

Fiche radionucléides | ED 4301

Technétium-99m

Le technétium est un métal gris argenté brillant. Son point de fusion est évalué à 2 140 °C. La densité de l'élément pur est de 11,5.

⁹⁹Tc^m₄₃

Émetteur X et gamma (raie principale = 141 keV)

Période physique = 6 heures

Période effective = 4 à 6 heures (en fonction de l'organe concerné)

Organes cibles (technétium-99m sous forme de pertechnétate) = thyroïde, foie et tractus gastro-intestinal

Surveillance du poste de travail : mesures de débit d'équivalent de dose ambiant (radiamètre) et de contamination surfacique (contaminamètre, sondes X ou y)

Surveillance dosimétrique individuelle de l'exposition externe : dosimétrie à lecture différée

Surveillance dosimétrique individuelle de l'exposition interne : analyse radiotoxicologique des urines ou anthroporadiométrie

1. Caractéristiques

Origine

Le technétium-99 métastable (Tc-99m) est une substance radioactive d'origine artificielle. Il est obtenu sous forme de pertechnétate de sodium (Na⁺ ^{99m}TcO₄⁻) par décroissance du molybdène-99 (Mo-99) à l'aide d'un générateur isotopique Mo-99/Tc-99m. Les services de médecine nucléaire disposent de générateurs isotopiques Mo-99/Tc-99m et bénéficient ainsi d'une ressource de Tc-99m pour quelques jours (la période physique du Mo-99 est de 66 heures).

Les risques liés aux rayonnements γ de 740 keV et 778 keV issus de la

désintégration du molybdène-99 doivent donc être pris en compte lors de la manipulation du générateur. Toutefois, cet aspect n'est pas abordé dans cette fiche.

Propriétés radiophysiques

Période radioactive : 6 heures.

Les principales émissions du Tc-99m sont reportées dans le tableau 1.

■ Tableau 1. Principales émissions du Tc-99m

Principales émissions	Énergie (keV)	Pourcentage d'émission
Gamma/X	18	6
	141	89
Électron	120	9

■ Tableau 2. Filiation du Tc-99m

Produits de filiation	⁹⁹ Tc ₄₃	⁹⁹ Ru ₄₄
Équation	$^{99}_{43}\text{Tc}^m \xrightarrow{\gamma} ^{99}_{43}\text{Tc} \xrightarrow{\beta} ^{99}_{44}\text{Ru stable}$	

Les données ci-dessus concernent les principales émissions dont le pourcentage est supérieur à 1 %.

Le technétium-99 (Tc-99) a une période de 212 000 ans. Dans la suite de la fiche, la contribution du Tc-99 est négligée compte tenu de sa faible activité résiduelle par rapport à celle du Tc-99m.

Propriétés biologiques

Le comportement dans l'organisme du Tc-99m dépend de sa forme physico-chimique.

Sous forme d'ion pertechnétate (TcO4⁻), il est très rapidement transféré des poumons vers le sang après inhalation. En cas d'ingestion sous cette forme, 90 % de l'activité ingérée passe la barrière gastro-intestinale pour rejoindre le compartiment sanguin.

Après passage dans le sang ou après injection, le pertechnétate est capté sélectivement dans la thyroïde, les glandes salivaires et la paroi de l'estomac. Chez les sujets euthyroïdiens, 1 à 4 % du pertechnétate injecté par voie intraveineuse se concentre dans la thyroïde en 15 minutes à 1 heure.

D'après le modèle biocinétique retenu par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), 1 heure après inhalation par un travailleur de Tc-99m sous forme de pertechnétate, 12 % de l'activité inhalée se retrouve dans le tractus alimentaire et 0,5 % dans la thyroïde. La rétention dans le foie culmine 3 heures après l'inhalation pour atteindre 2,6 %. 24 heures après l'inhalation, ces activités ne sont plus

que de 1,6 % dans le tractus alimentaire, de 0,03 % dans la thyroïde et de 0,1 % dans le foie. Le Tc-99m inhalé sous forme de pertechnétate est principalement excrété dans les urines et, dans une moindre mesure, dans les selles.

Incorporé sous forme de radiopharmaceutique marqué, le devenir du Tc-99m dans l'organisme est celui de la molécule marquée.

Quelles que soient la forme physico-chimique et la voie d'incorporation, la période effective du Tc-99m correspond au maximum à la période physique de 6 heures.

2. Utilisations

Compte tenu de sa courte période radioactive, le Tc-99m n'est pas utilisé sous forme de source scellée.

Il est essentiellement employé en médecine nucléaire dans des activités de diagnostic *in vivo*.

Il est utilisé directement sous forme de pertechnétate de sodium ou en association avec une molécule sous forme de composé marqué au Tc-99m.

De nombreux organes peuvent être la cible d'imagerie diagnostique au Tc-99m, avec une prédominance des scintigraphies osseuses, rénales et cardiaques. Il est également utilisé sous forme d'aérosol pour les scintigraphies pulmonaires. Les activités administrées dépendent essentiellement de l'indication de l'examen et de la morphologie du patient. Chez l'adulte, les

activités mises en jeu sont généralement comprises entre 110 MBq pour une scintigraphie de la thyroïde et 800 MBq pour une tomoscintigraphie cérébrale de perfusion.

Le même type d'utilisation à visée diagnostique se rencontre désormais en médecine vétérinaire, pour des chevaux de course et parfois pour des animaux de compagnie.

En recherche, le Tc-99m est peu utilisé. Il peut servir pour mettre au point des médicaments ou en recherche préclinique lors d'études sur des animaux. Plus rarement, un emploi en tant que traceur est possible.

Dans l'industrie, le Tc-99m n'est utilisé que dans certains laboratoires de radiochimie et pour l'étalonnage d'instruments dans le secteur du nucléaire.

3. Paramétrages dosimétriques

Exposition externe

Note préalable : Les données dosimétriques ci-après sont obtenues par calcul, en l'absence de toute protection.

Les tableaux 3, 4 et 5 donnent pour une activité de 1 MBq, le débit d'équivalent de dose, exprimé en µSv/h, en fonction de la distance, dans différentes configurations. Les grandeurs $\dot{H}_p(0,07)$, $\dot{H}_p(3)$ et $\dot{H}_p(10)$ correspondent respectivement aux débits d'équivalent de dose à la peau, au cristallin et à l'organisme entier.

Tableau 3. Source ponctuelle

	Débit d'équivalent de dose en µSv/h pour 1 MBq		
	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$ – peau	2,7.10 ²	2,9.10 ⁻¹	2,6.10 ⁻²
$\dot{H}_p(3)$ – cristallin	2,4	2,7.10 ⁻¹	2,4.10 ⁻²
$\dot{H}_p(10)$ – organisme entier	2,6	2,8.10 ⁻¹	2,5.10 ⁻²

Tableau 4. Flacon de 10 ml en verre standard rempli au tiers

	Débit d'équivalent de dose au contact en µSv/h pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en µSv/h pour 1 MBq	
	Tenu en main	Sous le flacon	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	1,8.10 ²	3.10 ²	2,4.10 ⁻¹	2,1.10 ⁻²
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet	Sans objet	2,5.10 ⁻¹	2,2.10 ⁻²

Pour une source ponctuelle, le débit d'équivalent de dose $\dot{H}_p$ (10) est légèrement supérieur au débit d'équivalent de dose $\dot{H}_p$ (3) mais relativement proche. Ainsi, il est recommandé d'utiliser le débit d'équivalent de dose $\dot{H}_p$ (10) pour évaluer la dose au cristallin en cas de manipulation d'un flacon ou d'une seringue (tableaux 4 et 5).

