

bilatéraux feraient prochainement l'objet d'un transfert d'administration des garanties, notamment un accord entre le Japon et le Royaume-Uni concernant la centrale nucléaire de Tokai Mura. Enfin, les garanties de l'Agence s'appliquent dans sept pays au titre d'accords d'un caractère différent (notamment pour des projets de l'Agence).*

Ainsi, l'Agence est maintenant en bonne voie de s'acquitter pleinement de l'une des fonctions les plus importantes dont elle a été investie lors de sa création.

EXPOSITION A DES DOSES ELEVÉES DE RAYONNEMENTS: PROGRES ACCOMPLIS EN DOSIMETRIE

Dans le cas d'une exposition accidentelle à des rayonnements exceptionnellement intenses, il importe d'obtenir dans les plus brefs délais une indication suffisamment précise sur la dose que chacune des personnes exposées peut avoir reçue. Ce contrôle a essentiellement pour objet de savoir lesquelles de ces personnes doivent éventuellement subir un traitement médical ou être placées en observation. En outre, les renseignements recueillis permettent de compléter les examens cliniques en vue d'orienter les soins médicaux.

Un colloque, tenu à Vienne du 8 au 12 mars 1965, a porté sur l'évaluation des doses reçues par les personnes accidentellement exposées à des rayonnements externes ou contaminées par absorption de matières radioactives ou dépôt de matières radioactives à la surface du corps. Ce colloque, organisé par l'AIEA et l'Organisation mondiale de la santé (OMS), était consacré au «Contrôle dosimétrique du personnel en cas d'exposition accidentelle à des doses élevées de rayonnements intenses externes et internes». Il a réuni 179 participants venus de 34 pays et de 5 organisations internationales. Le sujet traité était très limité – des sujets voisins ont été étudiés lors des autres réunions de la série dans laquelle s'inscrivait ce

* Le document relatif aux garanties établi en 1965 peut être obtenu sur demande adressée à la Division de l'information de l'AIEA. Les comptes rendus du Colloque sur la gestion des matières nucléaires sont publiés dans la collection Comptes rendus de l'AIEA.

colloque. Ainsi, les méthodes générales d'évaluation de la charge corporelle radioactive chez l'homme ont fait l'objet d'un colloque organisé par l'Agence en mai 1964; une réunion commune AIEA/OMS, tenue en octobre 1960, et une autre, qui a eu lieu en octobre 1962, ont porté sur les aspects médicaux du syndrome d'irradiation et sur ceux des radio-intoxications, respectivement.

« Il y a lieu de se féliciter de ce que le développement de l'utilisation de l'énergie atomique et des rayonnements ionisants pour le bien de l'humanité n'ait été marqué que par un très petit nombre d'accidents entraînant l'exposition de personnes à des doses excessives de rayonnements », a déclaré lors de l'ouverture de cette réunion, M. Guennady A. Yagodine, Directeur général adjoint de l'AIEA chargé des opérations techniques. « Néanmoins, il importe au premier chef de disposer de méthodes de contrôle dosimétrique du personnel qui puissent fournir aux médecins en temps utile les indications voulues pour donner les soins les plus appropriés aux accidentés ayant reçu des doses excessives de rayonnements, soit par exposition à des rayonnements externes, soit par absorption de matières radioactives ou à la suite d'un dépôt de matières radioactives à la surface du corps entraînant la contamination ».

Près de la moitié du temps a été consacrée à l'examen des méthodes de mesure applicables aux rayonnements externes; divers types de dispositifs d'alerte et d'enregistrement, de détecteurs et de dosimètres individuels ont fait l'objet d'exposés détaillés. Ensuite, le colloque a entendu des communications sur des méthodes complémentaires, notamment sur l'évaluation de la dose neutronique par l'analyse du sang ou d'échantillons de cheveux ou de poils, et sur des expériences faites au moyen de « fantômes » en polyéthylène en vue d'établir la dose éventuellement reçue dans des circonstances particulières. D'autres mémoires portaient sur la manière de déterminer la contamination interne et d'évaluer les doses dans différentes conditions. A l'ordre du jour de la dernière journée figuraient deux séances sur l'expérience et la pratique de divers centres nucléaires. Le colloque s'est tout particulièrement attaché aux accidents de criticité et aux irradiations neutroniques qui en résultent; en effet, ces accidents risquent souvent d'entraîner des expositions à des doses très élevées.

