

Surveillance systématique des expositions aux transuraniens par les analyses radiotoxicologiques des selles

Retour d'expérience, intérêt et perspectives

N. BLANCHIN¹, R. FOTTORINO², L. GRAPPIN¹, A.M. GUILLERMIN¹,
P. LAFON¹, A. MIELE¹, M. RUFFIN²

(Manuscrit reçu le 13 décembre 2004, accepté le 11 mars 2005)

RÉSUMÉ Le service de santé au travail du CEA/CADARACHE est un service médical de site chargé de la surveillance radiologique de l'exposition interne de l'ensemble du personnel travaillant sur le centre de Cadarache. Dans son activité spécifique de surveillance du risque radiologique prédomine la gestion des expositions aux transuraniens (plutonium et américium), avec environ 400 salariés concernés. Nous avons mis en place depuis 2002 une surveillance systématique de ce risque d'exposition par des analyses radiotoxicologiques des selles. Nous présentons ici notre retour d'expérience sur les trois premières années.

ABSTRACT Routine monitoring of internal exposure by transuranium elements with faecal radiochemical bioassays.

The Occupational Health Service of the CEA/CADARACHE is a medical unit attached to the company and is assigned to the monitoring of internal exposure of the whole staff of the site. In our specific practice of the radiological risk survey, the management of exposure to transuranium elements which concerns about 400 workers is predominant. A routine monitoring of this risk based on faecal radiochemical bioassays was set up in 2002. Herein, we present our experience over the three first years.

Key words: Faecal radiochemical bioassays / Routine monitoring / Transuranium elements

1. Introduction

La surveillance du risque d'exposition interne aux transuraniens s'appuie sur les mesures en continu aux postes de travail par les appareillages de radioprotection (contrôleurs atmosphériques et surfaciques) complétées par les analyses radiotoxicologiques périodiques chez les travailleurs. Celles-ci permettent de vérifier l'absence d'incorporation significative et par là même de valider la sensibilité du dispositif de détection des situations incidentelles au poste de travail.

¹ Service de santé au travail, CEA Cadarache, 13108 Saint-Paul-Lez-Durance, France.

² Laboratoire d'Analyses de Biologie Médicale, CEA Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance, France.

Jusqu'en 2001, les analyses radiotoxicologiques se faisaient sur des échantillons d'urines. À partir de 2002, nous avons mis en place, sur le site de Cadarache, une surveillance par les analyses de selles, qui permettent une détection d'incorporation à plus bas niveau, mais qui en contrepartie sont d'interprétation plus délicate.

Nous présentons ici le retour d'expérience sur trois années de cette nouvelle surveillance, en mettant en exergue l'intérêt et les perspectives qu'offre ce mode de surveillance.

2. Contexte et origine du changement de surveillance

2.1. Contexte

À Cadarache, le plutonium est surtout mis en œuvre dans l'établissement COGEMA. L'activité de production arrêtée en juillet 2003 a été relayée par le traitement des rebuts et la préparation du démantèlement. Le produit est un combustible MOX (contenant 3 à 7 % de plutonium), essentiellement sous forme solide (oxyde), mais aussi en solution notamment nitrique. Il est confiné tout au long de la chaîne de fabrication. Les interventions sont soit automatisées, soit manuelles par l'intermédiaire de boîtes à gants (BAG). Un confinement dynamique est assuré par une ventilation de type nucléaire.

2.2. Historique

La surveillance systématique de l'exposition aux transuraniens peut se faire à partir :

- de l'excrétion urinaire,
- de l'excrétion fécale.

Le choix du type d'analyse dans les différents centres a toujours reposé sur la mise en balance de leurs avantages et inconvénients respectifs (Tab. I).

En complément, l'anthroporadiométrie en dépit de sa mauvaise sensibilité pour la détection des actinides, reposant sur la détection de l'émission gamma de l'américium-241 présente l'intérêt d'un examen direct avec résultat immédiat permettant en outre la détection d'une éventuelle contamination externe associée.

À Cadarache, depuis le début des activités sur les transuraniens, en dépit d'une moindre sensibilité, la surveillance urinaire avait été retenue pour sa meilleure acceptabilité par les salariés et sa représentativité d'un passage systémique.

