* Nombre de projets (accords de recherche inclus)

** Nombre de participants/stagiaires

ration mentale. Plus d'un milliard de personnes vivent dans des régions à risque de carence d'iode. Deux cents millions sont atteints de goitre — déformation du cou due à une augmentation du volume de la thyroïde — et 26 millions sont arriérés mentaux. Tel est le bilan de cette insuffisance.

Carence de vitamine A. C'est la cause la plus commune de cécité infantile évitable; elle affaiblit aussi la réponse du système immunitaire et retarde la croissance et le développement. Au moins 40 millions d'enfants d'âge préscolaire manquent de vitamine A et 13 millions d'entre eux souffrent déjà des yeux. Chaque année, un demi-million d'entre eux deviennent partiellement ou totalement aveugles. Les deux tiers environ de ceux qui sont frappés de cécité meurent dans les quelques mois. Le manque de vitamine A et autres éléments nutritifs essentiels rend aussi les enfants plus sensibles aux graves séquelles d'affections telles que la rougeole, la diarrhée et les infections des voies respiratoires. Diverses études montrent que même une carence modérée de vitamine A peut freiner la croissance, aggraver les infections, accroître la mortalité infantile, et favoriser la transmission du virus HIV au fœtus chez les femmes séropositives.

Techniques isotopiques pour l'étude des carences de micronutriments

Nombre de micronutriments, aussi bien vitamines qu'oligo-éléments, essentiels à la nutrition humaine peuvent être étudiés à l'aide de techniques isotopiques.

Fer. Pour toute étude du fer dans la nutrition, il faut en connaître l'absorption effective par l'organisme (qu'il provienne d'une denrée alimentaire ou d'un repas) sous une forme métaboliquement active. On est déjà très renseigné sur ce point. Par exemple, la quantité absorbée dépend beaucoup de l'origine du fer (viande ou légumes) et de la présence d'autres substances telles que la vitamine C (des fruits et de certains légumes), le phytate (de certains produits à base de céréales) et le tannin (du thé). Il reste cependant encore beaucoup à apprendre sur les interactions entre ces substances et sur la manière d'optimiser l'absorption du fer par un choix judicieux de denrées alimentaires locales et par le recours à des méthodes de préparation des aliments telles que la fermentation et la germination.

Les techniques isotopiques offrent le seul moyen de mesurer directement l'absorption et la biodisponibilité du fer et sont considérées à juste titre comme le *nec plus ultra* pour ce genre d'étude. La méthode la plus courante se fonde sur l'incorporation de radio-isotopes du fer (fer 55 et fer 59) aux hématies après marquage des aliments à l'étude, ensuite absorbés par les sujets choisis pour l'expérience. Des spécimens de sang sont prélevés pendant deux à quatre semaines, puis préparés en vue de leur comptage

dans un compteur à scintillateur liquide. Le fer 59 peut être mesuré avec un anthroporadiomètre. Plus récemment, on a estimé dans certains pays que l'emploi d'isotopes stables (fer 54, 57 et 58) et leur mesure par spectrométrie de masse étaient préférables du fait de l'absence d'irradiation, ce qui permet d'appliquer la méthode aux enfants et aux femmes enceintes.

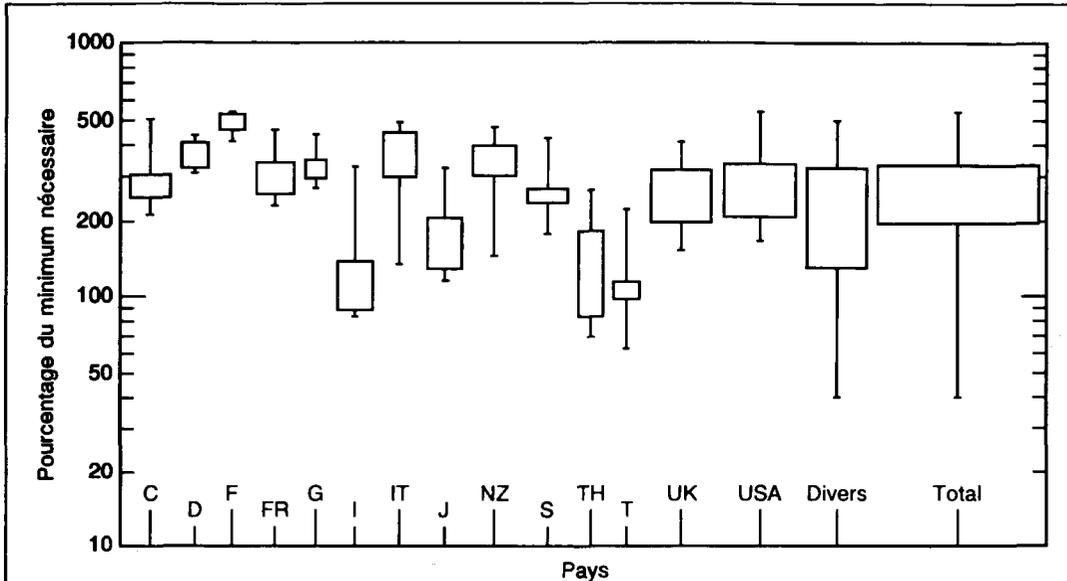
Il existe une autre méthode utile, bien que moins précise, sans recours à des cobayes humains. L'aliment à étudier subit une digestion *in vitro* en laboratoire dans des conditions identiques à celles qui règnent dans l'estomac. Le fer libéré sous forme d'espèces à faible poids moléculaire est évalué par marquage avec du fer 59, après dialyse à travers une membrane synthétique. Cette méthode de séparation est très rapide.

Les méthodes isotopiques sont aussi fort utiles pour faire le bilan du fer chez des individus et des populations en mesurant la ferritine du sérum. Une faible teneur traduit l'épuisement des réserves de fer de l'organisme, constatation la plus spécifique d'une carence de fer. La voie immunologique, par radio-immunoanalyse (RIA) ou analyse à base d'enzyme (ELISA), est la seule méthode dont on dispose actuellement pour mesurer la ferritine.

Iode. On détermine les carences d'iode, dans les régions où elles sont endémiques, en mesurant l'excrétion d'iode par voie urinaire (à l'aide de techniques non nucléaires). On obtient d'ailleurs un utile complément d'information sur le bilan de l'iode nutritionnel chez un individu ou dans une population éventuellement en examinant la teneur du sérum sanguin en hormones thyroïdiennes. Les carences d'iode sérieuses à modérées modifient le régime de sécrétion des hormones thyroïdiennes et leur concentration dans le sérum. L'analyse immunologique est la méthode de choix pour ces dosages. Elle utilise des anticorps comme fixateurs spécifiques pour détecter diverses substances à doser (en l'occurrence, des hormones thyroïdiennes telles que T₃, T₄ et TSH). Elle est très sensible et à toute épreuve. La RIA et l'ELISA sont les deux formes utilisables de l'analyse immunologique. Les établissements qui pratiquent la RIA la préfèrent souvent car elle est plus sûre et, comme plusieurs programmes de l'AIEA l'ont montré, très économique grâce à l'emploi de réactifs en vrac, dont certains sont produits sur place.

Vitamine A. Pour la vitamine A, les méthodes isotopiques ne sont pas encore aussi parfaitement au point que pour les micronutriments précédents. Il n'y a cependant aucun doute qu'elles seront d'une utilité exceptionnelle pour le dosage de la vitamine A, notamment par la mesure de la clairance plasmatique d'une dose déterminée de rétinol marqué par un isotope. Pour les études sur l'être humain, on choisit le plus souvent le deutérium comme indicateur.

De grands programmes ont déjà été mis en œuvre par l'UNICEF, l'OMS et d'autres organisations pour prévenir les troubles dus aux carences



Absorption de zinc avec les aliments: d'après les études faites dans divers pays

Ce graphique indique l'absorption de zinc par voie alimentaire dans plusieurs pays, en pourcentage de la nouvelle norme basale OMS/FAO/AIEA. Ces études montrent que l'on dispose encore de très peu de données sur l'absorption d'oligo-éléments par voie alimentaire dans les pays en développement. Les quelques données disponibles révèlent que, dans la plupart des pays en développement, l'absorption du zinc n'est au mieux que marginalement suffisante (et dans certains cas effectivement insuffisante si on la compare au minimum nécessaire). En partie grâce à ce genre de recherche, le risque que la malnutrition en zinc soit relativement très fréquente retient désormais l'attention des organismes internationaux qui s'occupent de nutrition. Il est probable que les études de l'absorption du zinc dans les pays en développement se multiplieront rapidement au cours des prochaines années. Les techniques nucléaires sont appelées à jouer un rôle important dans ces études et l'AIEA envisage de lancer un nouveau programme dans ce domaine en 1996.

Les pays étudiés sont les suivants: Canada (C), Danemark (D), Finlande (F), France (FR), Allemagne (G), Inde (I), Italie (IT), Japon (J), Nouvelle-Zélande (NZ), Suède (S), Thaïlande (TH), Turquie (T), Royaume-Uni (UK), Etats-Unis (USA). La catégorie «divers» comprend les pays suivants: Australie, Belgique, Brésil, Chine, Espagne, Iran, Malawi, Maroc, Myanmar, Nigéria, Pays-Bas, Philippines, Pologne, Soudan, Suisse, Ex-URSS et Ex-Yougoslavie. Sous «Total» sont résumés les résultats de toutes les études.

de vitamine A. Ils prévoient l'administration de la vitamine A en supplément, la modification des régimes alimentaires de façon à augmenter l'absorption de vitamine A (qui peut être onéreuse) ou de son précurseur, le bêta-carotène (extrait de végétaux et éventuellement moins cher), l'enrichissement des aliments en vitamine A, et l'allaitement au sein. Des méthodes isotopiques à l'étude promettent de bien améliorer l'évaluation des bilans de vitamine A dans les pays en développement.

Autres oligo-éléments. Les techniques isotopiques, en particulier les méthodes analytiques nucléaires telles que l'analyse par activation neutronique, sont spécialement utiles pour l'étude des éléments présents à l'état de traces dans les aliments. On s'intéresse notamment aux oligo-éléments essentiels tels que le cuivre, le manganèse, le sélénium et le zinc (outre le fer et l'iode déjà mentionnés), et aux éléments traces toxiques comme l'arsenic, le cadmium et le mercure. Pour un récent programme de recherche de l'AIEA auquel 16 pays ont participé, le choix s'est porté sur l'analyse par activation neutronique pour 14 des 24 éléments considérés, technique

utilisée pour le contrôle de la qualité concernant quatre autres éléments.

Programmes et plans de l'AIEA relatifs aux carences de micronutriments. Depuis 1990, l'AIEA subventionne un programme de recherche coordonnée dans 11 pays sur l'étude isotopique de la biodisponibilité du fer et du zinc provenant des régimes alimentaires humains, dont l'objectif principal est d'acquérir l'information indispensable pour planifier et mettre en œuvre des programmes nationaux visant à diversifier et à modifier les régimes alimentaires, à enrichir les aliments, à compléter leur teneur en micronutriments et à évaluer le résultat de cette intervention.

On prévoit de continuer cette opération en collaboration avec l'OMS pour élucider les rapports quantitatifs entre l'absorption du fer contenu dans les aliments et les quantités des composants des aliments dont on sait qu'ils influent sur la biodisponibilité du fer. (A titre d'exemple de l'importance de ces interactions, rappelons simplement que boire du thé pendant un repas bloque presque totalement l'absorption du fer.)

On s'attend également que l'AIEA assiste plusieurs projets de coopération technique en Afrique et en Amérique latine en 1995-1996, qui étudieront la préparation d'aliments de sevrage riches en fer à l'aide de denrées alimentaires locales. Ce travail fait appel à des techniques *in vivo* et *in vitro* utilisant des indicateurs isotopiques radioactifs et stables.

Quant à l'iode, l'AIEA n'a pas encore directement assisté de travaux sur son assimilation. De nombreux programmes y ont néanmoins contribué, par le biais de la RIA servant au diagnostic de l'hypothyroïdie du nouveau-né (souvent due à un défaut d'assimilation de l'iode chez la mère).

Plusieurs programmes nouveaux de l'AIEA sur la carence de vitamine A sont prévus, notamment un PRC pour 1995, visant à mettre au point de nouvelles méthodes d'évaluation du bilan de vitamine A, à recourir aux méthodes actuelles quand c'est possible et à élaborer de nouveaux modèles pour interpréter les données isotopiques cinétiques. En second lieu, la recherche sera assistée dans un nouveau domaine, à savoir la production d'aliments intrinsèquement marqués par des isotopes du carbone et de l'hydrogène afin d'étudier la bioconversion des caroténoïdes dans des conditions diététiques et physiologiques spécifiques. Troisièmement, l'AIEA appuiera l'emploi de certaines techniques pour un projet de rationalisation de la nutrition, qui sera entrepris en collaboration avec l'OMS en Amérique latine vers la fin de 1994 ou au début de 1995.

En ce qui concerne les oligo-éléments, les résultats obtenus par 25 groupes d'étude patronnés par l'AIEA dans 16 pays ont déjà été exploités pour préparer les documents de travail destinés à la réunion consultative d'experts OMS/FAO/AIEA sur les oligo-éléments dans l'alimentation humaine. (Un rapport qui paraîtra prochainement propose de nouvelles valeurs pour l'absorption des oligo-éléments nécessaires au maintien de la santé.) Ces données ont également été incorporées à une base de données sur l'absorption alimentaire de 35 oligo-éléments et éléments secondaires dans 47 pays (voir le graphique, page 23).

Problèmes de malnutrition de la femme et de l'enfant

Dans certains groupes de populations, plus particulièrement les femmes et les enfants, les problèmes d'assimilation des protéines sont graves. En synergie avec les diarrhées, les troubles respiratoires et autres infections, un régime alimentaire déficient chez le jeune enfant bloque la croissance, retarde le développement de la motricité et de l'intellect, perturbe l'immunocompétence et augmente les risques de complications et de mort dus aux maladies infectieuses.

Cette forme de malnutrition est partiellement due à l'insuffisance quantitative de l'alimentation, mais

la mauvaise qualité et le manque de diversité du régime alimentaire jouent un rôle également très important. Les infections contribuent aussi beaucoup à la malnutrition par manque de protéines énergétiques. Elles sont la cause d'une certaine anorexie, accélèrent le métabolisme et détournent les protéines et autres éléments nutritifs importants de l'entretien et de la croissance de l'organisme vers la lutte contre l'agression infectieuse.

Dans les pays en développement, les enfants pauvres de moins de cinq ans souffrent de cinq à dix attaques infectieuses par an, et aussi d'infections latentes. Le risque de mourir d'une maladie est double en cas de malnutrition légère et triple en cas de malnutrition modérée.

Chez la femme en âge de procréer, les déficiences en protéines et en énergie accentuent les risques au moment de l'accouchement et sont responsables du faible poids de l'enfant à la naissance et d'une augmentation de la morbidité et de la mortalité périnatales. Plus de 20 millions d'enfants de faible poids à la naissance sont mis au monde chaque année, dont plus de 90% dans les pays en développement. Dans la plupart des cas, la malnutrition de la mère en est la cause.

La possibilité de se procurer régulièrement des aliments nourrissants en quantité suffisante aiderait certainement à résoudre les problèmes de carence. Or, cela n'est pas réalisable dans l'immédiat. Il faut commencer par prendre les mesures nécessaires, lesquelles dépendent essentiellement de la capacité de faire des évaluations nutritionnelles précises et de recommander une alimentation qui améliore la nutrition tout en exploitant économiquement de très modestes ressources. Les techniques isotopiques sont irremplaçables et parfaitement adaptées à ce travail.

Elles ont été amplement utilisées dans les pays industriels et ont permis d'acquérir une précieuse information qui a beaucoup contribué à élucider la nutrition protéique au cours des 20 dernières années, et les besoins énergétiques depuis une dizaine d'années. Elles servent à préparer des programmes nutritionnels d'intervention et à juger de leurs résultats. Les programmes de l'AIEA relatifs à la nutrition protéique et énergétique visent à transférer les techniques isotopiques et associées, adaptées ou non, aux pays en développement, et à promouvoir l'étude de nouvelles techniques et méthodes. Ces activités se sont beaucoup développées depuis 1992 grâce à un financement complémentaire par les Etats-Unis. Les programmes concernent avant tout les femmes et les enfants.

Malnutrition de la mère. La recherche menée dans le monde entier a prouvé que les programmes de nutrition qui s'adressent aux mères et aux enfants mal alimentés ont amélioré l'état de santé et le bien-être. En outre, comme cela a été démontré en Amérique centrale, les suppléments alimentaires donnés à une génération influent sur la génération suivante. En nutrition maternelle, ce qu'il faut surveiller en particulier, c'est la grossesse et plus spécialement

l'augmentation de poids. On entend souvent dire que les femmes qui prennent du poids pendant leur grossesse mettent au monde des bébés plus sains, et plus rarement d'un poids insuffisant.

Applications des techniques isotopiques aux études visant à améliorer l'issue de la grossesse. La composition du corps de la femme pendant la grossesse — et son rapport avec le régime alimentaire et l'issue de la grossesse — est évaluée par comparaison de sa composition avant la conception avec sa composition pendant la grossesse et après l'accouchement. Le résultat fait partie des données de base servant à évaluer les besoins nutritionnels de la femme enceinte, problème d'une importance critique dans les pays en développement.

Les besoins en énergie de la femme enceinte sont également très importants sur le plan pratique. Les estimations communiquées conjointement par la FAO, l'OMS et l'Université des Nations Unies (UNU) se fondent sur un supplément généralement agréé de 335 MJ. On explique d'ailleurs cette faible augmentation par la réduction concomitante de l'activité physique, notamment chez les femmes qui n'ont pas la possibilité de s'alimenter suffisamment. D'une façon générale, si le complément d'énergie qu'exige la grossesse en elle-même n'est pas absorbé, il peut en résulter soit un nouveau-né d'un poids inférieur à la normale, une moindre aptitude au travail pendant la grossesse, une diminution des réserves de graisse éventuellement nécessaires comme source d'énergie pendant l'allaitement, ou encore une diminution de l'activité physique. L'AIEA continue d'assister les études faites dans les pays en développement sur les réserves de graisse de l'organisme à l'aide de techniques isotopiques.

Programmes sur la nutrition maternelle assistés par l'AIEA. L'AIEA a contribué de deux façons à l'amélioration de la nutrition maternelle pendant la grossesse. Elle a d'abord donné son aval, conjointement avec le Groupe consultatif international sur l'alimentation énergétique (IDECG), à un rapport sur le fondement scientifique et l'application pratique de l'eau doublement marquée pour la mesure de la dépense énergétique*. Ensuite, elle a assisté plusieurs études individuelles ou coopératives sur la dépense d'énergie pendant la grossesse. Les résultats de certaines d'entre elles sont exploités, entre autres données, aux fins de la réévaluation des besoins en aliments énergétiques à laquelle la FAO, l'OMS, l'IDECG et l'UNU procèdent actuellement.

La méthode du double marquage de l'eau, conçue par Nathan Lifson et modifiée par des chercheurs du

monde entier, est une sorte de calorimétrie directe. Elle se fonde sur l'élimination différentielle du deutérium et de l'oxygène 18 de l'eau du corps après administration d'une dose de ces deux isotopes stables — le deutérium s'élimine uniquement sous forme d'eau, et l'oxygène 18 sous forme d'eau et de dioxyde de carbone. La différence entre les deux taux d'élimination mesure par conséquent la production de dioxyde de carbone pendant la période d'observation qui est généralement de quatre à 21 jours.

La mesure de la dépense d'énergie de l'organisme est importante à plusieurs égards. Plus précisément, elle donne des indications extrêmement utiles pour des évaluations très diverses concernant les interventions nutritionnelles. Par exemple, les suppléments alimentaires donnés à des enfants jusque-là sous-alimentés peuvent accroître l'énergie disponible non seulement pour la croissance mais aussi pour l'activité, ce qui influe beaucoup sur le travail scolaire ou les performances sportives. Chez la femme enceinte ou allaitante, l'énergie consommée par la grossesse et la lactation est éventuellement prélevée sur l'énergie disponible pour d'autres fonctions, dont l'activité physique.

Les enfants qui souffrent de troubles respiratoires tels que les allergies ou la fibrose kystique sont traités à l'aide de médicaments qui facilitent la respiration. Mais cette médication peut, comme effet secondaire, augmenter la consommation d'énergie et, de ce fait, influencer indirectement et négativement sur le gain de poids. La connaissance des interactions entre les diverses fonctions du corps humain qui exigent de l'énergie est indispensable lorsque l'on veut assurer une alimentation convenable. Il est donc nécessaire à cette fin de mesurer les dépenses d'énergie.

La malnutrition chez l'enfant. Chez l'enfant qui manque de protéines et d'énergie, les besoins nutritionnels sont supérieurs à ceux de l'enfant bien nourri, car la nécessité de rattraper le défaut de poids augmente d'autant les besoins nutritionnels normaux d'entretien et de croissance. La croissance étant un des critères universellement utilisés pour juger de l'état nutritionnel de l'enfant, on détermine, en analysant les écarts de la norme de croissance, le degré de malnutrition et le moyen d'y remédier. Pour rétablir la composition et le poids normaux du corps d'un enfant sous-alimenté en lui assurant une nutrition adaptée, il faut savoir si la modification de cette composition est due ou non à un déficit nutritionnel.

Pour cela, il faut recourir à l'anthropométrie, méthode qui permet d'évaluer la composition du corps en mesurant le poids, la taille, la circonférence du bras et l'épaisseur de la peau. Cette méthode reste néanmoins approximative. Les équations qui expriment la relation entre les mesures anthropométriques et la composition du corps sont fondées sur des valeurs spécifiques pour une population, jugées appropriées pour l'individu, qui ont été validées par

* *The Doubly Labelled Water Method for Measuring Energy Expenditure: Technical Recommendations for Use in Humans.* Ce manuel traite des principaux aspects théoriques et pratiques de la méthode et a été distribué à des chercheurs dans 38 pays. Pour plus de renseignements, consulter les auteurs.

comparaison avec des mesures plus fiables faites à l'aide de méthodes isotopiques et autres.

Applications de techniques isotopiques aux études visant à améliorer la nutrition de l'enfant. Ici encore, une méthode directe très employée consiste à mesurer l'eau totale du corps à l'aide de deutérium et d'oxygène 18 dissouts. La croissance ne se détermine pas seulement par la taille et le poids, mais aussi par la composition du corps.

On utilise le deutérium et l'oxygène 18 parce qu'ils n'exposent pas le sujet à des rayonnements et donnent des résultats tout aussi précis. L'emploi d'indicateurs radioactifs (tels que le tritium) est jugé par certains contraire à l'éthique quand il s'agit d'études sur l'enfant ou la femme en âge de procréer, ou d'applications répétées sur une même personne et en peu de temps. Le deutérium a commencé à remplacer le tritium lorsque la chromatographie en phase gazeuse, l'absorptiométrie en infrarouge et la spectrométrie de masse à rapport isotopique se sont perfectionnées et ont donné des résultats d'une précision acceptable. Plus récemment, on a utilisé le marquage à l'oxygène 18 pour mesurer l'eau totale du corps parce que cet isotope permet d'éviter l'échange du marqueur avec l'hydrogène non aqueux dans l'organisme et, par conséquent, la surestimation éventuelle du volume d'eau dans le corps. Le principal obstacle à son emploi généralisé est son coût, car il est environ 100 fois plus cher que le deutérium.

Programmes de nutrition infantile assistés par l'AIEA. L'AIEA a largement contribué à la formulation de régimes alimentaires pour les enfants très sous-alimentés, grâce aux techniques utilisant le deutérium, l'oxygène 18 et le carbone 13. Des mesures de la composition de l'organisme, du dépôt des protéines et de la consommation d'énergie ont été faites pour établir un régime alimentaire destiné aux enfants sous-alimentés, qui accélère sensiblement le gain de poids tout en respectant le tissu maigre. L'intervention diététique a réduit de 50% les séjours à l'hôpital.

La synergie de la sous-alimentation et de l'infection, en particulier chez les enfants de pays en développement, a pour effet de réduire le contingent nutritif de croissance, d'épuiser les réserves d'énergie et de faire augmenter sensiblement la morbidité et la mortalité. Une meilleure connaissance des effets de l'infection sur le métabolisme dans les populations sous-alimentées nous permet de mieux composer les régimes alimentaires visant à réduire la morbidité et la mortalité. Les isotopes stables nous en donnent l'occasion. Les méthodes isotopiques sont utilisées dans le cadre des nouveaux programmes pour mesurer les taux de synthèse de protéines spécifiques porteuses d'éléments nutritifs et de protéines fabriquées par l'organisme en réponse à des stimuli immunogènes. Des équipes de scientifiques de pays en développement et de pays industriels procèdent actuellement à ces études.

Une de ces équipes, par exemple, cherche en quoi l'infection peut modifier les besoins nutritionnels de

l'enfant en protéines et en acides aminés. Il s'agit de quantifier l'effet relatif d'infections déterminées sur le métabolisme et l'anabolisme des protéines, à l'aide d'acides aminés marqués au carbone 13 et à l'azote 15. Les enrichissements isotopiques sont mesurés soit par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (CGSM), par CGSM à combustion, ou encore par spectrométrie de masse à rapport isotopique. L'équipe étudie également l'effet de la haute altitude sur le métabolisme des protéines chez des enfants sous alimentés. Ces chercheurs ont mis au point et validé une procédure de base pour déterminer sur le terrain le rythme du métabolisme des protéines et des acides aminés par des méthodes non intrusives. Ils se proposent d'utiliser les résultats afin de mettre au point un complément alimentaire parfaitement adapté aux besoins en protéines et en acides aminés spécifiques, facilitant ainsi l'assimilation des éléments nutritifs pour la croissance.

La nutrition au troisième âge

Les personnes âgées connaissent aussi des problèmes de nutrition. L'ostéoporose est une maladie préoccupante dans de nombreux pays. Cette grave affection du troisième âge (qui touche en particulier les femmes après la ménopause) nuit beaucoup à la qualité de la vie et impose une charge croissante aux services de santé publique. Elle se caractérise par une réduction de la masse osseuse et une détérioration de la microstructure du tissu osseux, d'où sa fragilisation et la fréquence accrue des fractures du col du fémur et des vertèbres.

Il reste encore beaucoup à apprendre sur l'étiologie de la maladie, les variations de son incidence et de sa gravité d'un pays à l'autre, de même que les mesures préventives et l'optimisation du diagnostic et du traitement. On la considère généralement comme une maladie multifactorielle, mais il est certain que la nutrition en est une des causes principales dont il faut évidemment tenir compte. Parmi les nombreux composants du régime alimentaire qui peuvent intervenir figurent plusieurs éléments secondaires (calcium, magnésium et sodium) et des oligo-éléments (cadmium, cuivre, manganèse et zinc). Les méthodes analytiques nucléaires telles que l'AAN sont particulièrement utiles pour l'analyse de ces éléments dans les aliments, les régimes alimentaires et les tissus, y compris le squelette.

L'AIEA vient de lancer un nouveau programme de recherche coordonnée sur ce sujet, dont l'objet essentiel est de déterminer, chez les groupes à l'étude, l'âge auquel la masse osseuse est maximale, et de quantifier la variation de densité du tissu osseux en fonction de l'âge et du sexe. Les différences entre les groupes étudiés dans divers pays seront également quantifiées. L'analyse par activation neutronique sera utilisée pour faire des études complémentaires de l'assimilation des oligo-éléments dans ces divers groupes.

Les rayonnements, la santé humaine et la recherche sur la nutrition

Depuis quelques années, les risques associés aux faibles niveaux de rayonnements retiennent de plus en plus l'attention. Et l'on s'inquiète bien plus encore à propos de l'emploi des radio-isotopes dans la recherche scientifique, surtout s'ils sont administrés à des sujets normaux en bonne santé (*a fortiori* s'il s'agit d'enfants ou de femmes enceintes).

Nombre de techniques radio-isotopiques sont appliquées *in vitro*, c'est-à-dire en laboratoire et aux fins d'analyse. Les isotopes ne sont donc pas administrés au sujet et celui-ci n'est exposé à aucun risque d'irradiation. (Seul le scientifique qui effectue l'analyse est exposé à un risque. Il est généralement classé comme travailleur sous rayonnements et doit observer certaines règles pour réduire au minimum l'irradiation à laquelle il peut être exposé avec ses collègues. Le risque éventuel est minime, sinon nul, et les travaux de ce genre sont universellement acceptés comme pratique courante parmi le personnel médical et autre qui travaillent sous rayonnements.)

Toutefois, pour certaines études de nutrition, la procédure la plus économique consiste à administrer un indicateur radio-isotopique à un individu choisi, avec son accord. Pour ce genre d'étude, les doses de rayonnements sont extrêmement faibles. Par exemple, pour une étude classique *in vivo* de l'absorption du fer par une méthode utilisant le fer 55 et le fer 59, la plus forte dose que peut recevoir un organe est de l'ordre de 0,4 mSv. Cette dose se situe dans la moyenne de la fourchette normale de l'exposition annuelle au fond naturel de rayonnement (variable selon l'environnement géochimique ou l'altitude). Autrement dit, cette dose est moindre que lors d'une radiographie pulmonaire classique ou encore équivaut à la dose supplémentaire que recevrait un passager traversant dix fois l'Atlantique en avion. Bien que des doses de cet ordre soient bien inférieures aux limites éthiques recommandées par l'OMS pour la recherche biomédicale sur des êtres humains, on estime aujourd'hui qu'il vaut mieux ne pas soumettre les enfants et les femmes enceintes à des examens à l'aide de radio-isotopes.

Pour ces deux catégories de sujets, on préfère utiliser des isotopes stables plutôt que des radio-isotopes (par exemple le fer 58 au lieu du fer 59). Ces méthodes sont plus difficiles à appliquer et plus onéreuses, mais elles éliminent totalement le risque d'une radioexposition du sujet et se justifient donc aux yeux des comités d'éthique, même pour des études sur des enfants en bas âge. Les programmes de l'AIEA sont eux aussi en faveur de l'emploi de ces techniques.

Nutrition, immunité et faible niveau de rayonnements. Les effets de l'irradiation sur le système immunitaire est une autre question qui retient beaucoup l'attention. L'irradiation n'est qu'un des divers facteurs qui peuvent influencer sur l'état général du système immunitaire d'une population; il faut y ajouter la nutrition et les produits chimiques toxiques présents dans l'environnement. La plupart des études faites jusqu'à présent sur l'état du système immunitaire n'ont porté que sur un facteur à la fois, les autres étant négligés. Dans une population exposée à des niveaux de rayonnements supérieurs à la normale, il est en général difficile, parfois même impossible, de juger dans quelle mesure les modifications de l'état immunitaire sont dues aux rayonnements ou à d'autres facteurs. Une réunion de groupe consultatif AIEA/OMS a été organisée au Siège de l'AIEA, à Vienne en mai 1994, pour élucider quelques-unes de ces questions. Le groupe était notamment chargé de faire le point des connaissances dans ce domaine et des priorités actuelles de la recherche, et de conseiller l'AIEA sur les objectifs et la portée des activités futures qui pourraient être organisées dans le cadre d'un programme de recherche coordonné. Le programme proposé, qui devrait débiter en 1996, portera essentiellement sur les effets des faibles niveaux de rayonnements sur l'état immunitaire de populations humaines. Les principales variables à considérer sont le niveau d'exposition individuelle et l'état nutritionnel. Les groupes à étudier incluraient des personnes vivant dans des régions où le niveau du rayonnement naturel est élevé (dans des pays dont certaines régions sont connues pour leur niveau élevé de rayonnement naturel, en haute altitude, ou dans les régions touchées par l'accident de Tchernobyl). D'autres groupes se composeraient de travailleurs sous rayonnements et de mineurs d'uranium.

Nutrition et radioprotection. Aux fins de la radioprotection, il est commode de calculer les doses de rayonnements aux organes et à l'organisme entier à partir d'un «homme normalisé». Il s'agit d'un modèle théorique d'être humain pour lequel les masses des organes, les fonctions physiologiques et autres caractéristiques importantes en radioprotection sont définies selon des critères normalisés. Avec l'aide financière du Japon, la Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA a récemment mis en œuvre un programme dont l'objet est d'affiner ce concept en réunissant des données pour définir un asiatique normalisé. Ce programme, qui commencera en 1995, sera complété par de nouvelles études qui porteront avant tout sur la nutrition et autres problèmes associés. Les éléments d'un intérêt primordial sont le césium, l'iode, le strontium, le thorium et l'uranium. Les échantillons les plus importants seront des spécimens, représentatifs sur le plan national, de régimes alimentaires totaux et d'aliments de base individuels. Les analyses seront faites à l'aide de méthodes nucléaires et assimilées et aussi de méthodes non nucléaires, selon les moyens disponibles dans les pays participants.

Recherche médicale: Essais cliniques de radiothérapie du cancer

Au titre de ses programmes sur la santé, l'AIEA collabore à des études cliniques visant à améliorer le traitement du cancer

par **Jordanka
Mircheva**

Dans nombre de pays du monde, le cancer est devenu le premier mal à combattre. Après les accidents, ce sont les tumeurs malignes qui font le plus grand nombre de victimes. Environ 60% de tous les décès dus au cancer surviennent après 55 ans.

A première vue, il semblerait que l'âge est bien le facteur le plus important. La seule raison, c'est qu'en vieillissant on s'expose d'autant plus longtemps aux agents qui favorisent directement ou indirectement l'apparition d'un cancer.

Incidence croissante du cancer. De plus, il faut s'attendre à une incidence croissante de ce mal dans le monde entier, ne serait-ce que parce que la population augmente et que l'être humain vit plus longtemps. De fait, les statistiques prévisionnelles montrent que le nombre de cas pourrait doubler au cours des vingt prochaines années uniquement à cause du vieillissement de la population. Mis à part le pronostic fatal, la souffrance insupportable, le traumatisme psychologique, la longue évolution de la maladie et ses effets chroniques débilissants pèsent lourd économiquement, sur le patient et sur la société en général.

