

juin 2014

RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES

ED 4319

Césium-137



- ▷ Émissions principales (couple césium-137/baryum-137m) :
 β^- : $E_{\text{moyenne}} = 174 \text{ keV}$; $E_{\text{max}} = 1176 \text{ keV}$
 γ : 662 keV
- ▷ Période physique du césium-137 : 30,1 ans
- ▷ Période physique du baryum-137m : 2,55 min
- ▷ Seuils d'exemption : 10^4 Bq , 10 Bq/g
- ▷ Organes critiques en termes de dose efficace : moelle osseuse, estomac, poumons, côlon, gonades
- ▷ Surveillance du poste de travail : mesures de débit d'équivalent de dose ambiant (radimètre) et de la contamination surfacique (contaminamètre ou frottis)
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : dosimétrie passive, dosimétrie opérationnelle en zone contrôlée
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : examen anthroporadiométrique ou analyse radiotoxicologique des urines par spectrométrie γ

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.*

Appartenant au groupe des métaux alcalins, le césium a un aspect argent-doré. Son point d'ébullition est de 671°C . Son point de fusion (29°C) est proche de la température ambiante. Chimiquement, le césium présente un seul degré d'oxydation correspondant à l'espèce ionique Cs(I) (sa forme ionique est Cs^+). Il se retrouve sous différentes formes (oxyde, hydroxyde, carbonate, nitrate et chlorure) souvent solubles dans l'eau.

1. CARACTÉRISTIQUES

Origine

Le césium-137 n'existe pas à l'état naturel.

Les sources de césium-137 sont élaborées à partir d'un bombardement neutronique de césium stable. Dans les sources ainsi produites, le césium est placé à l'intérieur d'une capsule scellée. À l'intérieur de la capsule, le césium est généralement mélangé avec une résine mais certaines sources plus anciennes peuvent encore contenir une poudre de chlorure de césium qui, en cas de rupture de la source, rend le césium dispersable.

Le césium-137 est un des produits de fission de l'uranium. Il est présent dans le cœur des réacteurs nucléaires et est extrait lors du retraitement du combustible irradié.

Propriétés radiophysiques

Le césium-137 a une période radioactive de 30,1 ans et une activité massique de $3,2 \times 10^{12}$ Bq/g.

Le césium-137, émetteur β , donne naissance avec un rendement de 94% au baryum-137m (métastable) émetteur γ de période 2,55 minutes, et avec un rendement de 6% au baryum-137 stable (*tableau I*). Le baryum-137m ayant une période courte, son activité devient rapidement sensiblement égale à celle du père (équilibre radioactif).

En conséquence, dans cette fiche, la dénomination « césium-137 » est relative au couple césium-137/baryum-137m à l'équilibre. Ainsi le césium-137 est considéré comme un émetteur β/γ .

▽ Filiation du césium-137

Tableau I

Produits de filiation	Baryum-137m (métastable), baryum-137 (stable)
Équations	$ \begin{array}{c} {}^{137}_{55}\text{Cs} \xrightarrow[\text{T}=30,1 \text{ ans}]{\beta^- (95\%), E_{\text{max}}=514 \text{ keV}} {}^{137\text{m}}_{56}\text{Ba} \xrightarrow[\text{T}=2,55 \text{ min}]{\gamma (90\%), E=662 \text{ keV}} {}^{137}_{56}\text{Ba} \\ \\ {}^{137}_{55}\text{Cs} \xrightarrow[\text{T}=30,1 \text{ ans}]{\beta^- (6\%), E_{\text{max}}=1176 \text{ keV}} {}^{137}_{56}\text{Ba} \end{array} $

La désintégration du césium-137 s'accompagne d'émissions d'électrons et de rayonnements X et γ . Les données du *tableau II* concernent les principales émissions dont le pourcentage est supérieur à 1% et l'énergie est supérieure à 1 keV. Comme le montre ce tableau, l'intérêt du césium-137 comme référence métrologique réside non seulement dans son temps de vie mais aussi dans la forme de son spectre d'énergie des X/ γ , quasi monoénergétique à 662 keV.

