



NOTE TECHNIQUE



Référence de la note

LNHB 2008/59

TITRE : Évaluation de la chaîne du radium 226

RESUME : Évaluation des données de la décroissance radioactive du radium 226 et de ses descendants.

A		Emission initiale		
IND.	04/08/2008	OBJET		
	Auteur(s)	Vérificateur(s)	Chef de laboratoire	Chef du Service
Noms	V. Chisté, M. M. Bé, C. Dulieu	M. M. Bé C. Dulieu L. Ferreux	M. M. Bé	F. Damoy
Dates				
Signatures				

1	Introduction	3
2	Évaluation	3
3	Périodes	4
4	Intensités d'émission gamma	4
	4.1 Intensité d'émission de la raie gamma de 609 keV du polonium 214	5
	4.2 Probabilités d'émission et de transition des raies gamma de la chaîne	5
5	Probabilités d'émission alpha et bêta	6
6	Comparaison avec les mesures de raies X et validation du Q de la réaction	7
7	Thallium 210 : un schéma particulièrement mal connu	8
8	Chaîne à l'équilibre	8
9	Dernières remarques	9
10	Références	11
11	Annexes	12
	11.1 Intensités de raies gamma en équilibre	
	11.2 Intensités d'émission alpha en équilibre	

1 Introduction

Le radium 226 et ses descendants, qui appartiennent à la chaîne naturelle de l'uranium 238, constituent une importante chaîne radioactive, utilisée fréquemment lors de l'étalonnage de détecteurs gamma de haute résolution (HPGe, Ge-Li, etc) et pour des mesures de contrôle environnemental. Pour ces raisons, la mise à jour des données de décroissance de ces radionucléides est incluse dans un "Coordinated Research Program" géré par l'AIEA. Ce travail, résumé ici, a été pris en charge par le LNHB.

Dans cette étude, une évaluation des émissions gamma, bêta et alpha de chaque radionucléide de la chaîne du radium 226 jusqu'au polonium 210 a été faite en prenant en compte les nouvelles mesures publiées dans la littérature. Les radionucléides de masse 206 (mercure et thallium) ayant été étudiés par un autre laboratoire ne sont incluses ici que dans la partie "Chaîne à l'équilibre". En raison de l'importance de cette chaîne, de nombreuses mesures d'intensités d'émission gamma ont été faites depuis ces dix dernières années (environ onze nouvelles mesures) et dans le même temps, très peu de mesures d'intensités d'émission alpha ou bêta ont été menées à bien (par exemple, pour le radium 226, seulement deux nouvelles références ont été trouvées dans la littérature).

Cette évaluation prend également en compte les nouvelles valeurs théoriques établies ces dernières années pour les coefficients de conversion interne [20], afin de calculer les probabilités des transitions gamma. Les transitions bêta et alpha, les électrons de conversion, les électrons Auger et les intensités d'émission X sont déduites en tenant compte de la cohérence du schéma de désintégration.

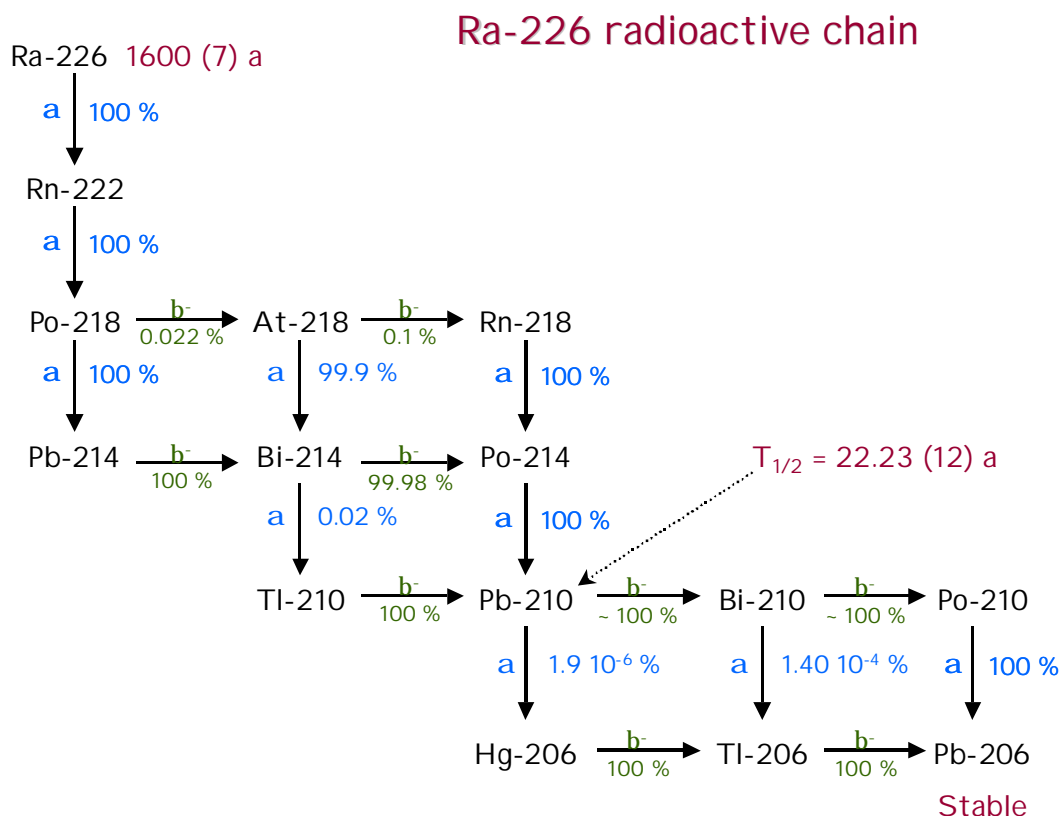
Cette étude a aussi pour objectif de mettre en évidence les possibles incohérences et le manque de données expérimentales éventuelles.

Dans un premier temps, les nucléides sont étudiés un à un, puis considérés à l'équilibre dans la chaîne.

2 Évaluation

La chaîne radioactive naturelle du radium 226 comprend 14 nucléides jusqu'au nucléide stable du plomb 206, comme montré sur la figure 1, ci-dessous

Figure 1 : Chaîne radioactive du radium 226



Les principales étapes pour l'évaluation des données et leurs incertitudes sont :

1. une analyse critique de toutes les publications disponibles afin de retenir ou non une valeur et son incertitude, ramenée à l'incertitude type composée ;
2. la détermination d'une valeur recommandée qui est, selon le cas, une moyenne simple ou pondérée des valeurs issues des publications, ceci est décidé après examen du chi carré réduit. Dans le cas d'une moyenne pondérée, le poids relatif de chaque valeur est limité à 50 %. L'incertitude, notée uc , est la plus grande des valeurs des incertitudes interne ou externe ; dans le cas de valeurs incompatibles, elle peut-être étendue pour recouvrir la valeur la plus précise.

Tous les détails peuvent être trouvés dans la référence [1].

3 Périodes

Les valeurs de périodes recommandées et leurs incertitudes sont les moyennes pondérées de l'ensemble des jeux de données trouvés dans la littérature pour chaque nucléide, en utilisant le programme de calcul LWEIGHT [19] (tableau 1).

Tableau 1 : Résumé des valeurs de période recommandées pour la chaîne du Ra-226.