Escalade des coûts. Le traitement du cancer coûte cher et la multiplication des cas va imposer une charge croissante aux programmes nationaux de sécurité sociale déjà excessivement sollicités dans de nombreux pays. C'est pourquoi il est impératif, sur

le plan de la stratégie, de prendre sans retard des mesures plus énergiques pour réduire l'incidence du cancer et la mortalité qui en résulte.

Prophylaxie anticancéreuse. L'offensive générale pour prévenir le cancer doit être le but ultime. Certains cas peuvent être évités si on limite l'exposition aux agents carcinogènes ainsi que les facteurs de risque liés au mode de vie, aux activités, ou à l'environnement. Cela dit, il est évident que la mise en œuvre d'un scénario expérimental de prévention consistant à éviter le contact avec les agents carcinogènes est loin d'être simple. Il serait peu réaliste de s'attendre à un succès sur toute la ligne vu que la carcinogenèse n'est probablement pas l'effet d'une cause universelle. A l'heure actuelle, on connaît plus de 60 facteurs ou expositions responsables du cancer chez l'être humain. La plupart d'entre eux se rencontrent partout et englobent les produits chimiques, les rayonnements ionisants ou non, certains parasites et divers virus. Rien ne prouve toutefois de manière irréfutable que l'on ait d'ores et déjà identifié toutes les causes majeures. L'origine de certaines affections malignes chez l'être humain nous échappe. Sur le plan de la prévention, il semble que, mis à part le tabagisme, il n'y ait aucun facteur dont la suppression puisse actuellement faire reculer d'un grand pas l'incidence totale du cancer.

Education et dépistage. L'éducation du public et le dépistage sont d'une extrême importance pour la détection précoce des proliférations malignes et conditionnent les résultats de la thérapie. Cette approche a été vivement recommandée, et suivie, dans la grande majorité des pays industriels. Elle n'a cependant pas changé grand chose aux taux de morbidité et de mortalité imputables au cancer.

Mme Mircheva est membre de la Division de la santé humaine de l'AIEA. Pour une information complète, s'adresser à l'auteur.

Thérapeutique améliorée. Les besoins cliniques ont certes très fortement stimulé la recherche pure et appliquée. Il en est sorti de nouveaux concepts et de nouveaux agents qui, à leur tour, ont apporté des améliorations aux méthodes thérapeutiques. On prévoit néanmoins que les travaux actuels d'oncologie n'auront pas d'effets cliniques sensibles avant une dizaine d'années.

Recours à la thérapie ciblée. Vu ce que l'on sait de l'incidence croissante du cancer et des limitations de la prévention, du dépistage et de l'éducation du public, il apparaît que l'arme la plus prometteuse de l'arsenal anticancéreux est une thérapie ciblée sur l'élimination radicale de la tumeur, ou sur l'arrêt de sa croissance. En vérité, un diagnostic précoce immédiatement suivi d'un traitement personnalisé donne au patient sa meilleure chance de survie. Chaque année qui passe voit augmenter le nombre de cas curables et le taux de mortalité après traitement diminue. Depuis quelques décennies, la proportion de guérisons dans les pays industriels a augmenté lentement mais sûrement, passant de 25% environ en 1950 à quelque 50% en 1985. Ce progrès est dû non seulement au diagnostic précoce, mais aussi à l'amélioration progressive des principales modalités de traitement que sont la chirurgie, la radiothérapie et la chimiothérapie.

La méthode classique, c'est la chirurgie. Elle assure une forte proportion de guérison si elle intervient au début de la maladie lorsque la tumeur peut être convenablement excisée, même si c'est au prix d'une déformation anatomique, voire d'une atteinte physiologique. Malheureusement, le diagnostic est fait dans la plupart des cas à un stade plus avancé, lorsque les ramifications de la tumeur et les métastases locales ou systémiques limitent les chances de succès de l'intervention chirurgicale.

Radiothérapie du cancer

En stratégie anticancéreuse, la radiothérapie est la modalité la plus importante après la chirurgie et promet de gagner encore du terrain. Elle consiste essentiellement à délivrer une dose soigneusement mesurée de rayonnements ionisants dans le volume de la tumeur afin de détruire les cellules cancéreuses tout en n'infligeant qu'un dommage minimal aux cellules saines qui l'entourent. Outre son action curative, l'irradiation est un palliatif très efficace qui améliore la qualité de la vie qui reste à vivre.

A l'avenir, on cherche à mieux préserver l'organe atteint, ce qui confiera à la radiothérapie un rôle sensiblement plus important, notamment pour les malades souffrant de tumeurs au niveau de la tête et du cou, de cancer du sein, de l'œsophage, des tissus mous, du rectum, de l'anus, de la vulve, ainsi que pour les enfants cancéreux.

Au cours des 20 dernières années, la radiothérapie du cancer a fait de grands progrès et il est tout à fait réaliste de viser la guérison. Des irradiations

plus spécifiques, exactes et reproductibles sont désormais possibles et l'on a amélioré les méthodes de diagnostic et mis au point l'informatisation des traitements. On connaît aussi beaucoup mieux la physique du radiotraitement ainsi que les phénomènes radiobiologiques cliniques. Ces perfectionnements de la radiothérapie sur les plans biologique et technique ont considérablement relevé les taux de survie des malades atteints de la maladie de Hodgkin, de carcinome cervical, de cancer de l'endomètre, de séminome et de cancer du larynx.

Dans les cas de néoplasmes malins, les récurrences localisées et les métastases lointaines sont encore fréquentes, malheureusement. L'impossibilité de contrôler l'évolution de la maladie par la radiothérapie est manifeste chez les malades souffrant de tumeurs malignes de la tête et du cou, du tube digestif, de l'appareil génital féminin, de la peau, du squelette, des tissus mous etc., qui en sont à un stade avancé.

C'est pourquoi on a cherché tout spécialement à améliorer l'efficacité de la radiothérapie pour le contrôle local et régional du cancer, en mettant au point des stratégies à thérapies multiples. De nouvelles méthodes d'application de la radiothérapie classique ont été adoptées et complétées par des techniques permettant de modifier la réponse des tumeurs et des tissus sains à l'irradiation. Citons par exemple la modification des débits de dose, la combinaison de modalités comportant des traitements cytostatiques ou thermiques, une sensibilisation à l'aide de médicaments, etc. On dispose maintenant de rayonnements d'un type nouveau présentant des avantages biologiques et physiques, tels les neutrons, les protons, les ions légers et lourds, et les pions négatifs.

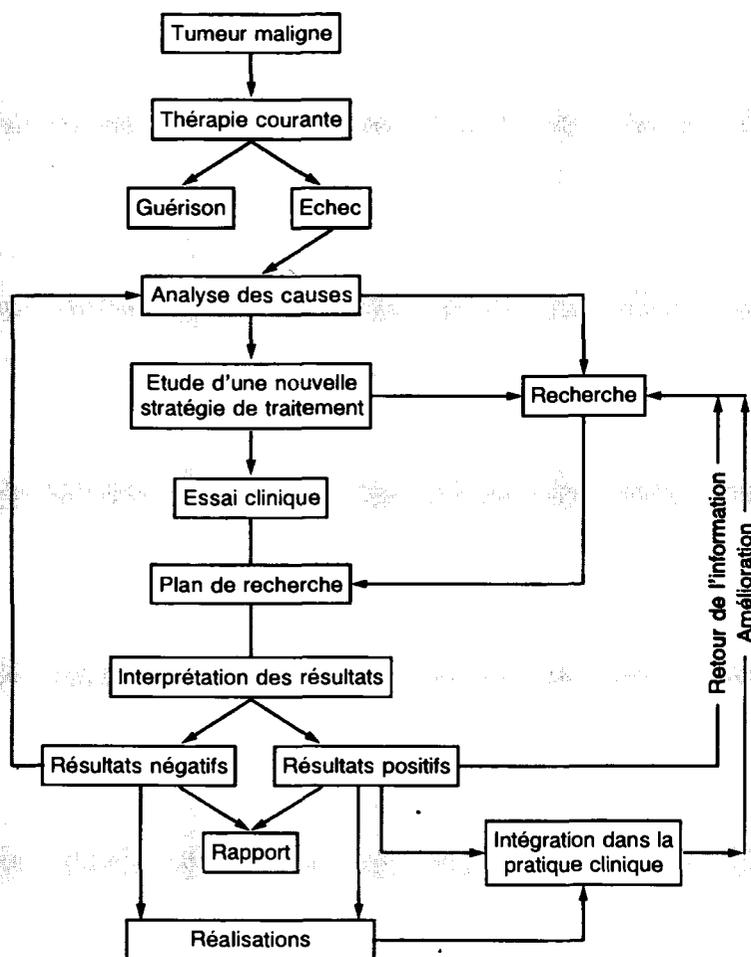
Or, ces nouvelles approches conceptuelles et thérapeutiques ne pourront utilement servir à lutter contre le cancer et s'intégrer dans la pratique clinique courante qu'à l'issue d'études cliniques délicates et approfondies.

Essais cliniques en radiothérapie du cancer

Dans l'état actuel des connaissances, il semble que nombre de méthodes thérapeutiques enrayent les proliférations malignes mais n'éliminent pas toujours les tumeurs. C'est pourquoi seules de nouvelles stratégies de traitement fondées sur des concepts de pointe influeraient dans l'immédiat sur les taux de morbidité et de mortalité dus au cancer.

L'essai clinique est la meilleure sinon la seule méthode qui permette de conclure à l'efficacité de toute intervention thérapeutique nouvelle. C'est un exercice relativement récent dans l'histoire de la pratique médicale. On ne procède à des essais bien conduits que depuis une quarantaine d'années. Avant cette époque, le choix du traitement se fondait surtout sur la foi et la tradition, le respect de l'autorité ou simplement l'observation empirique. Depuis peu, les essais cliniques se multiplient grâce à la mise au

Schéma du déroulement d'un essai clinique de radiothérapie du cancer



De nombreux éléments interviennent dans la conduite d'un essai clinique. Le plan de recherche est parmi les plus importants. Il doit préciser les objectifs de l'essai, le type de tumeur, son stade de développement, le programme de traitement, les critères d'assurance de la qualité, les mesures à prendre en cas de toxicité, les critères de réponse, les procédures d'examen et les considérations d'éthique, la création d'un centre de données, le recrutement de cliniciens et de patients, l'éligibilité des patients, leur consentement après information, l'acquisition des données et l'analyse statistique. Les résultats de l'essai sont l'amélioration de la radiothérapie et de l'efficacité du traitement, le transfert de connaissances et de techniques, le contrôle de la qualité, l'amélioration des compétences cliniques et statistiques, le progrès scientifique, la fiabilité des résultats, et les économies de temps et d'argent.

point de nombreuses et nouvelles stratégies de traitement.

L'évaluation d'une stratégie thérapeutique peut se faire soit par une étude rétrospective (si le traitement a déjà été essayé dans le passé) soit par un essai clinique prospectif. L'inconvénient majeur de l'étude rétrospective est que l'analyse et l'interprétation des résultats se prêtent à de graves erreurs systématiques

souvent dues au choix erratique des patients et des méthodes de traitement, ainsi qu'à l'existence de nombreux faits ou facteurs non documentés.

En revanche, le grand avantage de l'essai clinique prospectif est que l'objectif est clairement défini à l'avance et que les patients sont choisis et traités en conséquence. De plus, les données sont évaluées uniformément afin d'assurer l'exactitude des résultats.

Principe fondamental de l'essai clinique. Des types déterminés de patients doivent être soumis au meilleur traitement connu selon un plan préétabli et dans des conditions contrôlées. L'essai permet ainsi de tirer des conclusions fiables que l'on exploite ensuite au profit de futurs patients.

Un essai clinique n'est éthiquement admissible que si les risques prévisibles sont justifiés par les avantages escomptés pour le patient et la collectivité. Il n'est pas éthique s'il ne porte pas sur le nombre prédéterminé de patients qui garantit la valeur statistique des résultats, notamment la fiabilité des conclusions. Il n'y a que peu d'établissements qui soient en mesure, par eux-mêmes, de disposer d'un nombre suffisant de cas pendant une période acceptable pour déterminer avec certitude et d'une manière statistiquement valable la valeur de la méthode de traitement choisie.

Il est indispensable, par conséquent, que plusieurs établissements collaborent à l'essai afin de réunir le nombre requis de patients. Presque tous les essais de ce genre sont menés par différents établissements nationaux. Sur le plan international, seule la Division de thérapeutique de l'Organisation européenne d'étude et de traitement du cancer organise des essais cliniques dans les pays de l'Union européenne et en Suisse. Il est intéressant de noter que, sur un total de 282 essais cliniques dirigés par cette organisation en 1992-1993, 35 seulement concernent la radiothérapie.

Dans l'examen périodique des essais cliniques publié par des établissements nationaux ou internationaux, il apparaît fréquemment que seule une fraction (généralement moins de 10%) des sujets disponibles sont retenus pour l'étude, alors que les patients s'en tirent mieux s'ils sont traités dans le cadre d'un essai clinique. Le nombre insuffisant de sujets est le principal obstacle à la réussite d'un essai, même s'il est fait en collaboration avec plusieurs établissements.

Cette pénurie de sujets est due aux critères d'exclusion extrêmement stricts qui sont appliqués. D'un autre côté, elle correspond à la principale règle d'éligibilité pour participer à un essai, qui postule que chaque patient doit être soumis individuellement au meilleur traitement connu. Dans les pays industriels, la plupart des cancéreux se présentent chez le médecin généralement à un stade relativement peu avancé de la maladie lorsque le meilleur traitement connu est l'intervention chirurgicale, seule ou en combinaison avec la radiothérapie classique et/ou la chimiothérapie habituelle. Inversement, dans les pays en développement, la plupart des malades ne

consultent le médecin qu'à un stade très avancé, d'où un très mauvais pronostic et fort peu de chances d'amélioration par la thérapie classique. Il faut tenir compte de ce fait si l'on veut organiser des essais cliniques auxquels collaboreraient des équipes médicales de services de radiothérapie de pays avancés et de pays en développement.

Rôle actuel et futur de l'AIEA

Dans ces circonstances, l'occasion est unique pour l'AIEA de renforcer la lutte contre le cancer, notamment dans le monde en développement. Plus spécialement, elle serait l'intermédiaire qui permettrait à divers pays de participer à des essais cliniques de radiothérapie du cancer et elle aiderait au recrutement du nombre nécessaire de patients, par exemple en constituant un groupe international d'équipes d'oncologie d'établissements choisis dans des Etats Membres en développement et d'équipes expérimentées de pays industriels, en s'assurant de leur solide formation scientifique et clinique et de leur intérêt à participer.

Les programmes de recherche coordonnée (PRC) de l'AIEA serviraient à cette entreprise commune en facilitant à la fois la recherche et le transfert effectif de connaissances, de compétences et d'informations sur cette méthodologie dans les pays en développement. Tous les Etats Membres de l'AIEA profiteraient ainsi des résultats.

Pour mener à terme un essai clinique coopératif, il faut bien concevoir la stratégie de traitement, normaliser le choix des patients et se conformer uniformément à une série de directives thérapeutiques soigneusement définies. Tous les patients en cause recevraient un traitement essentiellement identique, quel que soit l'établissement participant qui aurait retenu leur cas. Un plan de recherche préparé, adopté par tous les participants, préciserait clairement les objectifs de l'étude, les conditions d'éligibilité des sujets (y compris les critères d'exclusion), le type exact de l'affection et les stades admissibles aux fins de l'étude, les détails du régime thérapeutique à appliquer, les critères d'évaluation pour l'assurance de la qualité, les critères de réponse, les mesures à prendre en cas de toxicité, et les méthodes statistiques d'évaluation.

En suivant un schéma bien conçu de ce genre, fondé sur les derniers progrès scientifiques et cliniques de l'oncologie, on s'assure maints avantages. Non seulement il améliorerait l'efficacité du radio-traitement de certaines tumeurs, mais il relèverait aussi le niveau de compétence des participants de par le monde.

Essais cliniques de radiothérapie du cancer assistés par l'AIEA. Plusieurs essais cliniques assistés par l'AIEA sont en cours dans le cadre de PRC.

L'un d'entre eux concerne l'emploi clinique de radiosensibilisateurs. Il vise à accentuer le gain

thérapeutique radio-induit dans les carcinomes cervicaux avancés, en faisant intervenir un radiosensibilisateur des cellules hypoxiques.

On croit savoir qu'une des raisons des échecs de la radiothérapie du cancer est l'existence de cellules hypoxiques qui constituent généralement environ 20% du tissu des tumeurs solides. Elles sont beaucoup plus résistantes à l'action létale des rayonnements que les cellules normales bien oxygénées. Il faut une dose de rayonnements trois fois supérieure pour détruire la même proportion de cellules hypoxiques que de cellules bien oxygénées.

Bien que l'on ne sache pas encore exactement pourquoi les cellules hypoxiques empêchent les rayonnements de guérir les tumeurs, des recherches ont été faites pour mettre au point des médicaments capables de sensibiliser ces cellules cancéreuses aux rayonnements, dans l'espoir de renforcer l'action positive de la radiothérapie. Les produits les plus intéressants cliniquement sont les composés de nitromidazole, l'étude ayant porté principalement sur le misonidazole (2-nitromidazole).

Malheureusement, l'évaluation globale des résultats de 33 essais cliniques avec le misonidazole fait entrevoir des difficultés. On a constaté en effet que l'avantage éventuel de cette préparation dans un traitement combiné comportant une radiothérapie n'est acquis que dans une faible proportion de cas — tumeurs de la tête et du cou principalement — à cause de l'apparition d'une neuropathie périphérique chez environ 50% des malades. Le problème est que la neurotoxicité du produit, qui en limite le dosage, se manifeste à un niveau de dose cumulée en-dessous duquel une sensibilisation cliniquement détectable des cellules hypoxiques ne se produit pas. Des études ultérieures ont amené à la synthèse d'une série d'analogues du 2-nitromidazole dont les propriétés pharmacocinétiques, radiosensibilisatrices et toxicologiques pourraient être supérieures à celles du misonidazole.

Les données publiées dans la littérature scientifique montrent clairement que le dérivé de nitrotriazole appelé AK-2123 est un radiosensibilisateur de cellules hypoxiques, moins neurotoxique que le misonidazole et plus efficace cliniquement.

Les résultats cliniques et paracliniques qu'ont obtenus et publiés 25 équipes de 11 pays montrent que AK-2123 renforcerait éventuellement l'action d'un rayonnement ionisant sur certains types de tumeurs. Néanmoins, il faut encore étudier systématiquement les propriétés toxicologiques et pharmacologiques de cette préparation avant de conclure avec certitude à son utilité clinique pour radiosensibiliser les tumeurs traitées. La solution de ce problème à la fois clinique et scientifique est d'un grand intérêt, non seulement pour les pays en développement, mais aussi pour les pays industriels. Le PRC de l'AIEA grâce auquel un essai clinique coopératif contrôlé peut avoir lieu propose une bonne stratégie pour aider les pays à obtenir de bons résultats.

Le second PRC est un essai clinique aléatoire de radiothérapie avec administration de mitomycine C pour traiter les tumeurs de la tête et du cou à un stade avancé.

Le carcinome exfoliant de la tête et du cou est une affection maligne connue dans le monde entier avec un très mauvais pronostic pour les patients à un stade avancé. La plupart d'entre eux meurent de l'affection localisée non contrôlée (persistance de la tumeur/récidive). La résection suivie d'une radiothérapie postopératoire demeure une des stratégies couramment appliquée aux tumeurs à un stade avancé et localisées mais techniquement opérables. Néanmoins, même avec ces traitements agressifs, environ 50% des patients connaîtront des rechutes locales ou régionales.

La réduction primaire d'une tumeur et la survie consécutive du patient seraient améliorées si l'on administrerait, en combinaison avec l'irradiation, une préparation cytotoxique appropriée qui accentuerait l'effet des rayonnements. En théorie, l'administration de mitomycine C sélectivement toxique pour les cellules hypoxiques, en combinaison avec la radiothérapie dont l'action est maximale sur les cellules bien oxygénées, devrait améliorer le rendement thérapeutique.

Au cours des 12 dernières années, deux essais cliniques aléatoires consécutifs ont été faits pour juger de l'efficacité de la mitomycine C comme complément de la radiothérapie (seule ou en combinaison avec la chirurgie) chez des malades atteints de carcinomes exfoliants de la tête et du cou. L'analyse des résultats obtenus jusqu'ici semble montrer que la mitomycine C facilite localement la réduction de la tumeur sans aviver la réaction des tissus sains aux rayonnements. Toutefois, le nombre des patients retenus jusqu'à présent pour cette étude n'est pas suffisant pour une validation statistique des résultats. En organisant un essai clinique multicentre, le PRC de l'AIEA contribue à l'acquisition de précieux renseignements sur l'intérêt thérapeutique de l'adjonction de mitomycine C à la radiothérapie dans le traitement à un stade avancé des carcinomes de la tête et du cou. Il procure aussi le nombre de cas requis pour valider statistiquement les résultats.

L'AIEA a également lancé un PRC pour un essai clinique sur l'administration de radionucléides. La thérapie à l'aide de radionucléides a connu un nouvel essor avec l'apparition de nouveaux produits radiopharmaceutiques. Ce programme comporte l'emploi de strontium 89 et de phosphore 32 afin d'évaluer les avantages respectifs de ces deux radioéléments quant à leur efficacité et à leur toxicité lorsqu'ils sont utilisés pour le traitement palliatif des métastases osseuses douloureuses.

Le phosphore 32 existe depuis plus de 25 ans; il est peu onéreux et se trouve couramment sur le marché. Le strontium 89 est un produit récent qui coûte très cher et se trouve difficilement. Ces deux radionucléides revendiquent une même efficacité, mais le phosphore 32 semble être plus toxique pour

la moelle des os. Aucune évaluation comparative de ces agents n'a été faite jusqu'à présent.

L'issue de l'essai clinique contrôlé aléatoire déterminera l'usage fait de ces radionucléides dans les pays en développement et dans tous les cas où le rapport coût-avantage est une considération importante.

En résumé, les programmes de l'AIEA sur la radiothérapie du cancer ont pour objet des essais cliniques de haute qualité. Les études portent sur une question cliniquement vitale, elles sont aléatoires, requièrent un échantillon suffisant et satisfont à des normes exigeantes de contrôle de la qualité.

Réalisations et avantages

La clé de voûte des PRC de l'AIEA sur la radiothérapie du cancer est le plan de recherche qui spécifie les objectifs de l'étude et précise les mécanismes de son application en pratique clinique.

En termes concrets, le plan de recherche traduit les dernières réalisations scientifiques en oncologie. En s'en tenant strictement à ce plan, on est certain de mener à bien les programmes proposés par l'AIEA. Leur succès améliorera à leur tour le rendement de la radiothérapie, par exemple les taux de guérison et de survie, enrichira les compétences des participants extérieurs et encouragera le recours à cette approche multiple de la pratique oncologique, en particulier dans les pays en développement.

La dosimétrie des rayonnements en médecine: Expansion des réseaux mondiaux

L'AIEA et l'OMS collaborent pour améliorer les services d'assurance de la qualité destinés aux hôpitaux et aux centres de radiothérapie

En 1968, un groupe d'experts internationaux réunis à Caracas a appris une nouvelle plutôt déconcertante: en Amérique latine, plus de 50 appareils de radiothérapie au cobalt 60 étaient couramment en service, mais il n'existait dans la région que cinq radioprotectionnistes qualifiés, et aucun laboratoire n'était équipé pour étalonner les instruments. En d'autres termes, il n'existait aucun moyen de mesurer avec exactitude les doses que recevaient les malades.

La nouvelle déclencha un plan d'action visant à améliorer la situation, non seulement en Amérique latine, mais aussi dans toutes les régions du monde.

Ce plan comporte trois volets: 1) création d'un service AIEA/OMS d'intercomparaison des doses pour les hôpitaux des pays en développement afin de les aider à surveiller les irradiations et rectifier les doses; 2) création d'un réseau AIEA/OMS de laboratoires de dosimétrie afin de normaliser la mesure des doses de rayonnements dans les centres de radiothérapie; 3) formation à la dosimétrie des rayonnements par l'AIEA.

Actuellement, ces trois activités sont en cours dans le monde entier et contribuent dans une large mesure à l'amélioration des soins et des traitements impliquant une irradiation.

Nous exposerons ici les grands progrès qui ont été faits et les problèmes qui restent à résoudre, dans le monde entier. Nous parlerons également de cette

entreprise particulièrement ambitieuse qui consiste à mettre sur pied un programme mondial d'assurance de la qualité pour assurer le contrôle dosimétrique des millions de patients qui, chaque année, doivent subir un traitement radiothérapeutique.

**par Peter Nette
et Hans
Svensson**

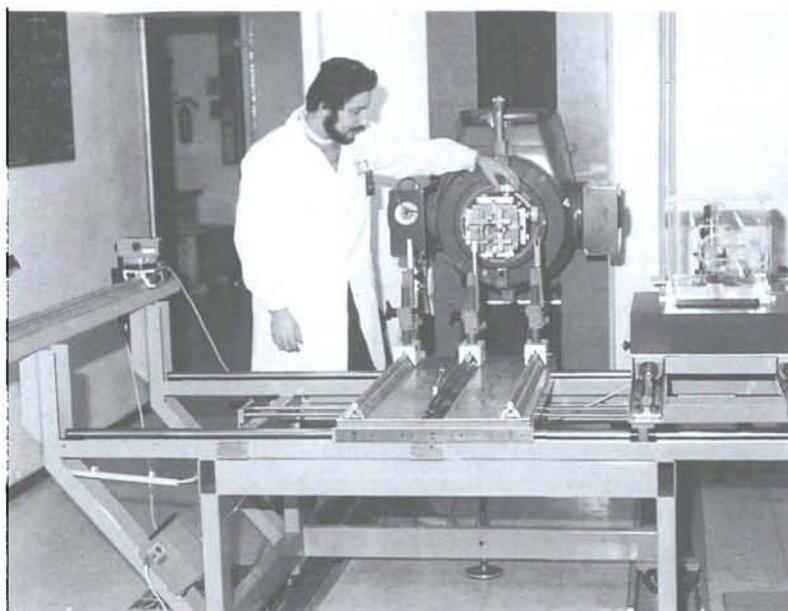
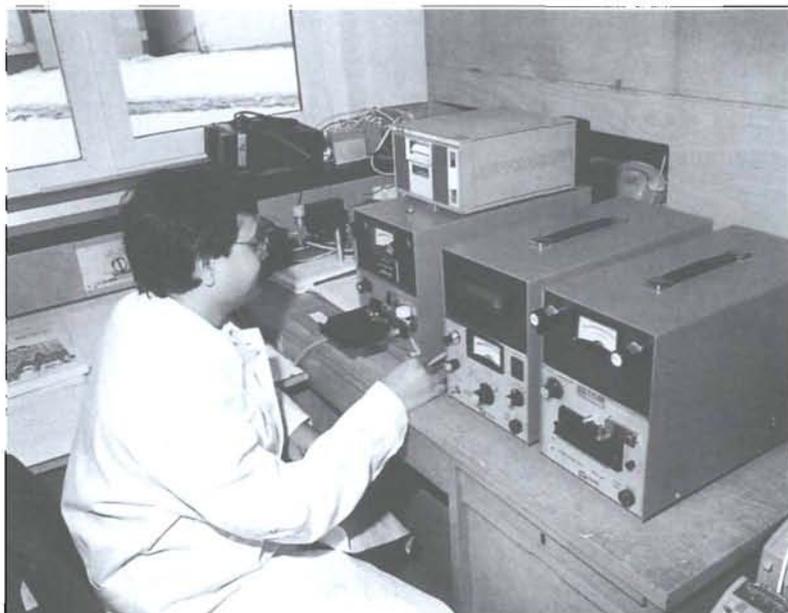
Services et réseaux de dosimétrie

Nombre d'entre nous vont souffrir de tumeurs malignes, c'est-à-dire de cancers. Globalement, de 20 à 30% des habitants des pays industriels sont atteints de cancers. Le pourcentage est actuellement moindre dans les pays en développement, essentiellement parce que l'espérance de vie y est plus courte. Cela changera, vraisemblablement, à mesure que diminueront les causes de décès précoces.

Le cancer se soigne par la chirurgie, la chimiothérapie et la radiothérapie ou toutes combinaisons de ces trois modalités. Nombreux sont les pays où la radiothérapie intervient dans le traitement de 50 à 60% de tous les cas, soit pour guérir, soit pour apaiser la douleur.

Le traitement curatif exige que l'irradiation soit concentrée sur la tumeur solide et le tissu avoisinant, y compris la zone dite de dispersion microscopique des cellules cancéreuses. L'effet dépend de la quantité d'énergie radiative dirigée sur la tumeur et les tissus sains, autrement dit de la dose de rayonnements qu'ils absorbent. Comme l'eau et les tissus absorbent les rayonnements d'une façon analogue, la quantité physique convenue pour spécifier une irradiation est la dose absorbée dans l'eau. Cette quantité doit être définie avec la plus haute précision possible vu le compromis délicat à réaliser entre le dommage radio-induit (destruction de tissus sains)

M. Nette est chef de l'Unité de dosimétrie des laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf, et M. Svensson est l'ancien chef de la Section de la dosimétrie de la Division de la santé humaine, AIEA.



Au Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA: évaluation de DTL irradiés; étalonnage d'une chambre d'ionisation.

et l'action salutaire du rayonnement (élimination de la tumeur ou arrêt de sa croissance). La définition de la dose pour chaque patient est une opération extrêmement spécialisée exécutée par le physicien médical en étroite collaboration avec le radiothérapeute. Elle implique des mesures et des calculs très précis.

Par diverses voies, plusieurs services sont à la disposition des pays pour les aider dans le domaine de la dosimétrie des rayonnements.

Services AIEA/OMS d'intercomparaison des doses par la poste. L'AIEA et l'OMS offrent aux hôpitaux participants un service d'intercomparaison utilisant de petits dosimètres thermoluminescents (DTL) comportant une capsule de fluorure de lithium en poudre, préparés et étalonnés par le Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA, à Seibersdorf.

Ces dosimètres, avec leur support, sont envoyés par la poste aux bureaux de l'OMS qui les distribuent ensuite aux centres de radiothérapie participants des pays en développement. Dans les conditions précises du traitement, ils sont exposés dans le faisceau de l'appareil au cobalt 60 à la dose prescrite par le physicien du service. Ils sont ensuite renvoyés au laboratoire de l'AIEA pour évaluation de la dose réelle. L'écart entre la dose prescrite et la lecture du laboratoire est signalé à l'hôpital par l'intermédiaire de l'OMS. Un écart de plus de 5% est jugé inacceptable et exige que le faisceau de l'appareil de l'hôpital soit étalonné de nouveau.

Réseau AIEA/OMS de laboratoires secondaires d'étalonnage pour la dosimétrie (LSED). Le groupe d'experts de Caracas a notamment recommandé d'uniformiser la mesure des rayonnements entre tous les services de radiothérapie du monde entier. Dans les pays industriels, les hôpitaux utilisent à cette fin les étalons primaires nationaux. Comme les 13 laboratoires primaires d'étalonnage pour la dosimétrie (LPED) qui existent dans le monde sont surchargés de travail, il leur est impossible d'assurer l'étalonnage des dosimètres de référence des milliers d'hôpitaux du monde entier. Aussi les autorités nationales compétentes ont-elles désigné des LSED.

Une des règles de la métrologie des rayonnements veut que les laboratoires concernés comparent périodiquement leurs dosimètres étalons. Pour les étalons primaires, les intercomparaisons sont organisées par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) de Paris.

La même règle vaut pour les LSED, de sorte que l'AIEA et l'OMS ont créé en 1976 un Réseau international de laboratoires secondaires assorti d'une assistance technique en vertu de laquelle la plupart des pays en développement participants peuvent recevoir à ce titre une aide financière et des conseils d'experts. A l'heure actuelle, le réseau groupe près de 60 laboratoires, pour la plupart de pays en développement. L'AIEA et l'OMS se partagent l'administration et la coordination de cette activité, l'AIEA se chargeant de maintenir les laboratoires participants au niveau technique voulu.

Le Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA est l'organe central du réseau. Nombre de laboratoires primaires nationaux et quelques organismes internationaux — dont le BIPM, le Bureau international de métrologie légale et la Commission internationale des unités et mesures de rayonnements (CIUMR) — assistent le réseau de laboratoires secondaires. En outre, un comité scientifique de ce réseau peut donner des conseils lorsqu'il y a lieu. Par ailleurs, des consultants et des groupes consultatifs sont prévus pour faciliter la mise en œuvre de projets déterminés, notamment la rédaction de rapports techniques, de directives et de manuels.

La répartition actuelle des laboratoires primaires et secondaires dans le monde fait que la plupart des pays sont maintenant dotés des moyens requis pour normaliser la mesure des rayonnements, mais un

Programme d'essais pour les LSED: Résultats d'une étude pilote de l'AIEA

Trois LSED, ceux d'Argentine, d'Inde et de Thaïlande, participent à une étude pilote de l'AIEA destinée à renforcer les services d'assurance de la qualité en radiothérapie. L'étude comporte des tests de contrôle de la qualité que les trois laboratoires ont passés avec succès:

Test 1: Etalonnage d'une série de dosimètres à chambre d'ionisation. Les facteurs d'étalonnage ont alors été comparés avec ceux que l'AIEA avait précédemment fixés. (Le laboratoire de Thaïlande n'a pas encore terminé le test.)

Test 2: Lecture de DTL provenant de plusieurs hôpitaux, au titre d'une intercomparaison, à l'aide des courbes d'étalonnage des trois laboratoires et d'une courbe de l'AIEA. Les résultats ont ensuite été comparés.

Test 3: Participation de l'AIEA, considérée comme «hôpital», à l'intercomparaison nationale organisée par chacun des trois laboratoires.

Test 4: Les LSED ont envoyé des DTL aux hôpitaux nationaux de leur ressort, pour irradiation, et l'AIEA a envoyé elle-même des dosimètres à 10% des hôpitaux. Les LSED ont évalué leurs dosimètres et l'AIEA les siens; les résultats ont ensuite été comparés.

effort supplémentaire est encore nécessaire pour développer le réseau, en particulier dans le continent africain.

Le Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA.

Le Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA de Seibersdorf, situé à 30 km de Vienne, est le laboratoire central du réseau AIEA/OMS de LSED.