▽ Principales émissions du césium-137

Tableau II

Principales émissions	Énergie (keV)	Pourcentage d'émission (%)
Bêta (E_{max})	514	94,4
	1176	5,6
Électrons	3-4,5	7,4
	624	7,9
	656	1,1
X- γ	31,8	2,0
	32,2	3,8
	662	85

Propriétés biologiques

Le césium incorporé par l'homme se distribue comme son homologue et compétiteur naturel, le potassium, dans l'ensemble de l'organisme en se concentrant préférentiellement dans le muscle. Son absorption par le système gastro-intestinal est rapide et presque complète.

Pour l'inhalation, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), à partir de données humaines et animales, retient pour le césium-137 le type F (absorption sanguine rapide).

Après ingestion de césium-137, la CIPR considère que presque tout le césium incorporé est absorbé dans la circulation sanguine ($f_1=1$ pour tous les composés).

Une fois absorbé, le césium-137 se distribue relativement uniformément dans tous les tissus et y séjourne pour l'essentiel (90%) durant environ une centaine de jours chez l'adulte.

La CIPR note que cette durée de rétention est significativement plus courte chez la femme que chez l'homme; chez l'enfant, elle est de l'ordre d'un mois et augmente avec l'âge en lien avec la variation de la masse musculaire.

Le césium-137 est principalement excrété par voie urinaire (environ quatre fois plus que dans les selles).

2. UTILISATIONS

Le césium-137 n'est que rarement utilisé sous forme de source non scellée. On notera toutefois que le césium-137 peut être utilisé en recherche, en radiotoxicologie par exemple. Il se rencontre également dans le cycle nucléaire.

Des sources scellées de césium-137 sont utilisées en brachythérapie (activités de l'ordre de 10^9 Bq par source). Toutefois dans cette application le césium-137 disparaît au profit de l'iridium-192. Des sources plus intenses sont utilisées pour irradier des produits sanguins (activités de l'ordre de 10^{13} à 10^{15} Bq).

Des sources scellées de césium-137 équipent des irradiateurs de laboratoires (activités $> 10^{12}$ Bq).

Des sources scellées de césium-137 sont utilisées dans l'industrie, principalement pour des mesures de densité et l'étalonnage d'appareillages. Elles sont également utilisées dans différentes techniques (positionnement en gammagraphie, diagraphie, mesures d'épaisseur et de niveau).

Des sources scellées de césium-137 sont également utilisées dans l'enseignement.

Le risque d'exposition au césium-137 existe lors de la fabrication des sources, en cas d'endommagement des sources ou de dispersion accidentelle.

3. PARAMÈTRES DOSIMÉTRIQUES

Exposition externe

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

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
$\dot{H}_p(0,07)$	2×10^3	$1,8 \times 10^2$	$1,8 \times 10^0$
$\dot{H}_p(10)$	$9,2 \times 10^0$	$1,0 \times 10^0$	$9,2 \times 10^{-2}$

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

Tableau IV

	Débit de dose au contact en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		Débit de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq	
	Tenu en main	Sous le flacon	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$7,0 \times 10^2$	$1,1 \times 10^3$	$1,2 \times 10^0$	$9,1 \times 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet ⁽¹⁾	Sans objet ⁽¹⁾	$9,7 \times 10^{-1}$	$8,7 \times 10^{-2}$

▽ Seringue en polyéthylène pleine

Tableau V

	Débit de dose au contact en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		Débit de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq (seringue de 5 mL ^{**})		
	Seringue 2 mL [*]	Seringue 5 mL ^{**}	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$6,5 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3$	$1,8 \times 10^1$	$2,6 \times 10^0$	$1,4 \times 10^{-1}$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet ⁽¹⁾	Sans objet ⁽¹⁾	$9,0 \times 10^0$	$1,0 \times 10^0$	$9,0 \times 10^{-2}$

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

Contamination cutanée

Un dépôt uniforme sur la peau de 1 MBq par cm^2 délivre un débit d'équivalent de dose à la peau [$\dot{H}_p(0,07)$] égal à $1,6 \times 10^6 \mu\text{Sv/h}$.

