Surveillance du risque professionnel d'exposition interne aux rayonnements ionisants dans un service de médecine nucléaire

S. Wassilieff[a], A. Cazoulat[b], S. Bohand[b], F. Mérat[c], E. Gontier[d], G. Gagna[b], J.-C. Amabile[b], P. Laroche[b]

a Antenne médicale de Châteaulin, CMA de Brest-Lorient – 29150 Châteaulin.
b Service de protection radiologique des armées, 1 bis, rue du Lieutenant Raoul Batany – 92141 Clamart Cedex.
c Centre de médecine de prévention des armées Paris/EHMP site de Paris 5.
d Service de médecine nucléaire, HIA du Val-de-Grâce, 74 boulevard de Port Royal – 75230 Paris Cedex 05.

Article reçu le 2 mai 2012, accepté le 7 février 2013.

Résumé

Le Code du travail fait obligation à tout employeur d'exercer une surveillance médicale et dosimétrique au profit des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. La surveillance du risque d'exposition interne par incorporation de radionucléides nécessite la réalisation d'examens spécifiques selon des modalités qui doivent être adaptées aux conditions de chaque exposition. En service de médecine nucléaire, la principale difficulté consiste dans la brièveté de la période radiologique des radionucléides manipulés. Ceci nécessite de réduire au minimum le délai entre l'exposition et les mesures afin que celles-ci puissent être significatives en cas de contamination réelle. Dans ce contexte, l'appui technique des moyens mobiles du Service de protection radiologique des armées a été sollicité par le médecin de prévention de l'Hôpital d'instruction des armées du Val-de-Grâce au profit des personnels du service de médecine nucléaire. Une campagne de mesures anthroporadiométriques a ainsi été réalisée. Cet article décrit son déroulement, les résultats obtenus et l'apport de cette méthode.

Mots-clés : Anthroporadiométrie. Exposition interne. Médecine nucléaire. Radioprotection.

Abstract
OCCUPATIONAL IONIZING RADIATION INTERNAL EXPOSURE RISK ASSESSMENT OF A NUCLEAR MEDICINE DEPARTMENT.

Labour law demands radiological and medical ionizing radiation surveillance for exposed workers. The monitoring of internal exposure risks by radionuclide intake requires specific tests which have to be performed according to the modalities of each type of exposure. In nuclear medicine activities, radionuclide half-life brevity is a major difficulty resulting in a shorter time between the exposures and their measurements. In this context, Defence Radiation Protection Service mobile laboratories were requested by the occupational medicine service of the Val-de-Grâce Military Hospital in order to screen the nuclear medicine department staff. A whole body counting was performed, as reported below.

Keywords: Internal exposure. Nuclear medicine. Radiation protection. Whole body counting.

Introduction

Parmi les travailleurs du secteur médical exposés aux rayonnements ionisants, les personnels des services de médecine nucléaire constituent une population spécifique. En effet, le travail quotidien dans ces services consiste à manipuler et préparer des radionucléides sous forme de sources radiopharmaceutiques non scellées.

S. WASSILIEFF, médecin en chef, praticien confirmé. A. CAZOULAT, pharmacien en chef, praticien certifié. S. BOHAND, pharmacien en chef, praticien confirmé. F. MÉRAT, médecin en chef, praticien certifié. E. GONTIER, médecin en chef, praticien certifié. G. GAGNA, médecin principal, praticien confirmé. J.-C. AMABILE, médecin en chef, praticien certifié. P. LAROCHE, médecin chef des services, professeur agrégé du Val-de-Grâce.
Correspondance : Médecin en chef S. WASSILIEFF. Sous-Direction des pensions, 5 place de Verdun - 17000 La Rochelle.
E-mail : serwassi@yahoo.fr

Ces radio-éléments sont ensuite administrés à des patients dans un but diagnostique ou thérapeutique. Les patients deviennent, eux-mêmes, à leur tour et pour un certain temps, sources de rayonnements. Tout ceci génère, pour les personnels des services de médecine nucléaire des risques d'exposition qu'il convient de prendre en compte par un ensemble de dispositions de radioprotection appropriées (1). Dans le cadre de leur activité professionnelle, les personnels peuvent être soumis à une exposition externe et à une exposition interne.

L'exposition externe (à distance et au contact, cf. ci-dessous) provient de la préparation et de la manipulation des radioéléments avant l'administration aux patients. Elle est habituellement évaluée à l'aide de dosimètres passifs « extrémité » et « corps entier » en fonction des modes opératoires. La dose annuelle externe moyenne reçue était ainsi de 0,33 mSv en France en 2010 (2) alors que les doses reçues dans le service de médecine nucléaire de l'Hôpital d'instruction des armées du Val-de-Grâce (HIA VDG), pour la même période, variaient de 0 à 4,5mSv. L'exposition interne provient du risque de contamination externe et de la possibilité d'incorporation de radionucléides manipulés. La surveillance de cette exposition interne est fixée par l'article R.4451-62 du Code du travail repris dans l'instruction ministérielle de référence (3) et utilise des mesures d'anthroporadiométrie et/ou des analyses de radio-toxicologie. Ces examens visent à détecter, identifier et quantifier les éventuels radionucléides présents dans l'organisme des travailleurs et de calculer le cas échéant, la dose interne reçue. Dans ce but, et en application de l'article R.4451-84 du Code du travail, le centre de médecine de prévention des armées de l'HIA VDG a sollicité les moyens du Service de protection radiologique des armées (SPRA) au profit du service de médecine nucléaire. Ce dernier a utilisé son véhicule-laboratoire mobile et une équipe d'analyse-expertise pour effectuer au sein du service de médecine nucléaire une mesure de la présence éventuelle de radionucléides dans l'organisme des personnels. Après quelques rappels sur la radioprotection et la réglementation, cet article fera le point sur la nature des risques encourus, le déroulement de ces mesures, les résultats obtenus ainsi que les conclusions que l'on peut en tirer.