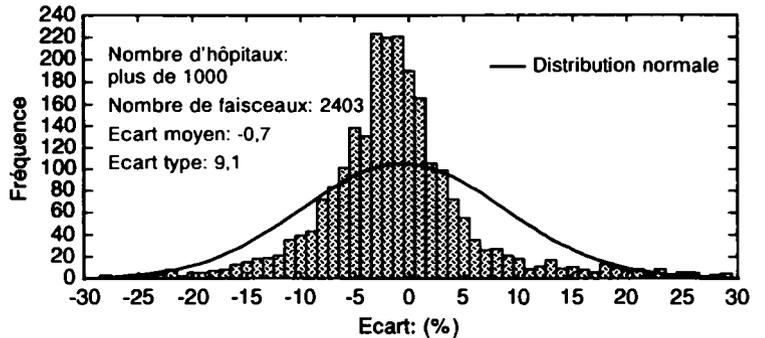
Ses tâches sont les suivantes:

- organiser des intercomparaisons de mesures de doses pour les LSED;
- exécuter des intercomparaisons de doses pour une centaine de centres de radiothérapie chaque année;
- délivrer les certificats d'étalonnage pour les dosimètres de référence des LSED et des hôpitaux;
- accueillir des stagiaires des LSED pour une formation sur place;
- étudier et mettre au point des méthodes et dispositifs spéciaux à l'intention des hôpitaux et des LSED;
- assurer le service international d'assurance des doses pour les installations d'irradiation des Etats Membres de l'AIEA.

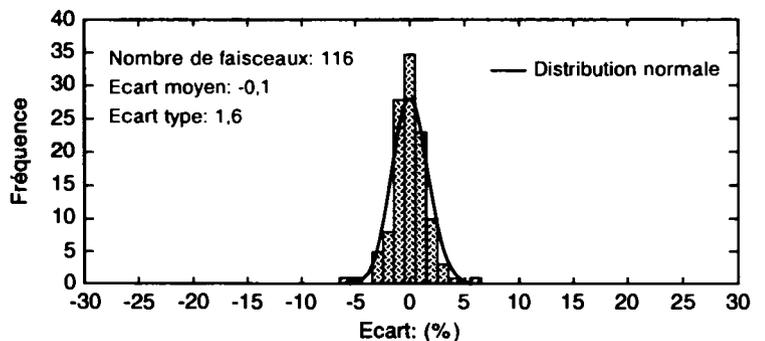
C'est ainsi que le laboratoire a envoyé, au titre du Service postal d'intercomparaison des doses, plus de 80 lots de DTL qu'il a ensuite évalués. L'opération a porté sur un millier d'hôpitaux de pays en développement.

Résultats d'intercomparaisons organisées par le Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA: Distributions de fréquence

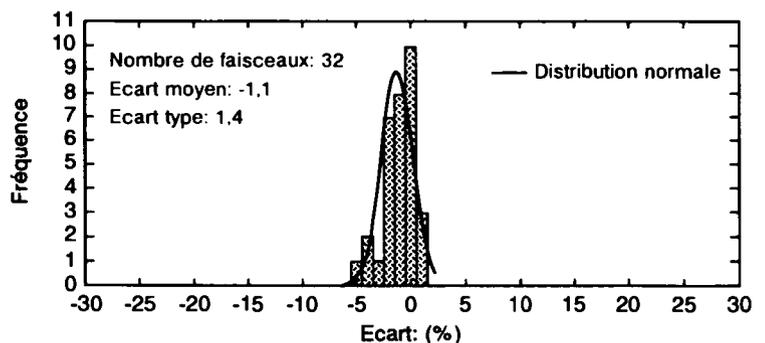
Hôpitaux du monde entier jusqu'en 1994:



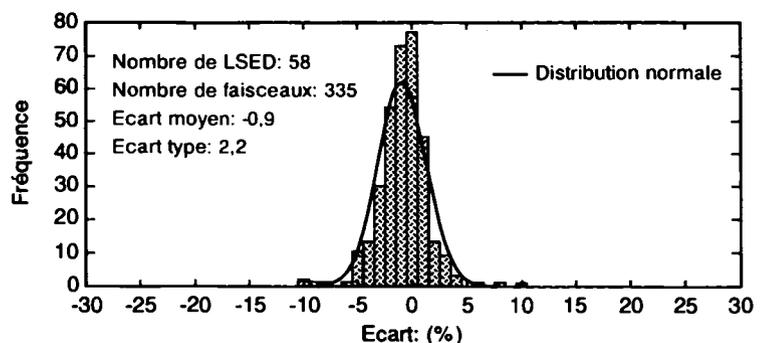
Hôpitaux d'Europe et des Etats-Unis:



Services de radiothérapie d'Australie:



Laboratoires secondaires d'étalonnage pour la dosimétrie (LSED) jusqu'en 1993:



Jusqu'en 1991, il ne s'agissait que d'irradiations au cobalt 60. Par la suite ont été inclus les faisceaux de rayons X des accélérateurs médicaux qui se multiplient dans les pays en développement. Ce service élargi assiste les unités de radioprotection de 12 grands centres de radiothérapie d'Europe et des Etats-Unis. Ces unités fournissent à l'AIEA des irradiations de référence pour évaluation. Deux intercomparaisons de DTL ont été organisées, l'une avec 48 hôpitaux d'Europe et des Etats-Unis, l'autre avec tous les services de radiothérapie d'Australie. (*Voir les graphiques.*) Elles sont assez représentatives de la situation en matière d'étalonnage des faisceaux de rayonnement dans les pays industriels.

Depuis 1991, le laboratoire de l'AIEA envoie de nouveaux jeux de DTL à ceux des LSED et des hôpitaux qui ont communiqué de mauvais résultats, en les priant de procéder à de nouvelles mesures pour l'intercomparaison. Jusqu'à présent, toutes les nouvelles mesures faites par les LSED indiquent une amélioration, les résultats se situant dans les limites d'acceptation fixées. En revanche, la nouvelle série de mesures faites par les hôpitaux n'a pas été satisfaisante, même après un second tour.

Pour toutes les intercomparaisons, la qualité de la performance propre de l'AIEA est surveillée. A cette fin, quelques DTL sont exposés à une dose de référence au Laboratoire primaire international de dosimétrie du BIPM ou à des laboratoires primaires nationaux, et sont ensuite évalués par l'AIEA. Les résultats montrent que la mesure des doses avec les DTL de l'AIEA est juste à environ 1% près — c'est-à-dire bien moins que l'écart autorisé pour les LSED (3,5%) et pour les hôpitaux (5%).

Réseau de vérification de la qualité

D'après les réponses reçues lors d'une enquête de l'AIEA, environ 2000 appareils au cobalt 60 et accélérateurs médicaux sont aujourd'hui couramment utilisés dans les pays en développement. De plus, on voit se multiplier les accélérateurs médicaux à faisceaux d'électrons. Il faut développer en conséquence le service de DTL afin de vérifier l'étalonnage de ces faisceaux, mais le Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA, vu ses effectifs réduits, n'est pas en mesure de s'occuper de tous ces accélérateurs.

Comme nous l'avons dit, les résultats montrent clairement que l'étalonnage des faisceaux de rayonnement dans les pays en développement doit beaucoup s'améliorer pour atteindre le même degré de conformité que les hôpitaux des pays industriels et les LSED. La répétition des mesures en cas de mauvais résultats ne résout le problème que pour quelques hôpitaux. Il faudra donc y regarder de plus près, faire des mesures sur place et étudier la question avec les physiciens des hôpitaux. Or, cela ne peut pas se faire avec un service de contrôle de la qualité centralisé à l'AIEA.

De surcroît, le contrôle de la qualité de la dosimétrie en radiothérapie n'est efficace que si l'on ne se borne pas à étalonner le faisceau de rayonnement. Il faut aussi considérer toutes les étapes de la dosimétrie depuis la prescription de la dose jusqu'à son administration aux patients. C'est alors seulement que l'on détermine avec toute la précision requise la dose à la tumeur dans chaque cas, et que les différents centres échangent leur expérience et décident de la meilleure méthode de traitement.

Des centres européens ont entrepris, en collaboration avec l'AIEA, une étude pilote en vue d'un programme de contrôle de la qualité qui comporterait l'usage de dosimètres dans des fantômes ayant la forme d'un être humain et soumis à une radiothérapie comme s'ils étaient de véritables patients. Afin d'y faire participer tous les hôpitaux européens, plusieurs centres de référence doivent assurer le service de DTL et examiner les divergences éventuelles.

Le projet européen a été modifié par l'AIEA/OMS en vue de sa mise en œuvre dans les pays en développement. Depuis plusieurs années, trois LSED — ceux de l'Argentine, de l'Inde et de la Thaïlande — assurent leur propre service de DTL pour la radiothérapie selon les méthodes de l'AIEA. Ils ont donc été invités à participer à l'étude pilote en utilisant leur système DTL (*voir l'encadré, page 35*). L'AIEA surveillera en permanence la qualité du service de DTL de ces centres, pour tenter d'uniformiser dans le monde entier la mesure des doses absorbées et assurer l'exactitude des mesures.

Pour les prochaines années, on s'attend à une croissance de la radiothérapie du cancer, en particulier dans les pays en développement. L'introduction de techniques thérapeutiques modernes nécessite une dosimétrie plus exacte. En principe, un programme d'assurance de la qualité devrait veiller à ce que tous les malades soumis à un traitement curatif reçoivent la dose prescrite, à quelque 5% près. La mise en œuvre d'un tel programme pour l'an 2000 est une tâche monumentale, car elle implique des contrôles dosimétriques pour des millions de patients chaque année et une décentralisation des principales activités; mais l'AIEA et l'OMS, grâce à leur réseau de LSED, sont encore les mieux armées pour coordonner cette entreprise mondiale. Les études pilotes du réseau européen d'assurance de la qualité et les LSED des trois pays membres de l'AIEA laissent prévoir l'organisation de réseaux analogues à l'intention des LSED et des hôpitaux dans d'autres régions. On aboutirait ainsi à un programme planétaire capable d'améliorer sensiblement la radiothérapie des millions de cancéreux de ce monde.

Effets biologiques des faibles doses de rayonnements ionisants: On en sait plus

Dans ses deux derniers rapports, le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) fait un exposé complet des connaissances actuelles

Lorsque le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) présenta son rapport pour 1994 à l'Assemblée générale des Nations Unies de cette année, la communauté internationale a pu s'instruire davantage sur les effets biologiques des faibles doses de rayonnements ionisants. Ce rapport rend compte, en particulier, des études épidémiologiques de la carcinogenèse radio-induite et de l'adaptation des cellules et des organismes aux rayonnements.

Il complète le rapport beaucoup plus volumineux que l'UNSCEAR a présenté aux Nations Unies en 1993*. Celui-ci nous parle des niveaux mondiaux de rayonnement et de leurs principales conséquences, notamment des processus d'oncogenèse radio-induite; de l'influence du niveau et du débit de dose sur les effets stochastiques des rayonnements; des effets héréditaires; des effets sur le développement de l'encéphale humain; enfin, des effets déterministes tardifs chez l'enfant.

L'ensemble de ces deux ouvrages rend magnifiquement compte des connaissances actuelles sur les effets biologiques des rayonnements ionisants. Le présent article — qui ne prétend aucunement passer en revue tous les aspects essentiels de la question — fait une synthèse de l'évaluation par l'UNSCEAR des effets des faibles doses de rayonnements ionisants (voir l'encadré, page 39) dans

le contexte des observations radiobiologiques qui ont été faites.

par Abel J. González

Effets radiobiologiques: Connaissances actuelles

Dès le début du XX^e siècle, on a su que les fortes doses de rayonnements ionisants produisent des lésions cliniquement détectables chez le sujet exposé, lésions qui peuvent être suffisamment graves pour mener à la mort. Il y a quelques dizaines d'années, il est apparu que de faibles doses de rayonnement peuvent aussi avoir des effets pathogènes sérieux, quoique de faible incidence, et détectables uniquement grâce à des études épidémiologiques très fouillées sur de larges secteurs d'une population. Grâce aux travaux de l'UNSCEAR, ces effets sont désormais mieux connus du plus grand nombre, et plus précisément quantifiés.

Effets au niveau cellulaire: Lésions de l'ADN et mécanismes de réparation. Les effets biologiques des rayonnements ont pour origine l'endommagement de la structure chimique de la cellule. Aux faibles doses de rayonnement, c'est l'acide désoxyribonucléique (ADN) de la cellule qui est visé.

* Voir le rapport de l'UNSCEAR pour 1994, *Sources et effets des rayonnements ionisants*; publication des Nations Unies n° E.94.IX.11; Nations Unies, New York (1994) et rapport de l'UNSCEAR pour 1993: *Sources et effets des rayonnements ionisants*; publication des Nations Unies n° E.94.IX.2; Nations Unies, New York (1993). Pour l'essentiel du rapport de 1993, voir également le *Bulletin de l'AIEA*, vol. 35, n° 4, p. 49 (1993).

Radioexposition et matière vivante

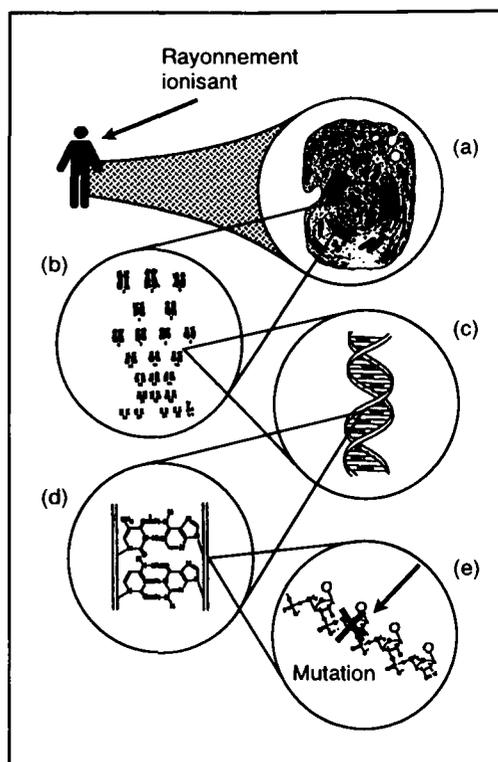
L'irradiation agit sur un matériel biologique au niveau de la plus petite unité de la matière vivante douée d'une existence indépendante: la *cellule* (a). La cellule type est faite d'une masse fluide, le *cytoplasme*, entourée d'une membrane et contenant un *noyau* enfermant les *chromosomes* — brins de substances biologiques complexes formés du composé le plus essentiel à la vie, l'*acide désoxyribonucléique (ADN)* — qui porte l'information indispensable à la vie. Les chromosomes portent les *gènes*, fragments d'ADN qui codifient l'information et assurent sa transmission d'une cellule à sa descendance. Le cytoplasme renferme aussi les *organites* qui régissent d'importantes fonctions métaboliques de la cellule et produisent l'énergie vitale.

Le corps humain est formé d'environ 100 billions (10^{14}) de cellules. Celles-ci sont de formes et de tailles variables, leur diamètre moyen étant inférieur à 10 microns. La grande majorité d'entre elles sont dites *somatiques* et constituent l'essentiel de la masse de l'organisme. Relativement peu nombreuses sont celles qui transmettent l'information héréditaire à la descendance par la reproduction; ce sont les *cellules germinales*¹. Seule une fraction des myriades de cellules humaines a des propriétés formatrices, c'est-à-dire la faculté de produire une descendance de cellules. Le corps humain contient un total de 10^{10} à 10^{11} de ces *cellules souches*; leur proportion varie selon les tissus et les organes, et aussi selon l'âge.

Un rayonnement peut ioniser n'importe quel atome des composants de la cellule et créer ainsi des *radicaux chimiques* extrêmement réactifs capables de favoriser des modifications chimiques de la cellule. Ces changements peuvent soit perturber des fonctions cellulaires essentielles, et éventuellement tuer la cellule, soit l'empêcher de se reproduire, ou encore modifier l'information génétique. Les cellules souches sont la *cible* du rayonnement dont l'effet se traduit par une modification de l'information génétique. L'action du rayonnement sur la matière de la cellule peut survenir au hasard, à tout moment pendant le processus dynamique de reproduction de ces cellules souches. Aux faibles doses de rayonnement, la quantité de rayonnement incident par cellule peut être importante mais la fréquence des interactions est extrêmement faible. L'UNSCEAR estime qu'une faible dose de rayonnement (par exemple 1 mSv par an) provoquera en moyenne environ une interaction par cellule et par an.

La cellule humaine contient 46 chromosomes (b) et de nombreux gènes qui déterminent les caractéristiques d'un individu. Les gènes existent sous forme de deux *allèles* — un de chaque parent — qui occupent le même emplacement relatif sur les chromosomes de même structure. L'un d'eux peut être *dominant* et déterminer quelle particularité d'une caractéristique se manifestera dans l'organisme; l'allèle «dominé» est dit *récessif*.

Le gène se compose d'ADN (c) — une paire de longues chaînes de molécules, les *polynucléotides*, qui s'enroulent l'une autour de l'autre pour former une sorte d'échelle en double hélice. Ces molécules complexes se composent de nombreuses unités distinctes, les *nucléotides* (d) comportant quatre types de bases complémentaires, l'*adénine*, la *guanine*, la *thymine*, et la *cytosine*. La séquence de ces bases est l'expression du code génétique.



Directement ou indirectement, par l'action des radicaux chimiques, les rayonnements peuvent provoquer des changements dans cette séquence et, par conséquent, modifier le code génétique. Ce processus que l'on nomme *mutation* est un brusque changement dans la séquence des nucléotides de la molécule d'ADN (e) qui modifie le code génétique et, par voie de conséquence, l'apparence ou le comportement de la cellule et de celles qui en seront issues, en d'autres termes le *phénotype*. Les transformations possibles sont la *mutation ponctuelle*, ou remplacement d'un nucléotide par un autre, la *mutation clastogène* par *insertion* ou *délétion*, c'est-à-dire l'addition ou la soustraction d'un fragment quelconque d'ADN qui peut être simplement une paire de base mais aussi un fragment beaucoup plus important, et enfin l'*inversion* qui est l'excision d'une portion de la double hélice, puis sa réinsertion au même endroit après renversement. Une mutation est transmise d'un individu à sa progéniture pendant le processus de reproduction, par l'intermédiaire des *cellules germinales*.

Une cellule ou un organisme dont le phénotype a été modifié par mutation est un *mutant*. Les causes les plus communes de mutation sont les erreurs aléatoires de réplication de l'ADN pendant la reproduction de la cellule. La fréquence des mutations augmente si cette dernière est exposée à des agents *mutagènes* physiques ou chimiques. La chaleur est probablement le principal agent mutagène de l'environnement. Le rayonnement est un mutagène plutôt modéré.

La cellule est capable de corriger une mutation grâce à des mécanismes qui ne sont pas encore bien élucidés. Si une mutation ponctuelle ne touche qu'une base de l'un des brins d'ADN, la réparation est facile car la base complémentaire de l'autre brin sert apparemment de matrice

mais, si la mutation se produit au même emplacement sur les deux brins, ou s'il s'agit d'un accident clastogène, une réparation sans erreur est moins probable. Il semble que les rayonnements stimulent le processus de réparation (voir l'encadré sur la réponse adaptative, page 42) mais que, toutefois, il y ait toujours un risque de réparation infidèle, même en cas de mutation ponctuelle sur un seul brin.

Le défaut de réparation d'une mutation est responsable du devenir précaire d'une cellule mutée. Si la réparation est imparfaite, l'effet sur la cellule est double: ou bien la cellule meurt (*apoptose*², par exemple) ou elle survit, viable mais transformée et capable d'engendrer une nouvelle famille de cellules mutantes. Ces deux issues ont des effets très différents sur l'organisme. Aux faibles doses de rayonnement, la destruction des cellules est sporadique et n'a généralement pas de graves conséquences pour la santé. En revanche, une cellule mutante peut avoir des effets sérieux — être l'origine soit d'une tumeur maligne s'il s'agit d'une cellule somatique, soit d'une maladie héréditaire dans le cas d'une cellule germinale.

¹ Les cellules germinales sont les suivantes: les cellules du tube séminifère du testicule qui se divisent par mitose en spermatogonies, puis en spermatocytes, ensuite par méiose en spermatozoïdes; de même, les ovogonies de l'ovaire se divisent par mitose en ovocytes pour finir en ovule après une double méiose. La fusion d'un spermatozoïde et d'un ovule forme un zygote, origine d'un être nouveau.

² L'apoptose est un processus ordonné, systématique et programmé d'autodestruction de la cellule. Probablement à la suite d'altérations génétiques, la cellule entre dans une période de basophilie cytoplasmique et de condensation nucléaire, suivie d'éosinophilie et de condensation cytoplasmique, de fragmentation cellulaire, de dissolution et, le plus généralement, de phagocytose par les cellules avoisinantes. Contrairement à la différenciation cellulaire terminale, qui est la cessation de la réplication cellulaire, à la sénescence cellulaire qui ne se manifeste qu'à la fin de la vie de la cellule, et à la mort désorganisée par nécrose, l'apoptose est un processus cellulaire ordonné d'autodestruction déclenché à tout moment de la vie de la cellule. On suppose que les rayonnements sont un important initiateur de ce phénomène à effet éventuellement bénéfique au stade de la promotion et de l'évolution maligne d'une tumeur.

Doses de rayonnement

Le terme *rayonnement* s'applique à la propagation de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques ou de photons, ou encore de particules subatomiques. Un rayonnement est dit ionisant lorsqu'il est suffisamment énergétique pour produire, dans le milieu qu'il traverse, des paires d'ions, c'est-à-dire des atomes ou groupes d'atomes qui ont perdu ou gagné un ou plusieurs électrons, de sorte que leur charge est devenue positive ou négative, ainsi que des électrons complémentaires correspondants. Biologiquement parlant, le milieu dans lequel des paires d'ions sont formées est un matériel biologique, plus spécialement la matière cellulaire.

Le terme *dose (absorbée) de rayonnement* désigne généralement la quantité d'énergie du rayonnement ionisant qui est absorbée par unité de masse de matière. Cette valeur s'exprime en unités d'énergie par unité de masse, soit en joules par kilogramme, l'unité spéciale étant le gray (Gy) [1 Gy = 1000 milligrays (mGy)]. Aux fins de la radioprotection, la dose absorbée est pondérée pour tenir compte de l'efficacité des divers types de rayonnement et de la radiosensibilité des divers organes et tissus. La quantité résultante est la dose efficace, dont l'unité est le sievert (Sv) [1 Sv = 1000 millisieverts (mSv)]; pour les photons d'énergie intermédiaire, 1 mGy est pratiquement égal à 1 mSv.

L'expression *faible dose de rayonnement* désigne une dose inférieure à des niveaux spécifiés; on l'utilise aussi couramment pour désigner un faible débit de dose, c'est-à-dire une faible dose par unité de temps. Dans les discussions techniques de radiobiologistes, la faible dose de rayonnement (et le faible débit de dose) s'applique aux expositions pendant lesquelles il est fort peu probable que plus d'un événement d'absorption d'énergie du rayonnement se produise dans les parties critiques de la cellule (et les endommagement) au cours de la période pendant laquelle les mécanismes de réparation de la cellule peuvent fonctionner. Aussi l'UNSCEAR a-t-il conclu qu'une faible dose de rayonnement signifie une dose totale de moins de 200 mSv et un débit de dose inférieur à 0,1 mSv par minute (ce qui en fait correspond à un très fort débit de dose de quelque 5000 mSv par an).

Pour le profane, une faible dose de rayonnement ne peut que correspondre à des niveaux du même ordre que ceux, par exemple, de l'exposition au rayonnement naturel ou d'expositions très courantes comme lors d'un voyage en avion. L'exposition au rayonnement naturel varie considérablement dans le monde. Ci-après, quelques débits de dose annuels «normaux» [et «élevés»]: pour les rayons cosmiques, 0,38 mSv [2,0 mSv]; pour le rayonnement terrestre, 0,43 mSv [4,3 mSv]; et pour le radon, 1,2 mSv [10 mSv]; ce qui fait un total moyen d'environ 2,4 mSv par an. La dose annuelle moyenne pour les personnes qui volent fréquemment (par exemple les membres de l'équipage) est d'environ 2,5 mSv. Ces débits de dose de quelques mSv par an représentent en principe, sur la durée d'une vie, un total de quelque 100 mSv, dose qui est du même ordre de grandeur que les faibles doses de rayonnement spécifiées par l'UNSCEAR.

Le dommage s'exprime par une *mutation* d'ADN dans les gènes des chromosomes des *cellules souches*, et peut ainsi modifier l'information qu'une cellule transmet à sa descendance.

Bien que la mutation d'ADN soit soumise à des mécanismes efficaces de réparation, le processus n'est pas exempt d'erreurs. La plupart des accidents sont corrigés, mais certains ne le sont pas ou le sont imparfaitement, d'où certaines conséquences pour la cellule et sa descendance (voir l'encadré, page 38).

Preuves de l'adaptation cellulaire. Des expériences ont montré que des mutations d'ADN peuvent être réduites par une faible dose préalable de conditionnement, probablement du fait de la stimulation des mécanismes de réparation de la cellule (voir l'encadré, page 42). La preuve de ce processus de

réponse adaptative a été faite avec des lymphocytes humains et certaines cellules de la souris. La réponse cellulaire est transitoire et semble varier selon les individus. Comme il est admis que l'efficacité de la réparation de l'ADN n'est pas absolue, il est probable que l'adaptation accompagne les processus de mutation d'ADN et leurs effets ultérieurs. Le bilan de la réparation cellulaire stimulée et du dommage résiduel n'est toujours pas évident.

Rapport dose-effet. Si une mutation d'ADN dépend de l'action d'un rayonnement sur une seule cellule, la fréquence de cette mutation, en l'absence d'interaction entre les cellules, devrait être une fonction linéaire-quadratique de la dose. (Voir l'encadré, page 42). En outre, si l'on suppose qu'aux faibles doses de rayonnement les effets uniques, plutôt que les effets multiples, sont dominants, la fréquence des cellules subissant un ou plusieurs effets et, par conséquent, la fréquence des mutations d'ADN seront simplement proportionnelles à la dose. De même, si une fraction des mutations demeure sans réparation, le nombre de cellules mutées devrait aussi être proportionnel à la dose.

Destruction de la cellule: Effets déterministes. Un certain nombre d'interactions radio-induites dans la cellule et de mutations de l'ADN non réparées peuvent tuer la cellule mutée ou l'empêcher de se reproduire, soit à la suite d'une *nécrose* (mort pathologique résultant de dommages radio-induits irréversibles) ou d'une *apoptose* (autodestruction programmée) soit parce que la reproduction normale de la cellule est entravée. Aux faibles doses de rayonnement, il est rare que la cellule soit tuée et il ne s'ensuit aucun effet négatif sur la santé du fait de la redondance des fonctions cellulaires et du remplacement. Aux fortes doses capables de tuer de nombreuses cellules dans un organe ou un tissu, l'effet peut être létal pour le tissu et, si celui-ci est vital, pour l'individu. Bien que la destruction de la cellule isolée se fasse au hasard, les effets pathogènes qu'entraîne une destruction massive par de fortes doses sont appelés les «effets déterministes», parce qu'ils se produisent nécessairement lorsque la dose dépasse un certain seuil. Ils ne se manifestent donc pas aux faibles niveaux d'irradiation. Exceptionnellement, la destruction de quelques cellules essentielles au cours du développement de l'organe *in utero* peut causer de graves dommages cliniquement observables chez le nouveau-né, que l'on désigne généralement par «effets sur l'embryon».

Transformation de la cellule: Effets stochastiques. D'autres mutations de l'ADN non réparées peuvent donner des cellules souches modifiées mais viables. S'il s'agit d'une *cellule somatique*, elle peut être l'initiateur d'un long et complexe processus qui peut aboutir à des «lésions somatiques» graves, tel le cancer. S'il s'agit d'une *cellule germinale*, la mutation peut alors se traduire par des «effets héréditaires» dans la progéniture du sujet exposé. Ces effets sur la santé, tant somatiques qu'héréditaires, qui proviennent d'une modification de la cellule,

sont appelés «effets stochastiques» parce qu'ils se manifestent de façon aléatoire.

Carcinogénèse

Un des principaux effets stochastiques est la *carcinogénèse*. Le processus se divise généralement, quoique de manière imprécise, en trois phases: l'*initiation* du cancer, la *promotion* de la tumeur et la *progression* de la malignité (voir l'encadré, page 41). On suppose que le rayonnement est un *initiateur* plutôt qu'un *promoteur* ou un *progresseur*. Aux faibles doses, comme la probabilité de mutations initiateuses est proportionnelle à la dose, celle de la carcinogénèse le sera elle aussi.

Réponse immunitaire et mécanismes de surveillance de la cellule. Certains prétendent que la réponse immunitaire ne joue pas un grand rôle dans l'atténuation de la carcinogénèse radio-induite chez l'être humain. Toutefois, les fonctions immunitaires spécialisées de certains organes et l'existence de mécanismes non-immunogènes de surveillance de la cellule donnent à penser qu'une partie des premières cellules pré-néoplastiques est détruite avant même de s'installer définitivement. D'autres mécanismes préviennent l'induction et le développement des tumeurs, notamment ceux dont on a déjà parlé, à savoir la réparation de l'ADN, l'apoptose, la différenciation terminale et la suppression phénotypique. Ils réduisent la probabilité, néanmoins extrêmement difficile à chiffrer, qu'une cellule cible spécifiquement atteinte évolue vers une malignité caractérisée.

Réponse adaptative des organismes. Les publications font état de cette réponse à la radioexposition chez des mammifères de laboratoire. Toutefois, en l'absence de preuves concluantes, l'UNSCEAR se demande toujours si l'adaptation se fait également au niveau du système cellulaire et si les mécanismes immunitaires interviennent.

Preuve épidémiologique de la carcinogénèse. Bien qu'il ne soit pas encore possible de déterminer cliniquement si une tumeur maligne spécifique est due à l'irradiation, des cas de tumeur et de leucémie radio-induites ont été relevés et statistiquement chiffrés lors d'études épidémiologiques de populations exposées à des doses relativement fortes de rayonnement. Entre l'initiation et la manifestation clinique d'un cancer, il existe une période de latence dont la durée peut varier, selon le type de cancer, entre quelques années pour la leucémie et plusieurs dizaines d'années pour les tumeurs solides. L'action des rayonnements n'est qu'un des nombreux processus qui influent sur le développement des cancers; c'est pourquoi une tumeur maligne radio-induite se manifeste au même âge qu'une tumeur spontanée.

L'étude épidémiologique de plusieurs populations exposées à des doses ou débits de dose de rayonnement généralement élevés, en particulier les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki et les patients soumis à un traitement

La carcinogenèse est un processus triphasé

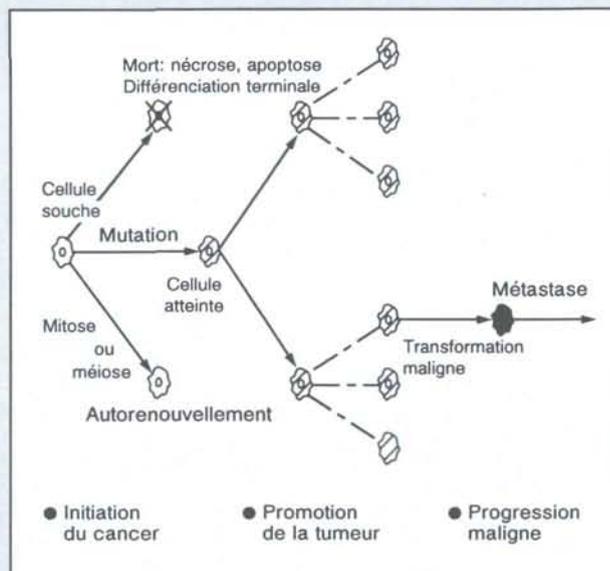
On pense que la carcinogenèse comporte plusieurs étapes; on distingue généralement trois phases: l'initiation, la promotion et la progression maligne.

L'initiation. Dans la plupart, sinon la totalité des cas de cancers, il semble que l'élément «initiateur» est une mutation de l'ADN dans une cellule souche qui se modifie en conséquence et devient carcinogène. Ce processus implique la perte du contrôle sur le cycle reproductif et la différenciation de la cellule. On suppose que le point de départ est la déactivation des *gènes suppresseurs de tumeur* qui paraissent jouer un rôle capital dans la régulation de la prolifération cellulaire. Cette déactivation, consécutive par exemple à une délétion ou à une mutation, peut mener à une croissance cellulaire incontrôlable. Il se peut aussi que l'initiation soit le résultat d'une conversion des *proto-oncogènes* qui semblent intervenir dans la régulation de la prolifération et de la différenciation des cellules et risquent de devenir oncogènes et de rendre la cellule cancéreuse. La taille relative des cibles pour l'induction de ces phénomènes tendrait à indiquer que les cibles les plus radiosensibles sont les gènes suppresseurs de tumeur. Il semblerait que l'événement initiateur soit essentiellement la déactivation d'un gène unique parmi un certain nombre de gènes candidats, et que l'initiation est un processus irréversible.

La promotion. Cette phase implique le développement clonal d'une cellule souche atteinte en un noyau de cellules sans différenciation terminale. La cellule atteinte peut être stimulée ou incitée à se reproduire par des agents qui, seuls, n'ont qu'un faible pouvoir carcinogène mais sont capables de faire proliférer les néoplasmes induits par une exposition initiatrice antérieure. Un rayonnement, de même que maints autres agents, peut agir indifféremment comme initiateur et comme promoteur. Après initiation, la cellule transformée peut être plus proliférante ou plus sélective qu'une cellule normale et se reproduire, par exemple, plus rapidement. Cela dit, la cellule transformée et sa descendance immédiate sont entourées de cellules normales, ce qui restreint leurs propriétés pré-néoplastiques, car elles ont tendance à être éliminées par le processus compétitif de reproduction. L'élimination des cellules transformées devient plus problématique à mesure que leur nombre augmente. Il semble donc que la phase de promotion pourrait être interrompue et inversée.