Contamination cutanée

Une contamination cutanée de 1 MBq par cm² délivre un débit de dose à la peau [$\dot{H}_p$ (0,07)] de l'ordre de 220 mSv/h.

Contamination oculaire

Une contamination de l'œil de 1 MBq par cm² délivre un débit de dose au cristallin [$\dot{H}_p$ (3)] de l'ordre de 3,4.10² μSv/h.

Exposition interne

Exposition interne due à une contamination aiguë

Les doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée (DPUI)⁽¹⁾ par inhalation et ingestion, applicables aux travailleurs exposés de 18 ans et plus sont données dans les tableaux 6 et 7.

Les données dosimétriques du tableau 6 reposent sur des diamètres aérodynamiques médians d'activité (DAMA) de 5 μm et 1 μm. Le coefficient de dose retenu par défaut pour le travailleur inhalant un aérosol est celui correspondant à un diamètre aérodynamique médian en activité des particules de 5 μm. Le coefficient de dose correspondant à 1 μm peut être utilisé s'il existe des données démontrant que le travailleur inhale un aérosol de ce diamètre.

Compte tenu de la période effective du Tc-99m, les doses efficaces engagées sur un an sont identiques à celles engagées sur 50 ans.

Exposition interne due à une contamination chronique

Selon la CIPR, l'exposition chronique est considérée comme une succession d'expositions aiguës ; en conséquence, pour une incorporation d'1 Bq/jour pendant n jours, multiplier les valeurs précédentes par n (hypothèse linéaire).

4. Détection et mesures

Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant (μSv/h)

Le débit d'équivalent de dose ambiant peut être mesuré grâce à un radiamètre couvrant la gamme d'énergie du

■ Tableau 5. Seringue pleine en polyéthylène

	Débit d'équivalent de dose au contact en μSv/h pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en μSv/h pour 1 MBq (seringue de 5 ml)		
	Seringue de 2 ml	Seringue de 5 ml	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p$ (0,07)	7,4.10 ²	3,4.10 ²	2,5	2,8.10 ⁻¹	2,4.10 ⁻²
$\dot{H}_p$ (10)	Sans objet	Sans objet	2,5	2,8.10 ⁻¹	2,5.10 ⁻²

■ Tableau 6. DPUI par inhalation, en μSv.Bq⁻¹, applicables aux travailleurs exposés de 18 ans et plus

Type d'aérosol	Forme chimique	DPUI DAMA 5 μm (μSv.Bq ⁻¹)	DPUI DAMA 1 μm (μSv.Bq ⁻¹)
F	Pertechnétate, Tc-DTPA	8,6.10 ⁻⁶	5,7.10 ⁻⁶
M	Autres composés et composés non spécifiés	1,3.10 ⁻⁵	9,7.10 ⁻⁶
S	Pas de forme chimique particulière assignée	1,3.10 ⁻⁵	1,0.10 ⁻⁵

■ Tableau 7. DPUI par ingestion, en μSv.Bq⁻¹, applicable aux travailleurs exposés de 18 ans et plus

Forme chimique	DPUI (μSv.Bq ⁻¹)
Tous composés	1,4.10 ⁻⁵

■ Tableau 8. Mesures de surveillance à réaliser

	Appareil de mesure	Mise en œuvre
Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant (μSv/h)	Radiamètre équipé d'une sonde X ou γ	– En routine – En cas d'incident
Recherche de points de contamination	Sonde X ou γ Contaminamètre β/γ	– Après chaque manipulation – En cas d'incident
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm ²)	Sonde X ou γ, contaminamètre β/γ Frottis analysé par sonde ou échelle de comptage	– En routine – En cas d'incident
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/cm ³)	Balise de détection adaptée à la mesure des aérosols ou de microparticules marquées	En routine, si le risque de contamination atmosphérique est avéré

(1) Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

Tc-99m ou équipé d'une sonde X. Un radiamètre équipé d'une sonde X peut également être utilisé pour la détection de points de contamination.

Mesure de la contamination surfacique et recherche de points de contamination (Bq/cm²)

La mesure d'une contamination surfacique en Tc-99m peut être réalisée :

- soit par la mesure d'un taux de comptage en impulsions par seconde au moyen d'une sonde X, en comparaison avec une valeur de bruit de fond servant de référence ;
- soit directement avec un contaminamètre donnant une lecture en Bq/cm² après avoir sélectionné le Tc-99m dans les paramètres de l'appareil ;
- soit indirectement par un frottis (qui est ensuite compté par une sonde X ou une échelle de comptage) en ayant pris soin de définir une surface frottée standard et un rendement de frottis représentatif des conditions de prélèvement. Dans tous les cas, la surface du frottis doit être égale ou inférieure à la surface du détecteur. L'utilisation du frottis est délicate compte tenu de la difficulté de déterminer une valeur précise de rendement.

Les modalités d'évaluation de la contamination de surface par frottis sont décrites dans la norme NF ISO 7503-2. Le rendement de frottis est établi à 10 % de manière conservatrice.

La mesure par frottis complète souvent la mesure directe pour distinguer une contamination labile d'une contamination fixée, ou en présence d'un environnement défavorable (rayonnement

ambiant perturbant la mesure, géométrie non adaptée à la mesure directe...).

En tout état de cause, il faut veiller à ce que l'appareil soit adapté à la mesure du Tc-99m et qu'il soit régulièrement contrôlé et étalonné. En cas de doute, il est nécessaire de contacter le constructeur.

Mesure de la contamination atmosphérique (Bq/m³)

La contamination atmosphérique en Tc-99m peut être mesurée en temps réel par des balises. Le point de prélèvement doit être placé au plus près du poste de travail en tenant compte du niveau d'irradiation ambiant.

La contamination atmosphérique peut également être mesurée en différé au moyen d'appareils de prélèvement d'air. La périodicité de comptage du filtre dépend notamment des quantités de substances manipulées et du temps de présence du personnel.

À noter qu'en cas de mesure de contamination atmosphérique (ou surfacique) avec analyse en différé, il est important de tenir compte de la décroissance du radionucléide entre le début du prélèvement et le mesurage.

5. Moyens de protection

Le choix des moyens de protection à mettre en œuvre repose sur une analyse préalable de l'activité réalisée (ou des protocoles expérimentaux) afin d'identifier les risques selon les formes chimiques manipulées.

Il est recommandé de simuler les opérations afin de définir les règles de manipulation et de maîtriser les gestes.

Conception des locaux de travail

Les installations de médecine nucléaire *in vivo* doivent satisfaire aux règles techniques minimales de conception, d'exploitation et de maintenance prévues dans l'arrêté du 16 janvier 2015 portant homologation de la décision 2014-DC-0463 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 octobre 2014. Les dispositions de cette décision s'appliquent également aux centres réalisant des recherches impliquant la personne humaine, même s'il ne s'agit pas d'actes à visée diagnostique au sens strict. En revanche, cette décision ne s'applique pas à l'activité de médecine nucléaire diagnostic *in vitro*, pour laquelle l'article 11 de l'arrêté du 30 octobre 1981 reste applicable. Ces règles techniques minimales sont décrites ci-après.

Principaux moyens de prévention à mettre en œuvre à la conception des installations de médecine nucléaire *in vivo*

Le service de médecine nucléaire *in vivo* doit être constitué d'un seul tenant avec des circulations réservées aux personnes concernées par l'activité.

L'ensemble des locaux du service de médecine nucléaire *in vivo* doit être ventilé par un système de ventilation indépendant du reste du bâtiment.

