

décembre 2013

**RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES**

**ED 4317**

**$^{232}_{90}\text{Th}$**

## Thorium-232

▷ Émissions principales (Th-232 seul) :

$\alpha$  : 2 raies à 4 MeV  
 $e^-$  :  $E_{\text{moyenne}} = 47$  keV  
X : de 3 à 14 keV

▷ Émissions principales (Th-232 à l'équilibre radioactif avec ses descendants) :

$\alpha$  : 8 raies de 4 à 9 MeV  
 $\beta^-$  :  $E_{\text{max}} =$  de 600 keV à 2 MeV  
 $\gamma$  : de 200 keV à 3 MeV

▷ Période physique :  $1,4 \times 10^{10}$  ans

▷ Seuils d'exemption :

Th-232 seul :  $10^4$  Bq, 10 Bq/g  
Th-232 à l'équilibre radioactif avec ses descendants :  
 $10^3$  Bq, 1 Bq/g

▷ Organes critiques en termes de dose efficace : poumons, moelle osseuse, surface osseuse, gonades

▷ Surveillance du poste de travail : mesures de débit d'équivalent de dose ambiant et de la contamination surfacique

▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : dosimétrie passive (poitrine et extrémités) si présence significative de descendants

▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : analyse radiotoxicologique, de préférence des selles

*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 à la famille des actinides, le thorium n'existe que sous forme radioactive. À l'état pur, il s'agit d'un métal gris argenté, mou et ductile. Il est pyrophorique sous forme de poudre.

Le thorium possède des propriétés physico-chimiques qui en ont fait un matériau de choix pour diverses applications. Le thorium métal a une masse volumique de  $11,7 \text{ g.cm}^{-3}$ . Son point de fusion est de  $1750^\circ\text{C}$  et son point d'ébullition est de  $4785^\circ\text{C}$ . Qui plus est, sous la forme commune dans ses applications de dioxyde ( $\text{ThO}_2$ , thorine), il garde une masse volumique et un point de fusion élevé ; il est un des meilleurs matériaux réfractaires.

Dans cette fiche, on distingue le thorium-232 seul (ci-après dénommé Th-232 seul) du thorium-232 à l'équilibre avec ses descendants (ci-après dénommé Th-232 à l'équilibre). La période radioactive du thorium-232 (~ 10<sup>10</sup> années) étant très longue par rapport à celles de ses descendants (période la plus longue de 5,8 ans pour le <sup>228</sup>Ra), dans un espace confiné, leurs activités s'égalisent avec celle du thorium-232 après 60 ans : dans ce cas, 1 Bq de thorium-232 engendre une activité totale de 10 Bq. Dès lors :

- dans le cas du thorium-232 seul, seule l'exposition aux rayonnements alpha est à considérer ;
- dans le cas du thorium-232 à l'équilibre, une exposition à des émetteurs alpha, bêta et gamma est à considérer. L'activité d'extraction du thorium dans la monazite en est un exemple ;
- dans des cas intermédiaires, le temps d'utilisation peut être suffisamment long pour permettre la génération non négligeable de descendants ; à titre indicatif, l'activité totale des descendants est égale à 10% de celle du thorium-232 après 3 mois et 5,3 fois plus importante que celle du thorium-232 après 10 ans. En pratique, avant 3 mois, le thorium-232 peut être considéré comme seul ; le cas du thorium-232 à l'équilibre est majorant.

Ces fiches de radioprotection visent les activités dans lesquelles des radionucléides sont utilisés pour leurs propriétés radioactives (activités nucléaires). L'essentiel des activités industrielles impliquant les manipulations de matériaux contenant du thorium-232 n'utilisent pas le thorium-232 pour ses propriétés radioactives (exemples : soudage, extraction...). Pour ces activités non nucléaires, la plupart des recommandations figurant dans cette fiche sont applicables, sans préjudice de dispositions plus spécifiques à ces activités.

On notera également que le thorium-232 fait partie des matières nucléaires relevant du Code de la défense, auxquelles s'appliquent des règles de gestion spécifiques et qui font l'objet de contrôles extrêmement rigoureux à la fois aux niveaux international et national.

## 1. CARACTÉRISTIQUES

### Origine

Trois à quatre fois plus abondant que l'uranium dans la croûte terrestre, le thorium est principalement extrait de la monazite (phosphates riches en terres rares et thorium) qui contient entre 10% et 12% de ThO<sub>2</sub>.

