

décembre 2012

## RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES

**ED 4308**

**241  
95 Am**

# Américium-241

- ▷ Émissions :  
 $\alpha$  : raie principale de 5 486 keV, 85 %  
 $\gamma$  : raie principale de 60 keV, 36 %
- ▷ Période physique : 432 ans
- ▷ Seuil d'exemption :  $10^4$  Bq, 1 Bq/g

- ▷ Organes critiques en termes de dose efficace : surface osseuse, moelle osseuse, gonades, foie, poumons
- ▷ Surveillance du poste de travail : mesures du débit d'équivalent de dose ambiant (radiamètre), de la contamination surfacique (contaminamètre ou frottis) et de la contamination atmosphérique
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : dosimétrie passive (poitrine et extrémités), dosimétrie opérationnelle en zone contrôlée
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : analyse radiotoxicologique des excréta (examen anthroporadiométrique possible)

L'américium est un métal argenté radioactif, fortement électronégatif. Son point de fusion est de 1176 °C et son point d'ébullition est de 2011 °C. L'américium fait partie de la famille des actinides et s'oxyde rapidement en présence d'oxygène. En solution aqueuse, l'état trivalent est le plus stable. Aux pH biologiques, les composés de l'américium sont peu solubles et ont une forte tendance à l'hydrolyse.

## 1. CARACTÉRISTIQUES

### Origine

L'américium-241 n'existe pratiquement pas à l'état naturel. Il est produit artificiellement par désintégration du plutonium-241, lui-même produit dans les réacteurs nucléaires, selon la réaction :  ${}^{241}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{241}_{95}\text{Am} + e^- + \bar{\nu}_e$ . Il devient de ce fait l'un des composants des combustibles irradiés.

### Propriétés radiophysiques

L'américium-241 a une période radioactive de 432 ans et une activité massique de  $1,27 \times 10^{11}$  Bq/g.

L'américium-241 se désintègre par émission de particules alpha (rapport de branchement = 100 %). Cette transition nucléaire (désintégration) est accompagnée par l'émissions d'électrons et de rayonnements X et gamma. Les données du *tableau I* concernent les principales émissions dont le pourcentage est supérieur à 1 %.

*Cette fiche fait partie d'une série qui se rapporte à l'utilisation de radionucléides essentiellement en sources non scellées.*

*L'objectif n'est pas de se substituer à la réglementation en vigueur, mais d'en faciliter la mise en œuvre en réunissant sur un support unique, pour chaque radionucléide, les informations les plus pertinentes ainsi que les bonnes pratiques de prévention à mettre en œuvre.*

*Ces fiches sont réalisées à l'intention des personnes en charge de la radioprotection : utilisateurs, personnes compétentes en radioprotection, médecins du travail.*

*Sous ces aspects, chaque fiche traite :*

1. des propriétés radiophysiques et biologiques,
2. des utilisations principales,
3. des paramètres dosimétriques,
4. du mesurage,
5. des moyens de protection,
6. de la délimitation et du contrôle des locaux,
7. du classement, de la formation et de la surveillance du personnel,
8. des effluents et déchets,
9. des procédures administratives d'autorisation et déclaration,
10. du transport,
11. de la conduite à tenir en cas d'incident ou d'accident.

▽ Principales émissions de l'américium-241

Tableau I

Principales émissions	Énergie (keV)	Pourcentage d'émission (%)
Alpha	5 388,3	1,6
	5 442,9	13
	5 485,6	84,5
Électrons	11,7-22,8	34,5
	17,4-26,3	13
	28,8-33,2	6,02
	37,1-37,8	21,0
	39,0-41,9	12,6
	55,1-59,5	10,5
X	3,3-11,9	8,04
	13,8-13,9	16,2
	16,9-17,1	4,69
	17,8-18,0	10,2
	20,9	2,02
Gamma	26,3	2,4
	59,5	35,9

▽ Filiation de l'américium-241

Tableau II

Produits de filiation	Neptunium-237... Thallium-205 (stable)
Équations	$^{241}_{95}\text{Am} \xrightarrow{\alpha} ^{237}_{93}\text{Np} \dots ^{205}_{81}\text{Tl}$

Les conséquences, en termes de radioprotection, liées à la contribution des produits de filiation de l'américium-241 ne sont pas traitées dans cette fiche.

### Propriétés biologiques

Comme en général pour les actinides, les complexes d'américium sont plus (nitrates, citrates, chlorures) ou moins (oxydes) solubles.

Pour l'inhalation, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), qui se base sur l'ensemble des données humaines et animales, a classé l'ensemble des composés dans le type M de solubilité. Toutefois, le retour d'expérience a montré qu'ils sont plus insolubles, vraisemblablement de type intermédiaire entre M et S.

Pour l'ingestion, l'absorption par le tractus gastro-intestinal de l'homme adulte est faible. La complexation du radionucléide avec diverses formes biologiques n'a que peu d'effet.

Le dépôt à l'intérieur d'une plaie présente un risque de diffusion systémique du radionucléide. En règle générale, les composés solubles gagnent le sang pour être ensuite redistribués alors que les composés insolubles sont transférés via les vaisseaux lymphatiques et s'accumulent dans les ganglions lymphatiques.

Après absorption dans le sang, les principaux sites biologiques de fixation sont, quelle que soit la forme chimique, le squelette et le foie.

L'excrétion se fait à la fois sous forme fécale et urinaire, dépendant essentiellement du mode d'entrée du radionucléide et du temps écoulé après la contamination. Le modèle d'élimination est complexe : les périodes biologiques d'élimination résultent d'une combinaison des périodes observées dans le squelette et le foie.