Dans les locaux où sont réalisés des examens de ventilation pulmonaire, un dispositif de captation des aérosols au plus près de la source doit être mis en place. Le recyclage de l'air extrait du dispositif de captation est interdit et le réseau de ventilation de ce dispositif est indépendant de celui des locaux.

Des locaux doivent être dédiés à chaque étape du processus (livraison des générateurs, manipulation des radionucléides, contrôle qualité du médicament radio pharmaceutique, administration aux patients...).

Le revêtement des sols, des murs, des plafonds et des surfaces de travail doit pouvoir être décontaminé de manière optimale. Ainsi, les matériaux utilisés

Relation entre le taux de comptage et l'activité surfacique

$$As = \frac{n}{Rd \times S \times K}$$

où **As** est l'activité surfacique en Bq/cm²

n est le taux de comptage en impulsions par seconde

Rd est le rendement de détection de la sonde en % (sous 4π)

S est la surface frottée ou la surface utile de la sonde en cm², selon le cas

K est le rendement de la mesure ou de frottis (K = 1 pour la mesure par taux de comptage, K = 0,1 par défaut pour la mesure par frottis)

doivent former des surfaces lisses, sans joints et être imperméables.

Le vestiaire pour le personnel doit être conçu et aménagé pour permettre la séparation, dans deux secteurs distincts, des vêtements de ville et des vêtements de travail (y compris les chaussures). Selon les dispositions générales du Code du travail (articles R. 4228-1 à 9), le vestiaire comporte une douche et un lavabo.

Le secteur de médecine nucléaire *in vivo* doit être équipé d'au moins un lavabo ou un évier dédié aux effluents liquides contaminés et au lavage des mains ou du matériel contaminés. Ce lavabo ou cet évier est raccordé le plus directement possible aux cuves d'entreposage et doit être clairement identifié.

Enceinte radio-protégée

Le local dédié à la manipulation des radionucléides doit être équipé d'au moins une enceinte radio-protégée ventilée en dépression permettant d'empêcher la dispersion des radionucléides. Les protections radiologiques de cette enceinte doivent être adaptées à la nature des rayonnements ionisants émis par les radionucléides utilisés et à l'activité manipulée. De plus, l'enceinte doit être pourvue de dispositifs de filtration de l'air extrait adaptés à la nature des gaz ou aérosols présents ou susceptibles de l'être.

Le recyclage de l'air extrait de l'enceinte radio-protégée est interdit et le réseau de ventilation de l'enceinte doit être indépendant de celui des locaux.

Le dimensionnement des parois du local de manipulation et de l'enceinte radio-protégée destinées à recevoir le générateur de technétium doit tenir compte des rayonnements γ de 740 keV et 778 keV du molybdène 99. À titre indicatif, pour un générateur de 37 GBq protégé avec 5 cm de plomb, l'épaisseur équivalente de béton nécessaire pour garantir l'absence de zone délimitée dans les locaux attenants est de 45 cm.

Local de livraison

Le local dédié à la livraison et à la reprise des générateurs de Tc-99m est situé au plus près du local dédié à la manipulation des radionucléides. Ce

local est fermé, signalé et son accès est sécurisé.

Les dimensions et l'aménagement du local, notamment sa surface et sa hauteur, sont tels qu'ils permettent de procéder à la livraison, à la reprise des radionucléides, ainsi que d'assurer la sûreté d'entreposage des radionucléides.

Transport interne des sources

Des emballages de transport de sources radioactives sont disponibles pour assurer le transport interne des sources entre le local dédié à la manipulation des radionucléides et les différentes pièces d'administration ou de contrôle. Ils sont en nombre adapté à la fréquence des transports de sources à réaliser.

Pour chaque emballage, le débit d'équivalent de dose $H^*(10)$ est inférieur à 100 $\mu\text{Sv/h}$ à 5 cm de toutes les parois pour l'activité maximale du radionucléide utilisé. Les emballages de transport interne sont clos et munis d'un matériau absorbant afin d'éviter la dispersion du radionucléide.

Toilettes

Le secteur de médecine nucléaire *in vivo* doit être équipé de toilettes dédiées aux patients auxquels a été administré un radionucléide. Afin d'éviter un rejet direct des effluents dans le réseau d'assainissement, ces toilettes doivent être reliées à un dispositif augmentant leur durée de transfert, ce qui favorise la décroissance du Tc-99m.

Canalisations pour les effluents

Les canalisations recevant des effluents liquides contaminés doivent être conçues de telle sorte que toute zone de stagnation est évitée et qu'elles ne traversent pas de local où des personnes sont susceptibles d'être présentes de façon permanente.

Un plan de ces canalisations doit être formalisé. Il doit décrire de façon détaillée le circuit de collecte des effluents

liquides contaminés ainsi que les moyens d'accès à ces canalisations pour permettre d'en assurer l'entretien et la surveillance.

Les canalisations doivent être signalées à l'aide d'un pictogramme, notamment au niveau des trappes et regards.

Protection contre l'exposition externe

La réduction de l'exposition externe aux rayonnements ionisants repose sur trois principes majeurs :

- interposer un ou plusieurs écran(s) entre la source de rayonnements et les personnes (voir tableau 9) ;
- augmenter la distance entre la source de rayonnements et le travailleur ;
- diminuer la durée d'exposition aux rayonnements.

Il est également nécessaire de mettre en œuvre l'activité minimale requise pour le bon déroulement de l'examen.

La manipulation de solutions contenant du Tc-99m doit être réalisée dans l'enceinte radio-protégée.

Les flacons de solution doivent être placés dans des protège-flacons en verre au plomb.

Afin de limiter l'exposition, les flacons peuvent être manipulés à l'aide d'une pince.

Il est également indispensable d'utiliser des protège-seringues en tungstène munis d'une fenêtre en verre au plomb.

Un tablier de plomb peut être utilisé en particulier lorsque le protocole d'examen nécessite de rester à proximité du patient après l'injection. Le port d'un tablier n'a d'intérêt que pour réduire l'exposition liée au rayonnement diffusé par le patient.

De manière générale, il faut limiter le temps de manipulation des sources et le temps de présence auprès des patients injectés.

■ Tableau 9. Caractéristiques des écrans permettant de diminuer le débit de dose lié au Tc-99m

	Épaisseur de plomb	Épaisseur d'acier
Atténuation d'un facteur 10 du débit de dose	2 mm	21 mm
Atténuation d'un facteur 2 du débit de dose	0,4 mm	8 mm

Protection contre la contamination externe et interne

La préparation des solutions de Tc-99m doit être réalisée dans l'enceinte radio-protégée.

L'utilisation d'un plateau recouvert d'un matériau absorbant et jetable à l'intérieur de l'enceinte est recommandée.

Le matériel médical ou de laboratoire ne doit servir qu'à la manipulation de substances radioactives et être nettoyé au moins une fois par jour.

En complément, afin de limiter le risque de contamination externe lors des phases de manipulation réalisées en dehors de l'enceinte radio-protégée (transport de seringue, injection au patient...), les équipements de protection individuelle (EPI) suivants doivent être portés :

- gants jetables (latex, caoutchouc...) à changer toutes les 15 minutes environ. Il est rappelé qu'après chaque manipulation, un contrôle de non-contamination et un lavage des mains sont nécessaires ;
- blouse à manches longues, fermée ;
- lunettes de protection.

À noter que ces EPI doivent également être portés lors de la réalisation des mesurages dans les sas de livraison, notamment pour se protéger des risques de contamination en cas de colis détériorés.

