

octobre 2009

RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES

ED 4303

Tritium



- ▷ Émetteur β^- (énergie maximale de 18,6 keV)
- ▷ Période physique = 12,3 ans
- ▷ Période effective = 10 jours (HTO), \approx 40 jours (OBT)

- ▷ Organes cibles = organisme entier
- ▷ Surveillance du poste de travail : mesures de contamination surfacique (frottis) et de contamination atmosphérique (chambre d'ionisation)
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : sans objet
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : analyse radiotoxicologique urinaire

À l'état naturel, le tritium est l'isotope de l'hydrogène le moins abondant (un atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène). Le tritium existe sous différentes formes chimiques : eau tritiée (HTO), tritium gazeux (HT) et tritium lié à la matière organique (OBT).

1. CARACTÉRISTIQUES

Origine

Le tritium est présent en permanence à l'état naturel dans l'environnement. Il provient pour l'essentiel de l'action des rayonnements cosmiques sur l'azote, l'oxygène et l'argon de l'air. Environ 99 % du tritium ainsi produit se transforme en eau tritiée et s'intègre au cycle normal de l'eau.

La quantité de tritium atmosphérique a d'abord fortement augmenté lors des essais nucléaires atmosphériques. Actuellement, la production de tritium d'origine artificielle (30 % de celle d'origine naturelle) provient des émissions des réacteurs nucléaires, des rejets des usines de retraitement des combustibles et de la fabrication d'armes thermonucléaires.

Le tritium peut aussi être créé artificiellement par irradiation de cibles de lithium Li-6 par des neutrons [${}^6\text{Li}(n, {}^3\text{H}){}^3\text{H}$].

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 : 12,3 ans

Le tritium est un émetteur β^- de très faible énergie, dont le spectre continu a pour énergie maximale 18,6 keV et une énergie moyenne de 5,7 keV.

▽ Filiation du tritium

Tableau I

Produit de filiation	${}^3_2\text{He}$
Équation	${}^3_1\text{H} \xrightarrow{\beta^-} {}^3_2\text{He} \text{ stable}$

Propriétés biologiques

D'une façon générale, après ingestion, inhalation ou absorption à travers la peau, le tritium se répartit en 3 ou 4 heures dans l'organisme. Le tritium ne présente pas d'affinités particulières avec un organe précis du corps humain (atteinte de l'organisme entier).

Cependant, selon la forme chimique du tritium, le comportement biocinétique diffère :

- Eau tritiée : très absorbable, l'eau tritiée, sous forme liquide ou vapeur, est très facilement transférée vers le sang. En effet, dans une atmosphère contenant de la vapeur d'eau tritiée, on évalue que l'absorption se fait pour 1/3 au travers de la peau et pour 2/3 par inhalation. L'eau tritiée se comporte comme l'eau ordinaire à l'exception d'un faible pourcentage de tritium qui peut se fixer sur les protéines. 97 % de l'eau tritiée est en équilibre avec l'eau du corps et est retenue avec une période biologique de 10 jours, le restant étant incorporé dans les molécules organiques et retenu avec une période biologique de 40 jours.

- Molécules marquées : le tritium suit le cycle métabolique de la molécule marquée, ou en cas de dégradation, de la fraction qui le renferme. La période effective est alors différente de 10 jours. Dans le cas de la thymidine par exemple, elle est de 190 jours.

- Pour les composés organiques du tritium, 50 % de l'activité est retenu avec la période biologique de l'eau libre (10 jours) et 50 % avec la période biologique du carbone organique (40 jours).

- Tritium gazeux : pratiquement inerte, ne donne qu'une très faible contamination interne. Le tritium inhalé est peu transféré au sang (environ 0,01 % de l'activité inhalée). Le tritium à l'état de gaz libre pénètre assez peu dans la peau.

2. UTILISATIONS

Les applications du tritium sont nombreuses.

