

perfectionnements apportés à la détection des rayonnements

L'efficacité d'un plan de radioprotection doit être vérifiée à l'aide d'un procédé de contrôle radiologique adéquat.

Un colloque récemment organisé par l'Agence a fait le point des perfectionnements apportés aux détecteurs pouvant servir à mesurer différents types de rayonnements, et aux indicateurs biologiques des doses d'irradiation qui pourraient acquérir un intérêt réel.

Le colloque avait un programme très complet. Les communications présentées au cours des huit séances de travail étaient consacrées aux sujets suivants: techniques et méthodes d'étalonnage, comparaison des caractéristiques des détecteurs et choix de détecteurs à des fins de contrôle radiologique particulières, perfectionnements des méthodes de dosimétrie dites «biologiques», telles que l'évaluation de la dose de rayonnement par voie d'analyse des aberrations chromosomiques. Quelque 160 spécialistes de 29 pays et de quatre organisations internationales ont pris part aux délibérations qui se sont étendues sur une semaine.

A la séance d'ouverture, le Professeur Ivan Jeloudev, Directeur général adjoint chargé des opérations techniques, a rappelé que l'Agence a joué un rôle essentiel dans l'organisation d'autres colloques, notamment sur le contrôle dosimétrique du personnel en cas d'accidents dus aux rayonnements, l'évaluation de la radioactivité chez l'homme et les mesures à prendre en cas d'accident nucléaire, réunis respectivement en 1964, 1965 et 1969. A l'heure actuelle, le Département de la recherche et des isotopes de l'Agence s'efforce d'aider les Etats Membres à améliorer leurs méthodes dosimétriques en leur offrant un service de comparaisons interlaboratoires, en collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS); plus de 200 établissements d'au moins de 45 Etats Membres participent à ces travaux. Des laboratoires secondaires de normalisation sont installés dans plusieurs pays au titre d'un projet exécuté également avec le concours de l'OMS.

M. G.A. Doroféev (AIEA — Division de la santé, de la sécurité et de l'élimination des déchets) a passé en revue les activités inscrites au programme expérimental de comparaisons, en présentant une communication en collaboration avec M. S. Somasundaram du Centre nucléaire Bhabha de Bombay (Inde) et ancien fonctionnaire de l'Agence.

Les deux auteurs font ressortir que la mesure des rayonnements et le contrôle de la radioexposition du personnel dans les établissements nucléaires sont essentiels pour assurer la sécurité radiologique et que, pour procéder à des mesures sûres et précises, il est nécessaire d'étalonner les instruments avec soin, c'est-à-dire de déterminer la relation entre les valeurs indiquées par ces instruments et les quantités réelles mesurés.

Les méthodes de mesure relatives sont largement utilisées dans les sciences, mais les mesures concernant la radioprotection sont faites en unités absolues de dose, de concentration, de densité de flux, etc. Les résultats sont enregistrés. A l'aide de moyens spéciaux, on peut reproduire exactement les quantités à mesurer, et étalonner ainsi les instruments qui seront utilisés dans la pratique.

MM. Doroféev et Somasundaram font observer que la plupart des pays en voie de développement ne disposent pas de centres nucléaires où les instruments et les sources radioactives pourraient être étalonnés. Ils doivent demander à des établissements étrangers de leur préparer des instruments et sources de référence secondaires, qui servent à étalonner la matériel affecté aux laboratoires et aux opérations extérieures.

Afin d'évaluer l'exactitude et la fiabilité des mesures aux fins de radioprotection, qui sont faites dans les laboratoires d'Etats Membres, il a été décidé d'inviter plusieurs de ceux-ci à participer à un programme expérimental de comparaisons. Chaque laboratoire a reçu un jeu de

Les participants au colloque, photographiés au cours de la séance d'ouverture. Photo: Schikola



cinq dosimètres en verre luminescent et a été prié d'en irradier deux à 500 mR chacun et deux à 1 R chacun, mais dans des conditions différentes, par exemple à des distances différentes de la source ou au moyen de sources différentes ou encore en employant des instruments de référence secondaires différents. Le cinquième dosimètre n'était pas destiné à être irradié, mais devait constamment se trouver à proximité des autres de façon à contrôler la radioactivité ambiante à l'intérieur du laboratoire et pendant le transport. L'irradiation terminée, les cinq verres devaient être renvoyés à l'Agence pour lui permettre d'en relever les indications.