TABLEAU I
Intérêts et limites respectifs des analyses radiotoxicologiques urinaires et fécales.
Advantages and limits of urine and faecal radiochemical bioassays.

analyses urinaires	analyses fécales
pour la détection	
Extrêmement basse (0,2 mBq) et en limite des techniques analytiques actuelles	Basse (1 mBq)
pour l'interprétation	
À la limite de détection : incorporation conduisant à une dose proche de la limite annuelle de 20 mSv dans une hypothèse d'incorporation au milieu de l'intervalle de surveillance de 6 mois	À la limite de détection : incorporation inférieure au niveau d'enregistrement dans les mêmes conditions
Signe un passage systémique (hormis le risque de contamination exogène)	Interprétation plus difficile, notamment en l'absence d'exclusion préalable du poste de travail, qui peut être majorée par un passage digestif direct
Validation de la représentativité de l'échantillon par la créatinine urinaire	Grande variabilité de l'excrétion liée aux fluctuations du transit
Recueil reproductible	Recueil aléatoire lié aux fluctuations du transit
pour le salarié	
Bonne acceptabilité du prélèvement urinaire	Acceptabilité moindre du recueil des selles
pour le laboratoire d'analyses	
durée des analyses 6 jours coût : 3360 B	durée des analyses 6 jours coût : 3060 B

À l'époque, cette surveillance concernait un effectif plus faible de salariés travaillant en laboratoire de recherche.

Dans les années 1980, un groupe de travail de médecins et biologistes du CEA, étudiant la surveillance en systématique des postes exposant à un risque d'inhalation par transuraniens a recommandé les examens de selles en raison de leur meilleure détection hors incident (Rapport technique des SST et LABM CEA et COGEMA, réactualisation du 29 juin 2001, document interne).

Cette pratique a été modélisée par Piechowski et Menoux (1984, 1985). Ceux-ci ont fourni aux praticiens des modèles biocinétiques et des protocoles de surveillance avec des données chiffrées pour leurs estimations de doses avant la publication 30 de la CIPR et suivantes (ICRP, 1979, 1988, 1991, 1998).

2.3. La décision du changement de surveillance

En dépit de l'abaissement des limites de détection des analyses d'urines jusqu'à 0,2 mBq à partir de 1996, le moindre dépassement découvert lors d'une analyse systématique posait la question d'une incorporation supérieure au niveau

d'enregistrement ($1/10^e$ de la limite annuelle réglementaire) dans l'hypothèse d'une incorporation au milieu d'un pas de surveillance semestriel. Les contrôles d'analyses alors prescrits laissaient, le plus souvent, la question sans réponse du fait de résultats inférieurs à la limite de détection.

La mise en place de l'examen de selles en surveillance systématique garantissait la détection d'incorporations pouvant être anciennes (supérieures à 1 an) et largement inférieures au niveau d'enregistrement (ICRP, 1998). Elle permettait de plus une éventuelle confirmation lors des contrôles ultérieurs du fait de l'amplitude d'interprétation de plus d'un facteur 10 entre limite de détection et niveau d'enregistrement dérivé (valeur de l'excrétion fécale correspondant à une dose de 2 mSv dans l'hypothèse d'une inhalation au milieu de l'intervalle de surveillance semestriel).

L'expérience de la prescription et de l'interprétation des selles acquise lors des situations incidentelles (Blanchin *et al.*, 2004) a permis d'envisager la mise en place de cet examen en systématique.

Les publications 60 et suivantes de la CIPR (ICRP, 1991, 1998) ont apporté de nouveaux modèles biocinétiques et un abaissement des limites annuelles qui ont rendu la détection par les urines encore moins performante. Nous avons alors décidé de modifier notre mode de surveillance et d'introduire la surveillance en systématique par les analyses de selles.

Ce changement a été préparé et annoncé en Comité d'hygiène, sécurité et des conditions de travail (CHSCT) courant 2000 et présenté lors des sessions périodiques de formation des salariés. La mise en application à compter du 01/01/2002 a été accompagnée d'une évaluation en continu et d'une présentation des résultats aux réunions de CHSCT. Ce travail d'accompagnement par l'explicitation des nouveaux protocoles de surveillance a permis d'obtenir l'adhésion du personnel.