### Propriétés radiophysiques

Le thorium-232 a une période radioactive très longue (1,4 x 10<sup>10</sup> ans) et une très faible activité massique (4,05 x 10<sup>3</sup> Bq/g).

Le thorium-232 seul se désintègre par émission de particules alpha. Cette transition nucléaire (désintégration) est accompagnée par l'émission d'électrons et de rayonnements X et gamma. Le *tableau I* présente les émissions d'énergie supérieure à 1 keV dont le pourcentage est supérieur à 1%.

▽ Principales émissions du thorium-232 seul **Tableau I**

Principales émissions	Énergie (keV)	Pourcentage d'émission (%)
Alpha	3950	3950
	4012	78
Électrons	2,2-2,6	24
	9,5-12,5	8
	45-48	16
	60-64	5,8
X	2,9	1,2
	12-15	5,5

La filiation du thorium-232 comprend 11 radionucléides (*tableau II*). La désintégration (alpha) du thorium-232 engendre le radium-228 (émetteur β de période 5,75 ans). Elle est suivie par une succession de désintégrations, accompagnées de l'émission de rayonnements gamma et bêta dont l'énergie peut être élevée, pour aboutir au plomb-208 stable.

Parmi les descendants du thorium-232, on note le radon-220 (Rn-220 ; période = 55,6 s), gaz émetteur alpha.

▽ Filiation du thorium-232 **Tableau II**

Produits de filiation	radium-228, actinium-228, thorium-228, radium-224, radon-220, polonium-216, plomb-212, bismuth-212, polonium-212, thallium-208, plomb-208 (stable)
Équations	${}^{228}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{89}\text{Ac} \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} {}^{224}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{220}_{86}\text{Rn} \xrightarrow{\alpha} {}^{216}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha}$ ${}^{212}_{82}\text{Pb} \xrightarrow{\beta} {}^{212}_{83}\text{Bi} \xrightarrow{\beta} {}^{212}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{208}_{82}\text{Pb} \text{ (stable)}$ $\xrightarrow{\beta} {}^{208}_{81}\text{Tl} \xrightarrow{\beta} {}^{208}_{82}\text{Pb} \text{ (stable)}$

Le *tableau II bis* présente les principales émissions (énergie ≥ 200 keV, pourcentage ≥ 10%) du thorium-232 et ses descendants. Concernant les émissions qui accompagnent les transitions nucléaires alpha et bêta, seules les raies gamma significatives sont présentées (les électrons et les rayonnements X sont de basses énergies).

▽ Principales émissions du thorium-232 à l'équilibre avec ses descendants **Tableau II bis**

Principales émissions	Énergie (keV)	Pourcentage d'émission (%)
Alpha	3950	22
	4012	78
	5346	99
	5673	100
	6061	35
	6288	100
	6778	100
	8784	64
Bêta (E <sub>max</sub> )	574	12
	1803	18
	2254	35
Gamma	239	43
	330	15
	583	30
	910	27
	960	21
	2615	36

## Propriétés biologiques du thorium-232 seul

Pour l'inhalation, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), à partir de données humaines et animales, retient deux types de solubilité pour le thorium-232. Le type S (absorption sanguine lente) est recommandé pour les oxydes et hydroxydes. Le type M (absorption sanguine moyenne) est recommandé par défaut dans les cas non spécifiés.

Après ingestion d'une quantité de thorium-232, 0,02 à 0,05 % (selon sa solubilité) passe dans la circulation sanguine.

Une fois transféré au sang, le thorium-232 se distribue entre l'os, le foie et le reste du corps. L'évolution dans le temps de ces rétentions met en jeu le recyclage dans le compartiment sanguin de l'activité éliminée de ces organes.

Le thorium-232 est excrété par voie urinaire et fécale dans des proportions qui dépendent de sa forme physico-chimique.

## 2. UTILISATIONS

Les applications industrielles du thorium-232 sont dues à ses propriétés physico-chimiques, principalement sa température de fusion élevée et aux propriétés réfractaires du  $\text{ThO}_2$ . Elles sont multiples (industrie aéronautique, électronique, chimique, production de céramiques et matériaux réfractaires). On retient en particulier les électrodes au tungstène thorié pour la soudure à l'arc (soudage TIG<sup>(1)</sup>). L'utilisation de thorium dans les manchons pour lampes à incandescence et dans les anciens modèles de parasurtenseurs (ou parafoudre) de protection des réseaux téléphoniques n'est plus aujourd'hui autorisée mais ces dispositifs ont été fabriqués en grande quantité et se rencontrent encore.