En recherche biomédicale, le tritium est très utilisé pour le marquage de molécules. Une pratique courante est la greffe par échange isotopique sur des protéines (activité mise en jeu supérieure au GBq). Il peut être employé *in vitro* en tant que marqueur pour pratiquer des autoradiographies.

Des cibles de tritium peuvent par ailleurs être utilisées comme générateurs de neutrons.

En géologie, des cibles tritiées sont utilisées pour des mesures par diagraphie (étude des propriétés géologiques des sous-sols).

Historiquement, le tritium a eu de nombreuses applications industrielles (exemples : production de peinture, cadrans luminescents, flotteurs de cannes à pêche, etc.).

Aujourd'hui, son utilisation dans les biens de consommation courante est interdite.

Cependant, il reste encore employé dans des applications très particulières, par exemple pour illuminer les aiguilles des cadrans des avions de chasse (activités supérieures au GBq).

3. PARAMÈTRES DOSIMÉTRIQUES

Exposition externe

Le parcours des rayonnements bêta émis par le tritium est très limité (7 μm au maximum dans l'eau). Les risques associés à une exposition externe sont donc inexistantes.

Exposition interne

Exposition interne due à une contamination aiguë

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

Tableau II

Forme	Inhalation de 1 Bq	Ingestion de 1 Bq
	Dose efficace engagée (μSv)	Dose efficace engagée (μSv)
Tritium gazeux	$1,8 \cdot 10^{-9}$	—
Eau tritiée	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Tritium dans un composé organique	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$
Méthane tritié	$1,8 \cdot 10^{-7}$	Sans objet

Compte tenu de la période effective du tritium, 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 ($n \gg 10$ jours), multiplier les valeurs précédentes par n (hypothèse linéaire).

1 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 III

	Appareil de mesure	Mise en œuvre
Mesure de débit d'équivalent de dose ambiant ($\mu\text{Sv/h}$)	Sans objet	
Recherche de points de contamination	Frottis	Après chaque manipulation En cas d'incident
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm^2)	Frottis	En routine En cas d'incident
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m^3)	Mesure en temps réel avec une chambre d'ionisation ou barbotage du prélèvement d'air puis mesure par scintillation liquide	Recherche de fuites, mesures des rejets d'effluents gazeux

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

Sans objet.

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

La mesure d'une contamination surfacique de tritium doit être réalisée par frottis si possible avec des ouates de cellulose pure qui seront ensuite analysées par scintillation liquide. Le rendement de frottis peut atteindre 70 % si le papier est imbibé de glycérine.

Les modalités d'évaluation de la contamination de surface par du tritium sont décrites dans la norme NF ISO 7503-2.

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

Le tritium dans l'air peut être mesuré en continu ou par échantillonnage au moyen d'une chambre d'ionisation différentielle. La chambre d'ionisation peut être fixe avec une mesure en continu, mais elle peut également être intégrée à un dispositif portable. Des appareils fondés sur ce principe sont disponibles commercialement.

Le rendement de cette méthode est faible : 5 à 6 %. C'est pourquoi ces appareils sont utiles davantage pour détecter des fuites que pour mesurer une concentration.

La présence de tritium sous forme de vapeur d'eau tritiée peut aussi être quantifiée par prélèvements :

- au moyen de barboteurs ;
- sur des agents de dessiccation dotés d'un pouvoir adsorbant élevé ;

- sur des pièges froids statiques, dynamiques ou automatiques.

Dans tous les cas, le tritium est mesuré par scintillation liquide. Cette mesure permet alors de connaître la quantité de HTO piégée.

Si une forme gazeuse de tritium devait être mesurée (la forme gazeuse et la forme vapeur ne présentant pas les mêmes propriétés), il faudrait mettre en œuvre une technique de mesure complémentaire nécessitant par exemple un chauffage dans un four catalytique à 400 °C suivi d'un nouveau barbotage.

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 risque(s) présent(s).

