

Fiche radionucléides | ED 4303

Tritium

À l'état naturel, le tritium est l'isotope de l'hydrogène le moins abondant (un atome de tritium pour 1018 atomes d'hydrogène). Le tritium existe sous différentes formes chimiques : eau tritiée (HTO), tritium gazeux (HT) et tritium lié à la matière organique (OBT).

^3_1H

Émetteur β^- (énergie maximale de 18,6 keV)

Période physique = 12,3 ans

Période effective = 10 jours (eau tritiée : HTO), $\approx$ 40 jours (tritium lié à la matière organique : OBT)

Organes cibles = organisme entier

Surveillance du poste de travail : mesures de contamination surfacique (frottis) et de contamination atmosphérique (chambre d'ionisation)

Surveillance dosimétrique individuelle de l'exposition externe : sans objet

Surveillance dosimétrique individuelle de l'exposition interne : analyse radiotoxique urinaire

1. Caractéristiques

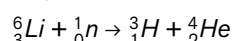
Origine

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 avait fortement augmenté du fait des essais nucléaires atmosphériques, et a diminué depuis la fin de ces essais. 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 :



Propriétés radiophysiques

Période radioactive : 12,3 ans

Le tritium est un émetteur β^- de très faible énergie, dont le spectre continu a une énergie maximale de 18,6 keV et une énergie moyenne de 5,7 keV (voir tableau 1).

Propriétés biologiques

D'une façon générale, après ingestion, inhalation ou absorption à travers

■ Tableau 1. Filiation du tritium

Produit de filiation	^3_2He
Équation	$^3_1\text{H} \xrightarrow{\beta^-} ^3_2\text{He stable}$

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 (diffusion dans 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 reste 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 à laquelle il est fixé. La période biologique est alors différente de 10 jours. Dans le cas de la thymidine par exemple, elle est de 190 jours.
- **Composés organiques du tritium** : 50 % de l'activité est retenue 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, il 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.

Dans la recherche, le tritium est très utilisé en biologie moléculaire. Une pratique courante est la greffe par échange isotopique sur protéines. Il peut être employé en tant que marqueur pour pratiquer des autoradiographies, pour du suivi d'activité biologique, des études de pharmacocinétique, des dosages *in vitro*...

Des cibles de tritium peuvent par ailleurs être utilisées dans des accélérateurs pour générer des neutrons. Ces générateurs sont employés pour des analyses de matériaux ou des diagnostics (caractérisation du sous-sol pendant un forage géologique instrumenté).

Historiquement, le tritium a eu de nombreuses applications industrielles dans le domaine des tubes électroniques (pré-ionisation, parasurtenseur...) et dans celui de la luminescence avec des peintures pour horlogerie, instrumentation de bord, dispositifs de visée... ou des ampoules au tritium gazeux.

Il a aussi été utilisé dans des détecteurs à capture d'électrons.

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

En dehors de son utilisation proprement dite, le tritium est un radio-nucléide produit dans les réacteurs nucléaires et est donc présent dans les étapes suivantes du cycle du combustible nucléaire (retraitement, démantèlement, stockage).

3. Paramètres dosimétriques

Exposition externe

Le parcours des rayonnements bêta émis par le tritium est très limité (7 µm au maximum dans l'eau) car l'énergie est faible. Les risques associés à une exposition externe sont donc inexistantes, hors éventuelles situations en installation nucléaire de base (INB), impliquant des niveaux d'activité très importants de tritium. Ces situations ne sont pas traitées dans le cadre de cette fiche.

Exposition interne

Exposition interne due à une contamination aiguë

Compte tenu des périodes biologiques du tritium, les doses efficaces engagées sur un an sont identiques à celles engagées sur 50 ans (voir tableaux 2a et 2b).

■ Tableau 2a – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée (DPUI)* par inhalation, en µSv.Bq⁻¹, applicables aux travailleurs exposés de 18 ans et plus.

Liste des abréviations utilisées :

A. F : aérosol de type F – A. M : aérosol de type M – A. S : aérosol de type S – A. Spé. : aérosol spécifique – G-V. : gaz ou vapeur (éventuellement suivi d'un type tel que F ou V).

Type	Forme chimique	DPUI 5 µm (µSv.Bq ⁻¹)	DPUI 1 µm (µSv.Bq ⁻¹)
A. F	Hydruure de LaNiAl	1,3.10 ⁻⁵	8,6.10 ⁻⁶
A. M	Fragments de verre, peinture luminescente, hydruure de titane, hydruure de zirconium, autres composés et composés non spécifiés	2,4.10 ⁻⁵	4,3.10 ⁻⁵
A. S	Hydruure de carbone, hydruure d'hafnium	2,6.10 ⁻⁴	5,2.10 ⁻⁴
A. Spé.	Composés organiques biogéniques	3,5.10 ⁻⁵	2,3.10 ⁻⁵
G-V. V	Méthane tritié	5,9.10 ⁻⁸	
G-V. V	Eau tritiée	2,0.10 ⁻⁵	
G-V. V	Gaz tritié	2,0.10 ⁻⁹	
G-V. F	Autres composés et composés non spécifiés	2,0.10 ⁻⁵	

■ Tableau 2b – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée (DPUI)* par ingestion, en µSv.Bq⁻¹, applicables aux travailleurs exposés de 18 ans et plus.