## 2. UTILISATIONS

Les sources d'américium-241 sont utilisées sous forme scellée comme jauges de niveau et pour l'étalonnage d'appareils de mesure. Leur utilisation dans les détecteurs à incendie (quelques dizaines de kBq) et les paratonnerres (quelques dizaines de MBq) est à l'abandon mais un grand nombre d'entre eux ont été fabriqués et sont encore en place. Mélangé au lithium, au béryllium ou au bore, l'américium constitue une source de neutrons avec des applications en radiographie industrielle. Ces sources de neutrons équipent aussi des humidimètres.

L'américium-241 n'est pas utilisé sous forme non scellée sauf dans certains domaines spécifiques de la recherche.

Toutefois, le risque d'exposition à l'américium-241 sous forme de source non scellée existe dans des cas particuliers, lors de la fabrication des sources ou dans le cas où ces sources sont endommagées. Les détecteurs à incendie et les paratonnerres notamment peuvent contenir des sources endommagées qui présentent des risques de contamination. On notera qu'en cas de montage/démontage/stockage de détecteurs incendie utilisant de l'américium-241, le risque d'exposition externe est minime.

## 3. PARAMÈTRES DOSIMÉTRIQUES

### Exposition externe

**Note préalable :** Les données dosimétriques ci-après sont obtenues par calcul en l'absence de toute protection. L'exposition externe est liée aux émissions X et  $\gamma$ .

Les **tableaux III, IV et V** donnent, pour une activité de **1 MBq**, le débit d'équivalent de dose exprimé en  $\mu\text{Sv/h}$ , en fonction de la distance dans différentes configurations. Les grandeurs  $\dot{H}_p(0,07)$  et  $\dot{H}_p(10)$  correspondent respectivement aux débits d'équivalent de dose à la peau et au corps entier ; ils ont été calculés avec un code Monte-Carlo (MCNPX).

▽ Source ponctuelle

Tableau III

	Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		
	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$2,8 \times 10^0$	$3,0 \times 10^{-1}$	$2,5 \times 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	$1,3 \times 10^0$	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-2}$

Les **tableaux IV et V** ci-dessous sont fournis à titre indicatif, l'américium-241 n'étant pratiquement pas utilisé sous forme de sources non scellées.

▽ Flacon (10 mL) en verre standard rempli au tiers **Tableau IV**

	Débit d'équivalent de dose au contact en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq	
	Tenu en main	Sous le flacon	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$6 \times 10^1$	$1,0 \times 10^2$	$7,9 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet <sup>(1)</sup>	Sans objet <sup>(1)</sup>	$7,2 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$

▽ Seringue en polyéthylène pleine **Tableau V**

	Débit d'équivalent de dose au contact en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		
	Seringue 2 mL*	Seringue 5 mL**	Seringue 5 mL**		
			À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$5,9 \times 10^2$	$2,4 \times 10^2$	$1,8 \times 10^0$	$2,0 \times 10^{-1}$	$1,7 \times 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet <sup>(1)</sup>	Sans objet <sup>(1)</sup>	$1,1 \times 10^0$	$1,2 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-2}$

\* Épaisseur = 0,6 mm. \*\* Épaisseur = 1 mm.

**Contamination cutanée**

Un dépôt uniforme sur la peau de 1 MBq par  $\text{cm}^2$  délivre un débit d'équivalent de dose à la peau [ $\dot{H}_p(0,07)$ ] égal à  $7 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ .

**Exposition interne**

**Exposition interne due à une contamination aiguë**

Le **tableau VI** donne les valeurs de dose efficace engagée en  $\mu\text{Sv}$  correspondant à une activité incorporée de 1 Bq.

▽ Doses efficaces engagées à la suite d'une incorporation de 1 Bq (DPUI), pour les travailleurs de plus de 18 ans (valeurs réglementaires) **Tableau VI**

Forme	Inhalation de 1 Bq (par défaut: aérosol de 5 $\mu\text{m}$ )	Ingestion de 1 Bq
	Dose efficace engagée ( $\mu\text{Sv}$ )	Dose efficace engagée ( $\mu\text{Sv}$ )
Tous composés	27	0,2

Dans les calculs de DPUI ci-dessus :

- tous les composés sont caractérisés par un facteur d'absorption gastro-intestinale  $f_1$  (qui indique quel fraction de la radioactivité présente dans l'intestin grêle passe dans le sang) égal à  $5 \times 10^{-4}$ ;

(1) Pour l'exposition des mains tenant la source, seule la valeur  $\dot{H}_p(0,07)$  est pertinente.

- les organes critiques (contribution à la dose efficace  $\geq 10\%$ ) sont les suivants :
  - après inhalation : surface osseuse (41 %), moelle osseuse (17 %), gonades (16 %), foie (13 %), poumons (11 %),
  - après ingestion : surface osseuse (44 %), moelle osseuse (18 %), gonades (17 %), foie (14 %).

**Exposition interne due à une contamination chronique**

Pour 1 Bq/jour pendant n jours, multiplier les valeurs précédentes par n (hypothèse linéaire).

## 4. DÉTECTION ET MESURES

Le **tableau VII** résume les techniques de surveillance de l'exposition à l'américium-241.

▽ Techniques de surveillance à réaliser **Tableau VII**

	Appareil de mesure
Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Radiamètre équipé d'une sonde $\gamma/X$
Mesure de contamination surfacique ( $\text{Bq/cm}^2$ )	Contaminamètre ou sonde $\gamma/X$ , sonde $\alpha$ (au ZnS) ou frottis
Recherche de petits foyers de contamination	Sonde $\gamma/X$ ou sonde $\alpha$ (au ZnS)
Mesure de contamination atmosphérique ( $\text{Bq/m}^3$ )	Prélèvement sur filtre et comptage

**Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant ( $\mu\text{Sv/h}$ )**

La mesure du débit d'équivalent de dose ambiant s'effectue à l'aide d'un radiamètre équipé d'une sonde  $\gamma/X$ . La meilleure solution demeure l'utilisation d'une sonde équipée d'un détecteur à iodure de sodium.

