

octobre 2009

RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES

ED 4304

123
53

Iode-123

- ▷ Émetteur γ (raie principale de 159 keV)
- ▷ Période physique = 13,2 heures
- ▷ Période effective \approx 13 heures (thyroïde)

- ▷ Organe cible = thyroïde
- ▷ Surveillance du poste de travail : mesures du débit de dose ambiant (radiamètre), de la contamination surfacique (contaminamètre ou frottis) et de la contamination atmosphérique
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : dosimétrie passive (poitrine et extrémités), dosimétrie opérationnelle
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : mesure directe de l'activité thyroïdienne ou analyse radiotoxicologique urinaire

L'iode est un solide cristallin de couleur noire et d'aspect légèrement métallique. De densité égale à 4,93, son point de fusion est de 114 °C et son point d'ébullition de 185 °C.

L'iode est un halogène qui se sublime aisément à température ambiante. Les vapeurs émises sont toxiques et très irritantes pour les yeux et les muqueuses.

Peu soluble dans l'eau mais soluble dans les solutions aqueuses à pH basique, l'iode se dissout facilement dans les alcools, le chloroforme et les solvants organiques.

L'iode se combine directement à un grand nombre de métalloïdes et de métaux.

1. CARACTÉRISTIQUES

Origine

L'iode-123 peut être produit de manière directe ou indirecte à partir de plusieurs réactions nucléaires. Les trois méthodes de préparation les plus intéressantes sont les suivantes :

- bombardement d'une cible de Sb-121 par des alpha [$^{121}\text{Sb}(^4\text{He},2n)^{123}\text{I}$];
- bombardement d'une cible de Te-122 par des deutons [$^{122}\text{Te}(d,n)^{123}\text{I}$];
- bombardement de Te-122 par des alpha [$^{122}\text{Te}(^4\text{He},3n)^{123}\text{Xe} \rightarrow ^{123}\text{I}$].

Cette fiche fait partie d'une série qui se rapporte à l'utilisation de radionucléides 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 chimiques, 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.

Propriétés radiophysiques

Période radioactive : 13,2 heures

Les principales émissions de l'iode-123 sont reportées dans le [tableau I](#).

En pratique, l'iode-123 est utilisé pour ses émissions gamma, dont la raie principale a pour énergie 159 keV.

▽ Principales émissions de l'iode-123

Tableau I

Principales émissions	Énergie (keV)	Pourcentage d'émission
X	3,8	3,4
	4,0	2,1
	27,2	25,0
	27,5	46,0
	30,9	13,2
	31,7	2,4
Électron	127,0	14,0
	154,0	2,0
Gamma	159,0	83,0
	529,0	1,4

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

Des électrons Auger sont émis à une énergie comprise entre 2 et 5 keV (98 %) et 21 à 32 keV (12,4 %).

▽ Filiation de l'iode-123

Tableau II

Produit de filiation	$^{123}_{52}\text{Te}$
Équation	$^{123}_{53}\text{I} \xrightarrow{\text{CE}} ^{123}_{52}\text{Te stable}$

Propriétés biologiques

L'iode libre se concentre majoritairement dans la thyroïde. La concentration y est maximale 24 heures environ après l'incorporation.

Chez la femme enceinte, l'iode est également transféré au fœtus où il s'accumule dans la glande thyroïde.

Chez la femme allaitant, il s'accumule dans le lait majoritairement sous forme d'iodure via la glande mammaire.

L'iode marqué suit le métabolisme du vecteur sur lequel il est fixé.

En raison de son caractère lipophile, son absorption cutanée est très importante.

L'élimination de l'iode s'effectue selon deux modes :

- la fraction fixée dans la thyroïde (30 %) est éliminée avec une période effective d'environ 13 heures ;
- la fraction répartie dans l'organisme en dehors de la thyroïde (70 %) est éliminée majoritairement par voie rénale. Une faible proportion est éliminée dans les selles (quelques pourcents de

l'activité incorporée), par la salive, la sueur et l'air exhalé (moins de 0,1 % de l'activité incorporée).

2. UTILISATIONS

Les applications de l'iode-123 sont essentiellement médicales.

L'iode-123 est utilisé en diagnostic *in vivo* : ses émissions riches en photons gamma et sa période radioactive de 13,2 heures en font en effet un radionucléide bien adapté à l'imagerie médicale (malgré son coût élevé).

Il est surtout employé lors de scintigraphies thyroïdiennes : les activités maximales utilisées sont de 15 MBq. Il est également utilisé sous forme de MIBG (méta-iodo-benzyle-guamidine) pour le diagnostic des neuroblastomes chez l'enfant (activité utilisée de l'ordre de 4 MBq/kg) ou d'ioflupane chez l'adulte pour le diagnostic du syndrome parkinsonien (activité utilisée de l'ordre de 180 MBq).

