

Les rayonnements au service de la santé

Les techniques nucléaires et la santé pour tous en l'an 2000

par Mohamed Nofal

Très simplement, on peut dire que la santé, c'est l'absence de maladie. Or, l'absence de maladie, objectif ultime de la science médicale, n'est pas encore réalisable. Tout programme œuvrant dans ce sens se doit cependant de créer des conditions propres à prévenir la maladie, d'en faire un diagnostic précoce, et de la traiter selon le meilleur rapport coût/efficacité. De diverses manières, les applications des techniques nucléaires à la santé aident les pays à se rapprocher de l'objectif de la santé pour tous en l'an 2000, tel que l'a défini l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Au cours des trente dernières années, l'AIEA a mis en œuvre toute une série de projets et de programmes coopératifs, portant sur les domaines suivants*:

- **Médecine nucléaire.** On utilise des radionucléides pour diagnostiquer et traiter les maladies, ainsi qu'en recherche médicale pour comprendre la nature des états morbides.

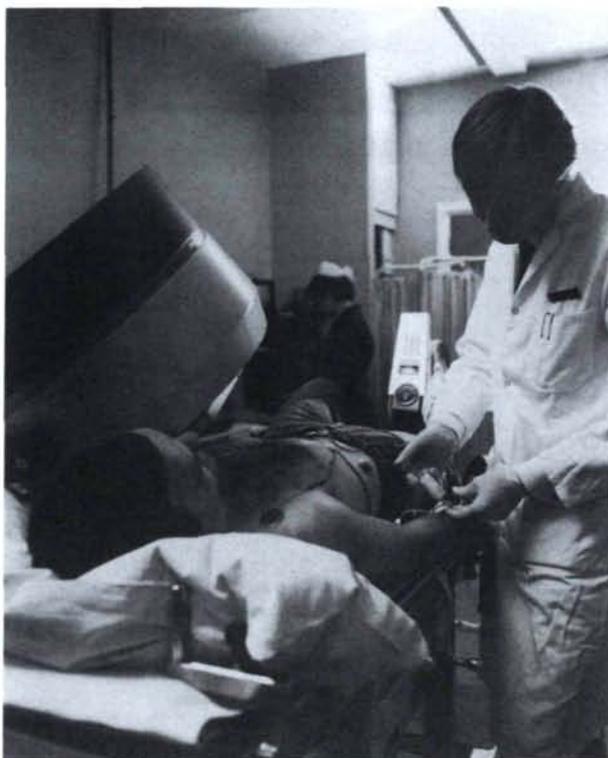
- **Techniques nucléaires d'analyse.** Celles-ci sont utilisées pour mesurer les divers éléments à l'état de traces dans le corps, dans notre alimentation et notre environnement. Contrairement aux techniques de médecine nucléaire — qui pénètrent le corps pour tenter de mieux cerner les maladies qui l'affligent — les techniques nucléaires d'analyse portent sur notre environnement extérieur immédiat, dont les changements peuvent être cause de maladie.

- **Biologie et rayonnements.** Il s'agit de modifier l'environnement extérieur par des rayons ou d'éliminer une maladie par irradiation externe. Par exemple, la stérilisation des fournitures médicales par les rayonnements détruit les micro-organismes, éléments présents partout dans notre environnement et pouvant menacer la santé. La radiothérapie anéantit les cellules cancéreuses qui, bien qu'internes, sont fonctionnellement étrangères aux besoins du corps humain.

- **Dosimétrie.** Il s'agit de mesurer de manière parfaitement fiable les doses de rayonnements données intentionnellement pour modifier le milieu humain, intérieur ou extérieur.

Monsieur Nofal est directeur de la Division des sciences biologiques de l'AIEA. D'autres membres de la Division ont contribué à cet article: Ramanik Ganatra, Ramendra Mukherjee, Robert Parr et Monica Gustafsson.

* On trouvera un compte rendu plus détaillé des programmes de l'AIEA en médecine nucléaire et dans les domaines connexes dans le *Bulletin de l'AIEA*, volume 28, n° 2 (1986) et volume 25, n° 2 (1983).