**Mesure de la contamination surfacique ( $\text{Bq/cm}^2$ ) et de petits foyers de contamination**

La mesure d'une contamination surfacique en américium-241 est effectuée soit par la détection des particules alpha émises ou par la détection des rayonnements X et  $\gamma$  émis. Pour la détection des particules alpha, il est recommandé d'utiliser des sondes au sulfure de zinc munies de photomultiplicateurs.

Elle peut être réalisée :

- soit directement avec un contaminamètre donnant une lecture en  $\text{Bq/cm}^2$ . Veiller à ce que l'appareil soit étalonné, contrôlé et adapté à la mesure de l'américium-241. En cas de doute, contacter le constructeur. On peut aussi évaluer une contamination surfacique à partir du taux de comptage en impulsions par seconde au moyen d'une sonde  $\alpha$  ou sonde  $\gamma/X$  placée au plus près de la surface à contrôler ;

- soit indirectement par un frottis (qui est ensuite compté par une sonde  $\alpha$ ,  $\gamma$  ou X) en ayant pris soin de définir une surface 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 proposer une valeur précise pour son rendement. Dans le cas où celui-ci ne peut pas être évalué, il est suggéré de retenir la valeur de 10 % tel qu'indiqué dans la norme NF-ISO 7503- 1<sup>(2)</sup>.

## Installation des locaux

Du fait des risques d'exposition interne et externe, les locaux doivent être conçus pour la manipulation de l'américium-241 :

- les locaux doivent être réservés à la manipulation de substances radioactives et situés à l'écart des circulations générales ;
- toutes les manipulations doivent être impérativement réalisées dans des enceintes confinées. Celles-ci doivent être équipées d'un système de ventilation indépendant avec filtres. Elles doivent être installées dans des locaux mis en dépression qui bénéficient d'une ventilation indépendante du système général de ventilation ;
- le revêtement des sols, des murs, des plafonds et des surfaces de travail doit être en matériau lisse, imperméable, sans joint et facile à décontaminer ;
- le sas vestiaire pour le personnel est conçu et aménagé pour permettre la séparation, dans deux secteurs distincts, des vêtements de ville et des vêtements de travail (y compris les chaussures), et comporte douche et lavabo.

## Protection contre l'exposition externe

Trois actions majeures permettent de se protéger contre les risques d'exposition externe :

- diminuer le temps d'exposition aux rayonnements ;
- s'éloigner de la source de rayonnements. En fonction de l'activité, des pinces peuvent être utilisées ;
- interposer un ou plusieurs écrans entre la source de rayonnements et les personnes.

L'utilisation de boîtes à gants avec gants plombés doit être privilégiée. Les gants jetables utilisés en plus pour éviter les risques de contamination cutanée ne constituent pas quant à eux une protection efficace des mains contre l'exposition externe aux rayonnements X et  $\gamma$ .

Les épaisseurs d'écran renseignées au [tableau VIII](#) ont été évaluées en termes de diminution de dose.

▽ *Caractéristiques des écrans permettant de diminuer le débit de dose lié à l'américium-241* **Tableau VIII**

	Épaisseur d'eau	Épaisseur d'acier	Épaisseur de plomb
Diminution d'un facteur 10 du débit de dose	320 mm	3 mm	0,4 mm
Diminution d'un facteur 2 du débit de dose	190 mm	0,6 mm	< 0,1 mm

Il est conseillé d'éviter l'utilisation de matériaux de faible numéro atomique (lithium, béryllium, bore) qui, sous l'effet des particules alpha émises par les noyaux d'américium-241, peuvent générer un flux de neutrons.

S'il s'agit de fabriquer des sources de production de neutrons (<sup>241</sup>Am-Be, <sup>241</sup>Am-Li...), il convient de prévoir une protection adaptée pour les neutrons.

### 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/cm<sup>2</sup>  
**n** est le taux de comptage en impulsions par seconde après soustraction du bruit de fond  
**Rd** est le rendement de détection de la sonde en % (sous 4 $\pi$ )  
**S** est la surface frottée ou la surface utile de la sonde en cm<sup>2</sup>  
**K** est un facteur correctif, égal à 1 si c'est une mesure du taux de comptage fourni par la sonde, égal à 0,1 (valeur par défaut) si c'est une mesure de frottis)

La mesure par frottis complète souvent la mesure directe pour distinguer une contamination labile d'une contamination fixée, ou en présence de conditions défavorables (rayonnement ambiant perturbant la mesure, géométrie non adaptée à la mesure directe...).

La recherche de petits foyers de contamination est réalisée avec les mêmes techniques moyennant l'utilisation de sondes de petites tailles.

## Mesure de la contamination atmosphérique (Bq/m<sup>3</sup>)

Un système de mesure en continu équipé d'un filtre permet de détecter une éventuelle contamination atmosphérique et d'en mesurer l'évolution. L'appareil doit être situé à l'extérieur du local ou de la zone où le risque de contamination existe. Les bouches de prélèvement doivent quant à elles se situer au plus proche des postes de travail.

## 5. MOYENS DE PROTECTION

Le choix des moyens de protection repose sur une analyse préalable de l'intervention à réaliser (ou des protocoles expérimentaux) afin d'identifier les risques radiologiques. Il est recommandé de pratiquer une simulation de toute nouvelle opération pour définir les règles de manipulation et en maîtriser les gestes et la durée.

L'américium-241 étant principalement un émetteur  $\alpha$ , il est primordial de se prémunir contre le risque de contamination interne. Le risque d'exposition externe (notamment des extrémités) ne doit cependant pas être négligé du fait de l'émission d'un rayonnement gamma à 59,5 keV.