Rappels et réglementation

L'exposition aux rayonnements

Il existe trois modes d'exposition de l'organisme aux rayonnements ionisants :

– l'exposition externe à distance ou irradiation externe : la source de rayonnements ionisants qui peut être un générateur ou de la matière radioactive reste à distance de l'organisme ;

– l'exposition externe au contact ou contamination externe : la matière radioactive disséminée se trouve en contact avec la peau du sujet ;

– l'exposition interne ou contamination interne : la matière radioactive disséminée a été incorporée par le sujet par inhalation, ingestion, ou passage à travers une peau saine ou lésée et se trouve à l'intérieur de l'organisme.

Le cadre réglementaire

Le Code du travail

Dans le cadre du Code du travail, il fait obligation à l'employeur d'exercer une surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. Cette surveillance est à la fois dosimétrique (art. R.4451-62 à 74) et médicale (art. R. 4451-82 à 92).

L'exposition des travailleurs doit respecter les trois principes de la radioprotection définis à l'article L.1333-1 du Code de la santé publique et repris par l'article R.4451-1 du Code du travail : la justification, l'optimisation et le respect des limites réglementaires.

Les deux grandeurs de protection utilisées sont la dose équivalente H_T ou dose délivrée à un tissu ou organe donné et la dose efficace E ou dose reçue par l'organisme entier qui est la somme pondérée des doses équivalentes délivrées aux différents organes. La dose prise en compte réglementairement est la dose efficace totale ou somme de la dose reçue par exposition externe et de la dose reçue par incorporation (exposition interne).

$$E_{TOT.} = E_{ext.} + E_{int.}$$

L'unité de dose efficace est le Sievert (Sv).

La quantité de radionucléide incorporée par un organisme est représentée par son activité c'est-à-dire par le nombre d'émissions de particules qu'il produit par seconde. L'unité d'activité est le Becquerel qui représente une émission photonique ou corpusculaire par seconde. Un Mégabecquerel (MBq) représente 10^6 émissions par seconde.

Limites réglementaires annuelles

Elles sont fixées par les articles R. 4451-12, 13, 44 et 46 Code du travail l'article R.1333-8 du Code de la santé publique (tab. I).

Sont considérés comme exposés, les travailleurs susceptibles de dépasser une des limites de dose fixées pour public sur 1 an (tab. I). Parmi ces travailleurs exposés, sont classés en travailleurs de catégorie A ceux

Tableau I. Limites réglementaires.

Dose en millisieverts (mSv)	Travailleur de catégorie A	Travailleur de catégorie B	Public
Organisme entier (dose efficace)	20	6	1
Peau (dose équivalente pour 1 cm^2)	500	150	50
Cristallin (dose équivalente)	150	45	15
Extrémités (dose équivalente)	500	150	
Femme enceinte		< 1 mSv au niveau de l'abdomen pendant la grossesse déclarée	

qui sont susceptibles de recevoir une dose supérieure aux 3/10° d'une des limites réglementaires annuelles travailleur de catégorie A. Sont classés travailleurs de catégorie B ceux qui ne sont pas susceptibles de dépasser les 3/10° d'une de ces limites de catégorie A.

La surveillance médicale

Avant le 1er juillet 2012 un examen au moins une fois par an était obligatoire pour tout travailleur exposé aux rayonnements ionisants. Le décret n° 2012-135 du 30 janvier 2012 limite cet examen annuel aux seuls les travailleurs classés en catégorie A. Les travailleurs classés en catégorie B doivent désormais bénéficier d'un examen selon une périodicité n'excédant pas vingt-quatre mois.

La surveillance dosimétrique

La surveillance de l'exposition externe s'effectue principalement à l'aide de dosimètres poitrine « corps entier », passifs et opérationnels, complétés éventuellement par le port de dosimètres « extrémités » au poignet ou en bague.

La surveillance de l'exposition interne qui nous intéresse dans le cadre de ce travail, se fait par la réalisation d'examens anthroporadiométriques et par radiotoxicologie des selles et urines, prescrits par le médecin du travail (art.4451-69 du Code du travail). Ils ont pour but d'identifier et de quantifier les radionucléides éventuellement incorporés par les travailleurs, ces éléments permettant, le cas échéant, le calcul d'une dose interne dite dose engagée.

Les problèmes spécifiques de la surveillance des personnels d'un service de médecine nucléaire

La nature des risques

Ces personnels sont soumis aux risques d'exposition externe à distance, de contamination externe et de contamination interne.

Le risque d'exposition externe à distance consiste principalement en l'exposition des mains du technicien lors de la préparation puis de l'injection des radiopharmaceutiques aux patients ou lors de la manipulation de sources-étalon scellées type Co 57. À un degré moindre, il peut s'agir d'une exposition corps entier des personnels, provenant du patient lui-même après l'injection ou l'ingestion du radiopharmaceutique. Cette exposition externe à distance est, en conditions normales, la plus importante mais ne fait pas l'objet de notre article.