6. Délimitation et signalisation des zones surveillées et contrôlées⁽²⁾

Pour le Tc-99m, la délimitation des zones doit prendre en compte l'exposition externe et interne de l'organisme entier ainsi que l'exposition des extrémités et de la peau (voir tableau 10).

Cette délimitation doit se faire en tenant compte des situations représentatives des conditions normales d'utilisation les plus pénalisantes et en considérant le lieu de travail occupé de manière permanente (170 heures par mois).

D'autre part, il est nécessaire de tenir compte des incidents raisonnablement prévisibles inhérents au procédé de travail et au travail effectué (renversement du flacon, projection, mise en suspension dans l'air...).

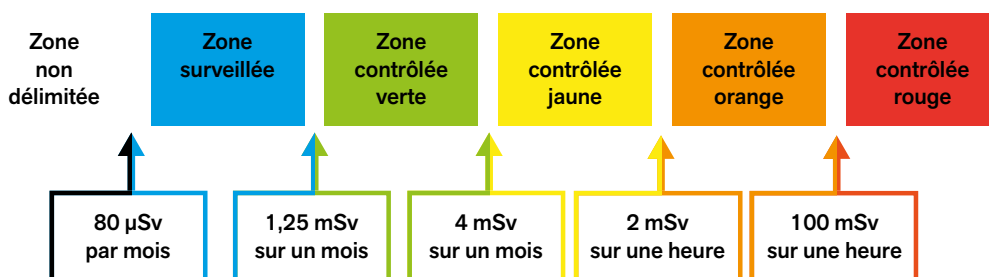
Sous réserve de la présence d'une signalétique adaptée, il est possible de limiter les zones réglementées à une partie du local.

Dans les services de médecine nucléaire, dans les conditions habituelles de pratique, l'évaluation des risques conduit généralement à classer les locaux dans lesquels le Tc-99m est manipulé régulièrement en zones contrôlées : zone de réception des produits radioactifs, laboratoire chaud, salle d'administration, zones de manipulation et de stockage des déchets solides et liquides. Il en est de même pour les salles de caméra à scintillations.

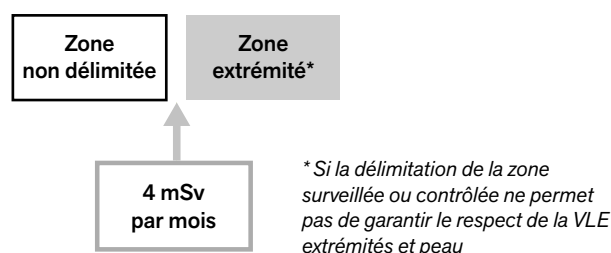
Les activités nécessitant la délimitation de zones contrôlées ou surveillées doivent être regroupées géographiquement.

La démarche ayant conduit à la délimitation des zones devra être justifiée et formalisée pour chaque local de travail. Elle devra être intégrée au document unique d'évaluation des risques professionnels. Cette démarche doit être renouvelée en cas de modification de l'activité, des pratiques ou des équipements.

■ Tableau 10. Dose efficace E (intégrée par ou sur une période considérée en mois ou en heure)



Dose équivalente (intégrée par mois) pour les extrémités et la peau Ht



(2) Arrêté du 15 mai 2006 modifié relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées, dites zones délimitées compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants.

À noter que la dose équivalente pour les extrémités et la peau est exprimée pour 1 cm² quelle que soit la surface exposée.

Conditions et modalités d'accès aux zones délimitées

L'accès aux zones délimitées est restreint aux travailleurs classés.

Toutefois, les travailleurs ne faisant pas l'objet d'un classement peuvent accéder à une zone surveillée bleue ou contrôlée verte, sous réserve d'y être autorisé par l'employeur sur la base de l'évaluation individuelle du risque dû aux rayonnements ionisants et que l'employeur s'assure que le niveau d'exposition respecte les valeurs limites applicables pour le public.

Ces travailleurs peuvent également, pour un motif justifié préalablement, accéder à une zone contrôlée jaune. L'employeur doit alors mettre en œuvre des dispositions particulières de prévention, notamment une information renforcée.

7. Vérifications⁽³⁾

Vérifications initiales des lieux de travail

Les vérifications initiales sont effectuées par des organismes vérificateurs accrédités. Elles doivent être réalisées lors d'une mise en service ou à l'issue d'une modification importante des méthodes ou des conditions de travail susceptibles d'affecter la santé et la sécurité des travailleurs.

Sont notamment concernées :

- les modifications pouvant remettre en cause des éléments de la conception de l'installation, des équipements de protection collective ou les conditions d'utilisation ;
- les modifications résultant des mesures correctives importantes mises en œuvre à la suite d'une non-conformité détectée lors d'une vérification périodique.

La méthode et l'étendue des vérifications initiales sont définies à l'annexe 1 de l'arrêté du 23 octobre 2020 modifié. La vérification initiale est réalisée en des points représentatifs permettant de vérifier l'adéquation de la délimitation des zones avec le risque d'exposition.

Elle est complétée par la vérification de l'efficacité des dispositifs de protection (étanchéité des enceintes de confinement, renouvellement d'air, filtration...).

Vérifications périodiques des lieux de travail (zones délimitées et lieux attenants)

La méthode, l'étendue et la périodicité des vérifications périodiques sont conformes aux instructions définies par l'employeur en adéquation avec l'activité. Celui-ci justifie le délai entre deux vérifications périodiques sans que ce délai puisse excéder 3 mois. Ces vérifications sont mises en œuvre par le conseiller en radioprotection (CRP) ou sous sa supervision. En cas d'anomalies ou d'incidents, elles sont éventuellement à compléter. Elles sont réitérées lors de modifications de protocole ou de la mise en œuvre d'une nouvelle pratique.

Les vérifications périodiques des lieux de travail visent à s'assurer du maintien en conformité eu égard aux résultats obtenus lors de la dernière vérification initiale. Elles comprennent des mesures de la concentration de l'activité radioactive dans l'air dans le cas de manipulation de Tc-99m sous forme d'aérosol et/ou des mesures de la contamination surfacique au moyen d'une technique de mesure appropriée (voir tableau 8).

La propreté radiologique des lieux de travail attenants aux zones délimitées doit être vérifiée *a minima* tous les 3 mois.

De plus, les systèmes de filtration des enceintes de confinement doivent être vérifiés selon une périodicité définie dans le plan de gestion des déchets et effluents radioactifs de l'établissement.

Bonne pratique

Après chaque manipulation et en cas d'incident, une vérification de la contamination surfacique est réalisée sur les surfaces, les matériels, les équipements de protection et les mains, y compris en l'absence de zones délimitées.

8. Classement, formation, surveillance dosimétrique et suivi de l'état de santé des travailleurs exposés

Classement des travailleurs et valeurs limites d'exposition professionnelle

Contrairement à la délimitation des zones de travail qui est fondée sur une évaluation des risques liés aux sources de rayonnements ionisants, le classement des travailleurs est déterminé par une évaluation individuelle de l'exposition en conditions représentatives de travail.

L'évaluation individuelle de l'exposition sur 12 mois consécutifs prend en compte l'exposition interne et externe aux différents postes occupés ainsi que les incidents raisonnablement prévisibles. Elle permet de déterminer si le travailleur doit être classé ou non. Ce classement n'est pas fondé sur l'affectation, habituelle ou non, en zone délimitée mais sur des niveaux de dose susceptibles d'être dépassés.

