

Comment favoriser les progrès de la médecine nucléaire dans les pays en développement

Le rôle de l'AIEA

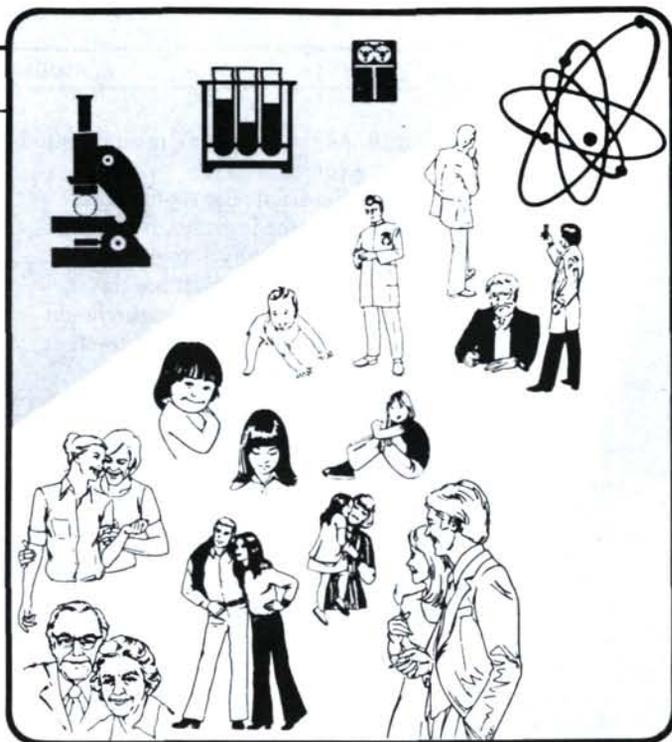
par Ramanik Ganatra et Mohamed Nofal

D'après un rapport technique de l'Organisation mondiale de la santé, le domaine de la médecine nucléaire englobe toutes les applications des matières radioactives non scellées au diagnostic et au traitement des maladies, ainsi qu'à la recherche médicale. Il comprend non seulement les actes de diagnostic *in vivo*, mais aussi la radioimmunoanalyse (RIA) et les opérations *in vitro* qui s'y rattachent.

Les emplois des radionucléides en recherche médicale sont trop nombreux pour qu'on puisse commodément les faire figurer dans cette définition d'une discipline essentiellement clinique. On a souvent recours à une appellation d'ensemble, «applications médicales» par exemple, pour réunir les emplois cliniques des radionucléides et ceux qui visent à la recherche, tout en distinguant ceux qui servent directement à soigner le malade de ceux qui aident à comprendre la nature de la maladie. Dans la pratique, la médecine nucléaire est en grande partie diagnostique.

La médecine a utilisé les radionucléides dès avant la Deuxième Guerre mondiale, mais c'est seulement plus tard, lorsque les nouveaux réacteurs ont commencé à en produire en quantités suffisantes, qu'elle a pu en disposer largement. En un sens, on peut dire que la médecine n'a tout d'abord connu que l'aspect monstrueux de l'énergie atomique et n'a compris que peu à peu, par la suite, de quels bienfaits le monstre était porteur. Si la médecine nucléaire a progressé, c'est moins par un apport direct à la thérapeutique que par souci d'en savoir plus long sur les possibilités de l'énergie atomique et de lui trouver de bons côtés.

M. Ganatra fait partie de la Section des applications médicales de la Division des sciences biologiques de l'Agence, dont M. Nofal est directeur.



Les applications de la médecine nucléaire

Quelles qu'aient été les voies de son évolution, la médecine nucléaire s'est développée, en une quarantaine d'années, au point qu'il n'est aujourd'hui aucune spécialité clinique qui n'ait bénéficié de l'emploi de tel ou tel radionucléide.

En matière de diagnostic, l'emploi du nucléaire se présente sous trois aspects: 1) le problème clinique; 2) le produit radiopharmaceutique administré au malade; 3) l'instrument qui sert à détecter la radioactivité soit extérieurement *in vivo*, soit *in vitro* dans le sang, l'urine ou le liquide céphalo-rachidien. Lorsqu'on opère uniquement *in vitro*, aucune radioactivité n'est administrée au malade; on ajoute, dans une éprouvette, une substance radio-marquée à un échantillon clinique, de sang par exemple.

Ci-dessous, quatre grandes catégories d'applications de la médecine nucléaire. Signalons qu'un seul exemple est présenté à l'appui de chacune d'elles, car une liste complète serait beaucoup trop longue.