3. Mise en place du protocole

3.1. Modalités pratiques

La surveillance systématique est basée sur l'évaluation des conditions d'exposition en situation habituelle de travail, hors situations incidentelles qui font, elles, l'objet d'un protocole spécifique s'appuyant sur les mesures de contaminations atmosphériques et surfaciques (Piechowski *et al.*, 2003 ; Blanchin *et al.*, 2004).

Cette évaluation aboutit à une pondération à 4 niveaux : potentiel (P), faible (F), moyen (M) et important (I) de l'exposition à chacun des radioéléments. Cette pondération est reportée sur la fiche de poste et nuisances (FPN) individuelle. Ce document décrit les conditions d'exposition au poste de travail en situation habituelle.

Pour permettre la pertinence de la surveillance individuelle et sa cohérence avec les conditions de travail, l'évaluation de l'exposition (Code du travail, 2003) s'effectue à l'aide d'un arbre décisionnel (Fig. 1) élaboré par le service de prévention et de radioprotection (SPR) en concertation avec le service médical.

Ce référentiel SPR permet de pondérer le niveau d'exposition individuelle en fonction :

- de la présence ou non de radioélément susceptible de créer une contamination ;
- de l'activité manipulée ;
- des conditions de travail ;
- de la fréquence des événements donnant lieu à la rédaction d'une fiche d'information radiologique (FIR) (Blanchin *et al.*, 2004) ;
- de la durée de travail au poste.

Les examens radiotoxicologiques de selles sont prescrits pour les expositions M ou I. L'étalement sur l'année des analyses chez les salariés permet un suivi en continu des différents postes de travail selon un principe d'échantillonnage, sous réserve d'un nombre suffisant de personnes (en pratique permettant d'avoir au minimum une analyse mensuelle). Cela permet de s'affranchir de la prescription d'examens pour les salariés classés en P ou F hors situation incidentelle.

Le protocole comprend un examen de selles de 24 heures sans exclusion préalable ; annuel pour la pondération M et semestriel pour la pondération I. Ces examens sont associés à une anthroporadiométrie pulmonaire et groupés avec les autres examens périodiques de médecine du travail.

3.2. Cas particuliers

Dans les cas où les conditions d'application du protocole ne sont pas réunies, (nombre de salariés insuffisant ne satisfaisant pas au principe d'échantillonnage pour le suivi en continu des expositions) la surveillance peut être complétée, selon les situations, par une prescription d'examens chez les salariés pondérés en F.

De même, en cas de situation dégradée :

- lorsqu'on constate une dérive des procédures ;
- lors de la répétition d'évènement d'expositions ne correspondant pas aux critères d'incident (Blanchin *et al.*, 2004).

