

août 2014

RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES

ED 4321

Uranium naturel

Unat/ ${}_{90}^{231}\text{Th}$, ${}_{90}^{234}\text{Th}$, ${}_{91}^{234\text{m}}\text{Pa}$

▷ Émissions principales de l'uranium naturel (à l'équilibre avec ses premiers descendants) :

α : E de 4,2 à 4,8 MeV

β^- : $E_{\text{max}} = 2,3$ MeV

$X - \gamma$: 13 keV, 186 keV, 1 MeV (< 1 %)

▷ Composition isotopique :

99,275 % ${}_{92}^{238}\text{U}$ + 0,72 % ${}_{92}^{235}\text{U}$ + 0,0055 % ${}_{92}^{234}\text{U}$

(composition en activité : 48,3 % ${}_{92}^{238}\text{U}$ + 2,3 % ${}_{92}^{235}\text{U}$ + 49,5 % ${}_{92}^{234}\text{U}$)

▷ Période physique de l'uranium-234 : $2,46 \times 10^5$ ans

▷ Période physique de l'uranium-235 : $7,04 \times 10^8$ ans

▷ Période physique de l'uranium-238 : $4,47 \times 10^9$ ans

▷ Seuils d'exemption de l'uranium naturel (à l'équilibre avec ses premiers descendants) : 10^4 Bq, 10 Bq/g

▷ Organes critiques en termes de dose efficace : foie, moelle osseuse, surface osseuse, poumon, côlon, gonades

▷ Surveillance du poste de travail : mesures de contamination surfacique et de contamination atmosphérique

▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : analyse radiotoxicologique des urines et des selles à réaliser en fonction de la fréquence de manipulation

▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : dosimétrie des extrémités

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, l'uranium est un métal gris, dur et de masse volumique élevée (19 g/cm^3). Il est l'élément le plus lourd présent naturellement sur Terre. Son point de fusion est de 1135°C et son point d'ébullition de 4131°C . L'uranium métal est pyrophorique et très réactif. Il s'oxyde facilement. L'uranium peut prendre de nombreuses formes chimiques, comprenant des formes de solubilité variable, y compris très insolubles.

L'uranium de composition isotopique naturelle est composé de 99,275% d'uranium-238, 0,72% d'uranium-235 et 0,0055% d'uranium-234. Dans le cadre de cette fiche, les isotopes de l'uranium naturel sont considérés à l'équilibre avec leurs premiers descendants de relativement courtes périodes (Th-231, 26 h, premier descendant de l'U-235; Th-234, 24 jours et Pa-234m, 1,2 min, premier et deuxième descendants de l'U-238).

L'uranium présente à la fois une toxicité radiologique et chimique.

L'uranium naturel 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

L'uranium est présent naturellement sur la Terre depuis son origine.

L'uranium-238 est fertile (indirectement fissile au contact d'un neutron ayant une énergie suffisante) tandis que l'uranium-235 est fissile (susceptible de subir une fission quelle que soit l'énergie des neutrons qui le percutent). Tenant compte de la teneur en isotope 235, le risque de criticité est donc à considérer; il n'est pas abordé dans cette fiche.

Propriétés radiophysiques

Les trois isotopes qui composent l'uranium naturel sont :

- l'uranium-238 qui a une période radioactive de $4,47 \times 10^9$ ans et une activité massique de $1,24 \times 10^4$ Bq/g;
- l'uranium-235 qui a une période radioactive de $7,04 \times 10^8$ ans et une activité massique de 8×10^4 Bq/g;
- l'uranium-234 qui a une période radioactive de $2,46 \times 10^5$ ans et une activité massique de $2,3 \times 10^8$ Bq/g.

Compte tenu de leur contribution à l'activité (48,3% pour l'uranium-238; 2,3% pour l'uranium-235; 49,5% pour l'uranium-234), 1 g d'uranium naturel contient $2,6 \times 10^4$ Bq. Une fois à l'équilibre radioactif avec ses premiers descendants, ce même gramme d'uranium naturel contient au total $5,1 \times 10^4$ Bq.