- Détection extérieure *in vivo* de la radioactivité après administration interne d'un radionucléide. Cela comprend 1) l'obtention de l'image d'un organe, par exemple le foie; 2) l'étude d'une fonction sans visualisation — par exemple le néphrogramme qui donne une description graphique de l'excrétion par voie rénale d'une substance marquée.
- Mesure *in vitro* de la radioactivité dans un éluat clinique après administration interne d'un radionucléide, à savoir: 1) des études de l'absorption — par exemple celle de la vitamine B-12; 2) des études de la composition d'un organisme — par exemple celle de sa teneur totale en eau; 3) des études du métabolisme — par exemple le métabolisme protidique; 4) des applications hématologiques — par exemple l'étude de la survie des hématies.
- Analyses *in vitro* sans administration de radioactivité au patient — par exemple radioimmunoanalyse (RIA) des hormones.

- Traitement radioisotopique, par exemple au radioiode contre le cancer de la thyroïde.

Toutes ces opérations du diagnostic reposent sur l'emploi de radioisotopes comme indicateurs qui permettent de suivre un phénomène physiologique en se comportant d'une façon qui ne permet pas de les distinguer d'une substance physiologique naturelle du corps. Les radioisotopes sont des espions qui révèlent le déroulement d'événements biologiques dans l'organisme. Un radioindicateur camouflé transmet des informations sur ce qui se passe dans le corps en différents points et dans le temps. Le rayonnement des substances radioactives peut être capté par des appareils électroniques modernes très sensibles et très précis. On peut ainsi constater la quantité (absorption par la thyroïde), le volume (sang), le débit (néphrographie) ou le mode (applications biochimiques) d'une réaction biologique.

Deux domaines d'investigation plus importants que tous les autres méritent une mention particulière: la visualisation et la radioimmunoanalyse (voir les encadrés).

Utilité des applications médicales

La médecine nucléaire étant avant tout diagnostique, sa réputation repose principalement sur son caractère universel et non agressif. Un jeu d'appareils de base peut servir à plusieurs disciplines, contrairement à ce qui se passe pour l'électro-encéphalogramme, par exemple, qui n'est utile qu'aux neurologues et à personne d'autre. Les techniques en question, bien qu'elles soient sensibles, ne sont pas nécessairement spécifiques. Elles ne permettent pas toujours d'établir un diagnostic, mais peuvent exclure plusieurs possibilités, et l'on peut alors se passer d'autres opérations coûteuses. Par exemple, la présence d'une lésion sur l'image d'un cerveau n'établit pas la nature de la lésion, et pour obtenir à ce sujet un diagnostic sans équivoque il faudrait se livrer à plusieurs autres investigations. En revanche, un scintigramme négatif exclut la possibilité d'une lésion, ce qui permet de se passer d'autres examens neurologiques qui risquent d'être coûteux et parfois traumatisants.

Examinons de ce point de vue l'utilité des procédés médicaux nucléaires actuellement en usage:

- Procédés qui aident à établir un diagnostic positif spécifique – par exemple l'épreuve de la fonction thyroïdienne.
- Procédés permettant d'exclure un diagnostic déterminé – par exemple la scintigraphie des lésions expansives.
- Procédés qui aident à suivre les malades – par exemple en cardiologie nucléaire. Une fois qu'un diagnostic positif a été établi et un traitement prescrit, le caractère non envahissant des techniques nucléaires rend ces dernières particulièrement propres à assurer le suivi du malade.

La médecine nucléaire dans les pays en développement

La médecine nucléaire est une excroissance de la technologie nucléaire générale. C'est pourquoi ses techniques actuelles se sont développées dans les pays évolués qui avaient de quoi mettre au point les appareils et les produits radiopharmaceutiques nécessaires. On trouve aujourd'hui facilement dans le commerce toute une

gamme d'appareils. On trouve aussi des produits radiopharmaceutiques fournis par quelques sources internationales.

La médecine nucléaire ne peut plus être considérée comme une branche ésotérique et exotique de la médecine. Les emplois divers des radionucléides ont établi qu'elle peut sauver des vies, restaurer la santé, découvrir la cause des maladies et alléger les souffrances. Il n'est aucune branche de la médecine qui ne soit marquée, d'une façon ou d'une autre, par le nucléaire. Vu cette expansion multidisciplinaire, il serait bon que tout plan sanitaire d'un pays en développement comporte la création d'installations de médecine nucléaire partout où l'infrastructure existante le permet.

