

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 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).

^3_1H

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

1. Caractéristiques

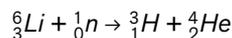
Origine

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 :



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.

■ Tableau 1. Filiation du tritium

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

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 (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*, etc.

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 diagraphies (caractérisation du sous-sol pendant un forage géologique instrumenté).

Historiquement, le tritium a eu de nombreuses applications industrielles dans le domaine des tubes électroniques (préionisation, parasurtenseur...) et dans celui de la luminescence avec des peintures pour horlogerie, instrumentation de bord, dispositifs de visée, etc. 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 radionucléide 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 inexistant, hors éventuelles situations en 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 associées aux différentes formes de tritium, les doses efficaces 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 >> 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.

■ Tableau 2. Doses efficaces engagées sur 50 ans à la suite d'incorporation de 1 Bq (DPUI), pour les travailleurs de plus de 18 ans ⁽¹⁾

Forme	Inhalation de 1 Bq	Ingestion de 1 Bq
	Dose efficace engagée (µSv)	Dose efficace engagée (µSv)
Tritium gazeux	1,8.10 ⁻⁹	-
Eau tritiée	1,8.10 ⁻⁵	1,8.10 ⁻⁵
Tritium dans un composé organique	4,1.10 ⁻⁵	4,2.10 ⁻⁵
Méthane tritié	1,8.10 ⁻⁷	-

■ Tableau 3. Mesures de surveillance à réaliser

	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/cm ²)	Prélèvement par frottis puis mesure par scintillation liquide	En routine En cas d'incident
Mesure de contamination atmosphérique (Bq/m ³)	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

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.

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 de tritium doit être réalisée par frottis avec des papiers-filtres de cellulose pure imbibés d'un agent mouillant qui seront ensuite analysés par scintillation liquide. Il est important de vérifier auprès du laboratoire d'analyse que l'agent mouillant (éthanol, glycérine, eau, etc.) 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 mesurés 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. 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 importantes (quelques dizaines de kBq/m³ d'air) 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. L'installation 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 physico-chimique 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 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 l'exposition interne

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

- transporter l'eau, le gaz, les liquides tritiés et 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 utilisés. Il est conseillé de :

- porter une paire de gants en PVC de 0,5 mm d'épaisseur minimale et en changer fréquemment (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. D'autre part, les gants utilisés doivent satisfaire aux exigences de la norme NF EN 421 ;
- se laver les mains après chaque retrait ;
- porter une blouse adaptée, à manches longues, fermée.

Si l'atmosphère est susceptible d'être contaminée, il est impératif de porter une combinaison complète avec un appareil respiratoire isolant.

6. Aménagement du lieu de travail et vérifications

Aménagement du lieu de travail ^(2,3)

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 ci-après) 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 h 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 doit être justifiée et formalisée pour chaque local sous forme d'un document à joindre au document unique d'évaluation des risques professionnels.

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.

Vérifications ⁽⁴⁾

Vérification initiale du lieu de travail

Hors installations nucléaires de base, la vérification initiale et son

renouvellement éventuel sont effectués par des organismes accrédités. Dans les INB, ce sont les pôles de compétence en radioprotection qui peuvent réaliser cette vérification initiale. Elle doit être réalisée 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 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 ou celles résultant des mesures correctives mises en œuvre à la suite d'une non-conformité détectée lors de la vérification périodique (zonage radiologique par exemple). La méthode et l'étendue des vérifications initiales sont définies à l'annexe 1 de l'arrêté du 23 octobre 2020 ⁽⁴⁾.

