

**CESIUM 137 + BARYUM 137m****<sup>137</sup>Cs**  
55**- ASPECTS SANITAIRES -****I. Caractéristiques****I.1 Chimiques**

Le césium appartient, comme le lithium, le sodium, le potassium et le rubidium, au groupe des métaux alcalins. Chimiquement, le césium présente un seul degré d'oxydation correspondant à l'espèce ionique Cs(+I).

**I.2 Nucléaires**

Le césium possède 31 isotopes dont la masse varie de 114 à 145. Parmi eux, seul l'isotope 133 est stable. La période de décroissance radioactive est supérieure à l'année uniquement pour les isotopes 134 (2,2 ans), 135 (2,9.10<sup>6</sup> ans) et 137 (30,2 ans).

Le <sup>137</sup>Cs, émetteur β<sup>-</sup>, donne naissance avec un rendement de 94,6 % au <sup>137m</sup>Ba de période 2,55 minutes et avec un rendement de 5,4 % au baryum 137 stable.

Le <sup>137m</sup>Ba conduit au baryum 137 stable, avec émission gamma (rendement de 85 %).

		<sup>137</sup> Cs
<b>Période radioactive</b>	<b>30 ans</b>	
<b>Activité massique</b>	<b>3,2 10<sup>12</sup> Bq.g<sup>-1</sup></b>	
<b>Emission(s) principale(s)</b> (rendement d'émission pour 100 désintégrations)	<sup>137</sup> Cs	<b>Désintégration β<sup>-</sup></b> E <sub>max</sub> = 514 keV (94,6 %) E <sub>max</sub> = 1176 keV (5,4 %)
	<sup>137m</sup> Ba	<b>Emission γ</b> E = 662 keV (85%) <b>Emission X</b> Couche K : E <sub>moy</sub> = 33 keV (7%)

[ICRP, 1983 - Browne et Firestone, 1986]

**II. Origines****II.1 Naturelle**

Le <sup>137</sup>Cs n'existe pas à l'état naturel.

**II.2 Artificielle****- Explosions nucléaires atmosphériques**

Pendant la période 1945-1980, plusieurs centaines d'essais nucléaires atmosphériques ont été effectués par différentes nations, essentiellement les USA et l'ex-URSS. Ils ont libéré dans

l'environnement une quantité de  $^{137}\text{Cs}$  estimée à  $1,3 \cdot 10^{18}$  Bq, qui s'est peu à peu déposée sur l'ensemble de la planète.

### - Emissions par les installations nucléaires en fonctionnement normal

La production d'électricité par la voie nucléaire est à l'origine de la deuxième source de  $^{137}\text{Cs}$ . Le cœur d'un réacteur de 1300 MWe contient en fin de cycle (environ 40 mois) environ  $3 \cdot 10^{17}$  Bq de  $^{137}\text{Cs}$  confinés à l'intérieur du combustible. En fonctionnement normal, une faible fraction de ce césium se retrouve dans les effluents rejetés dans l'environnement. A titre indicatif en 1999, un réacteur nucléaire de 1300 MWe rejetait annuellement environ  $1,3 \cdot 10^8$  Bq de  $^{137}\text{Cs}$  en quasi totalité dans les effluents liquides.

Lors du retraitement du combustible irradié, le  $^{137}\text{Cs}$  est extrait avec les autres produits de fission. Les rejets de  $^{137}\text{Cs}$  de l'usine de retraitement de la Hague s'élevaient à  $1,3 \cdot 10^{12}$  Bq en 1999 et ceux de l'usine de Sellafield à  $7,9 \cdot 10^{12}$  Bq en 1997, en quasi totalité sous forme liquide [BNFL, 1997]. Les  $^{134}\text{Cs}$  et  $^{135}\text{Cs}$  sont également présents dans les rejets liquides et gazeux issus des différentes étapes de retraitement du combustible.

### - Rejets accidentels par les installations nucléaires

En 1957, les accidents de Kyshtym (ex-URSS) et de Windscale (GB) ont respectivement entraîné des rejets de  $^{137}\text{Cs}$  de  $3,6 \cdot 10^{13}$  et  $2,2 \cdot 10^{13}$  Bq.

Lors de l'accident de Tchernobyl, l'activité du  $^{137}\text{Cs}$  émis dans l'environnement est estimée à  $8,5 \cdot 10^{16}$  Bq. Le dépôt a pu atteindre plusieurs  $\text{MBq} \cdot \text{m}^{-2}$  à proximité du site, alors qu'en Europe occidentale, notamment en France, le dépôt a été de l'ordre de quelques  $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$  à quelques dizaines de  $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ . L'une des caractéristiques de cet accident, survenu le 26 avril 1986, est la signature isotopique à l'émission ( $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs} = 2,00 \pm 0,17$ ) [Tchernobyl, 14 ans après, dossier IPSN].