(2) Norme ISO 7503-1:1988, « Évaluation de la contamination de surface – Partie 1 : Émetteurs bêta (énergie bêta maximale supérieure à 0,15 MeV) et émetteurs alpha ».

## Protection contre l'exposition interne

Afin de limiter les risques d'exposition interne, la manipulation de l'américium-241 doit se faire dans des enceintes confinées et plombées, hottes ou boîtes à gants ventilées selon l'activité manipulée.

Les équipements de protection individuelle sont néanmoins nécessaires :

- gants jetables en complément de ceux de la boîte à gants assurant une protection radiologique. Il est rappelé qu'après chaque manipulation, un contrôle et un lavage des mains sont nécessaires ;
- tenue de travail adaptée à la quantité manipulée, ce qui peut nécessiter plusieurs sur-tenues. Le port d'un t-shirt est conseillé sous la tenue de travail pour éviter toute contamination corporelle ;
- lunettes de protection, voire masque de protection respiratoire à portée de main. Ces dispositifs de protection respiratoire doivent être envisagés en fonction de l'analyse des risques au poste de travail tenant compte des conditions de manipulation (contraintes mécaniques, forme physico-chimique des composés, etc.).

## 6. DÉLIMITATION ET CONTRÔLES DES LOCAUX

Sous réserve de la présence d'une signalétique adaptée, il est possible de limiter les zones réglementées à une partie des locaux dans lequel les sources sont manipulées et stockées.

### Délimitation des locaux

Le zonage des locaux doit être justifié et formalisé dans chaque cas sous forme d'un document à conserver (à joindre au document unique relatif aux risques professionnels). Il est formalisé par l'affichage de panneaux conformes aux dispositions réglementaires.

Toute mesure appropriée doit être prise pour empêcher l'accès non autorisé aux sources radioactives, notamment aux zones où elles sont stockées.

La délimitation des locaux doit prendre en compte les risques d'exposition externe et interne liés aux sources manipulées et stockées (*tableaux IX et X*).

Tableau IX

### EXPOSITION EXTERNE ET INTERNE DE L'ORGANISME ENTIER

Dose efficace (E) susceptible d'être reçue en 1 heure  
et pour ce qui concerne les zones spécialement réglementées, débit d'équivalent de dose (DDD)

	Zones réglementées		Zones spécialement réglementées		
<b>Zone non réglementée</b>  ■ Dose efficace susceptible d'être reçue par un travailleur $E < 80 \mu\text{Sv}/\text{mois}$  ■ Contrôle de l'état de propreté radiologique si risque de contamination dans les zones réglementées attenantes	<b>Zone surveillée gris-bleu</b>  $E < 7,5 \mu\text{Sv}$	<b>Zone contrôlée verte</b>  $E < 25 \mu\text{Sv}$	<b>Zone contrôlée jaune</b>  $E < 2 \text{ mSv}$ et $\text{DDD} < 2 \text{ mSv}/\text{h}$	<b>Zone contrôlée orange</b>  $E < 100 \text{ mSv}$ et $\text{DDD} < 100 \text{ mSv}/\text{h}$	<b>Zone interdite rouge</b>  $E > 100 \text{ mSv}$ ou $\text{DDD} > 100 \text{ mSv}/\text{h}$

Tableau X

### EXPOSITION DES EXTRÉMITÉS (MAINS, PIEDS, CHEVILLES ET AVANT-BRAS)

Dose équivalente (H) susceptible d'être reçue en 1 heure

	Zones réglementées		Zones spécialement réglementées		
<b>Zone non réglementée</b>  Pas de valeur affichée	<b>Zone surveillée gris-bleu</b>  $H < 0,2 \text{ mSv}$	<b>Zone contrôlée verte</b>  $H < 0,65 \text{ mSv}$	<b>Zone contrôlée jaune</b>  $H < 50 \text{ mSv}$	<b>Zone contrôlée orange</b>  $H < 2,5 \text{ Sv}$	<b>Zone interdite rouge</b>  $H > 2,5 \text{ Sv}$

## Contrôles

Les contrôles techniques réglementaires de radioprotection sont présentés dans le *tableau XI*. Les appareils de mesure recommandés sont donnés au *tableau VII*.

### ▽ Contrôles réglementaires

Tableau XI

	Mise en œuvre
Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant ( $\mu\text{Sv/h}$ )	En continu ou au moins mensuelle
Mesure de contamination surfacique ( $\text{Bq/cm}^2$ )	
Mesure de contamination atmosphérique ( $\text{Bq/m}^3$ )	

À côté des contrôles réglementaires, les bonnes pratiques suivantes sont recommandées :

- la mesure régulière du débit d'équivalent de dose ambiant ;
- la vérification régulière de la contamination surfacique, après chaque manipulation et en cas d'incident sur les paillasse, matériels, écrans, sols... ;
- la vérification régulière de l'état radiologique de la boîte à gants ou de la hotte ventilée et de son filtre ; le rythme des contrôles sera adapté à la fréquence des manipulations ;
- la mesure de la contamination atmosphérique en continu au niveau de chaque poste de travail ;
- la vérification de la non-contamination corporelle externe de manière systématique après toute manipulation et en sortie de zone.

## 7. CLASSEMENT, FORMATION ET SURVEILLANCE DU PERSONNEL

### Classement

Tandis que la délimitation des zones de travail est fondée sur une évaluation des risques liés aux sources radioactives, le classement du personnel opérant dans ces zones est déterminé par l'étude des postes de travail.