OBJECTIFS DU CONTROLE DOSIMETRIQUE

Vu le nombre élevé de personnes ayant travaillé dans l'industrie nucléaire depuis 1940, il est surprenant que les accidents graves ou mortels dus aux rayonnements aient été aussi rares, ont dit MM. Andrews, Auxier et Lushbaugh (Etats-Unis) dans leur exposé d'introduction. Comme type de la plupart des radiolésions aiguës, ils ont adopté les dommages causés par l'irradiation aiguë de tout l'organisme par exposition à une source externe. Des problèmes particuliers se posent lorsque le rayonnement externe possède un pouvoir de pénétration très faible, car il n'y a alors aucune mesure commune entre les effets produits sur la peau et ceux que subissent le sang ou les organes internes. De même, une exposition non uniforme de différentes parties du corps à des rayonnements pénétrants peut fausser la réponse et rendre la détermination de la dose difficile sinon impossible. L'uniformité n'étant jamais parfaite, il faut faire preuve de discernement pour déterminer



Trousse de développement des films monobains. (Photo: F. Wachsmann).

à partir de quel degré de non-uniformité on ne peut plus se fier aux données dosimétriques ou à la réponse biologique. Quelqu'un doit être chargé de tenir avec le plus grand soin un registre de tous les événements pertinents, en indiquant l'heure exacte à laquelle ils sont survenus. Il semble raisonnable d'admettre que dans les grandes installations nucléaires, où l'on emploie à la fois des systèmes de contrôle individuel et d'autres moyens de surveillance, les doses peuvent être estimées avec une précision de $\pm 25\%$ dans l'intervalle de une à trois heures après l'exposition, sauf si celle-ci a un caractère trop irrégulier.