L'utilisation de sources de thorium-232 est peu répandue en France et concerne principalement l'étalonnage d'appareils de mesure.

Le thorium-232 n'est pas fissile mais fertile dans la mesure où il peut engendrer de l'uranium-233 après capture d'un neutron. Le thorium-232 pourrait ainsi être à la base d'une filière de production d'énergie nucléaire différente de celle utilisée actuellement.

L'utilisation du thorium-232 en médecine, en particulier comme produit de contraste en radiologie (thorotrast), a été abandonnée dans les années cinquante.

À noter que le thorium peut aussi se retrouver de manière fortuite dans certaines activités (recyclage de matériaux, terres rares...).

## 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 et IV* donnent le débit d'équivalent de dose en fonction de la distance exprimé en  $\mu\text{Sv/h}$  pour une source sphérique de  $25 \text{ cm}^3$  contenant  $1,2 \text{ MBq}$  de thorium-232. La source atteint en effet dans le cas du thorium-232 une masse et un volume tels qu'elle ne puisse plus être traitée comme une source ponctuelle. 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). Pour le thorium-232 seul (*tableau III*), les débits d'équivalent de dose sont très inférieurs au bruit de fond naturel : les valeurs inférieures à  $1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$  n'ont pas été reportées. Le thorium-232 seul n'émet en effet que des rayonnements X de basse énergie (*tableau I*). Les descendants du thorium-232 émettent eux des rayonnements électroniques et des photons d'énergies nettement plus élevées (*tableau II bis*). Les valeurs sont données pour le cas majorant du thorium-232 à l'équilibre (*tableau IV*). En général, les résultats pour différentes sources dépendent de la forme du volume et de l'état d'équilibre (donc de l'âge de la source), ce qui nécessite un calcul spécifique au cas par cas comme l'illustrent la figure 1 pour  $\dot{H}_p(10)$  et la figure 2 (page suivante) pour  $\dot{H}_p(0,07)$ .

▽ Sources sphériques (Th-232 seul)

Tableau III

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

▽ Sources sphériques (Th-232 à l'équilibre)

Tableau IV

	Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour $1,2 \text{ MBq}$		
	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$2,4 \times 10^1$	$3,2 \times 10^0$	$2,8 \times 10^{-1}$
$\dot{H}_p(10)$	$1,0 \times 10^1$	$1,4 \times 10^0$	$1,4 \times 10^{-1}$

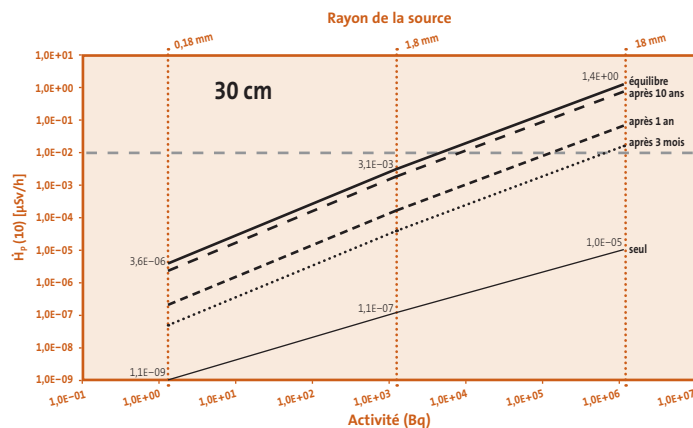


Figure 1. Débit d'équivalent de dose à 10 mm de profondeur dans les tissus pour des sources sphériques de différents volumes et de différents âges, à 30 cm du centre de la source

(1) TIG pour *Tungsten Inert Gas*. Le soudage TIG est un procédé de soudage à l'arc avec une électrode non fusible.

