

THORIUM 232 et ses descendants à l'équilibre

 $^{232}_{90}\text{Th}$

- ASPECTS SANITAIRES -

I. Caractéristiques

I.1 Chimiques

Le thorium est le deuxième élément de la série des actinides. Certaines de ses propriétés le rapprochent, soit du titane, soit du cérium, soit du plutonium.

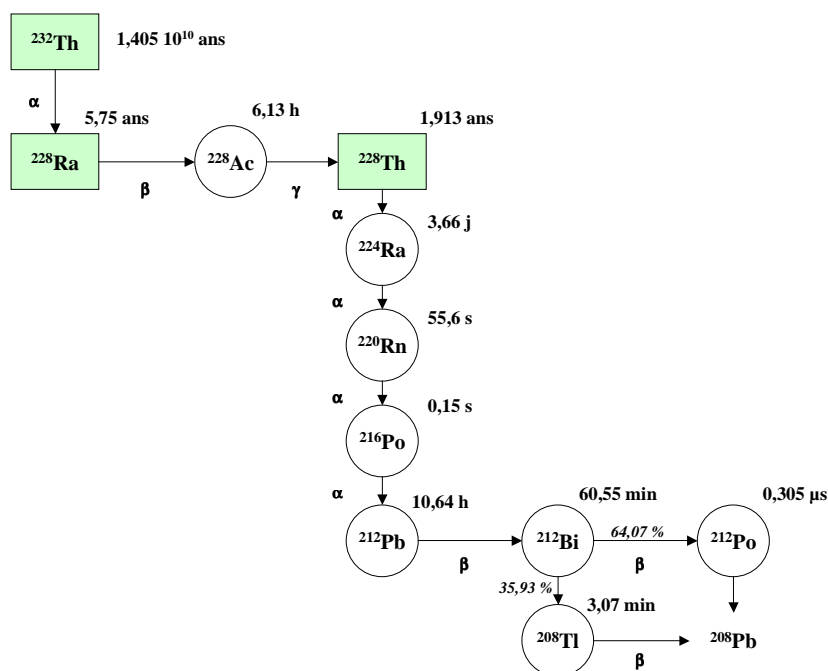
I.2 Nucléaires

Le thorium n'existe que sous forme radioactive. Il apparaît dans la plupart des grandes familles de radionucléides naturels et dans celles des transuraniens. Il présente 13 isotopes dont le principal est le ^{232}Th , émetteur de rayonnement alpha. Il donne naissance à de nombreux produits de filiation dont ^{228}Ac , émetteur de rayonnement gamma.

^{232}Th	
Période radioactive	$1,45 \cdot 10^{10}$ ans
Activité massique	$4,10 \cdot 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$
Emission(s) principale(s) (rendement d'émission pour 100 désintégrations)	Emission α E = 4010 keV (77%) E = 3952 keV (23%)

[ICRP, 1983 - Browne et Firestone, 1986]

Les descendants du ^{232}Th apparaissent dans la chaîne de désintégrations suivante :



II. Origines

II.1 Naturelle

Le thorium est un métal gris découvert en 1828 par le chimiste suédois Berzelius. Pratiquement 100% du thorium naturel est constitué de l'isotope ^{232}Th . Le thorium est trois à quatre fois plus abondant dans la couche terrestre que l'uranium. Sa teneur moyenne est de 9 à 12 grammes par tonne de sol, ce qui correspond à une radioactivité de quelques dizaines de becquerels par kilogramme. Il est extrait surtout de la monazite, minerai qui contient de 3% à 9% d'oxyde de thorium (thorine). Les principaux gisements de monazite sont en Inde et au Brésil. On en trouve également dans des pays comme l'Australie, l'Indonésie, la Malaisie ou Madagascar. Mais le principal producteur mondial, depuis 1966, est l'Afrique du Sud.

Dans le milieu naturel, le ^{232}Th est toujours à l'équilibre avec ses descendants.