## III. Transfert à l'environnement et métrologie

### III.1 Données environnementales

Élément alcalin très réactif, le césium ne peut pas exister à l'état élémentaire dans l'environnement. Dans l'atmosphère, il est sous forme d'aérosols, mais surtout d'oxyde  $\text{Cs}_2\text{O}$  ou d'hydroxyde  $\text{CsOH}$  de césium en présence d'eau. Il est très soluble dans l'eau, et présente une grande affinité pour les minéraux et particulièrement pour les argiles. D'une façon générale, le césium se dépose sur le sol et migre peu, tout particulièrement en présence d'argile. Si un rejet d'effluent intervient dans un fleuve en période d'étiage en eau claire, l'ion  $\text{Cs}^+$  sera dispersé par dilution. Par contre en eau trouble, une grande partie du césium sera piégée par les matières argileuses en suspension et accumulée par sédimentation. De ce fait, on peut distinguer deux types de comportement : une phase dynamique dans l'air et l'eau et une phase statique dans les sols et les sédiments [Actualités sur le Césium, 1994].

Cette affinité du césium pour les minéraux a pour conséquence de limiter le transfert du césium aux plantes par absorption racinaire. Lorsqu'il est présent dans l'alimentation des animaux (pâturages, fourrages...), le  $^{137}\text{Cs}$  est bien assimilé et se retrouve dans les produits consommés par l'homme comme le lait et la viande. Son transfert au lait est rapide, 5 à 6 heures après ingestion par l'animal, le maximum apparaissant au bout de 8 jours.

En 1999, l'activité volumique de  $^{137}\text{Cs}$  dans l'air en France s'élevait à  $0,4 \cdot 10^{-6}$   $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  en moyenne sur l'année.

### III.2 Métrologie environnementale

Les mesures de  $^{137}\text{Cs}$  dans l'environnement peuvent être effectuées sur des prélèvements d'air, d'eau, de sol, de végétaux ou de produits animaux. L'analyse se fait par spectrométrie  $\gamma$ .

## IV. Utilisations industrielles et médicales

Les sources de césium 137 sont élaborées à partir d'un bombardement neutronique de césium stable. Dans les sources ainsi produites, le césium est placé à l'intérieur d'une capsule scellée. À l'intérieur de la capsule, le césium est généralement mélangé avec une résine mais certaines sources plus anciennes peuvent encore contenir une poudre de chlorure de césium qui, en cas de rupture de la source, rend le césium très dispersable. Les sources scellées de  $^{137}\text{Cs}$  sont utilisées en médecine et dans l'industrie. Leur activité peut varier de façon considérable ( $10^6$  Bq jusqu'à  $10^{15}$  Bq).

En 1998, 12 000 sources étaient répertoriées en France par le secrétariat permanent de la Commission Interministérielle des Radioéléments Artificiels (CIREA), et réparties de la façon suivante [Robeau et al., 2000] :

- médecine et biologie humaine, 1 800 sources pour une activité totale de  $7.10^{15}$  Bq,
- industrie, 10 200 sources pour une activité totale de  $4,13.10^{12}$  Bq.

La brachythérapie utilise des sources de  $^{137}\text{Cs}$  (ou  $^{192}\text{Ir}$ ) d'activités assez faibles, voisines de quelques  $10^9$  Bq car dans cette technique, la source est mise au contact de la tumeur à traiter à l'aide d'un cathéter installé chirurgicalement ou empruntant les voies naturelles.

L'irradiation des produits sanguins est effectuée à l'aide de sources de  $^{137}\text{Cs}$  (ou de  $^{60}\text{Co}$ ) d'activités comprises entre 0,4 et  $2,2.10^{14}$  Bq, l'objectif étant d'inhiber la division lymphocytaire afin d'éviter les risques de maladie post-transfusionnelle chez les patients immunodéprimés.

L'utilisation de sources dans l'industrie est essentiellement due à l'emploi de sources scellées dans les appareils de gammagraphie pour le contrôle non destructif de pièces, de soudures ou d'ouvrages d'art, dans les irradiateurs industriels pour la stérilisation ou la conversion des aliments, pour l'étalonnage des appareillages. Toujours dans l'industrie, le césium, sous forme de sources scellées, est utilisé dans les irradiateurs de laboratoire, mais également pour des techniques telles que la diagraphie, l'élimination de l'électricité statique et la mesure de l'enneigement [Robeau et al., 2000].