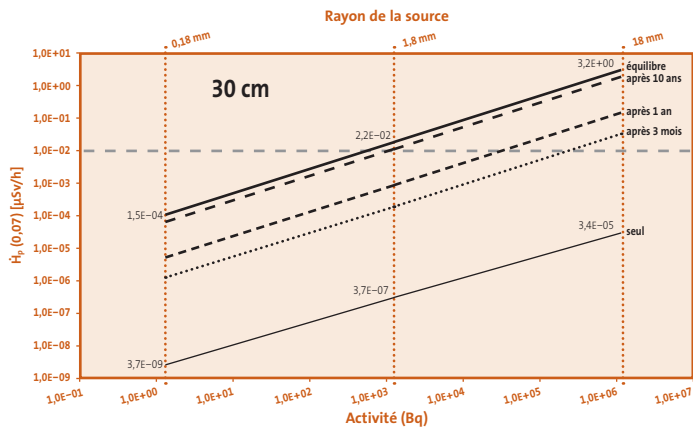


Figure 2. Débit d'équivalent de dose à 70 μm de profondeur sous la peau pour des sources sphériques de différents volumes et de différents âges, à 30 cm du centre de la source

### Contamination cutanée

Un dépôt uniforme sur la peau de 1 Bq par cm<sup>2</sup> délivre un débit d'équivalent de dose à la peau [ $H_p(0,07)$ ] égal à  $1,7 \times 10^{-3}$  μSv/h pour le thorium-232 seul, et à 5,1 μSv/h pour le thorium-232 à l'équilibre. Ces évaluations ne tiennent pas compte de l'atténuation dans le dépôt. Celle-ci doit être évaluée au cas par cas.

En résumé, il n'existe pas pour le thorium-232 de règle générale pour prendre à la fois en compte la géométrie de la source, l'activité qui y est contenue et son âge. Chaque évaluation est spécifique. À titre d'exemple, le débit d'équivalent de dose à la peau [ $H_p(0,07)$ ] a été évalué au contact à 1,3 μSv/h au milieu d'un paquet de 140 baguettes de soudure TIG, chacune de 1 m de longueur, 2,8 cm<sup>2</sup> de section et contenant (type WT 40) 2,3 kBq de thorium-232 âgé de 1 an.

### Exposition interne

#### Exposition interne due à une contamination aiguë

Le **tableau V** donne les valeurs de dose efficace engagée, en μSv, correspondant à une activité incorporée de 1 Bq de thorium-232 seul.

▽ Doses efficaces engagées sur 50 ans à la suite d'incorporation de 1 Bq de thorium-232 seul (DPU) pour les travailleurs de plus de 18 ans pour l'inhalation et l'ingestion (valeurs réglementaires) **Tableau V**

	Inhalation de 1 Bq (par défaut aérosol de 5 μm)		Ingestion de 1 Bq	
	Type	Dose efficace engagée (μSv)	f <sub>1</sub>	Dose efficace engagée (μSv)
Composés non spécifiés	M	$2,9 \times 10^1$	$5 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-1}$
Oxydes et hydroxydes	S	$1,2 \times 10^1$	$2 \times 10^{-4}$	$9,2 \times 10^{-2}$

Le facteur f<sub>1</sub> 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 thorium-232, il est pris égal à  $5 \times 10^{-4}$  pour les composés plus solubles et à  $2 \times 10^{-4}$  pour les composés moins solubles.

Selon la modélisation de la CIPR, les organes contribuant principalement à la dose efficace (contribution ≥ 10%) sont les suivants :

- après inhalation, type M: moelle osseuse (21%), surface osseuse (60%); gonades (10%);

- après inhalation, type S: poumons (40%), moelle osseuse (14%), surface osseuse (36%);

- après ingestion: moelle osseuse (21%), surface osseuse (61%); gonades (10%).

Le **tableau VI** présente la dose efficace engagée pour une incorporation de 1 Bq de thorium-232 à l'équilibre.

▽ Dose efficace engagée sur 50 ans à la suite d'incorporation de 1 Bq de thorium-232 à l'équilibre pour les travailleurs de plus de 18 ans, en prenant en compte tant pour l'inhalation que l'ingestion la DPU la plus élevée de chacun des descendants **Tableau VI**

Inhalation de 1 Bq (aérosol de 5 μm)	Ingestion de 1 Bq
Dose efficace engagée (μSv)	Dose efficace engagée (μSv)
$6,5 \times 10^1$	$1,0 \times 10^0$

Les modes d'incorporation classiques considérés dans les **tableaux V et 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

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

Le **tableau VII** résume les techniques de surveillance de l'exposition au thorium-232.

▽ Techniques de surveillance **Tableau VII**

	Appareil de mesure
Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant (μSv/h)	Radiamètre équipé d'une sonde γ/X
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm <sup>2</sup> )	Sonde α ou frottis ou contaminamètre β
Recherche de petits foyers de contamination	Sonde α
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m <sup>3</sup> )	Mesure par prélèvement sur filtre

Les modes d'incorporation classiques considérés dans les **tableaux V et 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.