Ra-226	1600 (7) a
Rn-222	3.8232 (8) d
Po-218	3.094 (6) min
At-218	1.4 (2) s
Rn-218	36.0 (19) ms
Pb-214	26.8 (9) min
Bi-214	19.9 (4) min
Po-214	162.3 (12) μ s
Tl-210	1.30 (3) min
Pb-210	22.23 (12) a
Bi-210	5.012 (5) d
Po-210	138.3763 (17) d
Hg-206	8.15 (10) min
Tl-206	4.202 (11) min

Pour le plomb 214 et bismuth 214, les valeurs recommandées présentées dans le tableau 1 sont les uniques valeurs expérimentales publiées, soit : 26.8 (9) min pour le plomb 214 mesurée par M. Curie (1931) [2] et 19.9 (4) min pour le Bismuth 214 donnée par H. Daniel (1956) [3].

Les huit premiers descendants de la chaîne du radium 226, i.e., radon 222, polonium 218, astate 218, radon 218, plomb 214, bismuth 214, polonium 214 et thallium 210 ont des périodes très courtes comparées à celles du radium 226 et du plomb 210 et pour cette raison, l'équilibre radioactif de Ra-226 jusqu'à Pb-210 est vite atteint pour $t \geq 38.5$ jours (i.e. dix fois la période de Rn-222). Pour les autres nucléides à partir du plomb 210, un facteur de correction dépendant du rapport des activités ($A(\text{Pb-210})/A(\text{Ra-226})$) sera appliqué lors du calcul des éléments de la chaîne, considérée à l'équilibre séculaire (voir § 8 Chaîne à l'équilibre).

4 Intensités d'émission gamma.

Dans cette étude, toutes les valeurs expérimentales des intensités d'émission relatives et absolues ont été mesurées avec la chaîne du radium 226 au plomb 210 à l'équilibre. Au total dix-huit publications ont été répertoriées dans la littérature, divisées entre treize jeux de mesures des intensités d'émission en relatif par rapport à la raie gamma de 609 keV du polonium 214 et cinq jeux de mesures de valeurs absolues. Pour prendre en compte les treize jeux de valeurs relatives, le premier travail a été de déterminer la valeur absolue de la raie gamma de 609 keV du polonium 214.

4.1 Intensité d'émission de la raie gamma de 609 keV du polonium 214.

La valeur absolue d'émission de la raie gamma de 609 keV, présente dans la désintégration du bismuth 214 vers le polonium 214, étant la plus intense, elle est utilisée fréquemment pour normaliser les valeurs de probabilités d'émission relatives des autres raies gamma de la chaîne, la plupart du temps mesurées en relatif par rapport à cette raie. Cette raie gamma est émise depuis le niveau d'énergie 609 keV du polonium 214 qui est peuplé par l'émission bêta moins du bismuth 214 et par plusieurs raies gamma de haute énergie. Le niveau 609 keV se désexcite par une unique transition gamma vers l'état fondamental.

Dans le tableau 2, les valeurs expérimentales de l'intensité d'émission absolue de la raie gamma de 609 keV publiées de 1969 à 2004 sont listées. La valeur recommandée est la moyenne pondérée des cinq valeurs données dans ce tableau.

Tableau 2 : Intensité d'émission absolue du gamma de 609 keV du polonium 214 (en %).

Références	P_γ (%)
E. W. A. Lingeman (1969) [4]	42.8 (40)
D. G. Olson (1983) [5]	45.0 (7)
U. Schötzig (1983) [6]	44.6 (5)
W. – J. Lin (1991) [7]	46.1 (5)
J. Morel (2004) [8]	45.57 (18)
Valeur recommandée	45.49 (19), $\chi^2/(n-1) = 1.45$

Ce jeu de cinq valeurs étant cohérent (χ carré réduit (= 1.45) \leq χ critique (= 3.32)), la valeur recommandée est la moyenne pondérée de 45.49 %, avec l'incertitude externe de 0.19 %.

4.2 Probabilités d'émission et de transition des raies gamma de la chaîne.

Pour les raies gamma, les valeurs recommandées des intensités relatives sont des moyennes pondérées des valeurs mesurées publiées de 1969 à 2004 (le plus récent) [5-18], calculées avec l'aide du programme LWEIGHT [19] et suivant la méthode décrite au § 2 Évaluation. Quand cela a été nécessaire, les incertitudes données par les auteurs ont été augmentées pour que leur contribution reste inférieure à 50 %. Les énergies adoptées, les intensités d'émission relatives et les probabilités d'émission absolues, normalisées en utilisant le facteur de normalisation de 45.49 (19) (tableau 2) sont données dans le tableau 3.

Tableau 3 : Principales raies gamma de la chaîne du radium 226 à l'équilibre radioactif avec ses descendants.

Fils	Énergie (keV)	Intensité d'émission relative (%)	Intensité d'émission absolue (%)
Rn-222	186.211 (13)	7.815 (25)	3.555 (19)
Bi-214	53.2275 (21)	2.331 (16)	1.060 (7)
	241.997 (3)	15.977 (48)	7.268 (22)
	295.224 (2)	40.48 (8)	18.414 (36)
	351.932 (2)	78.26 (16)	35.60 (7)
	785.96 (9)	2.339 (28)	1.064 (13)
	Po-214	609.312 (7)	100
	665.453 (22)	3.364 (15)	1.530 (7)
	768.356 (10)	10.755 (36)	4.892 (16)
	806.174 (18)	2.774 (13)	1.262 (6)
	934.061 (12)	6.814 (22)	3.100 (10)
	1120.287 (10)	32.77 (7)	14.91 (3)
	1155.19 (2)	3.594 (15)	1.635 (7)
	1238.111 (12)	12.819 (29)	5.831 (14)

Po-214	1280.96 (2)	3.155 (13)	1.435 (6)
	1377.669 (12)	8.722 (25)	3.968 (11)
	1401.50 (4)	2.923 (16)	1.330 (7)
	1407.98 (4)	5.252 (17)	2.389 (8)
	1509.228 (15)	4.679 (21)	2.128 (10)
	1661.28 (6)	2.304 (20)	1.048 (9)
	1729.595 (15)	6.251 (22)	2.844 (10)
	1764.494 (14)	33.66 (10)	15.31 (5)
	1847.420 (25)	4.451 (26)	2.025 (12)
	2118.55 (3)	2.545 (12)	1.158 (5)
	2204.21 (4)	10.80 (5)	4.913 (23)
	2447.86 (10)	3.403 (16)	1.548 (7)

Il a été décidé de ne pas utiliser, dans notre analyse, les quatre premiers jeux de données cités dans la référence [13] et de n'utiliser que le dernier, afin d'éviter toute corrélation, ces valeurs ayant été obtenues par le même laboratoire.

Les probabilités de transition de toutes les raies gamma présentes dans la chaîne ont été calculées en utilisant les intensités d'émission absolues et les coefficients de conversion interne (ICC's). Ces coefficients de conversion internes ont été déduits par interpolation des valeurs théoriques des tables de I. M. Band *et al.* [20] en utilisant le programme BRICC [21] et en tenant compte de la lacune créée dans les couches électroniques ('frozen orbital approximation').

Dans le cas des raies gamma du bismuth 214 suite à la désintégration bêta moins du plomb 214, il a été préféré les coefficients de conversion interne déduits des tables de Rösel [22] (calculés en utilisant le programme Icc99v3a – GETICC dialog). Il en résulte un meilleur équilibre du schéma de désintégration ($\Sigma P_{\beta^-} = 100.6\%$) comparé à $\Sigma P_{\beta^-} = 102\%$, en utilisant les coefficients de conversion interne de I. M. Band [20].

