

*Le tritium
et l'environnement*

^3H



Société Française de Radioprotection

Sommaire



Le tritium et l'environnement



Société Française de Radioprotection

Historique et propriétés

PAGE 3

Origines
et quantités rejetées

PAGE 4

Transferts dans
l'environnement

PAGE 5

Effets biologiques
et aspects sanitaires

PAGE 7

Gestion des
déchets tritiés

PAGE 9

Pour en savoir plus

PAGE 10

Lexique

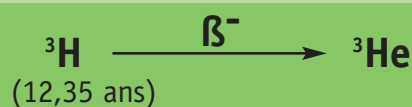
PAGE 11



Le tritium (^3H) a été découvert par Lord Rutherford en 1934, au cours d'une de ses expériences qui consistait à bombarder une cible de deutérium par des deutons.

Propriétés

Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène. Il se désintègre en hélium avec émission d'un rayonnement β^- (électron) d'énergie maximale de 18,6 keV. L'énergie moyenne du rayonnement bêta émis est 5,7 keV.



Historique et propriétés

^3H

Le rayonnement β^- du tritium est peu pénétrant : les distances parcourues au maximum sont respectivement de 5 mm dans l'air et de 6 μm dans l'eau ou dans les tissus humains.

La période de décroissance radioactive du tritium est de 12,35 ans. Le tritium est un radionucléide à vie courte ; il en disparaît chaque année naturellement 5,6 % en formant de l'hélium.

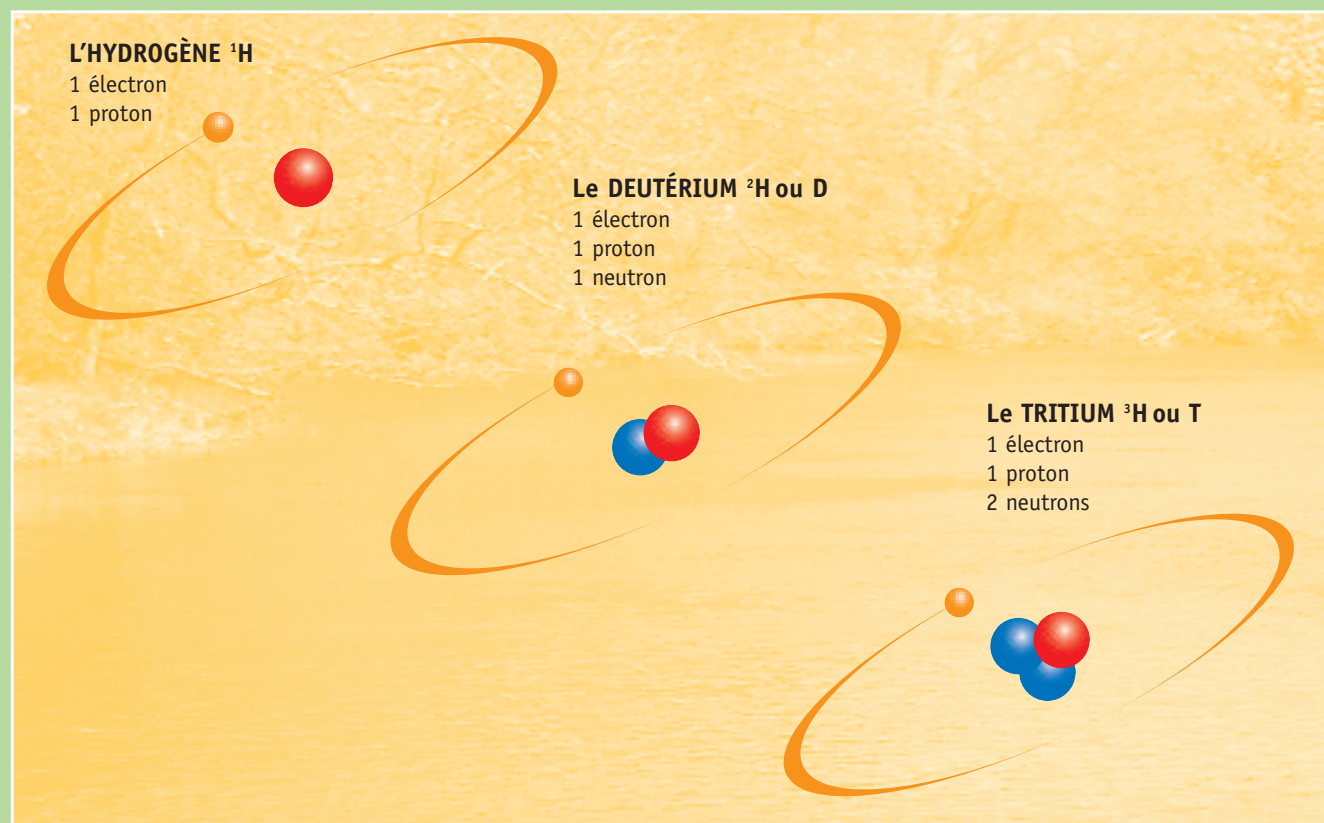
Il peut se présenter sous différentes formes :