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

Plusieurs descendants du thorium-232 émettent des rayonnements gamma énergétiques, leur mesure est donc possible. La désintégration du thorium-232 seul n'entraîne pas d'émission photonique significative; un résultat inférieur au seuil de détection n'exclut donc pas sa présence.

## Mesure de la contamination surfacique (Bq/cm<sup>2</sup>) et de petits foyers de contamination

La mesure d'une contamination surfacique en thorium-232 peut être réalisée :

- soit directement à partir du taux de comptage en impulsions par seconde au moyen d'une sonde  $\alpha$  placée au plus près de la surface à contrôler (< 5 cm), celle-ci étant maintenue sèche ou séchée. On peut également mesurer les descendants du thorium avec un contaminamètre  $\beta$  donnant une lecture en Bq/cm<sup>2</sup>. Veiller à ce que l'appareil soit adapté à la mesure du thorium-232 et de ses descendants. En cas de doute, contacter le constructeur ;
- soit indirectement par frottis à l'aide d'une compresse (dont le taux de comptage est mesuré avec une sonde  $\alpha$  dont la surface est supérieure ou égale à celle de la compresse) 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<sup>(2)</sup>.

### 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 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<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. Les bouches de prélèvement sont situées au plus proche des postes de travail. L'appareil se situe à l'extérieur du local ou de la zone où le risque de contamination existe.

(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 ».

## 5. MOYENS DE PROTECTION

Le thorium-232 et certains de ses descendants étant des émetteurs  $\alpha$ , il est primordial de se prémunir contre le risque de contamination interne. Le risque d'exposition externe ne doit cependant pas être négligé du fait des émissions de rayonnements associées aux descendants.

### Installation des locaux

Les locaux dans lesquels le risque de dispersion de thorium-232 existe sont réservés à ces activités et situés à l'écart des circulations générales :

- le revêtement des sols et des surfaces de travail sont en matériau facile à nettoyer ;
- des moyens de captage des poussières sont prévus au plus près de leur production ;
- le 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 ;
- l'entreposage de quantités importantes de matériaux contenant du thorium-232 est organisé à distance des postes de travail.

### 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 ;
- interposer un ou plusieurs écran(s) entre la source de rayonnements et les personnes.

Le port de gants est recommandé pour limiter les risques de contamination cutanée aux extrémités.

Les *tableaux VIII et IX* présentent les diminutions de débit d'équivalent de dose possibles pour différents types d'écrans.

▽ *Caractéristiques des écrans permettant de diminuer le débit d'équivalent de dose lié au thorium-232 seul*

**Tableau VIII**

	Épaisseur d'eau	Épaisseur de béton*	Épaisseur de plomb
Diminution d'un facteur 10 du débit d'équivalent de dose	30 mm	2 mm	0,03 mm
Diminution d'un facteur 2 du débit d'équivalent de dose	7 mm	0,45 mm	< 0,01 mm

\* Masse volumique = 2,35 g/cm<sup>3</sup>.

▽ *Caractéristiques des écrans permettant de diminuer le débit d'équivalent de dose lié au thorium-232 à l'équilibre*

**Tableau IX**

	Épaisseur d'eau	Épaisseur de béton*	Épaisseur de plomb
Diminution d'un facteur 10 du débit d'équivalent de dose	700 mm	310 mm	45 mm
Diminution d'un facteur 2 du débit d'équivalent de dose	290 mm	120 mm	11 mm

\* Masse volumique = 2,35 g/cm<sup>3</sup>.

## Protection contre l'exposition interne

Compte tenu de sa radiotoxicité élevée, le risque d'exposition interne est particulièrement considéré pour les opérations susceptibles de générer des poussières de thorium-232. Ces opérations sont effectuées dans des locaux où le captage des poussières à la source est privilégié, qui sont correctement ventilés et régulièrement nettoyés.

Lors de la manipulation de thorium-232 et de matériaux en contenant (exemples : soudage TIG à l'aide d'électrodes de tungstène thorié...), les équipements de protection individuelle (EPI) suivants sont utilisés :

- gants (il est rappelé néanmoins qu'après manipulation, un lavage des mains est nécessaire) ;
- vêtement de travail à manches longues, fermé ;
- protection des yeux contre les poussières ;
- dispositifs de protection respiratoire en fonction de l'analyse des risques au poste de travail tenant compte des conditions de manipulation (contraintes mécaniques, conditions de ventilation, forme physico-chimique des composés, etc.).