5 Probabilités d'émission alpha et bêta.

Dans le cas de la chaîne du radium 226, les mesures directes de probabilités d'émission alpha et bêta moins sont presque inexistantes et souvent anciennes. Les uniques mesures disponibles dans la littérature sont, par exemple, celles données par : R. J. Walen en 1959 et 1960 [23, 24], G. Bastin-Scoffier (sans incertitudes) en 1963 [25], et S. P. LaMont en 2001 [31] pour les probabilités alpha ou F. Hiessberger en 1952 [26], P. Weinzierl en 1964 [27] et R. J. Walen (sans incertitudes) en 1959 [23] pour les probabilités bêta moins.

Par conséquent, les valeurs adoptées pour les probabilités d'émission alpha et bêta de la plupart des nucléides présents dans la chaîne (exception faite du polonium 218 [24]) ont été déduites de la balance des probabilités de transition des raies gamma à chaque niveau du schéma de désintégration et sont montrées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Probabilités d'émission alpha et bêta de la chaîne du radium 226.

Nucléide et mode de désintégration.	Énergie de transition (keV)	Probabilité (%)
Ra-226, désintégration α	4870.54 (25)	94.038 (40)
	4684 (1)	5.95 (4)
Rn-222, désintégration α	5590.2 (3)	99.92 (1)
Pb-214, désintégration β^-	1019 (11)	9.2 (7)
	729 (11)	41.09 (39)
	667 (11)	46.52 (37)
	180 (11)	2.762 (22)
Bi-214, désintégration β^-	3270 (11)	19.67 (20)
	1894 (11)	7.45 (5)
	1727 (11)	3.12 (4)
	1540 (11)	17.494 (36)
	1506 (11)	17.10 (8)
	1423 (11)	8.147 (28)
	1253 (11)	2.449 (10)

Bi-214, désintégration β^-	1151 (11)	4.339 (18)
	1068 (11)	5.642 (43)
	822 (11)	2.76 (6)
Po-214, désintégration α	7833.24 (6)	99.9895 (7)

6 Comparaison avec les mesures de raies X et validation du Q de la réaction.

Les valeurs des intensités absolues des raies X adoptées ont été calculées à partir des intensités des raies gamma et des coefficients de conversion interne en utilisant le programme EMISSION [28] et comparées aux valeurs mesurées lorsqu'elles existent.

Quelques mesures de raies X ont été réalisées pour :

- Le radium 226 (références 6, 17 et 29)
- Le plomb 214 (références 4 et 6)
- Le bismuth 214 (référence 7).

Par exemple, dans le cas du radium 226 (tableau 5), les valeurs adoptées et celles données par Pinho [29] sont largement plus grandes que celles mesurées par Delgado [17] et Schötzig [6].

Les valeurs adoptées sont en bon accord, en tenant compte des incertitudes, avec les valeurs expérimentales de Pinho [29] qui a utilisé une source de radium 226 purifiée de ses descendants, alors que pour Delgado [17] et Schötzig [6], les mesures ont été faites avec des sources de radium 226 en équilibre avec ses descendants.

Tableau 5 : Valeurs expérimentales et calculées (adoptées) des intensités d'émission de raies X du radium 226.

	Delgado [17]	Schötzig [6]	De Pinho [29] ^a	Valeurs adoptées
K α_1	0.215 (3)			0.317 (6)
K α_2	0.156 (39)			0.192 (4)
K α	0.371 (39)	0.418 (21)		0.509 (7)
K β_1	0.079 (5)			0.1098 (25)
K β_2	0.020 (4)			0.0351 (10)
K β	0.099 (6)	0.145 (9)		0.1449 (27)
XK	0.47 (4)	0.563 (23)	0.693 (26)	0.654 (8)
XL			0.839 (43)	0.807 (13)

^a Calculées avec $I_\gamma(186) = 3.555(19)$, donnée dans cette évaluation.

Dans le tableau 6, les valeurs adoptées du Q de la réaction, telles que figurant dans les tables de Audi [30], sont comparées aux valeurs de Q effectif, calculées à partir des données du schéma de désintégration en sommant toutes les énergies emportées par les diverses émissions.

Tableau 6 : Les valeurs adoptées Q et issues du schéma, Q_{eff} , de la réaction.

Radionucléide	Q(Audi) [30] (keV)	Q_{eff} (keV)	Incertitude relative (%)
Ra-226	4870.63 (25)	4870.50 (27)	0.00
Rn-222	5590.3 (3)	5590.1 (6)	0.01
Po-218	6114.68 (9)	6113.3 (2)	0.00
Pb-214	1019 (11)	1024 (11) ^b	0.51 ^b
		1029 (15) ^c	0.99 ^c
Bi-214	3270 (11)	3261 (10)	0.26
Po-214	7833.46 (6)	7833.24 (10)	0.00
Tl-210	5482 (12)	5470 (1000)	0.20
Pb-210	63.5 (5)	63.9 (11)	0.56
Bi-210	1162.1 (8)	1162.3 (9)	0.00
Po-210	5407.46 (7)	5407.33 (7)	0.00

^b Coefficients de conversion interne déduits de Rösel [22].

^c Coefficients de conversion interne déduits de Band (programme BRICC) [20].

Pour le radium 226, le radon 222, le polonium 218, le polonium 214, le bismuth 210 et le polonium 210, un bon accord a été trouvé entre les valeurs de Q adoptées par Audi [30] et les valeurs calculées déduites des données du schéma de désintégration. Dans le cas du plomb 214, les calculs ont pris en compte les deux jeux de coefficients de conversion interne (ICC's) de Rösel et de Band, respectivement, et le meilleur accord a été trouvé pour les coefficients issus des tables de Rösel.

7 Thallium 210 : un schéma particulièrement mal connu.

Le thallium 210 se désintègre par émission bêta moins vers les niveaux excités du plomb 210. Ce schéma de désintégration est basé uniquement sur la publication de P. Weinzierl [27].

En utilisant les valeurs expérimentales des probabilités de transition bêta telles que mesurées dans la publication de P. Weinzierl [27], et en calculant les probabilités des transitions gamma à l'aide des valeurs mesurées dans cette même publication et des coefficients de conversion interne, on remarque que le schéma de désintégration présente des anomalies : plusieurs niveaux ne sont pas équilibrés et la valeur de Q effective déduite est de 4390 (1000) keV, comparée à 5482 (12) keV annoncée par Audi.

Par conséquent, pour essayer de remédier à ce problème, les probabilités de transition bêta ont été déduites de l'équilibre des probabilités à chaque niveau autant que possible. Cependant on observe (tableau 7, ci-dessous) que :

- certaines transitions bêta ont dû être affectées sur des niveaux (2, 3, 8 et 10) du plomb 210, car aucune transition gamma peuplant ces niveaux n'a été observée ;
- la somme des probabilités de transition bêta adoptées égale à 97 %, où les 3% manquant ne peuvent pas être placés dans le schéma de désintégration sans plus d'information au sujet de la décroissance bêta moins du thallium 210.

Toutefois, la somme des énergies lors d'une désintégration est maintenant $Q_{\text{eff}} = 5470$ (1000) keV, ce qui laisse supposer que ce schéma est moins mauvais que le précédent.

Tableau 7 : Valeurs expérimentales et adoptées des probabilités de transition bêta moins du thallium 210.