- solide, inclus dans des métaux, des produits organiques (Torga) ou minéraux,
- liquide, essentiellement sous forme d'eau tritiée,
- gazeux, sous forme de tritium gazeux (HT) ou encore de vapeur d'eau tritiée (HTO).

Dans le milieu naturel et les espèces vivantes, le tritium se présente le plus souvent sous forme d'eau tritiée et dans une moindre mesure, sous forme organique.

1 g de tritium correspond à 359 mille milliards de becquerel (359 TBq).

L'unité tritium correspond à 1 atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène.



Origine naturelle

Le tritium est produit naturellement par action des rayons cosmiques (neutrons) sur certains composants de l'air (azote 14).

La production naturelle annuelle atmosphérique est comprise entre 0,15 et 0,20 kg soit 50 000 à 70 000 TBq. Le tritium est aussi produit dans la croûte terrestre mais en très faible quantité.

Essais nucléaires aériens

Les essais aériens d'armes nucléaires ont rejeté dans l'atmosphère, de 1945 à 1963, environ 650 kg de tritium. Compte tenu de la décroissance radioactive du tritium, en 1995 il en restait environ 65 kg répartis dans l'atmosphère et les océans.

Centrales nucléaires

Le tritium est formé dans les réacteurs des centrales nucléaires par fission de l'uranium et du plutonium. Dans le cas des réacteurs à eau sous pression, le tritium reste confiné en quasi-totalité dans le combustible.

Le tritium est aussi produit par activation neutronique d'éléments légers, bore et lithium, présents dans le circuit primaire des réacteurs à eau sous pression.

La quantité de tritium est directement liée au type de centrale nucléaire et à l'énergie fournie par le réacteur.

Les rejets liquides de tritium des centrales nucléaires à eau sous pression en France sont d'environ 10 TBq/an (0,03 g/an) pour un réacteur de 900 MWe, d'environ 15 TBq/an (0,05 g/an) pour un réacteur de 1 300 MWe.

Les rejets de tritium par voie gazeuse ne représentent que quelques % des rejets liquides.

Origines et quantités rejetées



zirconium, reste prisonnière des coques destinées au conditionnement. Le tritium non piégé est récupéré sous forme liquide avant d'être rejeté sous forme d'eau tritiée (10 000 TBq pour 1 600 tonnes de matériaux traités annuellement). Une faible fraction de tritium s'évapore et est évacuée sous forme gazeuse par le circuit de ventilation des installations (70 TBq).

Autres installations

Le tritium est aussi rejeté par d'autres installations industrielles (agent de scintillation dans des peintures luminescentes pour l'horlogerie, les boussoles, le marquage des voies de secours en aéronautique...), des centres de recherche et universitaire, des hôpitaux ainsi que par des installations militaires.