Les isotopes de l'uranium naturel se désintègrent principalement par émission de particules alpha. Cette transition nucléaire (désintégration) est accompagnée par l'émission d'électrons, de rayonnements X et de rayonnements gamma. Cependant, l'uranium-235 et l'uranium-238 sont les parents de deux chaînes de désintégrations complexes qui comptent respectivement 10 et 13 radionucléides émetteurs α , β et γ avant d'atteindre respectivement le plomb-207 et le plomb-206 stables (*tableau I*).

▽ Filiation des isotopes 235 et 238 de l'uranium **Tableau I**

Produits de filiation	Uranium-235 ... Plomb-207 (stable)	
	Uranium-238 ... Uranium-234 ... Plomb-206 (stable)	
Équations	${}_{92}^{235}\text{U} \xrightarrow{\alpha, 7,10^9 \text{ ans}} {}_{90}^{231}\text{Th} \xrightarrow{\beta, 26 \text{ h}} {}_{91}^{231}\text{Pa} \dots {}_{82}^{207}\text{Pb}$	
	${}_{92}^{238}\text{U} \xrightarrow{\alpha, 4,10^9 \text{ ans}} {}_{90}^{234}\text{Th} \xrightarrow{\beta, 24 \text{ jours}} {}_{91}^{234\text{m}}\text{Pa} \xrightarrow{\beta, 1,2 \text{ min}} {}_{92}^{234}\text{U} \dots {}_{82}^{206}\text{Pb}$	

Dans cette fiche, on ne considère que les trois premiers descendants (Th-231, Th-234 et Pa-234m). Ils se désintègrent principalement par émission de rayonnements β .

Les données du *tableau II* résument les principales émissions dont le pourcentage est supérieur à 1% et l'énergie est supérieure à 1 keV.

▽ Principales émissions de l'uranium naturel **Tableau II**

Principales émissions		Énergie (keV)		Pourcentage d'émission (%)*
α	U-238	4151		10,8
		4198		37,4
	U-235	4398		1,3
		4722		14,1
U-234	4775		35,3	
	β^- (spectre continu)	Th-234	21 (E_{moyenne})	86 (E_{max})
37 (E_{moyenne})			104 (E_{max})	12,9
73 (E_{moyenne})			199 (E_{max})	33,9
Th-231		82 (E_{moyenne})	305 (E_{max})	1,9
Pa-234m	811 (E_{moyenne})	2269 (E_{max})	47,1	
Électrons		1-3		53,9
		9-16		18,0
		30-37		17,5
		46-53		5,9
		71-88		6,6
X- γ		13-16		8,3
		63		2,3
		93		2,7
		186		1,3

* Tenant compte des rapports isotopiques et de l'équilibre radioactif avec les premiers descendants des isotopes de l'uranium naturel.

Propriétés biologiques de l'uranium

Le comportement biologique de l'uranium dans l'organisme dépend de la forme chimique avec laquelle il est incorporé et avec laquelle il est transformé après incorporation. Les oxydes UO_2 et U_3O_8 sont très insolubles alors que les composés contenant de l'uranium hexavalent sont plus solubles.

Pour l'inhalation, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), à partir de données humaines et animales, retient pour l'uranium le type de solubilité S (absorption sanguine lente) pour l' UO_2 et l' U_3O_8 . Le type M (absorption

sanguine moyenne) est recommandé pour l'UO₃, l'UF₄ et l'UCl₄. Le type F (absorption sanguine rapide) est recommandé pour la plupart des composés hexavalents, en particulier pour l'UF₆, l'UO₂F₂ et l'UO₂(NO₃)₂.

En cas d'ingestion d'uranium, 2% de la quantité ingérée passe dans la circulation sanguine, valeur recommandée par la CIPR dans les cas non spécifiés; pour les composés peu solubles (UO₂, U₃O₈, UF₄), la CIPR recommande la valeur de 0,2%.