Dans le cas du tritium, le risque principal est le risque de contamination interne.

Installation des locaux

Les locaux doivent être conçus pour la manipulation du tritium, être réservés à cet effet et situés à l'écart des circulations générales.

Le revêtement des sols, des murs, des plafonds et des surfaces de travail doit être en matériau lisse, imperméable, sans joint et facilement décontaminable.

Cas du tritium libre

Le tritium libre présente un important pouvoir de diffusion à travers l'ensemble des matériaux. L'installation des locaux doit donc tenir compte de cette caractéristique.

Dans les locaux où le tritium est manipulé, le tritium est confiné de façon statique par étanchéité des appareils et de façon dynamique par ventilation. Le taux de renouvellement d'air dans les locaux doit être important (20 à 40 renouvellements par heure), car le tritium gazeux diffuse très rapidement dans l'atmosphère. La vitesse de l'air dans le procédé (caisson par exemple) ou dans les hottes où le tritium est manipulé doit être de 1,5 m/s pour éviter toute rétrodiffusion.

Cas du tritium fixé

Le pouvoir de diffusion du tritium au travers des matériaux dépend de la molécule sur laquelle il est fixé.

Protection contre l'exposition externe

Le travail avec le tritium ne demande pas de protection spéciale vis-à-vis de l'exposition externe (pas d'écran). Le verre des récipients ou les matières plastiques contenant les solutions actives assurent l'absorption complète des rayonnements β émis par le tritium.

Cas particulier

À titre d'information, la manipulation des bonbonnes de tritium de très forte activité (activités supérieures au TBq dans les stockages en INB) peut présenter un risque d'exposition des extrémités : les particules β émises par le tritium peuvent en effet interagir avec les parois métalliques des bonbonnes ce qui conduit à la production de rayons X de faible énergie (rayonnement de freinage).

Protection contre l'exposition interne

Les équipements de protection individuelle doivent être utilisés.

Dans tous les cas, il faut :

- porter des gants et en changer fréquemment (toutes les 15 minutes), les composés tritiés pénétrant facilement à travers les gants et la peau ;
- porter une blouse à manches longues fermée ;
- se laver les mains après chaque manipulation.

Si l'atmosphère est potentiellement contaminée :

- porter une combinaison complète avec masque, *a minima* en zone contrôlée.

De plus, il est recommandé de :

- manipuler l'eau, le gaz et les liquides tritiés uniquement dans des enceintes ventilées, car le tritium est volatil et diffuse facilement ;
- travailler en boîtes à gants si le tritium est manipulé sous forme libre, sous sorbonne si le tritium est manipulé sous forme fixée ;
- conserver les composés tritiés dans des contenants en verre.

6. DÉLIMITATION ET CONTRÔLES DES LOCAUX

Délimitation des locaux⁽²⁾

La délimitation des locaux doit prendre en compte les risques d'exposition interne liés aux sources de tritium manipulées et stockées (*voir tableau IV*).

Sous réserve de la présence d'une signalisation adaptée, il est possible de limiter les zones réglementées à une partie du local dans lequel le tritium est manipulé.

2 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.

3 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.

En pratique, les zones contrôlées (ou surveillées) se limitent généralement aux boîtes à gants, aux sorbonnes et aux réfrigérateurs (stockage des produits). Pour le tritium fixé sur les molécules et pour le tritium pur, le zonage est fonction de l'activité manipulée : une étude de poste doit être menée avant le début des manipulations.

Pour le tritium, la zone sera classée en zone contrôlée si l'activité volumique est supérieure à 5.10^5 Bq.m⁻³ dans des conditions normales de travail. Les activités nécessitant un classement en zones contrôlées ou surveillées doivent être regroupées géographiquement.

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

Contrôles⁽³⁾

Le contrôle de la contamination surfacique doit être réalisé par frottis après chaque manipulation et en cas d'incident sur les surfaces, matériels, écrans, mains. Les boîtes à gants et leur filtre doivent également être contrôlés fréquemment.

