

octobre 2009

RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES

ED 4300

131
53

Iode-131

- ▷ Émetteur X et gamma (raie principale de 364 keV, 81 %) et bêta (énergie maximale de 606 keV, 90 %)
- ▷ Période physique = 8,02 jours
- ▷ Période effective ≈ 7 jours

- ▷ Organe cible = thyroïde
- ▷ Surveillance du poste de travail : mesures de débit d'équivalent de dose ambiant (radiamètre), de contamination surfacique (contaminamètre ou frottis), de contamination atmosphérique
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : dosimétrie passive (poitrine et extrémités), dosimétrie opérationnelle (électronique)
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : mesures directes thyroïde, examens anthroporadiométriques, analyses radiotoxicologiques

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-131 est un radionucléide artificiel issu de la fission de noyaux lourds (uranium, plutonium, etc.). Il est produit industriellement en réacteur nucléaire.

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 : 8,02 jours

Les données du **tableau I** concernent les principales émissions dont le pourcentage est supérieur à 1 %.

▽ Principales émissions de l'iode-131

Tableau I

Principales émissions	Énergie (keV)	Pourcentage d'émission
Électron	45,6	3,5
	329,9	1,5
Bêta (Emax)	247,9	2,1
	333,8	7,2
	606,3	89,9
X	29,4	1,5
	29,7	2,8
Gamma	80,18	2,6
	284,30	6,2
	364,48	81,6
	636,97	7,1
	722,89	1,8

▽ Filiation de l'iode-131

Tableau II

Produits de filiation	Xénon stable
Équation	$^{131}_{53}\text{I} \longrightarrow \beta^- + ^{131}_{54}\text{Xe}$

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 7 jours ;
- la fraction répartie dans l'organisme en dehors de la thyroïde (70 %) est éliminée majoritairement par voie rénale avec une période effective de 6 heures environ. 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

L'iode-131 est principalement utilisé sous forme de sources non scellées (NaI, CH₃I, molécules organiques marquées, etc.) pouvant être à l'origine d'une émission gazeuse sous forme I₂.

Ses applications sont assez nombreuses :

- en médecine, il est administré par voie orale principalement sous forme de gélules NaI, pour le traitement des hyperthyroïdies (400 à 700 MBq environ) et des cancers thyroïdiens (4 à 6 GBq environ). Il peut être associé à une molécule pour des traitements spécifiques (cancers du foie par exemple). Il est désormais rarement utilisé pour les examens scintigraphiques ;
- dans l'industrie, l'iode-131 est utilisé pour tester l'efficacité des pièges à iode. L'activité mise en œuvre peut être de 10 à 150 MBq ;
- en recherche, il n'est pratiquement plus 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 μSv/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 μSv/h pour 1 MBq		
	À 10 cm	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	1,7. 10 ³	1,4. 10 ²	1,5. 10 ⁰
$\dot{H}_p(10)$	5,3. 10 ⁰	7,2. 10 ⁻¹	7,1. 10 ⁻²

▽ Flacon de 10 ml en verre standard rempli au tiers

Tableau IV

	Débit d'équivalent de dose au contact en μSv/h pour 1 MBq		Débit d'équivalent de dose en μSv/h pour 1 MBq	
	Tenu en main	Sous le flacon	À 30 cm	À 100 cm
$\dot{H}_p(0,07)$	4,6.10 ²	7,3.10 ²	8,9.10 ⁻¹	7,5.10 ⁻²
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet ⁽²⁾	Sans objet ⁽²⁾	6,6. 10 ⁻¹	6,6.10 ⁻²

	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
$\dot{H}_p(0,07)$	$4,5 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^1$	$1,8 \cdot 10^0$	$8,4 \cdot 10^{-2}$
$\dot{H}_p(10)$	Sans objet ⁽²⁾	Sans objet ⁽²⁾	$5,4 \cdot 10^0$	$6,9 \cdot 10^{-1}$	$6,4 \cdot 10^{-2}$

Contamination cutanée

Une contamination cutanée de 1 MBq par cm^2 délivre à la peau un débit d'équivalent de dose [$\dot{H}_p(0,07)$] de l'ordre de $1,4 \cdot 10^6 \mu\text{Sv/h}$.

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)	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-1}$
Organique (CH_3I)	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$		
Particulaire (par défaut aérosol de 5 μm)	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$		

Compte tenu de la période effective de l'iode-131, 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 ($n \gg 8$ jours), multiplier les valeurs précédentes par n (hypothèse linéaire).

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 (MCNPX), pour le rayonnement β , le spectre public dans le rapport 56 de l'ICRU (1997) est utilisé.

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.