Après passage dans le sang, l'uranium est rapidement transféré aux tissus ou excrété dans l'urine. La fraction transférée aux tissus se distribue pour l'essentiel dans le squelette et les reins, et à moindre degré dans le foie. La quantité retenue par l'os diminue très lentement avec le temps. Dans les reins, tandis que plus de 90% est éliminée rapidement (de l'ordre de 1 jour), le reste est retenu plus longtemps (30 à 340 jours).

La majeure partie de l'uranium incorporé qui ne passe pas dans la circulation sanguine est éliminée dans les selles. L'uranium qui passe dans la circulation sanguine est en majorité excrété par voie urinaire; seule une faible fraction de l'uranium passé dans le sang (de l'ordre du %) est éliminée dans les selles.

Une partie importante de l'uranium filtrée par les reins est au préalable retenue dans les tubules rénaux. La toxicité chimique de l'uranium apparaît pour un seuil de concentration de l'ordre de 0,6 à 3 µg/g de rein. Pour des composés solubles, la CIPR rappelle les recommandations de l'OSHA de 1989 (*Occupation Safety and Health Administration, USA*) de ne pas dépasser, en milieu de travail, une concentration atmosphérique de 0,05 mg/m³, correspondant à une incorporation journalière de 0,5 mg.

2. UTILISATIONS

L'uranium est présent dans toutes les phases du cycle, depuis son extraction des minerais et lors des étapes de raffinage, de conversion, d'enrichissement jusqu'au retraitement du combustible usé. Ces opérations sont effectuées au sein d'installations nucléaires de base (INB) et souvent dans des installations confinées ou tout au moins partiellement confinées.

L'uranium appauvri, produit dérivé du cycle du combustible nucléaire, est utilisé pour sa dureté et sa densité dans les applications militaires (obus) et dans le civil comme matériau de blindage et de contrepoids, même s'il est progressivement remplacé par d'autres matériaux.

L'uranium naturel est utilisé en recherche et dans l'industrie sous forme scellée, comme source d'étalonnage, et sous forme non scellée, comprenant notamment des solutions de nitrate d'uranyle faiblement concentrées (1 à 1 000 mg/L), des solutions d'acétate d'uranyle...

On notera que cette fiche fait partie d'une série qui se rapporte essentiellement à l'utilisation de radionucléides sous forme de sources non scellées. Néanmoins, le risque d'exposition à l'uranium naturel existe lors de la fabrication des sources scellées ou en cas d'endommagement de ces dernières.

3. PARAMÈTRES DOSIMÉTRIQUES

Exposition externe

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

Outre les émissions de particules α, l'uranium naturel seul n'émet que des électrons et des rayonnements X de basse énergie. Les descendants de l'uranium naturel émettent quant à eux des rayonnements, en particulier β, d'énergies nettement plus élevées.

Le **tableau III** donne pour des sources contenant 1 MBq d'uranium naturel, considéré à l'équilibre avec ses premiers descendants, le débit d'équivalent de dose, exprimé en µSv/h, en fonction de la distance. Les grandeurs $\dot{H}_p(0,07)$ et $\dot{H}_p(10)$ ont été calculées avec un code Monte-Carlo (MCNPIX). Les valeurs inférieures à 1×10^{-2} µSv/h ne sont pas reportées (inférieures au bruit de fond naturel).

Le **tableau III** est donné à titre indicatif. L'effet joué par le volume de la source est pris en compte. Dans le cas de l'uranium naturel, une source de 1 MBq atteint en effet une masse et un volume tels qu'elle ne puisse plus être traitée comme une source ponctuelle. La **figure 1** pour $\dot{H}_p(10)$ et la **figure 2** pour $\dot{H}_p(0,07)$ considèrent des sources sphériques de différents volumes en fonction de l'activité. Comme l'illustrent ces résultats, l'évaluation des débits d'équivalent de dose à la peau et au corps entier pour différentes sources nécessite un calcul au cas par cas.