La progression maligne. Après initiation et promotion, la phase de «progression» est nécessaire pour parfaire la carcinogenèse. Elle se caractérise par une tendance de plus en plus

marquée à la malignité. Elle peut être facilitée par de nouvelles altérations des cellules qui sont passées par les stades précédents et deviennent ainsi promotrices — indépendantes et envahissantes. La principale caractéristique phénotypique de la progression maligne est la faculté d'essaimer en formant des métastases à partir de la masse tumorale initiale et d'implanter ailleurs des foyers secondaires de prolifération, ce que sont précisément les métastases. C'est un phénomène complexe à multiples facettes qui semble induire une série de modifications génétiques dans le clone de cellules pré-néoplastiques en évolution impliquant notamment le risque de croissance, la réponse du facteur de croissance, l'invasion et le potentiel métastatique. La phase de progression comporte: angiogénèse, détachement, invasion, libération, survie (interaction avec l'hôte), arrêt, extravasation et invasion, nouvelle croissance, angiogénèse. Et le processus se répète jusqu'à l'apparition de métastases importantes du point de vue clinique. On ne sait pas encore si, ni comment, la radioexposition influe sur les changements qui aboutissent aux différents stades du processus de progression. La phase de progression semble elle aussi irréversible.



radiothérapeutique, prouve sans équivoque le rapport entre la dose d'irradiation et la carcinogenèse.

L'information épidémiologique primaire la plus complète est fournie par l'étude de la longévité des survivants japonais. Elle a fait la preuve de la corrélation positive entre la dose reçue et l'augmentation consécutive de l'incidence et de la létalité des tumeurs du poumon, de l'estomac, du colon, du foie, du sein, de l'ovaire et de la vessie ainsi que de diverses formes de leucémie, à l'exception toutefois des lymphomes ou myélomes multiples. Sur les 86 300 personnes de la cohorte étudiée, on a compté 6900 décès dus à des tumeurs solides, entre 1950 et 1987, dont quelque 300 cas seulement peuvent être imputés à la radioexposition. Les statistiques épidémiologiques de la leucémie pour cette même période

indiquent que 75 décès sur un total de 230 peuvent être attribués à la radioexposition. Les chiffres de l'incidence révèlent également un excès de cancers de la thyroïde et de la peau autres que les mélanomes. L'étude ne fournit pratiquement pas de preuve de radio-induction de cancers du rectum, du col vésical, de la vésicule biliaire, du larynx, de la prostate, du col utérin, de la paroi utérine, du pancréas, du rein, de la loge rénale ou des testicules, ni de la leucémie lymphoïde chronique, ni de la maladie de Hodgkin.

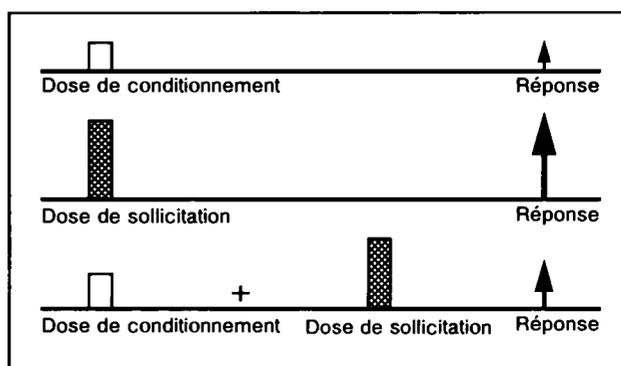
Les études épidémiologiques des effets de la radioexposition professionnelle à faible dose ont donné des résultats contradictoires. Plusieurs de ces études ont signalé un important excès de risque de leucémie chez les travailleurs sous rayonnement, ce

Réponse adaptative

On sait depuis des années que de faibles doses de rayonnement peuvent provoquer des modifications dans les cellules et les organismes, qui témoignent d'une aptitude à compenser les effets de l'irradiation. On a laissé entendre que le risque d'effets stochastiques des faibles niveaux d'irradiation a peut-être été surestimé, car il n'a pas été tenu compte de ce phénomène d'adaptation qu'est la *réponse adaptative*. Ce terme s'applique à la possibilité qu'une faible dose de rayonnement — dite indifféremment *d'adaptation, d'induction, d'amorçage ou de conditionnement* — peut conditionner les cellules en amorçant des processus qui réduisent soit l'incidence naturelle des affections malignes, soit la probabilité d'un excès de ces affections causé par une surdose de rayonnement couramment dénommée *dose de sollicitation*. La réponse adaptative *in vitro* de lymphocytes se produit entre quatre et six heures environ après l'exposition à une dose de conditionnement comprise entre 5 mGy et 200 mGy approximativement, et continue d'agir pendant environ trois cycles cellulaires. Après une dose de sollicitation, la réparation se traduit par une réduction — en-dessous des niveaux attendus et pouvant atteindre la moitié — des accidents chromosomiques, des changements d'appariement chromosomique, des inductions de micronoyaux et des mutations spécifiques de locus. En outre, des cellules de moelle osseuse et des spermatozoïdes de souris exposées à une dose de sollicitation suivant une dose de conditionnement ont également révélé une réduction du nombre de cassures chromosomiques par rapport aux cellules uniquement exposées à la dose de sollicitation.

Il semble que de nombreux agents peuvent être activés quelque temps après une exposition à la dose de conditionnement et freiner les mutations de l'ADN résultant de l'exposition ultérieure

à une dose de sollicitation. Il s'agit ici des facteurs influant sur le transfert de l'information génétique de l'ADN, et de la synthèse des enzymes qui règlent le cycle cellulaire, donc la prolifération et la réparation. Certaines observations viennent à l'appui de l'hypothèse que les doses de conditionnement activent certains gènes et que très rapidement intervient la synthèse des enzymes de réparation de l'ADN. Si ces enzymes sont suffisamment abondants au moment où la cellule reçoit la dose de sollicitation, le degré de réparation de l'ADN semble amélioré. On pense que les mécanismes de réponse adaptative sont analogues à ceux que déclenche une exposition à d'autres agents toxiques, y compris les quantités traces de radicaux oxydants. Ainsi, la réponse adaptative à l'irradiation est peut-être la manifestation d'un mécanisme général de réponse cellulaire à l'accident.

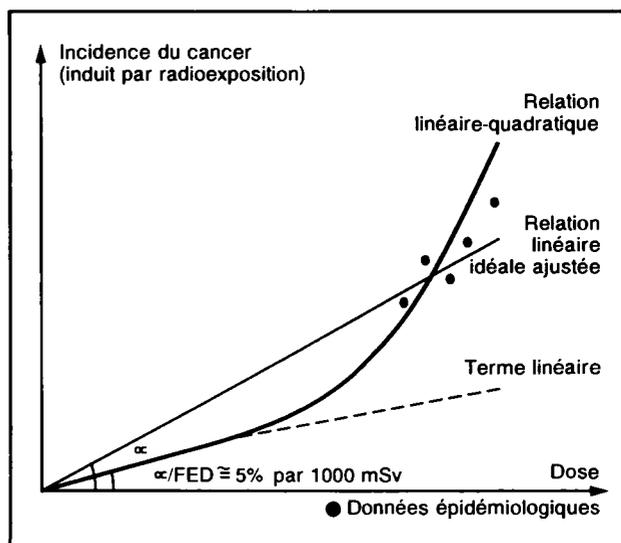


Relation dose-effet

On suppose que l'action des rayonnements est un événement unique et se produit aléatoirement selon une distribution de Poisson dans une population homogène de cellules. On peut prouver mathématiquement qu'une fonction linéaire-quadratique exprime la *relation dose-effet* théorique, c'est-à-dire la relation mathématique entre la dose reçue et la probabilité d'un effet imputable au rayonnement. Cette relation s'accorde bien avec la plupart des données épidémiologiques connues. Aux faibles doses de rayonnement, les trajectoires de particules sont si peu nombreuses qu'il est fort peu probable qu'une seule cellule (ou son noyau) soit traversée par plus d'une particule. Dans ces conditions, la relation dose-effet est presque nécessairement linéaire, indépendamment du débit de dose et sans seuil de dose.

Comme la plupart des données radioépidémiologiques ne concernent que les fortes doses, la méthode habituelle d'évaluation du risque aux faibles doses consiste à déterminer d'après les données une relation dose-réponse linéaire idéale en prolongeant son tracé dans la région des faibles doses pour lesquelles on ne dispose pas de données. Comme la courbe réelle qui exprime cette relation est une fonction linéaire-quadratique dont la fraction linéaire se situe dans la région des faibles doses, il faut faire intervenir un facteur de réduction — le «facteur d'efficacité de la dose et du débit de dose» (FED). D'après l'expérimentation, il semble que sa valeur devrait être faible. Pour les transformations et la mutagenèse dans les cellules somatiques et les cellules germinatives, on a noté un facteur 2 ou 3 approximativement, alors qu'on n'a observé aucune réduction des effets aux faibles débits de dose

(facteur égal à l'unité) dans une large fourchette de doses. En résumé, les données épidémiologiques dont on dispose semblent indiquer qu'il faudrait adopter, pour l'induction de tumeur, un facteur faible, disons de 2 à 3 au maximum. Dans le cas des affections héréditaires, la plupart des expériences sur les animaux donnent un facteur 3.



qui correspond en gros aux estimations faites d'après les études sur les forts débits de dose — tandis que d'autres études n'ont révélé aucune corrélation positive. (Voir la note de l'auteur, page 45.) Les études sur le cancer du poumon chez les mineurs professionnellement exposés au radon ont révélé, en revanche, une corrélation systématiquement positive entre l'incidence accrue du cancer et la dose de rayonnement.

De nombreuses études sur l'exposition dans l'environnement ont été faites, notamment sur l'incidence de la leucémie chez les populations vivant à proximité d'installations nucléaires. Bien que l'on ait dit que quelques-unes de ces études indiquaient une corrélation positive entre des foyers de leucémie et la proximité d'installations nucléaires, de nouvelles données prouvent qu'il est peu probable que ces leucémies soient imputables à une radioexposition. A une exception près: une étude portant sur des individus exposés à des matières fortement radioactives rejetées dans la Tchécoslovaquie, en ex-Union soviétique, a constaté un excès de leucémie parmi eux. La comparaison de l'incidence du cancer entre régions à faible et à fort rayonnement naturel n'a révélé aucune relation statistiquement significative.

Preuves épidémiologiques non concluantes de la réponse adaptative. Les études épidémiologiques de l'adaptation chez l'être humain ont peu d'intérêt statistique. Elles ne fournissent donc aucune preuve d'une réponse adaptative correspondant à une diminution de l'incidence des cancers spontanés chez l'être humain. En outre, les nombreuses expériences sur animaux et les données limitées sur l'homme ne donnent aucune preuve convaincante à l'appui de l'hypothèse que la réponse adaptative des cellules diminue ou augmente le risque de cancer chez l'être humain exposé à de faibles doses de rayonnement.

Modèles de carcinogenèse. Les calculs des risques de carcinogenèse sont faits par extrapolation des données épidémiologiques limitées dont on dispose, compte tenu des hypothèses théoriques dérivées de modèles radiobiologiques valables. Par exemple, pour connaître le risque viager total que court une population exposée, il faut projeter la fréquence d'induction de l'excédent de cancer constaté pendant la période d'observation sur toute la durée de vie de la population. On y parvient actuellement à l'aide d'un *modèle multiplicatif* (au lieu d'un simple modèle additif) qui postule que l'incidence du cancer induit augmente avec l'âge proportionnellement et parallèlement à celle du cancer spontané.

L'UNSCEAR procède à trois projections multiples: l'une suppose que l'incidence accrue ou relative demeure constante pendant toute la vie, les autres qu'elle décroît quelque temps après l'exposition (le risque d'un décès induit par une exposition est plus élevé avec le modèle constant, tandis que le nombre d'années perdues par cas d'induction peut augmenter avec les autres modèles).

Par ailleurs, le manque de données épidémiologiques sur l'induction du cancer et de la leucémie

aux faibles doses fait que l'incidence aux fortes doses doit être utilisée pour le calcul des risques. Il faut alors appliquer au risque un facteur de réduction calculé d'après une fonction linéaire théorique (sans seuil) déduite des données épidémiologiques sur les doses et débits de doses élevés. L'UNSCEAR calcule le risque en appliquant un facteur de réduction d'environ 2, évalué avec une grande marge d'incertitude d'après les hypothèses théoriques et quelques données épidémiologiques (voir l'encadré, page 42).

Effets héréditaires

Toute mutation non réparée de l'ADN d'une cellule germinale, et non létale pour la cellule, peut en principe se transmettre aux générations suivantes et se manifester par des *troubles héréditaires* dans la descendance du sujet exposé. Les études épidémiologiques n'ont pas révélé, avec un degré de confiance statistiquement significatif, d'effets héréditaires des rayonnements chez l'homme. Toutefois, d'après l'expérimentation génétique sur une grande variété d'organismes et diverses études cytologiques, et compte tenu des limitations statistiques des constatations négatives chez l'être humain, on suppose prudemment que l'irradiation peut quand même avoir des effets héréditaires sur l'être humain, dont les causes seraient les suivantes:

- mutation dominante (c'est-à-dire de *l'allèle dominant* d'un *gène*, qui peut n'être hérité que d'un seul parent et mener à des troubles chez la première génération et traverser plusieurs générations sans se manifester);
- mutation récessive (c'est-à-dire de *l'allèle récessif*, qui ne peut être hérité que des deux parents — sinon l'allèle dominant s'impose — et produit peu d'effets dans les premières générations mais s'accumule dans la masse génétique de la population, c'est-à-dire la totalité de son patrimoine génétique);
- des *désordres multifactoriels* causés par des mutations dues à l'interaction de divers facteurs génétiques et environnementaux.

Le déclenchement de troubles héréditaires par l'irradiation est moins bien compris que celui de la carcinogenèse, mais les suppositions sont les mêmes: l'origine stochastique unicellulaire du trouble due à un effet quelconque des rayonnements peut fort bien être l'initiateur. Aussi suppose-t-on, dans ce cas également, que la réponse aux faibles doses de rayonnement est une fonction linéaire de la dose, et sans seuil.

Modèles de troubles héréditaires. Vu le manque de preuves épidémiologiques directes, l'incidence des effets héréditaires radio-induits chez l'être humain est évaluée par deux méthodes indirectes qui exploitent les résultats d'expériences sur l'animal. La *méthode de la dose doublante* (ou de *mutation relative*) permet d'estimer le supplément de cas d'affections héréditaires imputables au rayonnement

en le rapportant à l'incidence naturelle (de cette affection). On obtient ainsi la probabilité de radio-induction de l'affection héréditaire par rapport à son incidence naturelle générale dans la population (en d'autres termes, la *dose doublante* est la dose qui devrait normalement provoquer des mutations aussi nombreuses que celles qui se produisent spontanément dans une génération, et on l'obtient en divisant le taux de mutation spontanée au locus d'un gène déterminé par le taux de mutations induites par unité de dose). La *méthode directe* (ou des *mutations absolues*) évalue directement la probabilité d'incidence des affections héréditaires en combinant le nombre de gènes qui peuvent être mutés avec le nombre probable de mutations par unité de dose et la dose elle-même. On détermine ainsi la probabilité d'affections héréditaires en termes absolus, c'est-à-dire l'augmentation probable de l'incidence. Dans les évaluations du risque, on n'inclut généralement pas les nombreuses affections et troubles héréditaires d'étiologie complexe et multifactorielle, étant donné que l'irradiation ne devrait en principe n'avoir que peu d'effet sur l'incidence de ces troubles, ce qui est, en outre, très incertain.

Effets sur l'embryon

Les effets de l'irradiation *in utero*, autrement dit sur l'embryon, se produisent à tous les stades du développement de ce dernier, depuis le zygote jusqu'au fœtus et peuvent être létaux, ou causer des malformations, l'arriération mentale et le cancer, les trois premières conséquences résultant d'effets déterministes pendant le développement de l'embryon, notamment au stade de l'organogenèse.

La preuve des effets sur le développement de l'encéphale vient de l'observation de plusieurs cas de grave arriération mentale chez des enfants exposés *in utero* à Hiroshima et Nagasaki. La radioexposition *in utero* à des doses ou débits de dose élevés, plus spécialement entre la huitième et la quinzième semaine après la conception, semble provoquer une réduction du quotient intellectuel (QI). Aux faibles doses, cet effet possible sur l'embryon n'est pas décelable chez le nouveau-né.

Les études de l'exposition *in utero* ont abouti à des conclusions contradictoires quant à la carcinogenèse chez l'enfant, entre un risque relativement grave et un risque essentiellement faible et non détectable, et peut-être même aucun risque. Aucune raison biologique ne permet de supposer que l'embryon est résistant à la carcinogenèse, mais ce que l'on sait pour le moment ne permet pas de quantifier les effets avec certitude.

Synthèse des conclusions de l'UNSCEAR

Se fondant sur l'information radiobiologique et radioépidémiologique à sa disposition, l'UNSCEAR

a fait plusieurs évaluations quantitatives des effets des faibles doses de rayonnement sur la santé, qui l'ont confirmé dans son opinion que le pouvoir carcinogène de l'irradiation est faible et plus faible encore son pouvoir d'induction de maladies héréditaires. Ces évaluations se résument comme suit:

● Estimations épidémiologiques:

Mortalité sur toute la vie:

- exposition à 1000 mSv: 1,1% par leucémie et 10,9% par tumeurs solides (12% au total). A titre de comparaison, le rapport de l'UNSCEAR pour 1988 indiquait 1,0% pour la leucémie et 9,7% pour les tumeurs solides.
- linéaire entre 4000 mSv et 200 mSv (peu d'indications aux plus faibles doses).

● Estimations radiobiologiques:

Pour les faibles doses (chroniques) d'environ 1 mSv par an:

- probabilité d'excédent de cancer: 10^{-4} par an
- probabilité sur toute la vie: 0,5%
- probabilité de cas mortels imputables à l'irradiation: environ 1 sur 40.

Ces estimations reposent sur les données suivantes:

Hypothèses:

- nombre de cellules du corps humain: 10^{14}
- cellules souches cibles: 10^{10} - 10^{11} par individu
- initiateur: mutation d'un seul gène sur environ 10 gènes possibles
- taux de mutation induite (par cellule): 10^{-5} par 1000 mSv
- probabilité d'excédent de cancer: environ 10%
- interactions par cellule: 1000 par 1000 mSv.

Suppositions:

- excédent de cancer: 1 par 10^{11} - 10^{12} cellules cibles recevant 1000 mSv
- taux de désactivation des gènes cibles: 10^{-4} par cellule et par mSv
- probabilité qu'une seule particule provoque un excédent de cancer: 10^{-15} - 10^{-14} .

● Estimations du risque

Risque de cancer:

- probabilité sur toute la vie de cancers radio-induits mortels: 5% par 1000 mSv dans une population théorique de tous âges; et 4% par 1 000 mSv dans une population active.

Risque d'effets héréditaires:

(par la méthode de la dose doublante)

- probabilité d'effets radio-induits héréditaires dans toutes les générations: 1,2% par 1000 mSv (ou 1,2% par génération pour une exposition continue à 1000 mSv par génération)
- probabilité d'effets héréditaires dans les deux premières générations: 0,3% par 1000 mSv (par la méthode directe)

- probabilité d'effets héréditaires (troubles cliniquement graves) à la première génération: 0,2% et 4% par mSv.

Risque d'effets sur l'embryon:

(exposition *in utero* entre huit et 15 semaines après la conception)

- baisse du QI:
30 points pour 1000 mSv
- dose nécessaire pour passer d'un QI normal à une arriération mentale grave:
1000 mSv ou plus
- dose nécessaire pour passer d'un QI faible à une arriération mentale grave:
quelques centaines de mSv.

Considérant l'ensemble des estimations de l'UNSCEAR, en y ajoutant une évaluation du déchet dû au cancer non mortel, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a recommandé, aux fins de la radioprotection, d'utiliser les valeurs ci-après du risque total théorique d'effets stochastiques radio-induits:

- 0,0073% par mSv pour l'ensemble de la population;
- 0,0056% par mSv pour tous les travailleurs adultes.

Tels sont les facteurs de risque théorique qui ont été retenus pour établir la nouvelle version des Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements*.

L'avenir

Grâce aux travaux de ce remarquable organe du système des Nations Unies qu'est l'UNSCEAR, les effets biologiques des rayonnements ionisants sont mieux connus que ceux de nombreux autres agents chimiques et physiques qui affectent l'être humain et l'environnement. En radiobiologie, maintes questions sont toujours sans réponse, notamment en ce qui concerne les effets des faibles doses de rayonnements, à cause, en particulier, du manque de données empiriques. Il faut savoir qu'aux faibles doses l'étude épidémiologique ne permet actuellement que dans une mesure limitée de détecter et de quantifier de façon statistiquement significative les effets

stochastiques de l'irradiation, tant somatiques qu'héréditaires. Il s'ensuit que la preuve formelle directement observée des effets des faibles doses de rayonnement n'existe pas et ne sera probablement pas faite avant longtemps. Pour obtenir cette preuve, il faudrait faire des études épidémiologiques approfondies pour établir le rapport entre la radioexposition et l'augmentation de l'incidence d'effets spécifiques sur la santé, franchir les limites inhérentes de la statistique et de la démographie, et veiller en outre à déterminer correctement les cas, à choisir judicieusement les groupes à comparer, à assurer un suivi suffisant, à neutraliser les facteurs de confusion et à appliquer une dosimétrie bien définie. Il est impossible actuellement d'obtenir cette preuve et il faut donc s'attendre à manquer encore de données directes d'observation**.

Du fait de cette pénurie, les évaluations du risque dû aux rayonnements doivent se fonder sur un modèle radiobiologique idéalisé pouvant servir de base à l'interprétation des résultats épidémiologiques disponibles pour les fortes doses de rayonnements. Bien que ce modèle semble actuellement bien fondé, il est plutôt simple, voire simpliste, et il continue d'évoluer. Des événements surviennent dans le monde scientifique qui améliorent la connaissance des effets biologiques des rayonnements et appellent une modification du modèle. La recherche en biologie moléculaire, par exemple, fournira sans doute de nouvelles données sur les mécanismes de l'induction du cancer. Les processus de réponse adaptative et le rôle de la radioexposition dans l'initiation, la promotion et la progression du cancer seront mieux élucidés. Au cours des prochaines années, les effets des faibles doses de rayonnement sur la santé nous apparaîtront peut-être sous un autre jour.

Malgré les rapides progrès des disciplines scientifiques pertinentes, l'UNSCEAR n'a pas encore jugé utile d'apporter d'importantes corrections à sa perception des effets biologiques des rayonnements ni à ses estimations du risque qui en résulte. Près d'un quart de l'humanité est atteint de cancer mortel, mais selon l'UNSCEAR environ 4% seulement des issues fatales sont imputées aux rayonnements ionisants dont l'essentiel provient de sources naturelles sur lesquelles l'homme n'a aucun pouvoir.

* L'élaboration des nouvelles normes s'est faite sous les auspices de l'AIEA et de cinq autres organisations: l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'Organisation internationale du Travail, l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques, l'Organisation panaméricaine de la santé et l'Organisation mondiale de la santé. Un article du même auteur publié dans le *Bulletin de l'AIEA*, vol. 36, n° 2 (1994), traite de ces nouvelles normes.

** Note de l'auteur: Au moment même où paraît cet article, le Centre international de recherche sur le cancer publie les résultats d'une étude épidémiologique du risque de cancer parmi 95 673 travailleurs de l'industrie nucléaire. On peut y trouver les évaluations directes les plus précises de la mortalité due à une longue exposition à de faibles doses. Selon *Lancet* (344: 1039-43), ces évaluations ne semblent pas indiquer que les estimations de l'UNSCEAR soient entachées d'erreurs appréciables.

Les transferts de technologie pour la gestion des déchets radioactifs: Adapter l'approche

Pour répondre à de multiples besoins spécifiques, l'AIEA a mis au point des emballages et des outils normalisés

par Donald Saire,
Curt Bergman,
Candace Chan,
et Vladimir
Tsyplenkov

La plupart des pays du monde n'ont pas de centrale nucléaire. C'est le cas d'environ 75% des 121 Etats Membres de l'AIEA. Ils exploitent la technologie nucléaire essentiellement pour la recherche, et à des fins médicales, industrielles et autres. Au niveau de la gestion des déchets radioactifs, cette grande variété d'applications ainsi que la situation de l'infrastructure et le degré de développement de chaque pays créent un certain nombre de problèmes.

Grâce à son programme de gestion des déchets radioactifs, l'AIEA peut fournir à ces pays une assistance comportant un transfert direct et indirect de divers types de technologie et de service. L'intention est d'aider effectivement les pays à protéger la santé humaine et l'environnement, dans le présent et dans l'avenir, contre le danger radiologique que présentent les déchets radioactifs. La diversité des besoins et des intérêts nationaux se retrouve dans le programme de l'AIEA qui comprend des projets de transferts de technologie spécialement adaptés pour répondre à des nécessités spécifiques. Le présent article passe en revue les principaux éléments et les stratégies de ce programme.

Définir les besoins et les stratégies

Pour se faire une meilleure idée du profil général des divers pays, l'AIEA a mis au point une classification intérieure qui groupe les pays selon le type et la quantité des déchets radioactifs qu'ils produisent

M. Saire est chef de la Section de la gestion des déchets, Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets, AIEA; M. Bergman, Mme Chan et M. Tsyplenkov sont membres de cette section.

(voir le tableau et les encadrés, page 48). Pour résoudre leurs problèmes particuliers, les pays ont besoin d'un ensemble de moyens qui ont été clairement définis par le Programme consultatif de l'Agence pour la gestion des déchets (WAMAP) et diverses missions d'experts.

A l'heure actuelle, seuls quelques pays en développement sont en mesure de satisfaire à toutes les exigences d'une bonne gestion des déchets. La plupart des autres, ou bien ne s'y conforment pas, ou ne le font qu'à moitié. Ce que doivent faire ces pays, c'est créer une infrastructure complète à cette fin, comprenant un cadre juridique, un organisme de réglementation, des services opérationnels, des ressources et un personnel qualifié. Le programme de Normes de sûreté de l'AIEA pour les déchets radioactifs est l'expression concrète d'un consensus international dans le domaine qui nous occupe.

A l'aide de tous ses programmes sur la gestion des déchets radioactifs, l'AIEA s'efforce d'amener tous les pays à un degré minimal de conformité et à mettre en place les éléments nécessaires au maintien d'un système. Cette opération demandera beaucoup de temps mais permettra d'atteindre un niveau de sûreté satisfaisant pour les travailleurs et le grand public.

Dans le passé, il allait de soi que l'assistance consistât à transférer des techniques de gestion des déchets déjà éprouvées dans les pays industriels. S'il est vrai qu'une bonne compétence technique est très importante, l'expérience a montré qu'elle ne suffit pas, car la technologie n'est qu'une des composantes indispensables de l'infrastructure requise. Elle ne peut se maintenir et s'appliquer sans l'appui des autres éléments de cette infrastructure. Même si l'AIEA n'a pas l'autorité ou la responsabilité juridique de s'assurer qu'un pays dispose d'une infrastructure suffisante, elle en a l'obligation morale —

en particulier lorsque c'est elle qui fournit la technologie, le matériel ou les matières nucléaires.

Stratégie de l'AIEA pour les transferts de technologie

Maintes demandes adressées par des pays en développement pour obtenir une assistance technique en gestion des déchets radioactifs ont la même teneur et les mêmes objectifs. Les volumes caractéristiques et niveaux d'activité des déchets produits ou prévus sont aussi très souvent analogues.

De ce fait, la stratégie de l'AIEA consiste à fournir une assistance technique sous forme d'offres globales normalisées comportant des plans d'installations centrales de gestion des déchets, ainsi que des accessoires, des techniques et des pratiques facilement adaptables aux besoins de chaque pays, par exemple:

- le répertoire des sources radioactives scellées (SRS);
- un plan d'installation pour sources scellées épuisées (ISSE);
- un plan d'installation centrale de traitement et de stockage des déchets (ITSD);
- une collection de manuels techniques sur le traitement et le stockage des déchets radioactifs des applications des techniques nucléaires.

Répertoire des SRS. Cette base de données informatisée est en cours de réalisation dans le cadre d'un programme de l'AIEA sur les sources scellées épuisées. L'intention est de créer une base de gestion dont les pays pourraient utilement se servir pour vérifier et conserver l'information sur les sources radioactives scellées au niveau national, régional ou local.

Sur le plan pratique, plusieurs fonctions sont prévues. Ce système devrait recueillir l'information pendant la durée utile de la source — du berceau à la tombe (ou à son retour au fournisseur); être à la portée d'un large éventail d'organisations, par exemple, organismes de réglementation, exploitants, laboratoires, etc.; être d'un emploi et d'une mise à jour faciles; ne pas exiger de logiciel spécial ni de matériel compliqué.

Ce répertoire a deux objectifs fondamentaux: premièrement, conserver l'information sur les caractéristiques essentielles de la source — désignation du radionucléide, activité, numéro de série ou autre code d'identification, emplacement, utilisateur, propriétaire, fournisseur, usage prévu ou effectif, types de conteneur ou d'accessoires; deuxièmement, toute information pertinente sur la source à la fin de sa durée utile (après épuisement) afin de pouvoir décider comment l'éliminer. Le système doit aussi assurer un archivage complet.

Un prototype du système a été envoyé à divers pays membres de l'AIEA pour des essais opérationnels qui se sont achevés en juin 1994. Les observations reçues à ce jour sur les résultats des essais sont

tout à fait positives. Plusieurs Etats Membres ont déjà demandé la base de données pour usage immédiat, bien qu'elle ne soit pas encore entièrement au point. Ils estiment qu'un répertoire presque complet est mieux que rien. La version définitive devrait être livrable en janvier 1995.

Les plans d'ISSE. En 1993, consciente de la nécessité croissante de garantir la sûreté du traitement, du conditionnement et du stockage des sources radioactives épuisées avant leur élimination, l'AIEA a décidé d'étudier un plan type d'installation permettant de centraliser toutes les opérations. Des installations de ce genre sont nécessaires, mais elles font défaut dans de nombreux pays en développement, en particulier lorsque seuls quelques hôpitaux ou établissements de recherche utilisent des radionucléides. Le plan prévoit des caractéristiques spéciales: technologie simple, commodité de maintenance, flexibilité, économie et sûreté. L'installation type comporte un seul étage divisé en salles et zones pour le réceptionnement des sources épuisées, le contrôle radiologique, le stockage pour désactivation ou jusqu'au conditionnement, l'immobilisation éventuelle, et la préparation en vue du transfert en stockage provisoire.

Le plan recommande divers matériels et fournitures nécessaires à la manutention et à l'immobilisation des sources. Le magasin de stockage provisoire peut être contigu à l'installation principale ou à l'écart sur le même site ou sur un site éloigné impliquant un transport par véhicule. Trois formules sont proposées, pour climat chaud et sec, chaud et humide, ou froid, respectivement.

Les plans d'ITSD. Ils sont spécialement étudiés pour faciliter le traitement de divers courants de déchets radioactifs d'activités, de propriétés physiques et de composition chimique différentes, résul-

Participants à un cours de l'AIEA sur la gestion des déchets radioactifs.
(Photo: C. Chan, AIEA)



Origine des déchets radioactifs

Outre les installations du cycle du combustible nucléaire, diverses activités produisent des déchets radioactifs:

Centres d'études nucléaires. Des radio-isotopes sont produits à diverses fins par irradiation de cibles spéciales dans des réacteurs nucléaires ou dans un accélérateur de particules; les isotopes recherchés sont ensuite extraits ou traités dans des cellules chaudes ou des laboratoires annexes. Ces installations sont parfois situées dans des centres d'études nucléaires qui manipulent et utilisent aussi des radio-isotopes. Le volume de déchets radioactifs liquides et solides que produit chaque utilisateur de matières radioactives dans le centre n'est généralement pas très important. La plupart de ces déchets sont contaminés par des radio-isotopes de courte période et se prêtent à un stockage de désactivation avant d'être rejetés, ou sont éliminés comme déchets non radioactifs. Quelques laboratoires seulement, dans les pays en développement, produisent des déchets contenant des produits de fission de longue période, dont les éléments transuraniens. Ces déchets ne représentent qu'une fraction minime de l'ensemble.

Hôpitaux. L'emploi de matières radioactives pour le diagnostic médical et la thérapie est essentiel et se développe. Les principales applications concernent la radio-immuno-analyse, les méthodes de diagnostic *in vivo* et *in vitro*, la radiothérapie, et la recherche médicale. Elles utilisent non seulement des sources nues, mais aussi des sources scellées de forte concentration logées dans des dispositifs blindés.

Industrie. Certaines industries emploient des matières radioactives, surtout sous forme de sources scellées, pour les analyses ou essais non destructifs, le contrôle de la qualité, l'évaluation de la performance de l'installation et l'étude de produits. Les quantités utilisées dépendent en grande partie du niveau de développement de la technologie nationale.

Universités et autres établissements de recherche. Les établissements de recherche et les universités s'occupent très souvent des voies métaboliques ou environnementales que suivent des matières aussi diverses que médicaments, pesticides, engrais et minéraux. La gamme de radionucléides utilisés est généralement restreinte et le contenu radioactif des composés marqués est également faible. Toutefois, il arrive que certains établissements de recherche se servent de radionucléides peu courants. Ceux qui sont le plus communément appliqués pour l'étude toxicologique de nombreux composés chimiques et de leurs voies métaboliques sont le carbone 14 et le tritium, car ils peuvent s'incorporer à des molécules complexes de façon très uniforme. L'iode 125 s'est avéré très efficace pour le marquage des protéines. Une grande variété de radionucléides est au service de la recherche et de l'investigation.

Conseils et assistance techniques de l'AIEA

Dans une nouvelle série de documents techniques de l'AIEA sur divers aspects de la gestion des déchets radioactifs, neuf documents ont été publiés:

- *Minimization and Segregation of Radioactive Wastes*
- *Storage of Radioactive Wastes*
- *Handling, Conditioning and Disposal of Spent Sealed Sources*
- *Handling and Treatment of Radioactive Aqueous Wastes*
- *Handling, Treatment, Conditioning and Storage of Biological Radioactive Waste*
- *Treatment and Conditioning of Radioactive Solid Wastes*
- *Treatment and Conditioning of Radioactive Organic Liquids*
- *Treatment and Conditioning of Spent Ion Exchange Resins from Research Reactors, Precipitation Sludges and Other Radioactive Concentrates*
- *Design of a Centralized Waste Processing and Storage Facility*

Classement des Etats Membres de l'AIEA par types et quantités de déchets radioactifs

Pour mieux connaître le profil général des pays et déterminer la meilleure option à leur offrir, l'AIEA a groupé les pays selon les types et les quantités de déchets radioactifs qu'ils produisent. Dans le présent article, il s'agit essentiellement des trois premiers groupes.