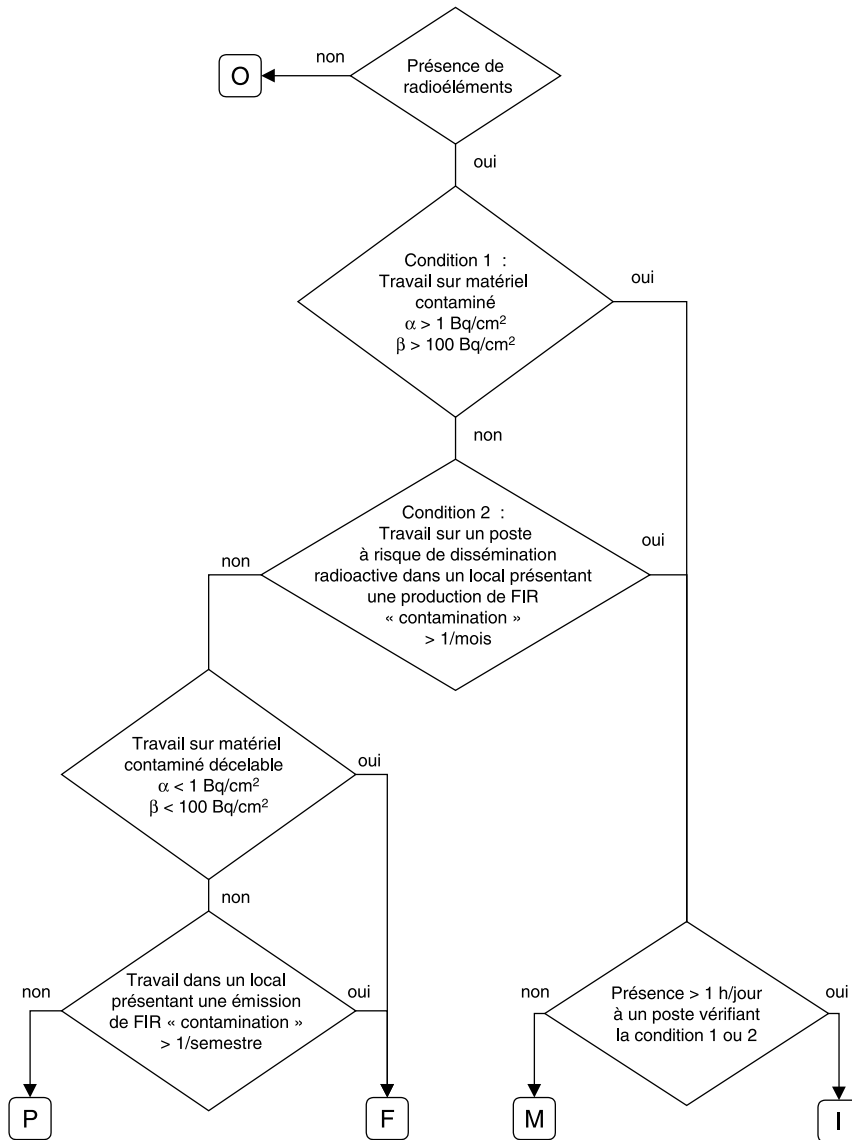


Figure 1 – Évaluation de l'exposition au risque de contamination à l'aide d'un arbre décisionnel.
Evaluation of the contamination risk of exposure with the help of a decision tree.

Le médecin peut être amené à prescrire des examens de contrôle hors du protocole après enquête et évaluation des risques au poste de travail avec le SPR.

Enfin une surveillance de type « chantier » est mise en œuvre pour des expositions de courte durée comportant des examens au début et en fin de travaux.

3.3. Interprétation d'un résultat supérieur à la limite de détection

Les examens de selles pratiqués sans exclusion ne permettent en aucun cas de faire de calcul d'estimation de dose, mais vont orienter vers des compléments d'investigation.

3.3.1. Au niveau individuel

Si la valeur du résultat est supérieure au niveau d'enregistrement dérivé (NED) (valeur de l'excrétion fécale correspondant à une dose de 2 mSv dans l'hypothèse d'une inhalation au milieu de l'intervalle de surveillance semestriel), on pratiquera, dans un but dosimétrique, des examens de contrôle (urines et selles) après exclusion. Leur interprétation se fera en vérifiant la cohérence des résultats obtenus avec le modèle correspondant à la forme physico-chimique du radioélément dans la publication 78 de la CIPR (ICRP, 1998) et la valeur prédictive à long terme (*cf.* Fig. 2).

Si la valeur est inférieure au NED, l'origine de l'exposition restera à préciser en s'appuyant notamment sur la recherche d'évènements de contamination antérieurs et sur la connaissance approfondie de la situation de travail.

3.3.2. Au niveau collectif

Un résultat individuel a valeur d'échantillon pour l'ensemble des salariés affectés au même poste de travail et doit toujours être considéré comme un indicateur potentiel de situation dégradée. Dans un premier temps, on recherchera des « positivités » concomitantes dans les examens systématiques des autres salariés travaillant dans le même environnement.

Dans cette hypothèse, une étude de poste en collaboration avec tous les intervenants et acteurs de sécurité analysera l'éventuelle corrélation entre ces « positivités » et une dérive des conditions de travail.

En fonction des circonstances identifiées, il pourra être nécessaire de compléter l'enquête par des investigations chez les autres salariés potentiellement impliqués, par des analyses complémentaires radiotoxicologiques.