Forme chimique	DPUI (µSv.Bq ⁻¹)
Composés biogéniques	5,1.10 ⁻⁵
Composés relativement insolubles	2,0.10 ⁻⁶
Composés solubles	1,9.10 ⁻⁵

* Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

Les données dosimétriques du tableau 2a reposent sur des diamètres aérodynamiques médians d'activité (DAMA) de 5 µm et 1 µm. Le coefficient de dose retenu par défaut pour le travailleur inhalant un aérosol est celui correspondant à un diamètre aérodynamique médian en activité des particules de 5 µm. Le coefficient de dose correspondant à 1 µm peut être utilisé s'il existe des données démontrant que le travailleur inhale un aérosol de ce diamètre.

Exposition interne due à une contamination chronique

Pour 1 Bq/jour pendant n jours (n > 10 jours), multiplier les valeurs précédentes par n (hypothèse linéaire).

4. Détection et mesures

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

Sans objet.

Mesure de la contamination surfacique et recherche de points de contamination (Bq/cm²)

Les modalités d'évaluation de la contamination de surface par du tritium sont décrites dans la norme NF ISO 7503-2. La mesure d'une contamination surfacique par le tritium doit être réalisée par frottis avec des papiers-filtres de cellulose pure imbibés d'un agent mouillant (éthanol, glycérine, eau...) qui seront ensuite analysés par scintillation

liquide. Il est important de vérifier auprès du laboratoire d'analyse que l'agent mouillant est compatible avec le liquide scintillant utilisé. Le rendement de frottis est établi à 10 % de manière conservatrice.

Mesure de la contamination atmosphérique (Bq/m³)

La présence de tritium sous forme de vapeur d'eau tritiée (HTO) ou de gaz tritié (HT) peut être quantifiée par prélèvements :

- au moyen de barboteurs (HTO et HT),
- sur des agents de dessiccation, dotés d'un pouvoir adsorbant élevé (HTO),
- sur des pièges froids statiques, dynamiques ou automatiques (HTO).

Dans tous les cas, les prélèvements sont analysés par scintillation liquide.

Cette mesure permet alors de connaître la quantité de HTO ou de HT prélevée.

Pour des niveaux importants, le tritium dans l'air peut être mesuré en continu ou par échantillonnage au moyen d'une chambre d'ionisation différentielle.

Le rendement de cette méthode est faible (5 à 6 %), la rendant ainsi plus pertinente pour détecter des fuites importantes (quelques dizaines de kBq/m³ d'air) plutôt que pour mesurer une concentration.

5. Moyens de protection

Le choix des moyens de protection dépend de la forme chimique du tritium et repose sur l'évaluation des risques

professionnels liés à l'intervention à réaliser (ou des protocoles expérimentaux). Dans le cas du tritium, le risque principal est le risque de contamination interne.

Conception des locaux de travail

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. La conception des locaux doit donc tenir compte de cette caractéristique.

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.

Dans ces locaux, le tritium doit être manipulé dans une enceinte de confinement afin d'assurer un confinement statique par étanchéité et dynamique par ventilation.

La vitesse de l'air dans l'enceinte de confinement (boîte à gants, par exemple) doit être de 1,5 m/s afin d'éviter toute rétrodiffusion.

Cas du tritium fixé

Le pouvoir de diffusion du tritium au travers des matériaux et sa volatilité dépendent de la molécule sur laquelle il est fixé. Le choix des conditions de manipulation va donc dépendre de la quantité de tritium, de sa forme physicochimique ainsi que des propriétés de diffusion de la molécule sur laquelle il est fixé.

Protection contre l'exposition externe

Du fait de la faible énergie bêta du tritium, le travail avec le tritium ne demande pas de protection spéciale vis-à-vis de l'exposition externe (pas

■ Tableau 3. Techniques de mesure et mise en œuvre

	Technique de mesure	Mise en œuvre
Mesure du débit d'équivalent de dose ambiant (µSv/h)	Sans objet	
Recherche de points de contamination	Prélèvement par frottis puis mesure par scintillation liquide	Après chaque manipulation En cas d'incident
Mesure de contamination surfacique (Bq/cm²)	Prélèvement par frottis puis mesure par scintillation liquide	En routine En cas d'incident
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m³)	Mesure en temps réel avec une chambre d'ionisation Prélèvement d'air puis mesure par scintillation liquide	Recherche de fuite Mesure des rejets d'effluents gazeux

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.