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

Exposition interne

Exposition interne due à une contamination aiguë

Le *tableau VI* donne les valeurs de dose efficace engagée en μSv correspondant à une activité incorporée de 1 Bq de césium-137.

▽ Dose efficace engagée sur 50 ans à la suite d'incorporation de 1 Bq (DPUI) pour les travailleurs de plus de 18 ans pour l'inhalation et l'ingestion (valeurs réglementaires)

Tableau VI

Forme	Inhalation de 1 Bq (par défaut aérosol de 5 μm)		Ingestion de 1 Bq	
	Type	Dose efficace engagée (μSv)	f_1	Dose efficace engagée (μSv)
Tous composés	F	$6,7 \times 10^{-3}$	1	$1,3 \times 10^{-2}$

Le facteur f_1 indique quelle fraction de la radioactivité présente dans l'intestin grêle passe dans le sang. Il caractérise l'absorption gastro-intestinale des composés. Dans le cas du césium-137, il est pris égal à 1 pour tous les composés.

Selon la modélisation de la CIPR, les organes contribuant principalement à la dose efficace, après inhalation ou ingestion, sont la moelle osseuse, l'estomac, les poumons, les gonades et le côlon (11 à 21 % selon l'organe).

Les modes d'incorporation classiques considérés dans le *tableau VI* ne permettent pas de couvrir des situations accidentelles telles qu'une blessure, une piqûre ou une brûlure au cours desquelles le radionucléide passe directement dans le sang. Ces situations nécessitent une évaluation par des experts.

Exposition interne due à une contamination chronique

La règle admise par la CIPR (hypothèse linéaire) est de considérer l'incorporation chronique comme une succession d'incorporations aiguës ; en conséquence, pour une incorporation d'1 Bq/jour pendant n jours, multiplier les valeurs précédentes par n.

4. DÉTECTION ET MESURES

Le *tableau VII* résume les techniques de surveillance de l'exposition au césium-137.

▽ Techniques de surveillance

Tableau VII

	Appareil de mesure
Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant ($\mu\text{Sv/h}$)	Radiamètre équipé d'une sonde γ/X
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm^2)	Sonde β ou γ/X , ou frottis, ou contaminamètre
Recherche de petits foyers de contamination	Sonde β ou γ/X , ou frottis
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m^3)	Mesure par prélèvement sur filtre

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

La mesure du débit d'équivalent de dose ambiant est particulièrement aisée du fait de la présence de la raie γ à 662 keV.

Mesure de la contamination surfacique (Bq/cm^2) et de petits foyers de contamination

La mesure d'une contamination surfacique en césium-137 peut être réalisée :

- soit directement à partir du taux de comptage en impulsions par seconde au moyen d'une sonde β ou X/γ placée au plus près de la surface à contrôler (< 5 cm). On peut également mesurer le césium-137 avec un contaminamètre donnant une lecture en Bq/cm^2 . Veiller à ce que l'appareil soit adapté à la mesure du césium-137. En cas de doute, contacter le constructeur ;
- soit indirectement par frottis (dont le taux de comptage est mesuré avec une sonde β ou X/γ dont la surface est supérieure ou égale à celle du frottis) en ayant pris soin de définir une surface standard et un rendement de frottis représentatif des conditions du prélèvement. La technique du frottis est délicate compte tenu de la difficulté de proposer une valeur précise de rendement. Dans le cas où celui-ci ne peut pas être évalué, il est suggéré de retenir la valeur de 10% telle qu'indiqué dans la norme NF-ISO 7503-1⁽²⁾.