Groupe A: Pays dont les hôpitaux et autres établissements ne pratiquent qu'une seule application des radionucléides.

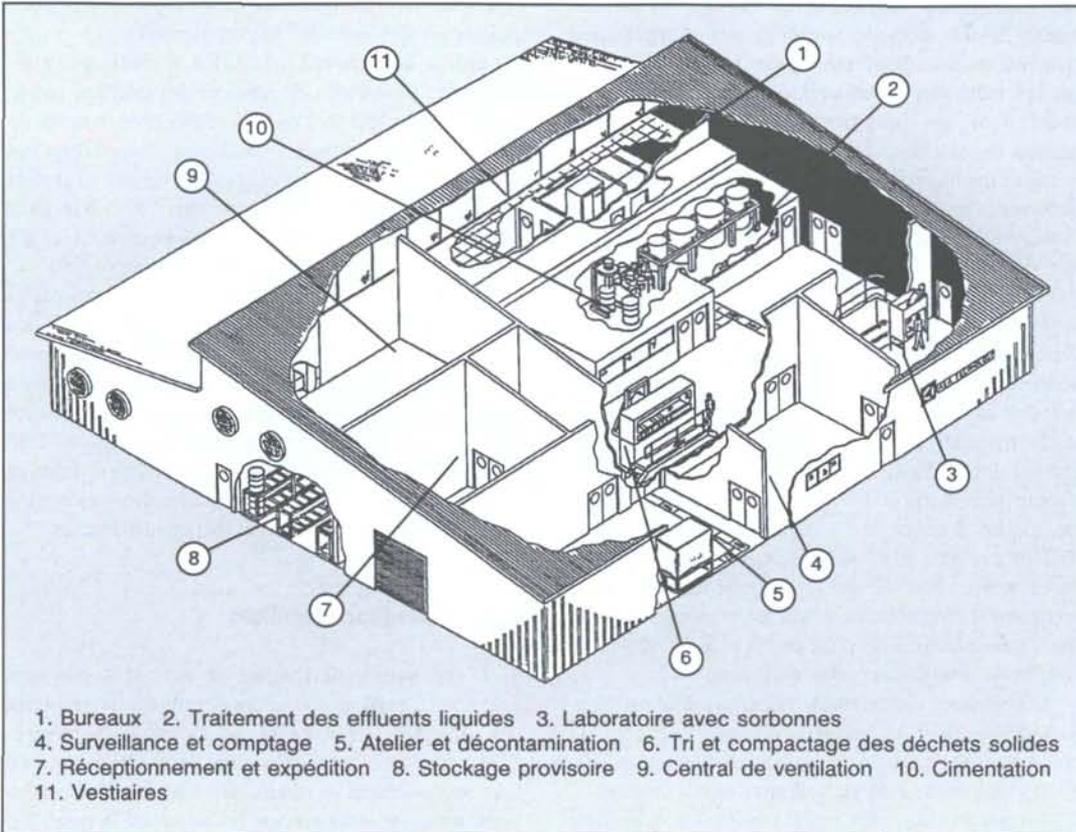
Groupe B: Pays dont les hôpitaux et autres établissements pratiquent plusieurs applications des radionucléides.

Groupe C: Pays où les radionucléides sont largement utilisés et dont au moins un centre de recherche nucléaire est en mesure de produire divers radio-isotopes (dans des réacteurs de recherche ou des accélérateurs de particules).

Groupe D: Pays où les radionucléides sont largement utilisés et qui possèdent des centrales nucléaires en projet ou en exploitation.

Groupe E: Pays dotés de centrales nucléaires et d'installations du cycle du combustible.

Installation centrale de traitement des déchets



tant de la production et des applications multiples des radio-isotopes.

Pour préparer ces options types et en définir les caractéristiques requises, l'AIEA a sérieusement étudié les techniques de gestion des déchets radioactifs utilisées dans le monde entier. D'abord, les processus choisis pour inclusion dans le modèle ont fait leurs preuves et sont bien établis, et ils se prêtent au traitement de déchets variés. Le matériel doit être solide, de conception simple, et commode à utiliser et à entretenir. Les plans doivent aussi comporter des protections radiologiques suffisantes pour garantir une exploitation sans risque (*voir le schéma d'une installation construite selon les plans proposés*).

Les procédés conseillés sont la précipitation des déchets liquides, le compactage des déchets solides et l'incorporation des boues à du ciment. Les plans prévoient également tout le matériel accessoire et les services auxiliaires nécessaires à la sûreté de l'installation de traitement. Le magasin est un grand bâtiment tout simple sans caractéristiques particulières à part l'éclairage.

Intérêt des plans types proposés. Ces options sont intéressantes pour l'AIEA et pour ses Etats Membres à deux égards. Premièrement, les plans offerts sont adaptables aux besoins nationaux. Deuxièmement, vu la limitation des ressources destinées à l'assistance technique aux pays en développement, il est très avantageux de mettre au

point une formule qui réponde aux besoins de plusieurs pays et puisse servir plusieurs fois.

Ces plans apportent un utile complément au programme d'assistance technique de l'AIEA concernant la manipulation, le traitement et le stockage des déchets de faible et moyenne activité. Les experts envoyés en mission dans les pays en développement peuvent en faire usage pour faciliter la recherche de bonnes solutions techniques et économiques.

Appui technique et formation

Manuels techniques. L'AIEA publie, depuis plus de 30 ans, des rapports techniques et des documents de sûreté sur la gestion des déchets radioactifs. Les Etats Membres y ont trouvé une documentation de référence essentielle ainsi que des exposés des derniers progrès de la technologie.

Une nouvelle série de documents techniques vient d'être inaugurée à l'intention des pays qui ont besoin d'apporter des solutions simples et peu onéreuses à leurs problèmes de gestion des déchets. Cette collection, intitulée *Technical Manuals for the Management of Low and Intermediate Level Wastes Generated at Small Nuclear Research Centres and by Radioisotope Users in Medicine, Research and Industry*, se propose d'offrir 1) des conseils pratiques pour

une exploitation maximale des ressources autochtones; 2) des méthodes progressives d'application effective de la technologie; 3) des recommandations sur les méthodes techniques qui peuvent être intégrées dans un programme national général de gestion des déchets.

Neuf manuels de cette série ont vu le jour comme documents techniques de l'AIEA (TECDOC). (*Voir l'encadré page 48.*) Il se peut que d'autres manuels sur des sujets à déterminer soient publiés dans l'avenir.

Projets d'assistance technique. Une autre forme d'aide vient des projets d'assistance technique qui donnent l'occasion de fournir des services spécialisés, de la technologie, une formation individuelle, et du matériel répondant à des besoins précis de gestion des déchets. Ces projets consistent à fournir l'appui nécessaire à l'acquisition de connaissances techniques menant à l'autonomie. Depuis 1976, l'AIEA a assisté 60 projets de coopération technique de ce genre dans 42 pays. Actuellement, 36 pays reçoivent différentes formes d'assistance pertinente par l'intermédiaire de plus de 40 projets. De plus, cinq projets régionaux sont en cours.

L'assistance comporte du matériel, dont un compacteur de déchets solides, du matériel pour la précipitation chimique et la cimentation, ainsi que divers instruments de surveillance et de mesure.

Projets modèles. Un projet modèle est également en cours pour améliorer l'infrastructure de la gestion des déchets dans divers pays en développement. Ce projet, entrepris récemment, prévoit en particulier l'emploi des options normalisées pour renforcer les divers éléments de l'infrastructure de la gestion des déchets.

Formation. Nombre de scientifiques et de techniciens ont été formés dans le cadre de projets d'assistance technique de l'AIEA dans des pays où il existe des programmes bien établis de gestion des déchets. En outre, neuf stages régionaux et trois stages interrégionaux auxquels ont assisté un total de 300 participants venant de 60 pays ont été organisés au cours des quatre dernières années. Les travaux pratiques et les démonstrations techniques ont porté sur la précipitation chimique des déchets liquides, la compaction des déchets solides, le conditionnement des sources scellées épuisées et la décontamination des surfaces.

Réunions internationales. Les réunions scientifiques offrent un autre moyen d'échange de connaissances techniques. En octobre 1994, un séminaire sur les pratiques et les problèmes de gestion des déchets radioactifs dans les pays en développement, organisé par l'AIEA, s'est réuni à Beijing (Chine). Il visait plus spécialement les pays en développement et traitait essentiellement des pratiques et des techniques de traitement des déchets provenant d'opérations étrangères au cycle du combustible nucléaire. L'AIEA accorde également une aide financière à des experts choisis dans des pays en développement pour leur permettre d'assister à des conférences et

colloques internationaux organisés par des organisations professionnelles et commerciales.

Aide à la recherche. L'AIEA n'étudie pas elle-même les problèmes de gestion des déchets radioactifs, mais elle a mis en œuvre des programmes de recherche coordonnée (PRC) qui encouragent et facilitent la recherche sur des sujets d'intérêt général. Les participants sont aussi bien des pays industriels que des pays en développement, ce qui facilite beaucoup les transferts de technologie.

Les PRC actuels sur l'emploi de sorbants minéraux pour le traitement et le conditionnement des déchets liquides et sur les techniques de traitement des déchets de faible et moyenne activité provenant d'établissements présentent un intérêt particulier pour les pays en développement. Les études portent sur l'adaptation de méthodes éprouvées de traitement en vue de la gestion de déchets particuliers à certains pays ou dans des conditions locales différentes.

Sens des responsabilités

L'exploitation de l'atome ne se conçoit pas sans une bonne gestion des déchets radioactifs résultant des diverses applications de l'énergie nucléaire. C'est pourquoi le programme de l'AIEA cherche tout spécialement à rendre les autorités nationales conscientes de leurs responsabilités et de la nécessité de planifier, de mettre au point et d'exécuter des programmes nationaux de gestion des déchets. Il facilite l'installation de l'infrastructure nécessaire et le transfert des techniques pertinentes.

Pour apporter une contribution effective dans le domaine considéré, l'AIEA doit évaluer périodiquement les besoins nationaux afin de s'assurer que les ressources et les activités sont réparties de façon équilibrée. Il s'agit d'un processus dynamique. De nouveaux projets modèles visant à améliorer la situation dans certains pays sont à l'étude. Ils seront mis en œuvre et évalués pour déterminer s'ils comportent les éléments nécessaires au renforcement des infrastructures et aux transferts de technologie, et s'adaptent aux besoins d'un large choix de pays.

Experts sans frontières: Améliorer les compétences pour le transfert des techniques nucléaires

Des experts nationaux et internationaux recrutés par l'AIEA partagent leur expérience pour mieux servir les pays en développement

A son arrivée à l'aéroport de Kenyatta, le médecin pensait bien se détendre dans l'avion à destination de Vienne. Il avait beaucoup travaillé pendant ces deux semaines passées au Kenya pour organiser un service de radiothérapie à l'Institut de médecine nucléaire du pays. Ses homologues locaux avaient préparé un programme de travail intensif qui les obligea même à se réunir le soir et en fin de semaine. Le projet, conçu pour améliorer les compétences et les pratiques au Kenya en matière de traitement du cancer, entrait dans sa seconde année et approchait de son achèvement. Le médecin y avait été affecté dès le début en qualité d'expert à titre temporaire. Dans son pays, en Allemagne, il dirigeait l'Institut de médecine nucléaire de l'Université de Heidelberg.

Pour le moment, alors qu'il attendait un vol retardé, son rapport de mission occupait son esprit. Il était satisfait de l'avancement du projet et de l'aide qu'il avait reçue. Au Siège de l'AIEA, à Vienne, on avait bien accueilli les recommandations qu'il avait formulées à l'issue de sa dernière mission, y compris sa proposition de financement d'un appareil de radiothérapie au cobalt 60 dont le Kenya avait un grand besoin. Radiothérapeute de profession, il connaissait bien la question, les difficultés et les embûches — mais aussi les avantages et les satisfactions. Il venait de terminer sa cinquième mission en qualité d'expert pour un projet de l'AIEA dans le cadre du programme de coopération technique. Toutes ses missions ne s'étaient pas déroulées aussi bien que celle-ci, mais personne n'avait jamais dit que ce serait facile...

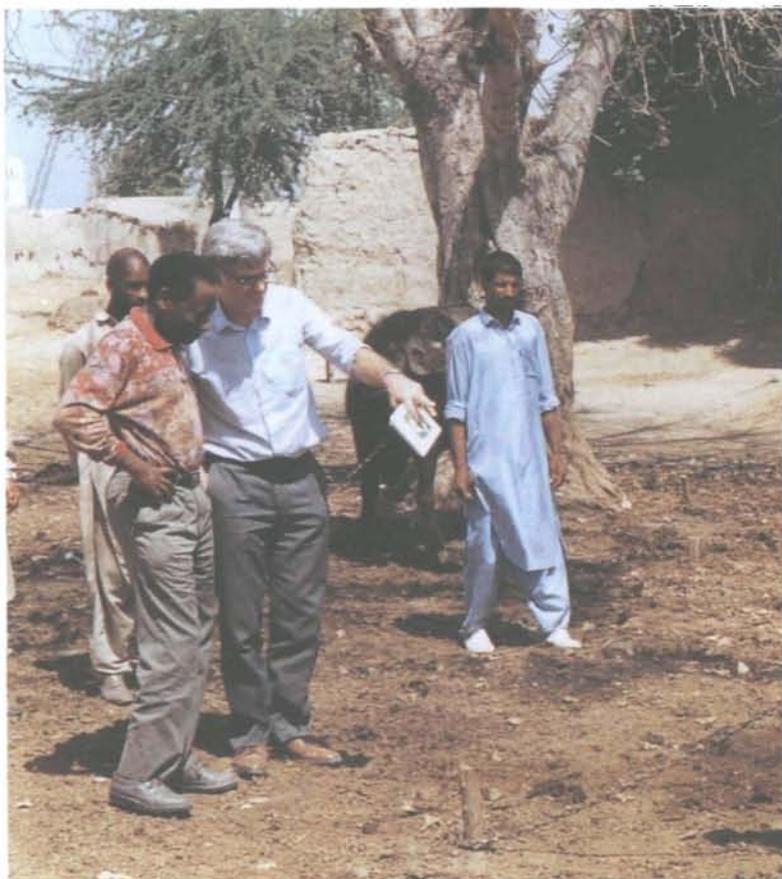
Ce bref aperçu d'une mission d'experts est un instantané des activités quotidiennes de centaines de spécialistes recrutés par l'AIEA chaque année. Au cours des dix dernières années, l'AIEA a organisé près de 18 000 missions d'experts au titre de son programme de coopération technique. Ce programme est la plaque tournante du transfert de technologie nucléaire aux pays en développement pour les aider à acquérir leur autonomie en ce qui concerne maintes applications de la science et de la technologie nucléaires.

Le transfert de la technologie nucléaire vise non seulement la production d'énergie par les centrales nucléaires, mais aussi les applications des radio-isotopes et des rayonnements dans les domaines suivants: l'alimentation et l'agriculture, la santé, l'hydrologie, l'industrie, et plusieurs autres encore. Ces techniques servent, par exemple, à améliorer les récoltes, détruire les ravageurs, évaluer les ressources en eau souterraine, stériliser les fournitures médicales, assurer le contrôle technique des avions, surveiller la pollution de l'environnement et soigner les malades.

Il est désormais indispensable de transférer ces techniques éprouvées, encore essentiellement utilisées dans certains pays seulement, à des pays où ces moyens font sérieusement défaut. Les projets de coopération technique sont les principaux vecteurs de ce transfert. Actuellement, plus de 1000 projets de ce genre sont exécutés par l'AIEA. La mise en valeur des ressources humaines en est un élément essentiel car il prépare les pays à se suffire à eux-mêmes sur le plan scientifique et technologique. Les porteurs de ces technologies nucléaires sont les scientifiques et les ingénieurs disposés à partager leurs connaissances avec leurs homologues des pays en développement. Leurs missions les emmènent de par le monde et en font des «experts sans frontières», au vrai sens du terme.

par Robert
Lauerbach et
Alicia Reynaud

M. Lauerbach et Mme Reynaud sont membres de la Section des experts, Division de la mise en œuvre de la coopération technique, AIEA.



En mission près de la frontière indo-pakistanaise pour une inspection AIEA/FAO de l'état sanitaire du bétail, l'expert s'entretient avec un éleveur de l'endroit.

(Photo: Feldman, AIEA)

Ils travaillent dans un cadre institutionnel qui garantit le développement pacifique de l'énergie nucléaire. Dans la pratique, cela signifie que l'on veille tout particulièrement à la sûreté et au respect des garanties. Les applications pacifiques des techniques nucléaires sont suivies dans le monde entier en vertu d'instruments internationaux comme le *Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP)*, et sont soumises à une réglementation internationale fondée sur les normes fondamentales de radioprotection, par exemple. Aussi existe-t-il des rapports étroits entre ceux qui proposent la technologie, les experts, les bailleurs de fonds, les pays bénéficiaires et l'AIEA.

Nous parlerons ici du rôle que jouent les experts dans les programmes de coopération technique de l'AIEA, de leur recrutement, des missions qui leur sont confiées et des services qu'ils rendent. Leurs activités sont un des piliers au même titre que la fourniture de matériel, l'octroi de bourses, et l'organisation de cours et d'ateliers.

Les services d'experts

L'AIEA fournit des services de transferts de technologie par l'intermédiaire de missions d'experts depuis 1958. Généralement, les experts s'occupent de projets dans leurs spécialités et interviennent en

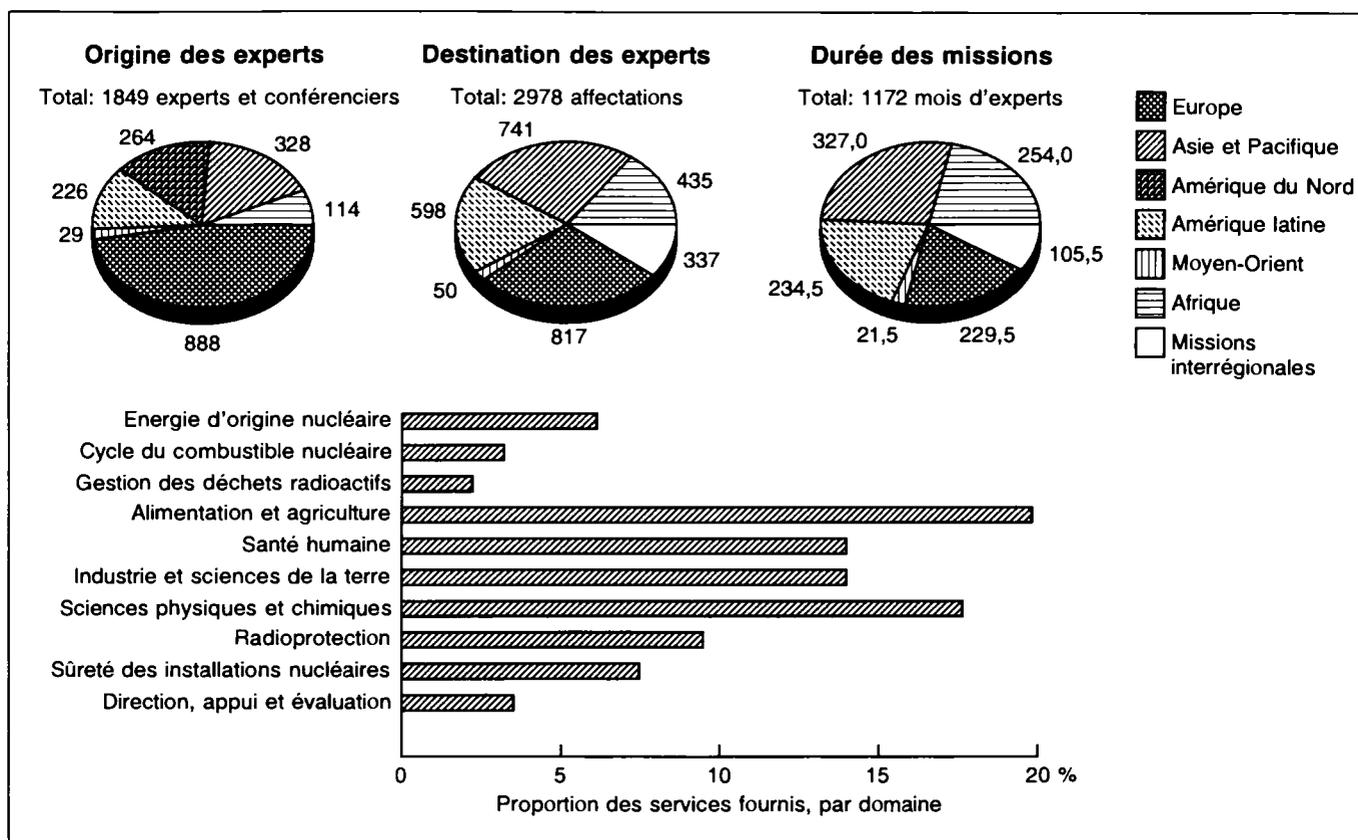
qualité de conseillers, de conférenciers ou de moniteurs d'ateliers. Recruté à titre temporaire seulement et disposé à se rendre à l'étranger et dans d'autres continents, l'expert est une personne à part. Homme ou femme, il possède une formation technique très élaborée et l'aptitude à partager effectivement ses connaissances avec autrui.

Les applications de la science et de la technologie nucléaires occupent un vaste domaine et exigent une multitude de spécialisations (*voir les graphiques*). Cinq grands sujets dominent. Les applications des isotopes et des rayonnements dans l'alimentation et l'agriculture sont le plus important domaine d'activité des experts depuis des années. Viennent ensuite les sciences physiques et chimiques appliquées, la santé de l'être humain, y compris la production de produits radiopharmaceutiques, les sciences de la terre, dont la mise en valeur des ressources d'eau, et enfin le développement industriel et plus spécialement les méthodes d'essais non destructifs. Pour toutes ces applications, une bonne part des services d'experts concernent la sûreté et la radioprotection. C'est là une condition préalable du transfert de la technologie qui aide à s'assurer qu'il existe, ou que l'on crée une infrastructure suffisante dans les pays bénéficiaires.

Qui sont ces experts et d'où viennent-ils? L'expert type de l'AIEA est une personne de 35 à 60 ans possédant au moins dix ans d'expérience de l'application des isotopes et des rayonnements après son diplôme d'études supérieures de science ou d'ingénierie. Il est parfaitement au courant des règles et des mesures de radioprotection applicables à sa spécialité. De par ses fonctions, il s'occupe souvent de développement national ou international et il est affilié à des associations professionnelles. Il possède bien au moins une sinon deux langues officielles des Nations Unies et, surtout, il s'enthousiasme à l'idée de partager ses connaissances avec autrui dans le monde en développement.

Quant aux femmes, l'expérience montre qu'elles peuvent être facilement les émules de leurs collègues masculins. Les candidates à des postes d'experts sont néanmoins trop peu nombreuses. Elles ne représentent que 6% des 5000 experts inscrits sur la liste informatisée. Une des tâches du programme de coopération technique consiste à encourager la participation des femmes. A cette fin, on compte beaucoup sur la promotion de la femme à l'échelon national et sur les efforts des autorités nationales pour encourager les femmes à postuler des emplois internationaux.

L'AIEA distingue deux grandes catégories d'experts financés par son programme de coopération technique: ceux qui travaillent soit à des projets autres que ceux de leurs pays (experts internationaux) soit à des projets de leurs pays (experts nationaux). Selon la teneur des projets et les tâches à remplir, une même personne peut être expert national ou international. Depuis quelques années, la proportion d'experts nationaux augmente régu-



lièrement. En 1993, elle atteignait 25% de toutes les affectations. Ce genre de mission joue un rôle de plus en plus important dans les transferts de technologie.

Les experts viennent de toutes les parties du monde. Rien qu'en 1993, l'AIEA en a recruté dans plus de 100 pays et pratiquement tous les Etats Membres ont participé à l'échange de services d'experts. Cette année-là a connu un nombre record de missions: près de 1900. La plupart des experts viennent de l'extérieur, mais environ 20% sont des membres du Secrétariat. En général, les personnes recrutées à l'extérieur demandent un congé sans solde à leur employeur pour se mettre temporairement au service de projets de coopération technique.

Environ deux experts sur trois viennent de pays industrialisés, mais l'AIEA encourage les experts des pays en développement à travailler plus souvent dans d'autres pays en développement, de préférence dans la même région géographique. Cela vaut particulièrement pour le Moyen-Orient et l'Afrique. En revanche, l'Europe en tant que région fournit presque la moitié de tous les services d'experts. Les Etats-Unis et le Royaume-Uni, suivis par l'Allemagne et le Canada, en fournissent le plus. Parmi les pays en développement, l'Inde, l'Argentine, le Brésil et la Hongrie sont les principaux contributeurs (voir les graphiques).

Où envoie-t-on les experts et pour combien de temps? La plupart des projets de coopération tech-

nique comportent un «élément experts». Actuellement, des experts sont en mission dans quelque 80 pays de toutes les parties du monde. La couverture géographique ne peut que s'étendre du fait des affectations dans de nouveaux Etats Membres, notamment dans les pays nés de l'ex-Union soviétique. La majorité des experts sont recrutés pour des affectations en Europe; viennent ensuite la région Asie et Pacifique, et l'Amérique latine. Les affectations au Moyen-Orient et en Afrique sont moins nombreuses que l'on pourrait penser.

Au cours des dix dernières années, la durée moyenne des missions est passée de un mois à deux semaines. Simultanément, le nombre de missions a plus que doublé, ce qui témoigne de l'autonomie croissante des pays en développement, d'où l'abrègement et la plus grande spécialisation des missions. C'est aussi le résultat d'une coopération internationale plus active qui multiplie les ateliers, les cours et les réunions de coordination pendant l'exécution des projets de coopération technique.

Procédures de recrutement des experts

Le recrutement et l'affectation des experts pour le programme de coopération technique est une opération complexe qui comporte de multiples démarches administratives auxquelles participent de

Missions d'experts de l'AIEA en 1993

nombreux partenaires, dont l'AIEA, les pays bénéficiaires et les pays donateurs, et souvent d'autres organismes internationaux comme l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). Le recrutement et l'affectation en temps opportun de l'expert qui convient exigent une étroite collaboration entre les gouvernements, les sources de recrutement, les homologues prévus pour le projet, les bureaux du PNUD et, cela va s'en dire, l'expert intéressé.

Une mission d'experts fait l'objet d'une description de poste qui sert de base au recrutement. Lorsqu'elle reçoit celle-ci du directeur de projet, la Section des experts de l'AIEA se met en rapport avec des candidats idoines, conformément à diverses procédures requises par les gouvernements d'origine et de destination et selon la nature de la mission. Les sources permettant de localiser les candidats en vue d'une affectation à des projets de coopération technique peuvent être différentes selon les cas. Les principales sources sont le pays bénéficiaire lui-même qui pense à certaines personnes en particulier, le technicien de l'AIEA responsable du projet qui signale des experts ou des institutions qui en connaissent, la liste informatisée de la Section des experts qui comporte plus de 5000 noms avec indication des spécialités.

Lorsqu'un candidat n'a encore jamais travaillé pour un projet de l'AIEA, son curriculum vitae est envoyé au responsable technique du projet pour évaluation et classement dans la liste des experts. Les noms des candidats valables sont ensuite proposés aux pays bénéficiaires pour approbation, conformément aux procédures du PNUD et des gouvernements intéressés. C'est à ce stade que la Section des experts informe le gouvernement bénéficiaire de la date à laquelle l'expert sera disponible pour la mission prévue.

Sous réserve de l'aval officiel des autorités nationales concernées, ou au reçu de cet aval, selon le temps dont on dispose pour parfaire le recrutement, la Section des experts fait une proposition aux candidats choisis, qui prévoit éventuellement une modeste rémunération pour les services à assurer ainsi qu'une indemnité journalière et le remboursement des frais de voyage. L'expert est alors informé des conditions requises en matière de visa et de certificat médical, ainsi que de l'objet de sa mission et des date et lieu de son arrivée.

Une fois les autorisations reçues et l'offre acceptée par l'expert, le contrat entre l'expert, son employeur permanent ou l'organisme qui le patronne et l'AIEA est établi. Il existe plusieurs sortes de contrats selon les fonctions et le lieu d'affectation de l'expert. La durée moyenne d'un contrat est de deux semaines et rarement plus d'un mois. Quant il s'agit de projets de plus longue durée, des contrats de un an avec prorogation possible peuvent être offerts à certains experts.

Lorsque la Section des experts a fait connaître au bureau du PNUD et aux homologues les détails du voyage de l'expert, l'essentiel de son travail est terminé. Le succès de la mission dépend alors de l'expert lui-même et de l'établissement de contrepartie. Vu la brièveté de la mission, l'expert contacte immédiatement ses homologues nationaux avant le voyage, pour préciser les objectifs et le plan de travail. L'équipe peut alors se mettre à l'œuvre dès son arrivée. Il est fréquent qu'une mission d'expert ne couvre qu'une petite partie d'un projet de coopération technique. Pour les projets importants qui, en fin de compte, influent davantage sur le développement national, il est courant de prévoir des missions complémentaires en équipe.

Sa mission accomplie, l'expert présente à l'AIEA un rapport détaillé, qui permet d'évaluer l'avancement du projet, de préciser les difficultés et de recommander les mesures qu'il conviendrait de prendre.

Orientations futures

Le programme de coopération technique cherche constamment à renforcer son rôle de catalyseur et d'innovateur en matière d'assistance technique et s'efforce de répondre le mieux possible aux besoins nouveaux des pays en développement. Au cours des deux dernières années, sa politique a été revue au profit du transfert de la technologie nucléaire à l'échelon national. A partir de l'acquis du passé, des infrastructures essentielles ont été créées dans de nombreux pays, afin de bien fonder le développement national. Dans ce contexte, l'élargissement et le renforcement des lois et des procédures de radioprotection joueront un rôle important. En outre, on a lancé des projets modèles plus spécialement orientés vers les plans de développement nationaux et les besoins des bénéficiaires sur le plan pratique.

Grâce à ce dispositif et autres moyens d'assurer l'efficacité de la coopération technique, les «experts sans frontières» continueront de jouer un rôle essentiel et resteront un maillon indispensable du transfert de la science et de la technologie nucléaires aux pays en développement.

Les boursiers en science et technologie nucléaires: Mise en pratique de leur formation

Près de 1200 scientifiques, ingénieurs et autres spécialistes sont formés chaque année grâce à des stages et voyages d'étude de l'AIEA

Depuis une trentaine d'années, l'action conjointe et coordonnée menée dans des dizaines de pays a permis de sélectionner, de placer, et de former plus de 16 000 ingénieurs, scientifiques, spécialistes et techniciens au titre du programme de bourses et de voyages d'étude individuels de l'AIEA.

Les chiffres ne sont pas tout. Nombreux sont les «anciens élèves» de ce programme coopératif de formation qui dirigent aujourd'hui des établissements et des organismes de leur pays d'origine où l'on applique des techniques nucléaires à des fins pacifiques. D'autres occupent des postes supérieurs dans des organisations internationales, dont l'AIEA.

Depuis son lancement en 1958, le programme est passé par plusieurs phases d'évolution. A l'heure actuelle, la formation est avant tout un enseignement pratique des applications des techniques nucléaires plutôt qu'un enseignement théorique. La formation individuelle des boursiers, par exemple, vise l'étude approfondie d'une technique particulière, tandis que les voyages d'étude répondent à l'intérêt croissant que suscitent l'application et la commercialisation des techniques. Le programme englobe les sciences physique et chimique, les applications des radioisotopes en biologie marine et dans l'industrie, l'énergie nucléo-électrique et la sûreté, la radioprotection, l'agriculture et la santé.

M. Colton est chef de la Section des bourses et de la formation du Département de la coopération technique. Un exposé plus complet du programme figure dans l'édition de 1994 de l'*Annuaire de l'AIEA*, en vente à la Division des publications de l'AIEA.

Au cours du dernier quart de siècle, les pays donateurs ont consacré au total plus de 120 millions de dollars à la formation de participants de plus de 95 Etats Membres de l'AIEA.

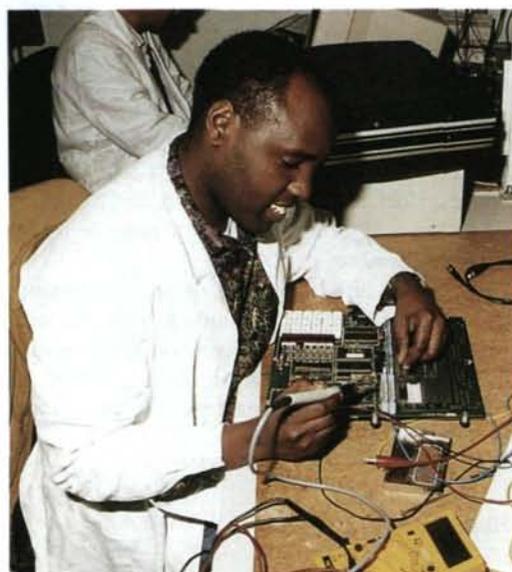
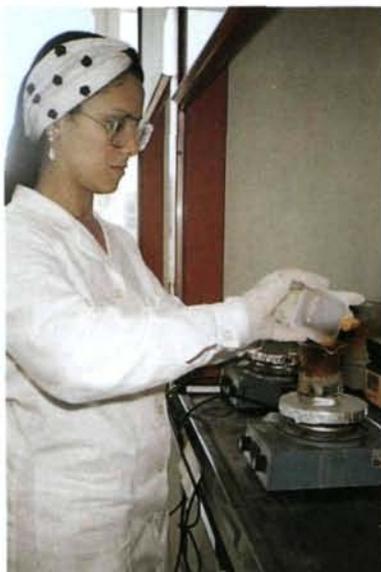
Le présent article donne un aperçu du programme en en faisant d'abord l'historique pour présenter ensuite le dispositif de coopération entre les pays d'origine des boursiers et les pays d'accueil, les critères de sélection, ainsi que les plans et les perspectives d'avenir.