Le classement en catégorie A ou B des travailleurs repose sur des valeurs présentées dans le tableau 11 page suivante.

Dans le cas du Tc-99m, les modalités d'exposition à prendre en compte sont :

- la contamination interne ;
- la contamination externe ;
- l'exposition externe de l'organisme entier ;

(3) Arrêté du 23 octobre 2020 modifié relatif aux mesurages réalisés dans le cadre de l'évaluation des risques et aux vérifications de l'efficacité des moyens de prévention mis en place dans le cadre de la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants.

- l'exposition externe des extrémités et de la peau ;
- l'exposition externe du cristallin.

Information et formation des travailleurs

Les contenus minimaux de l'information et de la formation sont détaillés dans l'article R. 4451-58 du Code du travail.

Une attention particulière doit être portée aux travailleurs temporaires, des travailleurs de moins de 18 ans, des nouveaux arrivants et des femmes en âge de procréer. Il est essentiel d'aborder notamment les effets potentiellement néfastes de l'exposition aux rayonnements ionisants sur l'enfant à naître, en particulier lors du début de la grossesse, ainsi que l'importance de déclarer le plus précocement possible un état de grossesse.

Information

Tous les travailleurs autorisés à accéder à une zone délimitée (y compris les travailleurs non classés) doivent bénéficier d'une information portant sur les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants, les règles et les procédures générales de radioprotection en vigueur.

Les travailleurs non classés peuvent être autorisés à accéder à une zone contrôlée jaune par leur employeur. Ce

dernier doit alors justifier préalablement le motif et mettre en œuvre des dispositions particulières de prévention dont une information renforcée.

Formation

Les travailleurs classés reçoivent une formation en rapport avec les résultats de l'évaluation des risques, prise en charge par l'employeur et renouvelée au moins tous les 3 ans.

Suivi de l'état de santé des travailleurs classés

Concernant les travailleurs classés, les points importants sont les suivants (voir tableau 12) :

- suivi individuel renforcé, avec examen médical d'aptitude effectué par le médecin du travail préalablement à l'affectation au poste ;
- pour les travailleurs classés en catégorie B, l'examen médical d'aptitude est renouvelé selon une périodicité que le médecin du travail détermine et qui ne peut être supérieure à quatre ans. Une visite intermédiaire est effectuée par un professionnel de santé (médecin du travail, collaborateur médecin, interne, infirmier) au plus tard deux ans après la visite d'aptitude avec le médecin du travail ;
- pour un travailleur classé en catégorie A, la visite médicale d'aptitude

est renouvelée chaque année. La visite intermédiaire n'est pas requise.

Il est interdit d'affecter ou de maintenir une femme enceinte à un poste de travail requérant un classement en catégorie A. La dose à l'enfant à naître doit être la plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre et, en tout état de cause, rester inférieure à 1 mSv entre la déclaration de grossesse et l'accouchement.

En cas d'allaitement, tout travail comportant un risque de contamination interne est interdit.

Surveillance dosimétrique individuelle des travailleurs exposés

Les travailleurs classés doivent faire l'objet d'une surveillance dosimétrique individuelle.

Les travailleurs non classés font l'objet d'une surveillance radiologique afin de s'assurer que leur exposition ne dépasse pas 1 mSv/an pour l'organisme entier.

Exposition externe de l'organisme entier

Elle doit être évaluée à l'aide d'un dosimètre à lecture différée individuel et nominatif. Le dosimètre doit être porté sous les éventuels EPI au niveau de la poitrine ou, en cas d'impossibilité, à la ceinture.

■ Tableau 11. Critères de classement des travailleurs exposés et valeurs limites d'exposition professionnelle (doses sur 12 mois consécutifs)

	Travailleur non classé	Catégorie B	Catégorie A	Valeur limite d'exposition
Organisme entier	$\leq 1 \text{ mSv}$	$1 \text{ mSv} < E \leq 6 \text{ mSv}$	$6 \text{ mSv} < E \leq 20 \text{ mSv}$	20 mSv
Cristallin	$\leq 15 \text{ mSv}$	Sans objet	$15 \text{ mSv} < H \leq 20 \text{ mSv}$	20 mSv
Peau et extrémités (mains, avant-bras, pieds et chevilles)	$\leq 50 \text{ mSv}$	$50 \text{ mSv} < H \leq 150 \text{ mSv}$	$150 \text{ mSv} < H \leq 500 \text{ mSv}$	500 mSv

E : dose efficace

H : dose équivalente

■ Tableau 12. Périodicités des visites médicales

	Catégorie B	Catégorie A*
Médecin du travail (examen médical d'aptitude)	1 an à 4 ans maximum	1 an
Professionnel de santé (visite intermédiaire)	2 ans au plus après médecin du travail	

* Ou travailleur ayant dépassé une des valeurs limites d'exposition sur 12 mois.

La durée de port est déterminée par l'employeur mais ne peut en aucun cas être supérieure à trois mois. Les dosimètres doivent être entreposés à un emplacement comportant en permanence un dosimètre témoin.

Exposition externe du cristallin

Si les résultats de l'évaluation individuelle montrent un risque de dépassement de la dose équivalente de 15 mSv sur 12 mois en incluant les incidents raisonnablement prévisibles, alors il est nécessaire de mettre en place une surveillance dosimétrique du cristallin à l'aide d'un dosimètre à lecture différée adapté [dosimètre Hp (3)].

Exposition des extrémités

Si les résultats de l'évaluation individuelle montrent un risque de dépassement de la dose équivalente à la peau ou aux extrémités de 50 mSv sur 12 mois, alors il est nécessaire de mettre en place une surveillance dosimétrique individuelle des extrémités à l'aide d'un dosimètre à lecture différée adapté [dosimètre Hp (0,07)].

En cas de résultat inférieur à 50 mSv sur 12 mois, le risque lié à l'exposition des extrémités étant néanmoins présent (notamment lors de la préparation des solutions actives et des injections aux patients), il est fortement recommandé de porter un dosimètre bague.

Exposition interne

Il convient de mettre en place une surveillance dosimétrique individuelle systématique. La périodicité de cette surveillance est définie par le médecin du travail en tenant compte de l'ensemble de l'activité (différents radionucléides manipulés). Il est recommandé de privilégier l'examen anthroporadiométrique corps entier et de le renouveler une à deux fois par an. Compte tenu de la période effective de 6 heures du Tc-99m, l'examen d'anthroporadiométrie devra être programmé le plus rapidement possible après l'activité. S'il n'existe pas de laboratoire assez proche du lieu de travail, le recours à un laboratoire mobile d'anthroporadiométrie permettant de réaliser des examens à la fin du poste est nécessaire.

À défaut, une analyse radiotoxicologique urinaire (recueil sur 24 heures) peut être envisagée.

Les circonstances de l'exposition seront analysées par le médecin du travail avec l'appui du CRP. La dose efficace engagée est calculée et saisie dans Siseri par le médecin du travail.

9. Effluents et déchets

Les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire, sont définies dans l'arrêté du 23 juillet 2008 portant homologation de la décision 2008-DC-0095 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 janvier 2008.

Un plan de gestion des effluents et déchets contaminés doit être établi et mis en œuvre par tout titulaire d'une autorisation, d'un enregistrement ou d'une déclaration.

Ce plan de gestion décrit notamment les modalités de tri, de conditionnement, de stockage, de contrôle et d'élimination des effluents et des déchets produits. L'efficacité de ce plan repose sur une organisation garantissant la traçabilité des différents déchets (registres, étiquetages...).