Usine de retraitement

Le retraitement consiste à séparer les différents composants des combustibles usés déchargés des réacteurs par cisailage et dissolution.

Après cisailage, la quasi-totalité du tritium, présent dans les combustibles ainsi que dans la gaine en alliage de

Exemples de rejets de tritium dans l'environnement en France (en TBq/an)

SOURCE DE TRITIUM	LIQUIDE	GAZEUX
Centrales nucléaires		
• Moyenne par réacteur 900 MWe (1999)	10	0,5
• Moyenne par réacteur 1 300 MWe (1999)	15	1
Usine de retraitement	10 000	70
Autres installations		
• Atelier de préparation tritium	-	330
• Centre de recherche	0,2	90
• Centre de préparation de tritium militaire	-	800
• Centre de recherche militaire	-	400

Milieux aquatiques

Eaux de surface et souterraines

La radioactivité en tritium des eaux de surface est comprise entre 0,1 et 0,9 Bq/l (UNSCEAR, 1993). Les mesures de l'OPRI sur l'ensemble des fleuves français et des eaux souterraines sont en général inférieures à 10 Bq/l. Plus rarement elles peuvent atteindre jusqu'à quelques dizaines de Bq/l.

Mers et océans

Les océans ont collecté une grande partie du tritium relâché dans l'atmosphère par les essais d'armes nucléaires, mais la concentration du tritium est d'environ 0,2 Bq/l en moyenne.