▽ Source ponctuelle

Tableau III

	Débit d'équivalent de dose en µSv/h pour 1 MBq		
	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$6,9 \times 10^0$	$9,1 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$
$\dot{H}_p(10)$	$1,2 \times 10^{-1}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$

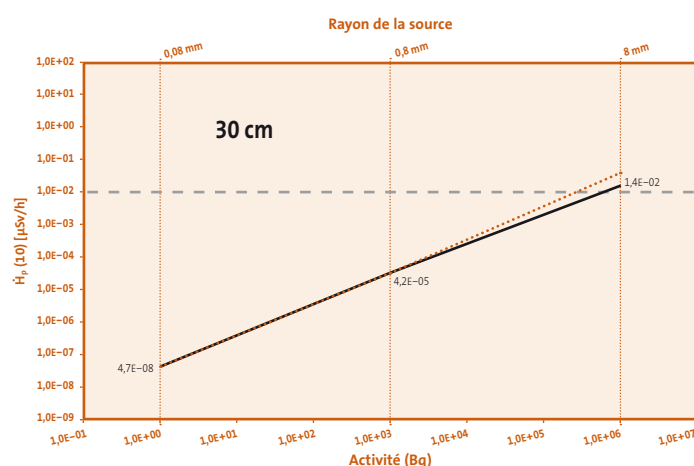


Figure 1. Débit d'équivalent de dose à 10 mm de profondeur dans les tissus pour des sources sphériques de différents rayons en fonction de l'activité, à 30 cm du centre de la source. L'écart entre le trait en pointillés et le trait plein indique l'amplitude de l'atténuation par la source d'uranium naturel (masse volumique = 19 g/cm³) de 1 à 10³ et 10⁶ Bq dans ces conditions.

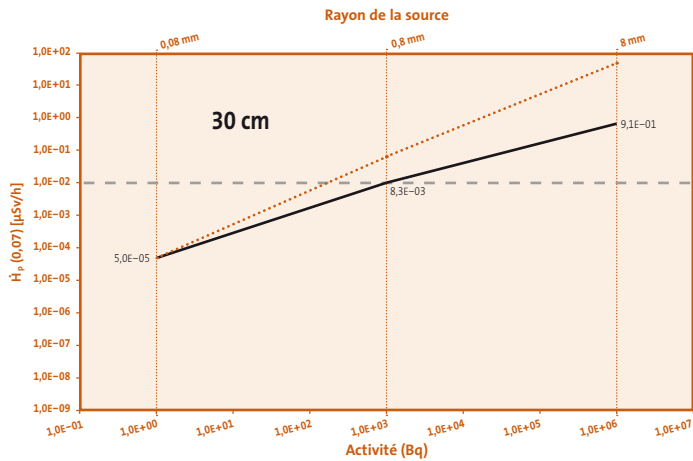


Figure 2. Débit d'équivalent de dose à 70 µm de profondeur sous la peau pour des sources sphériques de différents rayons en fonction de l'activité, à 30 cm du centre de la source. L'écart entre le trait en pointillés et le trait plein indique l'amplitude de l'atténuation par la source d'uranium naturel (masse volumique = 19 g/cm³) de 1 à 10³ et 10⁶ Bq dans ces conditions.

Contamination cutanée

Un dépôt uniforme sur la peau de 1 Bq par cm² délivre un débit d'équivalent de dose à la peau $\dot{H}_p(0,07)$ égal à 1,0 µSv/h pour de l'uranium naturel à l'équilibre avec ses premiers descendants. Ces évaluations ne tiennent pas compte de l'atténuation dans le dépôt. Celle-ci doit être évaluée au cas par cas.