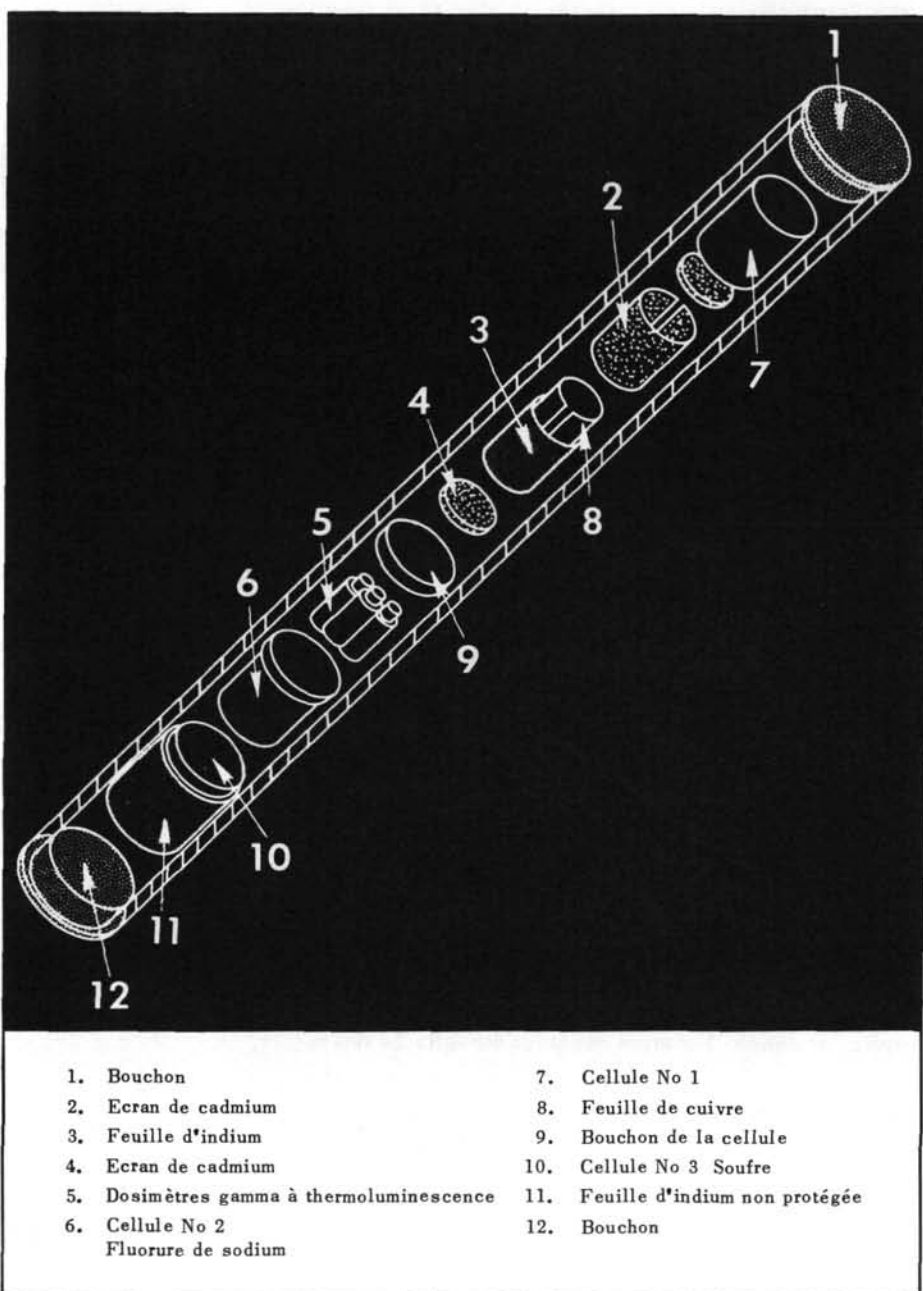
Les études dosimétriques peuvent avoir des objectifs très variés: médicaux, juridiques, administratifs et scientifiques; bien que ceux-ci ne soient pas nécessairement contradictoires, on ne doit jamais perdre de vue que le but essentiel est de soigner les victimes. Selon MM. Duncan et Dunster (Royaume-Uni) ces soins exigent que l'on prenne trois séries de mesures. Tout d'abord, il faut décider s'il y a lieu de poursuivre le traitement ou l'observation; les contrôles dosimétriques opérées à cet effet doivent être rapides, mais n'exigent pas une grande précision. Puis, il faut décider si l'individu sera transféré dans un établissement hospitalier spécialisé. Enfin, le traitement appelle des décisions qui seront fondées davantage sur l'observation du sujet que sur des données dosimétriques. Par la suite, d'autres considérations pourront intervenir lorsqu'il faudra notamment choisir un emploi approprié pour l'intéressé; ces décisions seront probablement influencées par des considérations d'ordre juridique ou administratif et il importe au plus haut point de bien distinguer entre les incidences biologiques d'une dose de rayonnements et les autres facteurs. Les règlements nationaux devant être fondés sur des définitions claires, telles que les recommandations formulées par la Commission internationale de protection radiologique, celles-ci tendent à se transformer en règles rigides.

C'est pourquoi il se peut qu'une certaine marge d'erreur sur les données dosimétriques soit parfaitement admissible dans l'évaluation des effets biologiques, mais qu'elle ne le soit pas du tout du point de vue juridique. On ne saurait admettre que des décisions affectant directement des êtres humains soient dictées par des chiffres avec la précision qui peut se justifier pour des raisons d'ordre administratif, médico-légal ou scientifique.