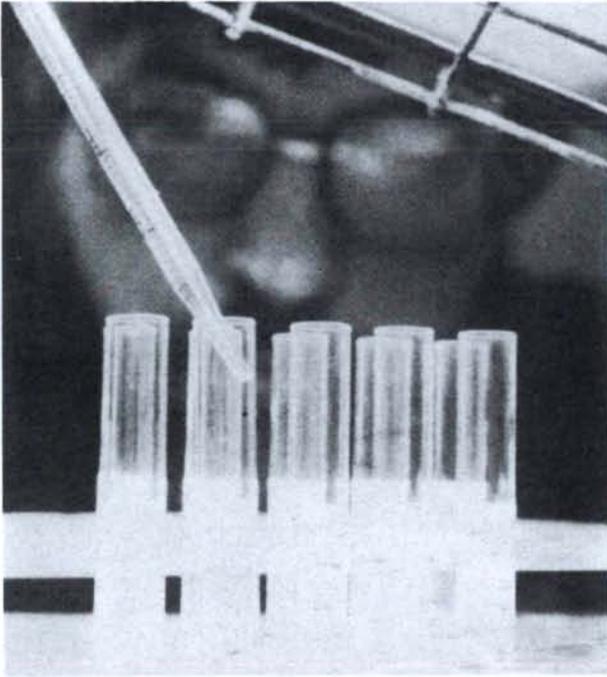


Injection d'un radio-isotope de courte période qui permettra de visualiser les pulsations cardiaques et la fonction pulmonaire. (Photo: UKAEA)

Médecine nucléaire

A l'heure actuelle, plus de 10 millions d'actes de médecine nucléaire sont effectués chaque année rien qu'aux Etats-Unis. L'une ou l'autre de ces techniques est utilisée dans un cas sur quatre environ par les hôpitaux généraux pour le diagnostic. C'est non seulement le nombre de patients ainsi traités qui progresse chaque année, mais aussi la diversité des techniques. Beaucoup de pays en développement sollicitent l'aide de l'AIEA pour la mise en place d'installations de médecine nucléaire dans leurs grands hôpitaux pour appuyer les soins médicaux spécialisés qu'ils sont en mesure d'offrir. Les Etats Membres qui possèdent déjà des installations de ce genre en souhaitent la modernisation et l'AIEA a reçu, cette année, plus de 70 demandes d'assistance pour des programmes de médecine nucléaire.

La demande a deux raisons: d'une part, l'extension à la fois horizontale et verticale de la médecine nucléaire; d'autre part, le souci grandissant que suscite la pratique de la médecine nucléaire du fait qu'elle nécessite du matériel de plus en plus coûteux, de plus en plus sophistiqué, et que les produits radiopharmaceutiques et les composés marqués sont eux aussi de plus en plus élaborés, de plus en plus coûteux et sont, par surcroît, souvent protégés par des brevets. Etant donné les coûts galopants de la médecine nucléaire et l'infrastructure qui lui est propre, l'Agence doit faire un effort continu pour aider cette discipline dans les pays en développement sur le plan technique et en matière de recherche et de formation.



On utilise les radio-isotopes pour suivre les enzymes et les protéines dans un échantillon de fluide d'un malade. Ici, un chercheur prépare un liquide fluorescent qui sera utilisé pour un radioimmunodosage à des fins médicales. (Photo: E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc.)

Médecine nucléaire en vitro. Ces techniques n'impliquent aucune administration de radioactivité aux malades. Les substances radiomarquées sont ajoutées dans l'éprouvette aux diverses substances obtenues chez le malade pour évaluer des niveaux infimes d'hormones, de vitamines, de produits nutritifs, et de médicaments circulant dans l'organisme. Le radioimmunodosage, qui fait appel à des agents immuno-réactifs, est la principale technique dans cette catégorie. Elle permet d'évaluer des centaines de substances biologiques ayant une importance pour le diagnostic. Il s'agit d'un des outils diagnostiques les plus simples, les moins coûteux, les plus polyvalents.