Le risque de contamination externe survient lors d'une mauvaise manipulation de radionucléides. Ce risque est cependant réduit du fait de la préparation des radiopharmaceutiques dans des boîtes à gants étanches. Il peut également être lié au contact des travailleurs avec des liquides biologiques de patients chez lesquels un radiopharmaceutique a été administré (urines, sang…). Ce risque de contamination externe fait l'objet de dépistages systématiques pluriquotidiens à l'aide de compteur mains/pieds ; des procédures de décontamination sont appliquées en cas de survenue d'un tel incident. Tout comme l'exposition externe à distance, la contamination externe ne sera pas traitée ici.

Le risque de contamination interne est plus réduit en conditions normales de travail à l'exception spécifique d'examens tels que la scintigraphie pulmonaire de ventilation utilisant un aérosol de nanoparticules de carbone marquées au Technétium-99 métastable dont la partie expirée par les patients peut contaminer l'atmosphère de la salle et engendrer un risque d'inhalation (4, 5).

Cependant, le risque d'une incorporation incidentelle ou accidentelle existe lors des diverses phases de préparation et d'injection des solutions marquées. Cela peut être du par exemple à la perte d'étanchéité des flacons, l'épandage du liquide sur la peau ou les vêtements du travailleur éventuellement suivi d'inhalation ou le bris d'un flacon en verre générant une plaie contaminée.

La gestion des déchets d'activités de soins contaminés ainsi que celle des selles ou urines des patients constitue également une source potentielle de contamination interne des personnels.

Il en est de même pour le nettoyage des locaux comme les salles d'injection ou les chambres et toilettes des patients. De manière générale toute contamination externe génère un risque d'incorporation secondaire de radionucléides.

Radionucléides utilisés (4, 5)

Les principaux radionucléides manipulés dans le service de médecine nucléaire de l'HIA VDG sont :

– l'Iode 131 : émetteur β^-, γ (photons de 364 keV), utilisé pour le traitement des affections thyroïdiennes. Les activités habituellement mises en œuvre lors d'un traitement sont comprises entre 200 MBq et 3 700 MBq en fonction de l'affection traitée. Ce radionucléide est responsable à lui seul de 61 % (19/31) des contaminations internes réalisés par l'IRSN de 2006 à 2010 à la suite d'incidents d'incorporation signalés dans les services de médecine nucléaire (5) ;

– le Technétium 99 métastable (Tc-99m) : émetteur γ d'assez basse énergie (140 keV), couramment utilisé dans nombre de scintigraphies (os, poumons, cœur, reins) avec des activités mises en œuvre par examen comprises entre 60 et 900 MBq, est responsable, quant à lui, de 26 % des contaminations internes (5) ;

– le Fluor 18, émetteur β^+, est utilisé pour la réalisation des Tomographies par émission de positons (TEP) principalement dans le cadre de bilans en cancérologie. Chaque positon β^+, à peine émis, va rencontrer dans la matière un électron e^- avec lequel se produit une réaction d'annihilation suivie d'une émission de deux rayonnements gamma à haute énergie. L'activité moyenne mise en œuvre par examen TEP dans le service est de 340 MBq.

Une caractéristique des radionucléides utilisés en médecine nucléaire est d'avoir une très courte période radioactive.

Celle-ci est le temps au bout duquel l'activité, c'est-à-dire le nombre de noyaux radioactifs présents, a diminué de moitié par décroissance radioactive naturelle. Ainsi, au bout de n périodes, l'activité initiale A_0 a été divisée par 2^n.

En principe, il faudrait prendre en compte la période effective du radionucléide dans l'organisme qui est la combinaison entre la période de décroissance radioactive et la période ou demi-vie biologique d'élimination de l'élément par excrétion naturelle. En pratique, pour nos trois radionucléides, on peut, pour simplifier, négliger l'élimination biologique (qui se fait plus lentement que la décroissance radiologique) et retenir la période radioactive comme période effective. Le Fluor 18 a une période radioactive très courte de 110,14 minutes, alors que le Tc-99m a une période de 6 heures et l'Iode 131 de 8,02 jours. Ces périodes courtes présentent l'avantage de limiter le temps d'exposition du patient et donc de la dose qu'il reçoit en interne. Il en est de même pour le personnel en cas de contamination interne accidentelle.

À l'inverse, s'agissant de l'efficacité du dépistage des radionucléides éventuellement incorporés par les personnels, il s'agit d'un inconvénient important car, de manière pratique, l'activité est divisée par un facteur d'environ 1 000 (en fait $2^{10} = 1\,024$) au bout d'un temps égal à 10 périodes, c'est-à-dire 18 heures pour le Fluor 18, 60 heures pour le Tc-99m et 80 jours pour l'Iode 131.

Les protocoles habituels (6, 7) de surveillance, tels qu'un contrôle annuel lors de la visite médicale au service de santé au travail, sont alors inadaptés à la surveillance des personnels de médecine nucléaire. En effet, la probabilité de détecter une quelconque activité résiduelle «post-incorporation» dans l'organisme diminue considérablement après quelques jours, voire quelques heures entre l'incorporation supposée et la mesure dans le cas du Fluor 18.