Toute aire dans laquelle des effluents et déchets contaminés sont produits ou susceptibles de l'être est considérée comme une zone à déchets contaminés.

La période radioactive du Tc-99m étant inférieure à 100 jours, les déchets et les effluents produits font l'objet d'une gestion par décroissance radioactive et d'une élimination dans les filières appropriées de gestion des déchets et effluents non radioactifs (déchet chimique, déchet biologique...).

Déchets solides

Les déchets sont déposés dans des poubelles spécifiques plombées dont l'ouverture se fait de préférence à l'aide du pied. Ils sont ensuite stockés dans un local réservé pendant au moins 10 périodes radioactives en fonction de

l'activité injectée, soit pour le Tc-99m, près de 60 heures (2,5 jours).

L'élimination n'est possible que si le niveau de rayonnement détecté ne dépasse pas deux fois le bruit de fond le jour de l'élimination.

La mise en place d'un système de détection à poste fixe pour le contrôle des déchets destinés à des filières de gestion de déchets non radioactifs est obligatoire pour les établissements de santé disposant d'une installation de médecine nucléaire utilisant des radionucléides à des fins de diagnostic *in vivo* et de thérapie.

Effluents liquides

Cas général

Les effluents liquides sont dirigés vers un système de cuves dont le contenu est ensuite rejeté dans le réseau d'assainissement après un entreposage suffisant permettant de s'assurer que l'activité volumique est inférieure à 10 Bq/l. Les canalisations, signalées, sont étanches et résistent à l'action physique et chimique des effluents concernés. Les cuves d'entreposage sont équipées de dispositifs de mesure de niveau et de prélèvement. Elles fonctionnent alternativement en remplissage et en entreposage de décroissance. Un dispositif permet la transmission de l'information du niveau de remplissage des cuves vers un service où une présence est requise pendant la phase de remplissage. Ces cuves sont installées dans un local indépendant, ventilé et fermé à clé.

Des dispositifs de rétention, facilement décontaminables, permettent de récupérer les effluents liquides en cas de fuite et sont munis d'un détecteur de liquide dont le bon fonctionnement est testé périodiquement.

Cas particulier des sanitaires en médecine nucléaire utilisant du Tc-99m

Une décroissance des effluents sera obtenue en les faisant transiter dans un dispositif évitant le rejet direct (ex. : fosse toutes eaux ou cuve d'entreposage) dans le réseau d'assainissement. Ce dispositif est interposé entre les sanitaires de l'unité de médecine nucléaire réservés aux patients injectés

et le collecteur de l'établissement. Par ailleurs, il convient de vérifier périodiquement le bon fonctionnement du dispositif mis en place (ex. : contrôles visuels, vidanges...).

Effluents gazeux

Les effluents sous forme d'aérosol ne peuvent pas être rejetés sans un contrôle préalable. Ils sont captés sur des filtres qui doivent être contrôlés puis traités avec les déchets radioactifs solides.

Les systèmes de filtration des enceintes ventilées doivent être contrôlés selon une périodicité définie par le plan de gestion des déchets et effluents radioactifs de l'établissement.

Vérifications mises en place par le responsable d'une activité nucléaire

Lorsque l'activité nucléaire est soumise au régime d'enregistrement ou d'autorisation (voir partie 10) et que l'exercice de ces activités génère des effluents ou des déchets contaminés par des radionucléides ou susceptibles de l'être, y compris par activation, le responsable d'une activité nucléaire fait vérifier par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ou par un organisme agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire les règles mentionnées à l'annexe de l'arrêté pris en application de l'article R. 1333-172 du Code de la santé publique.

Lorsque l'activité relève du régime d'enregistrement, le responsable de cette activité fait vérifier les règles mises en place au moins une fois tous les trois ans. Lorsque l'activité relève du régime d'autorisation, le responsable de cette activité fait vérifier les règles mises en place au moins une fois tous les ans.

Le responsable de l'activité nucléaire, définit en lien avec le conseiller en radioprotection, un programme des vérifications.

10. Procédures administratives

Régimes de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)

Les activités de distribution, d'importation ou d'exportation sont soumises au régime d'autorisation, quelles que soient les quantités concernées.

Vu ses seules utilisations sous la forme de sources non scellées, lorsqu'elle n'est pas exemptée, la détention ou l'utilisation de Tc-99m est forcément soumise au régime d'enregistrement ou d'autorisation.

La détermination du régime administratif encadrant l'activité nucléaire doit tenir compte :

- de la finalité d'utilisation du Tc-99m (finalité médicale ou non) ;
- des quantités maximales de Tc-99m présentes, mais également des autres radionucléides mis en œuvre sous formes non scellées dans l'établissement (calcul du facteur QNS notamment).

Activités à finalité médicale

La détention et l'utilisation du Tc-99m à des fins médicales sont soumises au régime d'autorisation de l'ASN, quelles que soient les activités détenues et manipulées.

Application industrielle, vétérinaire ou de recherche (hors recherche impliquant la personne humaine)

Régime d'enregistrement

Détention ou utilisation de sources non scellées (SNS) ne relevant pas de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Les sources radioactives mises en œuvre sont telles que les deux conditions suivantes sont respectées simultanément :

1. $Q^{(4)} < 10^4$;

2. aucun rejet dans l'environnement d'effluents contaminés par des radionucléides de période radioactive supérieure à 100 jours n'est réalisé.

Regroupement ou entreposage de sources radioactives scellées ou non scellées ne relevant pas de la nomenclature des ICPE

Les sources radioactives détenues sont telles que les conditions suivantes sont respectées :

1. s'il s'agit de sources radioactives non scellées, $Q^{(4)} < 10^4$ et aucun rejet dans l'environnement d'effluents contaminés par des radionucléides de période radioactive supérieure à 100 jours n'est réalisé ;
2. s'il s'agit de sources radioactives scellées ou lots de sources radioactives, la somme pondérée des activités des radionucléides présents est telle que $\sum (A_i/\text{seuils } C_i(\text{SSHA})) < 1^{(5)}$.

À noter que toutes autres sources (scellées ou non scellées) détenues ou utilisées dans l'établissement (site) ne doivent pas relever du régime de l'autorisation.

Régime d'autorisation

Dans le cas où le calcul du coefficient $Q^{(4)}$ ou de la somme pondérée des activités des radionucléides présents pour l'ensemble des activités nucléaires mettant en œuvre des sources radioactives au sein d'un même site d'un même établissement ne répond pas aux critères mentionnés ci-dessus, l'ensemble de ces activités nucléaires est soumis au régime d'autorisation.

Application non médicale conduite dans un établissement industriel produisant du molybdène (générateur de Tc-99m)

Les activités de distribution, d'importation ou d'exportation, sont soumises au régime d'autorisation de l'ASN, quelles que soient les activités concernées.

(4) Q correspondant à la somme pondérée des activités en radionucléides en source non scellée présents à un moment quelconque dans le lieu où l'activité est exercée ou objet de l'activité, divisées par la valeur limite d'exemption fixée à la deuxième colonne du tableau 2 de l'annexe 13-8 du Code de la santé publique pour chacun de ces radionucléides.

(5) $C_i(\text{SSHA})$ correspond à la valeur qui figure, pour le radionucléide i, en colonne 5 du tableau 2 de l'annexe 13-8 du Code de la santé publique et définit une source scellée de haute activité de catégorie C.