L'Agence aide les pays à créer ou à moderniser des laboratoires, et à développer la capacité de production de réactifs, à l'échelle du pays ou de la région. Dans le cadre d'un de ces projets, l'Agence fournit à 14 pays de la région Asie et Pacifique des réactifs en vrac pour l'analyse des hormones thyroïdiennes. Ce type d'analyse est très fréquent dans les pays en développement et le coût par malade peut être réduit jusqu'à un dixième du coût habituel, et ce en utilisant des réactifs en vrac plutôt que des trousseaux commerciales à usage unique. Ces pays ont déjà atteint le stade où ils vont passer à l'utilisation de réactifs qu'ils fabriquent eux-mêmes. On a ainsi facilité le transfert de technologies et contribué à l'autonomie de la région. On introduit cette année un programme analogue dans certains pays d'Amérique latine. La totalité du programme d'analyse *in vitro* est appuyée par un effort intense de formation en vue d'assurer le contrôle de la qualité de ces techniques.

D'autres travaux de l'Agence portent sur la biotechnologie dont les progrès font que les procédés d'analyse deviennent très sophistiqués. (Quelques

exemples: les anticorps monoclonaux, l'emploi de réactifs particuliers magnétisés pour éviter la centrifugation, l'emploi de systèmes d'analyse en phase solide pour simplifier et accélérer les opérations.) Le programme de l'AIEA encourage ces techniques chaque fois que possible, dans le cadre de ses programmes de recherche coordonnée.

Ces dix dernières années, les analyses servaient avant tout à évaluer le taux d'hormones dans le sang. A l'heure actuelle, elles servent de plus en plus au diagnostic de maladies transmissibles. Les immunoanalyses pour diagnostiquer l'hépatite et le SIDA (Syndrome d'immuno-déficience acquise) sont très connues, et l'on met actuellement au point de nouveaux procédés pour d'autres maladies plus fréquentes dans les pays en développement. Les programmes de recherche financés par l'AIEA visent notamment à mettre au point des radioimmunodosages pour le paludisme, la schistosomiase et la tuberculose.

Médecine nucléaire in vivo. Le point fort de la médecine nucléaire est l'étude des fonctions des organes à l'aide de marqueurs radioactifs. L'application la plus fréquente *in vivo* est la visualisation: on administre au malade des produits radiopharmaceutiques qui se fixent dans l'organe étudié; leur répartition est ensuite suivie à l'aide de divers appareils de visualisation. Une caméra gamma permet d'obtenir une image de l'organe entier en quelques secondes; si on utilise un ordinateur, on peut réaliser des études fonctionnelles dynamiques de plusieurs organes. La visualisation est un secteur en plein essor. L'Agence fournit des appareils et autres installations accessoires, dans certains cas. Mais surtout, elle s'efforce de créer les ressources humaines nécessaires en fournissant aux Etats Membres des experts et des moyens de formation. L'instrumentation étant très complexe, on organise des journées d'études, des programmes de recherche coordonnée — avec documentation à l'appui — pour appeler l'attention sur l'importance du contrôle de la qualité et l'entretien. Les colloques et séminaires scientifiques organisés conjointement par l'AIEA et l'OMS se sont avérés très utiles, voire indispensables, pour l'échange d'information.

Radiothérapie

Tout le monde connaît le traitement radiothérapeutique des malades atteints du cancer. Il s'agit de détruire des cellules malignes qui prolifèrent très rapidement. Dans certaines conditions, l'irradiation peut être combinée avec d'autres traitements physico-chimiques — qui agissent par exemple sur la température (hyperthermie) ou la tension d'oxygène (sensibilisation des cellules hypoxiques) — pour renforcer l'action clinique tout en administrant des doses de rayonnement relativement faibles. Un colloque international réuni en 1986 par l'AIEA et l'OMS sur la radiothérapie dans les pays en développement a permis de faire le point de cette très importante spécialité et de déterminer les besoins de nombreux pays*. De nombreuses activités de coopéra-

* Le compte rendu du colloque est en vente à l'AIEA. Référence STI/PUB/719. Pour la commande, se reporter à la rubrique *Nouvelles publications de l'AIEA*.