## 6. DÉLIMITATION ET CONTRÔLE DES LOCAUX

Les locaux dans lesquels le thorium-232 est manipulé ainsi que les locaux attenants à ceux-ci sont délimités comme des zones contrôlées, surveillées ou non réglementées en fonction de l'activité radiologique utilisée, des dispositions de protection et de confinement mises en œuvre, et le cas échéant de la présence d'autres radionucléides.

### Délimitation des zones réglementées

Le zonage des locaux 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 matières radioactives sont manipulées et entreposées.

La délimitation des locaux prend en compte à la fois les risques d'exposition externe et interne liés aux matières manipulées et entreposées (*tableaux X et XI*).

Tableau X

### 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		
	Zone surveillée gris-bleu	Zone contrôlée verte	Zone contrôlée jaune	Zone contrôlée orange	Zone interdite rouge
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dose efficace susceptible d'être reçue par un travailleur <math>E &lt; 80 \mu\text{Sv}/\text{mois}</math></li> <li>■ Contrôle de l'état de propreté radiologique si risque de contamination dans les zones réglementées attenantes</li> </ul>	$E < 7,5 \mu\text{Sv}$	$E < 25 \mu\text{Sv}$	$E < 2 \text{ mSv}$ 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 XI

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

## Contrôles

Les contrôles techniques réglementaires de radioprotection sont présentés dans le *tableau XII*; les appareils de mesure recommandés pour réaliser ces contrôles sont donnés au *tableau VII*.

### ▽ Contrôles réglementaires

**Tableau XII**

	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 ( $\text{Bq/m}^3$ )	

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

- contrôle régulier de la contamination surfacique sur les matériels, écrans, sols... ;
- vérification régulière de l'état radiologique du matériel et des filtres ; le rythme des contrôles est adapté à la fréquence des manipulations ;
- contrôle régulier de la contamination atmosphérique au poste de travail.

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

(3) 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.

La femme enceinte, l'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 XIII**

	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 mSv sur 12 mois consécutifs	> 150 mSv	> 150 mSv	> 45 mSv
Travailleurs exposés de catégorie B	≤ 6 mSv sur 12 mois consécutifs	≤ 150 mSv	≤ 150 mSv	≤ 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 thorium-232, aux procédures 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 ;
- 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](http://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 interne

En routine, l'exposition interne du thorium-232 est évaluée par analyse radiotoxicologique (séparation radiochimique suivie d'une spectrométrie alpha de haute résolution). L'analyse des selles est la méthode d'analyse radiotoxicologique la plus performante. Dans le cas de manipulation régulière de thorium-232, l'intervalle maximal entre deux examens recommandé par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) est de 180 jours<sup>(4)</sup>. L'analyse des selles est nécessaire pour des composés peu solubles (oxydes, hydroxydes).

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

La limite de détection de l'analyse des urines (prélèvement sur 24 heures) peut être suffisante pour l'inhalation de composés de type M.

L'analyse urinaire du thorium-232 est également possible par spectrométrie de masse (technique: ICP/MS), ce qui apporte l'avantage de limites de détection très faibles.

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).

### Contamination externe

La recherche de contamination des mains et des vêtements de travail est systématique pour tout travailleur en sortie de zone réglementée.

### Exposition externe

La surveillance dosimétrique externe est nécessaire compte tenu de la présence des descendants.

En zone surveillée : dosimétrie passive individuelle (mensuelle ou trimestrielle). En zone contrôlée : ajout d'une dosimétrie opérationnelle.

La dosimétrie des extrémités (de type bague) est fortement recommandée pour toute manipulation de source de thorium-232 et, en tout état de cause, obligatoire lorsque la dose équivalente est susceptible de dépasser 50 mSv par an.

## 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 déchets produits. L'efficacité de ce plan repose sur une organisation garantissant la traçabilité des différents déchets (registres, étiquetages...).

Même lorsque le thorium-232 n'est pas utilisé pour ses propriétés radioactives, les déchets en contenant sont 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,...) 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.

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

Pour la détention et l'utilisation de thorium-232 (application non médicale), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) accorde les autorisations et reçoit les déclarations. L'autorisation est requise au titre du Code de la santé publique dès lors que l'activité détenue ou utilisée est égale ou supérieure au seuil d'exemption en activité et si la concentration d'activité est égale ou supérieure au seuil d'exemption en concentration dans la limite d'une tonne (*tableaux XIV et XV*).