Relation entre le taux de comptage et l'activité surfacique

$$A_s = \frac{n}{R_d \times S \times K}$$

où **A_s** est l'activité surfacique en Bq/cm^2
n est le taux de comptage en impulsions par seconde après soustraction du bruit de fond
R_d est le rendement de détection de la sonde en % (sous 4π)
S est la surface frottée ou la surface utile de la sonde en cm^2
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 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 petite taille.

Mesure de la contamination atmosphérique (Bq/m^3)

Un système de mesure en continu équipé d'un filtre permet de détecter une éventuelle contamination atmosphérique et d'en mesurer l'évolution. Les points de prélèvement sont situés 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.

Compte tenu des propriétés radiophysiques du césium-137 rappelées plus haut (voir partie 2), les émissions de rayonnements gamma et bêta sont prises en compte pour évaluer les risques d'exposition externe et interne.

Installation des locaux

Les locaux dans lesquels le césium-137 est manipulé sont réservés à ces activités et situés à l'écart des circulations générales :

- le revêtement des sols et des surfaces de travail est en matériau lisse, imperméable, sans joint et facile à décontaminer ;
- les équipements de travail, mis en dépression, bénéficient d'une ventilation indépendante du système général de ventilation et suffisante ;
- 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 ainsi qu'un appareil de contrôle de la contamination ;
- les éviers susceptibles de recevoir des effluents liquides contaminés sont clairement identifiés, comportent des robinets à commande non manuelle et sont reliés à des dispositifs de rétention (conteneur, cuves...).

Le cas échéant, le transfert d'une source d'un local à un autre doit se faire à l'aide d'un dispositif adapté permettant une protection contre l'exposition externe et évitant le risque de dispersion.

Protection contre l'exposition externe

Le césium-137 présente un risque d'exposition externe corps entier du fait de son émission γ ; de plus, compte tenu de son émission β énergétique, il présente également un risque d'exposition des extrémités important.

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 : utiliser des pinces longues voire des systèmes automatisés pour manipuler le césium-137 ;
- interposer un ou plusieurs écran(s) entre la source de rayonnements et les personnes.

L'utilisation de boîtes à gants est à privilégier. Les gants utilisés pour éviter les risques de contamination cutanée ne constituent pas une protection efficace des mains contre l'exposition externe.

(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 ».

Les épaisseurs d'écran renseignées au [tableau VIII](#) ont été évaluées en termes de diminution du débit d'équivalent de dose due à l'émission des rayonnements X/γ. Ces épaisseurs sont suffisantes pour arrêter les électrons.

▽ *Caractéristiques des écrans permettant de diminuer le débit d'équivalent de dose lié au césium-137*

Tableau VIII

	Épaisseur d'eau	Épaisseur de béton*	Épaisseur de plomb
Diminution d'un facteur 10 du débit d'équivalent de dose	580 mm	250 mm	24 mm
Diminution d'un facteur 2 du débit d'équivalent de dose	270 mm	110 mm	8 mm

* Masse volumique = 2,35 g/cm³.

Protection contre l'exposition interne

La manipulation du césium-137 sous forme non scellée se fait sous hottes ou boîtes à gants ventilées et plombées selon l'activité manipulée.

L'utilisation des EPI est nécessaire :

- gants (il est rappelé qu'après manipulation, un lavage des mains est néanmoins nécessaire) ;
- blouse à manches longues, fermée ;

- lunettes de protection ;
- le cas échéant, dispositifs de protection respiratoire.

6. DÉLIMITATION ET CONTRÔLE 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 lesquels du césium-137 est manipulé et entreposé.

Délimitation des zones réglementées

Le zonage est justifié et formalisé 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 en vigueur.

Toute mesure appropriée est prise pour empêcher l'accès non autorisé aux zones où les sources radioactives sont utilisées et entreposées.