Niveau	Énergie (keV)	Valeurs expérimentales de P. Weinzierl [27]	Valeurs adoptées
11	1380 (12)	25 %	2 %
10	1603 (12)		7 %
9	1860 (12)	56 %	24 %
8	2024 (12)		10 %
7	2413 (12)	19 %	10 %
3	4290 (12)		31 %
2	4386 (12)		13 %
		$\Sigma P_{\beta^-} = 100 \%$	$\Sigma P_{\beta^-} = 97 \%$
		$Q_{\text{eff}} = 4390$ (1000) keV	$Q_{\text{eff}} = 5470$ (1000) keV

8 Chaîne à l'équilibre.

Comme décrit précédemment, pour les huit premiers descendants du radium 226 (du radon 222 au thallium 210), étant données leurs courtes périodes par rapport à celle du radium 226 (1600 a) (voir tableau 1), l'équilibre radioactif est rapidement atteint, cela signifie que cette partie de la chaîne est considérée à l'équilibre pour $t \geq 38.5$ jours.

Mais à partir du plomb 210, dont la période est de 22.23 (12) a, un facteur correctif, qui dépend du rapport des activités $A(\text{Pb-210})/A(\text{Ra-226})$, sera appliqué afin de traiter la fin de la chaîne, jusqu'au plomb 206, en équilibre séculaire.

Ce rapport, à l'instant $t = 0$, s'écrit :

$$A = \frac{A(\text{Pb} - 210)}{A(\text{Ra} - 226)} = \frac{T_{1/2}(\text{Ra} - 226)}{T_{1/2}(\text{Ra} - 226) - T_{1/2}(\text{Pb} - 210)}$$

où $T_{1/2}(\text{Ra}-226) = 1600$ (7) a et $T_{1/2}(\text{Pb}-210) = 22.23$ (12) a, comme indiqué dans le tableau 1. Donc, on a : $A = 1.0141$ (1).

Pour l'ensemble de la chaîne considérée à l'équilibre, les différents branchements sont listés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Branchements de la chaîne du radium 226.

Nucléide	Type de branchement	Branchements (%)
radium 226	α vers radon 222	100
radon 222	α vers polonium 218	100
polonium 218	α vers plomb 214	99.978 (3)
	β^- vers astate 218	0.022 (3)
astate 218	α vers bismuth 214	99.9 (1)
	β^- vers radon 218	0.1 (1)
radon 218	α vers polonium 214	100
plomb 214	β^- vers bismuth 214	100
bismuth 214	α vers thallium 210	0.0210 (13)
	β^- vers polonium 214	99.979 (13)
polonium 214	α vers plomb 210	100
thallium 210	β^- vers plomb 210	100
plomb 210	α vers mercure 206	$1.97(40) 10^{-6}$
	β^- vers bismuth 210	101.41 (1)
bismuth 210	α vers thallium 206	$1.42(10) 10^{-4}$
	β^- vers polonium 210	101.41 (1)
polonium 210	α vers plomb 206	101.41 (1)

Jusqu'au plomb 210 non inclus, les intensités des émissions sont identiques à celles du nucléide considéré seul. Le facteur correctif, défini ci-dessus, sera appliqué aux valeurs des intensités d'émission alpha, bêta, gamma et X des nucléides : plomb 210, bismuth 210 et polonium 210.

Dans le cadre de l'équilibre de l'ensemble de la chaîne, certains atomes (comme le radon, le polonium, le plomb et le bismuth) apparaissent sous la forme de deux isotopes différents. Dans ce cas, les intensités d'émission X sont sommées, comme, par exemple, les intensités XL du bismuth ou encore du polonium :

	Branchement	Intensité XL (%)	Total
bismuth	Pb-214 \rightarrow Bi-214	12.42 (22)	
	Pb-210 \rightarrow Bi-210	22.0 (5) \times 1.0141 (1) = 22.3 (5)	34.7 (6) %
polonium	Rn-222 \rightarrow Po-218	0.000766 (15)	
	Rn-218 \rightarrow Po-214	0.00080 (3)	
	Bi-214 \rightarrow Po-214	0.627 (15)	0.629 (15) %

9 Dernières remarques.

L'évaluation d'un schéma de désintégration complexe, comme celui du radium 226, est un exercice difficile, exigeant un examen minutieux de toutes les données disponibles pour assurer l'uniformité de toute l'évaluation. Tous les niveaux doivent être équilibrés et toutes les raies gamma observées doivent être incluses dans le schéma de désintégration. Pour cette raison, il est très important que tous les auteurs rapportant des mesures de données de désintégration fournissent un

budget d'incertitudes détaillé et toutes autres informations importantes requises par les évaluateurs pour faire la meilleure utilisation des valeurs mesurées.

Pour cette évaluation, plusieurs nouvelles mesures des intensités d'émission de raies gamma pour la partie haute de la chaîne, ont permis d'améliorer la connaissance des schémas. Cependant, les évaluateurs précisent que de nouvelles mesures directes sont nécessaires pour les probabilités d'émission alpha et bêta (jusqu'ici inexistantes) aussi bien que de nouvelles mesures pour les périodes. Par exemple, dans le cas des périodes, pour le plomb 214 et le bismuth 214, les cas les plus critiques, il n'y a aucune nouvelle mesure depuis 1931 et 1956 respectivement. Pour les données de désintégration, le cas le plus critique est le thallium 210, pour lequel tout le schéma de désintégration est basé sur le seul article publié et pour lequel plusieurs anomalies sont apparues, comme montré précédemment (voir § 7. **Thallium 210**).

La situation générale pour la chaîne est décrite dans le tableau 9, qui contient un résumé des données expérimentales existantes.

Tableau 9 : Résumé de l'ensemble de données de la chaîne du radium 226.

Nucléide	Type de donnée	Situation
Ra-226	α	Deux mesures en 1963 et 2001 [25, 31].
	raies X période	Dernière mesure en 2002 [17]. Aucune mesure récente depuis 1966.
Rn-222	α	Dernière mesure en 1958 [23].
	raies gamma raies X période	Aucune mesure directe disponible. Aucune mesure directe disponible. Dernière mesure en 2004.
Po-218	α	Dernière mesure en 1958 [23].
	β raies X période	Dernière mesure en 1952 [26]. Aucune mesure directe disponible. Aucune mesure récente depuis 1986.
At-218	α	Dernière mesure en 1958 [23].
	β raies X période	Dernière mesure en 1948. Aucune mesure directe disponible. Aucune mesure récente depuis 1989.
Rn-218	α	Aucune mesure directe disponible.
	raies X période	Aucune mesure directe disponible. Aucune mesure récente depuis 1971.
Pb-214	β	Aucune mesure directe disponible.
	raies X période	Aucune mesure récente depuis 1983 [6]. Aucune mesure récente depuis 1931 [2].
Bi-214	α	Dernière mesure en 1960 [23].
	β raies X période	Aucune mesure directe disponible. Aucune mesure récente depuis 1983 [6]. Aucune mesure récente depuis 1956 [3].
Po-214	α	Aucune mesure directe disponible.
	raies X période	Aucune mesure directe disponible. Aucune mesure récente depuis 1993.
Tl-210	α	Dernière mesure en 1964 [27].
	raies X raies gamma période	Aucune mesure récente depuis 1964 [27]. Aucune mesure récente depuis 1964 [27]. Aucune mesure récente depuis 1964 [27].
Pb-210	α	Trois mesures en 1962, 1962 et 1964.
	β raies X période	Cinq mesures entre 1953 et 1963. Quatre mesures en 1957, 1971, 1987 et 1990. Dernière mesure en 2002.
Bi-210	α	Cinq mesures entre 1947 et 1962.
	β	Aucune mesure directe disponible.
	raies X	Aucune mesure directe disponible.
	raies gamma période	Aucune mesure directe disponible. Dernière mesure en 1959.