11. Transports

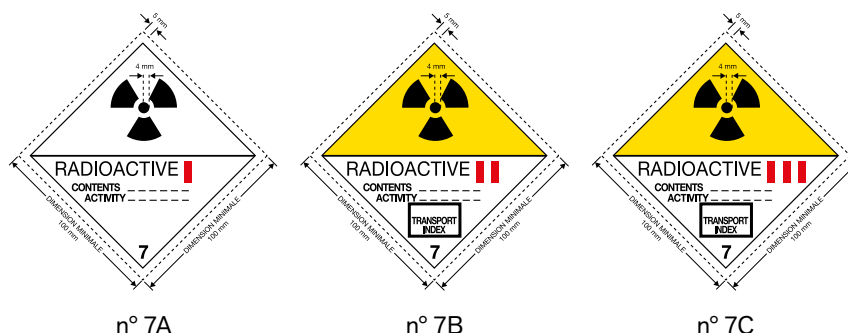
Dans le domaine médical, le Tc-99m est transporté en tant que Mo-99 dans un générateur de Tc-99m. Pour le Mo-99, si l'activité massique de la matière transportée est inférieure à 100 Bq/g ou si l'activité totale de l'envoi est inférieure à 1 MBq, la réglementation relative au transport de matière dangereuse ne s'applique pas.

Si ces deux seuils sont dépassés, l'arrêté dit « TMD »⁽⁶⁾ et l'ADR⁽⁷⁾ s'appliquent pour le transport routier et les instructions techniques de l'OACI⁽⁸⁾ s'appliquent pour le transport aérien.

L'expéditeur est le premier responsable du respect de ces exigences. En particulier, le choix de l'emballage dépend du niveau de risque associé à la matière transportée. Un niveau d'activité de référence dit « A2 » permet de choisir le type de colis en fonction de

l'activité contenue dans le colis. Pour le Mo-99, A2 vaut 600 GBq.

L'expéditeur est également responsable de la signalisation des colis qui est destinée à limiter les risques d'exposition des personnes, du public ou des travailleurs au cours du transport. Cette signalisation est effectuée par l'une des étiquettes 7A, 7B ou 7C représentées ci-dessous, choisie en fonction de l'indice de transport⁽⁹⁾ (IT) (voir tableau 14).



Le marquage consiste à mentionner les indications suivantes : destinataire ou expéditeur, masse brute, type de colis et le cas échéant marque d'identification, les lettres « UN » suivi du numéro d'identification de la matière radioactive.

Outre le marquage, des étiquettes (modèles 7A, 7B ou 7C en fonction de la catégorie du colis) doivent être apposées à l'extérieur du colis sur deux côtés opposés.

■ Tableau 13. Classement des colis selon l'activité du contenu

Type de colis	Activité de Mo-99 (en tant que matière nue ou contenue dans un générateur de Tc-99m)*	Exigences de conception du colis
Colis excepté	< 600 MBq (solide ou liquide) < 60 MBq (gaz)	Faibles : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en l'absence d'incident.
Colis du type A	< 600 MBq	Moyennes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'incident mineur (choc de manutention, pluie, etc.). Renforcée si la matière est liquide (choc accidentel).
Colis du type B	> 600 MBq (transport terrestre)	Fortes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'accident sévère (collision, incendie, submersion).

* Des limites différentes s'appliquent pour du Mo-99 transporté dans un appareil ou un objet ayant fait l'objet d'une autorisation spécifique par une autorité compétente.

■ Tableau 14. Correspondance entre la catégorie des étiquettes apposées au colis, l'indice de transport et le débit d'équivalent de dose

Indice de transport (IT)	Débit d'équivalent de dose (DED) en tout point de la surface externe	Étiquette
0	DED ≤ 5 µSv/h	7A (I – BLANCHE)
0 < IT ≤ 1	5 µSv/h ≤ DED ≤ 0,5 mSv/h	7B (II – JAUNE)
1 < IT ≤ 10	0,5 mSv/h ≤ DED ≤ 2 mSv/h	7C (III – JAUNE)
IT > 10*	2 mSv/h ≤ DED ≤ 10 mSv/h	7C (III – JAUNE et transport exclusif)

* Le débit d'équivalent de dose en tout point de la surface externe du colis ne peut dépasser 2 mSv/h que si le véhicule est équipé d'une enceinte qui, dans les conditions de transport de routine, empêche l'accès des personnes non autorisées à l'intérieur de l'enceinte, si des dispositions sont prises pour immobiliser le colis à l'intérieur de l'enceinte du véhicule et s'il n'y a pas d'opérations de chargement/déchargement entre le début et la fin de l'expédition. Il s'agit alors d'un transport dit « sous-utilisation exclusive » et le débit de dose ne peut excéder 10 mSv/h en tout point de la surface externe du colis.

(6) Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit « arrêté TMD »).

(7) ADR : accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route.

(8) Instructions techniques de l'OACI : instructions techniques pour la sûreté du transport aérien des marchandises dangereuses, Organisation de l'aviation civile internationale.

(9) IT : indice de transport qui correspond au débit d'équivalent de dose maximal à 1 m de la surface externe du colis (en mSv/h) x 100.

12. Conduite à tenir en cas d'événement

Le traitement de l'urgence médico-chirurgicale prime sur toute action de décontamination.

Dès la découverte de l'événement :

- suivre les consignes affichées en tenant compte des circonstances de l'événement et des activités mises en jeu ;
- alerter le conseiller en radioprotection, l'employeur, le responsable de l'activité et le médecin du travail ;
- envoyer le dosimètre pour analyse en urgence ;
- contacter, si nécessaire, l'IRSN pour un appui technique (dispositif d'alerte de l'IRSN : 06 07 31 56 63).

Contamination des locaux et/ou du matériel

- Déterminer l'étendue de la zone contaminée (à l'aide d'une sonde X par exemple), délimiter et baliser un périmètre de sécurité.
- Confiner le déversement ou la fuite (produits absorbants...).
- Avertir le personnel et éventuellement le faire évacuer.
- Décontaminer de l'extérieur vers l'intérieur avec du matériel jetable en utilisant des détergents de laboratoire.
- En fin de décontamination, procéder à des vérifications (sonde X, frottis) afin de s'assurer de l'absence de contamination résiduelle.
- Les personnes intervenant au cours de la décontamination doivent porter, *a minima*, des gants, une blouse et des surbottes (les surbottes doivent être étanches en cas de déversement de liquide).

Dans le cas d'une dispersion non contrôlée de Tc-99m sous forme gazeuse, il est recommandé de faire évacuer la zone, d'en interdire l'accès et d'attendre le renouvellement de l'air.

Toute contamination de locaux ou de surfaces de travail doit conduire à rechercher une contamination de personnes.

Expositions externe et interne d'une personne

Exposition due à une source sans contact direct

- Réaliser une première évaluation en mesurant le débit de dose de la source et en déterminant le temps de présence de la personne concernée.
- Si l'irradiation est avérée ou en cas de doute, transmettre les dosimètres à lecture différée au laboratoire pour exploitation en urgence.
- Relever et exploiter les résultats de la dosimétrie opérationnelle, le cas échéant.

Contamination cutanée

- Contrôler avec du matériel adapté les mains, la blouse, les cheveux, la barbe et les chaussures.
- Procéder à la décontamination par un lavage à l'eau savonneuse de préférence (ou un produit équivalent non abrasif) sans frotter afin de ne pas favoriser le passage transcutané du contaminant et en protégeant les muqueuses (yeux, bouche, narines, conduits auditifs).
- Vérifier l'efficacité de la décontamination par un mesurage.
- Si une contamination cutanée persiste, un pansement étanche peut être placé sur la zone contaminée afin de faire transpirer la peau et faciliter l'élimination du radionucléide.
- Réaliser un examen anthroporadiométrique ou une analyse radiotoxicologique des urines, le cas échéant.