Cela souligne l'intérêt de campagnes de mesures ciblées, effectuées au plus près, c'est-à-dire à la sortie des postes de travail habituels des personnels, telles que celles effectuées par le SPRA par anthropogammémétrie.

L'intervention des 28 et 29 avril 2011

Matériel et méthodes

Stratégie

Les trois radionucléides recherchés étant émetteurs γ, c'est le choix d'utiliser la mesure directe corps entier par anthroporadiométrie γ qui a été retenue. Celle-ci permet une mesure immédiate de l'activité corporelle et évite les inconvénients logistiques et les délais nécessaires à la collecte, au transport et au traitement des flacons d'urine lors des analyses radio-toxicologiques. Afin de perturber le moins possible le fonctionnement du service de médecine nucléaire, il a été décidé de positionner le laboratoire mobile d'anthroporadiométrie Fastscan® du SPRA au plus près des personnels contrôlés, dans la cour Ouest de l'HIA VDG (fig. 1).

Précautions particulières

Avant de réaliser la mesure, il est impératif que le travailleur ait procédé à un contrôle de non-contamination externe à l'aide d'un compteur mains/pieds, un lavage des mains et à un changement de vêtements à la sortie de son lieu de travail. En effet, la persistance d'une quelconque contamination externe sur la peau ou les tenues (blouse notamment) est susceptible de majorer la mesure de l'activité interne du travailleur et risquerait de contaminer l'appareil de mesure et de fausser également les mesures ultérieures.



Figure 1. Le laboratoire mobile d'anthroporadiométrie Fastscan® du SPRA.

Matériel

Le camion comporte un poste de mesure équipé d'un détecteur à iodure de sodium type Fastscan®-corps entier isolé de la radioactivité naturelle ambiante par 450 kg de plomb. Le patient est assis, le cou et le tronc face à un plan comportant le détecteur (fig. 2) ; les rayonnements γ émis



Figure 2. Présentation du patient devant le détecteur.

par le sujet vont être captés par le détecteur puis analysés. Pour chaque personne, le temps d'acquisition de la mesure est de 600 secondes. La limite de détection est de 100 Bq. La résolution sur le pic du Cs 137 à 661 keV est de 48 keV, soit 7,2 % (8).

Personnel

L'équipe d'analyse-expertise du SPRA est composée d'un technicien de laboratoire, d'un pharmacien et d'un médecin. Le médecin de prévention de l'hôpital ainsi que la Personne compétente en radioprotection (PCR) du service, jouent un rôle déterminant dans la préparation et le bon déroulement des mesures. Un recensement précis des personnels à contrôler a été effectué, comportant pour chacun d'entre eux le poste de travail, la catégorisation, la nature du risque encouru (type, activité et mode d'administration des radiopharmaceutiques, notamment) ainsi que les dates et horaires des dernières manipulations. Ces renseignements indispensables ont été recueillis à l'aide d'un questionnaire renseigné par le travailleur préalablement à la mesure (annexe I).

De plus, le respect des consignes visant à s'affranchir du risque de contamination externe a été vérifié.

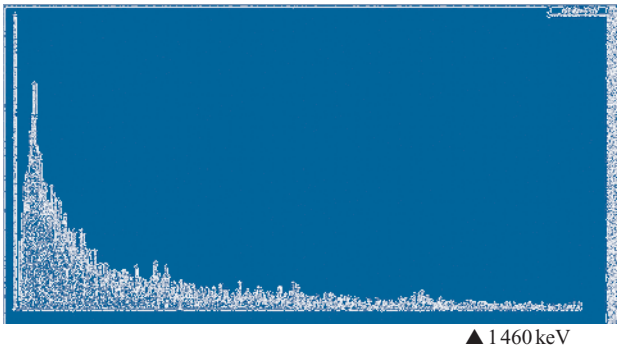
Personnels contrôlés

Vingt-trois personnes occupant divers emplois plus ou moins exposants ont été contrôlées : sept travailleurs de catégorie A et seize de catégorie B.

Le tableau II récapitule les différents paramètres concernant chaque travailleur, en particulier, la nature du radionucléide, la modalité d'exposition (principalement préparation et injection de molécules marquées), le délai entre la fin de l'exposition et la mesure, comparé à la période du radionucléide en cause.

Résultats

Tous les résultats sont inférieurs aux limites de détection de l'appareil de mesure. Pour aucun des 23 travailleurs il n'a été mis en évidence la présence dans l'organisme de radionucléide manipulé dans le service à des niveaux supérieurs aux limites de sensibilité de notre appareil. À titre d'exemple, la figure 3 montre le type de spectre γ humaine de référence obtenu avec un détecteur NaI : pic à 1 460 keV du γ du Potassium 40, naturellement présent dans l'organisme.



▲ 1 460 keV

Figure 3. Spectre γ humain de référence.

Discussion

Le déroulement de cette campagne de mesures a pu se faire de manière optimale grâce à une étroite coopération entre le SPRA, le médecin de prévention et la personne compétente en radioprotection du service de médecine nucléaire l'HIA VDG. L'adhésion, la bonne volonté et le professionnalisme des personnels contrôlés ont permis de mener les opérations de façon optimale. La préparation de la campagne de mesures a nécessité une réunion de concertation afin de définir les objectifs, le nombre et le rythme des mesures, les consignes à donner aux personnels et le type de renseignements à recueillir préalablement. Sans cette préparation minutieuse, l'appui technique des laboratoires mobiles du SPRA aurait été inutile car les données recueillies n'auraient pas été exploitables. De même, le déploiement du dispositif et le déroulement des mesures ont été grandement facilités par l'implication des divers échelons de l'HIA.