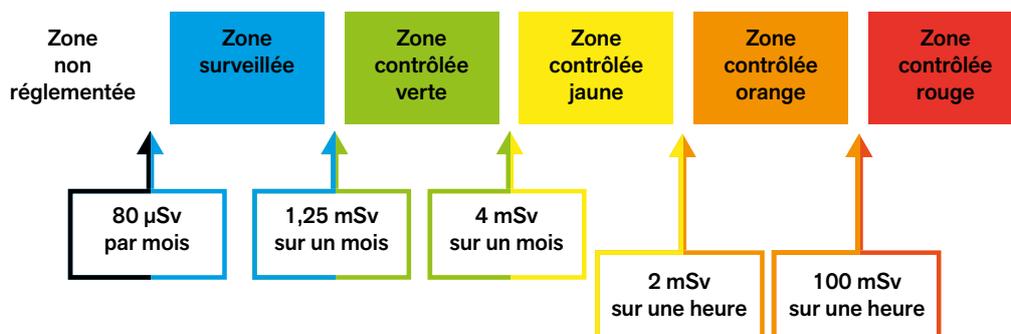
La vérification initiale est réalisée en des points représentatifs permettant de vérifier l'adéquation de la délimitation des zones avec le risque d'exposition.

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

■ Tableau 4



2. Articles R. 4451-21 à R. 4451-34 du Code du travail.

3. 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.

4. Arrêté du 23 octobre 2020 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.

conformes aux instructions définies par l'employeur en adéquation avec l'activité. L'employeur justifie le délai entre deux vérifications périodiques sans que ce dernier puisse excéder trois mois. Ces vérifications sont mises en œuvre par le conseiller en radioprotection (CRP) ou sous sa supervision. En cas d'anomalies ou 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 les mesures de la concentration de l'activité radioactive dans l'air dans le cas de manipulation de tritium gazeux et/ou 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 trois 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.

7. Dispositions applicables aux travailleurs en matière de santé et sécurité au travail

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 (surveillée ou contrôlée) mais sur un niveau de dose susceptible d'être atteint par le travailleur.

Ainsi, les travailleurs susceptibles de recevoir une dose efficace supérieure à 1 mSv et inférieure ou égale 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

Tous les travailleurs non classés susceptibles d'accéder à une zone délimitée 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 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.

Une attention particulière doit être portée à la formation des travailleurs temporaires, des nouveaux arrivants et des femmes en âge de procréer. Il est essentiel d'informer notamment sur les effets potentiellement néfastes de l'exposition aux rayonnements ionisants sur l'enfant à naître, ainsi que sur la nécessité de déclarer le plus précocement possible un état de grossesse.

Une formation spécifique doit être réalisée avant la mise en œuvre de nouvelles manipulations.

Le contenu minimal de l'information et la formation est détaillé dans l'article R. 4451-58 du Code du travail.

Suivi de l'état de santé des travailleurs classés

Les points importants sont les suivants (voir tableau 5) :

- les travailleurs classés doivent bénéficier d'un suivi individuel renforcé, avec examen médical d'aptitude effectué par le médecin du travail préalablement à l'affectation au poste ;
- cet examen médical est renouvelé selon une périodicité que le médecin du travail détermine et qui ne peut être supérieure à quatre ans pour les travailleurs classés en catégorie B ;
- pour les travailleurs classés en catégorie B, 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.

■ Tableau 5. Périodicités des visites médicales

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

* Ou travailleur ayant dépassé une des valeurs limites pendant 12 mois.

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, etc.). Elle est estimée de façon prudente à 1,6 fois la dose efficace à la mère. 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.

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. Il est interdit d'affecter ou de maintenir une femme allaitant à un poste de travail comportant un risque d'exposition interne à des rayonnements ionisants.

Surveillance dosimétrique 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, et en fonction de l'activité manipulée, une analyse doit être réalisée *a minima* tous les mois et dans certains cas de manière hebdomadaire. 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 (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 CRP.

8. Effluents et déchets

Chaque établissement doit mettre en œuvre un plan de gestion individualisé définissant les modalités de tri, de conditionnement, d'entreposage, de contrôle et d'élimination des effluents et des déchets produits (*voir article R. 1333-16 du Code de la santé publique*). L'efficacité de ce plan repose sur une organisation garantissant la traçabilité des différents déchets (registres, étiquetages...).

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 et effluents). Ce tri consiste à séparer les déchets et effluents en prenant en compte leur nature physico-chimique 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 faite 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 physico-chimique (solvants, liquides aqueux...).

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

Vérifications au titre du Code de la santé publique

Lorsque l'activité nucléaire est soumise au régime d'enregistrement ou d'autorisation 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'IRSN ou par un organisme agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) 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.