L'introduction de la médecine nucléaire dans ces pays présente pour eux pas mal de difficultés. Pour pouvoir fonctionner convenablement dans un hôpital, un service de médecine nucléaire doit être en mesure de procéder à une large gamme d'exams, d'administrer des soins aux nombreux malades que lui envoient les spécialistes d'autres branches de la médecine et se montrer capable d'apporter des réponses précises et spécifiques à de nombreuses questions de diagnostic.

Un tel service a besoin d'un matériel perfectionné, d'un approvisionnement régulier et continu en produits radiopharmaceutiques et surtout d'un personnel compétent. Tout cela ne se trouve pas facilement dans un pays en développement. Le matériel coûte cher et il est difficile d'en assurer l'entretien en vue de son rendement optimal. Les produits radiopharmaceutiques doivent être importés de l'étranger et les arrivages sont capricieux pour de multiples raisons. Le personnel reçoit d'ordinaire sa formation dans les pays évolués mais a du mal à travailler dans les conditions du pays, lorsqu'il y revient. Les radioimmunoanalyses sont des opérations *in vitro* relativement simples nécessitant des instruments peu coûteux, mais, là encore, un hôpital du Tiers monde n'a souvent pas les moyens d'assurer, pour un grand nombre d'échantillons, la précision et la qualité des diverses analyses à faire.

Fréquence des interventions

La fréquence des actes de médecine nucléaire aux Etats-Unis est actuellement de 33 par 1000 habitants et par an*. C'est certainement beaucoup plus que dans les pays en développement.

Bien qu'on ne possède pas d'information directe concernant la médecine nucléaire, on peut penser que les chiffres sont du même ordre que pour les examens radiologiques. Il y a, dans l'ensemble du monde, un appareil de radiographie pour 5000 habitants, mais il n'y en a que un pour 60 000 ou même 100 000 dans les pays en développement d'Afrique et d'Asie du Sud-Est. Dans les pays évolués, on compte 1000 examens radiologiques par 1000 habitants et par an, alors qu'il y en a en moyenne moins de 10 par 1000 habitants dans les pays en développement, d'après M. N. Racoveanu de la section de radiologie médicale de l'Organisation mondiale de la santé. La situation n'est probablement

* Voir «Trends and utilization of medicine in the United States», par F. Mettler, A. Williams et autres, *Journal of Nuclear Medicine*, 26, 201 (1985).

pas meilleure en ce qui concerne la médecine nucléaire, et la comparaison est peut-être encore beaucoup plus défavorable que pour la radiologie.

L'aide de l'AIEA

Les efforts actuellement entrepris par l'AIEA visent à aider les pays en développement à créer des installations de médecine nucléaire dans leurs hôpitaux. Ceci s'inscrit dans le dessein général de l'AIEA qui consiste à transférer aux pays en développement les techniques des pays évolués.

- **Appui technique.** En 1985, 3,18 millions de dollars ont été consacrés à des projets d'intérêt sanitaire destinés à aider 41 pays, ce qui représente 9,5% du budget total d'assistance technique. La plus grande partie de l'aide vise à créer des installations de médecine nucléaire opérant *in vivo* et *in vitro*. La pratique de la médecine nucléaire exige un matériel électronique coûteux et un approvisionnement régulier en produits radiopharmaceutiques. Ces derniers sont les plus souvent introuvables sur place et l'on a par conséquent besoin de bonnes liaisons aériennes et de facilités de dédouanement. Les appareils doivent être conservés dans un environnement optimal et leur entretien et leur réparation nécessitent des moyens appropriés. Ces impératifs limitent la médecine nucléaire aux pays, relativement peu nombreux, qui disposent de l'infrastructure nécessaire et, dans ces pays, à quelques grands hôpitaux des principaux centres urbains.