Transferts dans l'environnement



Milieux terrestres

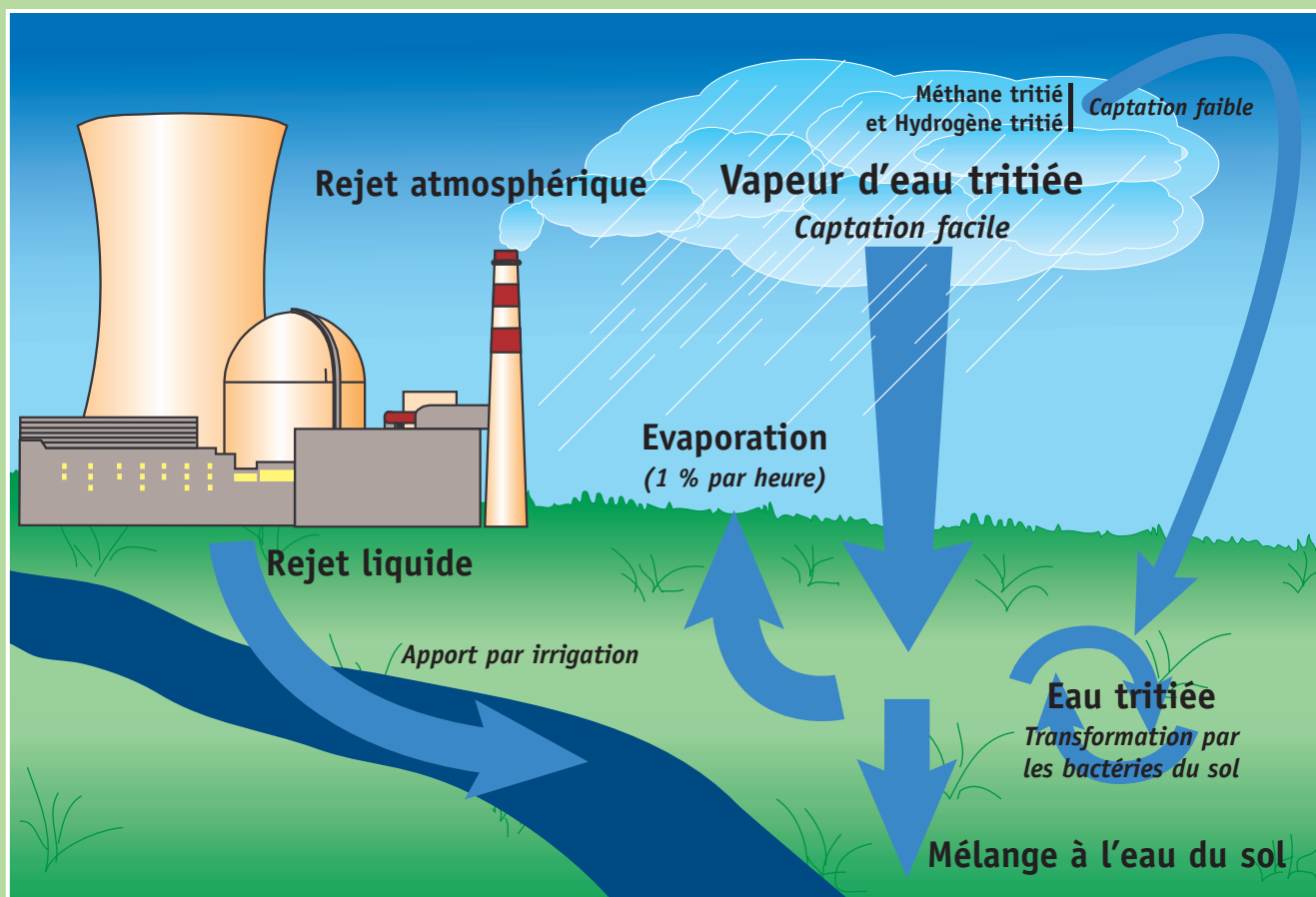
Atmosphère

Les formes prépondérantes sont par ordre d'importance décroissante : l'eau tritiée (HTO), l'hydrogène tritié (HT) et

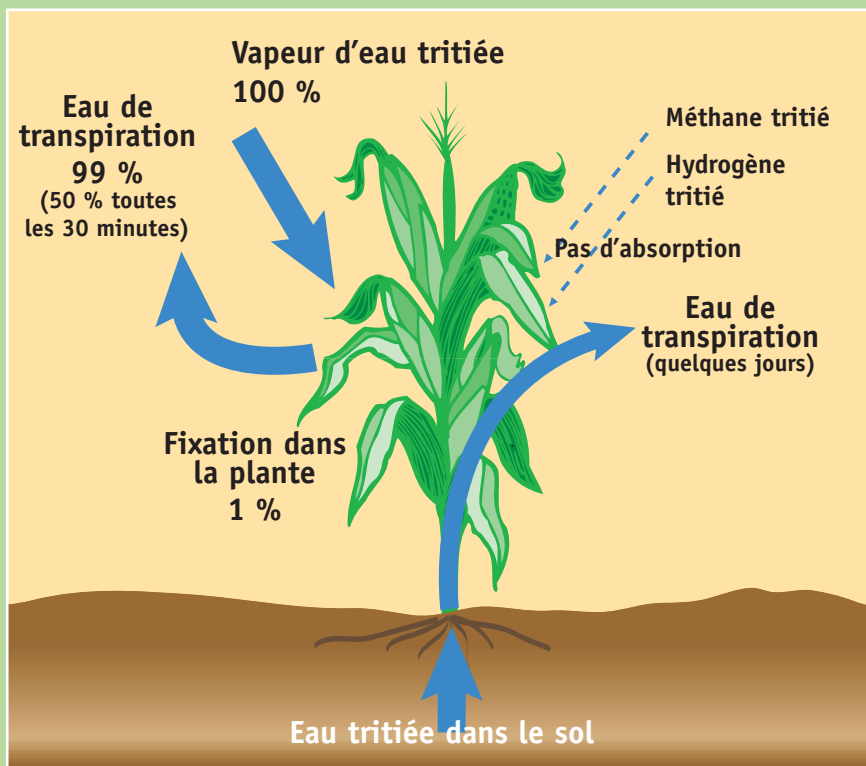
le méthane tritié (CH₃T). De par leur faible solubilité, l'hydrogène et le méthane tritiés sont peu entraînés par la pluie (captation faible). La vapeur d'eau tritiée est facilement captée par les gouttes de pluie (captation facile).