La délimitation des locaux prend en compte à la fois les risques d'exposition externe et interne liés aux sources manipulées et entreposées ([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)

Zone non réglementée	Zones réglementées				
	Zones spécialement réglementées				
<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 	Zone surveillée gris-bleu	Zone contrôlée verte	Zone contrôlée jaune	Zone contrôlée orange	Zone interdite rouge
	$E < 7,5 \mu\text{Sv}$	$E < 25 \mu\text{Sv}$	$E < 2 \text{ mSv}$ et $\text{DDD} < 2 \text{ mSv}/\text{h}$	$E < 100 \text{ mSv}$ et $\text{DDD} < 100 \text{ mSv}/\text{h}$	$E > 100 \text{ mSv}$ 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

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

Contrôles

Les contrôles techniques réglementaires de radioprotection sont présentés dans le *tableau XI* ; les appareils de mesure pour réaliser ces contrôles 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 (Bq/cm^2)	
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m^3)	

En complément des contrôles réglementaires, les bonnes pratiques suivantes sont recommandées :

- la vérification régulière de la contamination surfacique après chaque manipulation et en cas d'incident sur les paillasses, 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 est adapté à la fréquence des manipulations ;
- la mesure de la contamination atmosphérique en continu au niveau de chaque poste de travail si un risque de contamination atmosphérique est identifié ou en cas de dispersion accidentelle ;
- 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, incluant les situations incidentelles raisonnablement prévisibles, 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 ces travailleurs exposés, ceux susceptibles de recevoir une dose efficace supérieure à 6 mSv/an (la limite annuelle de dose efficace étant de 20 mSv) ou une dose équivalente supé-

rieure aux trois dixièmes des limites annuelles d'exposition fixées pour les extrémités (500 mSv), la peau (500 mSv) ou le cristallin (150 mSv⁽³⁾) sont classés par l'employeur en catégorie A après avis du médecin du travail (*tableau XII*), ceux ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B.

De plus, la femme enceinte, l'étudiant ou l'apprenti de moins de dix-huit ans ne peuvent être affectés 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 cm^2 de la peau	Dose équivalente au cristallin
Travailleurs exposés de catégorie A	> 6 mSv sur 12 mois consécutifs	> 150 mSv	> 150 mSv	> 45 mSv
Travailleurs exposés de catégorie B	\leq 6 mSv sur 12 mois consécutifs	\leq 150 mSv	\leq 150 mSv	\leq 45 mSv

Formation du personnel

Tous les personnels, classés ou non, devant intervenir en zone réglementée bénéficient d'une formation à la radioprotection, organisée par l'employeur et renouvelée au moins tous les trois ans, 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 du césium-137 et aux procédures particulières de radioprotection propres au poste de travail occupé ainsi qu'aux règles de conduite à tenir en cas de situation anormale.

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

Surveillance médicale des travailleurs exposés

Les points importants sont les suivants :

- la surveillance médicale est renforcée pour les travailleurs classés en catégorie A et B, avec en catégorie A une surveillance au moins une fois par an ;
- le médecin du travail peut choisir de prescrire des examens complémentaires ;
- en cas de grossesse, il appartient au médecin du travail d'évaluer si la femme enceinte peut rester au poste de travail ; la dose de l'enfant à naître reste dans tous les cas inférieure à 1 mSv entre la déclaration de grossesse et l'accouchement ;

(3) Attention : La valeur limite actuelle de 150 mSv/an devrait être abaissée à 20 mSv/an suite à la révision des normes de base européennes (directive 2013/59/EURATOM).

- il est 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) ;
- 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

Exposition externe

Dosimètre passif individuel :

- Catégorie A : période de port mensuelle
- Catégorie B : période de port mensuelle ou trimestrielle

Dosimètre opérationnel [avec mesure de $H_p(0,07)$] pour toute opération en zone contrôlée, quelle que soit la catégorie du travailleur

La dosimétrie des extrémités (de type bague) est fortement recommandée pour toute manipulation (préparation, injection...) de source de césium-137, en tout état de cause obligatoire lorsque la dose équivalente aux extrémités est susceptible de dépasser 50 mSv par an.