Po-210	α	Aucune mesure directe disponible.
	raies X	Aucune mesure directe disponible.
	période	Dernière mesure en 1964.

Les Tables et détails concernant les évaluations de chaque radionucléide sont disponibles sur le site web : <http://www.nucleide.org/NucData.htm> et seront publiés dans un prochain volume de la Monographie BIPM-5.

On trouvera, en annexe, les intensités d'émission des raies alpha, gamma et X calculées pour la chaîne en équilibre.

10 Références.

1. M. M. Bé, B. Duchemin, K. Debertin, E. Schönfeld, F. Lagoutine, N. Coursol, J. Legrand, Table de Radionucléides – Introduction, ISBN 2 7272 0201 6, CEA/LNHB, 91191 Gif sur Yvette, France.
2. M. Curie, A. Debierne, A. S. Eve, H. Geiger, O. Hahn, S. C. Lind, St. Meyer, E. Rutherford, E. Schweidler, *Rev. Mod. Phys.* 3(1931)427.
3. H. Daniel, *Z. Naturforsch* 11a(1956)212.
4. E. W. Lingeman, J. Konjin, P. Polak, A. H. Wapstra, *Nucl. Phys.* A133(1969)630.
5. D. G. Olson, *Nucl. Instrum. Meth.* 206(1983)313.
6. U. Schötzig, K. Debertin, *Int. J. Appl. Radiat. Isotop.* 34(1983)533.
7. W. –J. Lin, G. Harbottle, *J. Radioanal. Nucl. Chem. Lett.* 153(1991)137.
8. J. Morel, S. Speman, M. Rasko, E. Terechtchenko, J. U. Delgado, *Appl. Radiat. Isotop.* 60(2004)341.
9. K. Ya. Gromov, B. M. Sabirov, J.J. Urbanets, *Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser.* 33(1969)1510.
10. G. Wallace, G. E. Coote, *Nucl. Instrum. Meth.* 74(1969)353.
11. R. S. Mowatt, *Can. J. Phys.* 48(1970)2606.
12. V. S. Aleksandrov, *JINR – PL* 7308(1973).
13. A. Hachem, *Compt. Rend. (Paris)* 281B(1975)45.
G. Mouze, *Compt. Rend. (Paris)* 292(1981)1243.
H. Akcay, G. Mouze, D. Maillard, C. Ythier, *Radiochem. Radioanal. Lett.* 51(1982)1.
O. Diallo, G. Mouze, C. Ythier, J. F. Comanducci, *Nuovo Cimento* 106A(1993)1321.
G. Mouze, C. Ythier, J. F. Comanducci, *Rev. Roumaine Phys.* 35(1990)337.
14. V. Zobel, J. Eberth, U. Eberth, E. Eube, *Nucl. Instrum. Meth.* 141(1977)329.
15. M. A. Farouk, A. M. Al-Soraya, *Nucl. Instrum. Meth.* 200(1982)593.
16. D. Sardari, T. D. MacMahon, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 244(2000)463.
17. J. U. Delgado, J. Morel, M. Etcheverry, *Appl. Radiat. Isotop.* 56(2002)137.
18. G. L. Molnar, Z. S. Révay, T. Belgya in *Proceedings of 11th Int. Symp. on capture gamma-ray spectroscopy, 2-6 Sept. 2002, Pruhonice, 2003*, p. 522.
19. W. L. Zipj, *Report ECN FYS/ RASA – 85/19*, 1985.
20. I. M. Band, M. B. Trzhaskovskaya, C. W. Nestor, Jr., P. O. Tikkanen, S. Raman, *Atomic Data and Nuclear Data Tableaus* 81(2002)1.
21. T. Kibédi, T. W. Burrows, M. B. Trzhaskovskaya, P. M. Davidson, C. W. Nestor, Jr., *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res.* A589(2008)202.
22. F. Rösel et al., *Atomic Data and Nuclear Data Tableaus* 21(1978)91.
23. R. J. Walen, G. Bastin, *Proceedings of International Nuclear Physics Conference, Paris, 1959*, p. 910.
24. R. J. Walen, G. Bastin-Scoffier, *Nucl. Phys.* 16(1960)246.
25. G. Bastin-Scoffier, C. F. Leang, R. J. Walen, *J. Phys.* 24(1963)854.
26. F. Hiessberger, B. Karlik, Stizber. *Akad. Wiss., Wien, Math-Naturw. Kl. Abt. IIa* 161(1952)51.
27. P. Weinzierl, E. Ujlaki, G. Preinreich, G. Eder, *Phys. Rev.* 134(1964)B257.
28. E. Schönfeld, H. Janßen, *Appl. Radiat. Isotop.* 52(2000)595.
29. A. G. de Pinho, M. Weskler, *Z. Naturforsch* 28a(1975)1635.
30. G. Audi, A. H. Wapstra, C. Thibault, *Nucl. Phys.* A729(2003)129.
31. S. P. Lamont, R. J. Gehrke, S. E. Glover, R. H. Filby, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 248(2001)247.