Historique et évolution

Au cours des années, l'expérience acquise par les boursiers de l'AIEA a favorisé les transferts de technologie nucléaire sous leurs aspects scientifiques et théoriques. Tout aussi important a été leur apport au niveau de la direction et de la conduite des établissements et des organismes des pays d'origine. Les entretiens avec des centaines de boursiers ont confirmé que l'un des principaux avantages de la formation est son côté pratique — voir comment il faut faire et faire profiter les autres de ce que l'on a appris.

Il ne faut pas chercher longtemps pour trouver des directeurs qui ont bénéficié à un moment quelconque de l'aide de l'AIEA pour leurs études et leur formation. Bon nombre de boursiers sont à la tête de collectivités nationales et internationales. Au Département de la coopération technique de l'AIEA, par exemple, plusieurs directeurs et chefs de section sont d'anciens boursiers de l'AIEA. Dans d'autres services techniques de l'AIEA, on trouve aussi des cadres supérieurs qui ont reçu une formation tech-

par John P. Colton



Boursiers subventionnés par l'AIEA, en stage ou en voyage scientifique. Leur formation porte sur une série d'applications dans divers domaines, par exemple: production d'électricité, alimentation et agriculture, santé et médecine, industrie et sciences de la terre.



**AMERIQUE DU NORD
ET AMERIQUE LATINE: 1043/1396**

Amérique du Nord: 0/898

Canada: 0/277

Etats-Unis: 0/621

Amérique latine: 1043/498

Argentine: 115/116

Bolivie: 23/0

Brésil: 137/116

Chili: 86/45

Colombie: 57/10

Costa Rica: 31/10

Cuba: 120/39

El Salvador: 17/2

Equateur: 82/5

Guatemala: 57/23

Haiti: 1/0

Honduras: 0/1

Jamaïque: 4/0

Mexique: 101/94

Nicaragua: 15/0

Panama: 20/1

Paraguay: 17/0

Pérou: 62/1

République dominicaine: 22/0

Uruguay: 31/23

Venezuela: 45/12

ASIE ET PACIFIQUE: 1701/683

Australie: 0/134

Bangladesh: 131/4

Chine: 329/59

Corée, République de: 116/23

Inde: 3/162

Indonésie: 186/31

Japon: 0/106

Malaisie: 130/44

Mongolie: 82/0

Myanmar: 35/1

Nouvelle-Zélande: 0/5

Pakistan: 149/39

Philippines: 86/7

République populaire

démocratique de Corée: 30/0

Royaume-Uni (Hongkong): 6/4

Singapour: 11/0

Sri Lanka: 49/1

Thaïlande: 167/62

Viet Nam: 191/1

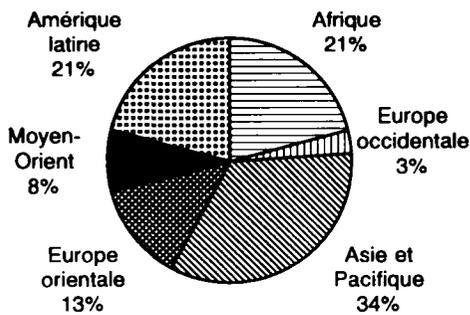
**Situation régionale en 1989-1993:
Bourses et voyages d'étude de l'AIEA**

Dans les tableaux ci-joints sont énumérés les pays d'origine et de destination des boursiers pour les stages et voyages d'étude assistés par l'Agence. Les chiffres en caractères gras indiquent le nombre de boursiers originaires du pays, les chiffres en caractères normaux le nombre de boursiers que chaque pays ou établissement a accueillis.

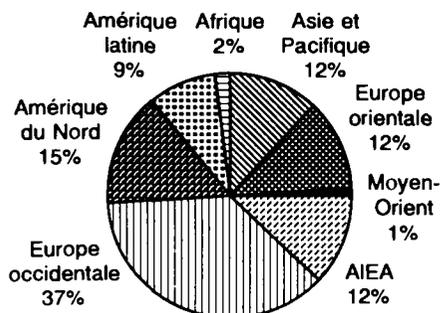
De 1989 à 1993, les pays ont demandé 4905 bourses et voyages d'étude. Dans le même temps, ils ont accueilli 5835 boursiers de stages et de voyages d'étude. (Les chiffres ne correspondent pas pour diverses raisons, notamment du fait que les boursiers en voyage d'étude se rendent en moyenne dans deux ou trois pays différents.)

Les graphiques ci-dessous montrent la distribution par région. Il ressort clairement que les pays en développement de plusieurs régions accueillent un nombre appréciable de stagiaires.

**Origine des boursiers
(% par région)**



**Lieu d'affectation des boursiers
(% par région)**



EUROPE OCCIDENTALE: 138/2940

<i>Allemagne:</i> 0/460	<i>Monaco:</i> 0/7
<i>Autriche:</i> 0/126	<i>Norvège:</i> 0/18
<i>Belgique:</i> 0/106	<i>Pays-Bas:</i> 0/113
<i>Danemark:</i> 0/57	<i>Portugal:</i> 24/9
<i>Espagne:</i> 1/120	<i>Royaume-Uni:</i> 0/516
<i>Finlande:</i> 0/53	<i>Suède:</i> 0/93
<i>France:</i> 0/343	<i>Suisse:</i> 0/25
<i>Grèce:</i> 29/23	<i>Turquie:</i> 82/7
<i>Irlande:</i> 2/4	<i>Centre européen</i>
<i>Islande:</i> 0/4	<i>d'études nucléaires:</i> 0/36
<i>Italie:</i> 0/117	<i>AIEA:</i> 0/703

EUROPE ORIENTALE: 638/690

<i>Albanie:</i> 56/0	<i>Ex-URSS:</i> 0/90
<i>Allemagne</i>	<i>Ex-Yougoslavie:</i> 24/39
<i>(ex-RDA):</i> 0/20	<i>Fédération de Russie:</i> 0/52
<i>Bélarus:</i> 4/0	<i>Hongrie:</i> 79/257
<i>Bulgarie:</i> 150/15	<i>Pologne:</i> 101/140
<i>Chypre:</i> 10/0	<i>République slovaque:</i> 7/0
<i>Croatie:</i> 3/0	<i>République tchèque:</i> 10/0
<i>Ex-République yougoslave</i>	<i>Roumanie:</i> 127/4
<i>de Macédoine:</i> 1/0	<i>Slovénie:</i> 3/7
<i>Ex-Tchécoslovaquie:</i> 51/59	<i>Ukraine:</i> 12/7

AFRIQUE: 1012/93

<i>Afrique du Sud:</i> 0/5	<i>Namibie:</i> 2/0
<i>Algérie:</i> 67/6	<i>Niger:</i> 23/1
<i>Burkina Faso:</i> 0/7	<i>Nigeria:</i> 134/2
<i>Cameroun:</i> 26/0	<i>Ouganda:</i> 24/0
<i>Côte d'Ivoire:</i> 18/2	<i>Sénégal:</i> 17/1
<i>Egypte:</i> 158/47	<i>Sierra Leone:</i> 16/0
<i>Ethiopie:</i> 44/0	<i>Soudan:</i> 72/1
<i>Ghana:</i> 67/5	<i>Tanzanie:</i> 54/2
<i>Kenya:</i> 49/8	<i>Tunisie:</i> 34/2
<i>Madagascar:</i> 21/0	<i>Zaire:</i> 24/0
<i>Mali:</i> 26/0	<i>Zambie:</i> 39/0
<i>Maroc:</i> 79/4	<i>Zimbabwe:</i> 11/0
<i>Maurice:</i> 7/0	

MOYEN-ORIENT: 373/33

<i>Afghanistan:</i> 8/0	<i>Jamahiriya arabe</i>
<i>Arabie saoudite:</i> 15/1	<i>libyenne:</i> 83/0
<i>Emirats</i>	<i>Jordanie:</i> 45/1
<i>arabes unis:</i> 1/0	<i>Koweït:</i> 0/2
<i>Iran:</i> 124/2	<i>Liban:</i> 1/0
<i>Iraq:</i> 19/0	<i>République arabe syrienne:</i> 76/7
<i>Israël:</i> 0/20	<i>Yémen:</i> 1/0

nique assistée par l'organisation. En outre, de nombreux chefs de services et d'établissements nationaux de l'énergie atomique ont tiré profit des programmes de formation de l'Agence au cours de leur carrière. Il est intéressant de noter aussi que plusieurs membres du Conseil des gouverneurs de l'AIEA et leurs collaborateurs immédiats sont au nombre des éminents stagiaires du programme de bourses et de voyages d'étude.

Ce programme a connu plusieurs mutations. A la fin des années 50 et au début des années 60, les pays souhaitaient que leurs scientifiques reçoivent individuellement un enseignement théorique. Une assistance a été fournie à ces pays qui se constituaient un bagage de connaissances théoriques dans tous les domaines scientifiques, surtout l'énergie d'origine nucléaire et le cycle du combustible.

Pendant les trois décennies suivantes, les besoins et les projets nationaux ont mûri et le programme de formation actuel se concentre sur les techniques appliquées, conformément aux directives générales de l'AIEA qui veulent que les programmes s'adaptent étroitement aux objectifs nationaux. En outre, au lieu d'importer des connaissances générales dans le domaine nucléaire, comme c'était le cas, les pays préfèrent désormais développer ces connaissances chez eux.

Les modalités de la formation ont aussi beaucoup changé. Pour être candidat, il suffisait auparavant de présenter un simple CV en précisant le genre de formation que l'on désirait. La plupart des candidats étaient même acceptés par l'établissement d'accueil avant de demander l'aide de l'AIEA. Leurs autorités nationales de l'énergie nucléaire n'intervenaient pratiquement pas dans toute la procédure de nomination et d'affectation. Les demandes étaient examinées par un petit groupe de fonctionnaires de l'AIEA et les bourses étaient attribuées au vu des qualifications personnelles de chaque candidat. Dans certains cas, l'AIEA contactait le pays hôte, mais la plupart du temps les boursiers étaient livrés à eux-mêmes pour les formalités de visa, l'organisation de leur voyage, ou la correspondance avec les établissements d'accueil. Bien souvent, comme ils n'étaient pas appuyés par leurs employeurs, les candidats perdaient leur poste et devaient se chercher un nouvel emploi à leur retour dans leur pays.

La grande importance accordée à la création de compétences locales a beaucoup changé les choses. Les autorités nationales participent désormais activement à la procédure de nomination, fixent les priorités de la formation et appuient pleinement le candidat en continuant de lui verser son salaire et en lui réservant un emploi. De leur côté, les pays hôtes réagissent plus rapidement aux demandes de formation, facilitent l'obtention des visas, enquêtent sur les établissements hôtes pour évaluer leurs compétences et la qualité de la formation, et assument l'essentiel de l'appui administratif. L'AIEA, pour sa part, a mis au point de nouvelles procédures d'examen, d'évaluation, de sélection, d'affectation et d'appui à la

formation. Ces nouvelles procédures et les rouages auxiliaires aident l'AIEA à répondre comme prévu aux besoins des pays demandeurs, en temps voulu, à bon compte et de façon satisfaisante.

La coopération technique de l'AIEA. L'affectation des boursiers à des stages et à des voyages d'étude fait partie du processus de fourniture d'assistance technique aux pays en développement. L'AIEA répond aux pays qui demandent une aide à la formation selon un rythme biennal. Les autorités nationales présentent leurs demandes sous forme d'un projet de coopération technique. Celui-ci est examiné et évalué par la Division des programmes de coopération technique en consultation avec des techniciens spécialistes de la technologie considérée, et par la Division de la mise en œuvre de la coopération technique et ses spécialistes de l'achat de matériel, de l'affectation des boursiers aux stages et aux voyages d'étude, et du recrutement d'experts. Les projets recommandés sont soumis au Conseil des gouverneurs pour approbation après examen par le Comité de l'assistance et de la coopération techniques. Lorsque le programme biennal est approuvé, le Conseil autorise son financement sur une base annuelle (en d'autres termes, le programme pour 1993-1994 bénéficie de crédits approuvés en décembre 1993 pour 1994). Le projet comporte normalement des demandes de services d'expert, l'achat de matériel, les bourses et les voyages d'étude, et les cours.

Pour le programme de 1995-1996, 1000 demandes, approximativement, de nouveaux projets ont été reçues et il est probable que la moitié environ seront approuvées. L'élément bourses et voyages d'étude absorbe entre 20 et 25% du total des ressources allouées au projet. Pour 1994, ce volet se chiffrait à plus de 18 millions de dollars, dont environ 8 millions reportés des années antérieures. En général, les fonds ne manquent pas du fait de la continuité des stages et de la possibilité de reporter des crédits d'une année sur l'autre.

Bourses et voyages d'étude: Sélection et formation

L'aide de l'AIEA est essentielle au progrès des applications pacifiques de l'énergie nucléaire. La formation consiste à suivre des cours dans des établissements d'enseignement, à participer à des équipes de recherche, à s'exercer en cours d'emploi à une technologie donnée, à faire de brèves visites dans des établissements de recherche, ou elle combine ces activités. Les pays d'accueil et leurs établissements sont ainsi intégrés dans le processus de transferts de technologie.

Le placement des boursiers et des scientifiques était relativement aisé pendant les premières années de l'AIEA, lorsque la plupart des intéressés demandaient une formation universitaire. Les progrès de la

recherche et de l'équipement industriel dans les pays en développement font que les postulants se tournent maintenant vers une formation pratique spécialisée et, comme les cours universitaires correspondent rarement à cet intérêt pour les techniques appliquées, il faut faire des arrangements spéciaux avec les établissements d'accueil. De ce fait, le placement des boursiers est plus difficile et demande plus de temps, mais la formation n'en est que plus fructueuse en matière de transferts de technologie.

Critères de sélection. Les candidats au programme de bourses de l'AIEA doivent avoir de bonnes qualifications et être motivés. L'AIEA étudie les candidatures pour s'assurer que les objectifs de la formation sont clairement définis, que le type de formation demandé est précisé et que les établissements envisagés sont spécifiés, que l'aide promise par les pays est mentionnée et que tant le candidat que l'autorité nationale garantissent que les connaissances acquises seront exploitées dans le pays du postulant. On demande également un certificat de connaissance linguistique, car l'expérience a montré que dans un cas sur trois le problème linguistique est la cause principale d'un stage manqué. La connaissance des langues est si importante que de nombreux pays ont fixé des niveaux minimaux que le candidat doit posséder avant d'être accepté.

La procédure d'examen des demandes, de sélection et d'affectation élimine environ 40% des candidats soit avant, soit après ces formalités, généralement parce que certaines conditions ne sont pas remplies, ou que la situation du candidat a changé, ou encore que l'on n'a pas trouvé un pays d'accueil qui convienne. Les principales raisons spécifiques sont l'insuffisance des connaissances professionnelles ou linguistiques, la possibilité de faire un stage équivalent dans le pays d'origine, le fait que la demande sorte du cadre du programme de coopération technique ou de celui des attributions de l'Agence.

Il n'est pas surprenant que la communication joue un rôle de plus en plus important dans la sélection, étant donné l'amélioration des télécommunications. De ce fait, le pays d'origine du candidat doit intervenir plus activement pour juger les compétences du postulant afin de fournir promptement à l'Agence des renseignements précis et éviter ainsi les pertes de temps et d'argent. Il est en effet fréquemment arrivé dans le passé que l'on s'efforce de placer un candidat pour s'apercevoir finalement qu'il n'est plus disponible pour suivre un stage, qu'il a profité d'autres possibilités ou qu'il a changé d'activité professionnelle.

L'autorité postulante et le boursier sont avisés dès que la bourse est accordée et de nouveau lorsqu'un établissement d'accueil convenable a fait savoir qu'il était prêt à donner la formation demandée. C'est alors que l'AIEA envoie au candidat une lettre de nomination l'informant du programme d'études proposé et de divers détails sur son allocation, ses indemnités et l'assurance contractée, par exemple. Le candidat reçoit également des indications rela-

tives à son travail, aux formalités de visa et aux conditions de son séjour dans le pays d'accueil.

D'une façon générale, les délais entre la réception par l'Agence d'une candidature et l'affectation du boursier ont été très abrégés. Dans la mesure où l'affectation est possible, la bourse est accordée dans les deux à trois mois, au lieu de huit mois en 1990. La négociation des affectations avec les pays hôtes dure en moyenne quatre mois, au lieu de six en 1990. De la sorte, le délai moyen à prévoir entre le reçu de la candidature et le début du stage est d'environ dix mois, soit bien moins que la moyenne de 18 mois en 1990.

Les pays en développement comme pays d'accueil. Il y en a de plus en plus. Dans nombre de ces pays existent des compétences techniques suffisantes pour assurer une formation de qualité. Il arrive souvent que le stage y coûte moins cher. En outre, les conditions dans lesquelles s'y déroule le stage sont bien souvent plus représentatives de celles que connaît l'établissement d'origine du stagiaire.

Plans et perspectives d'avenir

Pour l'an 2000, on pense que 100 Etats Membres de l'AIEA demanderont une assistance technique, notamment sous forme de bourses et de voyages d'étude. En 1958, alors que l'Agence venait d'être créée, 11 pays seulement ont reçu une assistance technique. Aujourd'hui, ils sont 85.

Vu l'afflux probable de demandes, le nombre de boursiers en stage ou en voyage d'étude chaque année se situerait entre 1400 et 1600 vers la fin de la décennie. Si ces prévisions se maintiennent, on atteindra en l'an 2000 un total de plus de 25 000 boursiers et scientifiques formés par l'Agence. La formation offerte demeurera essentiellement brève et intense et comportera des exercices en cours d'emploi. Un enseignement universitaire supérieur restera à la disposition de ceux des pays les moins développés qui ont besoin de créer un noyau solide de ressources humaines à l'appui de leur développement technologique.

Si le passé est un prélude, l'aide que l'Agence apporte aux moyens de formation de scientifiques, d'ingénieurs et de techniciens de pays en développement sera toujours une précieuse contribution à l'action menée pour transférer effectivement la technologie des maintes applications pacifiques de l'énergie nucléaire. Ce faisant, elle préparera une promotion nombreuse de cadres supérieurs dans le domaine nucléaire.

Réunions du Conseil des gouverneurs de l'AIEA

Lorsqu'il s'est réuni au début de décembre dernier, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a examiné diverses questions relatives au programme d'assistance et de coopération techniques de l'Agence pour 1995-1996: garanties, trafic illicite de matières nucléaires (*voir plus loin, page 61*), et gestion des déchets radioactifs.

Garanties en RPDC. Le 11 novembre, le Conseil s'est réuni spécialement au sujet de l'application des garanties en République populaire démocratique de Corée. Cette réunion a été motivée par la situation résultant de l'arrangement signé le 21 octobre 1994 à Genève par les Etats-Unis et la RPDC.

Le Conseil a autorisé le Secrétariat de l'AIEA à donner suite à la demande du Conseil de sécurité de l'ONU adressée à l'Agence en ce qui concerne les inspections en RPDC, et notamment l'arrêt des réacteurs ralentis au graphite et des installations connexes. Cette demande était formulée dans une

déclaration du Président du Conseil de sécurité en date du 4 novembre 1994. Le Conseil s'est déclaré satisfait de voir que la RPDC ne dénonce pas le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) et qu'elle est disposée à respecter dans son intégrité l'accord de garanties qu'elle a signé avec l'AIEA.

Les inspecteurs de l'AIEA ne quittent pas le complexe nucléaire de Nyongbyon. A la mi-novembre, une équipe technique de l'Agence s'est rendue dans le pays pour s'entretenir avec les autorités des mesures de vérification nécessaires en vertu de la pratique établie de l'AIEA.

Coopération technique. A sa réunion de décembre, le Conseil a été saisi d'un rapport de son comité de l'assistance et de la coopération techniques sur la fourniture d'assistance technique à prévoir pour 1995-1996. Le programme envisagé couvre plus de 80 pays ainsi que des projets régionaux et interrégionaux.

Le Directeur général de l'AIEA prévoit de nouvelles activités

S'adressant à la 49ème session de l'Assemblée générale des Nations Unies, à New York, le 17 octobre dernier, le Directeur général de l'AIEA, M. Blix, a évoqué les tâches qui échoient à l'Agence à partir de 1995.

Du fait de l'évolution du nucléaire dans le monde, l'AIEA devra donner suite à de nouvelles sollicitations en matière de services de vérification et de sûreté.

Dans le contexte de la conférence d'avril/mai prochain qui doit réexaminer et proroger le TNP, elle présentera des rapports détaillés sur la façon dont elle renforce son système de vérification aux fins des garanties, et sur les activités qu'elle mène à l'appui des transferts de technologie nucléaire à des fins pacifiques. Plusieurs événements importants survenus durant l'année passée amènent à étendre ses garanties dans de nouveaux secteurs, notamment la conclusion d'accords de garanties généralisées avec les Etats issus de l'ex-Union soviétique.

A propos de ses activités de vérification, les Etats-Unis ont engagé un processus qui devrait aboutir à la soumission aux inspections de l'AIEA de l'ensemble de leurs matières fissiles désormais inutiles pour la défense. En outre, l'AIEA a créé un groupe de travail pour examiner les questions liées à la proposition d'arrêter la production d'uranium fortement enrichi et de plutonium à usage militaire.

Elle est aussi appelée à jouer un rôle consultatif technique dans les futurs arrangements relatifs à un traité d'interdiction totale des essais nucléaires. Les nouveaux espoirs de la communauté internationale laissent prévoir l'institution d'un cadre juridique mondial plus solide pour le développement de l'énergie nucléaire. Récemment, la conclusion de la Convention internationale sur la sûreté nucléaire, l'adoption des nouvelles Normes fondamentales internationales de sûreté radiologique et les travaux relatifs à une convention sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs contribuent à instaurer une culture de sûreté internationale. L'AIEA s'attache également à transférer la science et la technologie nucléaires aux pays en développement, et à adapter ses programmes en conséquence.

Outre son intervention aux Nations Unies, M. Blix s'est adressé à plusieurs éminentes assemblées en septembre et en octobre derniers, dont le Conseil des relations internationales, à Washington, D.C., le Congrès de la Société nucléaire européenne, à Lyon (France), et la 38ème session ordinaire de la Conférence générale de l'AIEA, à Vienne (Autriche).

On peut se procurer le texte des discours du Directeur général à la Division de l'information de l'AIEA.

Un groupe de 96 experts de 46 pays et de trois organisations internationales a assisté les 2 et 3 novembre 1994, à Vienne, à une réunion organisée pour examiner les mesures à prendre contre le trafic illicite de matières nucléaires et de sources radioactives.

Ils ont vivement préconisé que l'AIEA intensifie ses activités et étudie dans le détail des mesures complémentaires à prendre sur le plan international. Cette réunion a été convoquée par le Directeur général de l'AIEA en réponse à une résolution de la Conférence générale (voir l'article page 63).

La réunion a beaucoup éclairci le problème de ce trafic illégal. Tout en rappelant que la responsabilité première de la prévention et de la lutte contre ce trafic échoit aux gouvernements intéressés, elle a recommandé instamment que des mesures complémentaires efficaces et d'ordre

pratique soient prises au niveau international, notamment par l'intermédiaire de l'AIEA.

Ce trafic doit d'abord être combattu à sa source, ont dit les experts, et ils ont mentionné des domaines dans lesquels l'AIEA pourrait intensifier ses activités. Il faudrait en particulier prendre certaines mesures pour aider les Etats à améliorer leurs systèmes nationaux de comptabilité et de vérification des matières nucléaires, ainsi que leurs dispositifs de protection physique de ces matières et à constituer une documentation de base fiable sur les incidents, à l'intention des décideurs et en vue de mieux informer le public. Se fondant sur les observations, suggestions et propositions faites et étudiées par la réunion d'experts, le Secrétariat de l'AIEA a présenté des recommandations au Conseil des gouverneurs, lors de sa réunion de décembre 1994, pour les mesures à prendre.

Réunion d'experts sur le trafic illicite des matières nucléaires

Le Forum atomique européen a décerné son prix Foratom 1994 à M. Hans Blix, directeur général de l'AIEA. Cette distinction, instituée en 1978, est décernée tous les quatre ans à des personnes qui ont largement contribué aux applications pacifiques de l'énergie atomique en Europe et dans le monde en général. M. Blix a reçu cette distinction le 4 octobre 1994 lors du congrès de la Société nucléaire européenne, à Lyon (France), qui lui fut remise par M. Bill Wilkinson, président du Forum atomique européen.

Lors de la cérémonie, M. Wilkinson a rendu hommage à M. Blix pour son action courageuse et efficace en faveur de l'énergie nucléaire en tant que source d'électricité très écologique. Il l'a aussi félicité de son impartialité politique, de ses talents d'administrateur et de diplomate, et de son aptitude à gagner la confiance des dirigeants nationaux. M. Blix a répondu à M. Wilkinson pour le remer-

cier chaleureusement de la distinction qui lui a été accordée et qu'il accepta non seulement à titre personnel, mais aussi au nom du personnel de l'AIEA qui œuvre avec lui pour atteindre les buts de l'organisation. Il est absolument convaincu des nombreux avantages que présentent pour l'humanité les applications pacifiques, diverses et variées, de l'énergie nucléaire, y compris la production d'électricité. Il a souligné qu'il importait de tenir compte de la dimension internationale de l'exploitation de l'énergie nucléaire — il faut exercer un contrôle international pour s'assurer du caractère pacifique des installations nucléaires et mettre en œuvre des règlements et des services internationaux pour compléter les dispositions prises à l'échelon national en matière de sûreté. Confiant dans l'avenir de cette forme d'énergie, M. Blix a dit que ses avantages par rapport aux autres sources d'énergie ne peuvent que se confirmer.

Le Directeur général de l'AIEA à l'honneur

Plus de 50 pays ont signé la Convention internationale sur la sûreté nucléaire, ouverte à la signature le 20 septembre 1994 pendant la Conférence générale de l'AIEA, à Vienne; un pays, la Norvège, a déjà déposé son instrument de ratification auprès de l'AIEA. Cette convention est le premier instrument juridique qui traite directement de la sûreté des centrales nucléaires du monde entier.

Elle s'applique aux centrales nucléaires terrestres civiles; les parties contractantes ont l'obligation d'instituer un cadre législatif et réglementaire pour garantir la sûreté, s'engagent à appliquer les principes fondamentaux de sûreté relatifs aux installations nucléaires et acceptent de prendre part à

des réunions périodiques d'examen par des homologues des rapports qu'elles doivent présenter sur la façon dont elles s'acquittent de leurs obligations.

La Convention restera ouverte à la signature au Siège de l'AIEA jusqu'à son entrée en vigueur, c'est-à-dire le 90ème jour après le dépôt du 22ème instrument de ratification auprès de l'AIEA, dépositaire de la Convention, y compris les instruments de 17 Etats possédant chacun au moins une installation nucléaire dont le réacteur a atteint la criticité.

Au 15 novembre dernier, 52 pays avaient signé la Convention: Afrique du Sud, Algérie, Allemagne, Argentine, Arménie, Australie, Autriche,

Convention internationale sur la sûreté nucléaire

ACTUALITES INTERNATIONALES

Belgique, Brésil, Bulgarie, Canada, Chili, Chine, Cuba, Danemark, Egypte, Espagne, Etats-Unis, Fédération de Russie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Inde, Indonésie, Irlande, Israël, Italie, Japon, Luxembourg, Mexique, Nicaragua, Nigeria, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pérou,

Philippines, Pologne, Portugal, République arabe syrienne, République de Corée, République slovaque, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovénie, Soudan, Suède, Tunisie, Turquie, Ukraine.

Les techniques nucléaires en agriculture

Des scientifiques du monde entier spécialisés dans la recherche en agronomie et en écologie se sont réunis à Vienne du 17 au 21 octobre 1994 à l'occasion du colloque international sur l'emploi des techniques nucléaires et apparentées pour l'étude des relations sol/plante dans le cadre d'une agriculture écologiquement viable et de la protection de l'environnement. Ce colloque, organisé par l'AIEA et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), s'est réuni au moment où la Division mixte FAO/AIEA des tech-

niques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture célébrait son 30ème anniversaire. A l'ordre du jour figuraient les études sur les relations sol/plante dans un régime agricole viable et la recherche sur les problèmes de pollution du milieu. Diverses questions techniques ont été étudiées: fertilité des sols, nutrition des végétaux, gestion de l'eau, rendement des cultures, et aspects écologiques de la gestion des éléments nutritifs et de l'eau.

L'ouverture du chantier du nouveau laboratoire des garanties a eu lieu le 14 octobre 1994 sur le site des Laboratoires de l'AIEA, à Selbersdorf (Autriche). Ce laboratoire propre sera opérationnel vers la fin de 1995 et sera spécialement chargé de l'analyse et de la mesure d'échantillons de l'environnement aux fins des garanties. Les Etats-Unis apportent à son financement une contribution extrabudgétaire de 1,5 million de dollars. A la cérémonie ont assisté l'ambassadeur des Etats-Unis, M. John Ritch III (photo du haut, au centre), M. Bruno Pellaud, directeur général adjoint de l'AIEA chargé des garanties (troisième à partir de la gauche), M. Suelo Machi, directeur général adjoint de l'AIEA chargé de la recherche et des isotopes (deuxième à partir de la gauche), M. Wim Breur, directeur de la Division des services généraux (à gauche), M. Pier Danesi, directeur des Laboratoires de l'AIEA de Selbersdorf (deuxième à partir de la droite) et M. Stein Deron, chef du Laboratoire d'analyse pour les garanties.



Des personnalités officielles de 100 Etats Membres de l'AIEA, dont 20 ministres, ont assisté à la trente-huitième session ordinaire de la Conférence générale de l'AIEA, réunie à Vienne du 19 au 23 septembre 1994. Les délégués ont élu M. Alec Jean Baer (Suisse) président de la Conférence. Des décisions ont été prises dans plusieurs secteurs clés du développement nucléaire mondial. A l'ordre du jour figuraient notamment les questions suivantes:

Les garanties de l'AIEA en RPDC. Se déclarant constamment préoccupé par le fait que la République populaire démocratique de Corée ne respecte pas son accord de garanties avec l'AIEA, les Etats Membres ont adopté une résolution priant instamment ce pays de coopérer immédiatement avec l'Agence pour assurer la pleine exécution de l'accord et de permettre à l'AIEA d'accéder à toute l'information et à tous les emplacements intéressant les garanties. Ils ont en outre pleinement approuvé les mesures prises par le Conseil des gouverneurs et le Directeur général de l'AIEA en les félicitant de leur impartialité dans leurs efforts pour assurer l'exécution de l'accord (voir l'article sur le Conseil, page 60).

Surveillance et vérification en Iraq. La Conférence a adopté une résolution soulignant la nécessité pour l'Iraq de coopérer pleinement avec l'AIEA pour assurer la mise en œuvre intégrale et à long terme des résolutions du Conseil de sécurité de l'ONU qui le concernent. L'AIEA, après avoir démantelé les moyens de production d'armes nucléaires de l'Iraq, a le droit d'appliquer son plan permanent de surveillance et de vérification, et d'enquêter sur tous les aspects du programme passé d'armement nucléaire de l'Iraq, notamment si de nouveaux renseignements méritaient, à son avis, un complément d'investigation.

Système des garanties de l'AIEA. Vu la Conférence de 1995 sur le TNP et le rôle essentiel de l'AIEA dans l'application des garanties en vertu de ce traité et relatives aux zones dénucléarisées régionales (en Amérique latine et dans le Pacifique Sud), les Etats Membres ont adopté une résolution sur le renforcement des garanties de l'AIEA, dans laquelle ils expriment leur conviction que ces garanties peuvent promouvoir la confiance réciproque des Etats et contribuer ainsi à renforcer leur sécurité collective, et soulignent que le point important des garanties est de pouvoir efficacement prévenir l'emploi abusif de l'énergie nucléaire à des fins non pacifiques et de favoriser la coopération dans ses applications pacifiques. La résolution prie spécialement le Directeur général de continuer à évaluer, élaborer et mettre à l'essai, à titre volontaire, des mesures visant à renforcer le système des garanties et à le rendre plus rentable, et de présenter au Conseil des gouverneurs de mars 1995

des propositions à cette fin, avec un exposé de leurs incidences éventuelles sur le plan technique, juridique et financier.

Lutte contre le trafic illicite de matières nucléaires. Exprimant sa profonde préoccupation due à ce trafic illicite et se déclarant en faveur de mesures préventives plus sévères, la Conférence a adopté une résolution qui invite le Directeur général de l'AIEA à prendre des dispositions pour intensifier l'aide de l'AIEA aux Etats Membres dans ce domaine. Il faudrait notamment améliorer ou créer des systèmes nationaux de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires, examiner les options complémentaires possibles dans l'acquisition, la vérification et l'analyse des données relatives aux cas de trafic illicite, et dans la protection physique des matières conformément au Statut de l'Agence; et formuler des propositions, en consultation avec un groupe d'experts désigné par les Etats Membres et les organisations internationales compétentes, à soumettre pour examen au Conseil des gouverneurs (voir l'article sur cette question, page 61).

Zone dénucléarisée en Afrique. Satisfaite du progrès vers la conclusion d'un traité instituant une zone dénucléarisée en Afrique, la Conférence a adopté une résolution félicitant les Etats africains de leur entreprise et priant le Directeur général de continuer de les assister à cet égard.

Participation de l'Afrique du Sud aux activités de l'AIEA. La Conférence a adopté une résolution invitant l'Afrique du Sud à participer de nouveau à toutes les activités de l'AIEA. Elle invite tout spécialement le Conseil des gouverneurs à revoir la question de la nomination de l'Afrique du Sud au Conseil. (En 1977, l'Afrique du Sud cessa d'être le membre désigné par le Conseil pour la région Afrique.) Pour prendre cette mesure, elle a pris note de la décision de l'Afrique du Sud de mettre fin à son programme d'armement nucléaire et de sa contribution à l'étude d'une zone dénucléarisée en Afrique, et elle s'est déclarée satisfaite du nouveau gouvernement d'unité nationale qui représente toutes les populations du pays.