## V. Atteinte de l'homme

### V.1 Exposition externe

Les coefficients de dose efficace ci-après sont issus du rapport n°12 du Federal Guidance (1993), et sont valables quel que soit l'âge de l'individu exposé.

	Dose efficace
Panache	$2,73.10^{-14}$ (Sv /s) / (Bq/m <sup>3</sup> )
Dépôt	$5,55.10^{-16}$ (Sv /s) / (Bq/m <sup>2</sup> )
Immersion dans l'eau	$5,92.10^{-17}$ (Sv /s) / (Bq/m <sup>3</sup> )

Dans le cas d'une source ponctuelle de  $^{137}\text{Cs}$ , le débit de dose pour 1 Bq est  $2,75.10^{-17}$  Sv/s à 1 mètre [Delacroix et al., 1998].

## V.2 Contamination externe de la peau

Une contamination homogène superficielle de  $1000 \text{ Bq.cm}^{-2}$  de peau délivre un débit de dose équivalente à l'épiderme (couche superficielle de la peau) de  $1,6.10^{-3} \text{ Sv.h}^{-1}$  [OPRI/INRS, fiche  $^{137}\text{Cs} + ^{137\text{m}}\text{Ba}$ ].

## V.3 Exposition interne

### - Biocinétique

Sous sa forme stable, le césium ( $^{133}\text{Cs}$ ) n'est retenu qu'en très faible quantité par l'organisme humain. La CIPR évalue à  $10 \mu\text{g}$  la masse de césium stable présente dans un adulte à comparer aux masses de potassium stable de  $140 \text{ g}$  chez l'homme et de  $90 \text{ g}$  chez la femme.

Le modèle est décrit pour le travailleur dans la publication 56 de la CIPR (1990). Le césium incorporé par l'homme se distribue comme son homologue et compétiteur naturel, le potassium, dans l'ensemble de l'organisme en se concentrant préférentiellement dans le muscle. Les expérimentations animales et les observations humaines ont montré que le césium **ingéré** sous forme de chlorure de césium, est rapidement transféré au secteur extra-cellulaire (80% à 95 % en 24 h chez le rat). Bien que la forme physico-chimique du césium et la composition de la ration alimentaire influent sur les transferts par voie digestive du césium, la CIPR préconise de retenir un facteur de transfert de 100%. Il s'opère donc rapidement un équilibre dynamique tel que 99 % du césium se trouve dans le secteur intracellulaire et 1 % du césium dans le secteur extra-cellulaire de tous les organes ou tissus mous. En raison de la très grande richesse du muscle en potassium, le césium y est présent en grande quantité.

En cas d'**inhalation** de césium, l'absorption sanguine de celui-ci est rapide (classe recommandée F dans le nouveau modèle pulmonaire de la Publication 66 de la CIPR (1994)).

Du fait de l'augmentation du poids corporel, **la période biologique** du césium augmente avec l'âge (20 jours pour l'enfant contre 150 jours pour l'adulte) et est plus élevée chez l'homme (150 jours) que chez la femme (100 jours). Une relation linéaire relie la période biologique au potassium total et à la masse musculaire. L'excrétion urinaire est prépondérante sur l'excrétion fécale.

Au début d'une contamination par ingestion, la dose délivrée à niveau constant par le césium à l'organisme augmente en fonction du temps. Après un an d'incorporation continue ou journalière, un état d'équilibre s'instaure, l'activité moyenne du césium ingéré quotidiennement devient égale à l'activité moyenne du césium éliminé par jour.

[Pour plus de renseignements : voir Logiciel " Calliope ", 1999 ]

### - Mesure

La mesure corporelle du  $^{137}\text{Cs}$  est effectuée par anthropogammamétrie.

$^{137}\text{Cs}$	Méthode de mesure		Limite de détection
	Spectrométrie $\gamma$	Corps entier Urine	50 Bq 1 Bq.l <sup>-1</sup>

[ICRP, 1998 ]

### - Coefficients de dose

**Pour le public**, les données ci-après sont issues de la Directive Européenne 96/29/EURATOM. Elles considèrent un temps d'intégration de **50 ans** pour l'adulte et jusqu'à l'âge de **70 ans** pour l'enfant et des débits respiratoires moyens respectifs de  **$0,9 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$**  et de  **$0,2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$** .