III. Transfert à l'environnement et métrologie

III.1 Données environnementales

Les eaux de mer ne renferment qu'une faible proportion de thorium, environ 1.10^{-5} g.l⁻¹. Ces faibles teneurs s'expliquent par le fait que les sédiments marins absorbent le thorium dissous. La teneur en thorium de ces sédiments est presque 500 fois supérieure à celle de l'eau de mer [Laroche, 1998]. Le tableau suivant précise les concentrations du thorium et de ses descendants dans différents milieux.

	^{232}Th	^{228}Ra	^{228}Th
Sols (Bq.kg⁻¹)	Valeurs typiques 2-190 (a) 7-50 (b) 25 à 28 en moyenne		
Eau (mBq.l⁻¹) (c)	0,03 ± 0,03 (Loire) 10 – 11 (Seine)		
Sédiment (Bq.kg⁻¹ poids sec) (c)	55 ± 12 (Loire) 16 ± 9 (Seine)		
Poisson (Bq.kg⁻¹ poids frais) (c)	0,6 ± 0,3 (Loire) 1,1 ± 0,7 (Seine)		
Eaux minérales (mBq.l⁻¹) (d) Volvic Perrier St Yorre Badoit		42,7 500 170	28 14

(a) Rannou A. , 1999

(b) de Choudens et al., 1997

(c) Lambrechts et al., 1992

(d) Métivier et al., 1997

III.2 Métrologie environnementale

Différentes techniques existent pour la mesure du ^{232}Th :

- **mesure directe**, par ICP-MS.
- **mesures indirectes**, par spectrométrie gamma centrée sur ^{228}Ac .

IV. Utilisations industrielles et médicales

Entre 1928 et 1955, le thorium a été utilisé dans le domaine **médical**. Son application la plus connue a été le Thorotrast (injection de dioxyde de thorium), produit de contraste utilisé en radiologie, principalement pour les artériographies. Entre 1944 et 1951, le thorium a aussi été employé pour le traitement de certaines maladies comme la tuberculose ou la spondylarthrite ankylosante.

Dans l'**industrie**, le thorium est utilisé depuis longtemps pour ses propriétés physico-chimiques et pour ses propriétés nucléaires.

Actuellement, ses principales applications sont dans :

-l'industrie aéronautique : il sert à renforcer la résistance thermique et la tenue à l'oxydation de métaux ;

-l'électronique : associée à différents métaux, la thoria (oxyde de thorium) forme des alliages céramique/métal employés comme sources d'électrons. La thoria entre également dans la composition des filaments de tungstène des lampes à incandescence ;

-la production de céramiques et de matériaux réfractaires : la thoria est notamment utilisée pour la fabrication de creusets servant à la coulée de métaux en fusion et comme composant de résistances pour fours à haute température ;

-l'industrie chimique : la thoria sert de catalyseur dans des réactions d'hydrogénation et de déshydrogénation (craquage des pétroles) ;

-l'industrie nucléaire : le thorium 232, associé à l'uranium 233, est utilisé comme combustible dans certains réacteurs nucléaires expérimentaux au Canada et en Inde.

V. Atteinte de l'homme

V.1 Exposition externe

Les coefficients de dose efficace du ^{232}Th et de chacun de ses descendants sont donnés dans le rapport n°12 du Federal Guidance (1993). Ils ont été sommés pour obtenir les coefficients de dose du ^{226}Ra et de ses descendants à l'équilibre reportés ci-dessous. Ils sont valables quel que soit l'âge de l'individu exposé.

	Dose efficace
Panache	$8,72 \cdot 10^{-18}$ (Sv /s) / (Bq/m ³)
Dépôt	$5,51 \cdot 10^{-19}$ (Sv /s) / (Bq/m ²)
Immersion dans l'eau	$1,99 \cdot 10^{-20}$ (Sv /s) / (Bq/m ³)

La famille du ^{232}Th contribue environ au tiers de la dose due à l'exposition externe naturelle d'origine tellurique, soit environ 0,15 mSv/an [UNSCEAR, 1993] à égalité avec la famille de ^{238}U et avec le ^{40}K [Rannou A., 1999].