- **Cours de formation.** L'Agence organise depuis plus de dix ans un cours interrégional de formation annuel et un voyage d'études en médecine nucléaire à l'intention de participants des pays en développement. A l'heure actuelle, on choisit surtout des docteurs en médecine pour participer à cet enseignement qui donne un aperçu des principes fondamentaux de la médecine nucléaire. Les participants reçoivent une formation théorique et pratique concernant les applications diagnostiques et thérapeutiques ordinaires des radioisotopes, leur manipulation, les principes généraux de la radiopharmacie, de l'analyse, de l'interprétation et du contrôle de la qualité des actes de médecine nucléaire *in vitro* et *in vivo*, l'organisation d'un service hospitalier de médecine nucléaire, ainsi qu'un enseignement général de base de la physique dans ses rapports avec les rayonnements et la radioactivité. De plus, la Division des sciences biologiques de l'Agence organise fréquemment en cours d'année des cours de brève durée et des journées d'études, dans différentes parties du monde, sur des sujets particuliers de médecine nucléaire — par exemple le contrôle de la qualité des appareils de visualisation, le radioimmunodosage, l'entretien du matériel médical nucléaire.

- **Services d'experts.** Un des volets essentiels de la formation est l'instruction sur place, dans un pays en développement, par un expert agréé en médecine nucléaire pouvant traiter la totalité, ou une partie du sujet, selon le cas. Sa mission peut durer quelques mois ou une année entière. Lorsque le pays reçoit un matériel compliqué, le projet prévoit généralement l'envoi d'un expert pour donner des explications techniques et enseigner au personnel préposé la façon de s'en servir. En 1985, 72 mois d'expert ont été

consacrés à 69 projets d'assistance dans le domaine de la médecine nucléaire.

- **Bourses de formation.** La création d'installations de médecine nucléaire dans un pays implique nécessairement que l'on disposera d'un personnel local doté d'une formation complète qui puisse assumer les responsabilités cliniques et techniques d'un service de médecine nucléaire. C'est à cette fin qu'un ressortissant local possédant les titres universitaires voulus est envoyé à l'étranger pour recevoir une formation complète dans un établissement approprié pendant une période qui peut aller de quelques mois à quelques années. En 1985 par exemple 388 mois de boursier en médecine nucléaire ont été accordés.

Radioimmunoanalyse et santé

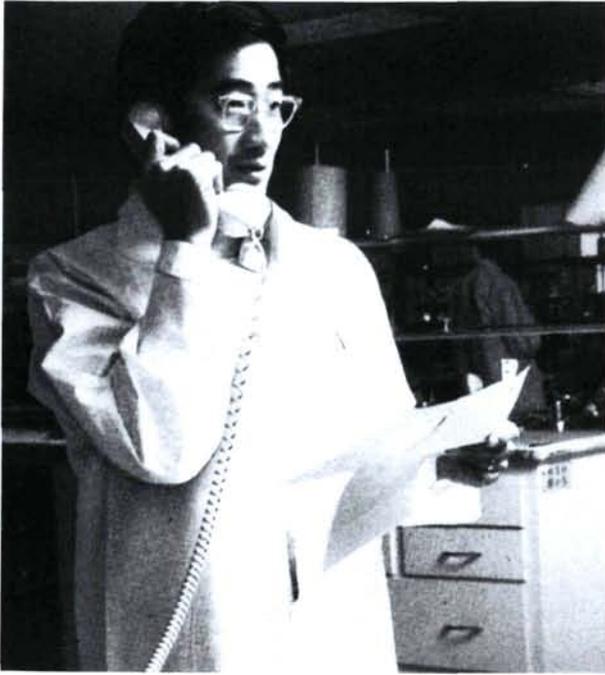
Le succès de la radioimmunoanalyse (RIA) a inscrit un chapitre glorieux dans l'histoire de la médecine nucléaire, le procédé s'est vu dûment consacré par l'attribution, en 1977, du Prix Nobel à Rosalyn Yalow pour ses travaux dans cette discipline. La RIA permet de mesurer quantitativement et spécifiquement la présence d'un grand nombre de substances présentant une importance biologique dans un échantillon clinique (de sang par exemple) prélevé sur le patient. Là, comme dans la visualisation nucléaire, tout repose sur l'emploi d'un indicateur. Une hormone marquée d'une substance radioactive part à la recherche des fragments liés et non liés d'une hormone en présence d'un liant dans l'échantillon de sang.

La vie est possible grâce à l'interaction équilibrée de milliers de molécules organiques complexes formées d'un petit nombre ou de milliers d'atomes et dont les concentrations dans les fluides biologiques peuvent être de l'ordre de quelques parties par centaine à quelques parties par milliard. Beaucoup ne présentent entre elles que des différences presque négligeables, mais elles peuvent avoir des fonctions très différentes. Avant l'avènement de la radioimmunoanalyse, il était difficile, voir impossible, de doser la plupart de ces substances et donc d'élucider leur comportement biochimique.