Exposition interne

L'exposition interne est évaluée par examen anthroporadiométrique du corps entier de préférence, ou par analyse radiotoxologique des urines par spectrométrie γ .

Dans le cas de manipulation régulière de césium-137, l'ISO (International Standard Organisation)⁽⁴⁾ recommande de ne pas dépasser 180 jours entre deux examens.

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

En cas de résultat positif, le médecin du travail demande des contrôles ultérieurs pour suivre l'évolution du niveau de l'exposition interne ; il analyse les circonstances de l'exposition avec l'appui de la personne compétente en radioprotection (PCR).

8. EFFLUENTS ET DÉCHETS

Chaque établissement met en œuvre un plan de gestion individualisé définissant les modalités de tri, de conditionnement, d'entreposage, 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...).

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

Déchets solides

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...) font l'objet d'un tri répondant aux spécifications de l'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.

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

Le cas échéant, les effluents liquides sont entreposés vers un système d'entreposage (cuve, conteneur...). Les canalisations y sont étanches et résistent à l'action physique et chimique des effluents concernés. Les cuves d'entreposage sont, quant à elles, équipées de dispositifs de mesure de niveau et de prélèvement. Elles fonctionnent alternativement en remplissage et en entreposage de décroissance. Ces systèmes sont installés dans un local indépendant, ventilé et fermé à clé. Ils sont situés au-dessus d'un cuvelage de sécurité permettant la rétention de liquide en cas de fuite et munis d'un capteur de fuite.

Les effluents gazeux sont retenus sur des filtres qui sont contrôlés puis éliminés comme déchets radioactifs solides.

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

Dans le cadre d'applications non médicales, l'autorisation est requise au titre du code de la santé publique dès lors que l'activité de césium-137 détenue ou utilisée est égale ou supérieure à 10^4 Bq et si la concentration d'activité est égale ou supérieure à 10 Bq/g dans la limite d'une tonne (tableau XIII). L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) accorde les autorisations et reçoit les déclarations.

▽ Régime d'autorisation ou de déclaration du code de la santé publique pour le césium-137

Tableau XIII

Quantité	Concentration	
	< 10 Bq/g	≥ 10 Bq/g
< 10^4 Bq	Exemption*	Exemption
≥ 10^4 Bq	Exemption*	Autorisation requise

* Pour autant que les masses des substances mises en jeu soient au plus égales à 1 tonne.

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

Cependant, si une activité nucléaire relève du régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) pour une autre rubrique de la nomenclature, la déclaration auprès du préfet du département est imposée lorsque l'activité détenue est égale ou supérieure à 10^4 Bq pour le césium-137. À partir de 10^8 Bq (seuil d'exemption $\times 10^4$), l'autorisation est requise.

Dans le cadre d'applications médicales, la détention et l'utilisation de césium-137 sont soumises à autorisation préalable prise au titre du code de la santé publique et délivrée par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), quelles que soient les activités détenues et manipulées.

10. TRANSPORTS ROUTIERS

Tous les transports ne sont pas soumis à la réglementation concernant le transport des matières dangereuses (matières radioactives : classe 7). Pour le césium-137, cette réglementation ne s'applique pas si l'activité massique de la matière transportée est inférieure à 10 Bq/g ou si l'activité totale est inférieure à 10^4 Bq.

Si les deux seuils d'activité massique et d'activité par envoi sont dépassés, le transport est soumis aux dispositions réglementaires en vigueur.

Se référant au règlement de transport des matières radioactives⁽⁵⁾, la démarche de base est ici décrite de manière succincte par trois prescriptions générales.

L'expéditeur est le premier responsable du respect des exigences qui sont détaillées dans les règlements applicables aux transports. En particulier, le choix de l'emballage dépend du niveau de risque associé à la matière transportée (tableau XIV). 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 césium-137, la valeur de A2 vaut 0,6 TBq.