Des contrôles atmosphériques doivent être mis en place dans le cas de manipulations de tritium gazeux.

Les appareils de mesure utilisés doivent être vérifiés au moins annuellement (et avant utilisation si celui-ci n'a pas été utilisé depuis plus d'un mois).

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 l'exposition 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 V*.

Ainsi, les travailleurs susceptibles de recevoir dans les conditions normales de travail une dose efficace supérieure à 6 mSv par an sont classés en catégorie A. Les travailleurs exposés ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B.

Le seul risque à prendre en compte étant celui d'une exposition interne, les critères de classement basés sur les limites de doses équivalentes aux extrémités, à la peau et au cristallin ne sont pas pertinentes pour le tritium.

EXPOSITION 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	Zone contrôlée verte	Zone contrôlée jaune	Zone contrôlée orange	Zone rouge dite zone interdite
	$E < 7,5 \mu\text{Sv}$	$E < 25 \mu\text{Sv}$	$E < 2 \text{ mSv}$	$E < 100 \text{ mSv}$	$E > 100 \text{ mSv}$

▽ Critères de classement des travailleurs exposés **Tableau V**

	Dose efficace
Travailleurs exposés de catégorie A	$> 6 \text{ mSv}$ sur 12 mois consécutifs
Travailleurs exposés de catégorie B	$\leq 6 \text{ mSv}$ sur 12 mois consécutifs

Formation du personnel

Tous les personnels susceptibles d'intervenir en zone réglementée doivent bénéficier d'une formation à la radioprotection renouvelée au moins tous les trois ans et organisée par le chef d'établissement portant sur les risques d'exposition 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 travailleurs temporaires et des nouveaux entrants. Une formation (information) spécifique doit être réalisée avant la mise en œuvre de nouvelles manipulations.

Surveillance médicale du personnel

Les points importants sont les suivants :

- surveillance médicale renforcée, au moins annuelle, s'appuyant sur une fiche individuelle d'exposition établie par le chef d'établissement (copie dans le dossier médical) ;
- 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.

Aucune femme enceinte ne peut être affectée à un poste impliquant un classement en catégorie A. Dans le cas du tritium, la dose au fœtus dépend de nombreux paramètres (forme chi-

mique, délai entre la conception et la contamination, etc.). Elle est estimée de façon prudente à 1,6 fois la dose efficace à la mère. La dose de l'enfant à naître doit, dans tous les cas, rester inférieure à 1 mSv entre la déclaration de grossesse et l'accouchement.

Pour s'en assurer et compte tenu du fort pouvoir de diffusion du tritium, il convient de réévaluer avec attention les risques d'incorporation chez la femme enceinte. En cas d'allaitement, tout travail comportant un risque de contamination interne doit être exclu.

Surveillance dosimétrique des travailleurs exposés

Exposition externe

Le port de dosimètre passif ou opérationnel n'est pas pertinent compte tenu de la faible énergie des rayonnements émis par le tritium.

Exposition interne

La concentration radioactive de l'eau tritiée dans les urines étant supposée être égale à celle dans l'eau corporelle, l'analyse d'une seule miction est possible, le résultat étant lors exprimé en Bq/l. Pour le tritium inclus dans des molécules organiques, l'équilibre entre les urines et l'eau corporelle ne pouvant être admis, les prélèvements urinaires sont donc collectés pendant 24 heures et les résultats sont fournis en termes d'excrétion urinaire journalière (Bq/j).

En cas d'utilisation régulière de tritium, une analyse doit être réalisée tous les mois. Dans le cas d'utilisation plus ponctuelle (intervalle d'utilisation supérieur à un mois), l'examen doit avoir lieu après chaque campagne de 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 le devoir 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⁽⁴⁾. L'efficacité de ce plan repose sur une organisation garantissant la traçabilité des différents déchets (registres, étiquetages...).