Or, la radioimmunoanalyse a apporté deux innovations décisives. En premier lieu elle a mis en jeu, en tant que «réactifs» hautement spécifiques et sensibles, une classe particulière de molécules biologiques, les anticorps, qui permettent d'isoler les substances présentant un intérêt particulier. Deuxièmement, elle fait usage de radioindicateurs qui permettent de quantifier des concentrations infinitésimales de ces molécules isolées.

La radioimmunoanalyse est une des applications médicales des radionucléides qui peut être pratiquée avec le minimum de complexité technique. Avec ses techniques associées, elle joue désormais un rôle capital dans le diagnostic et la recherche médicale et permet aujourd'hui de doser des centaines de substances différentes: hormones, vitamines, produits pharmaceutiques, médicaments, substances émises par des virus infectieux et par des parasites, par des tumeurs malignes et bien d'autres encore. Les sommes annuellement investies dans ces techniques dépassent probablement le milliard de dollars, et les procédés en question interviennent dans le diagnostic de peut-être 10 à 20 pour cent des affections de tous les malades hospitalisés dans les pays évolués. Il est bien naturel que les pays en développement soient très désireux de voir ces méthodes adoptées par leurs services de santé.*

* Voir «Les radioimmunodosages et les problèmes de santé» par R. Dudley, dans le *Bulletin de l'AIEA*, Vol. 25, n° 2 (juin 1983).



L'aide offerte par les spécialistes est un élément essentiel du programme de formation de l'Agence en médecine nucléaire. (Photo: NEN)

- *Conférences, colloques et séminaires.* Ces réunions sont destinées à permettre les échanges d'idées entre scientifiques de divers pays. En 1985, l'Agence a organisé un colloque international sur la médecine nucléaire et les applications médicales connexes des techniques nucléaires dans les pays en développement, en coopération avec l'OMS*. On envisage pour l'avenir un colloque sur les études de fonctions dynamiques en médecine nucléaire et un séminaire sur la formation en médecine nucléaire.
- *Contrats de recherche.* De nombreux procédés cliniques de médecine nucléaire actuellement admis dans plusieurs pays peuvent ne pas convenir dans les pays en développement. Il faut les simplifier et employer des appareils moins compliqués et des produits radiopharmaceutiques faciles à obtenir. Les programmes de l'Agence encouragent cette adaptation des techniques aux laboratoires des pays en développement. C'est là reconnaître que les méthodes avancées ne peuvent être adoptées d'emblée et doivent être adaptées aux réalités des pays en développement. Dans ce même esprit, l'Agence a établi un programme de recherche coordonnée sur les sujets suivants: 1) optimisation des procédés de la médecine nucléaire pour le diagnostic et le traitement des troubles de la thyroïde; 2) évaluation quantitative des procédés de visualisation nucléaire pour le diagnostic des maladies du foie; 3) étude de l'impact des procédés de contrôle de la qualité des appareils nucléaires sur leur performance; 4) établissement et exécution de plans d'entretien pour les laboratoires nucléaires; 5) emploi des radionucléides pour le diagnostic des maladies parasitaires; 6) évaluation exté-

* On peut se procurer le compte rendu de cette réunion à l'Agence. Voir la rubrique *Keep abreast* pour vos commandes.

rieure de la qualité du radioimmunos dosage des hormones thyroïdiennes.

Le contrat de recherche de l'Agence doit être mis en harmonie avec les tendances actuelles de la médecine nucléaire dans le monde et avec l'idée qu'on se fait du rôle qu'elle jouera dans le traitement général des malades. Ce sont là des éléments essentiels de l'évolution des programmes futurs de l'Agence.

Tendances et orientations nouvelles

La médecine nucléaire a commencé par l'emploi des radioindicateurs pour l'étude des fonctions et des flux. L'apparition des scintigraphes et la mise au point de nouveaux produits radiopharmaceutiques qui se fixent dans divers organes ont incité les praticiens de la médecine nucléaire à visualiser ces organes. Pendant des années, abstraction faite de la radiologie, la médecine nucléaire a été la seule technique permettant cette visualisation. Ce n'est plus vrai aujourd'hui. On a le choix entre plusieurs modes de visualisation tels que les ultrasons, la tomographie axiale informatisée, et la résonance magnétique nucléaire. Chacun a ses mérites et ses limites. Un directeur d'hôpital a l'embarras du choix. Quel système de visualisation doit-il adopter pour son établissement? Le médecin est lui aussi en présence d'un dilemme du même ordre: quel est le type d'investigation le mieux adapté à son malade?