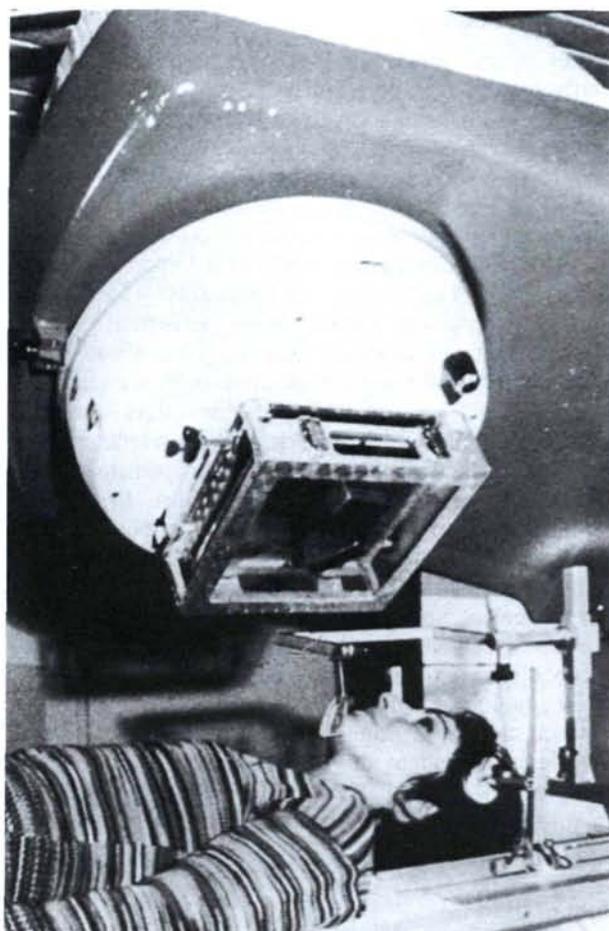
tion technique visent à former un corps technique de radiothérapeutes, de radiologues, et de physiciens médicaux pour valoriser la radiothérapie du cancer.

Le projet égyptien sur le cancer, organisé par l'AIEA et le Gouvernement de l'Égypte en collaboration avec l'OMS et avec l'appui financier de l'Italie, est un bon exemple de l'emploi de la radiothérapie adaptée aux besoins et aux conditions socio-économiques des pays en développement. La priorité est donnée à la brachythérapie (traitement rapproché) des carcinomes du col de l'utérus, qui fait appel à des techniques intracavitaires utilisant des sources au caesium 137 chargées manuellement. Quatre stages de formation relevant de ce projet ont permis de former 95 stagiaires venus d'Égypte et de quelques autres pays africains. (L'Agence prévoit pour l'Afrique, en 1989, un séminaire sur l'organisation et la formation en radiothérapie.) On promet également les applications de la radiothérapie en Asie et dans le Pacifique dans le cadre du programme technique de l'Agence relevant de l'Accord régional de coopération. Un stage de formation qui s'est tenu en Malaisie a réuni des spécialistes de la radiothérapie et de la physique médicale venus de 11 pays. Outre le traitement du cancer du col de l'utérus, le stage s'est également intéressé à d'autres techniques thérapeutiques, notamment les sources classiques de rayonnement au radium 226 et le nouveau californium 252, et les appareils de grande puissance à chargement télécommandé.

Techniques nucléaires d'analyse

Recherche nutritionnelle. Les méthodes nucléaires sont très employées en recherche nutritionnelle. Les spécialistes estiment qu'une quinzaine d'oligo-éléments, dont l'iode, le fer, le cuivre, le zinc, le cobalt et le sélénium, sont essentiels à la santé, en quantités variables. L'Agence a lancé des programmes de recherche visant à déterminer pour divers pays l'ingestion réelle d'oligo-éléments par voie alimentaire et à la comparer avec les quantités recommandées. On recueille actuellement des échantillons de régime alimentaire total dans 12 pays industrialisés ou en développement. C'est la première fois que l'on fait une évaluation nutritionnelle de tous les éléments (24 en tout) présents en faible quantité ou à l'état de traces et jugés importants sur le plan nutritionnel. Dix-sept de ces 24 éléments sont déterminés par analyse par activation neutronique. L'Agence a également établi un ensemble de données de référence sur le régime alimentaire total, homologué pour 22 éléments avec l'aide de 79 participants venus de 33 pays. L'analyse par activation neutronique a fourni environ un tiers des résultats. Les premiers résultats montrent déjà que, pour de nombreux oligo-éléments essentiels, l'ingestion effective par voie alimentaire est bien inférieure, dans certains pays, aux doses recommandées.