Depuis que la technologie nucléaire existe aux Etats-Unis, il y a eu 25 accidents de criticité dont 12 ont entraîné une irradiation grave de personnes. M. Vallario (Etats-Unis) a décrit les dispositions que l'on a adoptées pour permettre une évaluation rapide et directe de la dose absorbée au cours de tels accidents. Cette évaluation peut être requise pour des raisons diverses et il n'est pas toujours indispensable de disposer de renseignements sous une forme identique ou ayant la même précision. Il faut utiliser à la fois des dosimètres fixes et des dosimètres individuels et combiner leur emploi. Les dosimètres fixes installés dans la zone de travail peuvent en principe permettre d'établir une carte du champ de rayonnement, mais pour se fonder exclusivement sur cette carte, il faudrait savoir à quel endroit se trouvaient les personnes irradiées au moment de l'exposition. La réponse des petits dosimètres individuels dépend sensiblement de l'orientation du sujet par rapport à la direction des rayonnements; pour remédier à cet inconvénient, il faudrait appliquer des facteurs de correction en vue de tenir compte de l'effet d'écran exercé par le corps, ce qui est possible pour les rayons gamma mais ne l'est pas encore pour les neutrons. MM. Gannouna-Cohen, Fitoussie et coll. (France) ont décrit un dosimètre de poche à alarme. Aux endroits où le rayonnement est intense ou risque de le devenir, il n'est pas toujours possible de vérifier constamment la dose reçue par le personnel. Certes, on peut faire porter des dosimètres individuels à lecture directe, mais il n'est pas toujours facile aux intéressés de les consulter lorsqu'ils ont des vêtements de protection ou dans le cas d'urgence où on ne peut prévoir le niveau du rayonnement. Pour donner satisfaction, les dosimètres de poche à alarme doivent répondre aux critères suivants: faible poids; possibilité de réglage pour une gamme très étendue de doses absorbées; manipulation simple et fonctionnement autonome et sûr. Les auteurs du mémoire ont décrit plusieurs types de dosimètres conçus d'avantage pour donner l'alarme que pour mesurer la dose.

ACTIVATION DES CHEVEUX OU DES POILS ET DES METAUX

Les applications et limitations des dosimètres à films ont fait l'objet de nombreuses discussions. MM. Trousil et Bucina (Tchécoslovaquie) ont signalé que plusieurs méthodes permettant de mesurer une gamme étendue de doses d'exposition et de lire ces doses avec rapidité et précision ont été mises au point. Bien que ces méthodes soient peu coûteuses et puissent être appliquées en série, elles offrent peut d'attraits pour les laboratoires chargés de mesurer les expositions individuelles de plusieurs milliers de personnes. Les auteurs se sont donc efforcés d'étendre le champ d'application de la dosimétrie photographique de manière à englober les niveaux élevés sans diminuer pour autant la sensibilité de la méthode à l'égard des



Dosimètre prévu pour les cas d'accidents de criticité à l'usine de Savannah River.
(W.C. Reinig)

expositions peu intenses, et de couvrir ainsi toute la gamme des doses avec deux films seulement. L'avantage est que pour mesurer des expositions

accidentelles à des rayonnements intenses, on peut alors utiliser les mêmes dosimètres à films et autres appareils et les faire examiner par le même personnel que pour les expositions habituelles. M. Wachsmann (République fédérale d'Allemagne) a décrit un film qu'il est possible de développer facilement et rapidement dans un petit appareil de la taille d'un paquet de cigarettes. La dosimétrie à films est la plus répandue parmi les méthodes de surveillance du personnel, mais il ne peut être question d'envoyer les pellicules impressionnées par de fortes doses à un organe centralisateur aux fins d'évaluation, comme on le fait pour les dosimètres à films normaux; il faut qu'elles soient examinées sur place, parfois même par des personnes peu expérimentées. Le film recommandé par l'auteur peut être développé dans un seul bain et son noircissement est indépendant de la durée du traitement dans un intervalle de deux à 20 minutes. Grâce à cette méthode, une seule personne peut développer et évaluer une quarantaine de films en une heure à la lumière du jour.