11 Annexe.**11.1 Intensités de raies gamma en équilibre****X-rays and Gamma Emissions**

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
9,19 — 15,22	0,0047 ± 0,0006	XL	Pb
9,42 — 16,36	34,7 ± 0,6	XL	Bi
9,66 — 16,21	0,629 ± 0,015	XL	Po
10,137 — 17,200	0,807 ± 0,014	XL	Rn
46,539 ± 0,001	4,312 ± 0,041	γ	Bi 210 *
53,228 ± 0,021	1,060 ± 0,007	γ	Bi 214 *
62,5 ± 3,1	0,0116 ± 0,0007	γ	Tl 210 *
74,816	6,26 ± 0,12	XKα2	Bi
76,864	0,427 ± 0,013	XKα2	Po
77,109	10,47 ± 0,20	XKα1	Bi
79,293	0,712 ± 0,022	XKα1	Po
81,07	0,192 ± 0,004	XKα2	Rn
83,78	0,317 ± 0,006	XKα1	Rn
87,344	3,59 ± 0,09	XK'β1	Bi
89,807	0,245 ± 0,009	XK'β1	Po
90,074	1,10 ± 0,04	XK'β2	Bi
92,618	0,0762 ± 0,0029	XK'β2	Po
94,868	0,1098 ± 0,0025	XK'β1	Rn
97,853	0,0351 ± 0,0010	XK'β2	Rn
107,22 ± 0,09	0,0068 ± 0,0014	γ	Bi 214*
137,45 ± 0,30	0,045 ± 0,018	γ	Bi 214*
141,3 ± 0,6	0,027 ± 0,014	γ	Bi 214*
170,07 ± 0,06	0,0146 ± 0,0027	γ	Bi 214*
186,211 ± 0,013	3,555 ± 0,019	γ	Rn 222
191,1 ± 3,1	0,00125 ± 0,00007	γ	Tl 210 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
196,20 ± 0,05	0,069 ± 0,009	γ	Bi 214*
205,68 ± 0,09	0,0114 ± 0,0023	γ	Bi 214 *
216,47 ± 0,07	0,0100 ± 0,0023	γ	Bi 214*
221 ± 1	0,059 ± 0,006	γ	Po 214 *
230 ± 1	0,0029 ± 0,0010	γ	Po 214 *
241,997 ± 0,003	7,268 ± 0,022	γ	Bi 214 *
252,80 ± 0,06	0,0117 ± 0,0018	γ	Po 214 *
258,87 ± 0,03	0,5318 ± 0,0036	γ	Bi 214 *
262,27 ± 0,05	0,0055 ± 0,0018	γ	Rn 222
268,8 ± 0,2	0,0161 ± 0,0018	γ	Po 214 *
273,80 ± 0,05	0,120 ± 0,008	γ	Po 214 *
274,80 ± 0,05	0,362 ± 0,010	γ	Bi 214 *
280,95 ± 0,05	0,062 ± 0,006	γ	Po 214 *
295,224 ± 0,002	18,414 ± 0,036	γ	Bi 214 *
298 ± 1	0,0166 ± 0,0021	γ	Pb 210 *
304,2 ± 0,2	0,0225 ± 0,0023	γ	Po 214 *
305,26 ± 0,03	0,0315 ± 0,0021	γ	Bi 214 *
314,32 ± 0,07	0,077 ± 0,006	γ	Bi 214 *
323,83 ± 0,04	0,0287 ± 0,0032	γ	Bi 214 *
333,350 ± 0,042	0,063 ± 0,004	γ	Po 214 *
334,78 ± 0,08	0,033 ± 0,005	γ	Po 214 *
348,92 ± 0,06	0,123 ± 0,032	γ	Po 214 *
351,932 ± 0,002	35,60 ± 0,07	γ	Bi 214 *
386,77 ± 0,05	0,296 ± 0,005	γ	Po 214 *
388,88 ± 0,05	0,394 ± 0,005	γ	Po 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
394,05 ± 0,08	0,0127 ± 0,0018	γ	Po 214 *
396,01 ± 0,08	0,0259 ± 0,0018	γ	Po 214 *
405,74 ± 0,03	0,171 ± 0,007	γ	Po 214 *
452,92 ± 0,10	0,031 ± 0,004	γ	Po 214 *
454,770 ± 0,012	0,288 ± 0,005	γ	Po 214 *
461,0 ± 0,2	0,058 ± 0,008	γ	Po 214 *
462,00 ± 0,07	0,213 ± 0,006	γ	Bi 214 *
469,76 ± 0,07	0,133 ± 0,015	γ	Po 214 *
474,41 ± 0,05	0,092 ± 0,006	γ	Po 214 *
480,43 ± 0,02	0,3371 ± 0,0041	γ	Bi 214 *
485,92 ± 0,11	0,021 ± 0,004	γ	Po 214 *
487,09 ± 0,07	0,433 ± 0,006	γ	Bi 214 *
487,95 ± 0,13	0,028 ± 0,009	γ	Po 214 *
494,2 ± 0,4	0,011 ± 0,003	γ	Po 214 *
496,90 ± 0,18	0,0068 ± 0,0018	γ	Po 214 *
501,96 ± 0,15	0,0181 ± 0,0022	γ	Po 214 *
510 ± 2	0,076	γ	Po 218 *
519,90 ± 0,05	0,0166 ± 0,0017	γ	Po 214 *
524,6 ± 0,2	0,0169 ± 0,0017	γ	Po 214 *
528 ± 1	0,0109 ± 0,0013	γ	Po 214 *
533,66 ± 0,02	0,182 ± 0,006	γ	Bi 214 *
536,77 ± 0,04	0,061 ± 0,008	γ	Po 214 *
538,41 ± 0,08	0,0196 ± 0,0027	γ	Bi 214 *
543,0 ± 0,2	0,088 ± 0,021	γ	Po 214 *
543,81 ± 0,07	0,050 ± 0,009	γ	Bi 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
547,6 ± 0,3	0,034 ± 0,003	γ	Po 214 *
551,9 ± 0,8	0,0055 ± 0,0014	γ	Po 214 *
572,76 ± 0,07	0,071 ± 0,008	γ	Po 214 *
580,13 ± 0,03	0,369 ± 0,006	γ	Bi 214 *
595,23 ± 0,07	0,0174 ± 0,0015	γ	Po 214 *
600,0 ± 0,5	0,008 ± 0,004	γ	Po 214 *
609,312 ± 0,007	45,49 ± 0,19	γ	Po 214 *
615,73 ± 0,10	0,055 ± 0,007	γ	Po 214 *
617,0 ± 0,2	0,027 ± 0,005	γ	Po 214 *
626,4 ± 0,6	0,0041 ± 0,0014	γ	Po 214 *
630,79 ± 0,07	0,0166 ± 0,0014	γ	Po 214 *
633,14 ± 0,10	0,055 ± 0,003	γ	Po 214 *
634,72 ± 0,21	0,0064 ± 0,0023	γ	Po 214 *
639,67 ± 0,10	0,034 ± 0,005	γ	Po 214 *
649,18 ± 0,07	0,054 ± 0,007	γ	Po 214 *
658,7 ± 0,2	0,017 ± 0,004	γ	Po 214 *
661,1 ± 0,2	0,054 ± 0,004	γ	Po 214 *
665,453 ± 0,022	1,530 ± 0,007	γ	Po 214 *
677,41 ± 0,15	0,0055 ± 0,0023	γ	Po 214 *
683,22 ± 0,06	0,084 ± 0,006	γ	Po 214 *
687,6 ± 0,3	0,0066 ± 0,0014	γ	Po 214 *
693,3 ± 0,5	0,0059 ± 0,0015	γ	Po 214 *
697,90 ± 0,25	0,067 ± 0,004	γ	Po 214 *
699,82 ± 0,18	0,016 ± 0,005	γ	Po 214 *
703,11 ± 0,04	0,479 ± 0,011	γ	Po 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
704,9 ± 0,3	0,051 ± 0,010	γ	Po 214 *
708,8 ± 0,3	0,0119 ± 0,0020	γ	Po 214 *
710,67 ± 0,10	0,076 ± 0,004	γ	Po 214 *
719,86 ± 0,03	0,393 ± 0,010	γ	Po 214 *
722,98 ± 0,12	0,037 ± 0,007	γ	Po 214 *
733,80 ± 0,15	0,038 ± 0,003	γ	Po 214 *
740,73 ± 0,18	0,0428 ± 0,0021	γ	Po 214 *
752,84 ± 0,03	0,126 ± 0,008	γ	Po 214 *
765,96 ± 0,09	0,053 ± 0,008	γ	Bi 214 *
768,356 ± 0,010	4,892 ± 0,016	γ	Po 214 *
785,96 ± 0,09	1,064 ± 0,013	γ	Bi 214 *
786,1 ± 0,4	0,31 ± 0,05	γ	Po 214 *
788,6 ± 0,5	0,015 ± 0,005	γ	Po 214 *
799,6 ± 0,3	0,0312 ± 0,0006	γ	Pb 210 *
803,10 ± 0,05	0,001244 ± 0,000039	γ	Pb 206 *
806,174 ± 0,018	1,262 ± 0,006	γ	Po 214 *
815,0 ± 0,1	0,039 ± 0,003	γ	Po 214 *
821,18 ± 0,03	0,166 ± 0,010	γ	Po 214 *
826,3 ± 0,2	0,129 ± 0,011	γ	Po 214 *
832,39 ± 0,11	0,035 ± 0,002	γ	Po 214 *
836 ± 2	0,0011 ± 0,0011	γ	Pb 214 *
839,04 ± 0,09	0,587 ± 0,008	γ	Bi 214 *
847,16 ± 0,11	0,016 ± 0,006	γ	Po 214 *
860 ± 30	0,00145 ± 0,00042	γ	Pb 210 *
873,07 ± 0,19	0,019 ± 0,003	γ	Po 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
878,03 ± 0,12	0,0118 ± 0,0027	γ	Po 214 *