Exposition interne

Exposition interne due à une contamination aiguë

Le **tableau IV** donne les valeurs de dose efficace engagée en µSv correspondant à une activité incorporée de 1 Bq d'uranium naturel à l'équilibre radioactif avec ses premiers descendants. Elles s'obtiennent en prenant en compte les valeurs réglementaires des DPU de chacun des trois isotopes (et des premiers descendants) au prorata de leur contribution. On note cependant que la prise en compte des premiers descendants a peu d'influence sur la dose efficace engagée.

▽ Dose efficace engagée sur 50 ans à la suite d'incorporation de 1 Bq d'uranium naturel pour les travailleurs de plus de 18 ans

Tableau IV

Inhalation de 1 Bq (par défaut aérosol de 5 µm)		
Forme chimique	Type d'absorption pulmonaire	Dose efficace engagée (µSv)
Composés solubles : UF ₆ , UO ₂ F ₂ , UO ₂ (NO ₃) ₂	F	6,1 × 10 ⁻¹
Composés moins solubles : UO ₃ , UF ₄ , UCl ₄ et composés hexavalents non répertoriés F	M	1,9 × 10 ⁰
Composés très insolubles : UO ₂ , U ₃ O ₈	S	6,3 × 10 ⁰
Ingestion de 1 Bq		
Forme chimique	Type d'absorption gastro-intestinale	Dose efficace engagée (µSv)
Composés non spécifiés	f ₁ = 0,02	4,8 × 10 ⁻²
UO ₂ , U ₃ O ₈ , UF ₄	f ₁ = 0,002	9,6 × 10 ⁻³

Le facteur f₁ indique quelle fraction de la radioactivité présente dans l'intestin grêle passe dans le sang. Il caractérise l'absorption gastro-intestinale des composés.

Selon la modélisation de la CIPR⁽¹⁾, les organes contribuant principalement à la dose efficace (contribution ≥ 10 %) sont les suivants :

- après inhalation, type F : moelle osseuse, surface osseuse, foie, gonades ;
- après inhalation, types M et S : poumons ;
- après ingestion de composés non spécifiés (f₁ = 0,02) : moelle osseuse, surface osseuse, côlon, gonades ;
- après ingestion de composés peu solubles (f₁ = 0,002) : moelle osseuse, côlon.

Les modes d'incorporation classiques considérés dans le **tableau IV** 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'incorporation chronique est considérée comme une succession d'incorporations 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 V** résume les techniques de surveillance de l'exposition à l'uranium naturel.

▽ Techniques de surveillance

Tableau V

	Appareil de mesure
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm ²)	Sonde α ou frottis ou contaminamètre β
Recherche de petits foyers de contamination	Sonde α ou frottis
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m ³)	Mesure par prélèvement sur filtre

La mesure du débit d'équivalent de dose ambiant (µSv/h) est d'intérêt limité pour l'uranium naturel (*voir tableau III*).

Mesure de la contamination surfacique (Bq/cm²) et de petits foyers de contamination

La mesure d'une contamination surfacique en uranium naturel peut être réalisée :

- soit directement à partir du taux de comptage en impulsions par seconde au moyen d'une sonde α placée au plus près de la surface à contrôler (distance < 5 cm), celle-ci étant

(1) Cette modélisation en cours de révision devrait conduire à une modification des coefficients de dose, notamment pour le côlon.

maintenue sèche. On peut également mesurer les premiers descendants de l'uranium naturel avec un contaminamètre β donnant une lecture en Bq/cm². Veiller à ce que l'appareil soit adapté à cette mesure. En cas de doute, contacter le constructeur ;

- soit indirectement par frottis (dont le taux de comptage est mesuré avec une sonde de surface 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 % comme indiqué dans la norme NF-ISO 7503-1⁽²⁾.