Les résultats obtenus présentent un caractère rassurant pour l'ensemble des personnels, qu'il s'agisse des personnels les plus exposés (catégorie A) ou de ceux qui le sont moins (catégorie B). Ce caractère rassurant peut être conforté par le faible délai entre la fin de l'exposition au risque et la réalisation de la mesure. En effet, comme on l'a précédemment évoqué si on mesure l'activité présente dans l'organisme après un laps de temps égal à dix fois la période radiologique par rapport au moment de l'incorporation supposée, on ne mesurera au mieux qu'une activité égale au millième de l'activité incorporée. L'absence de détection d'une contamination n'aurait dans ce cas qu'une valeur relative. En considérant les mesures effectuées sur chaque travailleur et en regardant le rapport entre le délai de mesure et la période du radionucléide, on peut évaluer la crédibilité de chaque mesure en fonction de ce paramètre. Ainsi pour les personnels T3, T4, T6, T9 et T10 un résultat négatif est significatif (tab. II).

Le cas du personnel T8 est plus complexe. Il s'agissait d'une préparatrice qui avait manipulé du Tc99m 23 heures avant la mesure et s'était contaminée par projection accidentelle suivie d'une décontamination externe immédiate réalisée par déshabillage et lavage. Pour cette préparatrice, la mesure a eu lieu au bout d'environ quatre périodes, ce qui signifie qu'en cas d'incorporation accidentelle l'activité mesurée ne pourrait être, au maximum, que le 1/16 ($1/2^4$) de l'activité incorporée. Ceci doit conduire à bien apprécier les limites d'une mesure trop tardive, surtout en cas d'incorporation minime.

Cependant, même dans l'hypothèse la plus pessimiste d'une mesure négative du fait de la limite de détection de l'appareil, soit 100 Bq, l'activité incorporée initialement dans ce cas serait 16 fois 100 soit 1 600 Bq de technétium. Ceci correspondrait à une dose interne reçue par le travailleur de niveau extrêmement faible, $E=1600.2{,}9.10^{-11} = 4640.10^{-11}$ Sv soit 0, 046 µSv.

En effet, la dose engagée ou dose interne se calcule en pratique en multipliant l'activité incorporée par un coefficient de dose spécifique du radionucléide en cause : la Dose Par Unité d'Incorporation ou DPUI. La DPUI du Tc99m est de $2{,}9.10^{-11}$ Sv/Bq.

Tableau II. Les paramètres d'exposition de chaque travailleur contrôlé.

N°attribué aux travailleurs	Emploi	Catégorie	Radionucléide manipulé (ou potentiellement incorporé)	Date et heure dernière exposition	Date et heure de la mesure	Délai écoulé /Période du radionucléide
T2	Secrétaire	B	Aucun en particulier	*S.O.*	28/04 09h58	S.O.
T3	Agent entretien	B	Fluor 18	28/04 09h30	28/04 10h14	44 mn /110 mn
T4	Médecin	B	Iode 131	27/04 16h00	28/04 10h 27	0,75 j / 8 jours
T5	Secrétaire	B	Aucun en particulier	*S.O.*	28/04 10h41	*S.O.*
T6	Agent entretien	B	Fluor 18 Iode 131	28/04 8h35 28/04 10h40	28/04 10h59	147 mn /110 mn 0,013 j / 8 jours
T7	Physicienne	B	Technétium 99 m	27/04 12h15	28/04 11h12	23 h / 6 heures (4 périodes)
T8	Préparatrice	A	Technétium 99 m	27/04 12h15 (incident de contamination externe)	28/04 11h26	23 h / 6 heures (4 périodes)
T9	Stagiaire physicienne	B	Iode 131	27/04 16h00	28/04 11h 43	0,75 j / 8 jours
T10	Stagiaire physicienne	B	Iode 131	28/04 10h00	28/04 11h56	0,1 j / 8 jours
T11	Manipulatrice	A	Fluor 18	28/04 11h45	28/04 12h08	23 mn /110 mn
T13	Pharmacien	B	Technétium 99 m	26/04 11h00	28/04 14h10	51 h / 6 heures (> 8 périodes)
T14	Interne	B	Aucun en particulier	*S.O.*	28/04 14h22	*S.O.*
T15	Manipulatrice	A	Fluor 18	28/04 13h43	28/04 14h50	67 mn / 110 mn
T16	Manipulatrice	A	Fluor 18	28/04 14h58	28/04 15h23	25 mn / 110 mn
T17	Manipulateur	A	Fluor 18 Technétium 99 m	26/04 15h00 27/04 11h30 (ventilation) 28/04 11h10 (injection)	28/04 15h49	49 h / 1,83 h (27 périodes) 4,6 h / 6 heures (< 1 période)
T18	Aide secrétaire	B	Aucun en particulier	*S.O.*	28/04 16h05	*S.O.*
T19	Chef de service	B	Pas d'exposition récente	*S.O.*	28/04 16h17	*S.O.*
T21	Médecin	B	Technétium 99 m	28/04 11h30	29/04 10h08	22 h / 6 heures (> 3 périodes)
T22	Médecin	B	Aucun en particulier	*S.O.*	29/04 10h26	*S.O.*
T23	Cadre de santé	B	Aucun en particulier	*S.O.*	29/04 10h47	*S.O.*
T24	Manipulatrice	A	Technétium 99 m	29/04 10h00	29/04 11h14	1 h /6 heures
T25	Cardiologue	B	Aucun en particulier	*S.O.*	29/04 12h00	*S.O.*
T26	Infirmière	A	Technétium 99 m	29/04 11h19	29/04 12h14	1 h /6 heures