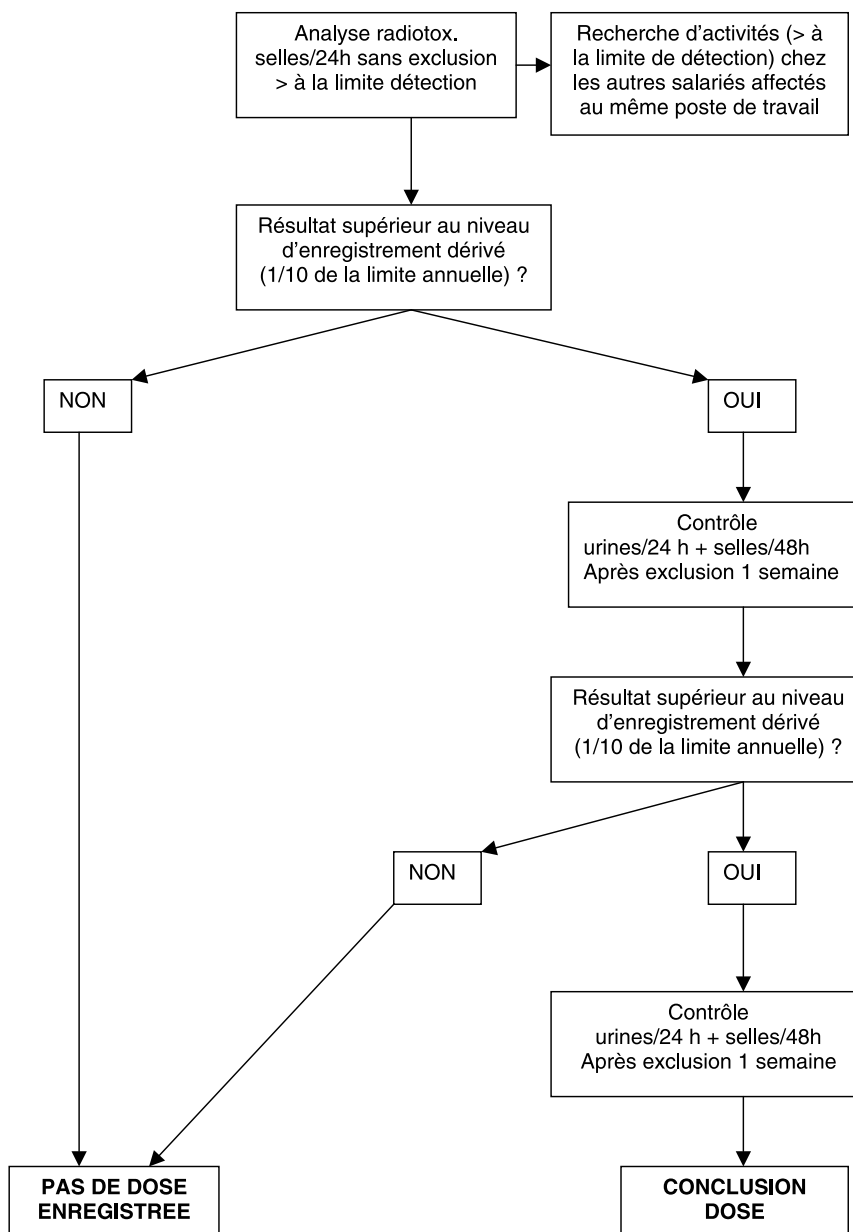


Figure 2 – *Interprétation d'un résultat radiotoxicologique à l'aide d'un arbre décisionnel.*
Interpretation of the faecal radiochemical results with the help of a decision tree.

TABLEAU II

Bilan des résultats d'analyses radiotoxicologiques de selles de 2002 à 2004.
Feedback from results on faecal radiochemical bioassays from 2002 to 2004.