En recherche, l'iode-123 est très rarement utilisé. Il peut être employé par exemple pour le suivi des protéines lors d'expérimentations chez l'animal.

Dans l'industrie, l'iode-123 n'est pas utilisé.

3. PARAMÈTRES DOSIMÉTRIQUES

Exposition externe ⁽¹⁾

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

Les [tableaux III, IV et V](#) donnent, pour une activité de 1 MBq, le débit d'équivalent de dose, exprimé en $\mu\text{Sv/h}$, en fonction de la distance dans différentes configurations.

Les grandeurs $\dot{H}_p(0,07)$ et $\dot{H}_p(10)$ correspondent respectivement aux débits d'équivalent de dose à la peau (y compris au niveau des extrémités) et au corps entier.

▽ Source ponctuelle

Tableau III

	Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		
	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$5,4 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^{-1}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	$1,0 \cdot 10^1$	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$

1 Les débits d'équivalent de dose $\dot{H}_p(0,07)$ et $\dot{H}_p(10)$ ont été calculés avec un code Monte-Carlo (MCNPIX).

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

3 Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

▽ Flacon de 10 ml en verre standard rempli au tiers

Tableau IV

	Débit d'équivalent de dose au contact en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq	
	Tenu en main	Sous le flacon	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$3,3 \cdot 10^2$	$5,4 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet ⁽²⁾	Sans objet ⁽²⁾	$4,3 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$

▽ Seringue pleine

Tableau V

	Débit d'équivalent de dose au contact en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en $\mu\text{Sv/h}$ pour 1 MBq (seringue de 5 ml)		
	Seringue 2 ml	Seringue 5 ml	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	$1,5 \cdot 10^3$	$6,7 \cdot 10^2$	4,9	$5,5 \cdot 10^{-1}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet ⁽²⁾	Sans objet ⁽²⁾	4,8	$5,3 \cdot 10^{-1}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$

Contamination cutanée

Une contamination cutanée de 1 MBq par cm^2 délivre un débit d'équivalent de dose [$\dot{H}_p(0,07)$] de l'ordre de 320 mSv/h.

Exposition interne

Exposition interne due à une contamination aiguë

▽ Doses efficaces engagées sur 50 ans à la suite d'une incorporation de 1 Bq, (DPUI) pour les travailleurs de plus de 18 ans ⁽³⁾

Tableau VI

Forme	Inhalation de 1 Bq		Ingestion de 1 Bq	
	Dose efficace engagée (μSv)	Dose équivalente engagée à la thyroïde (μSv)	Dose efficace engagée (μSv)	Dose équivalente engagée à la thyroïde (μSv)
Vapeur (I_2)	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$3,54 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$3,28 \cdot 10^{-3}$
Organique (CH_3I)	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,92 \cdot 10^{-3}$		
Particulaire (par défaut aérosol de 5 μm)	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$		

Compte tenu de la période effective de l'iode-123, les doses engagées sur un an sont identiques à celles engagées sur 50 ans.

Exposition interne due à une contamination chronique

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

4. DÉTECTION ET MESURES

▽ Mesures de surveillance à réaliser

Tableau VII

	Appareil de mesure	Mise en œuvre
Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant ($\mu\text{Sv/h}$)	Radiamètre équipé d'une sonde X, γ	En routine En cas d'incident
Recherche de points de contamination	Sonde X, γ	Après chaque manipulation En cas d'incident
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm^2)	Sonde X, γ ou frottis	En routine En cas d'incident
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m^3)	Prélèvement sur filtre et comptage	En continu si le risque de contamination est avéré

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

La mesure du débit d'équivalent de dose ambiant s'effectue aisément à l'aide d'un radiamètre équipé d'une sonde gamma ou préférentiellement d'une sonde X.

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

La mesure d'une contamination surfacique en iode-123 peut être réalisée :

- soit directement avec un contaminamètre donnant une lecture en Bq/cm^2 . Veiller à ce que l'appareil soit étalonné, contrôlé et adapté à la mesure de l'iode-123. En cas de doute, contacter le constructeur ;
- soit par la mesure d'un taux de comptage en impulsions par seconde au moyen d'une sonde X que l'on applique sur la surface à contrôler ;
- soit indirectement par un frottis (qui est ensuite compté par une sonde X) en ayant pris soin de définir une surface standard et un rendement de frottis représentatif des conditions de prélèvement. Dans tous les cas, la surface du frottis doit être égale ou inférieure à la surface du détecteur. L'utilisation du frottis est délicate compte tenu de la difficulté de proposer une valeur précise de rendement. Dans le cas où celui-ci ne peut pas être évalué, il est suggéré de retenir la valeur de 10 % tel qu'indiqué dans la norme NF-ISO 7503-1 relative à l'évaluation de la contamination de surface.