L'évaluation de la dose prévisionnelle (organisme entier et cristallin, peau, extrémités si nécessaire) annuelle, prenant en compte les expositions externe et interne aux différents postes occupés, permet de classer les travailleurs exposés en deux catégories, A et B. Les travailleurs pour lesquels la dose prévisionnelle, dans les conditions habituelles de travail ou en cas de situation incidentelle raisonnablement prévisible, dépasse la limite réglementaire pour le public sont considérés comme étant exposés aux rayonnements ionisants. Leur classement n'est pas fondé sur l'affectation habituelle ou non en zone réglementée (surveillée ou contrôlée) mais sur un niveau de dose susceptible d'être atteint.

Parmi les travailleurs exposés, ceux susceptibles de recevoir une dose efficace supérieure à 6 mSv/an ou une dose équivalente supérieure aux trois dixièmes des limites annuelles d'exposition fixées pour les extrémités, la peau ou le cristallin sont classés en catégorie A (*tableau XII*), ceux ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B.

De plus, aucune femme enceinte ni étudiant ou apprenti de moins de dix-huit ans ne peut être affecté(e) à un poste impliquant un classement en catégorie A.

### ▽ Critères de classement des travailleurs exposés

Tableau XII

	Dose efficace corps entier	Dose équivalente mains, avant-bras, pieds, chevilles	Dose équivalente à tout $\text{cm}^2$ de la peau	Dose équivalente au cristallin*
Travailleurs exposés de catégorie A	$> 6 \text{ mSv}$ sur 12 mois consécutifs	$> 150 \text{ mSv}$	$> 150 \text{ mSv}$	$> 45 \text{ mSv}$
Travailleurs exposés de catégorie B	$\leq 6 \text{ mSv}$ sur 12 mois consécutifs	$\leq 150 \text{ mSv}$	$\leq 150 \text{ mSv}$	$\leq 45 \text{ mSv}$

\* Attention : La valeur limite actuelle de 150 mSv/an est en cours de révision au niveau des normes de base européennes. Elle devrait être abaissée à 20 mSv/an. Consécutivement, le critère de classement devrait passer à 6 mSv.

### Formation du personnel

Tous les personnels, classés ou non, devant intervenir en zone réglementée doivent bénéficier d'une formation à la radioprotection renouvelée au moins tous les trois ans et organisée par l'employeur, portant sur les risques d'exposition externe et interne, sur les procédures générales de radioprotection en vigueur ainsi que sur les règles de protection contre les rayonnements ionisants.

La formation est adaptée aux risques spécifiques de l'américium-241 et aux procédures particulières de radioprotection touchant au poste de travail occupé ainsi qu'aux règles de conduite à tenir en cas de situation anormale.

Une attention particulière doit être portée à la formation des nouveaux entrants, des travailleurs temporaires et des femmes en âge de procréer. Une formation spécifique peut aussi être réalisée avant la mise en œuvre de nouvelles manipulations.

### Surveillance médicale des travailleurs exposés

Les points importants sont les suivants :

- une surveillance médicale renforcée est mise en place pour les travailleurs exposés classés en catégorie A et B, avec en catégorie A une surveillance au moins une fois par an<sup>(3)</sup> ;
- le médecin du travail a un libre choix de prescription des examens complémentaires ainsi que des examens anthropométriques et/ou radiotoxicologiques des urines ou des selles ;
- en cas de grossesse, la dose de l'enfant à naître doit, dans tous les cas, rester inférieure à 1 mSv entre la déclaration de grossesse et l'accouchement : il est déconseillé d'affecter une femme enceinte à un poste de travail où le risque de contamination interne existe ;
- il est par ailleurs interdit d'affecter ou de maintenir une femme allaitante à un poste de travail comportant un risque d'exposition interne à des rayonnements ionisants ;
- la carte individuelle de suivi médical est remise par le médecin du travail (contacter l'IRSN : [www.siseri.com](http://www.siseri.com)) ;

(3) Entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2012.

- l'attestation d'exposition professionnelle est établie lors du départ du salarié, en s'appuyant sur la fiche individuelle d'exposition aux rayonnements ionisants.

### Surveillance dosimétrique des travailleurs exposés

L'américium-241 se désintégrant par émission de particules  $\alpha$ , il est primordial de surveiller les niveaux de contamination interne. Il convient toutefois d'être vigilant quant à la surveillance de l'exposition externe.

#### Exposition externe

Dosimètre passif individuel :

- catégorie A : période de port mensuelle ;
- catégorie B : période de port mensuelle ou trimestrielle.

Dosimètre opérationnel pour toute opération en zone contrôlée, quelle que soit la catégorie du travailleur. Une attention particulière est appelée sur le fait que le dosimètre mis en œuvre doit être sensible aux rayonnements  $\gamma$  faiblement énergétiques de l'américium (< 60 keV).

La dosimétrie des extrémités (de type bague) est obligatoire lorsque la dose équivalente est susceptible de dépasser 50 mSv/an. Elle est recommandée pour des valeurs inférieures si le niveau d'exposition attendu de l'étude poste est significatif.

#### Exposition interne

Le niveau d'exposition interne est évalué, de préférence, par analyse radiotoxicologique des urines (prélèvement sur 24 heures) et des selles. L'analyse des selles est d'autant plus indiquée que la solubilité du composé peut être plus faible que celle adoptée par la CIPR.

Dans le cas de manipulation régulière d'américium-241, l'intervalle maximal entre deux examens est de 180 jours<sup>(4)</sup>. S'il existe une mesure de l'air ambiant au niveau du poste de travail, un intervalle de 365 jours est suffisant entre deux prélèvements fécaux.

Les examens sont réalisés après chaque campagne de manipulation lorsqu'il s'agit d'utilisations ponctuelles.

En cas de contrôle positif, le médecin du travail demandera des contrôles ultérieurs pour suivre l'évolution du niveau de l'exposition. Les circonstances de l'exposition seront analysées avec l'appui de la personne compétente en radioprotection (PCR).