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

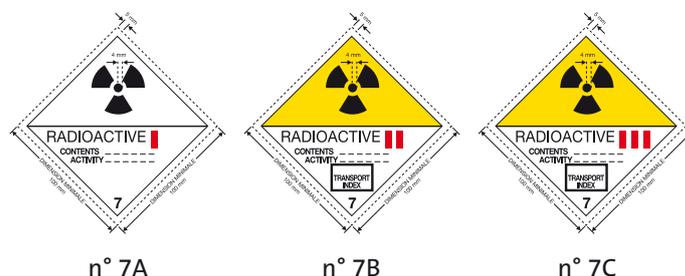
Tableau XIV

Type de colis	Activité mise en jeu pour le césium-137	Caractéristiques imposées au colis
Colis exceptés	< 0,6 GBq (< A2/1000)	Pas de normes de résistance
Colis de type A	< 0,6 TBq (< A2)	Conçu pour résister à des accidents mineurs de manutention
Colis de type B	> 0,6 TBq (> A2)	Étanche et blindé

Le césium-137 étant émetteur β/γ , la règle générale qui s'applique pour la contamination non fixée sur les surfaces externes d'un colis est d'être maintenue aussi faible que possible et en tout état de cause de ne pas dépasser 4 Bq/cm² en moyenne sur 300 cm².

(5) Règlement de transport des matières radioactives, normes de sûreté de l'AIEA en vigueur.

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-dessous, choisie en fonction des débits d'équivalent de dose mesurés autour du colis (tableau XV).



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

Tableau XV

Indice de transport (IT) ⁽⁶⁾	Débit d'équivalent de dose en tout point de la surface	Étiquette
0	DDD \leq 5 μ Sv/h	I – BLANCHE
Plus de 0 mais pas plus de 1	5 μ Sv/h < DDD \leq 500 μ Sv/h	II – JAUNE
Plus de 1 mais pas plus de 10	500 μ Sv/h < DDD \leq 2 mSv/h	III – JAUNE
Plus de 10	2 mSv/h < DDD \leq 10 mSv/h ⁽⁷⁾	III – JAUNE et transport exclusif

11. CONDUITE À TENIR EN CAS D'INCIDENT/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 caractériser le risque de contamination des locaux et/ou du matériel, évaluer l'exposition d'une personne, et enfin déclarer l'événement.

(6) 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 ne dépasse pas 1 m².

(7) 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.

Dès la découverte de l'événement :

- Suivre les consignes de sécurité affichées.
- Alerter la personne compétente en radioprotection, le responsable de l'installation et le médecin du travail.
- Avertir le personnel et si nécessaire le faire évacuer de la zone.
- 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).

Contamination des locaux et/ou du matériel

- Déterminer l'étendue de la zone contaminée, délimiter et baliser un périmètre de sécurité. Le césium est détectable à l'aide d'un radiamètre équipé d'une sonde γ/X .
- Décontaminer de l'extérieur vers l'intérieur avec du matériel jetable. Si les surfaces sont contaminées, il est recommandé d'utiliser des détergents de laboratoire exemple : TFD 4, FDK...
- En fin de décontamination, procéder à des contrôles (sonde, frottis) afin de s'assurer de l'absence de contamination résiduelle.

Toute contamination de locaux et/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 portent, *a minima*, des gants, une surtenuie, et des surbottes (étanches en cas déversement de liquide); dans le doute, un appareil de protection des voies respiratoires est recommandé.

Exposition externe et interne d'une personne

Exposition due à une source distante

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

Contamination cutanée

- Contrôler avec du matériel adapté les mains, la blouse, les cheveux, la barbe, les chaussures (éventuellement, les sécrétions nasales).
- 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 irriter la peau afin de ne pas favoriser le passage transcutané du contaminant (le césium est difficile à éliminer; sa période au niveau de la peau est de quelques jours; le dépôt d'une activité importante peut entraîner une dose locale élevée et par conséquent une radiodermite).

- 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 aussi complète et rapide que possible de façon à éviter une contamination interne induite.