▽ Régime d'autorisation ou de déclaration du Code de la santé publique pour le thorium-232 seul

Tableau XIV

Quantité \ Concentration	Concentration	
	< 10 Bq/g	≥ 10 Bq/g
< 10 <sup>4</sup> Bq	Exemption*	Exemption
≥ 10 <sup>4</sup> Bq	Exemption*	Autorisation requise

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

▽ Régime d'autorisation ou de déclaration du Code de la santé publique pour le thorium-232 à l'équilibre

Tableau XV

Quantité \ Concentration	Concentration	
	< 1 Bq/g	≥ 1 Bq/g
< 10 <sup>3</sup> Bq	Exemption*	Exemption
≥ 10 <sup>3</sup> Bq	Exemption*	Autorisation requise

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

(4) Norme 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), la déclaration auprès du préfet du département est imposée lorsque l'activité totale détenue est égale ou supérieure à  $10^4$  Bq pour le thorium-232 seul, égale ou supérieure à  $10^3$  Bq pour le thorium-232 à l'équilibre. À partir de  $10^8$  Bq pour le thorium-232 seul (seuil d'exemption  $\times 10^4$ ),  $10^7$  Bq pour le thorium-232 à l'équilibre, l'autorisation ICPE est requise.

De plus, quelle que soit l'application, au titre de la réglementation sur la protection et le contrôle des matières nucléaires relevant du Code de la défense, la détention de thorium fait l'objet d'une déclaration à partir de 1 kg et d'une autorisation à partir de 500 kg du ministre de la Défense pour les matières nucléaires destinées aux besoins de la défense et du ministre chargé de l'énergie pour les matières destinées à tout autre usage. Entre 1 kg et 500 kg, la déclaration est annuelle ; elle spécifie la quantité, les mouvements et l'application concernée. À partir de 500 kg, chaque application fait l'objet d'une demande d'autorisation à exercer six mois avant la détention effective des matériaux contenant le thorium. L'exploitant doit alors mettre en œuvre des dispositions organisationnelles et techniques pour en assurer la protection, le suivi physique, la comptabilité et les inventaires. À noter que dès lors qu'une matière nucléaire est soumise à autorisation, toute autre matière nucléaire également détenue par le titulaire est soumise aux mêmes exigences quelle que soit sa quantité.

Les activités industrielles employant du thorium pour ses propriétés autres que radioactives ne sont pas assujetties au régime de déclaration ou d'autorisation.

## 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 thorium naturel, cette réglementation ne s'applique pas si l'activité massique de la matière transportée est inférieure à 1 Bq/g ou si l'activité totale est inférieure à  $10^3$  Bq. Ces seuils d'exemption sont respectivement de 10 Bq/g et  $10^4$  Bq pour le thorium-232 seul.

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

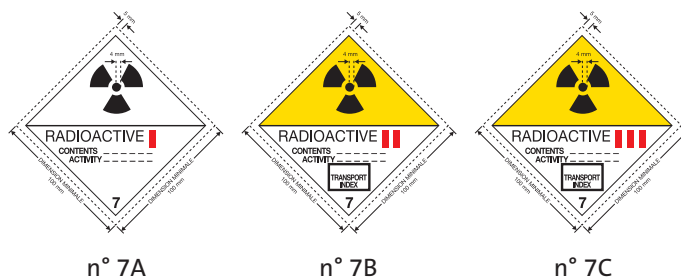
Se référant au règlement de transport des matières radioactives<sup>(5)</sup>, la démarche de base est ici décrite de manière succincte par trois prescriptions générales.

L'expéditeur est le premier responsable du respect des exigences qui sont détaillées dans ces règlements. 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.

Le thorium-232 et plusieurs descendants étant des émetteurs alpha, 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  $0,4$  Bq/cm<sup>2</sup> en moyenne sur 300 cm<sup>2</sup>. Pour les minerais ou les concentrés physiques et chimiques, la règle est de ne pas dépasser  $4$  Bq/cm<sup>2</sup> en moyenne sur 300 cm<sup>2</sup>.

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 XVI).



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

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

Au titre de la réglementation des matières nucléaires relevant du Code de la défense, des mesures supplémentaires sont prises pour assurer une protection physique appropriée à partir de 500 kg.