## 8. EFFLUENTS ET DÉCHETS

Chaque établissement a l'obligation de mettre en œuvre un plan de gestion individualisé définissant les modalités de tri, de conditionnement, de stockage, de contrôle et d'élimination des déchets produits. L'efficacité de ce plan repose sur une organisation garantissant la traçabilité des différents déchets (registres, étiquetages...).

Les déchets doivent être gérés dans des filières autorisées. Aucun rejet direct n'est autorisé.

Les déchets contaminés sont entreposés dans un lieu réservé à ce type de déchets. Ce lieu est fermé et son accès est limité aux seules personnes habilitées par le titulaire de l'autorisation.

Les déchets solides et liquides des producteurs ou des détenteurs de déchets radioactifs hors secteur électronucléaire (universités, laboratoires de recherche, industries, récupérateurs de paratonnerres radioactifs...) doivent faire l'objet d'un tri répondant aux spécifications de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) (les traitements ultérieurs ne sont pas les mêmes en fonction des caractéristiques des déchets). Ce tri consiste à séparer les déchets en prenant en compte leur nature physico-chimique et les risques spécifiques autres que le risque radiologique. Pour aider les producteurs, l'ANDRA édite et diffuse chaque année un guide d'enlèvement détaillant les différentes catégories de déchets.

Pour ce qui concerne les détecteurs de fumée, la décision 2011-DC-053 du 21/12/2011 homologuée par l'arrêté du 6/03/2012 prévoit les conditions de reprise et d'élimination de ces sources.

Les déchets liquides sont entreposés sur des dispositifs de rétention permettant de récupérer les liquides en cas de fuite de leur conditionnement.

## 9. PROCÉDURES ADMINISTRATIVES D'AUTORISATION ET DE DÉCLARATION (DÉTENTION ET UTILISATION DE SOURCES SCELLÉES ET NON SCELLÉES)

### Application non médicale conduite dans un établissement industriel ou commercial

Dont aucune installation n'est soumise à autorisation au titre d'une autre rubrique de la nomenclature ICPE (détention d'un produit chimique, bruit...)

Une autorisation préalable délivrée par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est requise au titre du code de la santé publique dès lors que l'activité détenue ou utilisée est égale ou supérieure à 10<sup>4</sup> Bq (activité totale) ou à 1 Bq/g (activité massique).

(4) Norme NF ISO 20553:2006 « Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs ».

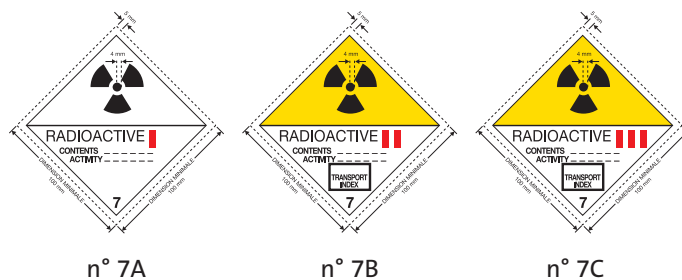
Dont au moins une installation est soumise à autorisation au titre d'une autre rubrique de la nomenclature ICPE

La déclaration ICPE auprès du préfet du département est imposée lorsque l'activité totale détenue est comprise entre  $10^4$  Bq et  $10^8$  Bq. À partir de  $10^8$  Bq et au-delà, l'autorisation ICPE est requise et est délivrée par le préfet du département.

### Application non médicale conduite dans un établissement ni industriel, ni commercial

Cette application concerne les organismes de recherche.

Une autorisation préalable délivrée par l'ASN est requise au titre du code de la santé publique dès lors que l'activité détenue ou utilisée est égale ou supérieure à  $10^4$  Bq (activité totale) ou à 1 Bq/g (activité massique).



▽ Correspondance entre la catégorie de l'étiquette apposée sur le colis, l'indice de transport et le débit d'équivalent de dose (DDD)

Tableau XIV

Indice de transport (IT) <sup>(5)</sup>	Débit d'équivalent de dose en tout point de la surface	Étiquette
0	$DDD \leq 5 \mu\text{v/h}$	I – BLANCHE
Plus de 0 mais pas plus de 1	$5 \mu\text{v/h} < DDD \leq 500 \mu\text{v/h}$	II – JAUNE
Plus de 1 mais pas plus de 10	$500 \mu\text{v/h} < DDD \leq 2 \text{ mSv/h}$	III – JAUNE
Plus de 10	$2 \text{ mSv/h} < DDD \leq 10 \text{ mSv/h}^{(6)}$	III – JAUNE et transport exclusif

## 10. TRANSPORTS ROUTIERS

Tous les transports ne sont pas soumis à la réglementation concernant le transport des matières dangereuses (matières radioactives : classe 7). Pour l'américium-241, si l'activité massique de la matière transportée est inférieure à 1 Bq/g ou si l'activité totale de l'envoi est inférieure à  $10^4$  Bq, la réglementation ne s'applique pas. Néanmoins, en cas de quantités inférieures et de transport d'autres matières radioactives, l'état de contamination radiologique est vérifié avant tout transport. Dans tous les cas, un contrôle de non-contamination de l'emballage doit être effectué par l'utilisateur.

Si ces deux seuils sont dépassés, le transport est soumis aux dispositions réglementaires en vigueur.

L'expéditeur est le premier responsable du respect des exigences qui sont détaillées dans ces règlements. En particulier, le choix de l'emballage dépend du niveau de risque associé à la matière transportée (tableau XIII). 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 l'américium-241, A2 vaut 1 GBq.

