

**STRONTIUM 90 + YTTRIUM 90** $^{90}_{38}\text{Sr}$ **- ASPECTS SANITAIRES -****I. Caractéristiques****I.1 Chimiques**

Le strontium appartient, comme le calcium, au groupe des métaux alcalino-terreux. En solution, il est le plus souvent sous forme de chlorures ou de nitrates.

I.2 Nucléaires

Le strontium naturel est un mélange de quatre isotopes stables (^{84}Sr ; ^{86}Sr ; ^{87}Sr ; ^{88}Sr). Parmi les 15 isotopes radioactifs connus (de nombre de masse s'échelonnant de 80 à 97), les plus importants sont ^{85}Sr , ^{89}Sr et ^{90}Sr . Le ^{90}Sr résulte de la chaîne de fission du brome 90. Il conduit par désintégration β^- à l'yttrium 90, lui-même émetteur β^- de période radioactive courte (64h).

		^{90}Sr
Période radioactive		28,5 ans
Activité massique		$5,16 \cdot 10^{12} \text{ Bq.g}^{-1}$
Emission(s) principale(s)	^{90}Sr	Désintégration β^- $E_{\text{max}} = 546 \text{ keV (100 \%)}$
(rendement d'émission pour 100 désintégrations)	^{90}Y	Désintégration β^- $E_{\text{max}} = 2280 \text{ keV (100\%)}$

[ICRP, 1983 - Browne et Firestone, 1986]

II. Origines**II.1 Naturelle**

Le ^{90}Sr n'existe pas à l'état naturel.

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

De 1945 à 1980, les explosions nucléaires atmosphériques ont conduit à la dispersion de $6,2 \cdot 10^{17} \text{ Bq}$ de ^{90}Sr dans l'atmosphère. Le dépôt de ^{90}Sr a atteint un maximum en 1963-1964. L'activité totale déposée dans l'environnement par les essais nucléaires atmosphériques atteignait pour l'ensemble du globe $6,1 \cdot 10^{17} \text{ Bq}$ en 1981 et elle n'augmente quasiment plus. L'activité surfacique était maximale dans les régions tempérées des deux hémisphères et elle a atteint $3,2 \cdot 10^3 \text{ Bq.m}^{-2}$ entre le 40^e et le 50^e parallèle de l'hémisphère Nord [Galle, 1997].



- Emissions par les installations nucléaires

La deuxième source de ^{90}Sr dans l'environnement est le cycle du combustible. Du ^{90}Sr est créé par fission au sein des réacteurs. Lors du traitement des combustibles irradiés, le strontium est extrait avec les autres produits de fission. L'essentiel des rejets de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ s'effectue au stade du retraitement des combustibles irradiés. En 1999, les rejets des usines de La Hague se sont élevés à $1,7 \cdot 10^{12}$ Bq en quasi totalité dans les effluents liquides ; ceux de l'usine de Sellafield ont été de $3,7 \cdot 10^{13}$ Bq sous forme liquide et de $0,1 \cdot 10^9$ Bq sous forme gazeuse en 1997.

- Rejets accidentels par les installations nucléaires

L'accident de Kyshtym (Oural) en 1957 a entraîné un dépôt sur $15\,000\text{ km}^2$ de 10^{17} Bq dont 5,4% de ^{90}Sr . Lors de l'accident de Tchernobyl (1986), environ $8 \cdot 10^{15}$ Bq de ^{90}Sr ont été rejetés dans l'atmosphère.

III. Transfert à l'environnement et métrologie

III.1 Données environnementales

Actuellement, l'exposition au ^{90}Sr est négligeable, et provient du reliquat des retombées des essais nucléaires atmosphériques. Dans le milieu marin, la dilution isotopique est telle que la fixation du ^{90}Sr sur les espèces marines est très faible. Dans le milieu terrestre, au maximum des retombées, l'activité des eaux potables et des eaux de rivière était comprise entre $5 \cdot 10^{-3}$ et $3,4 \cdot 10^{-1}$ Bq.l⁻¹. Dans les lacs de montagne, des concentrations de l'ordre de 3 Bq.l⁻¹ ont été relevées en 1964 [Galle, 1997].

Les observations faites sur les territoires entourant Tchernobyl, montrent que le strontium est au moins deux fois plus mobile que le césium ; il est mesuré à plusieurs mètres de profondeur dans des terrains dépourvus de matière organique [Tchernobyl, 13 ans après, dossier IPSN].

III.2 Métrologie environnementale

Après minéralisation des échantillons, les éléments alcalino-terreux sont isolés par coprécipitation par une solution d'oxalate d'ammonium, suivie d'une calcination. L'hydroxyde d'yttrium formé est ensuite éliminé de l'échantillon par précipitation. Quinze jours plus tard, l'yttrium nouvellement formé est précipité sous forme d'oxalate d'yttrium. Le comptage de ^{90}Y est effectué avec un compteur β et l'activité du ^{90}Sr est donnée par l'activité de ^{90}Y à l'équilibre. La connaissance de la concentration en calcium de l'échantillon permet d'exprimer dans certains cas, l'activité du ^{90}Sr en Bq.g⁻¹ de calcium, le calcium étant l'homologue chimique du ^{90}Sr [Foulquier L. et Bretheau F., 1998].

IV. Utilisations industrielles et médicales

Dans le secteur industriel, les sources de ^{90}Sr (activité de $4 \cdot 10^7$ à $4 \cdot 10^{10}$ Bq) servent à générer des électrons pour les jauges de mesure d'épaisseur et la pré-ionisation de tubes électroniques. Dans le domaine médical, elles sont utilisées en radiothérapie pour des applications cutanées.