Protection contre la contamination interne

Afin de limiter le risque lié à l'exposition interne, les règles de prévention collective suivantes doivent être appliquées :

- transporter l'eau, le gaz et les liquides tritiés ainsi que les déchets solides tritiés (flacons vides, gants...) uniquement dans des contenants étanches car le tritium est volatil et diffuse facilement,
- travailler en enceintes de confinement ventilées (*a fortiori* si le tritium est manipulé sous forme libre),
- conserver les composés tritiés dans des contenants en verre.

En complément des mesures collectives, des équipements de protection individuelle doivent être portés :

- une paire de gants en PVC de 0,5 mm d'épaisseur minimale et fréquemment changée (toutes les dix minutes environ). Lorsque l'activité de tritium mise en œuvre est élevée, deux ou trois paires de gants peuvent être portées. Par exemple, des gants intérieurs en coton pour le confort, les seconds en polyéthylène pour l'imperméabilité et des gants extérieurs en latex pour protéger le haut du bras. Par ailleurs, les gants utilisés doivent satisfaire aux exigences de la norme NF EN 421. Un lavage des mains doit être réalisé après chaque retrait,
- une blouse adaptée, à manches longues, fermée.

Si l'atmosphère est susceptible d'être contaminée : porter une combinaison complète avec un appareil respiratoire isolant.

6. Délimitation et signalisation des zones surveillées et contrôlées⁽¹⁾

Aménagement du lieu de travail

Les règles de base de conception de locaux pour une utilisation donnée doivent être respectées, conformément aux principes généraux de prévention mentionnés dans le Code du travail. Les équipements de protection collective (EPC) doivent être privilégiés aux équipements de protection individuelle (EPI).

La délimitation de zones sur le lieu de travail doit prendre en compte les risques d'exposition interne liés aux sources de tritium manipulées et stockées (voir tableau 4) ainsi que ceux liés aux autres sources de rayonnements, qu'il s'agisse d'exposition interne ou externe.

Cette délimitation doit se faire en tenant compte des situations représentatives des conditions normales d'utilisation les plus pénalisantes et en considérant le lieu de travail occupé de manière permanente (exemple : 170 heures par mois). Les incidents raisonnablement prévisibles doivent également être pris en compte.

En pratique, l'évaluation de la dose efficace doit prendre en compte l'activité manipulée ou l'activité volumique atmosphérique mesurée.

Les tâches nécessitant la délimitation de zones contrôlées ou surveillées doivent être regroupées géographiquement.

La démarche ayant conduit à la délimitation des zones devra être justifiée et formalisée pour chaque local de travail. Elle devra être intégrée au document unique d'évaluation des risques professionnels. Cette démarche doit être renouvelée en cas de modification de l'activité, des pratiques ou des équipements.

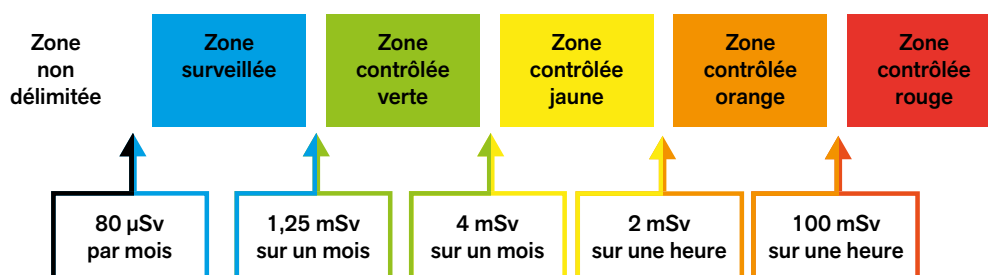
Conditions et modalités d'accès aux zones délimitées

L'accès aux zones délimitées est restreint aux travailleurs classés.

Toutefois, les travailleurs ne faisant pas l'objet d'un classement peuvent accéder à une zone surveillée bleue ou contrôlée verte, sous réserve d'y être autorisé par l'employeur sur la base de l'évaluation individuelle du risque dû aux rayonnements ionisants et que l'employeur s'assure que le niveau d'exposition respecte les valeurs limites applicables pour le public.

Ces travailleurs peuvent également, pour un motif justifié préalablement, accéder à une zone contrôlée jaune. L'employeur doit alors mettre en œuvre des dispositions particulières de prévention, notamment une information renforcée.

■ Tableau 4 – Dose efficace E (intégrée par ou sur une période considérée en mois ou en heure)



Dose équivalente (intégrée par mois) pour les extrémités et la peau Ht

1. Arrêté du 15 mai 2006 modifié relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées, dites zones délimitées compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants.