V.2 Contamination externe de la peau

Pour le ^{232}Th **seul**, 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 $5,1 \cdot 10^{-6}$ Sv.h⁻¹ [Chaptinel et al., 1988].

V.3 Exposition interne

- Biocinétique

Le modèle biocinétique est décrit dans la Publication 69 de la CIPR (1994).

La pénétration du thorium dans l'organisme peut se faire par ingestion ou inhalation de poussières, plus rarement par blessure. Absorbé dans le sang, le thorium a pour principaux sites de dépôt, le foie et le squelette. Il se fixe dans l'os à raison de 60% de la quantité inhalée ou ingérée par l'individu. Chez l'enfant, l'assimilation par l'organisme est 4 à 8 fois supérieure à celle de l'adulte, ce qui se traduit par une plus grande fixation osseuse.

Le thorium est relativement abondant mais sa concentration très faible dans la biosphère rend négligeable sa contribution à l'exposition naturelle de l'homme. L'absorption quotidienne due au thorium naturel a été estimée, pour un adulte, à $3 \cdot 10^{-5}$ Bq par inhalation et à $4 \cdot 10^{-3}$ Bq par ingestion ce qui donne une dose efficace annuelle de 3 μ Sv. [Gambini et al., 1997].

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

- Effets biologiques

Lors de son utilisation médicale, le Thorotrast (solution injectable par voie intraveineuse contenant 20 % à 25 % de thorium sous forme d'oxyde) a été injecté à plusieurs millions de patients. Les fortes doses résultant de cette utilisation et les millions de cas concernés permettent aujourd'hui de connaître de façon précise les risques encourus dans ces conditions d'utilisation, et leurs conséquences. Chez ces patients, on constate la présence de grains de thorium accumulés dans des organes tels que le foie, le rein, la rate, la moelle osseuse. Ils soumettent ainsi ces tissus à une forte irradiation alpha pendant des années, responsable essentiellement de cancers du foie, ainsi que de cancers du poumon, plus rares. Le thorium augmente également le risque de leucémie par sa présence dans la moelle rouge des os. La plupart de ces cancers sont survenus plus de 20 ans après l'injection.

- Mesure

²³² Th	Méthode de mesure		Limite de détection
	Spectrométrie α	Urine	0,3-1,5 mBq*
		Fèces	0,3-1,5 mBq*
	Spectrométrie γ <i>in vivo</i> par émission de ²³⁸ Ac	Corps entier	[30-100 Bq]
		Poumon	[10-30 Bq]

*urines et selles de 24 heures

[Dalheimer et Henrichs, 1994]

La spectrométrie α nécessite une séparation chimique préalable. Elle est utilisée pour des situations anormales de contamination aiguë et non pour la surveillance de routine.

- 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 m³.h⁻¹** et de **0,2 m³.h⁻¹**.

^{232}Th seul		Dose efficace (Sv /Bq)	
		Adulte	Enfant (1-2 ans)
Inhalation	Aérosol (type S) $AMAD = 1\mu\text{m}$	$2,5.10^{-5}$	5.10^{-5}
Ingestion		$2,3.10^{-7}$	$4,5.10^{-7}$

^{232}Th et ses descendants à l'équilibre		Dose efficace (Sv /Bq)	
		Adulte	Enfant (1-2 ans)
Inhalation	Aérosol $AMAD = 1\mu\text{m}$	7.10^{-5}	2.10^{-4}
Ingestion		1.10^{-6}	$6,9.10^{-6}$

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

^{232}Th seul		Dose efficace (Sv /Bq)
		Travailleur
Inhalation	Aérosol (type M) $AMAD = 5\mu\text{m}$	$2,9.10^{-5}$
Ingestion		$2,3.10^{-7}$

V.4 Dangerosité

Le thorium présente une toxicité chimique comparable à celle de l'uranium. En revanche, la toxicité radiologique du thorium naturel est supérieure à celle de l'uranium naturel. Le risque dépend de la forme physico-chimique et de la concentration. L'apparition de cancers liés au thorium est généralement expliquée par son rayonnement alpha.

