

# Surveillance de la contamination interne due à l'incorporation de matières radioactives: la CIPR préconise de nouvelles méthodes

*Examen critique des publications de la CIPR traitant de ce domaine*

par A.A. Moiseev et J.C. Nénot

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a formulé des recommandations ayant trait aux grands principes de radioprotection dont l'AIEA, l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Organisation internationale du Travail (OIT) et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN/OCDE) se sont inspirées pour établir en 1982 une version révisée des *Normes fondamentales de radioprotection* qui devrait permettre d'établir, à l'échelle mondiale, des normes de radioprotection dûment harmonisées et actualisées\*. L'établissement de ces normes révisées a marqué une nouvelle étape importante des travaux que l'Agence poursuit inlassablement pour réduire les risques imputables à l'utilisation de matières radioactives et autres sources de rayonnements ionisants. L'idée maîtresse de la CIPR est en l'occurrence de réduire les risques encourus par les individus par une limitation des doses spécifiques, une optimisation des mesures de radioprotection ainsi que par une justification de toutes les pratiques impliquant une radioexposition.

La CIPR, dans la substance d'une publication traitant des principes fondamentaux de surveillance pour la radioprotection des travailleurs, et récemment l'AIEA, dans un manuel exposant les principes fondamentaux de surveillance de la radioexposition professionnelle\*\*, ont défini des principes généraux à l'intention des organismes et du personnel responsables de la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants, et de ceux qui sont chargés de planifier et d'assurer l'exécution des mesures de radioprotection. La surveillance radiologique des travailleurs vise avant tout à maintenir l'exposition au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, sans dépasser les limites.

M. Moiseev est administrateur à la Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA. M. Nénot travaille au Département de protection du CEA, Institut de protection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses. Tous deux sont membres du Comité 4 de la CIPR, et M. Nénot a présidé le groupe de travail qui a établi la publication n° 54 de la CIPR.

\* *Normes fondamentales de radioprotection*, Collection Sécurité n° 9, AIEA, Vienne (1982).

\*\* *General principles of monitoring for radiation protection of workers*, Rapport du Comité 4 de la CIPR, publication n° 35 de la CIPR. *Annals of the ICRP*, vol. 9, n° 4, Pergamon Press, Oxford (1982); et *Basic principles for occupational radiation monitoring*, numéro 84 de la Collection Sécurité de l'AIEA, AIEA, Vienne (1987).

La nature et l'étendue de la surveillance radiologique sont fonction des conditions radiologiques propres à la zone de travail considérée et des risques d'irradiation que présente le travail. A cette fin, il faut recourir, entre autres méthodes, à une surveillance radiologique très complète de la contamination interne (à savoir, dosimétrie individuelle pour doses externes, surveillance de la contamination de la peau et des vêtements, surveillance du lieu de travail, en particulier détermination des niveaux de rayonnement, de la contamination atmosphérique et de la contamination superficielle). On peut, à cet effet, recourir à un équipement spécialement conçu pour mesurer les rayonnements émis à partir du corps (anthroporadiamètres, moniteurs ou anthroporadiamètres à écran partiel tels que les radiamètres de la thyroïde) ainsi qu'à des procédures de biodosage (analyse des urines et des selles).

Jusqu'à une date récente, nous connaissions mal la chaîne que constituent le système de limitation de dose, les limites annuelles d'incorporation de radionucléides, les principes relatifs à la surveillance de la contamination interne et l'interprétation des résultats des mesures. Pour appliquer les principes généraux de la CIPR relatifs à l'évaluation quantitative de la contamination interne, il faut des programmes de surveillance où tous ces éléments interviennent et qui soient conçus de façon que les résultats obtenus puissent servir à évaluer soit des quantités primaires (équivalent de dose efficace engagé ou équivalent de dose engagé) aux fins de comparaison avec des limites primaires, soit la quantité secondaire (incorporation de radionucléides) à comparer avec la limite annuelle d'incorporation (LAI). Mais le dernier maillon de cette chaîne, à savoir les données servant à convertir en doses ou quantités incorporées de matières radioactives les résultats des mesures quotidiennes, nous fait pratiquement défaut. Les tentatives faites dans les années 60 pour établir cette partie du programme de surveillance ne reposaient pas sur des bases techniques suffisantes et n'ont donc pas été très concluantes\*.