Relation entre le taux de comptage et l'activité surfacique	
$As = \frac{n}{Rd \times S \times K}$	
où	<p>As est l'activité surfacique en Bq/cm²</p> <p>n est le taux de comptage en impulsions par seconde après soustraction du bruit de fond</p> <p>Rd est le rendement de détection de la sonde en % (sous 4π)</p> <p>S est la surface frottée ou la surface utile de la sonde en cm²</p> <p>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</p>

La mesure par frottis complète souvent la mesure directe pour distinguer une contamination labile d'une contamination fixée, ou en présence de conditions défavorables (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/m³)

Un système de mesure en continu équipé d'un filtre permet de détecter une contamination atmosphérique et d'en suivre l'évolution. Les points de prélèvement sont situés au plus proche des postes de travail. Le cas échéant, le recours à des appareils de prélèvement individuels peut s'avérer utile pour préciser la contamination atmosphérique dans l'environnement du travailleur.

5. MOYENS DE PROTECTION

Dans cette fiche, sont visés les laboratoires où sont manipulés des composés d'uranium sous forme liquide (nitrate d'uranyle) ou solide (poudres).

Le choix des moyens de protection repose sur une analyse préalable de l'intervention à réaliser (ou des protocoles expérimentaux) afin d'identifier les risques radiologiques. Il est

recommandé de pratiquer une simulation de toute nouvelle opération pour définir les règles de manipulation et en maîtriser les gestes et la durée.

L'uranium naturel étant composé d'émetteurs α , il est primordial de se prémunir contre le risque d'exposition interne. Toutefois, même en ne considérant que les premiers descendants, le risque d'exposition externe par contamination cutanée ne doit pas être négligé du fait des émissions de rayonnements β associées.

Installation des locaux

Dans les cas particuliers où le risque d'exposition sous forme de source non scellée ou de dégradation d'une source scellée existe, les locaux doivent être adaptés à la manipulation de l'uranium naturel. Ils 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, doivent bénéficier d'une ventilation indépendante du système général de ventilation ;
- 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 évitant le risque de dispersion.

Protection contre l'exposition interne

Compte tenu de sa toxicité élevée, le risque d'incorporation est particulièrement à considérer en cas de manipulation d'uranium naturel et de matériaux en contenant.

La manipulation de l'uranium naturel se fait sous hottes (typiquement pour le nitrate d'uranyle) ou boîtes à gants ventilées suivant l'activité manipulée et le risque de dispersion (poudres). Ces opérations sont effectuées dans des locaux qui sont correctement ventilés et régulièrement nettoyés.

Lors de telles opérations, les vêtements de travail sont à manches longues et sont portés fermés ; les équipements de protection individuelle (EPI) suivants sont utilisés :

- gants (il est rappelé néanmoins qu'après manipulation, un lavage des mains est nécessaire) ;
- protection des yeux ;
- le cas échéant, dispositifs de protection respiratoire.

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

Protection contre l'exposition externe

Le port de gants et de lunettes est nécessaire pour se protéger du risque de contamination. Compte tenu des activités manipulées le risque d'exposition externe autre que celui lié à une contamination cutanée est peu significatif.

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 de l'uranium naturel est entreposé et manipulé.

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 matières radioactives sont entreposées et utilisées.

La délimitation des locaux prend en compte les risques d'exposition liés aux matières manipulées et entreposées (*tableaux VI et VII*).

Tableau VI

EXPOSITION EXTERNE ET INTERNE DE L'ORGANISME ENTIER

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

	Zones réglementées				
	Zones spécialement réglementées				
Zone non réglementée ■ 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 $E < 7,5 \mu\text{Sv}$	Zone contrôlée verte $E < 25 \mu\text{Sv}$	Zone contrôlée jaune $E < 2 \text{ mSv}$ et $\text{DDD} < 2 \text{ mSv/h}$	Zone contrôlée orange $E < 100 \text{ mSv}$ et $\text{DDD} < 100 \text{ mSv/h}$	Zone interdite rouge $E > 100 \text{ mSv}$ ou $\text{DDD} > 100 \text{ mSv/h}$

Tableau VII

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

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

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

Contrôles

Les contrôles techniques réglementaires de radioprotection réalisés sous la responsabilité de l'employeur sont présentés dans le [tableau VIII](#); les appareils de mesure recommandés pour réaliser ces contrôles sont donnés au [tableau V](#).