La dose de 0,046 µSv calculée ici est très inférieure à la radioactivité naturelle reçue annuellement par chaque français et qui est de l'ordre de 3 millisieverts par an. Elle n'aurait donc aucune conséquence décelable sur la santé du travailleur. De fait, le comptage chez cette travailleuse de catégorie A, a permis d'éliminer une incorporation importante ainsi que de s'assurer de l'absence de contamination externe résiduelle.

Pour le personnel T11, qui manipule du Fluor18, qui présente une très brève période de 110 minutes, la mesure a été très pertinente car elle a pu être effectuée 20 minutes après la fin de la manipulation. Pour les personnels T9, T10, T15, T16, T24 et T26 le délai a également été tout à fait satisfaisant.

Il n'en a pas été de même pour les personnel T13, pharmacien catégorisé B, peu exposé il est vrai, mais

pour lequel seule une incorporation incidentelle relativement importante aurait pu être décelée avec une mesure plus précoce.

Enfin il faut souligner le cas particulier mais typique des personnels de médecine nucléaire comme le personnel T17 qui manipulait du F18. La crédibilité de la mesure est ici clairement faible car effectuée avec un délai de 27 périodes. Par contre, pour la manipulation de Tc-99m la mesure garde tout son intérêt avec un délai < 1 période.

Globalement, l'approche mise en œuvre dans cette campagne de mesures apparaît bien adaptée à l'évaluation des contaminations internes en médecine nucléaire.

L'intérêt de ce travail est également de montrer que le moyen de surveillance mis en œuvre dans cette étude peut être mis en œuvre dans la pratique pour tout service de médecine nucléaire et qu'il est probablement le plus performant compte tenu de la durée de vie des radionucléides utilisés tout en étant moins contraignant pour le personnel que le recueil des urines de 24 heures dans le cadre des analyses radiotoxicologiques.

Étendre la méthodologie à d'autres services, éventuellement avec les moyens de l'IRSN pour les services civils pose nécessairement le problème du coût de la procédure.

Il est de 500 € par personne contrôlée.

Conclusion

La surveillance de l'exposition interne aux rayonnements ionisants des personnels des services de médecine nucléaire comporte des difficultés spécifiques dues, entre autres, à la brièveté de la période des radionucléides manipulés. Si cette courte période ne facilite pas leur détection et leur mesure dans le cadre de la surveillance du personnel, c'est aussi une garantie de minoration de la dose délivrée en cas de contamination réelle.

La campagne de mesures ainsi effectuée par le SPRA par anthroporadiométrie au plus près des personnels potentiellement exposés du service de médecine nucléaire de l'HIA du Val-de-Grâce a permis de réaliser un dépistage crédible d'éventuelles incorporations incidentelles, voire accidentelles, de ces radionucléides.

Les résultats négatifs de nos mesures valident les actions de prévention de radiocontamination interne mises en œuvre vis-à-vis des trois radionucléides couramment utilisés dans le service et éliminent, pour la période d'exposition concernée, toute possibilité de dose interne significative reçue par le personnel. Ils ont donc un intérêt dans la validation des procédures de prévention et de leur respect.

Toutefois le caractère ponctuel de ce type de contrôle ainsi que ses relatives limites en termes de méthodologie, laissent intacte la nécessité de maintenir rigoureusement toutes les mesures quotidiennes de radioprotection (1, 9) déjà en place, notamment des zonages adaptés, des vestiaires chauds distincts des vestiaires froids, des équipements individuels et collectifs de protection et de contrôle, une ventilation adaptée des locaux, un conditionnement et une gestion optimale des sources non scellées ainsi que des déchets d'activités de soin et des excréta. La mise en place de procédures de décontamination des personnels et des locaux est indispensable, Toutes ces actions doivent être accompagnées par une formation continue des personnels et aboutir à une démarche d'amélioration continuelle des pratiques.

En cas d'incorporation inopinée suspectée ou avérée, la mise en œuvre de toutes les modalités de mesures s'imposera sans délai associant anthroporadiométrie et radiotoxicologie des urines du travailleur, et sera suivie, en cas d'incorporation importante de la mise en route d'un traitement décorporateur afin de réduire autant que possible la dose engagée.

Remerciements : les auteurs remercient le chef et l'ensemble du personnel du Service de médecine nucléaire de l'HIA du Val-de-Grâce pour la qualité tant de l'accueil reçu que de la remarquable et indispensable collaboration dont ils ont bénéficié.

Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Castagnet X, Mantzarides M, Laroche P, Foehrenbach H. Radioprotection du personnel dans un service de médecine nucléaire, Archives des maladies professionnelles et de l'environnement 2007; 68 : 555-65.
2. La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2010 – IRSN 2011.
3. Instruction ministérielle n°4916/DEF/CAB du 30 mars 2009, modifiée juin 2011, relative aux dispositions communes en matière de protection radiologique du personnel du ministère de la Défense.
4. Fiches de radioprotection INRS/IRSN, ED 4239, 4301 et 4300.
5. Challeton-de-Vathaire C, et al. Doses efficaces engagées évaluées par l'IRSN après contamination interne des travailleurs en médecine nucléaire - Bilan 2006-2010 – SFRP Tours – 22 juin 2011.
6. Aubert B. Aspects pratiques de la surveillance de l'exposition professionnelle dans le domaine médical et les laboratoires de recherche, Radioprotection 1991; 26 : 481-91.
7. Commission internationale de protection radiologique – Publication n°78.
8. Castagnet X, Amabile J-C, Cazoulat A, et al. Diagnosis of internal radionuclide contamination by mobile laboratories. Radiation Protection Dosimetry 2007; 125 : 469-71.
9. Arrêté du 30 octobre 1981 relatif aux conditions d'emploi des radioéléments artificiels utilisés en sources non scellées à des fins médicales.

Nom :	
Prénom :	
Fonction :	

Pour chaque jour de la semaine du 26 au 29 avril, merci de préciser :

- Votre activité (consultation / enregistrement administratif des patients / frappe des CR / préparation des radiopharmaceutiques / injection / console d'acquisition / administration thérapeutique…) ;
- Le type des radionucléides manipulés (Tc99m, F18, I123, I131, Thallium 201… autre) ;
- La forme chimique des radionucléides manipulés (L : liquide, G : pour les gaz ou aérosols, S : pour les formes solides) ;
- Le type de radiopharmaceutique (RP) ex : HMDP, Myoview… ;
- Les activités manipulées (MBq) ;
- Le temps d'exposition (heures des manipulations et durées).

Avant votre rendez-vous d'anthroporadiométrie qui aura lieu le jeudi 28 ou le vendredi 29 avril, il faudra impérativement :

- Vous laver les mains ;
- Passer au détecteur mains pieds ;
- Vous changer complètement : veste / pantalon / chaussures ;
- À la moindre suspicion de contamination durant la semaine du 26 au 29, prendre une douche avec shampoing avant votre rendez-vous d'anthroporadiométrie.

Je soussigné(e) avoir pris connaissance des consignes en vu de l'anthroporadiométrie du 28-29 avril 2011

Nom : ..... **Prénom :** ..... **Fonction :**

Exemples	**Mardi 26 avril**	**Mercredi 27 avril**	**Jeudi 28 avril**	**Vendredi 29 avril**
Radionucléides L / G / S RP (HMDP , FDG…) Temps d'exposition Ex 1 : F18-FDG (L) injection + préparation Préparation : durant la matinée et injections : 320 MBq 9h00 400 MBq 10h05 500 MBq 10h35 Ex 2 : Console d'acquisition Examen os Tc99m HMDP 10h00 (précoce) Examen cerveau I123 Datscan11 h 00 Ex 3 : Enregistrement des patients de 8 h à 12 h et frappe des CR Ex 4 : Ménage des bureaux et des couloirs de 7 h à 10 h Nettoyage des toilettes patients 10 h à 11 h Décontamination des toilettes hommes à 16h00.	Matinée	Matinée	Matinée	Matinée
	Après midi	Après midi	Après midi	Après midi

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS 2013

Généralités.

Le manuscrit proposé pour parution dans « Médecine et Armées », relate un travail original et spécifique à la médecine dans les armées (pratique médico-militaire, fait médical, chirurgical, pharmaceutique, vétérinaire, historique, médico-administratif, épidémiologique…).

Présentation du manuscrit.

• Le manuscrit est fourni :
– soit sur support numérique adressé par voie postale ;
– soit adressé par E-mail (Internet, Intranet, Lotus).
• Le manuscrit est rédigé :
– en langue française (sauf exception après accord de la rédaction) ;
– maximum 32 000 caractères ;
– en double interlignage en Times new roman corps 12 ;
– marge gauche ;
– paginé.
• La première page :
– le titre précis et concis sans abréviation, en lettres ;
– le nom du ou/et des auteurs (six maximum), précédé des initiales du prénom (avec un point et un trait d'union pour les prénoms composés) ;
– du grade, du titre et de l'adresse affectation de tous les auteurs et co-auteurs ;
– le nom, l'adresse ; les coordonnées téléphoniques et E-mail du destinataire des correspondances et épreuves à corriger.
• La deuxième page :
– le titre en français ;
– le titre en anglais ;
– le résumé en français (15 lignes maximum sans abréviation, ni référence) ;
– quatre à cinq mots-clés, classés par ordre alphabétique et séparés d'un point ;
– le résumé en anglais, précédé du titre et des mots-clés répertoriés.
• Le texte débute à la troisième page :
– est concis, précis et les évènements passés sont décrits au passé composé ;
– les abréviations sont en nombre limité et exclus du titre et des résumés et sont explicites lors du premier emploi ; le terme entier est précédé de l'abréviation et mise entre parenthèses sans point de séparation lors de la première apparition dans le texte ;
– les renvois en bas de page ne sont pas acceptés ;
– la terminologie est respectée (symbole, unité, nombre écrit en chiffres SAUF inférieur à dix-sept, ou lorsqu'il commence une phrase ou lors d'énumérations fréquentes dans le texte, médicaments) ;
– la présentation est au carré (texte justifié), sans gras ni mot souligné et selon le plan suivant :

Chapitre.
Section.
Paragraphe.
Sous paragraphe.
– alinéa ;
- *sous-alinéa*,
• puce.