Sols

Au contact et dans les premiers centimètres du sol, l'hydrogène tritié se transforme rapidement en eau tritiée. Ce phénomène est attribué à la présence de micro-organismes. Une partie de cette eau tritiée est ré émise dans l'atmosphère par évaporation à la vitesse d'environ 1 % par heure. Une autre partie s'enfonce dans le sol et se mélange à l'eau du sol. Le tritium peut aussi être apporté à la surface du sol par infiltration directe d'eau tritiée liquide.



Transfert du tritium dans l'environnement



Transfert du tritium aux végétaux

Végétation

Le tritium sous forme d'hydrogène tritié n'est pas absorbé par la végétation. Le tritium sous forme de vapeur d'eau est au contraire très bien absorbé par les plantes.

Suite à un transfert par voie foliaire, la majeure partie (99 %) du tritium des feuilles est emportée par l'eau de transpiration et disparaît à raison de 50 % toutes les 30 minutes. Le reste du tritium, fixé dans les cellules, disparaît beaucoup plus lentement.

Suite à un transfert par voie racinaire, le temps de résidence dans les plantes est plus long (quelques jours) et est fonction de celui du tritium dans le sol.

Animaux et homme

L'absorption par l'organisme et le transfert vers le sang diffèrent selon les composés. L'hydrogène tritié (HT) est peu soluble dans l'eau ou les fluides corporels. Son assimilation est environ 10 000 fois plus faible que sous forme d'eau tritiée.

L'absorption d'eau tritiée se fait également par ingestion d'eau de boisson ou par ingestion de l'eau des aliments. Le tritium peut être aussi absorbé sous forme de nourriture contenant du tritium dit organique.

Comme isotope de l'hydrogène, le tritium participe au cycle de cet élément dans l'environnement. C'est un radionucléide qui, sous forme d'eau tritiée, est très mobile. Il ne se concentre pas dans les chaînes alimentaires.

Principales voies d'exposition

Le rayonnement β^- émis ayant une faible énergie et un faible parcours, le tritium ne présentera un risque radiologique que s'il pénètre dans l'organisme. Trois voies d'exposition ont été identifiées :

• Absorption par ingestion

L'absorption du tritium (HT), de l'eau tritiée (HTO) et du tritium organique (Torga) est quasi complète. En fonction de sa forme chimique, le tritium peut être absorbé directement ou après dégradation de la molécule porteuse. En 30 minutes, la distribution est homogène dans l'organisme.

• Absorption par inhalation

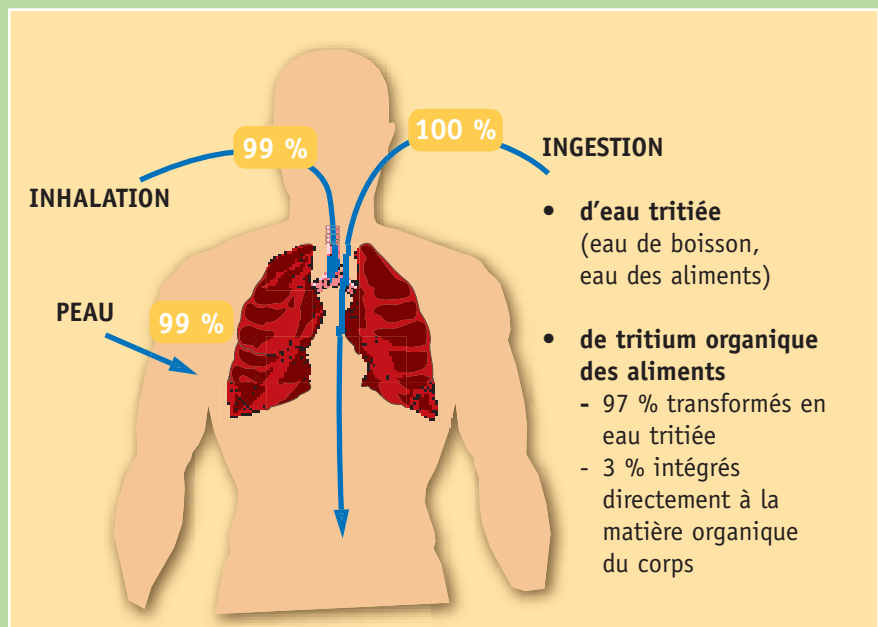
Le tritium, l'eau tritiée et dans une moindre mesure le tritium organique, peuvent être inhalés sous forme gazeuse.