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

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.

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

Il est nécessaire de :

- déterminer l'activité manipulée ;
- faire réaliser si possible un examen anthroporadiométrique et débiter immédiatement les prélèvements urinaires sur une période de 24 heures pour examen par l'IRSN ou par un organisme agréé. En outre, des prélèvements pour analyse du mucus nasal sont recommandés ;
- si le résultat est positif, le médecin du travail demande des mesures anthroporadiométriques ou 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 2 heures qui suivent la contamination). Le traitement préconisé est l'administration de Bleu de Prusse (ferrocyanure de fer). Contacter l'IRSN pour plus d'information (dispositif d'alerte de l'IRSN : 06 07 31 56 63).

Exemple d'évaluation de la dose efficace engagée (inhalation de césium-137 sous forme particulaire (5 µm), type F)

Le calcul de la dose efficace engagée s'effectue de la manière suivante :

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

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

Avec :

E = dose efficace engagée

I = activité incorporée lors de la contamination

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

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

DPUI = dose efficace engagée par unité d'incorporation

Le **tableau XVI** présente les valeurs de rétention corps entier et d'excrétion urinaire évaluées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) qui sont utilisées pour interpréter les valeurs d'activités mesurées.

▽ Valeurs de rétention corps entier et d'excrétion urinaire, en Bq par Bq incorporé, pour l'inhalation de césium-137 sous forme particulaire (5 µm)

Tableau XVI

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

Exemple numérique utilisant le résultat de la première mesure anthroporadiométrique

Un jour après une contamination interne, la mesure anthroporadiométrique corps entier indique la présence de césium-137 avec une activité mesurée de 2,4 MBq.

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

$$I = (2,4 \times 10^6) / (6 \times 10^{-1}) = 4,0 \times 10^6 \text{ Bq}$$

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

$$E = (4,0 \times 10^6) \times (6,7 \times 10^{-3}) = 2,7 \times 10^4 \text{ µSv}$$

Exemple numérique utilisant les résultats des analyses urinaires

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

$$A_{J1} = 2,3 \times 10^4 \text{ Bq sur 24 heures}$$

$$A_{J2} = 3,4 \times 10^4 \text{ Bq sur 24 heures}$$

$$A_{J3} = 2,7 \times 10^4 \text{ Bq sur 24 heures}$$

Suivant le **tableau XVI**, l'évaluation de l'activité inhalée sur la base des mesures d'excrétion à J1, J2 et J3 donne :

$$I_{J1} = (2,3 \times 10^4) / (7,9 \times 10^{-3}) = 2,9 \times 10^6 \text{ Bq}$$

$$I_{J2} = (3,4 \times 10^4) / (1,1 \times 10^{-2}) = 3,1 \times 10^6 \text{ Bq}$$

$$I_{J3} = (2,7 \times 10^4) / (8,8 \times 10^{-3}) = 3,1 \times 10^6 \text{ Bq}$$

L'activité incorporée est égale, en première approche, à la moyenne des trois valeurs de I :

$$I = 3,0 \times 10^6 \text{ Bq}$$

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

$$E = (3,0 \times 10^6) \times (6,7 \times 10^{-3}) = 2,0 \times 10^4 \text{ µSv}$$

Déclarations à effectuer

Tout incident ou accident est consigné dans le registre d'hygiène et de sécurité et fait l'objet d'une information au CHSCT.

Tout accident du travail est 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⁽⁸⁾ (notamment le critère 1 relatif à la protection des travailleurs) est 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 est également 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) est signalé à l'ASN, au préfet compétent et à l'IRSN.

(8) – 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, INSERM 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),
- Patrick Moureaux (INRS),
- Pascal Pihet (IRSN),
- Alain Rannou (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 • www.inrs.fr • info@inrs.fr



Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
31, avenue de la Division-Leclerc 92260 Fontenay-aux-Roses
Tél. 01 58 35 88 88 • www.irsn.fr