9. Procédures administratives

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 peuvent être soumises 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 préionisation lorsque l'activité totale de tritium est inférieure à $2 \cdot 10^{11}$ Bq ;
- sources radioactives scellées utilisées pour l'étalonnage ou l'enseignement dès lors que $Q < 10^4$.

Q correspond à la somme pondérée des activités en radionucléides présents à un moment quelconque dans le lieu où l'activité est exercée ou objet de l'activité, divisées par la valeur limite d'exemption fixée en colonne 2 du tableau 2 de l'annexe 13-8 du Code de la santé publique.

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 l'étalonnage, le régime d'enregistrement s'applique dès lors que l'activité totale de tritium est inférieure à $2 \cdot 10^{15}$ 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 d'autre(s) radionucléide(s)

Régime de déclaration

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

Régime d'enregistrement

Pour le tritium sous forme non scellée, le régime d'enregistrement s'applique lorsque $Q < 10^4$ 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 $\sum (A_i / \text{seuils } C_i(\text{SSHA})) < 1$.

$C_i(\text{SSHA})$ 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.

Régime d'autorisation

Lorsque l'une des conditions définies précédemment n'est pas satisfaite, l'application est soumise au régime d'autorisation.

Régimes ICPE

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 QNS⁽⁶⁾ 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 10^3 m³ et que 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, l'activité est soumise au régime d'autorisation.

10. Transports sur la voie publique

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.

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⁽⁷⁾, RID⁽⁸⁾, ADN⁽⁹⁾, IMDG⁽¹⁰⁾ ou les instructions techniques de l'OACI⁽¹¹⁾, 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

■ 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 soumis à autorisation de l'Autorité de sûreté nucléaire.

6. QNS : Coefficient Q pour les substances radioactives non scellées uniquement.

7. ADR : Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route.

8. RID : Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses.

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

10. IMDG : Code maritime international des matières dangereuses.

11. OACI : Organisation de l'aviation civile internationale.

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-dessous, choisie en fonction de l'indice de transport et des débits d'équivalent de dose mesurés autour du colis.



11. Conduite à tenir en cas d'incident ou d'accident

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'incident et des activités mises en jeu ;
- alerter le conseiller 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 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 éventuelle des personnes présentes.

Expositions externe et interne d'une personne

Exposition due à une source distante
Sans objet.

Contamination externe cutanée

- 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 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 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 du CRP et du médecin du travail qui, si nécessaire, feront appel à un service spécialisé ou à l'IRSN.

■ 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 (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**	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.

- Déterminer l'activité manipulée.
- Recueillir immédiatement les urines (pendant 24 heures et les jours suivants si nécessaire selon le niveau 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 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.

Exemples d'évaluation de la dose efficace engagée

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 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 :

$$A1 = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A2 = 1,9 \cdot 10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

$$A3 = 1,85 \cdot 10^3 \text{ Bq sur 24 h}$$

Le *tableau 8* (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 géométrique des trois valeurs de I :

$$I = 1,12 \cdot 10^5 \text{ Bq}$$

■ Tableau 8. Valeurs calculées (Bq par Bq incorporé) 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	$1,6 \cdot 10^{-2}$

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

$$E = 1,12 \cdot 10^5 \times 4,1 \cdot 10^{-5} = 4,6 \mu\text{Sv}$$

Déclarations à effectuer

Tout accident ou incident significatif de radioprotection doit être déclaré auprès de la division territoriale compétente de l'ASN selon les dispositions en vigueur⁽¹²⁾.

En cas de dépassement d'une limite de dose annuelle, l'employeur informe le comité social et économique ainsi que l'agent de contrôle de l'inspection du travail et, selon le cas, l'Autorité de sûreté nucléaire ou le délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les installations et activités intéressant la défense, en précisant les causes présumées, les circonstances et les mesures envisagées pour éviter le renouvellement de ce dépassement.

12. Guide n° 11 de l'ASN 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.

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 et L. Fusil



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

3^e édition | mai 2022 | ISBN 978-2-7389-2751-4 | Disponible en format web uniquement
Mise en pages : Valérie Causse

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