Les effets de certaines carences en oligo-éléments très fréquentes sont souvent flagrants. Rien qu'en Asie, plus de 400 millions de personnes souffrent d'un manque d'iode, à des degrés divers. Cela dit, la plupart des carences se manifestent très souvent de façon plus subtile et moins visible, et ce n'est que depuis peu que l'on commence à se rendre compte qu'elles sont bien plus



Appareil de radiothérapie par faisceau externe. (Photo: CEA)

répandues que l'on ne le pensait. Dans de nombreux pays, on ajoute déjà certains éléments aux denrées alimentaires, surtout de l'iode et du fer, et des recherches sont en cours notamment sur le cuivre, le zinc et le sélénium.

Recherches sur les rapports entre l'environnement et la santé. Là aussi, la recherche compte désormais sur les techniques analytiques nucléaires et s'intéresse tout spécialement aux métaux lourds toxiques, tels le mercure, le cadmium, le plomb et l'arsenic. On a pu montrer notamment que le cheveu était le meilleur indicateur de l'exposition environnementale et professionnelle à plusieurs de ces éléments. En ce qui concerne plus particulièrement le mercure, le cheveu semble traduire fidèlement la contamination du corps entier. D'autres programmes de recherche portent sur les techniques permettant de surveiller l'application des règlements nationaux ou internationaux relatifs aux concentrations maximales admissibles d'éléments toxiques dans les aliments, ainsi qu'à la pollution du milieu due aux déchets solides, telles les cendres volantes ou les boues des eaux usées. Le contrôle de la qualité est une partie intégrante de ces travaux, et de nouvelles données et méthodes d'analyse de référence ont été mises au point pour le faciliter.

Radiobiologie

Les centres médicaux des pays en développement souffrent d'une grave pénurie de moyens de stérilisation, et c'est pourquoi l'Agence reçoit des demandes de plus en plus nombreuses pour la mise en place de petites installations de radiostérilisation. Des 135 irradiateurs gamma de grande capacité qui existent dans 42 pays, les pays en développement en possèdent 20, dont la plupart ont été installés grâce aux études et à l'appui technique de l'Agence. Les fournitures médicales — seringues, aiguilles, bistouris, tubes pour perfusion, sondes creuses, sutures en catgut, scalpels, gazes absorbantes, pansements, produits pharmaceutiques et même tissus pour greffes — sont indispensables dans tous les hôpitaux du monde. L'emploi par inadvertance d'un matériel contaminé par des micro-organismes peut provoquer des infections souvent fatales. Les rayons gamma du cobalt 60 sont très efficaces et permettent la stérilisation «à froid», après conditionnement, en particulier des matières plastiques sensibles à la chaleur. Contrairement aux produits habituellement utilisés — l'oxyde d'éthylène — les rayonnements ne laissent aucun résidu toxique sur le matériel traité.