\* Voir «*Evaluation of radiation doses to body tissues from internal contamination due to occupational exposure*», rapport du Comité 4 de la CIPR, publication n° 10 de la CIPR, Pergamon Press, Oxford (1968); et «*The assessment of internal contamination resulting from recurrent or prolonged uptakes*», rapport du Comité 4 de la CIPR, publication n° 10a de la CIPR, Pergamon Press, Oxford (1971).

### Système de limitation de dose

Le système de limitation de dose de la CIPR repose sur le principe de la prévention des risques encourus sur une année de travail. Pour que ce principe puisse se concrétiser en un système de limitation de dose, la CIPR a introduit la notion de dose engagée et en a tiré des limites annuelles d'incorporation calculées sur la base de limites de dose engagée égales aux limites de dose annuelle.

En matière de radioprotection des travailleurs, il est impératif que, sur toute période de un an, la somme de l'équivalent de dose dû à une exposition externe et de l'équivalent de dose efficace engagé dû à l'incorporation de radionucléides reste inférieure à la limite de dose annuelle appropriée. Pour chaque année, il faudra calculer les équivalents de dose efficace engagés qui sont dus à l'incorporation de radionucléides pendant cette même année.

Alors que l'application de cette méthode à la surveillance des doses pose peu de difficultés lorsqu'il s'agit d'incorporation de radionucléides de courte et moyenne période, elle soulève en revanche certains problèmes qui mériteraient d'être étudiés plus à fond dans le cas des radionucléides qui sont retenus dans le corps pendant une plus longue période. Dans de tels cas, les doses effectivement reçues pendant l'année qui suit l'incorporation sont faibles si on les compare aux limites de dose annuelle. Intégrer ces doses sur 50 ans, comme l'indique implicitement la définition de la dose engagée, revient à contrôler les risques liés à ces doses pendant une période bien plus longue qu'une vie humaine.

Il existe un autre procédé de calcul des équivalents de dose efficace annuels qui n'a pourtant pas été recommandé, car il permettrait que les travailleurs incorporent en un an une quantité de radionucléides suffisante pour limiter éventuellement leurs possibilités d'emploi dans les années suivantes. La tenue de fichiers s'en trouverait compliquée, notamment en cas de changement d'emploi.

### Equivalent de dose engagé

La notion d'équivalent de dose engagé pose un certain nombre de problèmes au niveau de l'enregistrement des données d'exposition.

Un travailleur peut être irradié soit par des sources radioactives externes, soit par des matières radioactives incorporées. La CIPR recommande que l'on considère la somme des doses quelle qu'en soit la source, et que ces doses soient obligatoirement subordonnées aux limites d'équivalent de dose pour les effets radiologiques non stochastiques et stochastiques. Pour mesurer ces incorporations, il faudra donc estimer l'équivalent de dose pour chaque tissu du corps irradié de manière significative. La notion de limite annuelle d'incorporation est dérivée de la notion d'«équivalent de dose engagé» (sur 50 ans). Or, pour calculer les valeurs spécifiques, il faut bien connaître le métabolisme des radionucléides incorporés, c'est-à-dire disposer d'informations complètes sur les propriétés physiques et métaboliques (incorporation, rétention et répartition dans l'organisme) de ces radionucléides et de leurs produits de filiation. On connaît ces propriétés physiques (essentiellement la nature et l'énergie du rayonnement) depuis longtemps, et avec une précision

tout à fait satisfaisante\*. Quant à la modélisation du métabolisme, elle a beaucoup progressé au cours des 20 dernières années, ainsi qu'il ressort des nouvelles connaissances acquises entre la parution des publications n° 2 et 30 de la CIPR\*\*.

La publication n° 30 spécifie, pour un grand nombre de radionucléides, des limites annuelles d'incorporation par ingestion et par inhalation, qui garantissent que les doses aux différents tissus ne dépassent pas les limites prescrites par la CIPR. Elle donne également des renseignements complets sur le sort d'un radionucléide une fois que celui-ci a pénétré dans le corps (en précisant la fonction de rétention de chaque organe et tissu concernés).