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

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^2
 n est le taux de comptage en impulsions par seconde
 Rd est le rendement de détection de la sonde en % (sous 4π)
 S est la surface frottée ou la surface utile de la sonde en cm^2
 K est le rendement de la mesure ou de frottis ($K = 1$ pour la mesure par taux de comptage, $K = 0,1$ par défaut pour la mesure par frottis)

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

L'iode sous forme d'iodure est un radionucléide volatil.

Les niveaux de contamination dans l'air peuvent être évalués à partir de prélèvements d'air sur des cartouches à charbon actif. Ces pièges à iode permettent généralement de réaliser des mesures en différé.

Cependant, un détecteur spécifique placé en regard de la cartouche permet de mesurer en continu l'activité de l'iode-123.

5. MOYENS DE PROTECTION

Le choix des moyens de protection repose sur une analyse préalable de l'intervention à réaliser (ou des protocoles expérimentaux) afin d'identifier le ou les différents risques (radiologiques et autres) présent(s). Il est recommandé de pratiquer une simulation de l'opération avec un colorant (exemple : fuschine) pour en maîtriser les gestes et la durée.

Installation des locaux

Les locaux doivent être conçus pour la manipulation de l'iode-123, être réservés à la manipulation de substances radioactives et situés à l'écart des circulations générales. L'épaisseur des parois doit permettre le classement de la zone attenante si possible en zone public ou à défaut en zone surveillée.

- Le revêtement des sols, des murs, des plafonds et des surfaces de travail doit être en matériau lisse, imperméable, sans joint et facilement décontaminable.
- Les locaux mis en dépression doivent bénéficier d'une ventilation indépendante du système général de ventilation, le renouvellement d'air doit être de 10 volumes par heure pour le laboratoire chaud et de 5 volumes par heure pour les autres locaux dans lesquels sont manipulés des radionucléides.
- En médecine nucléaire, les parois du laboratoire chaud et de la salle d'injection doivent offrir une protection suffisante (à titre indicatif, pour la manipulation de 800 MBq d'iode-123 dans un laboratoire chaud, il faut une épaisseur équivalente à 24 cm de béton pour réduire le débit à 7,5 $\mu Sv/h$ derrière la paroi), sachant néanmoins que la source active est en pratique toujours dans une protection additionnelle (conteneur plombé ou enceinte plombée).

- 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.

- Les éviers doivent comporter des robinets à commande non manuelle, être reliés à des cuves de décroissance, ou être équipés d'une bonde reliée au siphon quand ils sont susceptibles de recevoir des effluents liquides contaminés. Dans ce cas, les éviers doivent être clairement identifiés.

- Le matériel médical ou de laboratoire utilisé pour le travail avec l'iode-123 ne doit servir qu'à cette seule fonction.

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 : par exemple, limiter le temps de manipulation des sources et le temps de présence auprès des patients auxquels a été administré le radiopharmaceutique ;
- s'éloigner de la source de rayonnements : des pinces longues peuvent être utilisées ;
- interposer un ou plusieurs écran(s) entre la source de rayonnements et les personnes (*voir tableau VIII*).

▽ Caractéristiques des écrans

Tableau VIII

permettant de diminuer l'exposition à l'iode-123

	Épaisseur de plomb	Épaisseur d'acier
Atténuation d'un facteur 10 du débit de dose	2 mm	24 mm
Atténuation d'un facteur 2 du débit de dose	0,2 mm	3 mm

Des écrans de verre de 0,2 mm d'épaisseur ou de plexiglas de 0,3 mm d'épaisseur permettent d'arrêter les électrons.

La préparation des solutions d'iode-123 doit avoir lieu en enceinte blindée. Ces solutions doivent ensuite être stockées dans des conteneurs en plomb de plusieurs millimètres d'épaisseur (protège-flacons).

Le port du tablier de protection radiologique pour la manipulation de ce radionucléide (énergie $\gamma > 150$ keV) n'apporte que très peu de gain.

Dans les services de médecine nucléaire, les solutions doivent être placées dans des protège-flacons en verre au plomb. Il est également indispensable d'utiliser des protège-seringues en plomb ou en tungstène munis d'une fenêtre en verre au plomb.

Les gants usuels constituent une protection efficace contre la contamination cutanée mais pas contre l'exposition externe des mains.

4 Arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites.

Protection contre l'exposition interne

Les équipements de protection individuelle doivent être utilisés.

Les risques liés à la manipulation de l'iode-123 dépendent des caractéristiques physico-chimiques, notamment la volatilité de la forme chimique mise en œuvre, de l'activité manipulée et du mode opératoire.

La manipulation d'iode libre et la préparation des solutions ont lieu dans des boîtes à gants en dépression. Elles doivent être équipées d'un système de ventilation indépendant et être munies d'un filtre à charbon actif pour piéger l'iode et d'un filtre absolu pour piéger les aérosols (les filtres sont changés tous les ans ou plus souvent si leur taux de colmatage le nécessite).

Sous réserve de manipuler des formes peu volatiles telles que des molécules marquées, de faible activité, il **peut être** admis d'utiliser l'iode dans une sorbonne.