La période radioactive du tritium étant supérieure à 100 jours, les déchets et les effluents produits doivent faire l'objet d'un traitement spécifique par l'ANDRA et sont évacués vers la filière spécifique des déchets tritiés. Aucun déchet n'est rejeté directement. La dilution des liquides et les rejets dans les réseaux d'eaux usées sont prohibés.

Les déchets et effluents doivent faire l'objet d'un tri répondant aux spécifications de l'ANDRA (les traitements ultérieurs ne sont pas les mêmes en fonction des caractéristiques des déchets). Ce tri consiste à séparer les déchets en prenant en compte leur nature physico-chimique et les risques spécifiques autres que le risque radiologique.

Plusieurs catégories sont distinguées : solides compactables (SP), solides nécessitant une incinération (SC), solutions aqueuses (LA), solvants (LS), solides putrescibles (SO) et flacons de scintillation (SL). Pour aider les producteurs, l'ANDRA édite et diffuse chaque année un guide d'enlèvement détaillant les différentes catégories de déchets et la tarification associée.

Les déchets sont déposés dans des poubelles spécifiques dont l'ouverture doit pouvoir se faire à l'aide du pied puis placés dans un local réservé.

Les liquides scintillants tritiés sont récupérés dans les flacons de scintillation puis stockés dans des fûts de 120 litres de couleur bleue (F120) qui sont récupérés par l'ANDRA.

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

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 du tritium 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 10^9 Bq (activité totale) ou à 10^6 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...)⁽⁵⁾

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 10^9 Bq (activité totale) ou à 10^6 Bq/g (activité massique).

Dont au moins une installation est soumise à autorisation au titre d'une autre rubrique de la nomenclature ICPE⁽⁵⁾

La déclaration ICPE auprès du préfet du département est imposée lorsque l'activité totale détenue est comprise entre 10^9 Bq et 10^{13} Bq. L'autorisation ICPE est requise au-delà de 10^{13} Bq et est délivrée par le préfet du département.

Application non médicale conduite dans un établissement industriel produisant du tritium

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 le tritium, si l'activité massique de la matière transportée est inférieure à 1 MBq/g ou si l'activité totale de l'envoi est inférieure à 1 GBq, 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⁽⁶⁾, RID⁽⁷⁾, ADN⁽⁸⁾ ou ADN⁽⁹⁾, IMDG⁽¹⁰⁾ ou les instructions techniques de l'OACI⁽¹¹⁾, respectivement. Tous ces règlements sont compatibles entre eux pour faciliter les transports multimodaux.

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

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

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

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

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

9 ADN⁽⁹⁾ : règlement pour le transport de matières dangereuses sur le Rhin.

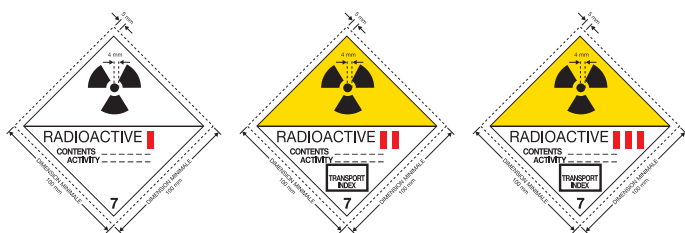
L'expéditeur est le premier responsable du respect des exigences qui sont détaillées dans ces règlements. En particulier, le choix de l'emballage dépend du niveau de risque associé à la matière transportée. Un niveau d'activité de référence dit « A2 » permet de choisir le type de colis en fonction de l'activité contenue dans le colis. Pour le tritium, A2 vaut 40 TBq.

▽ Classement des colis selon l'activité du contenu

Tableau VI

Type de colis	Activité du tritium contenu	Exigences de conception du colis
Colis excepté	< 40 GBq (< A2/1 000)	Faibles : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en l'absence d'incident.
Colis de type A	< 40 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	> 40 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 VII

Indice de transport (IT) ⁽¹²⁾	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 ⁽¹³⁾	III – JAUNE et transport exclusif

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

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

12 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.