	Nombre d'analyses de selles réalisées (Pu - Am)	Résultats Pu ou Am > à la limite de détection	Nombre de contrôles (Pu - Am) (cas > au NED)	Nombre de doses retenues (Pu - Am)
2002	616	52 (8 %)	28 (5 %)	1 (6 mSv)
2003	488	60 (12 %)	18 (4 %)	0
2004	422	33 (8 %)	6 (1,5 %)	0
Total	1526	145 (9,5 %)	52 (3,5 %)	1

4. Retour d'expérience

4.1. Résultats sur 3 années

La population concernée par cette surveillance à Cadarache est de 400 personnes environ.

L'information *via* le CHSCT de l'ensemble des salariés renforcée par une sensibilisation au cours des sessions de formation mensuelles sur les risques radiologiques a contribué à obtenir une bonne adhésion du personnel. Le taux de retour des prélèvements de plus de 90 % est au moins équivalent à celui des urines.

4.2. Analyse des résultats de 2002, 2003 et 2004

Sur 1526 analyses effectuées (Tab. II), 145 résultats sont supérieurs à la limite de détection du laboratoire (1 mBq), dont 52 au-dessus du niveau d'enregistrement dérivé.

Sur les premiers résultats d'examens pratiqués sans période d'exclusion préalable, il n'est pas possible de différencier une inhalation vraie d'un passage digestif direct de micro-contaminations (de l'ordre de quelques dizaines de mBq). Seuls de nouveaux prélèvements effectués après une période d'exclusion d'au moins une semaine permettent de s'affranchir d'un éventuel transit digestif direct. Les résultats de ces contrôles (sauf un cas avec dose retenue) ont toujours été inférieurs aux limites de détection du laboratoire, ce qui compte tenu des cinétiques d'élimination infirme l'hypothèse d'une inhalation significative.

Dans le cas avec dose retenue, mentionné ci-dessus, le résultat initial, supérieur au niveau d'enregistrement a fait l'objet conformément à notre protocole (Fig. 2) d'un premier contrôle d'urines et de selles puis d'un second contrôle effectué au

retour d'un mois de congés. Ces deux contrôles ont confirmé la positivité avec une cohérence dans les niveaux et ont amené à retenir la dose de 6 mSv en utilisant les modèles de la publication 54 de la CIPR (ICRP, 1988) en vigueur à l'époque (incorporation de 0.12 LAI). L'utilisation de la publication 78 de la CIPR (ICRP, 1998) aurait donné la même incorporation avec toutefois une estimation de dose inférieure au niveau d'enregistrement du fait des nouveaux coefficients. Parallèlement, l'analyse du poste de travail de même que la recherche de positivité parmi les salariés occupant le même poste n'ont pas fourni d'hypothèse pour appréhender l'origine de cette incorporation.

4.3. Intérêt et place de la surveillance médicale systématique par rapport à l'ensemble du dispositif de surveillance

Depuis sa mise en place, les analyses pratiquées en systématique n'ont révélé qu'une fois une absorption systémique (uptake). Pour les autres résultats supérieurs à la limite de détection, la mise en évidence de très faibles activités (quelques mBq) dans les selles s'explique par un passage digestif direct de quelques particules non repérables par les moyens de détections habituels de la radioprotection

En effet, en cas d'exposition à des particules de « grande » taille (> à 10 µm), on conçoit aisément l'absence de déclenchement des balises atmosphériques du fait d'une faible mise en suspension. De même, la détection surfacique au niveau du matériel comme du personnel (limite de détection de 40 mBq pour un contrôleur « mains-pieds ») ne peut être comparée à un comptage alpha d'un échantillon de selles sur 48 heures (limite de détection de 1 mBq).

La surveillance par les selles prélevées sans exclusion préalable peut apporter un niveau de détection plus précoce que les mesures de radioprotection. Cette surveillance permet une prise en compte rapide de faibles contaminations au poste de travail et la mise en place de mesures correctives. En l'absence de repérage de ce type de situation par les selles, on pourrait craindre l'accumulation de faibles contaminations résiduelles.

Par ces examens les salariés participent au maintien de la « propreté radiologique » des installations.

La surveillance médicale ne saurait pour autant se substituer à la radioprotection au poste de travail. En effet seule la radioprotection permet d'avoir un suivi en continu des installations, alors que la surveillance médicale repose sur un principe d'échantillonnage ponctuel.