Moins de 0,01 % de l'activité inhalée d'HT passe dans le sang où une partie pourra être transformée en eau tritiée. 99 % de l'eau tritiée et du tritium organique inhalés sous forme gazeuse ou d'aérosols sont transférés dans le sang sans modification de la forme chimique.

Effets biologiques et aspects sanitaires

• Absorption par la peau

Le tritium pénètre assez peu dans la peau. Il peut se combiner avec l'eau des tissus pour former de l'eau tritiée et du tritium organique rapidement transférables au sang.



Transfert du tritium aux animaux et à l'homme

Métabolisme et cinétique

• Cas de l'eau tritiée (HTO)

La cinétique est identique à celle de l'eau à l'exception des 3 % transformés en tritium organique.

L'élimination s'effectue principalement par l'urine et, dans une moindre mesure, par les fèces, la respiration et la sueur. La période biologique du tritium sous forme d'eau tritiée est d'environ 10 jours.

• Cas des molécules organiques tritiées (Torga)

Bien que des travaux sur leur devenir soient encore nécessaires, il est établi qu'elles peuvent être métabolisées et servent à produire de l'énergie et de l'eau qui peut être recyclée dans la synthèse de différents éléments. La période biologique moyenne est de 40 jours ; elle peut varier de quelques semaines à plusieurs mois.

• Des contaminations accidentelles de travailleurs par le tritium

ont permis de mettre en évidence une élimination par voie urinaire et fécale à raison de 99,5 % sous forme d'eau tritiée et le reste sous forme de tritium organique. Il n'y a pas d'accumulation significative de tritium chez l'homme.

Effets biologiques du tritium

Il n'existe pas de données épidémiologiques humaines significatives permettant d'estimer directement, même approximativement, le risque de cancer dû au tritium.

• Les effets au niveau cellulaire

Environ 90 % de la dose proviennent de l'eau tritiée uniformément répartie dans l'organisme. Lors d'une contamination chronique, la fixation semble avoir lieu dans les lipides du système nerveux central plus que dans la peau, le muscle ou les cellules adipeuses. Le parcours moyen d'un rayonnement β^- du tritium ($\approx 1 \mu\text{m}$) étant du même ordre de grandeur que

la dimension d'un noyau, les dommages sont répartis dans un volume comparable. Chez l'adulte, une partie non négligeable du tritium peut être incorporée à l'ADN, et à 80 % dans des tissus à renouvellement rapide. Chez le fœtus (premier trimestre de grossesse), tous les tissus peuvent être touchés. Les lésions dues aux rayonnements β^- produisent environ 0,1 cassure double brins par noyau cellulaire, contre plusieurs dizaines de cassures double brins produites tous les jours par les radicaux libres dus à l'oxygène respiré.

• Les solutions pour la décontamination en situation accidentelle

Quels que soient le mode et la voie de contamination, le traitement repose sur l'administration d'une grande quantité d'eau (4 à 6 l/jour) de manière à accélérer le renouvellement de l'eau cellulaire. De cette manière, on peut réduire la période biologique de 30 à 50 %.