Il est maintenant évident que le rôle essentiel de la médecine nucléaire ne doit pas consister à rechercher des défauts anatomiques ou des anomalies de structure. Elle doit surtout étudier telle ou telle fonction dans le temps, en d'autres termes étudier les évolutions d'un produit radiopharmaceutique dans l'organisme au cours d'un certain laps de temps. Ce genre de recherche fournit des renseignements très importants sur la fonction des divers organes, d'où l'intérêt accru pour l'étude des fonctions cardiovasculaires et cérébrales; depuis quelques années, la médecine nucléaire a fait surgir dans ce domaine une foule de données nouvelles. Ces dernières ont été jusqu'à présent obtenues au moyen d'appareils spéciaux et de produits radiopharmaceutiques élaborés grâce au cyclotron. Or, il semble aujourd'hui qu'on soit sur le point d'obtenir de nouveaux produits radiopharmaceutiques pour le cerveau et le myocarde marqués au technétium 99m et que l'on puisse désormais étudier *in vivo* les fonctions du cerveau et du cœur au moyen de caméras gamma traditionnelles.

Les produits radiopharmaceutiques

L'avenir de la médecine nucléaire est étroitement lié au progrès de la radiopharmacie. Pour les autres modes de visualisation, on n'a besoin que d'un appareil et du malade, alors que la médecine nucléaire exige aussi un produit approprié. Cette faiblesse est aussi sa vertu. On peut élaborer une large gamme de nouveaux produits radiopharmaceutiques dont chacun s'associe à une fonction déterminée de l'organisme, favorisant ainsi la diversification et la virtuosité de la médecine nucléaire. Bon nombre de ces produits sont en préparation; ils permettront d'élargir le champ d'application de la médecine nucléaire en matière de diagnostic.

Autre orientation nouvelle — elle aussi en rapport avec la radiopharmacie: la mise au point d'anticorps

monoclonaux spécifiques marqués au moyen d'un radionucléide approprié et pointés sur un site antigène, soit pour le visualiser, soit pour le traiter. Les produits radiopharmaceutiques pointés sur les antigènes ou récepteurs de ce genre permettent probablement d'associer, dans une même investigation, la spécificité de l'immunologie et la sensibilité de radioisotopes.

On finira aussi par comprendre toute l'importance de la masse d'information fournie notamment par les analyses radioimmunologiques *in vitro*. On n'a plus besoin de visualiser la maladie sous l'aspect d'une lésion ni l'organe atteint sous la forme d'une image.

Les indicateurs biologiques introduits dans la circulation sanguine permettent de détecter «des traces de pas sur le sable du temps». Le marquage des tumeurs pour le diagnostic et le traitement du cancer et la détection des antigènes et anticorps dans les maladies infectieuses sont deux des procédés les plus riches de promesses dans ce domaine.

L'apport décisif des techniques nucléaires à la médecine est qu'elles permettent de bien connaître la physiologie pathologique des maladies. A cet égard, l'Agence s'attache à promouvoir l'emploi des radioisotopes dans le traitement des maladies contagieuses fréquentes dans les pays en développement. Depuis dix ans, on cherche, par la radioimmunoanalyse, à mieux comprendre les troubles endocriniens; dans les dix prochaines années, ce sera le tour des maladies infectieuses.

De même que la radioimmunoanalyse n'est pas toujours utile au diagnostic endocrinologique, il se peut qu'elle ne le soit pas davantage, à l'heure actuelle, en ce qui concerne le diagnostic des maladies infectieuses. Mais chaque dosage contribue à mieux faire comprendre les relations entre l'hôte et le parasite. Les maladies parasitaires sont encore peu fréquentées par la médecine nucléaire et l'encouragement apporté par l'Agence dans ce nouveau domaine d'investigation mérite d'être signalé (Voir l'article à ce sujet dans le présent numéro du *Bulletin*).