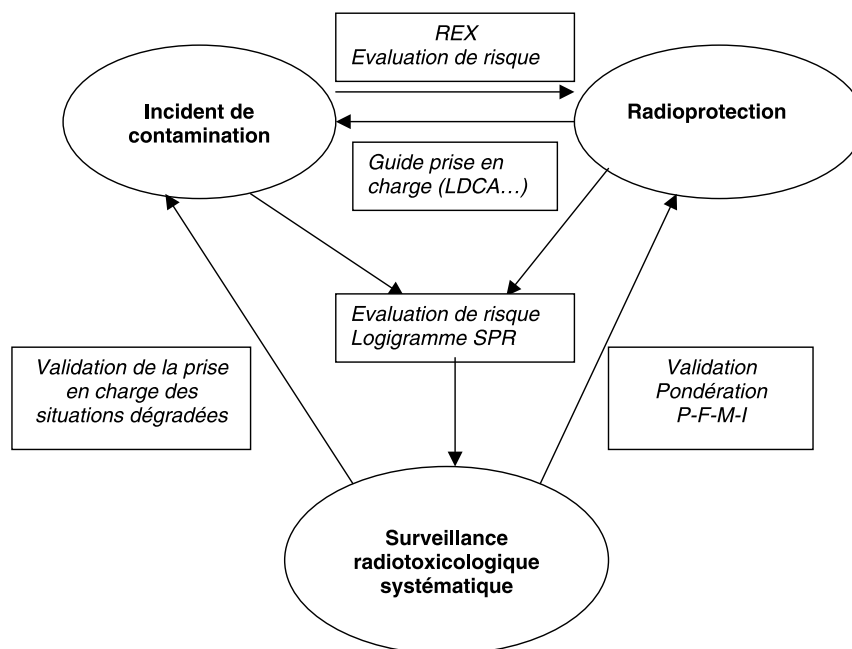


Figure 3 – Dispositif global d'évaluation et de contrôle des expositions internes par les transuraniens.
Device for the global evaluation and internal exposure monitoring on transuranium elements.

L'évaluation du risque par le service de radioprotection avec une détection continue des évènements d'exposition, guide la surveillance médicale (Guide, 2001) qui en retour, valide et légitime les moyens de prévention mis en place : les inhalations détectées hors incident restent marginales. Néanmoins, dans ces installations, le nombre d'évènements de bas niveaux justifie l'intérêt de la surveillance radiotoxicologique des individus en complément de celle des postes de travail.

Nous considérons donc la surveillance systématique par les selles prélevées sans exclusion préalable comme un des éléments du dispositif global d'évaluation et de contrôle des expositions internes aux transuraniens ; élément absolument indissociable des deux autres que sont la radioprotection au poste de travail et la gestion particulière des évènements d'exposition (incidents). Ce dispositif est schématisé dans la figure 3, dont les trois cercles sont indissociables tels les anneaux de Borromée.

4.4. Évolution de la culture de risque de contamination

Le personnel surveillé a accepté plutôt facilement la discipline de la pratique des examens de selles, dans une logique d'amélioration du niveau de détection. Le bilan des analyses radiotoxicologiques a rapidement fait apparaître environ 10 % de résultats supérieurs à la limite de détection (*cf.* Tab. II), confirmant le bien-fondé de ce choix, mais engendrant un questionnement des salariés. Jusque là, ces examens n'étaient pratiqués que lors d'incidents identifiés par les mesures de radioprotection, les résultats supérieurs à la limite de détection étant rattachés à un évènement caractérisé. La détection d'une activité, hors incident, ne permet plus cette corrélation automatique ; elle confronte le salarié à des notions plus complexes :

- des traces de contamination peuvent être mises en évidence au-dessous des seuils de détection de la radioprotection sans conséquence dosimétrique ;
- un transfert digestif peut exister sans passage systémique.