▽ Classement des colis selon l'activité du contenu (exemple de contenu solide)

Tableau XIII

Type de colis	Activité de l'américium-241 contenue	Caractéristiques du colis
Colis excepté	$< 1 \text{ MBq} (< A2/1\ 000)$	Peu résistant
Colis de type A	$< 1 \text{ GBq} (< A2)$	Conçu pour résister à des accidents mineurs de manutention
Colis de type B	$> 1 \text{ GBq} (> A2)$	Étanche et blindé

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 en cours de transport. Cette signalisation est effectuée par l'une des étiquettes 7A, 7B ou 7C représentées ci-après, choisie en fonction des débits de dose mesurés autour du colis.

## 11. CONDUITE À TENIR EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT

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

Sans préjudice de ce principe général, la conduite à tenir en cas d'incident/accident implique de hiérarchiser les actions dès la découverte de l'événement, pour le cas échéant caractériser le risque de contamination des locaux et/ou du matériel, évaluer l'exposition d'une personne, et enfin déclarer l'événement.

### Dès la découverte de l'événement :

- Suivre les consignes affichées en tenant compte des circonstances de l'incident et des activités mises en jeu.
- Alerter la personne compétente en radioprotection, le responsable de l'installation et le médecin du travail.
- Engager au plus tôt les opérations de décontamination des personnes.
- Contacter, si nécessaire, l'IRSN pour un appui technique (dispositif d'alerte de l'IRSN : 06 07 31 56 63).

(5) IT = intensité de rayonnement maximale à 1 m de tout point situé à la surface du colis (en mSv/h)  $\times 100 \times k$  où k est un coefficient qui dépend de la géométrie du colis avec  $k = 1$  pour les colis dont la plus grande section est de  $1 \text{ m}^2$ .

(6) L'intensité en tout point de la surface externe 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, des dispositions sont prises pour immobiliser le colis à l'intérieur de l'enceinte du véhicule et il n'y a pas d'opérations de chargement/déchargement entre le début et la fin de l'expédition.



## Contamination des locaux et/ou du matériel

- Déterminer l'étendue de la zone contaminée à l'aide d'une sonde  $\alpha$  ou d'une sonde  $\gamma/X$ , délimiter et baliser un périmètre de sécurité.
- Confiner le déversement ou la fuite (produits absorbants...).
- Avertir le personnel et le faire évacuer.
- Décontaminer de l'extérieur vers l'intérieur avec du matériel jetable en utilisant des détergents de laboratoire (exemples : TFD 4, FDK).
- En fin de décontamination, procéder à des contrôles (sonde  $\alpha$ , sonde  $\gamma/X$ , frottis) afin de s'assurer de l'absence de contamination résiduelle.

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

Les personnes intervenant dans des locaux suspectés ou avérés contaminés doivent porter, *a minima*, des gants, une surtenuie et des surbottes ; dans le doute, un appareil de protection des voies respiratoires filtrant adapté est recommandé.

## Expositions externe et interne d'une personne

### Exposition externe

- Relever la dosimétrie opérationnelle, si elle existe. La comparer avec les résultats des dosimètres des autres personnels présents.
- Réaliser une première investigation en vérifiant le débit de dose de la source et le temps de présence des personnels impliqués.
- Si l'exposition externe est avérée ou en cas de doute, transmettre les dosimètres passifs pour une exploitation en urgence.

### Contamination cutanée

- Contrôler avec du matériel adapté les mains, la blouse, les cheveux, la barbe, les chaussures, les sécrétions nasales (mouchage).
- Faire ôter les vêtements contaminés.
- 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.
- Contrôler après la décontamination et si nécessaire, recommencer la procédure.
- 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.

Il est impératif d'obtenir une décontamination complète afin de prévenir toute contamination interne induite.

Toute contamination du personnel doit être analysée car elle peut être le seul signe apparent d'une contamination d'un local ou d'une zone.

Toute contamination cutanée d'une personne doit faire suspecter et rechercher une contamination interne (voir dispositions à prendre ci-après).

### Contamination oculaire

- Laver abondamment sous l'eau à température ambiante.
- Consulter un médecin en lui indiquant la forme chimique du contaminant.

Toute contamination oculaire d'une personne doit faire suspecter et rechercher une contamination interne (voir dispositions à prendre ci-après).

### Contamination interne

Cette situation impose l'intervention immédiate de la PCR et du médecin du travail qui, si nécessaire, feront appel à un service spécialisé ou à l'IRSN.

- Déterminer l'activité manipulée.
- Dans le cas d'inhalation d'américium-241, apprécier le niveau de contamination en faisant réaliser une mesure anthroporadiométrique pulmonaire par l'IRSN, un service de santé au travail accrédité ou un laboratoire agréé.
- Débuter les prélèvements des urines (sur 24 heures) et des selles (sur 72 heures) et les adresser à un laboratoire d'analyse agréé ou à l'IRSN pour analyse. Des prélèvements nasaux sont recommandés pour analyse du mucus nasal.
- En cas de résultat positif, le médecin du travail demande des analyses ultérieures pour suivre l'évolution de la contamination interne.

Le traitement d'urgence doit être effectué sous contrôle médical le plus tôt possible et de préférence dans les deux heures qui suivent la contamination. Il consiste en l'administration de DTPA (acide diéthylènetriamine ponté-acétique) disponible auprès de la Pharmacie centrale des armées<sup>(7)</sup>. Cette approche est retenue en cas de contamination pulmonaire ou de plaie contaminée. En cas d'ingestion, l'usage du sulfate de magnésium est recommandé.

