

# 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**

**P**eu avant l'aube du XX<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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.

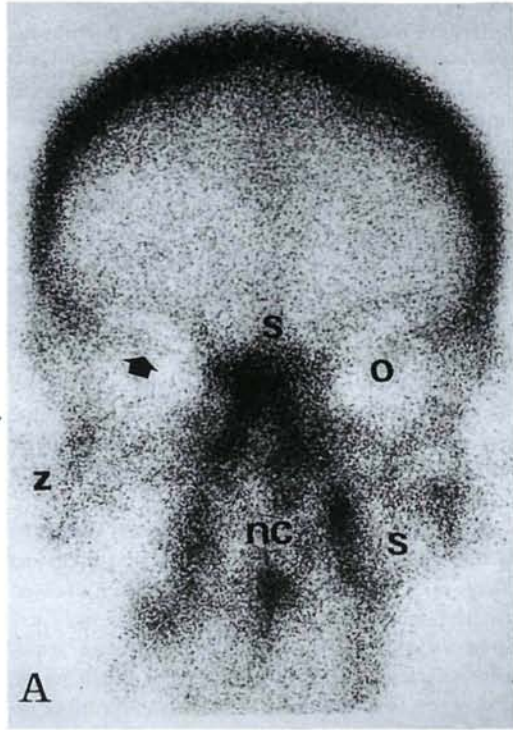
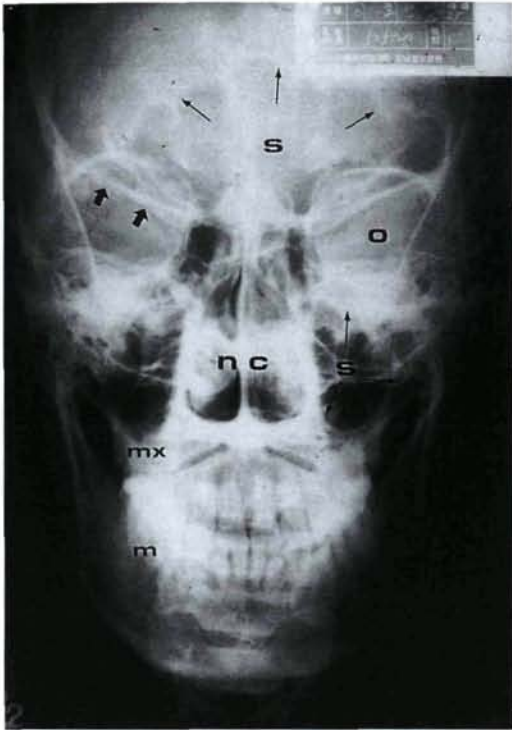
Le grand intérêt de la médecine nucléaire est de viser non l'organe, comme la radiologie, mais le problème. Elle ne consiste pas seulement à faire de nouveaux tests sur des maladies bien connues. Elle définit les problèmes cliniques par la biochimie et la physiologie régionales, et les mesures obtenues 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.

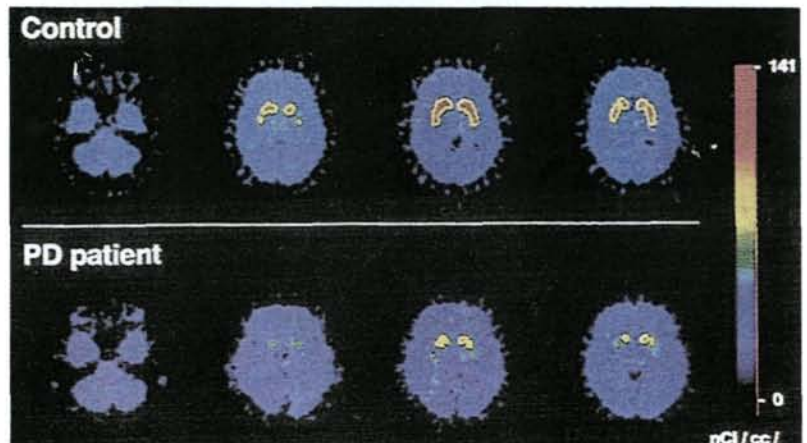
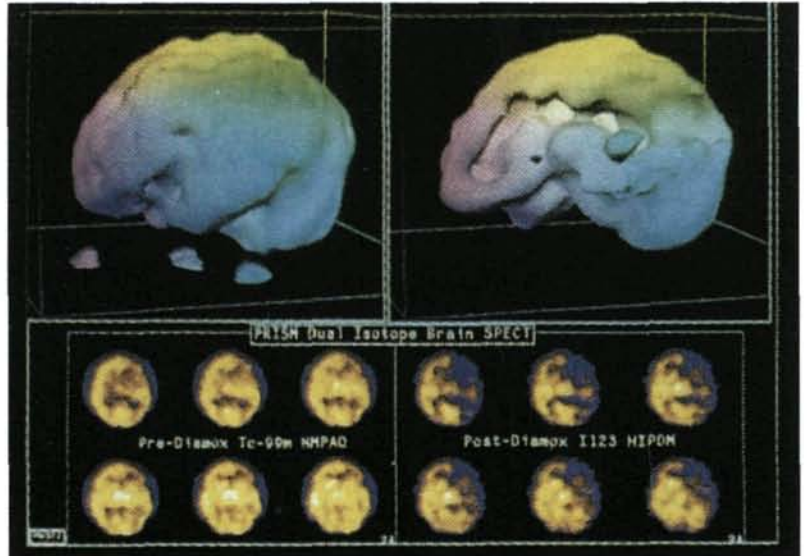
**IMAGES DU CERVEAU:**

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?* Aucune-ment. 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 Bogotà (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'avèreront 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.