		Dose efficace (Sv /Bq)	
		Adulte	Enfant (1-2 ans)
Inhalation	Aérosol (type F) $AMAD = 1\mu m$	$4,6.10^{-9}$	$5,4.10^{-9}$
Ingestion		$1,3.10^{-8}$	$1,2.10^{-8}$

Pour les travailleurs, les données ci-après sont issues de la Directive Européenne 96/29/EURATOM.

Elles considèrent un temps d'intégration de **50 ans** et un débit respiratoire moyen égal à **1,2 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>**.

		Dose efficace (Sv /Bq)
		Travailleur
Inhalation	Aérosol (type F) $AMAD = 5\mu m$	$6,7.10^{-9}$
Ingestion		$1,3.10^{-8}$

#### V.4 Dangerosité

La toxicité chimique du césium étant faible, seule la radiotoxicité du <sup>137</sup>Cs est à considérer. Celle-ci a été expérimentée sur l'animal (chien) : l'activité létale 50 (i.e. conduisant au décès d'un animal sur deux) est de l'ordre de  $1.10^8$  Bq.kg<sup>-1</sup> et aucun effet toxique aigu n'a été observé au-dessous de  $5.10^7$  Bq.kg<sup>-1</sup>.

**-Groupe de radiotoxicité :** indicateur de radiotoxicité au sens du décret 88-521 du 18/04/88.

**3 (modérée)**

**-Valeur d'exemption :** activité au-dessous de laquelle une pratique est exemptée de déclaration d'après la Directive Européenne n°96/29/EURATOM du 13 mai 1996.

**10<sup>4</sup> Bq**

## VI. Protection des travailleurs

Pour atténuer en totalité l'irradiation externe d'un facteur de 10, un écran de plomb de 24 mm est nécessaire [OPRI/INRS, fiche <sup>137</sup>Cs + <sup>137m</sup>Ba].

## VII. Accidents

### VII.1 Historique

En fonctionnement normal, les sources de  $^{137}\text{Cs}$  n'entraînent pas d'exposition pour la population car le césium est hermétiquement confiné dans des capsules scellées et transporté dans des colis adaptés à l'activité de la source. Les accidents surviennent généralement à la suite de l'abandon ou de la perte d'une source, récupérée par une personne n'en connaissant pas les dangers, ou de la destruction d'une source. De nombreux accidents de ce type se sont déjà produits, par exemple à Goiânia (Brésil) en 1987 où  $5.10^{13}$  Bq ont été dispersés dans l'environnement (source détruite, 4 morts et plusieurs centaines de personnes contaminées), et en Géorgie en 1996 et 1997 (sources abandonnées, 11 personnes irradiées dont 4 gravement). Concernant l'accident de Tchernobyl, voir les paragraphes II.2 et VII.3

### VII.2 Réponse médicale

Le traitement consiste en l'ingestion de bleu de Prusse (ferrocyanure de fer) qui insolubilise le césium dans la lumière intestinale et provoque son excrétion.

D'autres produits (hexacyanoferrate d'ammonium ou de potassium-fer) ont été testés et semblent plus efficaces [Neilson et al., 1991].

En cas de contamination cutanée, le césium est difficile à éliminer. Sa période au niveau de la peau est d'environ quatre jours. Le dépôt d'une activité importante entraîne une dose locale élevée et par conséquent une brûlure cutanée, qui doit être traitée comme une brûlure classique.

### VII.3 Réponse sanitaire

En cas d'accident, la gravité de la situation peut justifier que des mesures soient prises. Les mesures d'urgence comportent plusieurs possibilités à court terme :

- Évacuation de la population hors de la zone menacée ;
- Confinement de la population dans les habitations pour la protéger de l'irradiation pendant le passage du nuage radioactif ;
- Interdiction de consommation de certains produits sensibles (légumes verts, lait) ;
- Alimentation des animaux (et des hommes...) avec des denrées non contaminées.

Mais c'est surtout à moyen et long terme que le césium pose des problèmes, comme après l'accident de Tchernobyl. Compte tenu de sa période, le  $^{137}\text{Cs}$  subsiste longtemps dans l'environnement et le cumul des doses, année après année, sur l'ensemble de la vie peut atteindre des valeurs élevées. C'est ainsi que, plusieurs années après l'accident de Tchernobyl, des évacuations fondées sur la "dose-vie" ont eu lieu de 1987 à 1990 dans certaines zones fortement contaminées de l'ex-URSS, s'ajoutant à celles pratiquées en urgence au voisinage de la centrale accidentée dans les jours qui ont suivi l'accident. Des contraintes sur le mode de vie (interdiction de pénétrer dans certaines zones, interdiction de ramasser des champignons...), sur les cultures pratiquées, sur le mode d'alimentation des animaux existent toujours dans certaines régions.