La recherche à rebours

On constate aussi une tendance à la recherche à rebours, dont la démarche part d'une technique complexe pour aboutir à une technique plus simple. Les examens cardiovasculaires complexes peuvent s'effectuer au moyen d'une caméra gamma reliée à un ordinateur adapté à cet usage, mais on peut obtenir la même information diagnostique beaucoup plus simplement au moyen d'une seule sonde reliée à un petit dispositif basé sur un microprocesseur; c'est une manière de «stéthoscope nucléaire». La tendance s'est inversée: les produits radiopharmaceutiques obtenus avec le cyclotron sont remplacés par des produits marqués au technétium 99m; la caméra gamma cède le pas aux sondes uniques qui donnent une information dynamique sur une fonction en un point prédéterminé; la radioimmunoanalyse automatisée traditionnelle s'efface devant la nouvelle technique utilisant des anticorps obtenus sur place et de simples compteurs manuels. C'est bon signe, car la simplification des techniques médicales nucléaires en favorisera la diffusion au lieu de les laisser se développer en vase clos dans quelques institutions.

Il est réconfortant de constater que tout le monde commence à comprendre en quoi consiste la médecine

La visualisation nucléaire

La visualisation au moyen des radioisotopes a commencé par la représentation point par point, *in vivo*, de la répartition du radioiode dans la glande thyroïde. D'abord manuelle, cette opération a ensuite été exécutée à l'aide d'un détecteur sensible se déplaçant automatiquement dans tous les sens au dessus de la région étudiée. Bientôt, il n'a plus été nécessaire de déplacer le détecteur au dessus d'un organe pour obtenir des vues point par point. Un grand détecteur permet de voir en même temps l'organe tout entier et l'on peut alors préciser électroniquement ce que le détecteur voit en chacun des points. L'appareil en question est la caméra gamma, qui permet de faire des examens dynamiques dans le temps, parce que l'on peut obtenir une suite d'images de tout ou partie de l'organe.

La visualisation au moyen des radioisotopes donne une image fonctionnelle dans un cadre anatomique. Pour qu'on puisse visualiser un organe, il faut tout d'abord qu'un produit radiopharmaceutique se concentre dans cet organe. En présence d'une fonction normale, cette localisation se présente d'une façon caractéristique. Lorsque la fonction est pathologique, on constate dans la région considérée une concentration anormale du produit radiopharmaceutique.

Malgré leur ressemblance apparente, radiographie et visualisation nucléaire diffèrent fondamentalement. En radiographie, le tissu examiné s'interpose passivement dans le faisceau de rayons X, et ce qu'on visualise, c'est l'altération du faisceau de rayons X provoquée par ce tissu. L'image est sans rapport avec la fonction de l'organe et reste la même que le sujet soit mort ou vivant.

La visualisation nucléaire, elle, donne une image dynamique du passage biologique actif d'une substance radioactive dans un organe. Il y a la même différence qu'entre une photographie et l'image que renvoie un miroir. Une photographie donne une image où le temps s'est arrêté. Un miroir peut montrer une forme physique en mouvement.

La visualisation nucléaire nécessite l'emploi d'un produit radiopharmaceutique spécifique capable de se concentrer fortement dans l'organe à étudier. Pour visualiser une petite région intéressante, à intervalles de quelques secondes, il faut administrer au patient une forte quantité de radioactivité de manière à ce que les signaux émis par la région en cause soient suffisamment forts pour que l'étage électronique les affiche de façon statistiquement significative. Pour y parvenir sans nuire au patient, il ne faut utiliser que des produits radiopharmaceutiques de courte période, fournis d'ordinaire par des générateurs de laboratoire. Le technétium 99m et l'indium 113m sont deux des radionucléides ainsi obtenus que la médecine nucléaire utilise largement de nos jours. Un générateur de laboratoire est un appareil dans lequel un radionucléide de longue période, le «précurseur», engendre une descendance de courte période que l'on peut ensuite introduire commodément dans diverses préparations destinées à des visualisations cliniques différentes.

Pour plus de renseignements sur les progrès et les tendances de la visualisation nucléaire, voir l'article consacré à ce sujet dans le présent numéro du *Bulletin*.

nucléaire: c'est essentiellement une recherche physiologique et biochimique circonscrite, à l'aide de radio-indicateurs, et ce qui compte, c'est de pouvoir suivre, dans chaque cas, le déroulement d'un processus biologique déterminé.

Programmes futurs

Dans les pays évolués, la médecine nucléaire s'engage dans des voies nouvelles. On a de plus en plus recours aux radionucléides issus du cyclotron. La tomographie

à émission de positons qui utilise des radionucléides de période ultra courte de cette origine a obtenu des résultats remarquables en neuro-physiologie et la nouvelle biotechnologie a contribué à des recherches *in vivo* et *in vitro* au moyen d'anticorps monoclonaux. Nombre de ces innovations dépassent encore les moyens des pays en développement. La pratique actuelle de la médecine nucléaire dans les pays évolués est en somme une discipline de pointe qui coûte cher et ces pays eux-mêmes essaient de la simplifier pour en abaisser le coût.