7. Vérifications⁽²⁾

Vérifications initiales des lieux de travail

Hors INB, les vérifications initiales et leur renouvellement éventuel sont effectués par des organismes accrédités. Dans les INB, ce sont les pôles de compétence en radioprotection qui peuvent réaliser ces vérifications initiales. Elles doivent être réalisées lors d'une mise en service ou d'une modification importante des méthodes ou des conditions de travail susceptibles d'affecter la santé et la sécurité des travailleurs.

Sont notamment concernées :

- les modifications pouvant remettre en cause des éléments de la conception de l'installation, des équipements de protection collective ou les conditions d'utilisation,
- les modifications résultant des mesures correctives importantes mises en œuvre à la suite d'une non-conformité détectée lors d'une vérification périodique.

La méthode et l'étendue des vérifications initiales sont définies à l'annexe 1 de l'arrêté du 23 octobre 2020 modifié.

La vérification initiale est réalisée en des points représentatifs permettant de vérifier l'adéquation de la délimitation des zones avec le risque d'exposition.

Elle est complétée par la vérification de l'efficacité des dispositifs de protection des enceintes de confinement (étanchéité, renouvellement d'air, filtration...).

Vérifications périodiques des lieux de travail (zones délimitées et lieux attenants)

La méthode, l'étendue et la périodicité des vérifications périodiques sont conformes aux instructions définies par l'employeur en adéquation avec l'activité. Celui-ci justifie le délai entre deux vérifications périodiques sans qu'il puisse excéder 3 mois. Ces vérifications sont mises en œuvre par le conseiller en radioprotection (CRP) ou

sous sa supervision. En cas d'anomalies ou d'incidents, elles sont éventuellement à compléter. Elles sont réitérées lors de modifications de protocole ou de la mise en œuvre d'une nouvelle pratique.

Les vérifications périodiques des lieux de travail visent à s'assurer du maintien en conformité eu égard aux résultats obtenus lors de la dernière vérification initiale. Elles comprennent des mesures de la concentration de l'activité radioactive dans l'air dans le cas de manipulation de tritium gazeux et/ou des mesures de la contamination surfacique au moyen d'une technique de mesure appropriée (voir tableau 3).

La propreté radiologique des lieux de travail attenants aux zones délimitées doit également être vérifiée tous les 3 mois.

De plus, les systèmes de filtration des enceintes de confinement doivent être vérifiés selon une périodicité définie dans le plan de gestion des déchets et effluents radioactifs de l'établissement.

Bonne pratique

Une vérification de la contamination surfacique par frottis est recommandée après chaque manipulation et en cas d'incident sur les surfaces, matériels, écrans, mains, y compris en l'absence de zones délimitées.

8. Classement, formation, surveillance dosimétrique et suivi de l'état de santé des travailleurs exposés

Classement des travailleurs et valeurs limites d'exposition professionnelle

Contrairement à la délimitation des zones de travail qui est fondée sur une évaluation des risques liés aux sources de rayonnements ionisants,

le classement des travailleurs opérant dans ces zones est déterminé par une évaluation de la dose individuelle en conditions représentatives de travail.

L'évaluation individuelle de l'exposition sur 12 mois consécutifs prend en compte l'exposition interne et externe aux différents postes occupés ainsi que les incidents raisonnablement prévisibles. Elle permet de déterminer si le travailleur doit être classé ou non. Ce classement n'est pas fondé sur l'affectation, habituelle ou non, en zone délimitée mais sur des niveaux de dose susceptibles d'être dépassés.

Ainsi, les travailleurs susceptibles de recevoir une dose efficace supérieure à 1 mSv et inférieure à 6 mSv sur 12 mois consécutifs sont classés en catégorie B, et ceux susceptibles de recevoir une dose efficace supérieure à 6 mSv sur 12 mois consécutifs sont classés en catégorie A. La valeur limite d'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants est de 20 mSv sur 12 mois consécutifs en dose efficace en considérant toutes les sources de rayonnements ionisants auxquelles le travailleur est susceptible d'être exposé.

Dans le cas du tritium, 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 pertinents.

Information et formation des travailleurs

Les contenus minimaux de l'information et de la formation sont détaillés dans l'article R. 4451-58 du Code du travail.

Une attention particulière doit être portée aux travailleurs temporaires, aux travailleurs de moins de 18 ans, aux nouveaux arrivants et femmes en âge de procréer. Il est essentiel d'aborder notamment les effets potentiellement néfastes de l'exposition aux rayonnements ionisants sur l'enfant à naître, en particulier lors du début de la grossesse, ainsi que l'importance de déclarer le plus précocement possible un état de grossesse.

2. Arrêté du 23 octobre 2020 modifié relatif aux mesurages réalisés dans le cadre de l'évaluation des risques et aux vérifications de l'efficacité des moyens de prévention mis en place dans le cadre de la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants.