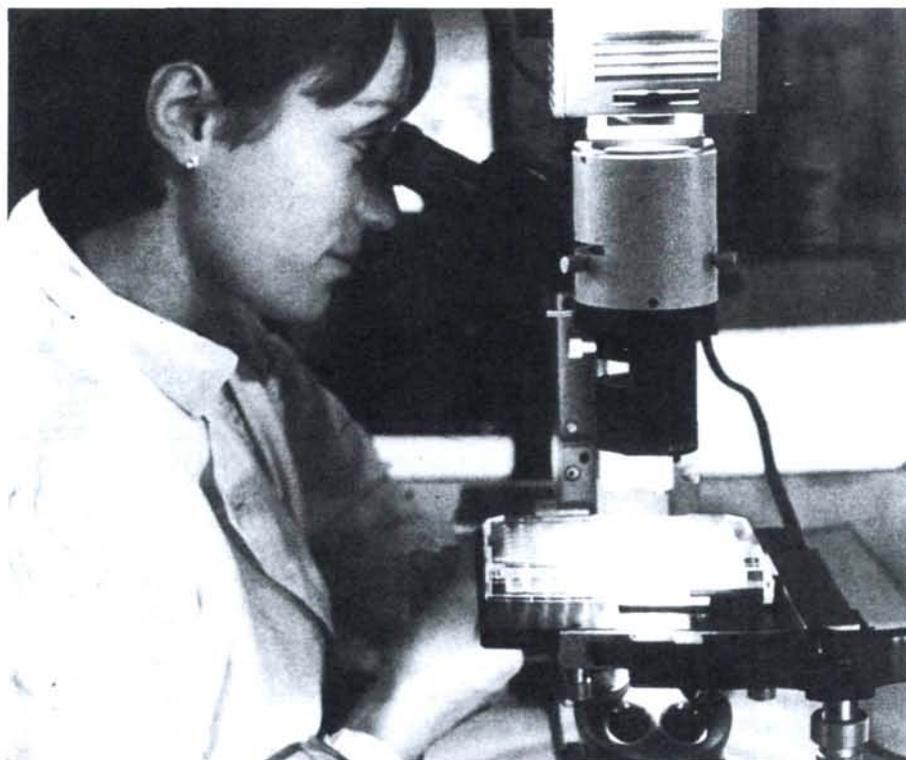
La radiobiologie intervient également dans les travaux sur la nutrition. La division mixte FAO/AIEA finance actuellement des recherches coordonnées sur l'emploi des techniques nucléaires pour augmenter la valeur nutritive de la cassave, nourriture de base dans de nombreux pays tropicaux.

Dosimétrie

Le réseau AIEA/OMS. Dans le domaine de la métrologie, rares sont les pays qui ont établi des étalons primaires pour la mesure des rayonnements ionisants.

Les Etats parties à la «Convention du mètre» ont la possibilité de comparer leurs étalons de mesure avec ceux du Bureau international des poids et mesures ou d'en demander la vérification s'il s'agit d'un étalon secondaire. Cependant, environ la moitié seulement des 47 Etats parties à la convention ont des étalons pour la dosimétrie. A mesure que les applications des rayonnements ionisants se multipliaient, il a fallu résoudre les problèmes créés par l'insuffisance des moyens d'étalonnage. L'AIEA a donc proposé la création de laboratoires spécialisés dont les travaux seraient assistés par les laboratoires primaires d'étalonnage existants, et coordonnés par l'AIEA ou l'OMS. Ce réseau de laboratoires secondaires d'étalonnage pour la dosimétrie a été mis en place au cours des dix dernières années, notamment à l'intention des pays en développement; on en compte maintenant 60, dont 46 dans ces pays.

La plupart de ces laboratoires ont été créés pour procéder à des étalonnages et assurer la qualité de la dosimétrie en radiothérapie et radioprotection. A mesure que les applications thérapeutiques des rayonnements se multiplieront, la demande de mesures exactes des doses ira croissant. S'il est vrai que la radioprotection et la surveillance des faibles niveaux de radioactivité de l'environnement se contentent d'une moindre précision, l'expérience de Tchernobyl a néanmoins démontré la nécessité d'améliorer l'étalonnage et la fiabilité des dosimètres pour les faibles doses. C'est pourquoi le réseau de laboratoires a lancé un programme d'assurance de la qualité. Dans le cadre des installations existantes, les mesures obtenues à des moments, dans des lieux et avec des instruments différents sont comparables, de sorte que les autorités compétentes peuvent en tirer des conclusions valables. Le service de dosimétrie de l'Agence, installé dans les laboratoires de



Un chercheur observe une culture de cellules servant à la production d'anticorps monoclonaux. (Photo: E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc.)

On peut utiliser les techniques nucléaires pour étudier et traiter les tumeurs de la thyroïde, qui peuvent être dues à une carence d'iode. La fonction thyroïdienne peut être évaluée par des dosages *in vitro* des hormones, et l'on peut faciliter son diagnostic anatomique et anatomo-pathologique par des techniques *in vivo*, telle la scintigraphie. Lorsque le traitement d'une tumeur thyroïdienne s'avère nécessaire, on a recours dans certains cas à la radiothérapie. (Photo: Regional Health Papers n° 10, Bureau régional de l'Organisation mondiale de la santé pour l'Asie du Sud-Est, New Delhi 1985).