Il est apparu que la plupart des résultats (fig. 1) étaient proches des expositions prescrites. Certains écarts importants pourraient être dus à des erreurs commises durant l'irradiation ou à des incertitudes inhérentes à la mesure des débits d'exposition correspondant aux champs gamma utilisés; d'autres s'expliqueraient par l'emploi de verres rayés ou ébréchés, car la dose mesurée peut alors comporter une forte proportion de rayonnement diffusé. Il se peut qu'au cours des travaux ultérieurs, le procédé expérimental soit modifié et que les mesures deviennent plus exactes. On pourrait toutefois considérer cette expérience comme un premier pas vers une normalisation plus poussée.

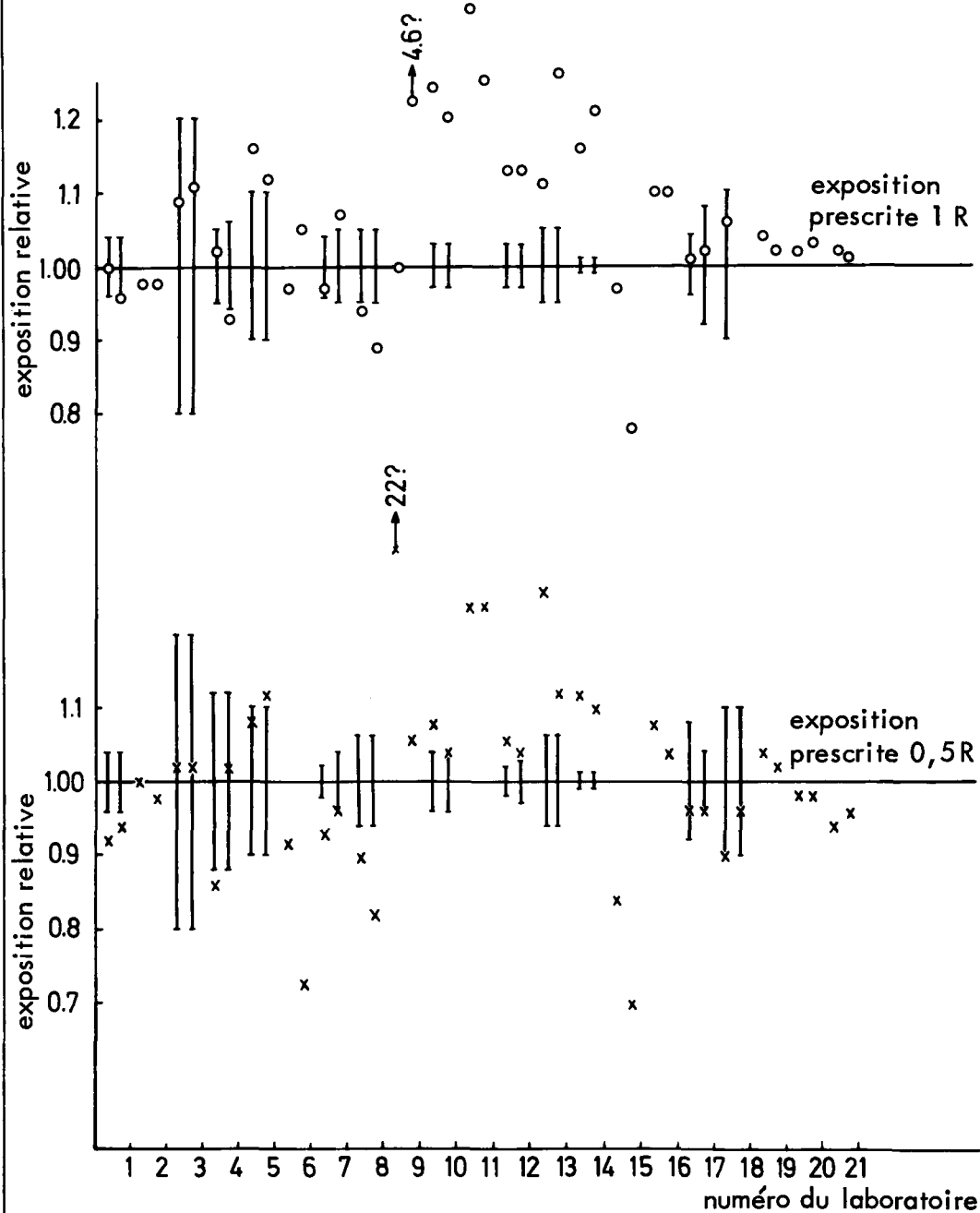
Physique des mesures

Pendant les quatre premiers jours du colloque, les participants ont décrit et examiné une très grande variété d'instruments pouvant servir à la dosimétrie, et ils ont discuté de leur étalonnage. M. H. Brunner, chef adjoint de la Division de la radioprotection à l'Institut fédéral d'étude des réacteurs de Würenlingen (Suisse), a présenté un mémoire où il a exprimé une opinion personnelle qui semble être largement partagée.

«Le contrôle radiologique», a-t-il dit, «a cessé d'être une occupation à la fois divertissante et passionnante qui nous permet de nous amuser avec de nouveaux jouets; il est devenu une profession normale. Nous devons considérer les détecteurs de rayonnements comme des outils qu'il faut construire selon des spécifications précises et utiliser pour des opérations de contrôle strictement définies, le but étant d'obtenir des données qui peuvent être interprétées en vue d'établir des règlements de radioprotection ou de déterminer l'exposition de personnes.

«La plupart des problèmes courants sont résolus de manière satisfaisante. En assurant une coopération internationale efficace entre radioprotectionnistes, fabricants et pouvoirs publics, en faisant profiter la recherche et l'industrie des solutions apportées aux problèmes de routine et en utilisant les moyens disponibles de façon rationnelle, nous parviendrons plus facilement à atteindre notre objectif essentiel qui est d'assurer une protection radiologique suffisante dans toutes les situations.»