4. DÉTECTION ET MESURES

▽ Mesures de surveillance à réaliser

Tableau VII

	Mise en œuvre	Appareil de mesure
Débit de dose ambiant ($\mu\text{Sv/h}$)	- En routine - En cas d'incident	Radiamètre
Recherche de contamination surfacique	- Après chaque utilisation - En cas d'incident	Contaminamètre avec sonde adaptée
Mesure d'activité surfacique (Bq/cm^2)	- En routine - En cas d'incident	Contaminamètre avec sonde adaptée ou frottis
Contamination atmosphérique (Bq/m^3)	En continu, si le risque de contamination atmosphérique est avéré	Prélèvement sur filtre et comptage

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

Compte tenu des émissions de l'iode-131 et de leurs énergies, la mesure du débit d'équivalent de dose ambiant s'effectue sans difficulté technique à l'aide d'un radiamètre étalonné équipé d'une sonde gamma ou X.

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

La mesure d'une contamination surfacique en iode-131 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-131. 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 gamma, X ou bêta 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

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

où A_s est l'activité surfacique en Bq/cm²
 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 cm²
 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/m³)

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-131.

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-131, 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, 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-131 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 permettant de diminuer l'exposition à l'iode-131*

Tableau VIII

	Verre pyrex (densité 2,23)	Plexiglas (densité 1,2)	Plomb (densité 11,34)
Arrêt β de 746 keV(*)	1,6 mm	2,6 mm	0,5 mm
Atténuation d'un facteur 10 du débit de dose photons	244 mm	497 mm	11 mm(**)
Atténuation d'un facteur 2 du débit de dose photons	119 mm	270 mm	3 mm(**)

* La prise en compte de cette énergie assure que la totalité du spectre β est arrêtée.

** Y compris le rayonnement secondaire.

À titre d'exemple et pour ce qui concerne l'exposition externe, la manipulation pendant 1 heure sans protection d'une activité de 4 GBq d'iode-131 conduirait :

- sans protection : à une dose de **3 mSv** à 30 cm ;
- à l'abri d'un château de plomb de 5 cm d'épaisseur : à une dose de **0,03 mSv** à 30 cm.

La préparation des solutions d'iode-131 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 n'apporte aucun 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-131 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-131 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 ■ 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 $E < 2 \text{ mSv}$ & $\text{DDD}^* < 2 \text{ mSv}/\text{h}$ au niveau de l'organisme entier	Zone contrôlée orange $E < 100 \text{ mSv}$ & $\text{DDD}^* < 100 \text{ mSv}/\text{h}$ au niveau de l'organisme entier	Zone rouge dite zone interdite $E > 100 \text{ mSv}$ ou $\text{DDD}^* > 100 \text{ mSv}/\text{h}$

* 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 $H < 50 \text{ mSv}$ & $\text{DDD}^* < 2 \text{ mSv}/\text{h}$ au niveau de l'organisme entier	Zone contrôlée orange $H < 2,5 \text{ Sv}$ & $\text{DDD}^* < 100 \text{ mSv}/\text{h}$ au niveau de l'organisme entier	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-131 est manipulé.

Dans les services de médecine nucléaire⁽⁵⁾, compte tenu des conditions habituelles de pratique, les locaux dans lesquels l'iode-131 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.

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-131, 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

5 Pour plus d'informations, se référer à la fiche INRS, coll. « Radioprotection », *Médecine nucléaire. Thérapeutique sans hospitalisation*, ED 4241.

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.

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 ;
- 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 la thyroïde et/ou à défaut par analyse radiotoxicologique urinaire.

Pour une utilisation continue des sources radioactives, la fréquence optimale des examens radiotoxicologiques urinaires de 24 heures est de 15 jours à un mois en fonction de l'évaluation du niveau de risque de contamination.

Pour une utilisation discontinue, le rythme des analyses radiotoxicologiques urinaires doit tenir compte des phases d'exposition et intervenir dans les meilleurs délais après manipulation (environ 48 heures pour l'iode libre).

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

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-131 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-131, environ 80 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. Cette limite est fixée à 100 Bq/l pour les effluents liquides issus des chambres des patients traités à l'iode-131.

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,

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

- ou par un contrôle en continu au moyen d'un détecteur approprié.

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-131 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 10^6 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 10^6 Bq (activité totale) ou à 100 Bq/g (activité massique).

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 10^6 Bq et 10^{10} Bq. L'autorisation ICPE est requise au-delà de 10^{10} Bq et est délivrée par le préfet du département.

Application non médicale conduite dans un établissement industriel produisant de l'iode-131

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-131, 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 10^6 Bq, 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-131, A2 vaut 0,7 TBq.