Seibersdorf, est le centre du réseau. (Voir l'article sur les laboratoires de Seibersdorf pour des informations plus détaillées à ce sujet.)

Comparaison de doses pour la radiothérapie.

L'AIEA et l'OMS assurent depuis 1970 un service de comparaison de doses par correspondance. Des dosimètres à thermoluminescence sont préparés et étalonnés à l'AIEA, puis envoyés par la poste à l'OMS qui les transmet aux hôpitaux des pays en développement participant au réseau. Ils sont ensuite exposés dans des conditions bien précises, à une dose spécifiée par le laboratoire de l'hôpital. Après leur retour au laboratoire de l'Agence, on procède à leur lecture et les participants sont informés, toujours par l'intermédiaire de l'OMS, des écarts excessifs que l'on a pu relever et de leur cause probable, et l'on recommande les mesures à prendre. Chaque année, on distribue environ 200 dosimètres dont 100 à 150 sont renvoyés pour lecture. Ce service dessert 650 hôpitaux. Dans l'ensemble, 70% des hôpitaux accusent des écarts de l'ordre de plus ou moins 5%, amélioration sensible par rapport aux années 70, où 60% seulement des hôpitaux parvenaient à ce résultat. On

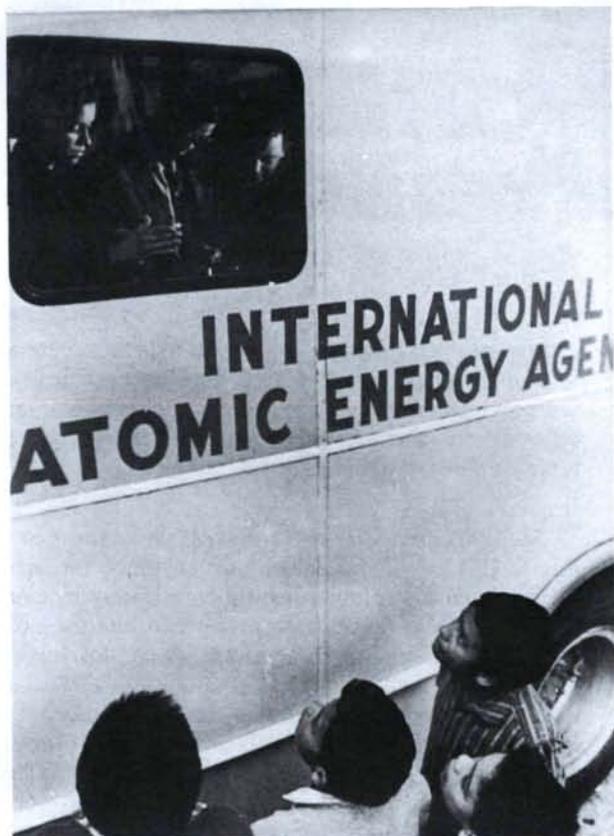
estime que 90% serait un objectif réaliste; ce service sera donc nécessaire pendant encore un certain temps. On prévoit d'ailleurs de l'étendre à toutes les qualités utiles de rayonnement et d'introduire l'usage d'un fantôme de forme humaine.

Normalisation des doses élevées et assurance des doses.