▽ Contrôles réglementaires

Tableau VIII

	Mise en œuvre
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm ²)	En continu ou au moins mensuelle
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 à 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 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⁽³⁾) sont classés par l'employeur en catégorie A après avis du médecin du travail ([tableau IX](#)) ; ceux ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B.

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 IX

	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	≤ 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 de l'uranium naturel 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 ;

(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).

- 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) ;
- 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

La surveillance dosimétrique des travailleurs exposés nécessite la connaissance de la forme physico-chimique de l'uranium manipulé.

En routine, l'exposition interne à de l'uranium naturel est évaluée par analyse radiotoxicologique des urines (prélèvement sur 24 heures) et des selles (prélèvement sur 72 heures). L'analyse des selles est d'autant plus indiquée que la solubilité du composé est faible (types M et S dans le cas de l'inhalation) ; elle est nécessaire pour l' UO_2 et l' U_3O_8 . Ces analyses doivent tenir compte de l'uranium incorporé naturellement via l'apport alimentaire.

Dans le cas de manipulation régulière d'uranium naturel, l'intervalle maximal entre deux examens recommandé par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) est de 90 jours pour l'analyse urinaire et de 180 jours pour l'analyse fécale⁽⁴⁾. Dans le cas des composés les plus solubles pour lesquels l'analyse des selles n'est pas requise (type F dans le cas de l'inhalation), l'intervalle maximal entre deux analyses urinaires est abaissé à 30 jours, sauf pour l' UF_6 . L'ISO tient compte dans ses recommandations des toxicités chimique et radiologique.

Lorsqu'il s'agit d'utilisations ponctuelles, les examens sont réalisés après chaque campagne de manipulations.

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).

Exposition externe

La dosimétrie des extrémités (de type bague) est fortement recommandée pour toute manipulation d'uranium naturel à l'équilibre avec ses premiers descendants et en tout état de cause obligatoire lorsque la dose équivalente aux extrémités 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 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.

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'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA). Ce tri consiste à séparer les déchets en prenant en compte leur nature physico-chimique et les risques spécifiques autres que le risque radiologique (les traitements ultérieurs ne sont pas les mêmes en fonction des caractéristiques des déchets). 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. 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 sont 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)

Pour la détention et l'utilisation d'uranium naturel (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 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 X).

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

▽ Régime d'autorisation ou de déclaration du code de la santé publique publique pour l'uranium naturel (à l'équilibre avec ses premiers descendants)

Tableau X

Concentration	< 10 Bq/g	≥ 10 Bq/g
Quantité		
< 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.

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 10⁴ Bq pour l'uranium naturel. À partir de 10⁸ Bq (seuil d'exemption x 10⁴), l'autorisation 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 d'uranium naturel est soumise à déclaration à partir de 1 kg ; à partir de 500 kg elle est soumise à autorisation 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. 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 de l'uranium naturel pour ses propriétés autres que radioactives ne sont pas assujetties au régime de déclaration ou d'autorisation. En revanche, elles restent soumises aux dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005⁽⁵⁾.

10. TRANSPORTS ROUTIERS

Tous les transports ne sont pas soumis à la réglementation concernant le transport des matières dangereuses (matières radioactives : classe 7). Pour l'uranium naturel, 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 10⁴ Bq.

Si les deux seuils d'activité massique et d'activité par envoi sont dépassés, le transport est soumis aux dispositions réglementaires en vigueur, soulignant ici que l'uranium naturel contient de l'uranium-235 (à ce titre, la matière peut être considérée comme fissile par la réglementation).

Se référant au règlement de transport des matières radioactives⁽⁶⁾, 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. Un niveau d'activité de référence dit « A2 » permet de choisir le type de colis en fonction de l'activité contenue dans le colis.

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 en moyenne sur 300 cm² 0,4 Bq/cm² pour les émetteurs α et 4 Bq/cm² pour les émetteurs β/γ.