-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.

1000 Bq

VI. Protection des travailleurs

L'utilisation **industrielle** du thorium, comme celle de toutes les substances radioactives, est soumise à déclaration ou autorisation selon les quantités mises en œuvre et leur emploi. Les installations qui en contiennent peuvent être classées pour la protection de l'environnement ou sont des installations nucléaires de base quand l'activité détenue est supérieure à $3,7 \cdot 10^{12}$ Bq. Le risque pour les travailleurs est plus important si le produit est sous forme pulvérulente (poudre ou produit massif en cours d'usinage - limage, soudure). Dans l'industrie nucléaire, les travailleurs sont soumis à une surveillance spécifique.

VII. Accidents

Le ^{232}Th à l'état naturel ne constitue un risque significatif pour l'homme, ni par exposition externe (émetteur gamma de faible énergie), ni par exposition interne (incorporation de traces). En situation anormale, le risque dépend de la forme physico-chimique.

VII.1 Réponse médicale

En cas de contamination interne, des adsorbants peuvent être utilisés pour réduire l'absorption intestinale et le DTPA (acide diéthylène triamine pentaacétique, 0,5 g éventuellement renouvelable si nécessaire) peut être préconisé pour stimuler l'excrétion urinaire par complexation [Bhattacharyya, 1995].

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 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

-BHATTACHARYYA MH., BREITENSTEIN BD., METIVIER H., MUGGENBURG BA., STRADING GN., VOLF V., *Traitement de la contamination interne accidentelle des travailleurs*, Editions de Physique, Paris, 1995.

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

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

- CHANTEUR J., *Le thorium : physico-chimie, physio-pathologie, risques et prévention*, Séminaire des Hôpitaux de Paris, 7, 27-28, 85-855, 1994.
- CHAPTINEL Y., DURAND F., PIECHOWSKI J., MENOUX B., *Dosimétrie et thérapeutique des contaminations cutanées*, Rapport CEA-R-5441, 1988.
- DALHEIMER A., HENRICHS K., *Monitoring of workers occupationally exposed to thorium in Germany*, Radiation Protection Dosimetry, Vol 53 (1-4), 207-209, 1994.
- DE CHOUDENS H., TROESCH G., *Radioprotection dans les installations nucléaires*. Editions Lavoisier, collection Technique et Documentation, 1997.
- Federal Guidance Report n°12, *External exposure to radionuclides in air, water and soil*. Oak Ridge National Laboratory, 1993.
- GALLE P., *Toxiques nucléaires*, Paris, Masson (2^e édition), 1997.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., *Manuel pratique de radioprotection*, Editions Lavoisier, collection Technique et Documentation, 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 69, *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides : Ingestion dose coefficients*, Oxford Pergamon Press, 1994.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection) Publication 78, *Individual monitoring for internal exposure of workers*, Oxford Pergamon Press, 1998.
- LAMBRECHTS A., FOULQUIER L., GARNIER-LAPLACE J., *Natural radioactivity in the aquatic components of the main French rivers*, in Proceedings of the Fifth international Symposium on the natural radiation environment, Salzburg, Austria, September 22-28, 1991. Radiation Protection Dosimetry, Vol 45 (1-4), 1992.
- LAROCHE P., *Le thorium : risques pour les travailleurs, surveillance et radioprotection*, Thèse de Doctorat de l'Université Paris V, 1998.
- METIVIER H., ROY M., *Dose efficace liée à la consommation d'eau minérale naturelle par l'adulte et le nourrisson*. Radioprotection, Vol. 32, n°4, pp 491-499, 1997.
- RANNOU A., *Connaissance actuelle des sources d'irradiation naturelle*. Radioprotection, Vol. 34, n°4, pp 505-519, 1999.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), *Sources and effects of ionizing radiation*, New York, United Nations, 1993.

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

Vérificateur : B. Cessac (DPRE)