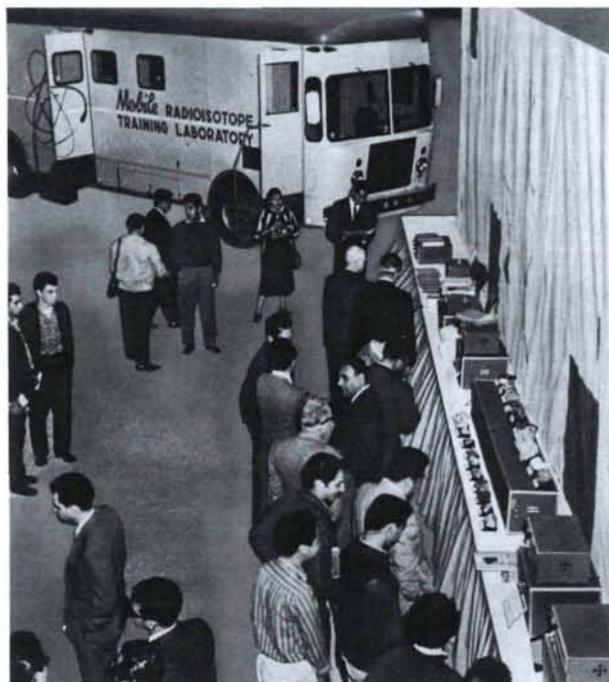
L'AIEA a également mis en place un service international d'assurance de dose pour les rayonnements intenses, afin de faire de la dosimétrie une mesure de contrôle de la qualité des traitements par les rayonnements dans l'industrie. Les installations d'irradiation industrielles ou non traitant avec des doses absorbées de rayonnement gamma et d'électrons de 10 grays à 100 kilograys sont invitées à participer. Depuis juin 1985, plus de 200 vérifications de doses ont été effectuées sur 27 irradiateurs de 18 pays. De manière générale, les résultats ont été très bons; cela dit, les écarts varient entre -20% et +24%. On s'attend que la normalisation de la dosimétrie des irradiations industrielles mène à l'homologation des produits irradiés et à leur libre circulation sur les marchés internationaux.



Pages d'album



Le laboratoire mobile de radio-isotopes de l'AIEA a servi de centre itinérant de formation au cours des années 60, éveillant un vif intérêt dans les pays visités. On le voit ici au Mexique, où l'une de ses étapes fut l'Université de Guanajuato.



L'AIEA a assisté diverses campagnes de destruction des insectes à l'aide de techniques nucléaires. L'une d'entre elles, le projet BICOT exécuté au Nigeria, a permis d'éliminer totalement la mouche tsé-tsé d'une région agricole. L'opération, à laquelle collabore l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), continuera dans un autre secteur.



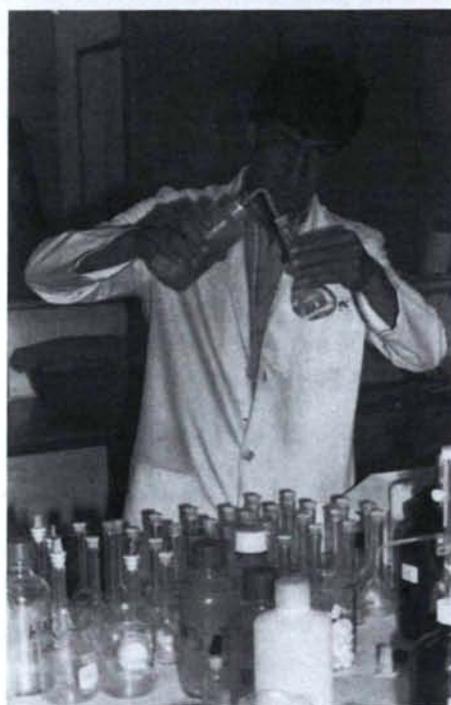
Dans le cadre d'un projet de recherche des années 60 visant à étudier l'emploi des engrais à l'aide de techniques nucléaires, quelque 20 pays ont fait parvenir aux Laboratoires de l'AIEA, à Seibersdorf, des échantillons de grains et de tiges de riz.



En 1966, l'Institut de recherche sur le métabolisme tropical du Conseil britannique de la recherche, en Jamaïque, a utilisé un matériel nucléaire fourni par l'AIEA pour étudier les maladies infantiles dues à la malnutrition.



Depuis 1970, l'AIEA et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) entretiennent un réseau de laboratoires secondaires d'étalonnage pour la dosimétrie, dont l'objet est de normaliser la mesure des rayonnements pour les applications des techniques nucléaires à la médecine, à l'industrie et dans d'autres domaines. On voit ici un technicien au travail en Equateur, dans un des 50 laboratoires du réseau.



La formation de jeunes scientifiques à l'emploi des techniques nucléaires est une activité essentielle de l'AIEA depuis 30 ans. Sur notre photo, un étudiant de l'Université Makere de Kampala (Ouganda), en compagnie d'un scientifique de l'Agence, pendant une séance de travaux pratiques.