Il faut retenir que le tritium a une radiotoxicité faible et que la forme essentielle de transfert est l'eau tritiée. Les activités de tritium incorporées induisent en moyenne une dose de l'ordre du $\mu\text{Sv/an}$, soit environ 1/2000 de l'exposition naturelle.

Coefficients de dose efficace engagée (en Sv/Bq)

	ADULTE	ENFANT (1 - 2 ANS)
■ INHALATION		
• Eau tritiée (HTO)	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$
• Tritium organique (OBT-type M) AMAD = $1 \mu\text{m}$	$4,1 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$
• Tritium gazeux HT	$1,8 \cdot 10^{-15}$	$4,8 \cdot 10^{-15}$
• Méthane tritié (C3HT)	$1,8 \cdot 10^{-13}$	$4,8 \cdot 10^{-13}$
■ INGESTION		
• Eau tritiée (HTO)	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$
• Tritium organique (OBT)	$4,2 \cdot 10^{-11}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$

Exemple : La dose efficace engagée s'obtient en multipliant l'activité ingérée et/ou inhalée (exprimée en Bq) par le coefficient de dose correspondant (en Sv/Bq).

Gestion des déchets tritiés



Déchets tritiés : origine et volume

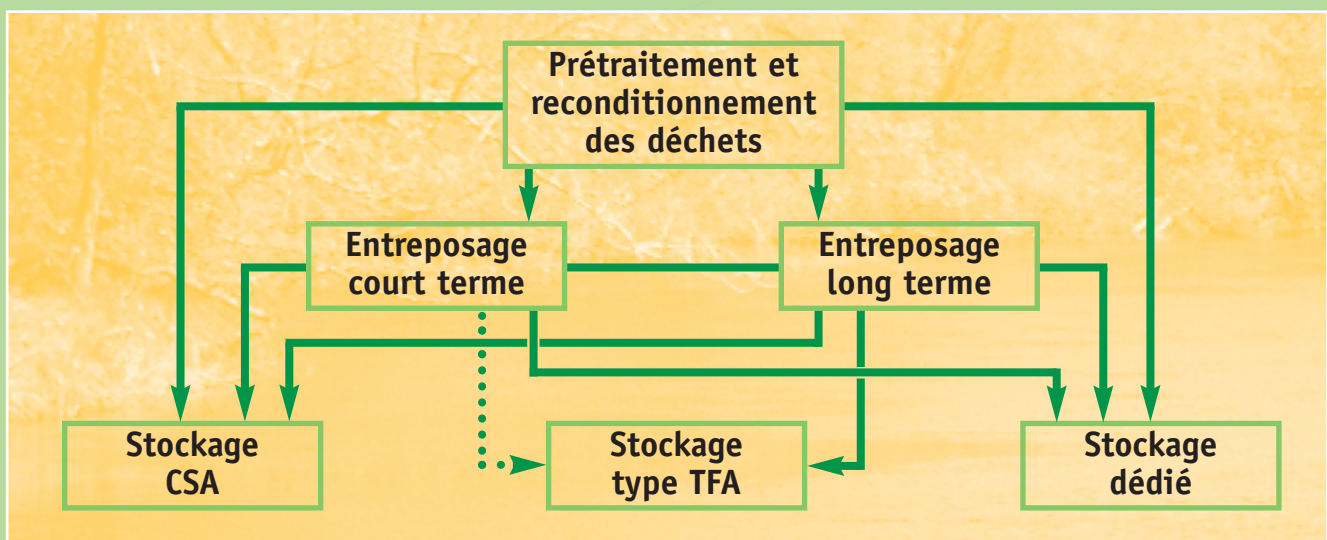
Les déchets tritiés se présentent soit sous forme solide, soit sous forme liquide. Les déchets solides tritiés purs font l'objet d'un traitement approprié. Ils proviennent de l'exploitation et de la maintenance des activités de fabrication et de recherche de la Direction des Applications Militaires du CEA (pour 89 % du volume), des activités de recherche du CEA civil (10 %) et de « petits producteurs » (1 %). Ce sont des déchets solides à vie courte. Au total, on compte actuellement un stock d'environ 1 500 m³ de déchets solides tritiés purs (soit environ 8 000 fûts), représentant une activité totale de l'ordre de 5 000 TBq de tritium.