Information

Tous les travailleurs autorisés à accéder à une zone délimitée (y compris les travailleurs non classés) doivent bénéficier d'une information portant sur les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants, les règles et les procédures générales de radioprotection en vigueur.

Les travailleurs non classés peuvent être autorisés à accéder à une zone contrôlée jaune par leur employeur. Ce dernier doit alors justifier préalablement le motif et mettre en œuvre des dispositions particulières de prévention, dont une information renforcée.

Formation

Les travailleurs classés reçoivent une formation en rapport avec les résultats de l'évaluation des risques, prise en charge par l'employeur et renouvelée au moins tous les trois ans.

Suivi de l'état de santé des travailleurs classés

Concernant les travailleurs classés, les points importants sont les suivants (voir tableau 5) :

- suivi individuel renforcé, avec examen médical d'aptitude effectué par le médecin du travail préalablement à l'affectation au poste,
- pour les travailleurs classés en catégorie B, l'examen médical d'aptitude est renouvelé selon une périodicité que le médecin du travail détermine et qui ne peut être supérieure à quatre ans. Une visite intermédiaire est effectuée par un professionnel de santé (médecin du travail, collaborateur médecin, interne, infirmier) au plus tard deux ans après la visite d'aptitude avec le médecin du travail,
- pour un travailleur classé en catégorie A, la visite médicale d'aptitude

est renouvelée chaque année. La visite intermédiaire n'est pas requise.

Il est interdit d'affecter ou de maintenir une femme enceinte à un poste de travail requérant un classement en catégorie A. Dans le cas du tritium, la dose à l'enfant à naître dépend de nombreux paramètres (forme chimique, délai entre la conception et la contamination...). Elle est estimée de façon prudente à 1,6 fois la dose efficace à la mère. La dose à l'enfant à naître doit être la plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre et, en tout état de cause, rester inférieure à 1 mSv entre la déclaration de grossesse et l'accouchement.

Surveillance dosimétrique individuelle des travailleurs exposés

Exposition externe

Le port de dosimètre à lecture différée (dosimètre passif) ou à lecture directe (dosimètre 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 de l'eau corporelle, l'analyse d'une seule miction est possible, le résultat étant alors 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 *a priori*, 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, l'intervalle de surveillance recommandé est d'un mois. Dans le cas

d'une 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 (valeur supérieure à la limite de détection), 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 du conseiller en radioprotection (CRP).

9. Effluents et déchets

Les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire, sont définies dans l'arrêté du 23 juillet 2008 portant homologation de la décision 2008-DC-0095 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 janvier 2008.

Un plan de gestion des effluents et déchets contaminés doit être établi et mis en œuvre par tout titulaire d'une autorisation, d'un enregistrement ou d'une déclaration.

Ce plan de gestion décrit notamment les modalités de tri, de conditionnement, de stockage, de contrôle et d'élimination des effluents et des déchets produits. L'efficacité de ce plan repose sur une organisation garantissant la traçabilité des différents déchets (registres, étiquetage...).

Toute aire dans laquelle des effluents et déchets contaminés sont produits ou susceptibles de l'être est considérée comme une zone à déchets contaminés.

Les déchets et les effluents contenant du tritium doivent faire l'objet d'une prise en charge dans les filières de gestion des déchets radioactifs mises en place par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra). Ils ne peuvent pas être rejetés directement.

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

■ Tableau 5. Périodicités des visites médicales

	Catégorie B	Catégorie A*
Médecin du travail (examen médical d'aptitude)	1 an à 4 ans maximum	1 an
Professionnel de santé (visite intermédiaire)	2 ans au plus après médecin du travail	

* Ou travailleur ayant dépassé une des valeurs limites d'exposition sur 12 mois.

et effluents). Ce tri consiste à séparer les déchets et effluents en prenant en compte leur nature physicochimique et les risques spécifiques autres que le risque radiologique. Pour aider les producteurs, l'Andra édite et diffuse chaque année un guide d'enlèvement détaillant les différentes catégories de déchets et d'effluents et la tarification associée.

La dilution des liquides et les rejets dans les réseaux d'eaux usées sont prohibés.

L'élimination des liquides marqués par du tritium doit être réalisée en respectant les catégories et les conditionnements définis dans le guide d'enlèvement de l'Andra en veillant à bien séparer les effluents en fonction de leur nature physicochimique (solvants, liquides aqueux...).

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

Lorsque l'activité nucléaire est soumise au régime d'enregistrement ou d'autorisation (voir § 10) et que l'exercice de ces activités génère des effluents ou des déchets contaminés par des radionucléides ou susceptibles de l'être, y compris par activation, le responsable d'une activité nucléaire fait vérifier par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ou par un organisme agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire, les règles mentionnées à l'annexe de l'arrêté pris en application de l'article R. 1333-172 du Code de la santé publique.