Dans l'Union Européenne, des normes d'interdiction de commercialisation ont été instaurées depuis 1987 pour l'éventualité d'un accident futur [Règlements Euratom 3954/87, 2218/89 et 770/90].

Denrées alimentaires prêtes à la consommation				Aliments pour le bétail prêts à la consommation		
Aliments pour le nourrisson	Produits laitiers	Autres denrées alimentaires	Liquides destinés à la consommation	Porc	Volaille Agneau Veau	Autres
400 Bq.kg <sup>-1</sup>	1000 Bq.kg <sup>-1</sup>	1250 Bq.kg <sup>-1</sup>	1000 Bq.kg <sup>-1</sup>	1250 Bq.kg <sup>-1</sup>	2500 Bq.kg <sup>-1</sup>	5000 Bq.kg <sup>-1</sup>

## VIII. Textes réglementaires généraux

-Directive Européenne n°96/29/EURATOM adoptée le 13 mai 1996, fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants (J.O.C.E. n°159 du 29 juin 1996).

Les limites de dose annuelles sont les suivantes :

	Public	Travailleur
Dose efficace	1 mSv	100 mSv/ 5 ans consécutifs et au plus 50 mSv/an
Dose équivalente à la peau	50 mSv	500 mSv

-Brochure du Journal Officiel (J.O.) n°1420 : protection contre les rayonnements ionisants. Ce document rassemble tous les textes législatifs et réglementaires de radioprotection et notamment :

-Le décret n° 88-521 du 18 avril 1988 modifiant le décret du 20 juin 1966 relatif aux principes généraux de radioprotection ;

-Le décret n° 86-1103 du 2 octobre 1986 modifié relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants et ses textes d'application.

## IX. Bibliographie

-Actualités sur le Césium, Paris, EDF, n°8, : 23-32, 1994.

-BNFL, Annual Report on Radioactive discharges and monitoring of the environment, 1997.

-BROWNE E., FIRESTONE R., Table of radioactive isotopes, Shirley V Editor., Wiley-Interscience Publication, 1986.

-Calliope, CD-Rom, Collection IPSN, 1999.

-NCRP, *Césium 137 from the environment to man : metabolism and dose*, National Council on Radiation Protection and measurements, Report n°52, Bethesda, 1977.

-DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P., HICKMAN C., *Radionuclides and radiation protection data handbook 1998*, Rad. Prot. Dos., **76** (1-2), 1998.

-Federal Guidance Report n°12, *External exposure to radionuclides in air, water and soil*. Oak Ridge National Laboratory, 1993.

-ICRP (International Commission on Radiological Protection) Publication 38, *Radionuclide transformations, Energy and intensity of emissions*, Oxford Pergamon Press, 1983.

-ICRP (International Commission on Radiological Protection) Publication 56, *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides*, Oxford Pergamon Press, 1990.

-ICRP (International Commission on Radiological Protection) Publication 66, *Human respiratory tract model for radiological protection*, Oxford Pergamon Press, 1994.

- ICRP (International Commission on Radiological Protection) Publication 78, *Individual monitoring for internal exposure of workers*, Oxford Pergamon Press, 1998.
- GALLE P., *Toxiques nucléaires*, Paris, Masson (2<sup>e</sup> édition), 1997.
- NEILSON P., DRESOW B., FISHER R., HEINRICH H.C., *Inhibition of intestinal absorption and decorporation of radiocaesium in humans by hexacyanoferrates*. Int. J. Radiat. Appl. Instrum., 18 : 821-826, 1991.
- OPRI/INRS, *Césium 137 : Fiche technique de radioprotection pour l'utilisation de radionucléides en sources scellées*, 1996.
- OPRI, *Intervention médicale en cas d'accident radiologique*, Rapport du Conseil Scientifique OPRI, 1997.
- ROBEAU D., DABURON F., METIVIER H., *Le césium de l'environnement à l'homme*, Editions de Physique, Paris, 2000.
- Tchernobyl 14 ans après*, Dossier de presse IPSN, avril 2000.

**Rédacteurs de la Fiche : P. Bérard, B. Le Guen, M.L. Perrin, A. Desprès, E. Gaillard-Lecanu, V. Chambrette, J. Brenot (DPHD).**

**Vérificateur : D. Robeau (IPSN/Dir)**