### Exemples d'évaluation de dose efficace engagée en cas de contamination interne (inhalation d'américium sous forme particulaire (5 $\mu\text{m}$ ) de type M)

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

$$I = A_m / F(t)$$
$$E (\text{Sv}) = I (\text{Bq incorporé}) \times \text{DPUI} (\text{Sv/Bq incorporé})$$

Avec

E = dose efficace engagée  
I = activité incorporée au jour de la contamination  
 $A_m$  = activité mesurée (soit en excrétion, soit en rétention) au jour J après la contamination  
F(t) = fraction excrétée au jour J  
DPUI = dose efficace engagée par unité d'incorporation

(7) Guide de l'ASN relatif à l'intervention médicale en cas d'événement nucléaire ou radiologique, 2008.

Le **tableau XV** présente les valeurs d'excrétion urinaire  $F(t)$  évaluées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR).

▽ Valeurs de rétention et d'excrétion évaluées par la CIPR<sup>(8)</sup> au jour J, en Bq par Bq incorporé, pour l'inhalation d'américium-241 sous forme particulaire (5 µm) de type M **Tableau XV**

Temps après l'incorporation (jours)	Inhalation		
	Rétention pulmonaire	Excrétion urinaire journalière	Excrétion fécale journalière
1	$5,8 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-1}$
2	$5,6 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-1}$
3	$5,5 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-4}$	$8,0 \times 10^{-2}$
4	$5,4 \times 10^{-2}$	$9,0 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-2}$
5	$5,3 \times 10^{-2}$	$7,2 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-2}$
6	$5,3 \times 10^{-2}$	$6,3 \times 10^{-5}$	$5,3 \times 10^{-3}$
7	$5,2 \times 10^{-2}$	$5,8 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-3}$
8	$5,1 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-3}$
9	$5,0 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-5}$	$7,4 \times 10^{-4}$
10	$5,0 \times 10^{-2}$	$4,9 \times 10^{-5}$	$5,7 \times 10^{-4}$

### Exemple numérique en utilisant les résultats des analyses radiotoxicologiques

L'analyse des urines des 24 heures prélevées dans les trois jours (J1, J2 et J3) suivant la contamination donne les résultats suivant :

$$A_{J1} = 250 \text{ mBq sur 24 heures}$$

$$A_{J2} = 23 \text{ mBq sur 24 heures}$$

$$A_{J3} = 24 \text{ mBq sur 24 heures}$$

Évaluation de l'activité incorporée sur la base des mesures d'excrétion à J1, J2 et J3 :

$$I_{J1} = 0,25 / (1,8 \times 10^{-3}) = 140 \text{ Bq}$$

$$I_{J2} = 0,023 / (2,3 \times 10^{-4}) = 100 \text{ Bq}$$

$$I_{J3} = 0,024 / (1,3 \times 10^{-4}) = 185 \text{ Bq}$$

L'activité incorporée est égale, en première approche, à la moyenne<sup>(9)</sup> des trois valeurs de I :

$$I = 140 \text{ Bq}$$

Ce qui donne, en prenant la DPUI correspondante (**tableau VI**) :

$$E = 140 \times 27 = 3\,800 \text{ µSv}$$

### Exemple numérique en utilisant le résultat de la première mesure anthroporadiométrique

Un jour après une contamination interne, la mesure anthroporadiométrique pulmonaire indique la présence d'américium-241 (type M) avec une activité de 12 Bq.

En utilisant le **tableau XV** qui donne également les valeurs de rétention pulmonaire au jour J, l'activité inhalée est de :

$$I = 12 / (5,8 \times 10^{-2}) = 207 \text{ Bq}$$

Ce qui donne en prenant la DPUI correspondante (**tableau VI**) :

$$E = 207 \times 27 = 5\,600 \text{ µSv}$$

### Déclarations à effectuer

Tout incident ou accident doit être consigné dans le registre d'hygiène et de sécurité.

Tout accident du travail doit être déclaré par l'employeur auprès de la caisse primaire d'assurance maladie.

Tout événement significatif répondant aux critères définis dans les guides de l'ASN<sup>(10)</sup> (notamment le critère 1 relatif à la protection des travailleurs) doit être déclaré, dans les meilleurs délais, par l'employeur auprès de la division territoriale compétente de l'ASN.

En cas de dépassement d'une limite de dose annuelle, l'inspecteur du travail doit également être prévenu, ainsi que l'IRSN, qui pourra apporter son support au médecin du travail.

Tout incident ou accident intervenant lors d'un transport (notamment en cas de perte ou détérioration du colis) doit être signalé à l'ASN, au préfet compétent et à l'IRSN.

(8) Valeurs extraites de la CIPR 78 relative à la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs.

(9) Bien que le calcul de la moyenne arithmétique ait été suffisante dans cet exemple numérique, le calcul de la moyenne géométrique est plutôt recommandé.

(10) – Guide n° 11 de l'ASN (ex-DEU/03) relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs dans le domaine de la radioprotection hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives.

– Guide ASN relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement applicable aux INB et au TMR.

Cette fiche a été élaborée par un groupe de travail animé par l'INRS et l'IRSN auquel ont participé des experts de l'AP-HP, CEA, CH de Poissy-St-Germain, CNRS, EDF, INSERM, ainsi que l'ASN et la DGT. Les experts qui ont plus particulièrement contribué à cette fiche sont :

- Marc Ammerich (CEA),
- Patricia Frot (INSERM),
- Denis-Jean Gambini (AP-HP),
- Christine Gauron (INRS),
- Gilbert Herbelet (CH Poissy-St-Germain),
- Thierry Lahaye (DGT),
- Bernard Le Guen (EDF),
- Patrick Moureaux (INRS),
- Pascal Pihet (IRSN),
- Alain Rannou (IRSN),
- Éric Vial (IRSN).



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00 • Internet : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • e-mail : [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)



Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire  
77-83, avenue du Général-de-Gaulle 92140 Clamart  
Tél. 01 58 35 88 88 • Internet : [www.irsn.org](http://www.irsn.org)