

L'application des rapports des pouvoirs d'arrêt en dosimétrie clinique ne libère pas le spécialiste en dosimétrie de la nécessité d'envisager des facteurs tels que les erreurs introduites par les dimensions finies de la chambre d'ionisation dans un milieu absorbant, notamment dans un espace où le gradient de dose est élevé.

D'autres facteurs relatifs à la dosimétrie clinique ont été examinés, tels que les écarts par rapport aux conditions de Bragg-Gray, l'étalonnage calorimétrique des dosimètres chimiques, l'utilisation de détecteurs au silicium et le rôle des constantes fondamentales.

DETERMINATION DE LA DOSE

En radioprotection comme en médecine nucléaire, il est devenu de plus en plus important d'évaluer exactement la dose tissulaire, et des difficultés théoriques et expérimentales importantes empêchent d'y parvenir. Un modèle de calcul qui examine les énergies spécifiques dans des noyaux des cellules, dues au ^{239}Pu a été présenté. Ce problème a de l'importance pour évaluer les risques que les substances rejetées par les réacteurs présentent pour la population.

La dose absorbée à la suite de l'administration des produits radiopharmaceutiques les plus fréquemment utilisés a été étudiée, et la dose significative du point de vue génétique et somatique a été évaluée pour 1975.

On a rendu compte de travaux expérimentaux importants menés afin d'étudier les hypothèses utilisées en dosimétrie du poumon pour des charges d'émetteurs de rayons bêta-gamma à haute énergie et relativement insolubles.



SOMMAIRE D'UN SEMINAIRE SCIENTIFIQUE DE L'AIEA TENU A KARLSRUHE, RFA, DU 14 AU 18 AVRIL

32 participants et deux observateurs, représentant 23 pays, ont assisté au Séminaire sur "l'emploi du californium 252 dans l'enseignement et la recherche". Vingt-quatre communications ont été présentées au cours des séances officielles et des discussions de groupe.

Le californium 252

Cette réunion constituait la troisième phase d'un programme dont la Section de dosimétrie de l'AIEA a entrepris l'exécution en 1973. La première étape, début 1973, a consisté à mettre au point un service de prêt de sources de californium 252 aux Etats Membres pour les aider dans leurs programmes d'enseignement, de formation et, dans une certaine mesure, de recherche. A ce jour, 14 établissements de 13 Etats Membres ont bénéficié de ce service de prêt.

En août dernier, l'Agence a fait paraître une publication, comprenant un cours et un manuel de laboratoire, rédigée par Eric J. Hall et Harald H. Rossi, professeurs à l'Université Columbia (Californium-252 in Teaching and Research, Collection "Rapports techniques" No 159). La parution de cet ouvrage qui contient notamment des instructions sur la conception et la construction d'une installation de stockage et de travail, a constitué la deuxième phase de ce programme qui visait à aider les utilisateurs dans les domaines de la radiobiologie et de la dosimétrie.

La troisième phase du programme — c'est-à-dire la réunion d'un séminaire — avait pour objet de réunir les bénéficiaires du service de prêt de l'Agence et des experts de divers domaines scientifiques. Plus particulièrement, le Séminaire a consisté en une série d'exposés sur la spectrométrie, l'analyse par activation et par rayons gamma instantanés, le contrôle des produits en cours de fabrication, la dosimétrie, la radioprotection, la radiologie et la radiothérapie.

PROPRIETES PHYSIQUES ET EMPLOIS

Pour mesurer les sections efficaces et les doses, il est indispensable de pouvoir déterminer avec précision le spectre des densités de flux énergétique des neutrons. Les participants au Séminaire ont entendu des communications concernant le spectre des neutrons de fission du californium 252 et l'emploi de sources de californium 252 aux fins d'examen des sections efficaces par mesure du spectre neutronique. Les résultats obtenus montrent que, pour certaines sections efficaces, les erreurs détectées sont de loin inférieures à celles qui entachent les résultats obtenus par des méthodes directes.

Une des principales applications étudiées est l'emploi de sources de californium 252 dans l'industrie pour assumer le contrôle des produits en cours de fabrication au moyen de l'analyse par activation. Il a été fait rapport d'une étude pilote pour le traitement des minéraux; le technique utilisée faisait intervenir une boucle d'irradiation permettant d'exposer constamment des liquides à une source d'un milligramme de californium 252. Divers types d'écoulements ont été adoptés pour plusieurs études de contrôle de la fabrication et l'on a notamment cité comme exemple le dosage du vanadium dans le pétrole brut.