Il ne faut pas dénier pour autant toute valeur à la recherche fondamentale qui porte sur des types nouveaux de détecteurs. Ainsi, on a manifesté de l'intérêt pour un détecteur à «avalanche» au silicium qui a été décrit par G.C. Huth et P.J. Moldofsky de la General Electric Company (Space Technology Products), et réalisé dans le cadre d'un contrat passé par la Commission de l'Energie atomique des Etats-Unis. Les auteurs du mémoire estiment que ce détecteur, semblable à un compteur proportionnel, pourrait préparer le terrain pour l'emploi



Résultats de l'expérience

d'émetteurs de rayonnements de faible énergie, inutilisables auparavant, et permettre des travaux cliniques et expérimentaux qu'on ne pouvait réaliser jusqu'à présent. Sous l'action du rayonnement ionisant incident, des paires électron-lacune se forment dans la région dite «de dérive» ou «proportionnelle» du semi-conducteur, et l'avalanche de particules chargées qui traverse alors la jonction P-N a pour effet d'amplifier la charge déposée d'un facteur de 100 à 300.

M. Huth a fait observer que grâce à ce détecteur, un rayonnement gamma incident de 22 keV émis par une source au Cadmium-109 donnerait (dans l'hypothèse d'un gain de 100) un signal de sortie équivalent à 2.2 MeV; ainsi, un rayonnement qui serait normalement deux fois plus faible que le bruit de fond dépasserait celui-ci de 50 fois. De même, les rayons X de 3, 31 keV du Calcium-41, qui seraient inférieurs au mouvement propre d'autres détecteurs à semi-conducteurs fonctionnant à la température ambiante, produiraient un signal de sortie équivalent à celui que donnerait un détecteur au silicium sans amplificateur en présence d'un rayonnement X de 331 keV.

Mesure des charges corporelles

«Ainsi, on parvient désormais», a déclaré M. Huth, «à déceler des radioéléments de faible énergie par des signaux sensiblement supérieurs au bruit de fond, alors qu'autrefois ils étaient inutilisables *in vivo* lorsque le mouvement propre du détecteur ne pouvait être réduit par un refroidissement cryogénique. Des détecteurs appropriés permettent de déceler des rayons bêta très faibles, de l'ordre de 5 keV, et des rayons gamma ou X de 1 keV; à titre expérimental, on a employé le détecteur à avalanche avec des rayons X de 380 eV.»