Lorsque l'activité relève du régime d'enregistrement, le responsable de cette activité fait vérifier les règles mises en place au moins une fois tous les trois ans. Lorsque l'activité relève du régime d'autorisation, le responsable de cette activité fait vérifier les règles mises en place au moins une fois tous les ans.

Le responsable de l'activité nucléaire définit, en lien avec le conseiller en radioprotection, un programme des vérifications.

10. Procédures administratives

Régimes de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)

application industrielle, vétérinaire ou de recherche (hors recherche impliquant la personne humaine)

Selon la finalité de l'utilisation, le niveau d'activité et les autres sources radioactives présentes, la détention ou l'utilisation de tritium peut être soumise à un régime de déclaration, d'enregistrement ou d'autorisation. S'il s'agit de tritium seul, le Code de la santé publique requiert un acte administratif dès que l'activité totale détenue dépasse 10^9 Bq. Cet acte est délivré par l'ASN, sauf cas particuliers (établissements intéressant la défense, par exemple).

Détention de tritium seul

Régime de déclaration

Quand la source n'est pas exemptée, le régime de déclaration est réservé exclusivement aux utilisations suivantes :

- sources radioactives scellées dans des tubes électroniques à pré-ionisation lorsque l'activité totale de tritium est inférieure à 2.10^{11} Bq,
- sources radioactives scellées utilisées pour l'étalonnage ou l'enseignement dès lors que $Q^{(3)} < 10^4$.

Régime d'enregistrement

Pour le tritium sous forme non scellée, le régime d'enregistrement s'applique lorsque l'activité totale détenue uniquement liée au tritium est inférieure à 10^{13} Bq.

Pour le tritium sous forme scellée utilisé dans l'enseignement ou pour l'étalonnage, le régime d'enregistrement s'applique dès lors que l'activité totale de tritium est inférieure à 2.10^{15} Bq.

Régime d'autorisation

Lorsque l'une des conditions définies précédemment n'est pas satisfaite, l'utilisation de tritium seul est soumise au régime d'autorisation.

Détention de tritium et autre(s) radionucléide(s)

Régime de déclaration

Il s'applique pour les sources radioactives scellées utilisées pour l'étalonnage ou l'enseignement dès lors que $Q^{(3)} < 10^4$ pour l'ensemble des radionucléides présents.

Régime d'enregistrement

Pour le tritium sous forme non scellée, le régime d'enregistrement s'applique lorsque $Q^{(3)} < 10^4$ et qu'aucun rejet de tritium (ou d'autres radionucléides de période supérieure à 100 jours) dans l'environnement n'est réalisé.

Pour le tritium sous forme scellée, le régime d'enregistrement s'applique lorsque la somme pondérée des activités des radionucléides présents est telle que $\sum (A_i/\text{seuils } C_i(\text{SSHA})) < 1^{(4)}$.

Régime d'autorisation

Dans le cas où le calcul du coefficient $Q^{(3)}$, ou de la somme pondérée des activités des radionucléides présents pour l'ensemble des activités nucléaires mettant en œuvre des sources radioactives au sein d'un même site d'un même établissement, ne répond pas aux critères mentionnés ci-dessus, l'ensemble de ces activités nucléaires est soumis au régime d'autorisation.

Régimes des ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement)

Détention (rubrique 1716)

Lorsque les conditions d'exemption mentionnées au 1° du I de l'article R. 1333-106 du Code de la santé publique ne sont pas remplies, que la quantité totale de substances radioactives sous forme non scellée est supérieure à 1 tonne et que la valeur de $Q_{NS}^{(5)}$ est égale ou supérieure à 10^4 , l'activité est soumise au régime d'autorisation.

Déchet (rubrique 2797)

Lorsque la quantité de déchets radioactifs susceptible d'être présente est supérieure à 10 m^3 et que les conditions

3. Q correspondant à la somme pondérée des activités en radionucléides en source non scellée présents à un moment quelconque dans le lieu où l'activité est exercée ou objet de l'activité, divisée par la valeur limite d'exemption fixée à la deuxième colonne du tableau 2 de l'annexe 13-8 du Code de la santé publique pour chacun de ces radionucléides.

4. $C_i(\text{SSHA})$ correspond à la valeur qui figure, pour le radionucléide i , en colonne 5 du tableau 2 de l'annexe 13-8 du Code de la santé publique et définit une source scellée de haute activité de catégorie C.

5. Q_{NS} : coefficient Q pour les substances radioactives non scellées uniquement.

d'exemption mentionnées au 1° du I de l'article R. 1333-106 du Code de la santé publique ne sont pas remplies, l'activité est soumise au régime d'autorisation.