Les solutions d'iode-123 doivent être conservées à température ambiante : le froid et les solutions acides augmentent la volatilité de l'iode.

Parmi les équipements de protection individuelle, il est indispensable de porter systématiquement une blouse à manches longues fermée, des gants jetables (migration facile des composés iodés à travers la matière). Les gants doivent être changés souvent (toutes les 15 à 20 minutes). Les utilisateurs se

rapprocheront des fournisseurs pour choisir les gants les mieux adaptés.

Le port de lunettes de protection contre les projections d'iode est recommandé.

Un lavage des mains doit être réalisé après chaque manipulation.

Des dispositifs de protection respiratoire doivent être envisagés en fonction de l'analyse des risques au poste de travail tenant compte des conditions de manipulation (contraintes mécaniques, forme physico-chimique des composés, etc.).

6. DÉLIMITATION ET CONTRÔLES DES LOCAUX

Délimitation des locaux ⁽⁴⁾

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

Tableau IX

EXPOSITION EXTERNE ET INTERNE DE L'ORGANISME ENTIER Dose efficace (E) susceptible d'être reçue en 1 h

	Zones réglementées		Zones spécialement réglementées		
Zone non réglementée <ul style="list-style-type: none"> ■ Dose efficace susceptible d'être reçue par un travailleur $E < 80 \mu\text{Sv}/\text{mois}$ ■ Contrôle de l'état de propreté radiologique si risque de contamination dans les zones réglementées attenantes 	Zone surveillée gris-bleu $E < 7,5 \mu\text{Sv}$	Zone contrôlée verte $E < 25 \mu\text{Sv}$	Zone contrôlée jaune $E < 2 \text{ mSv}$ & $\text{DDD}^* < 2 \text{ mSv/h}$	Zone contrôlée orange $E < 100 \text{ mSv}$ & $\text{DDD}^* < 100 \text{ mSv/h}$	Zone rouge dite zone interdite $E > 100 \text{ mSv}$ ou $\text{DDD}^* > 100 \text{ mSv/h}$

* DDD : débit de dose

Tableau X

EXPOSITION DES EXTRÉMITÉS (MAINS, PIEDS, CHEVILLES ET AVANT-BRAS) Dose équivalente (H) susceptible d'être reçue en 1 h

	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 rouge dite zone interdite $H > 2,5 \text{ Sv}$

Sous réserve de la présence d'une signalétique adaptée, il est possible de limiter les zones réglementées à une partie du local dans lequel l'iode-123 est manipulé.

Dans les services de médecine nucléaire⁽⁵⁾, compte tenu des conditions habituelles de pratique, les locaux dans lesquels l'iode-123 est susceptible d'être manipulé régulièrement sont classés en zones contrôlées : zone de réception des produits radioactifs, laboratoire chaud, salle d'administration, zones de manipulation et de stockage des déchets solides et liquides.

Le classement (zone surveillée ou zone contrôlée) des salles de caméra à scintillation dépend des examens effectués et des activités utilisées.

Les salles d'attente des patients après administration d'iode-123 sont classées en zones surveillées.

Les activités nécessitant un classement en zones contrôlées ou surveillées doivent être regroupées géographiquement.

Le zonage des locaux doit être justifié et formalisé dans chaque cas sous forme d'un document à conserver (à joindre au document unique relatif aux risques professionnels).

Contrôles⁽⁶⁾

Le contrôle de la contamination surfacique doit être réalisé après chaque manipulation et en cas d'incident sur les surfaces, matériels, écrans, mains... Les boîtes à gants et leur système de filtration doivent être contrôlés au moins une fois par an. Des contrôles de routine peuvent également être organisés afin de vérifier périodiquement l'état radiologique de la boîte à gants et des filtres d'extraction.

En cas de risque de dispersion atmosphérique d'iode-123, la présence d'une balise de détection servira de moyen d'alerte.

Le bon fonctionnement des appareils de mesure utilisés doit être vérifié au moins annuellement (et avant utilisation s'ils n'ont pas été utilisés depuis plus d'un mois).

Par ailleurs, après toute manipulation et en sortie de zone réglementée, un contrôle de non-contamination corporelle doit être réalisé de manière systématique.

Un contrôle mains/pieds doit être réalisé de manière systématique après toute manipulation et en sortie du service de médecine nucléaire.

7. CLASSEMENT, FORMATION ET SURVEILLANCE DU PERSONNEL EXPOSÉ

Classement

Contrairement à la délimitation des zones de travail qui est fondée sur une évaluation des risques liés aux sources radioactives, le classement du personnel opérant dans ces zones est déterminé par une étude de poste.

L'évaluation de la dose prévisionnelle 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. Ce 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. Les niveaux de référence sont fournis au *tableau XI*.