Application des garanties de l'AIEA au Moyen-Orient. La Conférence a adopté une résolution appelant toutes les parties intéressées à prendre les mesures pratiques nécessaires à la mise en œuvre de la proposition visant à instituer dans la région une zone dénucléarisée mutuellement et effectivement contrôlable; elle invite en outre tous les pays concernés à adhérer aux arrangements internationaux de non-prolifération, notamment au TNP, en complément de leur participation à une zone exempte de toutes armes de destruction massive au Moyen-Orient, et en vue de renforcer la paix et la sécurité dans la région. Elle prie le

Synthèse de la Conférence générale de 1994



M. Alec Jean Baer (Suisse), président élu de la Conférence générale de l'AIEA.
(Photo: Pavlicek, AIEA)

Directeur général de continuer ses consultations avec les Gouvernements du Moyen-Orient afin de faciliter l'application à brève échéance de garanties généralisées à toutes les activités nucléaires de la région, condition nécessaire à la création de la zone dénucléarisée.

Activités de coopération technique de l'AIEA.

La Conférence a adopté deux résolutions à ce sujet, l'une visant à renforcer les activités de coopération technique et l'autre concernant le financement de l'assistance technique. La première prie le Directeur général de proposer, en consultation avec les Etats Membres, de nouvelles initiatives pour renforcer les activités de coopération technique en élaborant de solides programmes destinés à améliorer les moyens scientifiques et techniques des pays en développement dans le domaine des applications pacifiques de l'énergie nucléaire et réaliser un développement durable. La seconde exprime la préoccupation que suscite la diminution des promesses de contribution et des versements au Fonds d'assistance et de coopération techniques de l'AIEA et prie le Conseil des gouverneurs de constituer à nouveau un groupe de travail officieux ouvert à tous les Etats Membres pour étudier le financement de l'assistance technique.

Assistance technique au Moyen-Orient.

La Conférence a décidé de rétablir l'assistance technique à Israël en souhaitant une coopération plus étroite de ce pays aux activités de l'Agence conformément au Statut et aux objectifs de celle-ci. (La fourniture d'assistance technique à Israël était suspendue depuis 1981 en vertu d'une résolution de la Conférence.) En outre, vu l'accord du Caire du

4 mai dernier entre l'OLP et Israël, elle a confié au Conseil des gouverneurs le soin de déterminer, avec l'aide de son comité de l'assistance technique, quels projets d'assistance technique pourraient être entrepris dans les territoires sous juridiction palestinienne avec la collaboration des organisations internationales compétentes.

Gestion des déchets radioactifs.

Les Etats Membres ont adopté une résolution qui souligne la nécessité vitale pour l'AIEA de promouvoir, coordonner et renforcer la coopération internationale en matière de gestion des déchets radioactifs, invite le Conseil des gouverneurs et le Directeur général à engager les préparatifs en vue d'une convention internationale sur la gestion des déchets et à collecter l'information requise pour la rédaction de cette convention, et recommande de développer les activités de l'AIEA destinées à aider les Etats Membres, notamment les pays en développement, à renforcer leurs infrastructures de gestion des déchets, et d'envisager de nouvelles mesures pour resserrer la coopération mondiale et faciliter l'évaluation de l'impact des déchets évacués sur terre et en mer.

Production et ressources d'eau. Cette question a fait l'objet de deux résolutions. La première concerne un plan de production économique d'eau potable. Prenant note de l'intérêt que portent plusieurs pays aux travaux relatifs au dessalement de l'eau de mer à l'aide de l'énergie nucléaire, et des conclusions d'un groupe consultatif quant à la nécessité de définir les options et de choisir les installations de démonstration, elle demande aux Etats Membres qui le peuvent de fournir des

Le Conseil des gouverneurs de l'AIEA de 1994-1995

Le Conseil des gouverneurs de l'AIEA nouvellement constitué pour 1994-1995 a élu président M.R. Chidambaram (Inde) pour succéder à l'ambassadeur Ronald Alfred Walker (Australie). M.R. Chidambaram est président de la Commission indienne de l'énergie atomique. Poursuivant son éminente carrière, il est aussi, actuellement, président de la Nuclear Power Corporation of India Ltd, du Conseil des gouverneurs de l'Institut indien de technologie, vice-président de l'Académie des sciences de l'Inde, et professeur honoraire au Centre Jawaharlal Nehru de hautes études scientifiques.

Ont été élus vice-présidents M. Yalçın Sanalan, président de l'Autorité nationale de l'énergie atomique de Turquie, et M. Nikolai Aleksandrovich Shteinberg, président du Comité d'Etat ukrainien de la sûreté nucléaire et radiologique.

Les 35 membres du Conseil pour 1994-1995 sont les suivants: Algérie, Allemagne, Argentine, Australie, Brésil, Canada, Chine, Colombie, Cuba, Egypte, Espagne, Etats-Unis d'Amérique, Ethiopie, Fédération de Russie, Finlande, France, Ghana, Inde, Indonésie, Irlande, Japon, Liban, Maroc, Mexique, Pakistan, Philippines, Pologne, République slovaque, Royaume-Uni, Suisse, Thaïlande, Tunisie, Turquie, Ukraine et Uruguay.



M. Chidambaram
(Inde), président
du Conseil
des gouverneurs
de l'AIEA
pour 1994-1995.
(Photo: Pavlicek, AIEA)

services d'experts et des ressources extrabudgétaires à l'appui de ces travaux. Elle prie en outre le Directeur général d'engager des consultations avec les Etats intéressés et les organisations internationales compétentes, appartenant ou non à la famille des Nations Unies, au sujet du dessalement. La seconde résolution concerne l'application généralisée de l'hydrologie isotopique à la gestion des ressources d'eau, en rappelant sa grande utilité pour l'étude des processus intervenant dans l'alimentation des eaux souterraines, la salinité, l'infiltration et la pollution, par exemple. Elle prie le Directeur général de consacrer les compétences et les ressources dont l'AIEA dispose à quelques projets concrets et impératifs qui pourraient améliorer manifestement la gestion des ressources d'eau grâce aux techniques isotopiques, et prie instamment l'AIEA de coopérer avec d'autres organisations internationales compétentes en leur demandant de collaborer à ces projets.

Pendant la Conférence générale de l'AIEA, une exposition a été organisée à l'occasion du 30ème anniversaire de la Division mixte FAO/AIEA.

M. M. Maluszynski et M. J. Richards (à gauche), en qualité de scientifiques, ont éclairé certains points à l'intention du Directeur général de l'AIEA, M. Hans Blix (au centre) et du Directeur général de la FAO, M. J. Diouf (troisième à partir de la droite).

Etaient également présents M. B. Sigurbjoernsson, directeur de la Division mixte FAO/AIEA (deuxième à partir de la droite) et M. Sueo Machi, directeur général adjoint de l'AIEA chargé de la recherche et des isotopes.

(Photo: Pavlicek, AIEA)

Ressources budgétaires et extrabudgétaires de l'AIEA en 1995. La Conférence approuve un budget de 211,5 millions de dollars pour 1995, soit une croissance nulle en termes réels, ainsi qu'un objectif de 61,5 millions de dollars pour le Fonds d'assistance et de coopération techniques de l'AIEA pour ce même exercice.

Personnel du Secrétariat de l'AIEA.

Deux résolutions ont été adoptées. La première prend note des mesures en cours et demande au Directeur général d'augmenter, avec l'aide des Etats Membres, le nombre des fonctionnaires originaires des pays en développement, en particulier au niveau des cadres et des décideurs, la seconde, de corriger l'insuffisante représentation des femmes dans la catégorie des administrateurs et dans les catégories supérieures, au niveau des cadres et des décideurs ainsi qu'aux postes exigeant des qualifications scientifiques et techniques, sans oublier les pays en développement.

Sûreté nucléaire et radioprotection.

La Conférence a pris note de plusieurs rapports sur les activités de l'AIEA visant à améliorer la sûreté nucléaire et la radioprotection. Les mesures prises concernent l'application des conventions internationales, dont celle sur la sûreté nucléaire ouverte à la signature pendant la Conférence, la fourniture de services en matière de sûreté, la préparation de normes de sûreté, en particulier les normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnement, récemment adoptées, la promotion de l'enseignement et de la formation, la fourniture



d'assistance technique, pour la sûreté des centrales nucléaires des pays d'Europe orientale et de l'ex-Union soviétique, et les principes de sûreté applicables aux centrales nucléaires de l'avenir.

Ne pas oublier d'y ajouter l'examen par un comité permanent des questions de responsabilité civile en matière de dommages nucléaires.

Transport aérien de matières nucléaires

Des experts de 17 Etats Membres de l'AIEA et de trois organisations internationales se sont récemment réunis à Vienne pour examiner un projet de dispositions réglementaires relatif au transport aérien de certains types de matières radioactives. Ils ont étudié un projet de document technique devant faciliter l'élaboration de spécifications concernant un nouveau type d'emballage qui sera exigé pour le transport aérien de matières radioactives en quantités excédant un certain seuil. L'intention est d'inclure ces dispositions dans la révision de 1996 du Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA.

Les experts se sont mis d'accord sur la plupart des essais obligatoires prévus pour les nouveaux emballages qui seront dénommés du type C. Les essais prévus sont les suivants: une épreuve de résistance à la collision à une vitesse d'au moins 85 mètres par seconde (dans la plupart des accidents d'avion, la vitesse d'impact est généralement inférieure); une épreuve de feu à une température de 800°C pendant une heure; une épreuve

d'immersion à 200 m de profondeur, pour la récupération du colis en cas de chute dans les eaux de la plate-forme continentale; une épreuve de perforation/déchirure et, enfin, une épreuve d'écrasement. Les critères proposés sont en partie complémentaires et de toute façon plus exigeants que ceux appliqués aux autres modèles d'emballage, étant donné les contraintes mécaniques et thermiques supérieures qu'implique un accident d'avion.

Le Règlement de transport de l'AIEA est depuis longtemps le fondement de la réglementation nationale et internationale de matières radioactives par la route et le rail, par avion et par bateau. Il est constamment revu pour déceler les points à améliorer. En ce qui concerne le transport par avion, il s'agit de limiter la probabilité de graves conséquences radiologiques en cas d'accident d'un aéronef transportant des colis de matières radioactives, de faciliter la planification et d'assurer la récupération du colis.

Application des rayonnements en médecine

A mesure que de nouveaux pays ont recours à l'irradiation pour stériliser des tissus, du sang et d'autres produits médicaux, la nécessité d'une synthèse internationale des connaissances sur cette technologie devient plus évidente. Lors de la troisième conférence européenne sur les banques de tissus et les applications cliniques des greffes, les spécialistes ont examiné les aspects juridiques et éthiques de la question, ainsi que les problèmes de normalisation et d'assurance de la qualité. Réunie à Vienne du 4 au 7 octobre 1994, cette conférence était organisée par l'Association européenne des banques de tissus (AEBT), en collaboration avec l'AIEA, l'Association américaine et l'Association Asie-Pacifique des banques de tissus.

Les réunions scientifiques ont porté sur une série de questions techniques, sur les normes générales applicables aux banques de tissus et sur

les règles d'éthique proposées par l'AEBT en vue de leur harmonisation au sein de l'Europe. Le programme de l'AIEA sur la radiostérilisation des tissus a également fait l'objet d'un exposé. Il a mené à la création de banques de tissus dans 13 pays d'Asie et du Pacifique, tandis que d'autres banques vont voir le jour en Afrique et en Amérique du Sud. Pour encourager le progrès, l'Agence s'est assurée l'appui des principales associations mondiales spécialisées dans cette technologie. La conférence s'est également occupée des techniques de radiostérilisation des fournitures médicales emballées et de produits connexes. Dans le monde, plus de 40% de ces articles sont actuellement radiostérilisés, a-t-on dit; 180 irradiateurs gamma et environ 20 accélérateurs à faisceau d'électrons sont aujourd'hui en service.

Les problèmes de sûreté, d'ingénierie et d'environnement liés au stockage du combustible épuisé ont été examinés par un colloque international de l'AIEA réuni à Vienne du 10 au 14 octobre 1994. Le colloque a passé en revue les solutions nationales adoptées pour le stockage du combustible épuisé, le choix des différentes options technologiques ainsi que la planification, la conception et le choix du site des installations. La totalité du combustible irradié accumulé dans le monde à la fin de 1993 représentait 140 000 tonnes de métaux lourds et, selon les prévisions, pourrait atteindre 330 000 tonnes en 2010. Vu qu'une partie de ce combustible sera retraitée, la quantité à stocker à cette date sera de quelque 215 000 tonnes, soit plus

de deux fois la quantité actuelle. La nécessité de résoudre les problèmes de stockage se fait plus urgente dans de nombreux pays.

Le combustible épuisé peut être stocké sans danger pendant de longues périodes et, dans certains pays, il en existe des dépôts qui datent de plus de 30 ans. Le colloque a confirmé l'opinion scientifique générale que les techniques actuelles assurent une protection suffisante du public et de l'environnement et l'on continue d'étudier les possibilités de réduire encore le risque et d'améliorer le degré de sûreté radiologique. Plus de 120 participants de 34 pays et de quatre organisations internationales ont assisté à ce colloque.

Colloque sur le stockage du combustible épuisé

Une grande conférence internationale sur les rayonnements et la société s'est réunie pendant une semaine à Paris à la fin d'octobre dernier. Elle était organisée par l'AIEA à l'invitation de la France et en collaboration avec l'Institut français de protection et de sûreté nucléaire. Elle a eu lieu dans le nouveau centre de conférences du Louvre.

Quelque 400 participants intéressés — hauts fonctionnaires, experts nucléaires et représentants des médias — de 51 pays et neuf organisations internationales y ont participé. Ils ont examiné un certain nombre de monographies portant sur l'héritage de l'armement nucléaire, les foyers de cancer et de leucémie, l'évacuation des déchets radioactifs et l'environnement, ainsi que les effets pathogènes de l'accident de Tchernobyl. Ils ont aussi étudié divers aspects de l'interaction entre

l'avis des experts, l'opinion publique, l'attitude des médias et le processus de décision.

Les séances techniques ont abordé diverses questions, dont l'évaluation des niveaux de radioexposition et des effets pathogènes de l'irradiation, l'influence des rayonnements sur l'environnement, la perception du risque radiologique et la gestion de ce risque. Des réunions spéciales pour les médias et les décideurs ont examiné les problèmes de communication relatifs aux risques radiologiques et discuté des études de cas controversées.

Pour plus de renseignements, s'adresser à la Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA ou au Service des relations publiques de l'IPSN, à Paris (France) (téléphone 33-1-46-5486-38, ou facsimilé 33-1-46-5484-51).

Conférence sur les rayonnements et la société

Des représentants d'Etats Membres de l'AIEA ont récemment assisté à une réunion d'information sur l'état d'avancement du programme d'amélioration des infrastructures de radioprotection, de sûreté nucléaire et de gestion des déchets radioactifs dans les pays de l'ex-URSS. Ce programme progressif a été lancé en 1993 par l'AIEA et le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et prévoit un échange d'informations et la préparation de projets intégrés d'assistance par pays et leur exécution.

Il en est à son deuxième stade qui porte essentiellement sur les projets d'assistance mis au point pour huit pays de l'ex-URSS: Bélarus, Estonie, Kazakhstan, Kirghizistan, Lettonie, Lituanie, Mol-

dova et Ouzbékistan. Ces projets sont fondés sur les renseignements recueillis à ce jour par le forum réuni à Vienne du 4 au 7 mai 1993 et par des missions d'experts, ou communiqués par des experts locaux. Ils visent à renforcer le cadre législatif et les services de réglementation de ces pays, à en améliorer le fonctionnement, à consolider les moyens nationaux de mobilisation et de gestion des ressources extérieures, et à informer et à rassurer le public.

On cherche actuellement des ressources financières supplémentaires pour passer au stade de la mise en œuvre. Pour plus de renseignements, s'adresser à la Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA.

Renforcement des infrastructures de radioprotection

Croatie: Collaboration avec l'AIEA

L'AIEA a inauguré le Laboratoire de micro-analyse nucléaire de l'Institut Ruder Boskovic, en Croatie, qui fait désormais partie de ses laboratoires associés pour les techniques analytiques basées sur accélérateur. Elle peut ainsi fournir des services analytiques de pointe et une formation correspondante en rapport avec plusieurs de ses programmes.

Un dispositif analyseur a été monté sur la trajectoire du faisceau de l'accélérateur Van de Graaf en service. L'AIEA pourra l'utiliser gratuitement, ainsi que les installations annexes, notamment pour la préparation des échantillons, et le laboratoire d'électronique. De même en ce qui concerne la microsonde protonique montée sur le même accélérateur utilisée pour le report des concentrations d'éléments sur une échelle micrométrique. L'analyseur est également à la disposition des scientifiques des Etats Membres de l'AIEA et de leurs institutions qui souhaitent procéder à des analyses de pointe. En outre, une formation à l'emploi et à la maintenance des accélérateurs peut être offerte aux pays en développement qui possèdent de telles installations. Ce matériel se prête à l'analyse de la pollution atmosphérique et d'échantillons de l'environnement comportant plusieurs éléments, à des travaux médicaux et biologiques, à l'analyse de l'état solide et de matériaux ainsi qu'à la recherche en agronomie.

Argentine: Cours de formation nucléaire

L'Argentine a accueilli un cours interrégional de l'AIEA, du 31 octobre au 2 décembre 1994, sur l'assurance de la qualité de l'exploitation des centrales nucléaires. Trente participants de 12 pays y ont assisté. Il visait à faire connaître les méthodes et techniques actuelles qui garantissent la sûreté et la fiabilité des centrales nucléaires. Les cours étaient donnés par des experts d'Argentine, d'Espagne, des Etats-Unis, de France, du Mexique, du Royaume-Uni et de l'AIEA.

Ukraine: Signature d'un accord de garanties

Un accord de garanties généralisées entre l'AIEA et l'Ukraine a été signé au Siège de l'Agence le 28 septembre 1994, par M. Hans Blix au nom de l'AIEA et M. Nikolai A. Shteinberg, président du Comité d'Etat ukrainien sur la sûreté nucléaire et la radioprotection, au nom de l'Ukraine. Il avait été approuvé en septembre dernier par le Conseil des gouverneurs de l'AIEA. Il s'applique à toutes les matières nucléaires dans toutes les activités

nucléaires pacifiques sur le territoire de l'Ukraine, sous sa juridiction ou sous son contrôle en quelque lieu que ce soit. Il entrera en vigueur dès que l'Ukraine aura notifié à l'AIEA que les formalités statutaires et constitutionnelles seront terminées. Il restera en vigueur jusqu'à son remplacement par un accord entre l'Ukraine et l'Agence prévoyant l'application de garanties dans le cadre du TNP.

Le Ministre des affaires étrangères d'Ukraine avait informé l'AIEA, en septembre 1992, que son pays se proposait d'adhérer au TNP en qualité d'Etat non doté d'armes nucléaires. Depuis lors, l'AIEA a pris les mesures nécessaires à l'application en Ukraine de garanties au titre du TNP, en organisant notamment des missions techniques pour procéder à des vérifications analogues à celles que prévoient les accords de garanties dans le cadre du TNP. Le 16 novembre 1994, le Parlement ukrainien a autorisé la signature du TNP.

Yémen: Nouveau membre de l'AIEA

La République du Yémen est devenue Membre de l'AIEA, le 14 octobre 1994, après le dépôt de son instrument d'acceptation du Statut. Sa demande avait été approuvée par la Conférence générale en 1991. Depuis novembre dernier, l'AIEA compte 122 Etats Membres.

Kazakhstan: Transfert aux Etats-Unis d'uranium fortement enrichi

L'AIEA a été informée vers la fin novembre dernier que de l'uranium fortement enrichi était transféré du Kazakhstan aux Etats-Unis où il sera inspecté au titre des garanties. L'Agence avait reçu un préavis du transfert. Le Kazakhstan est partie au TNP et a signé un accord de garanties avec l'AIEA qui prévoit des inspections.

Italie et Chine: Un scientifique chinois lauréat du prix du CIPT

Le Centre international de physique théorique de Trieste (Italie) a décerné son prix de 1994 en mathématiques, physique nucléaire, physique du plasma et autres domaines de la physique à M. Chao-Jiang Xu, de l'Université de Wuhou (Chine). Le prix consiste en une médaille, un diplôme et 1000 dollars. Cette distinction est attribuée chaque année pour récompenser des travaux exceptionnels et originaux en mathématiques et en physique. Les candidats doivent être ressortissants de pays en développement, y travailler et y résider.

Le Centre de Trieste a annoncé par ailleurs que l'on peut désormais se renseigner au sujet de ses

activités par l'intermédiaire des réseaux informatisés. Les utilisateurs du courrier électronique, par exemple, peuvent envoyer leurs messages à smr@ictp.trieste.it. Pour ceux qui préfèrent écrire directement, l'adresse postale normale du Centre est la suivante: B.P. 586, 34100 Trieste, Italie.

Canada: Atelier international de l'ASTM

À Québec se réunira du 1er au 6 octobre 1995 le troisième atelier international de dosimétrie pour le radiotraitement organisé par l'American Society for Testing and Materials (ASTM). Sont prévues des séances de travaux pratiques au Centre canadien d'irradiation et des conférences par des spécialistes de renommée mondiale. Parmi les participants, on attend des exploitants d'irradiateurs, du personnel de services d'assurance de la qualité, des chercheurs, des fournisseurs de dosimètres, des fabricants de matériel médical et des représentants de l'industrie alimentaire. Pour plus de renseignements, s'adresser à M. John Rickey, Far West Technology, Inc. 330 D S. Kellogg, Goleta, CA 93117 USA. Fax: 805-964-3162.

Japon: Séminaire de radiothérapie

Des scientifiques japonais ont commencé à se servir, à des fins cliniques, du premier accélérateur d'ions lourds du monde, le HIMAC, plus spécialement en radiothérapie du cancer.

Des mémoires scientifiques exposant l'étude et la réalisation de cet appareil et ses applications cliniques ont été présentés en novembre 1994 au Séminaire international sur les applications des accélérateurs d'ions lourds en radiothérapie du cancer. Ce séminaire, auquel ont assisté 160 spécialistes de 19 pays, était organisé par l'Institut national des sciences radiologiques (INSR) de Chiba (Japon) en collaboration avec l'AIEA. Parallèlement, l'AIEA a réuni un groupe de consultants chargé de lui faire des recommandations quant à ses activités futures en ce qui concerne l'application des particules lourdes chargées au traitement du cancer.

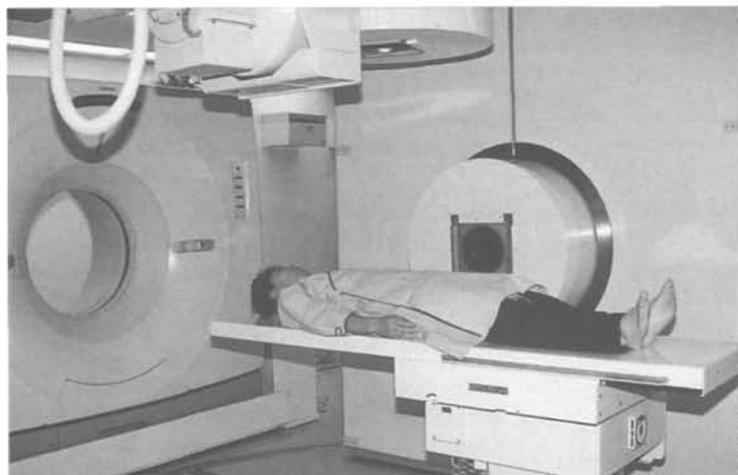
Les séances techniques du séminaire ont porté sur les questions suivantes: radiothérapie du cancer à l'aide de particules, production du faisceau de particules et radiodosimétrie; planification du traitement; rôle de la biologie expérimentale en radiothérapie; résultats cliniques et plans de traitement de certaines tumeurs chez l'être humain. On a beaucoup parlé des caractéristiques à retenir pour les installations à venir. Les participants ont souligné la nécessité d'activer la coopération internationale en la matière, en ce qui concerne notamment la recherche sur la physique et les effets

biologiques des particules lourdes chargées et l'intercomparaison des résultats cliniques afin d'améliorer l'efficacité et la sûreté de la radiothérapie du cancer. Répondant aux vœux exprimés pendant le séminaire, l'Institut japonais a offert de mettre son HIMAC à la disposition de chercheurs internationaux et de radiothérapeutes traitants.

Autriche: Projet agronomique de l'IIAAS

L'Institut international d'analyse appliquée de systèmes (IIAAS), basé en Autriche, a entrepris un nouveau projet visant à mettre au point de nouvelles méthodes pour atténuer l'impact des métaux lourds toxiques sur la population et l'environnement. Bien que la qualité de l'air et de l'eau se soit beaucoup améliorée au cours des 20 dernières années, l'Institut constate en revanche que la qualité des sols s'est progressivement détériorée. La structure même des sols fait que les produits chimiques toxiques et autres matières organiques persistantes y séjournent plus longtemps que dans l'air ou dans l'eau. Le projet permettra d'étudier la situation dans diverses régions du monde en vue d'élaborer un modèle utilisable pour établir des directives et des méthodes efficaces de contrôle de la contamination des sols. Pour plus de renseignements, s'adresser à l'IIAAS, A-2361 Laxenburg, Autriche.

Salle de traitement de l'Institut national des sciences radiologiques de Chiba (Japon), promoteur de la radiothérapie tridimensionnelle du cancer à l'aide des ions lourds produits par l'accélérateur HIMAC. (Photo: INSR)



VIEILLISSEMENT DES CENTRALES

NUCLEAIRES. Quelque 47 techniciens de 20 Etats Membres se sont réunis à Vienne du 5 au 9 septembre dernier pour examiner des projets de texte d'orientation sur l'évaluation et la gestion du vieillissement des principaux composants de centrales nucléaires, notamment: la cuve à pression des réacteurs, les éléments intérieurs de la cuve, les pressuriseurs et les tubulures du circuit primaire des réacteurs à eau sous pression; la cuve à pression, les éléments intérieurs de la cuve et les composants métalliques des réacteurs à eau bouillante; les tubes de force, les calandres et leurs supports, et les tubulures du circuit primaire des réacteurs CANDU; enfin, les générateurs de vapeur des réacteurs du type à eau sous pression et CANDU. Les textes devraient être au point vers le milieu de l'été 1995.

AIDE A LA GESTION DES DECHETS. La section de la gestion des déchets de l'AIEA a constitué une équipe spéciale chargée d'aider les pays en développement à améliorer leurs infrastructures de gestion des déchets. L'équipe assurera des services d'assistance directe et coordonnera les activités de coopération technique. Cette initiative a pour objet de répondre aux besoins croissants des pays en développement en matière d'assistance et d'appui technique dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.

COMMUNICATION NUCLEAIRE. Une nouvelle publication de la Division de l'AIEA chargée du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets traite des principaux aspects des activités et de l'information dans le domaine nucléaire. Sous le titre *Nuclear Communications: A Handbook for Guiding Good Communications Practices at Nuclear Fuel Cycle Facilities* (280 schillings autrichiens), l'ouvrage offre une documentation condensée aux professionnels du secteur et définit, en proposant des réponses, les principales questions que le public pourrait formuler au sujet des divers aspects du cycle du combustible nucléaire. Pour passer commande, voir la rubrique *Nouvelles publications* de ce *Bulletin*.

SURETE D'EXPLOITATION

DES CENTRALES NUCLEAIRES. Des missions dans les pays Membres de l'AIEA sont prévues en 1995 pour les équipes d'examen de la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires. Ces missions du programme OSART (Operational Safety Review Teams) devraient se rendre en 1995 dans les pays suivants: Kazakhstan, France, Japon, Ukraine, Lituanie, Argentine, Suède, Suisse et Royaume-Uni. Quant au programme d'évaluation

des événements significatifs pour la sûreté (ASSET), 11 missions pour 1995 ont été demandées dès décembre 1994, la première devant comporter un nouveau service ASSET, l'examen par des homologues des analyses de la sûreté des centrales effectuées selon les procédures ASSET. En 1995 aura lieu la 100ème mission de ce genre depuis la création du service. Pour plus de renseignements sur ces activités et autres services concernant la sûreté, s'adresser à la Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA.

ECHELLE INTERNATIONALE DES EVENEMENTS NUCLEAIRES.

Les responsables nationaux des pays participant à l'Echelle internationale des événements nucléaires de l'AIEA (INES) se sont réunis à Vienne vers la fin d'octobre dernier pour examiner le fonctionnement du système. Cette échelle sert à classer les événements significatifs pour la sûreté qui peuvent se produire dans les installations nucléaires, selon sept degrés de gravité. La réunion a constaté que le système s'avère efficace en ce qu'il facilite la compréhension et la notification rapide des événements, mais elle a relevé par ailleurs certaines incohérences parmi les pays participants dans l'application des méthodes et de la classification, problème qui doit être examiné en 1995. Cinquante-quatre pays collaborent au système d'information INES conçu par l'AIEA et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques et mis en œuvre dans le monde entier depuis 1992.

ETUDE DE L'OMS SUR LES ALIMENTS

IRRADIES. A l'issue d'une nouvelle étude approfondie, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) conclut que les denrées alimentaires irradiées produites conformément à de bonnes pratiques de fabrication peuvent être considérées comme salubres et acceptables au niveau nutritionnel. Intitulée *Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food*, cette étude est le recueil d'informations le plus complet que cette organisation ait jamais publié sur la question. Environ 40 pays ont autorisé l'irradiation de diverses denrées et, dans une trentaine d'entre eux, la technique est en partie commercialisée. Pour plus de renseignements, s'adresser à l'OMS, CH-1211 Genève 27, Suisse. Fax: 791-0746.

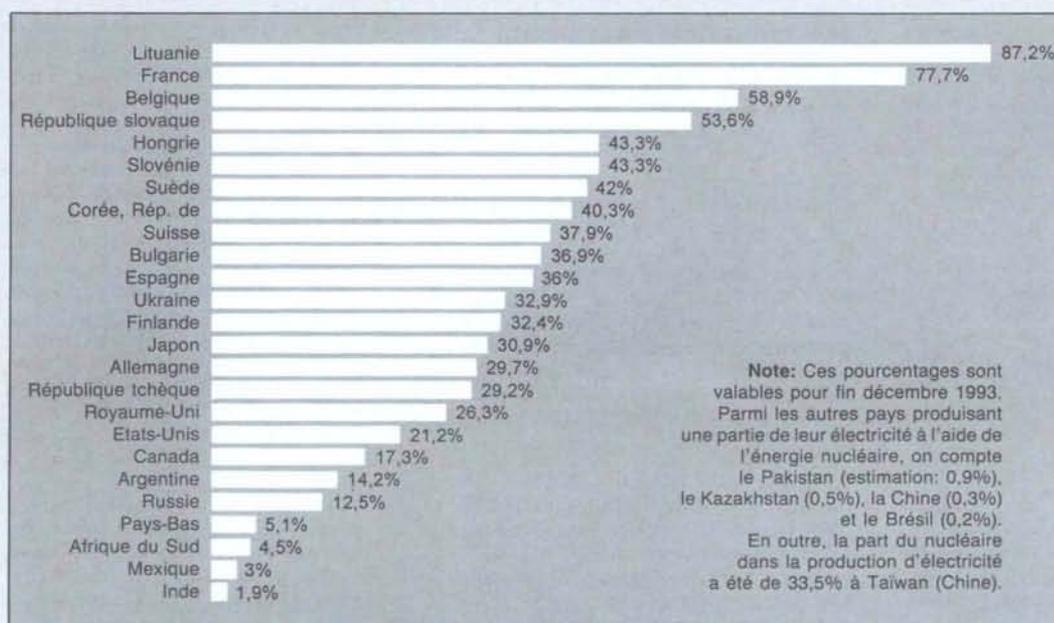
STATISTIQUES INTERNATIONALES

Situation de l'énergie nucléaire dans le monde

	En service		En construction	
	Nombre de tranches	Total MWe	Nombre de tranches	Total MWe
Afrique du Sud	2	1 842		
Allemagne	21	22 657		
Argentine	2	935	1	692
Belgique	7	5 527		
Brésil	1	626	1	1 245
Bulgarie	6	3 538		
Canada	22	15 755		
Chine	2	1 194	1	906
Corée, Rép. de	9	7 220	7	5 770
Cuba			2	816
Espagne	9	7 105		
Etats-Unis d'Amérique	109	98 784	2	2 330
Fédération de Russie	29	19 843	4	3 375
Finlande	4	2 310		
France	57	59 033	4	5 815
Hongrie	4	1 729		
Inde	9	1 593	5	1 010
Iran			2	2 392
Japon	48	38 029	6	5 645
Kazakhstan	1	70		
Lituanie	2	2 370		
Mexique	1	654	1	654
Pakistan	1	125	1	300
Pays-Bas	2	504		
République slovaque	4	1 632	4	1 552
République tchèque	4	1 648	2	1 824
Roumanie			5	3 155
Royaume-Uni	35	11 909	1	1 188
Slovénie	1	632		
Suède	12	10 002		
Suisse	5	2 985		
Ukraine	15	12 679	6	5 700
TOTAL*	430	337 820	55	44 369

*Ce total inclut Taïwan (Chine) où six réacteurs d'une puissance totale de 4890 MWe sont en service.

Part du nucléaire dans la production d'électricité de quelques pays



VACANCES DE POSTES

ANNONCEES A L'AIEA

CHEF DE LA SECTION DE LA GESTION (95/003), Département de l'administration. Poste P-5. Qualifications requises: diplôme universitaire supérieur en administration des entreprises ou dans un autre domaine pertinent. Au moins 15 ans d'expérience comme conseil en gestion ou expérience équivalente. Très bonne aptitude à faire des exposés et à communiquer, en particulier à rédiger en anglais. Expérience directe probante de la gestion.

Date limite pour la présentation des candidatures: 25 mai 1995.

CHIMISTE — Chimie analytique (95/004), Département de la recherche et des isotopes. Poste P-2. Qualifications requises: diplôme universitaire de chimie, particulièrement de chimie analytique, avec spécialisation dans les méthodes modernes d'analyse des éléments traces. Au moins deux ans d'études du niveau du troisième cycle ou d'expérience appropriée.