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

- Délimiter la zone suspectée. Il est à noter que l'utilisation de solutions colorées lors des manipulations faisant intervenir des radio-isotopes est recommandée afin de pouvoir détecter visuellement la contamination du poste de travail.
- 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 (frottis) afin de s'assurer de l'absence de contamination résiduelle.

Dans le cas d'une dispersion importante et non contrôlée du tritium, il est recommandé d'intervenir avec des appareils permettant une respiration autonome (avec bouteilles) en plus des équipements de protection individuelle usuels (blouse, gants, surbottes, lunettes, voire une combinaison dédiée étanche).

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

Sans objet.

Contamination externe

- Procéder à la décontamination par un lavage abondant à l'eau savonneuse, sans frotter afin de ne pas favoriser le passage transcutané du contaminant.
- Réaliser une analyse radiotoxicologique des urines.

13 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.

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 pendant 10 minutes.
- Réaliser une analyse radiotoxicologique des urines.

Contamination interne

Toute contamination cutanée ou oculaire d'une personne doit faire suspecter et rechercher une contamination interne.

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.

- Déterminer l'activité manipulée.
- Recueillir immédiatement les urines (pendant 24 heures et les jours suivants si nécessaire selon le niveau présumé de la contamination).
- En cas de résultat positif, le médecin du travail demande des analyses ultérieures pour suivre l'évolution de la contamination interne.
- Stimuler l'excrétion urinaire par administration de 3 à 4 litres d'eau par jour. La dilution isotopique obtenue par absorption importante de boisson fait passer la période biologique de 10-12 jours à 3-4 jours.

Exemples d'évaluation de la dose efficace engagée

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 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

Les valeurs de F(t) sont indiquées dans les publications de la CIPR (CIPR 78) relatives à la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs.

Exemple numérique :

Incorporation de molécules organiques tritiées. L'analyse des urines des 24 heures prélevées dans les trois premiers jours suivant la contamination donne les résultats ci-après :

$$A_1 = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_2 = 1,9 \cdot 10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_3 = 1,85 \cdot 10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

Le **tableau VIII** (CIPR 78) donne l'excrétion urinaire mesurée au jour J, en Bq par Bq incorporé.

L'évaluation de l'activité incorporée, sur la base des mesures d'excrétion, est pour les trois premiers jours :

$$I = 2,3 \cdot 10^3 / 1,3 \cdot 10^{-2} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Bq}$$

$$I = 1,9 \cdot 10^3 / 2,3 \cdot 10^{-2} = 8,3 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$I = 1,85 \cdot 10^3 / 2,2 \cdot 10^{-2} = 8,4 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

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

$$I = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Bq}$$

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

$$E = 1,2 \cdot 10^5 \times 4,1 \cdot 10^{-11} = 4,9 \cdot 10^{-6} \text{ Sv soit } 4,9 \mu\text{Sv}$$

▽ Valeurs calculées (Bq par Bq incorporé) **Tableau VIII**
pour l'incorporation de molécules organiques tritiées

Temps après l'incorporation (j)	Tritium lié à la matière organique
1	$1,3 \cdot 10^{-2}$
2	$2,3 \cdot 10^{-2}$
3	$2,2 \cdot 10^{-2}$
4	$2,1 \cdot 10^{-2}$
5	$2,0 \cdot 10^{-2}$
6	$1,9 \cdot 10^{-2}$
7	$1,8 \cdot 10^{-2}$
8	$1,7 \cdot 10^{-2}$
9	$1,7 \cdot 10^{-2}$
10	$1,6 \cdot 10^{-2}$

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 de radioprotection doit être déclaré dans les meilleurs délais auprès de la division territoriale compétente de l'ASN selon les dispositions en vigueur ⁽¹⁴⁾.

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

14 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