Ainsi, les travailleurs susceptibles de recevoir dans les conditions normales de travail une dose efficace supérieure à 6 mSv par an ou une dose équivalente supérieure aux trois dixièmes des limites annuelles d'exposition fixées pour les mains ou le cristallin sont classés en catégorie A. Les travailleurs exposés ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B.

▽ Critères de classement des travailleurs exposés

Tableau XI

	Dose efficace	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 susceptibles d'intervenir en zone réglementée doivent bénéficier d'une formation à la radioprotection renouvelée tous les trois ans organisée par l'employeur portant sur les risques d'expositions externe et interne, sur les procédures générales de radioprotection en vigueur ainsi que sur les règles de protection contre les rayonnements ionisants.

Une attention particulière doit être portée à la formation des nouveaux entrants et des travailleurs temporaires. Une formation (ou information) spécifique doit aussi être réalisée avant la mise en œuvre de nouvelles manipulations.

Surveillance médicale du personnel

Seuls les points clés sont rappelés ici :

- surveillance médicale réglementaire renforcée au moins annuelle s'appuyant sur une fiche individuelle d'exposition établie par l'employeur (copie dans le dossier médical) ;
- libre choix de prescription par le médecin du travail des examens complémentaires ainsi que des examens anthropométriques et/ou radiotoxicologiques urinaires ;

5 Pour plus d'informations, se référer à la fiche INRS, coll. « Radioprotection », *Médecine nucléaire. Diagnostic in vivo hors TEP*, ED 4238.

6 Arrêté du 26 octobre 2005 définissant les modalités de contrôle de radioprotection en application des articles R. 4452-12, R. 4452-14 à R. 4452-16 du code du travail et R. 1333-44 du code de la santé publique.

- carte individuelle de suivi médical (contacter l'IRSN : www.siseri.com) ;
- attestation d'exposition professionnelle établie lors du départ du salarié, en s'appuyant sur la fiche individuelle d'exposition.

De plus :

- aucune femme enceinte ne peut être affectée à un poste impliquant un classement en catégorie A. La dose à l'enfant à naître doit, dans tous les cas, rester inférieure à 1 mSv entre la déclaration de grossesse et l'accouchement (limite absolue) ;
- en pratique, elle ne sera pas maintenue à un poste où le risque de contamination interne est avéré afin de prévenir plus particulièrement toute exposition de la thyroïde du fœtus ;
- en cas d'allaitement, tout risque de contamination doit être exclu.

Surveillance dosimétrique des travailleurs exposés

Exposition externe

Dosimètre passif individuel :

- catégorie A : mensuel ;
- catégorie B : mensuel ou trimestriel.

Dosimétrie opérationnelle pour toute opération en zone contrôlée, quelle que soit la catégorie du travailleur.

Exposition des extrémités

Le risque lié à l'exposition des extrémités étant présent (notamment lors de la préparation des solutions actives et des injections aux patients), il est fortement recommandé de porter un dosimètre bague.

Exposition interne

Le niveau d'exposition interne est évalué, de préférence, par mesure directe de l'activité thyroïdienne et/ou, par défaut, par analyse radiotoxicologique urinaire. Dans le cas de molécules marquées, l'examen préconisé est l'anthroporadiométrie.

En cas de suspicion de contamination, ces examens doivent être réalisés rapidement étant donné la courte période de l'iode-123 (dans les 24 heures qui suivent l'incident).

En routine, le rythme des examens doit tenir compte des phases d'exposition (en médecine nucléaire par exemple : préparation de solutions, injections, réalisation de scintigraphies) et intervenir dans les meilleurs délais après les manipulations.

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

8. EFFLUENTS ET DÉCHETS

Chaque établissement a l'obligation de mettre en œuvre un plan de gestion individualisé définissant les modalités de tri, de conditionnement, de stockage, de contrôle et d'élimination des effluents et des déchets produits⁽⁷⁾. L'efficacité de ce plan repose sur une organisation garantissant la traçabilité des différents déchets (registres, étiquetages...).

La période radioactive de l'iode-123 étant inférieure à 100 jours, les déchets et effluents produits peuvent faire l'objet d'une gestion et d'une élimination locale sans qu'il y ait de prise en charge obligatoire par l'ANDRA.

Déchets solides et liquides

Les déchets sont déposés dans des poubelles spécifiques plombées dont l'ouverture doit pouvoir se faire à l'aide du pied, et situées sous une extraction.

Ils sont ensuite entreposés, dans un local dédié, pendant au moins dix périodes radioactives, soit, pour l'iode-123, environ six jours et en tout état de cause lorsque l'activité détectée ne dépasse pas deux fois le bruit de fond.

Effluents liquides

Les effluents liquides sont dirigés vers un système de cuves d'entreposage dont le contenu est ensuite rejeté dans le réseau d'assainissement après avoir vérifié que l'activité volumique est inférieure à 10 Bq/l (entreposage pendant au moins dix périodes radioactives). Les canalisations, signalées, sont étanches et résistent à l'action physique et chimique des effluents concernés.