Un appareil de ce type faciliterait les études sur le plutonium inhalé déposé dans les poumons pour lequel la charge maximale admissible est fixée à 16 nCi et qui exige un comptage à faible bruit de fond. Cet élément d'une très grande radiotoxicité a été mesuré par détection des rayons X de 13,6, 17,4 et 20,5 keV de l'uranium formé par filiation; certaines compositions isotopiques du plutonium, obtenues récemment, n'émettent que quatre à huit de ces photons X de faible énergie pour cent particules alpha.

Des études de longue durée faites sur des chiens ont montré que les particules de $^{239}\text{PuO}_2$ inhalées se déplacent des poumons vers les ganglions lymphatiques du thorax à un rythme tel qu'au bout de dix ans 60% de la charge corporelle se trouve concentrée dans ces ganglions. M. Huth et ses collaborateurs en ont conclu qu'il serait utile de déterminer l'activité des ganglions lymphatiques de la région trachéo-bronchiale et médiastinale par des mesures internes; c'est pourquoi ils ont réalisé des prototypes de détecteurs à avalanche qui peuvent être placés dans l'oesophage à proximité des ganglions. Ils ont pu ainsi ramener la distance source-détecteur à un centimètre et mesurer des rayonnements de faible énergie dont la profondeur de pénétration dans les tissus n'est pas suffisante pour permettre des mesures externes.

En vue d'illustrer les possibilités d'application cliniques du détecteur à avalanche, M. Huth a signalé une étude des effets produits par l'administration d'hormones et de produits chimiothérapeutiques pour le traitement des tumeurs malignes du sein, la fixation du phosphore-32 étant mesurée en fonction du temps après le début de l'expérience. On espère que cette méthode permettra de déterminer le traitement efficace plus vite qu'on ne pouvait le faire auparavant, tout en administrant des doses

de phosphore-32 inférieures à celles exigées dans le passé. M. Huth et son équipe souhaitent que le détecteur qu'ils ont présenté stimule l'intérêt pour les applications cliniques des basses énergies ne donnant qu'un faible taux de comptage, ce qui permettrait de réduire les doses à administrer aux malades, et encourage le recours aux radioisotopes qui n'ont pas été employés jusqu'à présent faute d'un système de détection approprié.

Détecteurs à thermoluminescence ou autres

Les mémoires présentés au colloque traitaient, pour la plupart, des perfectionnements apportés aux détecteurs à émission exo-électronique ou à thermoluminescence, aux semi-conducteurs du type décrit ci-dessus, aux compteurs proportionnels et à scintillation et à d'autres moyens physiques servant à mesurer les doses de rayonnements. Un auteur a fait observer que parmi les produits employés dans les appareils à thermoluminescence, le fluorure de lithium figure nettement en tête, la moitié environ de toutes les publications pertinentes mentionnées dans Nuclear Science Abstracts en 1969 étant consacrée à ce composé. Il en voit l'explication dans le fait que le fluorure de lithium, le borate de lithium et l'oxyde de beryllium ont un nombre atomique proche de celui du tissu humain, et que par conséquent aucun écran n'est requis pour empêcher une réponse anormale aux rayons gamma de moins de 100 keV; le fluorure de lithium présente aussi d'autres propriétés intéressantes.

Le dernière matinée était consacrée aux progrès de la dosimétrie biologique. En présentant le premier mémoire sur la question, le Professeur H.J. Evans du Western General Hospital (Medical Research Council, Clinical and Population Cytogenetics Unit) d'Edimbourg (Royaume-Uni) a rappelé qu'il y a une trentaine d'années, Karl Sax avait procédé à la première estimation critique du rapport entre la fréquence des aberrations chromosomiques et la dose. «Il est hors de doute», a-t-il déclaré, «que pour tout type de cellule de toute espèce vivante, uniformément exposé à un rayonnement de qualité connue dans des conditions bien définies et contrôlées, il existe une relation très précise entre la fréquence des aberrations radioinduites et la dose absorbée. C'est cette relation qui revêt une importance primordiale pour tous les dosimètres biologiques.»