Date limite pour la présentation des candidatures: 25 mai 1995.

CHIMISTE INDUSTRIEL (95/005), Département de la recherche et des isotopes. Poste P-3. Qualifications requises: doctorat ou équivalent en chimie appliquée ou en radiochimie et au moins six ans d'expérience de la recherche ou d'expérience technique concernant les applications industrielles des isotopes, telles que les systèmes de contrôle nucléaire, la radiographie et les traceurs.

Date limite pour la présentation des candidatures: 25 mai 1995.

RADIOCHIMISTE SPECIALISTE DE L'ENVIRONNEMENT (95/006), Département de la recherche et des isotopes. Poste P-2. Qualifications requises: diplôme universitaire en chimie nucléaire ou en radiochimie avec au moins deux ans d'expérience dans le domaine de la radiochimie et/ou de l'analyse isotopique, notamment en ce qui concerne les actinides. Bonne connaissance des radionucléides utilisés comme traceurs et des techniques de séparation radiochimique ainsi que des méthodes instrumentales de mesure des radionucléides, y compris la spectrométrie alpha et gamma et la scintillation liquide.

Date limite pour la présentation des candidatures: 25 mai 1995.

EXPERT POUR LA REGION ASIE ET PACIFIQUE (95/701), Département de la recherche et des isotopes. Poste P-3. Qualifications requises: diplôme universitaire de médecine vétérinaire ou diplôme équivalent. Doctorat en reproduction ou en nutrition animales, ou dans un domaine très voisin. Six années d'expérience, au niveau national, de la recherche sur la production et la santé animales. Connaissance approfondie des techniques d'immunodosage (notamment RIA et ELISA). Connaissance des systèmes d'élevage sur de petites exploitations sous les tropiques.

Date limite pour la présentation des candidatures: 25 mai 1995.

SPECIALISTE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE/CHEF D'UNITE (95/007), Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires. Poste P-5. Qualifications requises: doctorat ou diplôme équivalent en génie nucléaire, chimique, mécanique ou métallurgie, en physique, en chimie ou en métallurgie. Quinze ans d'expérience au minimum dans le domaine de la performance et de la technologie du combustible, dont au moins cinq ans d'expérience probante à un poste de responsabilité.

Date limite pour la présentation des candidatures: 31 mai 1995.

MEDECIN (95/008), Département de l'administration. Poste P-4. Qualifications requises: être titulaire d'un diplôme de médecine et d'une autorisation valide de pratiquer la médecine. Dix ans d'expérience clinique diversifiée. Formation en médecine du travail et expérience dans ce domaine, ou l'équivalent.

Date limite pour la présentation des candidatures: 31 mai 1995.

CHEF D'UNITE (95/009), Département des garanties. Poste P-5. Qualifications requises: diplôme universitaire supérieur en chimie, en physique, en ingénierie, en électronique/instrumentation ou l'équivalent. Au moins 15 ans d'expérience de la recherche, des activités industrielles et des garanties dans les domaines suivants: cycle du combustible nucléaire, traitement des matières nucléaires, comptabilité des matières nucléaires et/ou analyse destructive/non destructive. Expérience des activités relatives aux garanties, notamment de la planification des inspections, de leur exécution, de l'analyse des données et de l'établissement de rapports d'inspection et de déclarations.

Date limite pour la présentation des candidatures: 31 mai 1995.

FONCTIONNAIRE CHARGE DE LA FORMATION (95/010), Département des garanties. Poste P-4. Qualifications requises: diplôme universitaire ou équivalent en sciences, administration ou enseignement dans le domaine nucléaire.

Dix ans d'expérience au minimum dans l'industrie nucléaire, dont au moins quatre en tant qu'inspecteur national ou international pour les garanties. Le candidat devra manifester une aptitude évidente à résoudre efficacement les problèmes pédagogiques dans les domaines techniques relatifs aux garanties et être capable de mettre en application les principes et les règles de base des garanties dans divers modules de cours.

Date limite pour la présentation des candidatures: 31 mai 1995.

EXPERT REGIONAL POUR UN PROJET DE COOPERATION TECHNIQUE (95/702), Département de la recherche et des isotopes. Poste P-4. Qualifications requises: diplôme universitaire supérieur en hydrologie, en géochimie ou dans un domaine connexe, et au moins dix

ans d'expérience dans le domaine de l'hydrologie isotopique et de la gestion de projets concernant l'hydrologie dans les régions arides et/ou semi-arides. Bonne connaissance des programmes de coopération technique de l'Agence dans les pays en développement.

Date limite pour la présentation des candidatures: 31 mai 1995.

NOTE:

Le *Bulletin de l'AIEA* publie de brefs résumés d'avis de vacances de postes à l'intention de ses lecteurs souhaitant se renseigner sur le genre de postes d'administrateurs qui sont à pourvoir à l'AIEA. Ces résumés ne constituent pas des avis officiels et ils sont susceptibles d'être modifiés. L'AIEA envoie fréquemment des avis de vacances aux organes gouvernementaux et organismes de ses Etats Membres (en général le ministère des affaires étrangères et l'autorité chargée de l'énergie atomique) ainsi qu'aux bureaux et centres d'information de l'Organisation des Nations Unies. Il est conseillé aux personnes intéressées par une éventuelle candidature de se tenir en rapport avec ces organismes. De plus amples renseignements sur les possibilités d'emploi à l'AIEA peuvent être obtenus en écrivant à la Division du personnel, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

SERVICES INFORMATIQUES CONNECTES

Les avis de vacances de postes d'administrateurs de l'AIEA de même que les notices personnelles sont désormais disponibles sur un réseau informatique mondial auquel on peut accéder directement par les services Internet. Ces avis de vacances ont été placés dans un répertoire public accessible par les services normaux de transfert de fichiers Internet. Pour utiliser ce service, connectez-vous à l'adresse INTERNET de l'Agence NESIRS01.IAEA.OR.AT (161.5.64.10), ouvrez une session en vous identifiant comme «anonymous» et tapez votre mot de passe utilisateur. Les vacances de postes sont dans le répertoire intitulé «pub/vacancy posts». Le fichier *README* contient des informations générales et le fichier *INDEX* un bref résumé de chaque vacance de poste. La notice personnelle de l'Agence ainsi que la brochure sur les conditions d'emploi sont également disponibles sous forme de fichiers qui peuvent être copiés. Veuillez noter que les candidatures ne sont pas transmises sur le réseau informatisé, car elles doivent être adressées par écrit à la Division du personnel de l'AIEA.

NOUVELLES PUBLICATIONS DE L'AIEA

Rapports et comptes rendus

Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-borne Parasites, Panel Proceedings Series, STI/PUB/933, ISBN 92-0-103193-9, 400 S (schillings autrichiens)

Measurement Assurance in Dosimetry, Collection Comptes rendus PUB/930, ISBN 92-0-100194-0, 1900 S

Advanced Nuclear Power Systems: Design, Technology, Safety and Strategies for their Deployment, Collection Comptes rendus PUB/931, ISBN 92-0-101894-0, 1520 S

Radiation and Society: Comprehending Radiation Risk, Collection Comptes rendus PUB/959, ISBN 92-0-102194-1, 640 S

International Nuclear Safeguards 1994: Vision for the Future, Collection Comptes rendus PUB/945, ISBN 92-0-101994-7, 2000 S

Classification of Radioactive Waste: A Safety Guide, Collection Sécurité, PUB/950, SS 111-G-1.1, ISBN 92-0-101194-6, 200 S

Compliance Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material, Collection Sécurité PUB/953, SS 112, ISBN 92-0-100394-3, 360 S

Siting of Geological Disposal Facilities: A Safety Guide, Collection Sécurité, PUB/952, SS 111-G-4.1, ISBN 92-0-101294-2, 180 S

Software Important to Safety in Nuclear Power Plants, DOC/10/367, TRS 367, ISBN 92-0-101594-1, 560 S

Ouvrages de référence/statistiques

IAEA Yearbook 1994, ISBN 92-0-102394-4, 500 S

Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates up to 2015, Données de référence n° 1, ISBN 92-0-102694-3 (IAEA-RDS-1/14)

Nuclear Power Reactors in the World, Données de référence n° 2, ISBN 92-0-101794-4 (IAEA-RDS-2/14)

Nuclear Research Reactors in the World, Données de référence n° 3, ISBN 92-0-103793-7

Radioactive Waste Management Glossary, ISBN 92-0-103493-8, 200 S

The Law and Practices of the International Atomic Energy Agency 1970-1980, Supplément n° 1 à l'édition de 1970 de la Collection juridique n° 7, Collection juridique n° 7-S1, ISBN 92-0-103693-0, 2000 S

LIEUX DE VENTE DES PUBLICATIONS DE L'AIEA

- **Pour le Canada et les Etats-Unis d'Amérique**, il existe un dépositaire exclusif des publications de l'AIEA, à qui toutes les commandes et demandes de renseignements doivent être adressées:

UNIPUB
4611-F Assembly Drive
Lanham
MD 20706-4391, USA

- **Dans les pays ci-après**, les publications de l'AIEA sont en vente chez les dépositaires ou libraires indiqués ou par l'intermédiaire des principales librairies locales (le paiement peut être effectué en monnaie locale ou en bons de l'UNESCO):

AFRIQUE DU SUD

Van Schaik Bookstore (Pty) Ltd.,
P.O. Box 724, Pretoria 0001

ALLEMAGNE

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags-GmbH,
Dag Hammarskjöld-Haus,
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn

ARGENTINE

Comisión Nacional de Energía Atómica,
Avenida del Libertador 8250,
RA-1429 Buenos Aires

AUSTRALIE

Hunter Publications, 58A Gipps Street,
Collingwood, Victoria 3066

BELGIQUE

Jean de Lannoy,
202, Avenue du Roi, B-1060 Bruxelles

CHILI

Comisión Chilena de Energía Nuclear,
Venta de Publicaciones,
Arunátegui 95, Casilla 188-D, Santiago

CHINE

Publications de l'AIEA en chinois:
China Nuclear Energy Industry Corporation,
Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing
Publications de l'AIEA en d'autres langues:
China National Publications
Import & Export Corporation,
Deutsche Abteilung, P.O. Box 88, Beijing

ESPAGNE

Díaz de Santos, Lagasca 95,
E-28006 Madrid
Díaz de Santos, Balmes 417,
E-08022 Barcelone

FEDERATION DE RUSSIE

Mezhdunarodnaya Kniga, Sovinkniga-EA,
Dimitrova 39, SU-113 095 Moscou

FRANCE

Office International de Documentation
et Librairie, 48, rue Gay-Lussac,
F-75240 Paris Cedex 05

HONGRIE

Librotrade Ltd., Book Import,
P.O. Box 126, H-1656 Budapest

ISRAEL

YOZMOT Literature Ltd.,
P.O. Box 56055, IL-61560 Tel Aviv

ITALIE

Libreria Scientifica
Dott. Lucio di Biasio «AEIOU»,
Via Coronelli 6, I-20146 Milan

JAPON

Maruzen Company, Ltd.,
P.O. Box 5050,
100-31 Tokyo International

MEXIQUE

Instituto Nacional de Investigaciones
Nucleares (ININ),
Centro de Información Nuclear,
Apdo. Postal 18-1027, Km. 36,5 Carretera,
México-Toluca, Salazar

PAYS-BAS

Martinus Nijhoff International,
P.O. Box 269, NL-2501 AX La Haye
Swets and Zeitlinger b.v.,
P.O. Box 830, NL-2610 SZ Lisse

POLOGNE

Ars Polona,
Foreign Trade Enterprise,
Krakowskie Przedmieście 7,
PL-00-068 Varsovie

REPUBLIQUE SLOVAQUE

Alfa Publishers,
Hurbanovo námestie 3,
SQ-815 89 Bratislava

ROYAUME-UNI

HMSO, Publications Centre,
Agency Section,
51 Nine Elms Lane, Londres SW8 5DR

SUEDE

Fritzes Information Centre,
S-106 47 Stockholm

Les commandes

**(sauf pour le Canada et les Etats-Unis)
et les demandes de renseignements
peuvent aussi être envoyées directement
à l'adresse suivante:**

Unité de la promotion et de la vente
des publications
Agence internationale de l'énergie atomique
Wagramerstrasse 5, B.P. 100,
A-1400 Vienne, Autriche

BASES DE DONNEES CONNECTEES

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE



Désignation
Système de documentation
sur les réacteurs de puissance
(PRIS)

Description
Répertoire technique

Producteur
Agence internationale de l'énergie atomique
en collaboration avec
29 de ses Etats membres

Service compétent
AIEA, Section du génie nucléaire,
B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone (43) (1) 2360, télex (1)-12645
Fac-similé +43 1 234564
Courrier électronique via
BITNET/INTERNET
ID: NES@IAEA1.IAEA.OR.AT

Domaine
Information mondiale sur les réacteurs
de puissance en exploitation,
en construction, en projet ou mis à l'arrêt
et données d'expérience sur
l'exploitation des centrales nucléaires
dans les Etats membres de l'AIEA.

Sujets traités
Etat du réacteur, désignation,
emplacement, type, constructeur,
fournisseur des turbo-alternateurs,
propriétaire et exploitant de la
centrale, puissance thermique, puissance
électrique brute et nette, date de mise en
chantier, date de la première criticité,
date de la première synchronisation avec
le réseau, exploitation industrielle,
date de la mise à l'arrêt, caractéristiques
du cœur du réacteur et renseignements
sur les systèmes de la centrale;
énergie produite, arrêts prévus et
imprévus, facteurs de disponibilité et
d'indisponibilité, facteur d'exploitation
et facteur de charge.



Désignation
Système international d'information
pour les sciences et
la technologie agricoles
(AGRIS)

Description
Bibliographie

Producteur
Organisation des Nations Unies pour
l'alimentation et l'agriculture (FAO)
en collaboration avec
172 centres régionaux,
nationaux et internationaux d'AGRIS

Service compétent
Poste de traitement d'AGRIS
c/o AIEA, B.P. 100,
A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone (43) (1) 2360, télex (1)-12645
Fac-similé +43 1 234564
Courrier électronique via
BITNET/INTERNET
ID: FAS@IAEA1.IAEA.OR.AT

**Nombre d'enregistrements accessibles
depuis janvier 1993**
plus de 130 000

Domaine
Information mondiale sur les sciences
et la technologie agricoles, y compris
la foresterie, la pêche et la nutrition.

Sujets traités
Agriculture en général; géographie et
histoire; enseignement, vulgarisation et
information; administration et
léislation; économie agricole;
développement et sociologie rurale;
phytotechnie, zootechnie et production
végétale et animale; protection
phytosanitaire; technologie post-récolte;
pêche et aquaculture; machines et génie
agricoles; ressources naturelles;
traitement des produits agricoles;
nutrition humaine; pollution;
méthodologie.



Désignation
Système de documentation
sur les constantes nucléaires
(NDIS)

Description
Données numériques et bibliographiques

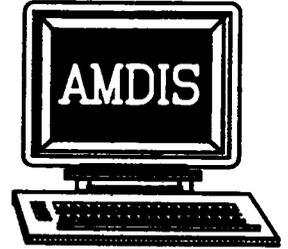
Producteur
Agence internationale de l'énergie atomique
en collaboration avec
le Nuclear Data Centre
du Laboratoire national
de Brookhaven (Etats-Unis),
la Banque de constantes nucléaires
de l'Agence pour l'énergie nucléaire
de l'Organisation de coopération et
de développement économiques à Paris,
et un réseau de 22 autres centres de
constantes nucléaires dans le monde

Service compétent
AIEA, Section des constantes nucléaires
B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone (43) (1) 2360, télex (1)-12645
Fac-similé +43 1 234564
Courrier électronique via
BITNET/INTERNET
ID: RNDS@IAEA1.IAEA.OR.AT

Domaine
Fichier de constantes
de physique nucléaire numériques
décrivant l'interaction des rayonnements
avec la matière, et renseignements
bibliographiques connexes.

Sujets traités
Constantes évaluées de
réactions neutroniques en ENDF;
constantes expérimentales de réactions
nucléaires en EXFOR, pour les réactions
produites par les neutrons, les particules
chargées, ou les photons; périodes
nucléaires et constantes de désintégration
radioactive dans les systèmes NUDAT
et ENSDF; renseignements
bibliographiques connexes tirés des bases
de données de l'AIEA, CINDA et NSR;
divers autres types de données.

*Note: L'information NDIS recherchée
en mode non connecté peut aussi être obtenue
du producteur sur bande magnétique.*



Désignation
Système de documentation
sur les constantes
atomiques et moléculaires
(AMDIS)

Description
Données numériques et bibliographiques

Producteur
Agence internationale de l'énergie atomique
en collaboration avec
le réseau international des centres
de constantes nucléaires et moléculaires,
qui regroupe 16 centres de constantes
nationaux

Service compétent
Unité de constantes atomiques
et moléculaires, Section
des constantes nucléaires de l'AIEA
Courrier électronique via
BITNET à RNDS@IAEA1;
ou via INTERNET
ID: PSM@RIPCRS01.IAEA.OR.AT

Domaine
Données atomiques et moléculaires
et données sur l'interaction plasma-surface,
ainsi que sur les propriétés des matériaux
intéressants du point de vue de la recherche
et de la technologie relatives à la fusion

Sujets traités
Données au format ALADDIN relatives
à la structure atomique et aux spectres
(niveaux d'énergie, longueurs d'onde
et probabilités de transition); collisions
d'électrons et de particules lourdes avec
des atomes, des ions et des molécules
(sections efficaces et/ou coefficients
de vitesse, y compris, dans la plupart des cas,
ajustement analytique avec les données);
érosion superficielle par impact
des principaux composants du plasma
et auto-érosion; réflexion de particules
sur les surfaces; propriétés thermophysiques
et thermomécaniques du béryllium
et des graphites pyrolytiques.

*Note: Le résultat des recherches effectuées
en mode déconnecté peut être obtenu
du producteur sur disquette, sur bande
magnétique ou sous forme imprimée.
Le logiciel ALADDIN et son manuel
d'utilisation sont également disponibles
auprès du producteur.*

Pour accéder à ces bases de données, s'adresser aux producteurs.
L'information peut également être fournie par le producteur sous forme imprimée, à titre onéreux.
INIS et AGRIS sont également disponibles sur CD-ROM.



Désignation

Système international
de documentation nucléaire
(INIS)

Description

Bibliographie

Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique
en collaboration avec
87 de ses Etats membres et
16 autres organisations participantes

Service compétent

AIEA, Section de l'INIS,
B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone (43) (1) 2360, télex (1)-12645
Fac-similé +43 1 234564
Courrier électronique via
BITNET/INTERNET
ID: ATIEH@NEPO1.IAEA.OR.AT

Nombre d'enregistrements accessibles

depuis janvier 1976
plus de 1 500 000

Domaine

Information mondiale sur les appli-
cations pacifiques de la science et de la
technologie nucléaires, ainsi que sur les
aspects économiques et environ-
nementaux de toutes les autres
sources d'énergie.

Sujets traités

Essentiellement: réacteurs nucléaires,
sûreté des réacteurs, fusion nucléaire,
application des rayonnements ou des
isotopes en médecine, en agriculture,
dans l'industrie, dans la lutte contre
les ravageurs, ainsi que dans des
domaines connexes tels que la chimie
nucléaire, la physique nucléaire et la
science des matériaux.

Plus spécialement: effets environnementaux,
économiques et sanitaires de l'énergie
nucléaire et, depuis 1992,
incidences économiques et
environnementales des sources
d'énergie non nucléaires.
Aspects juridiques et sociaux
de ces diverses questions.

INIS

ON CD-ROM



The IAEA's
nuclear science
and
technology
database on
CD-ROM

5000 JOURNALS

1.5 MILLION RECORDS

6 COMPACT DISCS

INIS (the International Nuclear Information System) is a multi-disciplinary, bibliographic database covering all aspects of the peaceful uses of nuclear science and technology. INIS on CD-ROM combines the worldwide coverage of the nuclear literature with all the advantages of compact disc technology.

Call +44 (0)81 995 8242 TODAY!

*for further information
and details of your local distributor*

or write to

SilverPlatter Information Ltd.
10 Barley Mow Passage, Chiswick, London,
W4 4PH, U.K.

Tel: 0800 262 096 +44 (0)81 995 8242
Fax: +44 (0)81 995 5159

CD-ROM means

- ◆ unlimited easy access
- ◆ fast, dynamic searching
- ◆ fixed annual cost
- ◆ flexible downloading and printing
- ◆ desktop access
- ◆ easy storage
- ◆ saving time, space and money





Amélioration de la productivité du bétail ruminant des pays en développement par l'intermédiaire de la radio-immunoanalyse à base de progestérones visant à relever le rendement et la qualité des services d'insémination artificielle

Améliorer la qualité des services d'insémination artificielle dans les pays en développement en déterminant les causes des faibles rendements et en procédant aux rectifications nécessaires pour y remédier. Le programme permettra d'améliorer la formation et le perfectionnement des techniciens de l'insémination artificielle, d'apprendre aux fermiers à reconnaître les signes du cycle œstral et de leur enseigner de meilleures pratiques d'élevage.

Amélioration du diagnostic et du traitement de la fièvre aphteuse en Asie du Sud-Est à l'aide des techniques fondées sur ELISA

Renforcer les moyens dont disposent les services vétérinaires nationaux d'Asie pour qu'ils puissent lutter plus efficacement contre la fièvre aphteuse, en les équipant pour l'emploi des méthodes de diagnostic et de surveillance basés sur la méthode ELISA.

Essai clinique aléatoire de radiothérapie avec administration de mitomycine C pour traiter les tumeurs de la tête et du cou à un stade avancé

Renforcer l'action de la radiothérapie et améliorer ainsi les taux de guérison et de survie, afin d'enrichir la compétence des participants et d'encourager l'emploi de cette approche plurimodale dans la pratique oncologique, en particulier dans les pays en développement.

Application des techniques isotopiques à l'étude de la pollution des eaux souterraines

Mettre au point des méthodes de surveillance afin de faciliter la planification, la décision et la gestion en matière d'utilisation des ressources d'eau.

La radioprotection en radiologie diagnostique pour l'Asie et l'Extrême-Orient

Acquérir une information détaillée sur les doses collectives dans les pays participants par intercomparaison de ces doses parmi ces pays, et déterminer les améliorations prioritaires au niveau national.

Surveillance continue, à haute température, de la chimie de l'eau et de la corrosion (WACOL)

Formuler des recommandations pour l'application de mesures visant l'étude, la spécification et l'application effective de méthodes et de matériels pour la surveillance en continu des paramètres importants de la chimie de l'eau, dans toutes les conditions d'exploitation.

Emploi des boues d'épuration irradiées pour fertiliser les sols, améliorer les rendements et protéger l'environnement

Etudier des méthodes en vue d'une utilisation efficace des boues d'épuration décontaminées comme engrais organique pour améliorer et entretenir la fertilité des sols et les récoltes.

Amélioration de cultures industrielles nouvelles et traditionnelles par mutations induites et biotechniques apparentées

Etudier des méthodes mutagènes pour obtenir de nouvelles espèces et renforcer les techniques de sélection dans l'intérêt de l'agriculture et de l'industrie, provoquer des mutations modifiant la composition ou la qualité du produit et diversifier les options agricoles afin de rationaliser de façon durable la rotation des cultures.

MARS 1995

Colloque sur les isotopes dans la gestion des ressources en eau,
Vienne (Autriche) (20-24 mars)

AVRIL 1995

Séminaire FAO/AIEA pour l'Afrique sur la trypanosomiase animale: lutte contre le vecteur et la maladie à l'aide de techniques nucléaires, **Tanzanie** (3-7 avril)

MAI 1995

Colloque sur l'impact environnemental des rejets radioactifs,
Vienne (Autriche) (8-12 mai)

Séminaire sur la gestion des réacteurs de recherche anciens,
Hambourg (Allemagne) (8-12 mai)

JUIN 1995

Colloque sur l'amélioration des récoltes,
Vienne (Autriche) (19-23 juin)

AOÛT 1995

Colloque sur la tomographie en médecine nucléaire: situation actuelle et perspectives futures,
Vienne (Autriche) (21-25 août)

Séminaire sur les progrès de la mise en œuvre des nouvelles Normes fondamentales de radioprotection (expérience acquise lors de l'application des recommandations de 1990 de la CIPR),
Vienne (Autriche) (14-18 août)

Séminaire sur les conditions d'une gestion sûre des déchets radioactifs,
Vienne (Autriche)
(28 août-1er septembre)

SEPTEMBRE 1995

Conférence internationale sur les progrès de la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires,
Vienne (Autriche) (4-8 septembre)

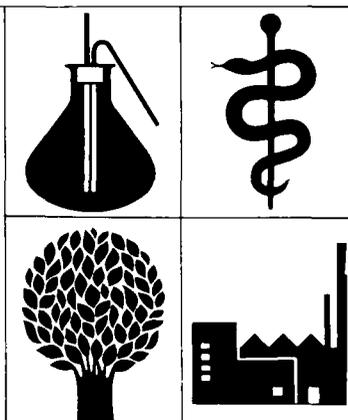
OCTOBRE 1995

Colloque international sur l'électricité, la santé et l'environnement: l'évaluation comparative au service des décideurs,
Stockholm (Suède) (23-27 octobre)

NOVEMBRE 1995

Séminaire régional pour l'Asie et le Pacifique sur la dosimétrie des rayonnements: la dose de rayonnement en radiothérapie, de la prescription à l'administration,
Bangkok (Thaïlande) (27-28 novembre)

La liste ci-dessus est sélective et provisoire. Pour tous renseignements complémentaires s'adresser à la Section des services de séances de l'AIEA, au Siège de l'Organisation à Vienne ou se reporter à la publication trimestrielle de l'AIEA intitulée **Meetings on Atomic Energy** (pour passer commande, voir la rubrique *Nouvelles publications de l'AIEA*). Des précisions sur les programmes de recherche coordonnée peuvent être obtenues auprès de la Section de l'administration des contrats de recherche, au Siège de l'AIEA. Les programmes visent à faciliter la coopération mondiale dans divers domaines scientifiques et techniques, concernant aussi bien les applications médicales, agronomiques et industrielles des rayonnements que la technologie et la sûreté du secteur nucléo-électrique.



AIEA  **AIEA**
BULLETIN **ETATS MEMBRES**

Publication trimestrielle de la Division de l'information de l'Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche)
Tel.: (43-1) 2360-1270
Télécopie: (43-1) 234564

DIRECTEUR GENERAL: M. Hans Blix
DIRECTEURS GENERAUX ADJOINTS:
M. David Waller, M. Bruno Pellaud,
M. Boris Semenov, M. Sueo Machi,
M. Jihui Qian
DIRECTEUR, DIVISION DE L'INFORMATION:
M. David Kyd

REDACTEUR EN CHEF: M. Lothar H. Wedekind
SECRETAIRES DE REDACTION:

M. Rodolfo Quevenco, Mme Juanita Pérez,
Mme Brenda Blann

MISE EN PAGE/CONCEPTION:

Mme Hannelore Wilczek

RUBRIQUE ACTUALITES:

Mme S. Dallalah, Mme L. Diebold,
Mme A.B. de Reynaud, Mme R. Spiegelberg

PRODUCTION:

M. P. Witzig, M. R. Kelleher,
Mme I. Emge, Mme H. Bacher,
Mme A. Primes, Mme M. Swoboda,
M. W. Kreuzer, M. G. Demal, M. A. Adler,
M. R. Luttenfeldner, M. F. Prochaska,
M. P. Patak, M. L. Nimetzki

SERVICES LINGUISTIQUES:

M. J. Rivals, Mme E. Fritz

EDITION FRANÇAISE: M. S. Drège, traduction;
Mme V. Laugier-Yamashita,
contrôle rédactionnel

EDITION ESPAGNOLE: Equipo de Servicios de
Traductores e Intérpretes (ESTI), La Havane
(Cuba), traduction;
M. L. Herrero, contrôle rédactionnel

EDITION CHINOISE: Service de traduction de
la Société industrielle de l'énergie nucléaire
de Chine, Beijing, traduction, impression,
distribution.

Le Bulletin de l'AIEA est distribué gratuitement à un nombre restreint de lecteurs qui s'intéressent aux activités de l'AIEA et aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire. Pour bénéficier de ce service, écrire à la rédaction du Bulletin. Des extraits des textes contenus dans le Bulletin de l'AIEA peuvent être utilisés librement sous réserve d'en mentionner la source. Toutefois, un article dont l'auteur n'est pas membre du personnel de l'AIEA ne peut être reproduit qu'avec la permission de l'auteur ou de l'organisme dont il émane, sauf s'il est destiné à servir de document de travail.

Les opinions exprimées par les auteurs des articles ou dans les publicités publiées dans le Bulletin de l'AIEA ne correspondent pas forcément à celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique et n'engagent donc que les signataires ou les annonceurs.

Publicité

Les annonceurs sont priés d'adresser leur correspondance à la Division des publications de l'AIEA, Unité de la vente des publications et de la publicité, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

1957

Afghanistan
Afrique du Sud
Albanie
Allemagne
Argentine
Australie
Autriche
Biélorus
Brésil
Bulgarie
Canada
Corée, République de
Cuba
Danemark
Egypte
El Salvador
Espagne
Etats-Unis d'Amérique
Ethiopie
Fédération russe
France
Grèce
Guatemala
Haïti
Hongrie
Inde
Indonésie
Islande
Israël
Italie
Japon
Maroc
Monaco
Myanmar
Norvège
Nouvelle-Zélande
Pakistan
Paraguay
Pays-Bas
Pérou
Pologne
Portugal
République Dominicaine
Roumanie
Royaume-Uni
de Grande-Bretagne
et d'Irlande du Nord
Saint-Siège
Sri Lanka
Suède
Suisse
Thaïlande
Tunisie
Turquie
Ukraine
Venezuela

Viet Nam
Yougoslavie

1958

Belgique
Cambodge
Equateur
Finlande
Iran, Rép. islamique d'
Luxembourg
Mexique
Philippines
Soudan

1959

Iraq

1960

Chili
Colombie
Ghana
Sénégal

1961

Liban
Mali
Zaire

1962

Arabie Saoudite
Libéria

1963

Algérie
Bolivie
Côte d'Ivoire
Jamahiriya Arabe Libyenne
République Arabe Syrienne
Uruguay

1964

Cameroun
Gabon
Koweït
Nigeria

1965

Chypre
Costa Rica
Jamaïque
Kenya
Madagascar

1966

Jordanie
Panama

1967

Ouganda
Sierra Leone
Singapour

1968

Liechtenstein

1969

Malaisie
Niger
Zambie

1970

Irlande

1972

Bangladesh

1973

Mongolie

1974

Maurice

1976

Emirats Arabes Unis
Qatar
République-Unie de Tanzanie

1977

Nicaragua

1983

Namibie

1984

Chine

1986

Zimbabwe

1991

Lettonie
Lituanie

1992

Croatie
Estonie
Slovénie

1993

Arménie
République slovaque
République tchèque

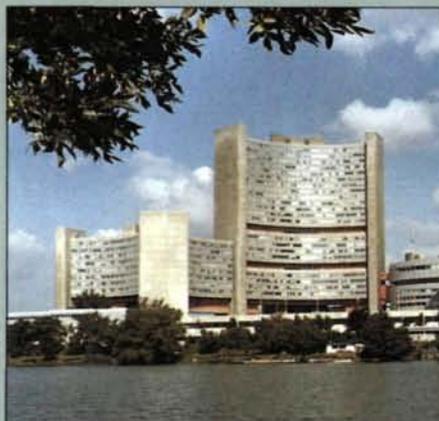
1994

Iles Marshall
Kazakhstan
l'ex-République yougoslave
de Macédoine
Ouzbékistan
Yémen

Dix-huit ratifications étaient nécessaires pour l'entrée en vigueur du Statut de l'AIEA. Au 29 juillet 1957, les Etats figurant en caractères gras avaient ratifié le Statut.

L'année représente l'année de l'admission de l'Etat comme membre de l'AIEA. Les Etats ne figurent pas nécessairement sous le nom qu'ils avaient à l'époque.

L'admission des Etats dont le nom apparaît en italique a été approuvée par la Conférence générale mais ne prendra effet que lorsque les instruments juridiques nécessaires auront été déposés.



L'Agence internationale de l'énergie atomique, qui est née le 29 juillet 1957, est une organisation intergouvernementale indépendante faisant partie du système des Nations Unies. Elle a son siège à Vienne (Autriche) et compte plus d'une centaine d'Etats Membres qui coopèrent pour atteindre les principaux objectifs du Statut de l'AIEA: hâter et accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier et s'assurer, dans la mesure de ses moyens, que l'aide fournie par elle-même ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle n'est pas utilisée de manière à servir à des fins militaires.

Siège de l'AIEA, au Centre International de Vienne.

Until now, one of the biggest problems with reading personal exposure doses has been the size of the monitoring equipment. Which is precisely why we're introducing the Electronic Pocket Dosimeter (EPD) "MY DOSE mini™" PDM-Series.

These high-performance

dosimeters combine an easy-to-read digital display with a wide measuring range suiting a wide range of needs.

But the big news is how very small and lightweight they've become. Able to fit into any pocket and weighing just 50~90 grams,

the Aloka EPDs can go anywhere you go. Which may prove to be quite a sizable improvement, indeed.

SCIENCE AND HUMANITY

ALOKA

ALOKA CO., LTD.

6-22-1 Mure, Mitaka-shi, Tokyo 181, Japan

Telephone: (0422) 45-5111

Facsimile: (0422) 45-4058

Telex: 02822-344

To: 3rd Export Section
Overseas Marketing Dept.
Attn: N. Odaka

Model	Energy	Range	Application
PDM-101	60 keV ~	0.01 ~ 99.99 μ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9,999 μ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9,999 μ Sv	Low energy, photon
PDM-303	thermal ~ fast	0.01 ~ 99.99 mSv	Neutron
ADM-102	40 keV ~	0.001 ~ 99.99 mSv	With vibration & sound alarm, photon



Safety, convenience and a variety of styles to choose from.



PDM-107



PDM-102



PDM-173



PDM-101



PDM-303



ADM-102