## 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 m<sup>2</sup>. Pour les minerais de thorium et leurs concentrés physiques, on considère que cette intensité de rayonnement vaut  $0,4$  mSv/h et qu'elle vaut  $0,3$  mSv/h pour les concentrés chimiques.

(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, 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.

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

## 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.
- 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. La présence de thorium-232 seul peut être détectée au moyen d'une sonde  $\alpha$  (la présence du thorium-232 est également détectable via ses descendants au moyen d'une sonde  $\beta$  ou  $\gamma/X$ ).
- Avertir le personnel et si nécessaire le faire évacuer.
- 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 (exemples : TFD 4, FDK...).
- En fin de décontamination, procéder à des contrôles (sonde  $\alpha$ , 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 surtenue 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

Le suivi dosimétrique des travailleurs contaminés nécessite la connaissance de la forme physico-chimique du thorium.

Pour le thorium-232, seuls les risques de contamination cutanée et d'exposition interne sont considérés dans ce chapitre dédié aux situations incidentelles et accidentelles.

### 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.
- Contrôler après la décontamination et, si nécessaire, recommencer la procédure.

- Si une contamination cutanée persiste, un pansement étanche peut être placé sur la zone concernée afin de faire transpirer la peau et faciliter l'élimination du radionucléide.

Il est impératif d'obtenir une décontamination complète 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 et évaluer l'état d'équilibre du produit incorporé incidentellement ;
- réaliser des prélèvements pour analyse du mucus nasal ;
- faire débiter immédiatement les prélèvements de selles (sur une période de 72 heures), de préférence, et urinaires (sur une période de 24 heures) pour examen par l'IRSN ou par un organisme agréé.

Si le résultat est positif, le médecin du travail demande des mesures 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). Le traitement préconisé est l'administration de DTPA (acide diéthylènetriamine penta-acétique). 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 thorium-232 seul sous forme particulaire (5 $\mu\text{m}$ ) de type M)

Le calcul de la dose efficace engagée 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 ou retenue au jour J

DPUI = dose efficace engagée par unité d'incorporation

Le **tableau XVII** présente les valeurs d'excrétion urinaire et fécale  $F(t)$  évaluées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) qui sont utilisées pour interpréter les valeurs d'activités mesurées.

▽ Valeurs d'excrétion urinaire et fécale, en Bq par Bq incorporé, pour l'inhalation du thorium-232 seul sous forme particulaire ( $5 \mu\text{m}$ ) de types M

**Tableau XVII**

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

#### Exemple numérique utilisant les résultats des analyses fécales

L'analyse des selles prélevées pendant les trois jours suivant la contamination donne le résultat suivant :

$$A_{J1+J2+J3} = 25 \text{ Bq sur 72 heures}$$

Suivant le **tableau XVII**, l'évaluation de l'activité inhalée sur la base de la mesure d'excrétion donne :

$$A_{J1+J2+J3} = 25 / (1,1 \times 10^{-1} + 1,5 \times 10^{-1} + 8,0 \times 10^{-2}) = 7,4 \times 10^1 \text{ Bq}$$

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

$$E = 74 \times 29 = 2\,146 \mu\text{Sv}$$

#### 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 :

$$A_{J1} = 0,06 \text{ Bq sur 24 heures}$$

$$A_{J2} = 0,015 \text{ Bq sur 24 heures}$$

$$A_{J3} = 0,01 \text{ Bq sur 24 heures}$$

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

$$I_{J1} = 0,06 / (1,1 \times 10^{-3}) = 5,5 \times 10^1 \text{ Bq}$$

$$I_{J2} = 0,015 / (2,3 \times 10^{-4}) = 6,5 \times 10^1 \text{ Bq}$$

$$I_{J3} = 0,01 / (1,4 \times 10^{-4}) = 7,1 \times 10^1 \text{ Bq}$$

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

$$I = 6,3 \times 10^1 \text{ Bq}$$

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

$$E = 63 \times 29 = 1\,827 \mu\text{Sv}$$

#### 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.

En cas de dépassement d'une limite de dose annuelle, l'inspecteur du travail est également prévenu, et l'IRSN pourra apporter son support au médecin du travail.

Concernant les activités nucléaires :

- tout événement significatif répondant aux critères définis dans les guides de l'ASN<sup>(8)</sup> (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 ;
- 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),
- 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 • [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • [info@inrs.fr](mailto: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](http://www.irsn.fr)