904,29 ± 0,10	0,066 ± 0,008	γ	Po 214 *
915,74 ± 0,15	0,023 ± 0,005	γ	Po 214 *
917,8 ± 0,3	0,005 ± 0,003	γ	Po 214 *
930,2 ± 0,2	0,043 ± 0,008	γ	Po 214 *
934,061 ± 0,012	3,10 ± 0,01	γ	Po 214 *
939,6 ± 0,5	0,016 ± 0,004	γ	Po 214 *
943,34 ± 0,12	0,017 ± 0,003	γ	Po 214 *
949,8 ± 0,5	0,0055 ± 0,0023	γ	Po 214 *
952,2 ± 0,8	0,0059 ± 0,0023	γ	Po 214 *
961,61 ± 0,17	0,0101 ± 0,0014	γ	Po 214 *
964,08 ± 0,03	0,363 ± 0,012	γ	Po 214 *
976,18 ± 0,12	0,0151 ± 0,0021	γ	Po 214 *
991,46 ± 0,19	0,011 ± 0,003	γ	Po 214 *
1013,8 ± 0,2	0,0087 ± 0,0019	γ	Po 214 *
1021,0 ± 0,5	0,016 ± 0,003	γ	Po 214 *
1032,37 ± 0,08	0,061 ± 0,004	γ	Po 214 *
1038,0 ± 0,3	0,0086 ± 0,0015	γ	Po 214 *
1045,6 ± 0,2	0,023 ± 0,003	γ	Po 214 *
1051,96 ± 0,03	0,324 ± 0,008	γ	Po 214 *
1067,2 ± 0,3	0,024 ± 0,007	γ	Po 214 *
1069,96 ± 0,08	0,271 ± 0,010	γ	Po 214 *
1070 ± 20	0,0025 ± 0,0010	γ	Pb 210 *
1103,64 ± 0,19	0,106 ± 0,015	γ	Po 214 *
1104,79 ± 0,19	0,073 ± 0,014	γ	Po 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
1110 ± 20	0,00145 ± 0,00042	γ	Pb 210 *
1118,9 ± 0,5	0,010 ± 0,004	γ	Po 214 *
1120,287 ± 0,010	14,91 ± 0,03	γ	Po 214 *
1130,29 ± 0,19	0,036 ± 0,003	γ	Po 214 *
1133,66 ± 0,03	0,254 ± 0,008	γ	Po 214 *
1155,19 ± 0,02	1,635 ± 0,007	γ	Po 214 *
1167,3 ± 0,2	0,0123 ± 0,0017	γ	Po 214 *
1172,98 ± 0,10	0,055 ± 0,007	γ	Po 214 *
1207,68 ± 0,03	0,454 ± 0,012	γ	Po 214 *
1210 ± 20	0,0035 ± 0,0008	γ	Pb 210 *
1226,7 ± 0,3	0,018 ± 0,008	γ	Po 214 *
1230,6 ± 0,4	0,007 ± 0,005	γ	Po 214 *
1238,111 ± 0,012	5,831 ± 0,014	γ	Po 214 *
1280,96 ± 0,02	1,435 ± 0,006	γ	Po 214 *
1284 ± 1	0,013 ± 0,006	γ	Po 214 *
1303,76 ± 0,08	0,105 ± 0,005	γ	Po 214 *
1310 ± 20	0,0044 ± 0,0010	γ	Pb 210 *
1316,96 ± 0,15	0,077 ± 0,007	γ	Po 214 *
1330,0 ± 0,2	0,0120 ± 0,0014	γ	Po 214 *
1341,49 ± 0,16	0,0214 ± 0,0027	γ	Po 214 *
1351 ± 1	0,0042 ± 0,0011	γ	Po 214 *
1353,4 ± 0,8	0,0036 ± 0,0009	γ	Po 214 *
1377,669 ± 0,012	3,968 ± 0,011	γ	Po 214 *
1385,31 ± 0,03	0,795 ± 0,005	γ	Po 214 *
1392,5 ± 0,4	0,0087 ± 0,0019	γ	Po 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
1401,50 ± 0,04	1,330 ± 0,007	γ	Po 214 *
1407,98 ± 0,04	2,389 ± 0,008	γ	Po 214 *
1410 ± 20	0,00103 ± 0,00042	γ	Pb 210 *
1419,7 ± 0,3	0,0055 ± 0,0010	γ	Po 214 *
1470,9 ± 0,3	0,0094 ± 0,0013	γ	Po 214 *
1479,15 ± 0,14	0,051 ± 0,004	γ	Po 214 *
1509,228 ± 0,015	2,128 ± 0,010	γ	Po 214 *
1515,5 ± 0,3	0,0072 ± 0,0021	γ	Po 214 *
1538,50 ± 0,06	0,401 ± 0,022	γ	Po 214 *
1543,32 ± 0,06	0,302 ± 0,013	γ	Po 214 *
1583,22 ± 0,04	0,707 ± 0,005	γ	Po 214 *
1594,73 ± 0,08	0,274 ± 0,015	γ	Po 214 *
1599,31 ± 0,06	0,322 ± 0,015	γ	Po 214 *
1636,3 ± 0,2	0,0111 ± 0,0016	γ	Po 214 *
1657,00 ± 0,19	0,047 ± 0,005	γ	Po 214 *
1661,28 ± 0,06	1,048 ± 0,009	γ	Po 214 *
1665,8 ± 0,2	0,015 ± 0,006	γ	Po 214 *
1683,99 ± 0,04	0,217 ± 0,003	γ	Po 214 *
1711,0 ± 0,8	0,023 ± 0,005	γ	Po 214 *
1729,595 ± 0,015	2,844 ± 0,010	γ	Po 214 *
1751,4 ± 0,8	0,0009 ± 0,0005	γ	Po 214 *
1764,494 ± 0,014	15,31 ± 0,05	γ	Po 214 *
1813,73 ± 0,14	0,0108 ± 0,0009	γ	Po 214 *
1838,36 ± 0,05	0,343 ± 0,010	γ	Po 214 *
1847,420 ± 0,025	2,025 ± 0,012	γ	Po 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
1873,16 ± 0,06	0,212 ± 0,008	γ	Po 214 *
1890,30 ± 0,15	0,078 ± 0,004	γ	Po 214 *
1895,92 ± 0,14	0,146 ± 0,008	γ	Po 214 *
1898,7 ± 0,4	0,049 ± 0,008	γ	Po 214 *
1935,5 ± 0,2	0,032 ± 0,007	γ	Po 214 *
1994,6 ± 0,6	0,0024 ± 0,0005	γ	Po 214 *
2010 ± 30	0,00145 ± 0,00042	γ	Pb 210 *
2010,78 ± 0,12	0,0434 ± 0,0017	γ	Po 214 *
2021,6 ± 0,2	0,0214 ± 0,0021	γ	Po 214 *
2052,94 ± 0,12	0,069 ± 0,004	γ	Po 214 *
2085,1 ± 0,2	0,0082 ± 0,0005	γ	Po 214 *
2089,7 ± 0,2	0,0443 ± 0,0022	γ	Po 214 *
2090 ± 30	0,00103 ± 0,00042	γ	Pb 210 *
2109,92 ± 0,12	0,084 ± 0,003	γ	Po 214 *
2118,55 ± 0,03	1,158 ± 0,005	γ	Po 214 *
2147,9 ± 0,2	0,0134 ± 0,0013	γ	Po 214 *
2160,4 ± 0,3	0,007 ± 0,005	γ	Po 214 *
2176,5 ± 0,2	0,0033 ± 0,0006	γ	Po 214 *
2192,58 ± 0,16	0,038 ± 0,003	γ	Po 214 *
2204,21 ± 0,04	4,913 ± 0,023	γ	Po 214 *
2251,6 ± 0,2	0,0055 ± 0,0005	γ	Po 214 *
2260,3 ± 0,2	0,0087 ± 0,0004	γ	Po 214 *
2266,51 ± 0,13	0,0165 ± 0,0008	γ	Po 214 *
2270,9 ± 0,4	0,0014 ± 0,0003	γ	Po 214 *
2284,3 ± 0,2	0,0050 ± 0,0004	γ	Po 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
2287,65 ± 0,23	0,0046 ± 0,0005	γ	Po 214 *
2293,40 ± 0,12	0,306 ± 0,004	γ	Po 214 *
2310,2 ± 0,3	0,0014 ± 0,0009	γ	Po 214 *
2312,4 ± 0,2	0,0086 ± 0,0008	γ	Po 214 *
2319,3 ± 0,3	0,0014 ± 0,0009	γ	Po 214 *
2325,0 ± 0,3	0,0017 ± 0,0003	γ	Po 214 *
2331,3 ± 0,2	0,026 ± 0,004	γ	Po 214 *
2348,0 ± 1,3	0,0014 ± 0,0009	γ	Po 214 *
2353,5 ± 0,7	0,00036 ± 0,00014	γ	Po 214 *
2360 ± 30	0,0017 ± 0,0006	γ	Pb 210 *
2361,00 ± 0,19	0,0021 ± 0,0006	γ	Po 214 *
2369,0 ± 0,4	0,0028 ± 0,0004	γ	Po 214 *
2376,9 ± 0,2	0,0086 ± 0,0008	γ	Po 214 *
2390,8 ± 0,2	0,00156 ± 0,00014	γ	Po 214 *
2405,1 ± 0,5	0,0011 ± 0,0007	γ	Po 214 *
2423,27 ± 0,13	0,0048 ± 0,0006	γ	Po 214 *
2430 ± 30	0,0019 ± 0,0006	γ	Pb 210 *
2444,7 ± 0,8	0,008 ± 0,004	γ	Po 214 *
2447,86 ± 0,10	1,548 ± 0,007	γ	Po 214 *
2459,0 ± 0,8	0,00141 ± 0,00023	γ	Po 214 *
2482,8 ± 0,4	0,00096 ± 0,00018	γ	Po 214 *
2505,4 ± 0,2	0,0056 ± 0,0006	γ	Po 214 *
2550,7 ± 0,7	0,00032 ± 0,00009	γ	Po 214 *
2562,0 ± 0,6	0,00018 ± 0,00009	γ	Po 214 *
2564,0 ± 0,6	0,00014 ± 0,00009	γ	Po 214 *