D'autre part, on recherche des techniques fiables mais plus simples à l'intention des pays en développement, parce que ces derniers ne disposent que de ressources limitées pour se lancer dans des techniques nouvelles. Le fossé entre les pratiques actuelles et ce qu'on voudrait réaliser dans l'avenir se comble peu à peu naturellement. Au cours des prochaines années, l'Agence devra s'efforcer de favoriser cette évolution et d'appuyer la tendance naturelle à la simplification et à la réduction des coûts.

Il faudra relever le niveau de l'assistance technique, parce que de nombreux pays sont aujourd'hui disposés à mettre au rebut leurs vieux scintigraphes linéaires, caractérisés par leur lenteur, et souhaitent acquérir des ensembles caméra gamma/ordinateur. Il faudra en conséquence prévoir la création d'installations d'entretien de ce matériel au niveau des hôpitaux. On dispose aujourd'hui de nombreux modes d'investigation non agressifs, nucléaire ou non. Le médecin peut choisir entre divers modes de diagnostic; des études scientifiques sérieuses sur le rapport coût/avantages ou sur l'efficacité s'imposent donc pour chaque procédé d'examen. Abstraction faite des décisions à prendre en ce qui concerne chaque patient, ces études aideraient les pays en développement à établir l'ordre de priorité entre les techniques à adopter et celles auxquelles ils peuvent renoncer.

L'enthousiasme suscité par les techniques nouvelles risque de faire oublier aux médecins les aspects importants du contrôle de la qualité. En médecine nucléaire, ce contrôle s'exerce à plusieurs niveaux: appareils, produits radiopharmaceutiques, analyses *in vitro*, formation des techniciens et des médecins. C'est, là encore, un domaine qui a besoin de l'encouragement et de l'appui d'un organisme international tel que l'AIEA.

Des techniques appropriées

Ce que nous avons appelé plus haut la «recherche à rebours» est en réalité l'élaboration de «techniques appropriées». Il faut l'encourager en stimulant la recherche dans ce domaine, afin de montrer que ce que possèdent les grands hôpitaux modernes peut aussi être mis à la disposition des nombreux hôpitaux de plus petite taille aux ressources plus modestes.

L'étude des maladies infectieuses au moyen de la radioimmunoanalyse et autres techniques du même genre offre l'espoir d'une vue nouvelle sur les rapports entre les réactions immunitaires de base et les agents pathogènes. Elle peut non seulement faciliter le diagnostic, mais encore faire mieux comprendre l'évolution biologique de la maladie. Ces recherches doivent bénéficier d'un financement et d'un appui suffisants dans les pays en développement.

Ce sont les études fonctionnelles qui font la force de la médecine nucléaire et elles ont naturellement besoin, sous une forme ou sous une autre, de l'informatique. A mesure que les ordinateurs se multiplient dans les pays évolués — dans les aéroports, les hôtels, les banques — l'infrastructure qu'ils exigent ne peut que se développer. S'il était question d'introduire aujourd'hui le moteur à combustion interne dans les pays en développement, les gens diraient que c'est impossible. Et pourtant il n'y a qu'à voir dans quelles conditions primitives on y fait aujourd'hui rouler les camions. Ce dont nous avons besoin, c'est d'une volonté de reconnaître la médecine nucléaire, d'accepter son existence et de l'introduire dans les programmes hospitaliers. Il appartient à l'Agence de favoriser l'évolution en cours et de pousser le progrès à la roue.

Le domaine de la médecine nucléaire est commun à des organismes internationaux tels que l'AIEA et l'OMS. A cet égard, nombreuses sont les activités de l'Agence qui s'exercent en coopération avec l'OMS et cette coopération étroite au profit de la médecine nucléaire devra se poursuivre dans l'avenir.

Si l'objectif est, comme l'a dit l'OMS, «la santé pour tous en l'an 2000», nous nous devons de faire croître et de nourrir cette «technique du XXème siècle» qui joue un rôle si important dans le diagnostic et le traitement des maladies. L'un des objectifs de l'AIEA est «d'accélérer et d'augmenter la contribution de l'énergie atomique à la paix, à la santé et à la prospérité dans le monde entier». La promotion de la médecine nucléaire est un pas dans cette direction.