Un exposé plus général a été présenté sur l'analyse par activation neutronique, au cours duquel certains facteurs tels que la géométrie, le blindage et l'aménagement des installations ont été passés en revue. Un complexe d'irradiation assez important, comportant un ensemble de sources disposées de manière concentrique autour du volume où se fait l'irradiation, est utilisé au National Bureau of Standards (NBS), à Washington. Des problèmes pratiques tels que le carottage, le dosage du plomb contenu dans les peintures à usage domestique et d'autres applications ont été étudiés dans les installations du NBS.

DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION

Plusieurs exposés ont été faits sur la dosimétrie en air libre et en fantôme et sur des appareils de dosimétrie. Ce tour d'horizon a commencé par un examen des principes et attitudes générales en vue de classer les variables dépendantes et indépendantes liées aux analyses et mesures dosimétriques, les paramètres déterminants en matière d'expérimentation et les techniques fondamentales auxquelles il est fait appel.

La dosimétrie fait intervenir différentes grandeurs et unités, notamment celles qui ont trait à l'activité de la source, aux mesures de champ comme la densité de flux énergétique et la fluence énergétique et celles qui ont trait aux effets des rayonnements comme la dose absorbée et le kerma. De nombreux problèmes de calcul et d'appareillage se posent donc lorsqu'on veut caractériser avec exactitude une source à champ mixte. Le champ de rayonnement d'une source de californium 252 en espace libre est caractérisé par le kerma, la dose absorbée et l'équivalent de dose pour les mesures de dose faites aux fins de la radioprotection. Les mesures de la fluence et de la dose ont été faites au moyen de détecteurs à seuil et de dosimètres de haute sensibilité placés à proximité des installations où l'on manipule le radionucléide. Des détecteurs par traces et des détecteurs d'albedo neutronique ont été mis au point pour le contrôle radiologique du personnel et ont été étudiés en détail.

Les problèmes liés à la dosimétrie en fantôme sont plus délicats vu l'exactitude et la précision qui sont exigées. Dans l'ensemble, on a donné la préférence aux techniques de



Personnel médical se servant d'écrans protecteurs pour l'application clinique du californium 252.
Photo: Dr. Basil Hilaris, Memorial Hospital, New York.

mesures par ionisation qui semblent être plus exactes et plus précises que les autres techniques. Néanmoins, en raison de la complexité des méthodes d'ionisation et des limites géométriques qui leur sont inhérentes, on a été amené à mettre au point d'autres techniques telles que la dosimétrie par traces, par thermoluminescence ainsi que des modèles mathématiques.

Les participants ont souligné l'importance de la radioprotection dans la manipulation des sources de neutrons de fission, ce qui témoigne de l'importance croissante qu'on attache aux risques que présentent ces nucléides. Avec l'apparition des sources de neutrons en radiothérapie il a fallu revoir les procédures ordinaires de protection et de contrôle. Différents problèmes ont été étudiés: stockage, préparation des sources, transport des sources, application interne des sources aux malades, etc. Les mesures et calculs de protection ont fait l'objet d'une attention particulière.

RADIOBIOLOGIE ET APPLICATIONS MEDICALES

Depuis quelques années la radiobiologie du californium 252 soulève un certain intérêt, des sources de brachythérapie étant devenues accessibles pour les études cliniques de radiothérapie. Des exposés ont été faits sur l'efficacité biologique relative du californium 252, et plus particulièrement sur l'interdépendance de la forme de la courbe de survie, de la dose totale, du débit de dose et du type de système biologique.

Le manque apparent de concordance entre les valeurs publiées, de l'effet biologique relatif (EBR) peut s'expliquer par l'étroite dépendance qui existe entre le débit de dose et la réparation des dommages sublétaux. A des débits de dose élevés avec des rayonnements ordinaires, les possibilités de réparation des dommages sublétaux sont très faibles, ce qui réduit sensiblement l'EBR par rapport au traitement par exposition à des neutrons.

L'effet oxygène est également important. L'existence de cellules oxygénées peu radio-résistantes à l'intérieur de tumeurs solides a conduit à utiliser des sources de neutrons. Ces dernières ont en présence d'oxygène un rapport de renforcement des effets plus faible que celui des rayonnements ordinaires et devraient donc être plus efficaces. Là encore, il importe de comprendre dans quelle mesure le rapport de renforcement dépend de la dose totale, du débit de dose et d'autres facteurs.