Malgré les perfectionnements apportés récemment à la dosimétrie photographique, M. Becker (République fédérale d'Allemagne) estime que le verre au phosphate est à maints égards supérieur aux films en tant que dosimètre intégrateur de faible dimension et peu coûteux. Il offre des avantages particuliers dans les cas d'exposition accidentelle, car l'évaluation se fait par simple lecture de mesures fluométriques et n'exige que quelques secondes de la part d'une personne non expérimentée utilisant un dispositif de lecture portatif. Le dosimètre est prêt à servir de nouveau immédiatement après l'évaluation et on a la possibilité soit de conserver les effets dus aux expositions antérieures soit d'annuler ces effets par un traitement thermique.

Plusieurs mémoires décrivent des méthodes permettant de mesurer les doses de neutrons sans le recours à des dosimètres fondés sur des phénomènes physiques. M. Petersen (Etats-Unis) a exposé un procédé fondé sur l'activation par les neutrons de certains éléments, tels que le soufre et le sodium, qui a pour effet de produire de petites quantités de substances radioactives. Bien que ces quantités soient très faibles, on peut les déceler et les mesurer avec une précision suffisante pour permettre d'évaluer la dose de neutrons. La teneur en soufre des cheveux et des poils est remarquablement constante quelle que soit leur couleur et en quelque endroit qu'ils se trouvent; en outre il est facile d'en recueillir un échantillon suffisant pour procéder à une analyse rapide après une exposition. Pour exécuter des expériences contrôlées, on enferme les échantillons dans des enveloppes en polyéthylène que l'on place aux endroits voulus sur un mannequin en matière plastique rempli d'une solution équivalant au tissu; puis, on les expose à un rayonnement intense. On a constaté qu'en analysant ensuite ces échantillons, on pouvait évaluer non seulement la dose totale mais aussi sa répartition entre les différentes parties du corps. Des méthodes semblables ont été décrites par MM. Lehman et Fekula (Etats-Unis) qui ont utilisé des « fantômes » humains pour vérifier le comportement des neutrons rapides lors de leur pénétration dans le corps; la connaissance de ce phénomène est importante pour évaluer la contamination interne des personnes exposées aux neutrons émis lors de la fission nucléaire. Des pellicules à

émulsion nucléaire sont fixées en divers endroits à l'intérieur et autour de fantômes qui sont eux-mêmes placées à une distance de 10 à 200 mètres d'un réacteur pulsé non protégé. Au cours de la discussion, M. Cowper (Canada), commentant l'avis de certains orateurs qu'il est difficile de prélever les échantillons de cheveux et de poils de manière à déterminer la distribution des doses de neutrons sur tout le corps, a fait observer qu'il devrait être facile d'incorporer aux vêtements de laboratoire des éléments appropriés qui permettraient d'obtenir les données essentielles avec plus de précision.

Dans un système décrit par MM. Wright, Hoy et Reinig (Etats-Unis), l'effet d'écran produit par le corps de la personne qui porte un dosimètre individuel est corrigé par un calcul à l'aide d'un ordinateur. Pour mesurer les expositions aux neutrons et aux rayons gamma, on a conçu un dosimètre léger, de petites dimensions, dont le coût unitaire est d'environ 15 dollars; la modicité du prix était une considération essentielle étant donné qu'il s'agissait de l'achat de plusieurs centaines d'exemplaires. L'appareil contient de l'indium, du cuivre, du sodium, du soufre et d'autres substances qui deviennent radioactives après une exposition à des rayonnements neutroniques d'intensités différentes. Aussitôt qu'un accident nucléaire s'est produit dans un secteur, on ramasse tous les dosimètres et détecteurs à films portés par le personnel du secteur; on mesure l'activité des matières contenues dans le dosimètre et on fait les calculs à l'aide d'un ordinateur. Ce système de dosimétrie permet d'évaluer les doses reçues par 20 travailleurs, dans les six heures qui suivent l'exposition et d'obtenir une évaluation préliminaire dans l'heure. Le même principe, celui de l'activation par les neutrons de feuilles ou disques de métal, est employé dans un dosimètre décrit par MM. Bricka et Cercy (France). Pour la mesure des flux de neutrons, ces appareils offrent plusieurs avantages: ils ne réagissent pas aux autres formes de rayonnements, tels que les rayons gamma, n'exigent ni branchement ni entretien, et assurent une intégration exacte de la dose.