On ne peut à proprement parler établir un programme de surveillance individuelle de la contamination interne en fonction du modèle et des données qui caractérisent certains aspects propres au métabolisme du travailleur étudié. Ces valeurs ne sont pas assez bien connues *a priori*, et même si elles devaient l'être par la suite, leur utilisation (qui aboutirait à l'établissement de différents programmes pour différentes personnes) ne conviendrait pas aux situations caractérisées par de faibles niveaux d'exposition, lesquelles relèvent de modèles généraux.

La publication n° 30 décrit aussi des modèles généraux du métabolisme de l'adulte et des modèles pour les divers éléments chimiques dont on se sert pour fixer les limites secondaires fondamentales de contamination interne des travailleurs. Les limites annuelles d'incorporation utilisées pour la planification de la radioprotection sont le résultat d'un choix de paramètres et d'hypothèses plus prudents que moyens ou représentatifs. Elles ne rendent pas toujours convenablement compte de l'excrétion et des premiers stades du métabolisme qui sont pratiquement sans intérêt pour l'établissement des limites annuelles d'incorporation, mais peuvent être importants pour la surveillance.

En revanche, la simplicité du système CIPR, qui ne tient pas compte de l'âge et du sexe des travailleurs, constitue un atout qui pourrait contrebalancer les distorsions qu'elle entraîne.

Les données obtenues par ces pratiques de surveillance ne renseignent utilement que si on les interprète plus avant, même s'il s'agit de circonstances exceptionnelles, telles la surveillance directe du radio-iodure contenu dans la thyroïde ou l'estimation des quantités d'eau tritiée contenues dans les urines d'un organisme parvenu à l'état d'équilibre après incorporation de matières radioactives. Pour parer aux difficultés que pose l'interprétation des valeurs mesurées de la contamination interne, le Comité 4 de la CIPR a rédigé une nouvelle publication intitulée *Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: Design and interpretation*, qui a été approuvée par le Comité\*\*\*.

\* *Radionuclide transformations: Energy and intensity of emission*, publication n° 38 de la CIPR, *Annals of the ICRP*, vol. 11-13, Pergamon Press, Oxford (1983).

\*\* *Recommendations: ICRP report of Committee 2 on permissible dose for internal radiation, 1959*, publication n° 2 de la CIPR, Pergamon Press, Oxford (1960); et *Limits for intake of radionuclides by workers*, chapitre 1 de la publication n° 30 de la CIPR, *Annals of the ICRP*, vol. 2, n° 3/4, Pergamon Press, Oxford (1979).

\*\*\* *Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: Design and interpretation*, rapport du Comité 4 de la CIPR, publication n° 54 de la CIPR, *Annals of the ICRP*, vol. 9, n° 4, Pergamon Press, Oxford (1988).

Ce document expose les principes de surveillance individuelle ainsi que les niveaux de référence dérivés utilisés aux fins de cette surveillance, puis il décrit les modèles métaboliques dont on s'est servi pour déterminer les fonctions de rétention et d'excrétion des radionucléides. Vient ensuite un long exposé des méthodes employées, à savoir, d'une part, la mesure directe sur l'individu et, d'autre part, l'analyse radiotoxicologique des excréments. Il présente également une étude spéciale consacrée au problème difficile qu'est le suivi d'une exposition aux actinides. La fin de la partie générale du document traite des programmes de surveillance, conçus à partir d'une synthèse des recommandations contenues dans les publications n° 26, 30 et 35 de la CIPR, sans oublier les problèmes d'ordre pratique auxquels se heurtent les responsables du suivi des personnes exposées. Ces programmes portent, d'une part, sur la surveillance dite de routine, qui consiste à suivre à titre individuel les personnes effectuant en permanence des travaux qui les exposent à des risques de contamination interne et, d'autre part, sur la surveillance spéciale que l'on effectue après un accident ou lorsqu'un travail exceptionnel présente des risques sérieux de contamination.

L'interprétation des résultats des mesures (c'est-à-dire la conversion de la charge corporelle ou de l'excrétion en une incorporation ou une dose, opération fondamentale de la surveillance) et les décisions prises en matière de radioprotection peuvent dépendre aussi bien de l'individu suivi que du lieu de travail. Il est toutefois conseillé de bien faire la distinction lorsqu'on interprète les résultats des mesures. Pour la surveillance de routine, il suffira de se rapporter à des modèles dosimétriques et métaboliques normalisés, en utilisant notamment des paramètres biologiques définis pour l'individu moyen. Cette procédure peut parfaitement se justifier dans des conditions de travail normales. En revanche, si l'on constate une augmentation de l'exposition ou s'il se produit un incident dont l'importance est confirmée par les premiers résultats de la surveillance spéciale, il vaudra mieux recourir dans la mesure du possible à des modèles plus adaptés au cas étudié.