Les cuves d'entreposage sont équipées de dispositifs de mesure de niveau et de prélèvement. Elles fonctionnent alternativement en remplissage et en entreposage de décroissance. Un dispositif permet la transmission de l'information du niveau de remplissage des cuves vers un service où une présence est requise 24 heures sur 24. Ces cuves sont installées dans un local indépendant, ventilé et fermé à clé, muni d'un détecteur de liquide en cas de fuite. Elles doivent répondre aux caractéristiques suivantes :

- constituées d'un matériau facilement décontaminable (béton à proscrire) ;
- situées au-dessus d'un cuvelage de sécurité permettant la rétention de liquide en cas de fuite – ce cuvelage doit être muni d'un capteur de fuite.

Les effluents liquides contenant des ions iodures peuvent être stabilisés par addition d'une solution alcaline diluée de thiosulfate, afin d'éviter la production d'iode élémentaire, source de la contamination atmosphérique.

En sortie de site, l'activité des effluents est surveillée :

- soit par un bilan sur 8 heures réalisé par un spectromètre au moins quatre fois par an,
- ou par un contrôle en continu au moyen d'un détecteur approprié.

7 Arrêté du 23 juillet 2008 relatif à l'élimination des effluents et des déchets contaminés par des radionucléides.

Effluents gazeux

Ils sont captés sur des filtres qui doivent être contrôlés puis traités avec les déchets radioactifs solides.

Les effluents gazeux ne peuvent pas être rejetés sans un contrôle préalable.

Après décroissance, les déchets et les effluents doivent être éliminés selon la filière appropriée en fonction de leur nature (banale, chimique, biologique...).

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

9. PROCÉDURES ADMINISTRATIVES D'AUTORISATION ET DE DÉCLARATION

Application à des fins médicales : médecine, art dentaire, biologie humaine, recherche biomédicale

La détention et l'utilisation d'iode-123 sont soumises à autorisation préalable prise au titre du code de la santé publique et délivrée par l'ASN, quelles que soient les activités détenues et manipulées.

Application non médicale conduite dans un établissement ni industriel ni commercial

Une autorisation délivrée par l'ASN est requise au titre du code de la santé publique dès lors que l'activité détenue ou utilisée est égale ou supérieure à 10^7 Bq (activité totale) ou à 100 Bq/g (activité massique).

Application non médicale conduite dans un établissement industriel ou commercial

Dont aucune installation n'est soumise à autorisation au titre d'une autre rubrique de la nomenclature ICPE (détention d'un produit chimique, bruit...)⁽⁸⁾

Une autorisation délivrée par l'ASN est requise au titre du code de la santé publique dès lors que l'activité détenue ou utilisée est égale ou supérieure à 10^7 Bq (activité totale) ou à 100 Bq/g (activité massique).

8 Voir décret 2006-1454 du 24 novembre 2006 modifiant la nomenclature des installations classées.

9 ADR : accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route.

10 RID : règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses.

11 ADN : accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures.

12 ADNR : règlement pour le transport de matières dangereuses sur le Rhin.

13 IMDG : code maritime international des matières dangereuses, Organisation maritime internationale.

14 Instructions techniques de l'OACI : instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses, Organisation de l'aviation civile internationale.

Dont au moins une installation est soumise à autorisation au titre d'une autre rubrique de la nomenclature ICPE⁽⁸⁾

La déclaration ICPE auprès du préfet du département est imposée lorsque l'activité totale détenue est comprise entre 10^7 Bq et 10^{11} Bq. L'autorisation ICPE est requise au-delà de 10^{11} Bq et est délivrée par le préfet du département.

Application non médicale conduite dans un établissement industriel produisant de l'iode-123

Une autorisation délivrée par l'ASN est requise au titre du code de la santé publique, quelles que soient les activités mises en jeu.

10. TRANSPORTS SUR LA VOIE PUBLIQUE

Tous les transports ne sont pas soumis à la réglementation concernant le transport des matières dangereuses. Pour l'iode-123, si l'activité massique de la matière transportée est inférieure à 100 Bq/g ou si l'activité totale de l'envoi est inférieure à 10 MBq, la réglementation ne s'applique pas.

Si ces deux seuils sont dépassés, le transport est soumis aux exigences des règlements applicables ; pour les transports par route, rail, voie fluviale, mer ou air, des arrêtés français rendent applicables les règlements ADR⁽⁹⁾, RID⁽¹⁰⁾, ADN⁽¹¹⁾ ou ADNR⁽¹²⁾, IMDG⁽¹³⁾ ou les instructions techniques de l'OACI⁽¹⁴⁾, respectivement. Tous ces règlements sont compatibles entre eux pour faciliter les transports multimodaux.

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. Pour l'iode-123, A2 vaut 3 TBq.