Pour les applications cliniques, les considérations théoriques sont modifiées par de nombreuses considérations d'ordre médical. En premier lieu, le recours à un traitement expérimental doit être motivé par des arguments cliniques irréfragables quand le pronostic avec des traitements normaux est défavorable. Cette considération d'ordre déontologique restreint considérablement la portée de toute étude. En outre, les restrictions très strictes appliquées en matière de radioprotection pour la manipulation des sources de californium 252 ont fait que les essais se sont déroulés avec des précautions qui ne sont pas exigées pour les implants de radium ou d'iridium.

Une technique fondée sur celle qui est pratiquée à Oxford pour les implants de fils d'iridium 192 a été mise au point pour les essais cliniques du californium 252: une nouvelle méthode de chargement a été utilisée, qui consiste à charger les sources dans des tubes de matière plastique implantés par intervention chirurgicale. Jusqu'à présent, depuis le milieu de l'année 1972, 21 malades seulement ont été traités, ce qui ne permet pas de faire des comparaisons valables avec d'autres méthodes.

PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

Une série de programmes d'enseignement et de recherche ont été exposés dans leurs grandes lignes, en particulier:

- Dans le cadre de deux accords avec le Centre d'études nucléaires Bhabha, à Bombay, l'AIEA a fourni des sources pour l'enseignement et la recherche. Les travaux comportent la dosimétrie par ionisation, la dosimétrie chimique, photographique et par thermoluminescence, l'analyse par activation à seuil et la spectroscopie des neutrons.
- A la suite de la construction d'un prototype de conteneur, des sources et quelques instruments ont été prêtés à la Commission de l'énergie atomique du Ghana. Le programme ghanéen donne une grande place à la dosimétrie par ionisation et par activation.
- A l'Institut national des sciences radiologiques du Japon un programme très poussé d'enseignement et de recherche fait appel aux études nucléaires, aux mesures à l'aide de compteurs proportionnels et à des recherches de radiobiologie.
- Des exposés ont été consacrés aux travaux de recherche en cours à l'hôpital Groote Schuur et à l'Université du Cap à l'aide de sources fournies par l'AIEA. On a décrit les travaux faits dans un fantôme de composition équivalente aux tissus musculaires à l'aide d'un détecteur à scintillation et d'un discriminateur de forme pour séparer les neutrons et les rayons gamma constituant la dose. Des études de l'EBR et de l'effet oxygène sont également en cours.

- Des expériences faites à l'Université de Neuchâtel ont été décrites succinctement. Une chambre à nuage à diffusion alcool-air, un détecteur à scintillateur liquide et une émulsion nucléaire ont formé l'essentiel des appareils qui ont servi au programme expérimental.
- Deux communications sur l'emploi du californium 252 dans l'enseignement de la chimie radioactive ont été présentées et une installation peu coûteuse servant à familiariser les étudiants avec les travaux pratiques d'analyse par activation neutronique, la décroissance radioactive et la saturation a été décrite.
- Une séance du Séminaire a été consacrée à des communications sur les progrès récents de la recherche. On a décrit des études préliminaires sur la mise au point d'une technique de transport par jet d'hélium appliquée à une source de californium 252 à la température de l'air liquide, et la construction à l'Université Kossuth, en Hongrie, d'une installation d'activation capable de recevoir jusqu'à 50 mg de californium 252. Les discussions ont également porté sur les mesures de sections efficaces, le dosage du titane dans la bauxite et l'emploi de détecteurs par traces.

CONCLUSIONS

De manière générale, les participants ont reconnu que les petites sources de californium 252 étaient très utiles pour l'enseignement. La forte activité spécifique de ces sources de neutrons de fission, jointe à des niveaux relativement faibles de contamination gamma si on les compare à des sources mixtes, donne au californium 252 un avantage marqué sur d'autres types de générateurs de neutrons. Des prix d'achat relativement faibles, une manipulation facile, un emballage simple et un spectre bien défini ont été considérés comme autant de facteurs favorables.

Dans l'industrie, l'emploi du californium 252 pour le contrôle des produits en cours de fabrication et pour la radiographie semble prometteur et de nombreux laboratoires nationaux ont établi des programmes pour l'introduire et l'utiliser dans le contrôle de la qualité de la fabrication.

Les applications médicales du californium 252 sont actuellement limitées, étant donné la nécessité d'adopter une attitude prudente dans la conception des études cliniques. Vu la nécessité d'éviter les risques pour la santé que présente l'exposition aux neutrons, et vu le nombre relativement limité de tumeurs qui se prêtent à un tel traitement, il sera impossible de se prononcer avant longtemps sur la valeur des applications médicales du californium 252 en brachythérapie.