### **Contraintes d'ordre pratique**

Les programmes de surveillance individuelle proposés dans la publication n° 54 permettent en outre de surmonter diverses difficultés d'ordre pratique. Il devrait notamment être possible d'interpréter correctement les résultats des mesures, et ce, que la personne ait travaillé pendant une période courte ou prolongée, qu'elle ait été affectée à un poste de travail fixe ou qu'elle ait pris part à des travaux nécessitant de fréquents déplacements et, enfin, que les conditions d'exposition, telles les dates d'incorporation, soient bien connues ou très incertaines. La publication n° 54 relative au choix de l'intervalle qui doit séparer deux contrôles de routine expose une méthode originale pour résoudre ce problème. Les contrôles ont pour objet de limiter les erreurs qui pourraient se produire dans l'interprétation des résultats, et ce, quelle que soit la durée — généralement inconnue — des périodes de contamination.

Le choix de l'intervalle est aussi dicté par la nécessité de mieux planifier l'échelonnement des examens médicaux qui risquent très rapidement de se compliquer si les installations emploient de nombreux travailleurs. La publication donne aussi des règles d'interprétation et de décision simples à comprendre et faciles à appliquer. Très souvent, la surveillance de la contamination individuelle ne représente qu'une partie des attributions de ceux qui en sont chargés. Or, les niveaux de référence dérivés, ainsi que les quelques règles élémentaires relatives aux décisions à prendre quand les niveaux sont dépassés, constituent l'essentiel du suivi individuel. En comparant directement ces niveaux avec les résultats des mesures, on peut immédiatement déterminer le degré de contamination et les mesures à prendre.

L'annexe de la publication n° 54 est très détaillée. Elle contient les données indispensables à la surveillance individuelle des cas d'exposition interne aux radionucléides normalement associés à l'industrie nucléaire, à la recherche et aux applications médicales et pharmaceutiques des radio-isotopes. On n'y traite que de la seule contamination par inhalation. Les autres modes d'incorporation sont dus à des incidents qui donnent lieu à une enquête et à des actions spécifiques modulées en fonction de chaque cas d'espèce.

La publication présente, pour chacun des éléments, une description du métabolisme et des effets d'une thérapeutique possible visant à réduire la charge corporelle. On y examine successivement les différents isotopes de chaque élément. On y rappelle les caractéristiques de radioactivité propres à chaque élément et qui en facilitent la détection, puis on y expose les différentes techniques de mesure avec leurs limites de détection. Enfin, on y trouve un récapitulatif des facteurs de dose (sievert par becquerel inhalé), des limites annuelles d'incorporation ainsi que des limites dérivées de concentration dans l'air.

La publication n° 54 donne des instructions détaillées pour la surveillance de routine et la surveillance spéciale. En ce qui concerne la surveillance de routine, elle propose, pour chaque isotope, une série d'intervalles entre les examens permettant de limiter la marge d'erreur dans l'interprétation des valeurs mesurées. Elle fournit également des données intéressantes la surveillance spéciale pendant les sept jours suivant l'incident. Pour chacune des mesures à effectuer, elle présente un tableau de l'activité mesurée exprimée en fraction de l'incorporation et indique les niveaux d'investigation dérivés. Elle donne aussi des informations sur les valeurs de la rétention et de l'excrétion à l'équilibre, après incorporation chronique quotidienne d'une activité égale à LAI/365. Enfin, elle donne, pour chaque isotope étudié, les valeurs de la rétention et de l'excrétion exprimées en fractions de la charge corporelle, sous forme de courbes pour 10 000 jours après inhalation pour trois dimensions de particules.

Cette publication est avant tout un document technique qui s'adresse aux radioprotectionnistes chargés d'appliquer à la surveillance individuelle de la contamination interne les recommandations publiées à d'autres fins par la CIPR.