Il est impératif d'obtenir une décontamination complète de façon à éviter une contamination interne secondaire.

Toute contamination d'un travailleur doit être tracée et analysée car elle peut-être le seul signe apparent d'une contamination d'un local ou d'une zone.

Contamination oculaire

- Laver abondamment sous l'eau à température ambiante pendant 15 minutes.
- Consulter un médecin en lui indiquant la forme chimique du contaminant.
- Réaliser un examen anthroporadiométrique ou une analyse radiotoxicologique des urines, le cas échéant.

Contamination interne

Toute suspicion de contamination interne par inhalation ou ingestion impose l'intervention immédiate du CRP et du médecin du travail qui, si nécessaire, pourront faire appel à l'IRSN.

- Déterminer la forme physico-chimique et l'activité du radionucléide manipulé.
- Débuter immédiatement les prélèvements urinaires de 24 heures et les envoyer le plus rapidement possible après la fin du recueil pour analyse à l'IRSN ou à un organisme agréé.
- En fonction de l'importance de la contamination et de la disponibilité d'un moyen de mesure, faire réaliser un examen anthroporadiométrique.

À noter que toute contamination cutanée ou oculaire doit entraîner la recherche d'une contamination interne.

Exemples d'évaluation de la dose efficace engagée

La contamination est due à l'inhalation aiguë d'un composé sous forme d'aérosol de Tc-DTPA (type d'absorption pulmonaire F) de diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) de 5 µm.

Exemple numérique à partir d'une analyse radiotoxicologique des urines :

Dans le cas d'un recueil des urines, le calcul de dose s'effectue de la manière suivante :

$$I = A_m / F(t)$$

$$E (Sv) = I (Bq) \times DPUI (Sv/Bq)$$

Avec :

E = dose efficace engagée

I = activité incorporée lors de la contamination

A_m = activité mesurée (soit en excrétion, soit en rétention) au jour t après la contamination

F(t) = fraction excrétée ou retenue au jour t pour 1 Bq incorporé

DPUI = dose par unité d'incorporation

Les valeurs F(t) sont données dans la publication 134 de la CIPR.

L'analyse des urines des 24 heures prélevées le jour qui suit la contamination donne le résultat suivant :

$$A_1 = 9,5.10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

L'évaluation de l'activité incorporée sera, sur la base des mesures d'excrétion au 1^{er} jour :

$I = 9,5.10^3 / 7,4.10^{-3} = 1,3.10^6 \text{ Bq}$
Ce qui donne en prenant la DPUI correspondante (voir tableau 6) :
 $E = 1,3.10^6 \times 8,6.10^{-12} = 11,2.10^{-6} \text{ Sv}$,
soit 11,2 µSv

À titre indicatif, l'activité urinaire susceptible d'être mesurée au 3^e jour est égale (d'après le tableau 15) à :
 $1,3.10^6 \times 4,9.10^{-6} = 6,4 \text{ Bq}$

Exemple numérique à partir d'une mesure anthroporadiométrique :

Trois heures après l'événement susceptible d'avoir entraîné une contamination interne, la mesure anthroporadiométrique pour l'organisme entier indique la présence de Tc-99m (type F) avec une activité égale à 100 kBq.
L'activité inhalée est donc de :
 $I = 100.10^3 / 5,5.10^{-1} = 1,8.10^5 \text{ Bq}$
Ce qui donne en prenant la DPUI correspondante (voir tableau 6) :
 $E = 1,8.10^5 \times 8,6.10^{-6} = 1,6 \text{ µSv}$

Déclarations à effectuer

À la suite d'un incident ou accident, l'employeur recherche si l'origine ou les conséquences de l'événement correspondent à un ou plusieurs critère(s) d'événement significatif de radioprotection (ESR) défini(s) par l'ASN.
Si tel est le cas, l'employeur enregistre la date de l'ESR, en effectue l'analyse et met en œuvre des mesures de prévention en conséquence. Il en fait la déclaration à l'ASN et informe le CSE le cas échéant. Les modalités de déclaration sont définies par l'ASN.

■ Tableau 15. Excrétion urinaire F(t) au jour t en Bq par Bq inhalé pour des aérosols de Tc-99m (DAMA de 5 µm)

Temps après incorporation (jours)	Pertechnetate, Tc-DTPA (type F)	Autres composés et composés non spécifiés (type M)	Pas de forme chimique particulière assignée (type S)
1	7,4.10 ⁻³	1,3.10 ⁻³	6,1.10 ⁻⁶
2	1,8.10 ⁻⁴	4,4.10 ⁻⁵	2,3.10 ⁻⁶
3	4,9.10 ⁻⁶	1,1.10 ⁻⁶	5,7.10 ⁻⁸
4	2.10 ⁻⁷	4,3.10 ⁻⁸	2,2.10 ⁻⁹
5	9,1.10 ⁻⁹	2.10 ⁻⁹	1.10 ⁻¹⁰
6	4,3.10 ⁻¹⁰	–	–

Valeurs issues de la publication 134 de la CIPR

■ Tableau 16. Valeurs de rétention F(t) de l'activité inhalée au temps t pour l'organisme entier

Temps après incorporation (h)	F	M	S
1	7,2.10 ⁻¹	7,2.10 ⁻¹	7,2.10 ⁻¹
2	6,3.10 ⁻¹	6,3.10 ⁻¹	6,3.10 ⁻¹
3	5,5.10 ⁻¹	5,6.10 ⁻¹	5,6.10 ⁻¹
6	3,7.10 ⁻¹	3,8.10 ⁻¹	3,8.10 ⁻¹
9	2,5.10 ⁻¹	2,6.10 ⁻¹	2,6.10 ⁻¹
12	1,7.10 ⁻¹	1,8.10 ⁻¹	1,8.10 ⁻¹
15	1,1.10 ⁻¹	1,2.10 ⁻¹	1,2.10 ⁻¹
18	7,7.10 ⁻²	8,3.10 ⁻²	8,5.10 ⁻²
21	5,2.10 ⁻²	5,6.10 ⁻²	5,7.10 ⁻²
24	3,6.10 ⁻²	3,8.10 ⁻²	3,9.10 ⁻²
36	7,7.10 ⁻³	7,4.10 ⁻³	7,4.10 ⁻³
48	1,7.10 ⁻³	1,4.10 ⁻³	1,3.10 ⁻³

Valeurs issues de la publication 134 de la CIPR

En cas de dépassement de l'une des valeurs limites réglementaires, l'employeur prévient l'agent de contrôle de l'inspection du travail ou équivalent, l'ASN, et informe le CSE le cas échéant.
Quelles que soient la nature et la gravité de l'événement, il est nécessaire d'en analyser les causes en vue de faire progresser la radioprotection et de partager le retour d'expérience.

Fiche élaborée par un groupe de travail animé par l'INRS et l'IRSN auquel ont participé des experts de : AP-HP, CEA, CH de Poissy-St-Germain, CNRS, EDF, Inserm, ASN et DGT.

Révision effectuée par l'INRS (A. Bourdieu, R. Mouillseaux) et l'IRSN (M. Pultier, C. Saccoccio) ; relecture par l'ASN ainsi que par P. Ménéchal (ex-ASN) et J. Ragot (Hôpital Lariboisière).



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 4301

3^e édition | décembre 2024 | ISBN 978-2-7389-2940-2 | Disponible en format web uniquement
Mise en pages : Valérie Causse

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie - Risques professionnels