▽ Classement des colis selon l'activité du contenu

Tableau XII

Type de colis	Activité de l'iode-123 contenue	Exigences de conception du colis
Colis excepté	< 3 GBq (< A2/1 000)	Faibles : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en l'absence d'incident.
Colis de type A	< 3 TBq (< A2)	Moyennes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'incident mineur (choc de manutention, pluie, etc.).
Colis de type B	> 3 TBq (> A2)	Fortes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'accident sévère (collision, incendie, submersion).

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 de dose mesurés autour du colis.



▽ Correspondance entre la catégorie des étiquettes apposées au colis, l'indice de transport et le débit de dose

Tableau XIII

Indice de transport (IT) ⁽¹⁵⁾	Débit de dose (DDD) en tout point de la surface externe	Étiquette
0	$DDD \leq 5 \mu\text{Sv/h}$	I – BLANCHE
Plus de 0 mais pas plus de 1	$5 \mu\text{Sv/h} < DDD \leq 500 \mu\text{Sv/h}$	II – JAUNE
Plus de 1 mais pas plus de 10	$500 \mu\text{Sv/h} < DDD \leq 2 \text{ mSv/h}$	III – JAUNE
Plus de 10	$2 \text{ mSv/h} < DDD \leq 10 \text{ mSv/h}$ ⁽¹⁶⁾	III – JAUNE et transport exclusif

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

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

Dès la découverte de l'événement :

- suivre les consignes affichées en tenant compte des circonstances de l'incident et des activités mises en jeu ;
- alerter la personne compétente en radioprotection, le responsable de l'installation et le médecin du travail ;
- contacter, si nécessaire, l'IRSN pour un appui technique (dispositif d'alerte de l'IRSN : 06 07 31 56 63).

15 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 est de 1 m².

16 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, si des dispositions sont prises pour immobiliser le colis à l'intérieur de l'enceinte du véhicule et s'il n'y a pas d'opérations de chargement/déchargement entre le début et la fin de l'expédition.

Contamination des locaux et/ou du matériel

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

Les personnes intervenant au cours de la décontamination doivent porter, *a minima*, des gants, une blouse et des surbottes. Si un risque de contamination atmosphérique est avéré (dispersion d'iode-123 sous forme d'iodure), le port d'un masque filtrant adapté est nécessaire.

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

Expositions externe et interne d'une personne

Exposition due à une source distante

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

Contamination cutanée

Contrôler avec du matériel adapté les mains, la blouse, les cheveux, la barbe, les chaussures, les sécrétions nasales (mouchage), puis procéder à la décontamination par lavage à l'eau savonneuse de préférence, ou produit équivalent non abrasif, sans frotter afin de ne pas favoriser le passage transcutané du contaminant. Le médecin du travail réalise si nécessaire un nouvel essai de décontamination et, en cas d'échec, met en place un pansement étanche sur la zone contaminée (le pansement a pour rôle de faire transpirer la peau en cas de contamination cutanée profonde qui résiste au lavage et faciliter ainsi son élimination).

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

Dans tous les cas, apprécier la contamination en premier lieu par la mesure directe à la thyroïde puis par une analyse radiotoxologique urinaire ou une anthroporadiamétrie.

Les doses externes locales (en surface et en profondeur) résultant de cette contamination doivent également être calculées.

Contamination due à une projection oculaire

- Laver abondamment sous l'eau à température ambiante et consulter un médecin en lui communiquant la forme chimique du contaminant.
- Dans tous les cas, apprécier la contamination en premier lieu par la mesure directe de l'activité thyroïdienne puis par une analyse radiotoxicologique urinaire.

Inhalation de vapeurs ou d'aérosols contaminés

Cette situation impose l'intervention immédiate de la PCR et du médecin du travail qui, si nécessaire, feront appel à un service spécialisé ou à l'IRSN, en particulier pour évaluer la pertinence d'une prescription d'iode stable ⁽¹⁷⁾.

- Déterminer l'activité manipulée. Apprécier le niveau de contamination par la mesure directe de l'activité thyroïdienne ⁽¹⁸⁾. Si ce résultat est positif, faire réaliser un examen anthroporadiométrique par l'IRSN ou par un laboratoire agréé.
- Procéder au recueil des urines sur 24 heures des personnes concernées et faire réaliser un examen radiotoxicologique urinaire.
- En cas de résultat positif, le médecin du travail demande des analyses ultérieures pour suivre l'évolution de la contamination interne.

Le traitement d'une contamination interne par l'iode repose sur un principe simple : charger le plus rapidement possible la thyroïde en iode stable. L'attribution d'iode stable doit se faire selon une procédure bien établie au préalable par le médecin du travail.

La rapidité de mise en œuvre du traitement conditionne son efficacité :

- traitement rapide : charge résiduelle de 10 % ;
- traitement différé de 4 heures : charge résiduelle de 50 % ;
- traitement après 24 heures : dépôt inchangé, le traitement joue seulement sur la dilution isotopique et accélère légèrement la période biologique de l'iode.