Détermination de la dose par les aberrations chromosomiques

Au cours des dix dernières années, de nombreuses équipes de chercheurs ont fait des études sur les aberrations chromosomiques radioinduites dans les lymphocytes humains exposés *in vivo* ou *in vitro*, qui ont permis de réunir une documentation considérable sur la réponse de ces cellules. Plusieurs équipes ont tenté d'appliquer cette méthode dans la pratique en vue d'évaluer la dose chez des victimes de radioexpositions accidentelles.

«Pour que cette application soit possible», a dit M. Evans, «nous devons être à même de passer de la fréquence des aberrations constatée dans les cellules prélevées chez un individu exposé, à une fréquence d'aberration connue déterminée par voie expérimentale; en d'autres termes nous devons disposer d'une courbe de doses à des fins de référence. En outre, nous savons, grâce aux travaux exécutés sur

d'autres espèces, que la fréquence des aberrations varie très fortement sous l'effet de divers facteurs physiques et biologiques.

«Malgré toutes ces variables» (âge du sujet, délai qui s'écoule entre l'irradiation et le prélèvement d'un échantillon, conditions de culture en laboratoire), «nous sommes à même de déceler des aberrations dues à de faibles doses de rayons X ordinaires de l'ordre de 10 rads; dans un laboratoire où les conditions de culture sont normalisées et les variables connues, l'opération peut être répétée de façon très satisfaisante. Ainsi, quand il s'agit d'une irradiation uniforme du corps entier, je suis optimiste.»

M. Evans a toutefois reconnu qu'il était moins optimiste en ce qui concerne les cas d'exposition partielle.

«Si», a-t-il dit, «les aberrations étaient réparties entre les cellules de façon aléatoire, selon le mode de Poisson, si leur nombre augmentait linéairement avec la dose, s'il n'y avait aucune différence quant à la sensibilité des diverses cellules ni quant à la vitesses de développement des cultures de cellules non irradiées et irradiées, et si des lymphocytes subissaient dans le corps un brassage continu, rapide et vigoureux, alors il serait possible de parvenir à une évaluation acceptable des équivalents de dose à l'organisme entier dans les cas où le corps aurait subi une exposition partielle ou grossièrement non-uniforme. Malheureusement, une seule de ces conditions, celle de la répartition aléatoire des aberrations entre les cellules irradiées, se trouve remplie.»

Etablissement du bilan

Deux autres experts, G.W. Dolphin et R.J. Purrott, du Service de la santé et de la sécurité de la Division de radioprotection de l'United Kingdom Atomic Energy Authority, à Harwell (Royaume-Uni), ont exposé dans une communication commune un aspect de la question qui constitue en fait une autre limitation pratique imposée à cette forme de dosimétrie. Les cellules présentant une aberration chromosomique sont comptées après une culture *in vitro*; la quantité dénombrée sous le microscope dépend à la fois du personnel dont dispose le laboratoire et de l'intérêt du cas considéré. Les auteurs affirment que pendant une période de temps prolongé, un assistant qualifié ne saurait compter plus de 50 cellules en moyenne par jour; il faut donc que ce travail soit réparti avec soin parmi les autres tâches à remplir. Au cours de 26 examens effectués dans leur laboratoire au cours des deux dernières années, le nombre des cellules comptées n'a jamais été inférieur à 100 et dans deux cas il s'est élevé à 1000.

Cependant, même à son stade actuel, cette technique s'est révélée utile, au moins dans un cas d'exposition professionnelle aux rayonnements, cité par MM. Dolphin et Purrott. Il s'agissait d'un homme qui avait dû être surexposé — ses doigts portaient des brûlures dues aux rayonnements — à un moment où il ne portait pas de dosimètre photographique. Il fallait chercher à savoir si la personne en question pouvait continuer de travailler sous irradiation du point de vue de l'exposition du corps entier. Une analyse des aberrations chromosomiques a permis de conclure qu'elle pouvait le faire sans aucun risque. Il semble donc que cette forme de dosimétrie peut être intéressante pour rassurer les personnes qui se trouveraient dans des situations semblables.

Cet article ne permet pas d'analyser toutes les communications présentées, ni même d'évoquer toutes les questions discutées, mais les comptes rendus du colloque seront publiés d'ici quelques mois.