CONTROLE DOSIMETRIQUE DANS LA PRATIQUE

Des événements qui n'avaient pas encore fait l'objet d'articles et les enseignements tirés d'un accident de criticité impliquant 22 personnes ont été décrits par MM. Parker et Newton (Etats-Unis). Cet accident s'est produit à Hanford en 1962 dans une usine de récupération du plutonium contenu dans les déchets. Aussitôt que le signal d'alarme eut retenti, les locaux ont été évacués; on a procédé à l'évaluation rapide des doses reçues, déterminé les zones contaminées et ramassé les dosimètres. A cette époque, le corps des radioprotectionnistes avait une confiance limitée dans la mesure des doses par les méthodes d'évaluation rapide, et cela pour les raisons suivantes: ces méthodes n'avaient encore jamais fait l'objet d'une application pratique; les doses estimées étaient sensiblement inférieures à celles auxquelles on pouvait s'attendre, compte tenu de la distance par rapport à la source de rayonnements; une erreur de grandeur inconnue risquait d'être introduite en raison de la différence entre l'intensité du rayonnement employé pour l'étalonnage des dosimètres et celle du rayonnement auquel les employés étaient effectivement exposés. Cependant, un

examen retrospectif a montré que la méthode permettait d'évaluer les doses de neutrons avec rapidité et une précision suffisante. Les mesures préliminaires ont été suivies par d'autres examens plus raffinés, par d'autres méthodes telles qu'analyse d'échantillons de sang, de cheveux et de poils, anthropogammamétrie, etc. Des analyses ont été faites sur des matières activées par les neutrons et provenant des effets personnels portés par les personnes exposées: aluminium, cuivre et or contenus dans des pièces de monnaie, bijoux, boucles de ceinture, plumes et montres-bracelets; il ne s'agissait toutefois que d'une simple mesure complémentaire, l'importance principale étant accordée aux indications données par les dosimètres.

MM. Larson et Keene (Etats-Unis) ont décrit en détail le système de dosimétrie pour cas d'urgence qui a été conçu à Hanford pour faire face à tout accident nucléaire grave. Les réacteurs de production de radioisotopes et d'essais, les usines de transformation du combustible et de traitement chimique et les laboratoires de recherche renferment tous des sources de rayonnements nombreuses et variées. Les personnes occupées dans ces établissements savent comment elles doivent agir en cas d'alerte et par quelles voies elles doivent évacuer les locaux. Elles sont tenues de se faire pointer à des postes de rassemblement désignés à l'avance où un contrôle rapide permet d'identifier tous ceux qui ont reçu des doses de rayonnements excessives. Dans le cas d'un accident grave, un radioprotectionniste est convoqué à une station de contrôle en cas d'urgence. Le système repose avant tout sur l'emploi du dosimètre individuel de Hanford et sur l'analyse d'échantillons de sang, etc. Ce dosimètre comporte un film et un verre pour mesurer les expositions aux bêta, aux gamma et aux rayons X, des feuilles métalliques qui sont activées par les neutrons et une photographie de celui à qui l'appareil est destiné. Ainsi, le même dosimètre porté quotidiennement pour les opérations courantes est également capable d'enregistrer une exposition accidentelle à de fortes doses. Pour pouvoir l'identifier en cours de traitement, le film porte en perforation le numéro du possesseur. Le service compétent tient à jour un jeu de films témoins étalonnés qui ont été exposés à différentes doses de rayons gamma; ces films sont développés en même temps que ceux des dosimètres. Les films témoins permettent d'éliminer les variables que comporte le traitement des pellicules, telles que durée de développement et la concentration de la solution et de gagner un temps précieux grâce à la possibilité de lire le film sans attendre qu'il soit sec.

Il ressort des discussions du colloque que si les méthodes et le matériel employés dans les différents centres varient dans le détail, les principes fondamentaux n'en concordent pas moins parfaitement. Plusieurs participants ont cependant estimé qu'il serait utile de poursuivre les études et recherches en vue d'élaborer un système optimum.