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 XI).

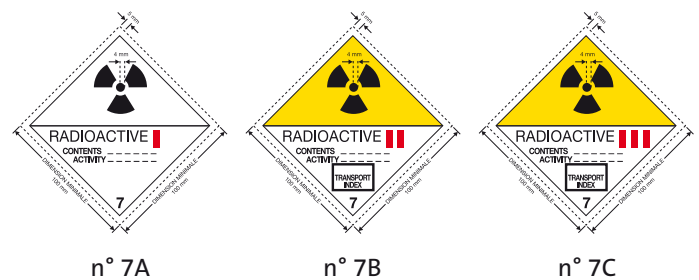


Tableau XI
▽ Correspondance entre la catégorie de l'étiquette apposée sur le colis, l'indice de transport et le le débit d'équivalent de dose (DDD)

Indice de transport (IT) ⁽⁷⁾	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 ⁽⁸⁾	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.

(5) Arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives.

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

(7) IT = intensité de rayonnement maximale à 1 m de tout point situé à la surface du colis (en mSv/h) x 100 x 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.

(8) 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.

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.

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 (*voir partie 4*).
- 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 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, des lunettes, 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

Le suivi dosimétrique des travailleurs contaminés nécessite la connaissance de la forme physico-chimique de l'uranium manipulé.

Exposition des extrémités

- Transmettre les dosimètres passifs pour exploitation en urgence et pour comparaison éventuelle avec les résultats des dosimètres des autres personnels impliqués.
- Réaliser une première investigation en vérifiant le débit d'équivalent de dose de la source et le temps de présence des personnels impliqués.

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 contaminée afin de faire transpirer la peau et faciliter l'élimination du radionucléide.

Il est impératif d'obtenir une décontamination aussi complète 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 ;
- pour tous les composés : 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 ;
- pour les composés solubles et moyennement solubles : une analyse radiotoxicologique des premières mictions est également recommandée ;
- pour l' UF_4 et l' UO_3 : l'analyse radiotoxicologique des selles, prélevées sur une période de 72 heures complète l'analyse des urines ;
- pour l' UO_2 et l' U_3O_8 : l'analyse radiotoxicologique des selles, prélevées sur une période de 72 heures est recommandée en plus de l'analyse des urines ;
- pour les composés peu solubles, l'examen anthroporadiométrique pulmonaire est envisageable ;

■ si le résultat est positif, le médecin du travail demande des analyses ultérieures pour suivre l'évolution de la contamination interne.

Le traitement d'urgence doit être effectué sous contrôle médical (le plus tôt possible et de préférence dans les 2 heures qui suivent la contamination). Le traitement préconisé est l'administration de bicarbonate de sodium. 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 d'uranium naturel sous forme particulaire (5 µm), type M)

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

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

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

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 XII** présente les valeurs d'excrétion urinaire évaluées par la CIPR pour l'inhalation d'uranium qui sont utilisées pour interpréter les valeurs d'activités mesurées.

▽ Valeurs d'excrétion urinaire, en Bq par Bq incorporé, pour l'inhalation d'uranium naturel sous forme particulaire (5 µm de type M)

Tableau XII

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

Exemple numérique

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

$$A_{J1} = 26 \text{ Bq sur 24 heures}$$

$$A_{J2} = 1,3 \text{ Bq sur 24 heures}$$

$$A_{J3} = 0,75 \text{ Bq sur 24 heures}$$

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

$$I_{J1} = 26 / (2,3 \times 10^{-2}) = 1,1 \times 10^3 \text{ Bq}$$

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

$$I_{J3} = 0,75 / (8,5 \times 10^{-4}) = 8,8 \times 10^2 \text{ Bq}$$

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

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

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

$$E = (1,1 \times 10^3) \times (1,9 \times 10^0) = 2090 \text{ µSv}$$

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⁽⁹⁾ (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.

(9) – 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 • Internet : www.inrs.fr • e-mail : info@inrs.fr



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