Les interrogations des salariés lors des premiers résultats mettent en évidence que, malgré les efforts de formation, les résultats sont toujours entendus comme « positifs » et « négatifs ». Les expositions internes même minimales sont vécues très différemment des expositions externes de même niveau, la notion de « passage dans le corps » doit être abordée et expliquée. Les intéressés sont rassurés si « on ne voit rien » et inquiets si « l'on voit quelque chose ». La traduction en échelle de valeur ou en facteur de risque n'est pas acquise, elle est cependant indispensable pour que les salariés adhèrent à ce type de surveillance qui met en évidence de très bas niveaux. Elle nécessite la compréhension des phénomènes mis en jeu et de leur impact sanitaire. L'acquisition par les salariés de ces notions requiert un investissement important et continu avec une synergie des formateurs : médecin de l'INB, médecin de l'entreprise extérieure, radioprotectionnistes, encadrement.

L'appropriation de ces notions par les salariés renforce leur adhésion au protocole de surveillance et les rend acteurs dans la détection de très faibles niveaux d'activité permettant d'améliorer la propreté radiologique à leur poste de travail en collaboration avec le service de radioprotection.

5. Conclusion

La mise en place d'une surveillance du risque d'exposition interne aux transuraniens par les analyses radiotoxicologiques de selles en systématique avait pour objectif initial de garantir la détection de toute incorporation conduisant à une dose supérieure au niveau d'enregistrement ($1/10^e$ de la limite annuelle).

Dans la pratique, avec une seule dose retenue en trois années à partir des analyses systématiques, le passage aux analyses de selles a permis de vérifier la performance de la surveillance et de la prise en charge des événements radiologiques par le service de radioprotection. La fréquence de la détection d'activités à bas niveaux sur ces analyses (10 % de l'ensemble des résultats avec un niveau inférieur au niveau d'enregistrement dérivé dans 2/3 des cas) justifie cependant l'intérêt des analyses de selles.

La prise en compte précoce de ces situations permet d'éviter l'accumulation de contaminations résiduelles potentiellement source d'incorporations plus significatives. Ainsi la surveillance des expositions par les analyses de selles garantit la détection de toute incorporation significative (supérieure au niveau d'enregistrement) et permet d'améliorer la propreté radiologique des postes de travail.

Les situations générées par la mise en place de moyens de surveillance plus performants en détection renvoient à la complexité de la communication sur la notion de risque en général. Cela nécessite de passer de représentations absolues: « il y a » ou rassurante : « il n'y a pas » du risque à la construction collective du concept de « seuil acceptable ».

RÉFÉRENCES

- Blanchin N., Desloires S., Grappin L., Guillermin A.-M., Lafon P., Miele A. (2004) Protocoles de prise en charge des incidents d'expositions internes au plutonium dans un service médical d'installation nucléaire de base : Élaboration – mise en place – évaluation – validation de 1996 à 2002, *Radioprotection* **39**, 59-75.
- Code du travail (2003) Décret n° 2003- 296 du 31/03/2003 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants.
- Guide (2001) Guide de surveillance radiotoxicologique des travailleurs exposés au risque d'inhalation d'actinides. Rapport technique des SST et LABM CEA et COGEMA, 29 juin 2001, rapport interne.
- ICRP publication 30 (1979) Limits for Intakes of radionuclides by workers, *Ann. ICRP* **3**.
- ICRP publication 54 (1988) Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: design and interpretation, *Ann. ICPR* **19**.
- ICRP publication 60 (1991) 1990 Recommendations of ICRP, *Ann. ICRP* **21**.
- ICRP publication 78 (1998) Individual monitoring for internal exposure of workers, *Ann. ICRP* **27**.
- Piechowski J., Menoux B. (1984) Rétention et excrétion des radionucléides après incorporation par inhalation chez l'homme adulte, rapport CEA-R-5266, C.E. Saclay, Gif-sur-Yvette.
- Piechowski J., Menoux B. (1985) Protocole de surveillance individuelle pour les contaminations par inhalation de radionucléides en milieu professionnel, rapport CEA-R-5305, C.E. Saclay, Gif-sur-Yvette.
- Piechowski J., Menoux B., Miele A., Grappin L., Guillermin A.-M., Fottorino R., Ruffin M. (2003) Implication du médecin du travail et le l'expert dans la gestion et la dosimétrie d'un incident de contamination : exemple d'une plaie contaminée par le plutonium, *Radioprotection* **38**, 29-50.