Situation actuelle

Les déchets tritiés émettent en permanence des effluents gazeux, ce qui peut rendre leur stockage difficile. Actuellement, la plupart des déchets tritiés purs sont entreposés en fûts métalliques dans des bâtiments ventilés. Compte tenu des critères d'acceptation des colis au centre de stockage de l'Aube (ANDRA) pour les déchets radioactifs à faible et moyenne activité, seuls sont acceptés actuellement des colis renfermant des faibles quantités de tritium.

Solutions en cours d'étude

Depuis 1999, sont étudiées les différentes filières possibles de gestion de ces déchets et des colis les mieux adaptés à celles-ci. Dans cette démarche, une attention particulière concerne la recherche de matériaux destinés à réduire fortement le dégazage en tritium des colis.



Déchets solides purs tritiés : filières possibles

Pour en savoir plus



Normalisation

NF M60 312

Détermination par scintillation liquide de l'activité volumique du tritium atmosphérique prélevé par la technique de barbotage dans l'eau. (1999)

NF ISO 7503-1

Evaluation de la contamination de surface - Partie i : émetteurs bêta (énergie bêta maximale supérieure à 0,15 MeV) et émetteur alpha (1988)

NF ISO 7503-2

Evaluation de la contamination de surface - Partie 2 : contamination de surface par le tritium (1988)
Juillet 2000

NF M60-802-1

Partie 1 : mesurage de l'activité des émetteurs bêta par scintillation liquide - Cas particulier du tritium (2000)

NF ISO 9555-2

Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts - Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs - Partie ii : traceurs radioactifs. (1994)

Références

Le tritium de l'environnement à

l'homme, Y. Belot, M. Roy et H. Métivier, collection IPSN, les éditions de physique, 1996

Journées Tritium, Journées Techniques SFRP, 1986, 1999.

Sources effects of ionizing radiations, UNSCEAR 1993.



Lexique

3H

Abréviations

ADN

Acide Desoxy ribo Nucléique : matériel génétique contenu dans les noyaux des cellules.

Deuton ou deutéron

Noyau du deutérium, composé d'1 neutron et d'1 proton.

eV

électron volt : unité d'énergie égale à la variation d'énergie d'un électron soumis à une variation de potentiel de 1 volt.

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$

$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$

OPRI

Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants.

T

Période radioactive : temps au bout duquel la moitié de l'activité du radionucléide a disparu.

Tb

Période biologique : temps au bout duquel la moitié du radionucléide est éliminée par l'organisme.

UNSCEAR

Comité Scientifique des Nations Unies sur les Effets des Radiations Atomiques.

Unités

Becquerel (Bq)

Unité d'activité d'une source radioactive.

$1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration par seconde}$

$1 \text{ gigabecquerel (GBq)} = 10^9 \text{ Bq}$

$1 \text{ terabecquerel (TBq)} = 10^{12} \text{ Bq}$

Gray (Gy)

Unité de dose absorbée par unité de masse de matière irradiée.

$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$

Micromètre (μm)

$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

Sievert (Sv)

Unité de dose équivalente ou de dose efficace : cette dernière évalue les effets biologiques sur les tissus vivants.



Société Française de Radioprotection

Association sans but lucratif qui a pour objet général de favoriser les travaux
et les échanges d'informations dans le domaine de la radioprotection.

Toute information sur cette plaquette (éditée par la section Environnement) pourra être obtenue auprès du :

Secrétariat de la SFRP

B.P. 72 - 92263 FONTENAY AUX ROSES CEDEX - FRANCE

Tél. : 01 46 54 72 85 • Fax : 01 46 54 83 59

<http://www.sfrp.asso.fr>