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	$1,98.10^{-16}$ (Sv /s) / (Bq/m ³)
Dépôt	$5,61.10^{-18}$ (Sv /s) / (Bq/m ²)
Immersion dans l'eau	$3,78.10^{-19}$ (Sv /s) / (Bq/m ³)

V.2 Contamination externe de la peau

Une contamination homogène superficielle de 1000 Bq.cm⁻² de peau délivre un débit de dose équivalente à l'épiderme (couche superficielle de la peau) de $3,6.10^{-3}$ Sv.h⁻¹ [OPRI/INRS, fiche ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y].

V.3 Exposition interne

- Biocinétique

Le modèle cinétique concernant le strontium est décrit dans la Publication 67 de la CIPR (1993).

Le strontium se dépose principalement dans l'os trabéculaire et cortical, où il est retenu. Il existe aussi une rétention dans le foie et les autres tissus mous.

Les études cinétiques montrent la similitude qualitative des distributions du calcium et du strontium. Quantitativement, l'organisme établit cependant une discrimination entre les deux processus métaboliques, à l'avantage du calcium.

La chaîne alimentaire constitue la principale voie d'apport du strontium à l'homme. L'inhalation ne représente qu'un apport mineur [Galle, 1997].

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

- Effets biologiques

On n'a jamais constaté d'effet pathologique dû au ⁹⁰Sr chez l'homme. Il faut signaler cependant une augmentation de la fréquence des aberrations chromosomiques chez des peintres tchécoslovaques de cadrans lumineux, corrélée aux débits de dose à la moelle osseuse [Galle, 1997].

Des études expérimentales sur des animaux montrent en particulier, des perturbations de la formule sanguine, une réduction de la croissance, l'apparition de tumeurs osseuses et de leucémies [Galle, 1997].

- Mesure

⁹⁰ Sr	Méthode de mesure		Limite de détection
	Scintillation liquide	Urine	1 Bq.l ⁻¹

[ICRP, 1998]

Le ⁹⁰Sr, émetteur β pur, étant toujours associé à son descendant radioactif ⁹⁰Y, émetteur β, les mesures nécessitent une séparation chimique préalable. La limite de détection de 1 Bq.l⁻¹ correspond à la surveillance de routine. Pour la surveillance de routine des composés

peu solubles du ^{90}Sr (type S, pour les seuls travailleurs), il est indispensable d'abaisser la limite de détection.

- 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 **$0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$** et de **$0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$** .

		Dose efficace (Sv /Bq)	
		Adulte	Enfant (1-2 ans)
Inhalation	Aérosol (type M) $AMAD = 1\mu\text{m}$	$3,74 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$
Ingestion		$3,0 \cdot 10^{-8}$	$9,3 \cdot 10^{-8}$

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 **$1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$** .

		Dose efficace (Sv /Bq)
		Travailleur
Inhalation	Aérosol (type F) $AMAD = 5\mu\text{m}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
Ingestion		$2,8 \cdot 10^{-8}$

V.4 Dangerosité

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

2 (forte)

-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.

10^9 Bq

VI. Protection des travailleurs

Une pose d'écran de protection est préconisée : 6 mm de verre arrêtent à la fois les émissions β du ^{90}Sr et du ^{90}Y [OPRI/INRS, fiche $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$].

VII. Accidents

VII.1 Réponse médicale

Le traitement préconisé en cas de contamination interne par du strontium, consiste à diminuer l'incorporation par ingestion d'alginate de sodium et à stimuler l'excrétion par administration de gluconate de calcium, lactate de strontium (processus de dilution isotopique) ou de chlorure d'ammonium (acidification favorisant l'excrétion du strontium) [OPRI,1997].

En cas de contamination externe, les brûlures cutanées doivent être traitées comme des brûlures classiques.

VII.2 Réponse sanitaire

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].

Denrées alimentaires prêtes à la consommation			
Aliments pour le nourrisson	Produits laitiers	Autres denrées alimentaires	Liquides destinés à la consommation
75 Bq.kg ⁻¹	125 Bq.kg ⁻¹	750 Bq.kg ⁻¹	125 Bq.kg ⁻¹

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 annuelles de dose de la Directive Européenne n°96/29/EURATOM du 13 mai 1996 sont les suivantes :

	Public	Travailleur
Dose efficace	1 mSv	100 mSv/ 5 ans consécutifs et au plus 50mSv/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

- BROWNE E., FIRESTONE R., Table of radioactive isotopes, Shirley V Editor., Wiley-Interscience Publication, 1986.
- Calliope, CD-Rom, Collection IPSN, 1999.
- Federal Guidance Report n°12, *External exposure to radionuclides in air, water and soil*. Oak Ridge National Laboratory, 1993.
- FOULQUIER L., BRETHERAU F., *Les installations nucléaires et l'environnement*, Editions de Physique, Paris, 1998.
- GALLE P., *Toxiques nucléaires*, Paris, Masson (2^e édition), 1997.
- 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 67, *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides*, Oxford Pergamon Press, 1993.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection) Publication 78, *Individual monitoring for internal exposure of workers*, Oxford Pergamon Press, 1998.
- NCRP, *Some aspects of strontium radiobiology*, National Council on Radiation Protection and measurements, Report n°110, Bethesda, 1991.
- OPRI, Intervention médicale en cas d'accident radiologique, Rapport du Conseil Scientifique OPRI, 1997.
- OPRI/INRS, *Strontium-90 : Fiche technique de radioprotection pour l'utilisation de radionucléides en sources non scellées*, 1996.
- Tchernobyl 13 ans après*, Dossier de presse IPSN, avril 1999.

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

Vérificateur : J. Brenot (DPHD)