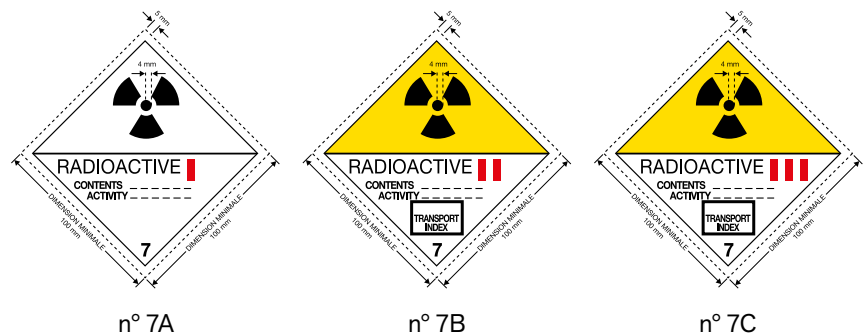
11. Transports

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 liée au transport des matières dangereuses ne s'applique pas.

■ Tableau 6. Classement des colis selon l'activité du contenu

Type de colis	Activité du tritium contenu (matière nue)*	Exigences de conception du colis
Colis excepté	< 800 GBq (gaz) < 40 GBq (solide) < 4 GBq (liquide)	Faibles : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en l'absence d'incident
Colis du type A	< 40 TBq	Moyennes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'incident mineur (choc de manutention, etc.) Renforcées si la matière est liquide (choc accidentel)
Colis du type B	> 40 TBq	Fortes : maintenir l'étanchéité et la protection contre les rayonnements en cas d'accident sévère (collision, incendie, immersion)

* Des limites différentes s'appliquent pour du tritium transporté dans un appareil ou un objet ayant fait l'objet d'une autorisation spécifique par une autorité compétente.



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 ou règlements européens rendent applicables les règlements ADR⁽⁶⁾, RID⁽⁷⁾, ADN⁽⁸⁾, IMDG⁽⁹⁾ ou les instructions techniques de l'OACI⁽¹⁰⁾, respectivement.

Tous ces règlements sont globalement 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 de la matière nue contenue dans le colis. Pour le tritium, A₂ vaut 40 TBq.

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 au cours du transport. Cette signalisation est effectuée par l'une des étiquettes 7A, 7B ou 7C représentées ci-contre, choisie selon l'indice de transport⁽¹¹⁾ (IT) (voir tableau 7).

Le marquage consiste à mentionner les indications suivantes : destinataire ou expéditeur, masse brute, type de colis et, le cas échéant, marque d'identification, les lettres « UN » suivi du

■ Tableau 7. Correspondance entre la catégorie des étiquettes apposées sur le colis, l'indice de transport et le débit de dose

Indice de transport (IT*)	Débit d'équivalent de dose (DED) en tout point de la surface externe	Étiquette
0	DED ≤ 5 µSv/h	7A (I – BLANCHE)
0 < IT ≤ 1	5 µSv/h ≤ DED ≤ 0,5 mSv/h	7B (II – JAUNE)
1 < IT ≤ 10	0,5 mSv/h ≤ DED ≤ 2 mSv/h	7C (III – JAUNE)
IT > 10**	2 mSv/h ≤ DED ≤ 10 mSv/h **	7C (III – JAUNE et transport exclusif)

* IT : L'indice de transport correspond au débit d'équivalent de dose maximal à 1 m en tout point situé à la surface externe du colis (en mSv/h) x 100 x k. k est un coefficient qui dépend de la taille de certains colis (conteneurs et citernes). k = 1 pour les colis dont la plus grande surface projetée est de 1 m².

** Le débit d'équivalent de dose en tout point de la surface externe du colis 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. Il s'agit alors d'un transport dit « sous-utilisation exclusive » et le débit de dose ne peut excéder 10 mSv/h en tout point de la surface externe du colis.

6. ADR : accord 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. IMDG : code maritime international des matières dangereuses.
10. OACI : organisation de l'aviation civile.
11. IT : l'indice de transport correspond au débit d'équivalent de dose maximal à 1 m en tout point situé à la surface externe du colis (en mSv/h) x 100 x k. k est un coefficient qui dépend de la taille de certains colis (conteneurs et citernes). k = 1 pour les colis dont la plus grande surface projetée est de 1 m².

numéro d'identification de la matière radioactive.

Outre le marquage, des étiquettes (modèles 7A, 7B ou 7C en fonction de la catégorie du colis) doivent être apposées à l'extérieur du colis sur deux côtés opposés.

12. Conduite à tenir en cas d'événement

Le traitement de l'urgence 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'événement et des activités mises en jeu.
- Alerter le conseiller en radioprotection, l'employeur, le responsable de l'activité 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 et en restreindre l'accès. 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 vérifications (frottis) afin de s'assurer de l'absence de contamination résiduelle.