▽ Classement des colis selon l'activité du contenu

Tableau XII

Type de colis	Activité de l'iode-131 contenue	Exigences de conception du colis
Colis excepté	< 0,7 GBq (< A2/1 000)	Faibles : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en l'absence d'incident.
Colis de type A	< 0,7 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	> 0,7 TBq (> A2)	Fortes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'accident sévère (collision, incendie, submersion).

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.

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 XIII des étiquettes apposées au colis, l'indice de transport et le débit de dose

Tableau

Indice de transport (IT) ⁽¹⁵⁾	Débit de dose (DDD) en tout point de la surface externe	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 ⁽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).

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-131 sous forme d'iode), 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 anthroporadiométrie.

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

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 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 :

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

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

Avec

E = dose efficace engagée

I = activité incorporée lors 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

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-131 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.

Exemple numérique :

Inhalation d'iode-131 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 :

$$A_1 = 27.10^5 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_2 = 20.10^4 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_3 = 14.10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

Le *tableau XIV* donne la rétention au niveau de la thyroïde et l'excrétion urinaire mesurée au jour t, en Bq par Bq inhalé, pour l'iode-131 sous forme particulaire (5 µm) de type F.

▽ Excrétion urinaire journalière (Bq par Bq inhalé)

Tableau XIV

Temps en jour après l'incorporation (t)	Particules (type F)		Vapeur	
	Rétention à la thyroïde	Excrétion urinaire journalière	Rétention à la thyroïde	Excrétion urinaire journalière
1	1,2.10 ⁻¹	2,8.10 ⁻¹	2,3.10 ⁻¹	5,3.10 ⁻¹
2	1,2.10 ⁻¹	2,3.10 ⁻²	2,2.10 ⁻¹	4,3.10 ⁻²
3	1,1.10 ⁻¹	1,4.10 ⁻³	2,0.10 ⁻¹	2,5.10 ⁻³
4	9,9.10 ⁻²	1,5.10 ⁻⁴	1,9.10 ⁻¹	2,4.10 ⁻⁴
5	9,0.10 ⁻²	8,9.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻¹	1,7.10 ⁻⁴
6	8,2.10 ⁻²	9,6.10 ⁻⁵	1,5.10 ⁻¹	1,8.10 ⁻⁴
7	7,4.10 ⁻²	1,0.10 ⁻⁴	1,4.10 ⁻¹	1,9.10 ⁻⁴
8	6,8.10 ⁻²	1,1.10 ⁻⁴	1,3.10 ⁻¹	2,0.10 ⁻⁴
9	6,2.10 ⁻²	1,1.10 ⁻⁴	1,2.10 ⁻¹	2,1.10 ⁻⁴
10	5,6.10 ⁻²	1,1.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻¹	2,1.10 ⁻⁴
11	5,1.10 ⁻²	1,1.10 ⁻⁴	9,6.10 ⁻²	2,1.10 ⁻⁴
13	4,3.10 ⁻²	1,1.10 ⁻⁴	7,9.10 ⁻²	2,0.10 ⁻⁴
15	3,5.10 ⁻²	9,8.10 ⁻⁵	6,6.10 ⁻²	1,8.10 ⁻⁴
20	2,2.10 ⁻²	7,5.10 ⁻⁵	4,1.10 ⁻²	1,4.10 ⁻⁴
50	1,4.10 ⁻³	6,9.10 ⁻⁶	2,5.10 ⁻³	1,3.10 ⁻⁵
100	1,3.10 ⁻⁵	7,2.10 ⁻⁸	2,5.10 ⁻⁵	1,4.10 ⁻⁷

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

$$I = 27.10^5 / 2,8.10^{-1} = 9,6.10^6 \text{ Bq}$$

$$I = 20.10^4 / 2,3.10^{-2} = 8,7.10^6 \text{ Bq}$$

$$I = 14.10^3 / 1,4.10^{-3} = 1.10^7 \text{ Bq}$$

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

$$I = 9,4.10^6 \text{ Bq}$$

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

$$E = 9,4.10^6 \times 1,1.10^{-8} = 0,104 \text{ Sv soit } 104 \text{ mSv}$$

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 :

- Jean-Michel Deligne (IRSN),
- Denis-Jean Gambini (AP-HP),
- Christine Gauron (INRS),
- Michel Girod (CEA),
- Gilbert Herbelet (CH Poissy-St-Germain),
- Thierry Lahaye (DGT),
- Bertrand Le Dirac'h (ASN),
- Bernard Le Guen (EDF),
- Jean-Pierre Manin (IN2P3),
- Alain Rannou (IRSN),
- Françoise Roussille (INSERM),
- Gilles Sert (IRSN),
- Jean-Pierre Servent (INRS),
- Jean-Pierre Vidal (IRSN).



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