Illustrations.

– sont en nombre limité avec leur légende ;
– numérotées en chiffres arabes (pour les graphiques et photographies) ;
– sont appelés précisément dans le texte, placées ente parenthèses par ordre d'apparition ;
– les photos fournies respectent l'anonymat des patients et sous format JPEG avec l'accord du propriétaire et/ou le copyright.

Tableaux.

– sont en nombre limité avec leur légende ;
– numérotés en chiffres romain ;
– sont appelés précisément dans le texte, placés entre parenthèses par ordre d'apparition ;
– doivent se suffirent à eux même sans que l'on doive se référer au texte.

Les médicaments.

– apparaissent sous leur nom commun (DCI), la première lettre étant une minuscule ;
– sous leur nom de spécialité, la première lettre est alors en majuscule, suivie d'un ®.

Les remerciements et les déclarations de conflits d'intérêt.

– sont placés en fin de texte
– l'absence de conflit d'intérêt doit être mentionnée sous la forme : « les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article ».

Références bibliographiques.

– elles sont numérotées en chiffres arabes placés entre parenthèses (dans le texte, les tableaux et les figures) dans l'ordre d'apparition ;
– les chiffres sont séparés par une virgule, mais au-delà de deux chiffres successifs seuls les deux extrêmes sont présentés et séparés par un trait d'union.

Corps des références bibliographiques selon la convention de Vancouver.

Elles figurent en fin d'article. Strictement limitées aux travaux mentionnés dans le texte et comportent :

***- à propos d'un article extrait de revue* :**

• noms des auteurs (six maximum) en minuscules accentuées (première lettre en capitale accentuée) suivis des initiales des prénoms sans point suivi de la mention « et al » si plus de six ;
• titre intégral dans la langue de publication (caractères latins) et d'un point ;
• titre de la revue (intégrale ou abrégé),
• année de parution, éventuellement série,
• numéro des premières et dernière pages, abrégée au plus petit chiffre explicite séparés par un trait d'union et point final, sans espace ;

Exemple: 1. Lvovschi V, Aubrun F, Bonnet P, Bouchara A, Bendahou M, Humbert B, et al. Intravenous morphine titration to treat severe pain in the ED. Am J Emerg Med 2008;26:676-82.

- à propos d'un livre :

• noms des auteurs (six maximum) en minuscules accentuées (première lettre en capitale accentuée) suivis des initiales des prénoms sans point suivi de la mention « et al » si plus de six,
• titre intégral dans la langue de publication (caractères latins) et d'un point,
• ville de l'éditeur puis deux points,
• éditeur suivi d'un point virgule,
• année de parution ;

– à propos d'un chapitre extrait d'un livre :

• noms des auteurs (six maximum) en minuscules accentuées (première lettre en capitale accentuée) suivis des initiales des prénoms sans point suivi de la mention « et al » si plus de six,
• titre du chapitre et point,
• puis « in: » suivi du ou des noms et initiales des prénoms du ou des coordinateurs suivis de « ed » ou « eds » et d'un point,
• titre du livre et point,
• ville : maison d'édition et point-virgule,
• année d'édition et point,
• numéros de la première page et de la dernière abrégée au plus petit chiffre explicite séparés par un trait d'union et point final, sans espace ;

– à propos d'une thèse :

• noms de l'auteur en minuscules accentuées (première lettre en capitale accentuée) suivis des initiales,
• titre de la thèse,
• ville suivie de deux points et de l'université puis d'un point virgule,
•année de la thèse et nombre de pages et point final.

– à propos de documents électroniques :

• noms de l'auteur si possible,
• titre du document,
• lien internet,
• date de consultation.

Comité de lecture.

Les articles sont soumis anonymement pour approbation à la lecture de deux lecteurs membres du comité ou de deux lecteurs choisis pour leur compétence en la matière. Le comité de lecture se réserve le droit de demander un complément de bibliographie. Les textes, publiés ou non, ne sont pas retournés à l'auteur.

Correction des épreuves.

L'auteur recevra avant publication, les épreuves sous format PDF soit par mail, soit imprimées de l'article pour approbation finale. Le retour dans les huit jours est impératif soit par mail ou papier. Passé ce délai, le texte sera publié tel quel sous la responsabilité de son auteur.

Obligations légales.

Les manuscrits originaux ne doivent avoir fait l'objet d'aucune publication antérieure, ni être en cours de publication dans une autre revue. Les opinions, exprimées dans les articles ou reproduites dans les analyses, n'engagent que leurs auteurs, notamment pour les médicaments. Les règles concernant l'exercice du droit d'expression dans les armées doivent être observées, particulièrement lorsqu'il s'agit d'informations nominatives ou protégées. En outre, le respect des dispositions de la loi N°2006-961 du 1er aout 2006, relative à la propriété littéraire et artistique, s'impose.

Toute correspondance doit être adressée à : M. le rédacteur en chef, secrétariat « Médecine et Armées » 1 place Alphonse Laveran – 75230 Paris Cedex 05 – Tél. : 01 40 51 47 44 – Fax : 01 40 51 51 76 –