Dans le cas d'une dispersion importante et non contrôlée de tritium, il est recommandé de faire appel à une société spécialisée.

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

Expositions externe et interne d'une personne

Exposition due à une source sans contact direct

Sans objet.

Contamination cutanée

- Procéder à la décontamination par un lavage à l'eau savonneuse de préférence (ou un produit équivalent non abrasif) sans frotter afin de ne pas favoriser le passage transcutané du contaminant et en protégeant les muqueuses (yeux, bouche, narines, conduits auditifs).
- Réaliser une analyse radio toxicologique des urines sur prescription du médecin du travail.

Toute contamination d'un travailleur doit être tracée et 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 15 minutes.
- Réaliser une analyse radio toxicologique des urines.

Contamination interne

Toute suspicion de contamination interne par inhalation ou ingestion impose l'intervention immédiate du CRP et du médecin du travail qui, si nécessaire, pourront faire appel à l'IRSN.

- Déterminer la forme physico-chimique et l'activité du radionucléide manipulé.
- Débuter immédiatement les prélèvements urinaires pendant 24 heures et les envoyer le plus rapidement possible après la fin du recueil pour analyse à l'IRSN ou à un organisme agréé.
- 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 en augmentant la prise d'eau.

La dilution isotopique obtenue par absorption importante de boisson fait passer la période biologique de 10-12 jours à 3-4 jours.

À noter que toute contamination cutanée ou oculaire doit entraîner la recherche d'une contamination interne.

Exemples 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

Les valeurs F(t) sont données dans la publication 134 de la CIPR.

Exemple numérique : incorporation par inhalation de molécules organiques biogéniques tritiées.

L'analyse des urines des 24 heures prélevées dans les trois premiers jours suivant la contamination donne les résultats suivants :

$$A_1 = 2,3.10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_2 = 1,9.10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A_3 = 1,85.10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

■ Tableau 8 – Fractions excrétées dans les urines de 24 heures F(t) après inhalation de molécules organiques biogéniques tritiées (Bq par Bq inhalé)

Temps après incorporation (j)	Fraction excrétée dans les urines de 24 heures F(t)
1	8,90.10 ⁻³
2	1,20.10 ⁻²
3	1,20.10 ⁻²
4	1,10.10 ⁻²
5	1,00.10 ⁻²
6	9,90.10 ⁻³
7	9,50.10 ⁻³
8	9,00.10 ⁻³
9	8,60.10 ⁻³
10	8,20.10 ⁻³

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

$$I_1 = 2,3.10^3 / 8,9.10^{-3} = 2,58.10^5 \text{ Bq}$$

$$I_2 = 1,9.10^3 / 1,2.10^{-2} = 1,58.10^5 \text{ Bq}$$

$$I_3 = 1,85.10^3 / 1,2.10^{-2} = 1,54.10^5 \text{ Bq}$$

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

$$I = 1,85.10^5 \text{ Bq}$$

Ce qui donne en prenant la DPUI correspondante (voir tableau 2a) :

$$E = 1,85.10^5 \times 3,5.10^{-11} = 6,5.10^{-6} \text{ Sv}$$

soit 6,5 µSv.

Déclarations à effectuer

À la suite d'un incident ou accident, l'employeur recherche si l'origine ou les conséquences de l'événement correspondent à un ou plusieurs critère(s)

d'événement significatif de radioprotection (ESR) défini(s) par l'ASN.

Si tel est le cas, l'employeur enregistre la date de l'ESR, en effectue l'analyse et met en œuvre des mesures de prévention en conséquence. Il en fait la déclaration à l'ASN et informe le CSE, le cas échéant. Les modalités de déclaration sont définies par l'ASN.

En cas de dépassement de l'une des valeurs limites réglementaires, l'employeur prévient l'agent de contrôle de l'Inspection du travail ou équivalent, l'ASN, et informe le CSE, le cas échéant.

Quelles que soient la nature et la gravité de l'événement, il est nécessaire d'en analyser les causes en vue de faire progresser la radioprotection et de partager le retour d'expérience.

Fiche élaborée par un groupe de travail animé par l'INRS et l'IRSN auquel ont participé des experts de : AP-HP, CEA, CH de Poissy-St-Germain, CNRS, EDF, Inserm, ASN et DGT.

Révision effectuée par l'INRS (A. Bourdieu et R. Mouillseaux) et l'IRSN (M. Pultier, A. Rannou et C. Saccoccio).

Relecture effectuée par l'ASN et la DGT ainsi que par M. Ammerich (ex. CEA) et L. Fusil (CEA).



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

Édition INRS ED 4303

4^e édition | décembre 2024 | ISBN 978-2-7389-2942-6 | Disponible en format web uniquement
Mise en pages : Valérie Causse

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie - Risques professionnels