X-rays and Gamma Emissions

All uncertainties are given for one standard deviation

Ra226D

ENERGY keV	PHOTONS per DISINTEGRATION x 100		
2604,5 ± 0,5	0,00036 ± 0,00009	γ	Po 214 *
2630,9 ± 0,3	0,00086 ± 0,00023	γ	Po 214 *
2662,4 ± 1,0	0,000200 ± 0,000041	γ	Po 214 *
2694,7 ± 0,2	0,033 ± 0,003	γ	Po 214 *
2699,4 ± 0,3	0,00282 ± 0,00023	γ	Po 214 *
2719,3 ± 0,2	0,00170 ± 0,00017	γ	Po 214 *
2769,9 ± 0,2	0,0225 ± 0,0008	γ	Po 214 *
2785,9 ± 0,2	0,0055 ± 0,0005	γ	Po 214 *
2826,98 ± 0,20	0,00218 ± 0,00017	γ	Po 214 *
2861,08 ± 0,40	0,00041 ± 0,00013	γ	Po 214 *
2880,3 ± 0,2	0,0101 ± 0,0016	γ	Po 214 *
2893,5 ± 0,2	0,0057 ± 0,0005	γ	Po 214 *
2921,9 ± 0,2	0,0134 ± 0,0005	γ	Po 214 *
2928,6 ± 0,3	0,00109 ± 0,00009	γ	Po 214 *
2934,6 ± 0,3	0,00046 ± 0,00012	γ	Po 214 *
2978,9 ± 0,2	0,0137 ± 0,0004	γ	Po 214 *
2999,98 ± 0,20	0,0089 ± 0,0007	γ	Po 214 *
3053,88 ± 0,20	0,022 ± 0,003	γ	Po 214 *
3081,7 ± 0,3	0,0052 ± 0,0007	γ	Po 214 *
3093,98 ± 0,40	0,00037 ± 0,00004	γ	Po 214 *
3142,58 ± 0,40	0,00118 ± 0,00009	γ	Po 214 *
3160,6 ± 0,6	0,00047 ± 0,00008	γ	Po 214 *
3183,57 ± 0,40	0,0011 ± 0,0005	γ	Po 214 *

11.2 Intensités d'émission alpha en équilibre.

ALPHA EMISSIONS

Ra226D

All uncertainties are given for one standard deviation

ENERGY keV		Alpha Per Disintegration x 100	
4160	± 2	0,0002	Ra 226
4191	± 2	0,0008	Ra 226
4340	± 1	0,0066 ± 0,0022	Ra 226
4516,66	± 0,09	0,00126 ± 0,00004	Po 210
4601	± 1	5,95 ± 0,04	Ra 226
4784,34	± 0,25	94,038 ± 0,040	Ra 226
4827	± 4	0,0005	Rn 222
4987	± 1	0,078	Rn 222
5181	± 2	0,0011 ± 0,0011	Po 218
5184	± 3	0,00013 ± 0,00001	bi 214
5273	± 9	0,00125 ± 0,00007	bi 214
5304,33	± 0,07	101,4087 ± 0,0001	Po 210
5452	± 3	0,0116 ± 0,0007	bi 214
5489,48	± 0,30	99,92 ± 0,01	Rn 222
5516	± 3	0,0082 ± 0,0005	bi 214
6002,35	± 0,09	99,9769 ± 0,0032	Po 218
6653	± 5	0,00141 ± 0,00002	At 218
6694	± 3	0,01980 ± 0,00002	At 218
6756	± 5	0,000792 ± 0,000022	At 218
6902,6	± 0,3	0,0105 ± 0,0007	Po 214
7686,82	± 0,06	99,9895 ± 0,0007	Po 214

Les probabilités d'émission indiquées sont celles de

88 Ra 226

in equilibrium with :

86 Rn 222

84 Po 218

82 Pb 214

85 At 218

83 Bi 214

86 Rn 218

81 Tl 210

84 Po 214

82 Pb 210

80 Hg 206

83 Bi 210

81 Tl 206

84 Po 210