Exemple d'évaluation de la dose efficace engagée

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

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

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

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 t après la contamination

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

DPUI = dose par unité d'incorporation

Exemple numérique :

Inhalation d'iode-123 sous forme particulaire (type F). L'analyse des urines des 24 heures prélevées dans les trois jours suivant la contamination donne les résultats ci-après :

$$A_1 = 7,3 \cdot 10^5 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_2 = 2,4 \cdot 10^4 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_3 = 5,4 \cdot 10^2 \text{ Bq sur 24 h}$$

Le *tableau XIV* donne l'excrétion urinaire ou la rétention au niveau de la thyroïde mesurée au jour J, en Bq par Bq inhalé, pour l'iode-123 sous forme de vapeur et particulaire (5 µm) de type F.

▽ Excrétion urinaire journalière (Bq par Bq inhalé)

Tableau XIV

Temps après l'incorporation (j)	Type F		Vapeur	
	Thyroïde	Excrétion urinaire journalière	Thyroïde	Excrétion urinaire journalière
1	$3,70 \cdot 10^{-2}$	$8,42 \cdot 10^{-2}$	$7,07 \cdot 10^{-2}$	$1,62 \cdot 10^{-1}$
2	$1,14 \cdot 10^{-2}$	$2,99 \cdot 10^{-3}$	$2,13 \cdot 10^{-2}$	$4,42 \cdot 10^{-3}$
3	$3,22 \cdot 10^{-3}$	$5,55 \cdot 10^{-5}$	$6,02 \cdot 10^{-3}$	$8,15 \cdot 10^{-5}$
4	$9,06 \cdot 10^{-4}$	$1,58 \cdot 10^{-6}$	$1,69 \cdot 10^{-3}$	$2,59 \cdot 10^{-6}$
5	$2,55 \cdot 10^{-4}$	$2,54 \cdot 10^{-7}$	$4,76 \cdot 10^{-4}$	$4,74 \cdot 10^{-7}$
6	$7,16 \cdot 10^{-5}$	$8,34 \cdot 10^{-8}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$	$1,58 \cdot 10^{-7}$
7	$2,02 \cdot 10^{-5}$	$2,78 \cdot 10^{-8}$	$3,77 \cdot 10^{-5}$	$5,25 \cdot 10^{-8}$
8	$5,67 \cdot 10^{-6}$	$9,00 \cdot 10^{-9}$	$1,06 \cdot 10^{-5}$	$1,70 \cdot 10^{-8}$
9	$1,60 \cdot 10^{-6}$	$2,85 \cdot 10^{-9}$	$2,98 \cdot 10^{-6}$	$5,36 \cdot 10^{-9}$
10	$4,49 \cdot 10^{-7}$	$8,86 \cdot 10^{-10}$	$8,39 \cdot 10^{-7}$	$1,67 \cdot 10^{-9}$

Évaluation de l'activité incorporée sur la base des mesures d'excrétion à J 1, J 2 et J 3 :

$$I = 7,5 \cdot 10^5 / 8,42 \cdot 10^{-2} = 8,91 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

$$I = 2,4 \cdot 10^4 / 2,99 \cdot 10^{-3} = 8,03 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

$$I = 5,4 \cdot 10^2 / 5,55 \cdot 10^{-5} = 9,73 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

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

$$I = 8,9 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

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

$$E = 8,9 \cdot 10^6 \times 1,1 \cdot 10^{-4} = 9,8 \cdot 10^2 \text{ µSv soit } 0,98 \text{ mSv}$$

17 L'arrêté du 13 octobre 2003 prévoit l'administration d'iode stable pour une dose équivalente à la thyroïde supérieure à 100 mSv.

18 Pour ce qui concerne la mesure de l'iode-123 dans la thyroïde, le type de détecteur le plus couramment utilisé est le détecteur à scintillation. Il comprend habituellement pour la mesure du débit de dose une sonde, équipée d'un cristal NaI, raccordée à un débitmètre.

Déclarations à effectuer

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

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

Tout accident ou incident significatif doit être déclaré, dans les meilleurs délais, auprès de la division territoriale compétente de l'ASN selon les dispositions en vigueur⁽¹⁹⁾.

En cas de dépassement d'une limite de dose annuelle, l'inspecteur du travail doit également être prévenu.

¹⁹ Guide ASN/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.

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

- Bernard Aubert (IRSN),
- Alain Biau (IRSN),
- Jean-Michel Deligne (IRSN),
- Laurent Donadille (IRSN),
- Denis-Jean Gambini (AP-HP),
- Christine Gauron (INRS),
- Gilbert Herbelet (CH Poissy-St-Germain),
- Alain Rannou (IRSN),
- Françoise Roussille (INSERM),
- Gilles Sert (IRSN),
- Jean-Pierre Servent (INRS).



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



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