

DETERMINATION DU SPECTRE ÉNERGÉTIQUE GAMMA DE LA MONAZITE DE FORT-DAUPHIN (MADAGASCAR) A L'AIDE D'UN DÉTECTEUR GE(Li)

par

RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA*

PAIC Guy**

RAZANAJATOVO Mariette***

Laboratoire de Physique Nucléaire et Appliquée

BP 4279

Antananarivo-Madagascar

(juillet 1979)

RESUME

Nous donnons les résultats de deux expériences obtenus à l'aide d'un détecteur Ge(Li) pour déterminer le spectre énergétique, les intensités relatives au pic 239,0 keV du Pb-212, et l'identification des radioisotopes correspondant de la monazite de Fort-Dauphin (Madagascar). Nous avons cherché s'il apparaissait des pics gamma qui n'existeraient pas dans les spectres de l'uranium, du thorium, et de l'uranothorianite. Nous n'avons constaté aucune anomalie. Nous concluons, que s'il existait d'éléments radioactifs gamma inconnus, en particulier d'éléments superlourds radioactifs gamma, dans la monazite de Fort-Dauphin leur concentration serait inférieure à $2,2 \times 10^{-5}$ g/g.

Abstract

Experimental results concerning the determination of spectrum of Fort-Dauphin monazite, relative intensities of peaks, isotope identification are reported. The probable existence of gamma peaks not appearing in the spectra of uranium, of thorium, of urano thorianite is also investigated. No anomaly is noticed. It is concluded that if there were unknown gamma radioactive elements, in peculiar superheavy gamma radioactive elements in the Fort-Dauphin monazite, their concentration should be less than 2.2×10^{-5} g/g.

* Professeur titulaire.

** Professeur à l'Institut Ruder Boskovic, Zagreb, Yougoslavie, en mission d'expert de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienne, Autriche, auprès du Laboratoire de Physique Nucléaire et Appliquée pendant 6 mois (période allant du mois d'octobre 1977 au mois de mars 1978).

*** Collaborateur technique.

1. INTRODUCTION

En 1965, W.-D. MYERS et W.-J. SWIATECKI ont montré à partir d'un modèle nucléaire en couches, que la théorie prévoit au-delà de la mer d'instabilité une île de stabilité des noyaux superlourds dont les nombres atomique Z sont supérieurs à 110. Depuis, beaucoup de chercheurs se sont mis à la « chasse » aux superlourds dans différents échantillons de minerais de plomb, d'osmium, de platine, d'or, de mercure, de thallium, et de bismuth. Ils ont utilisé différentes techniques, l'analyse par fluorescence -X, la spectrométrie de masse, l'analyse par activation par des ions lourds ou par des protons, la mesure de la multiplicité d'émission de neutrons, etc.

En juin 1976, un groupe de chercheurs américains [1] ont pensé avoir trouvé des éléments superlourds en bombardant des échantillons de mica de Madagascar contenant des inclusions de monazite avec des faisceaux de protons de $30\mu\text{m}$ de diamètre, de basse énergie (4,7 à 5,7 MeV), et en étudiant le spectre des rayons X émis. Les recherches se sont alors concentrées sur les monazites de Madagascar, plus précisément sur celle de Fort-Dauphin, et sur les monazites de l'Inde. Elles ont montré d'abord que les résultats du groupe américain ne sont pas convaincants, et qu'ensuite presque toutes les recherches semblent être négatives. Bien que décevantes du point de vue résultats, elles continuent cependant. Plusieurs chercheurs [2] [3] ont affirmé avoir identifié des raies alpha inconnues jusqu'à maintenant dans la monazite de Fort-Dauphin (énergies entre 11 et 25 MeV).

Le Laboratoire de Physique Nucléaire et Appliquée de la Faculté des Sciences, Antananarivo, Madagascar, a pu être monté grâce à l'aide de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique de Vienne en le dotant d'une chaîne de détecteur gamma Ge(Li) avec un analyseur multicanal 8100/E marque CANBERRA [4]. Nous avons pensé qu'il est intéressant de déterminer le spectre énergétique de la monazite de Fort-Dauphin pour différentes raisons. D'abord, à notre connaissance un tel spectre n'existe pas, ni même un spectre obtenu à l'aide d'un détecteur NaI(Tl) ; il pourra être utile pour les géologues, les minéralistes et pour la prospection. Ensuite, nous voulons voir s'il existe des raies gamma différentes de celles de l'uranium, du thorium, de l'uranothorianite provenant des éléments superlourds soupçonnés d'être présents dans la monazite de Madagascar.

Certes, la recherche d'éléments inconnus dans le spectre gamma présente beaucoup d'inconvénients. Il est plus indiqué et plus sûr d'utiliser soit le spectre des rayons X soit le spectre alpha. Malheureusement, nous ne disposons pas pour le moment de telles chaînes et nous avons utilisé notre chaîne Ge(Li) malgré les servitudes astreignantes à cause de l'absence de traitement automatique des données.

De même, pour le moment, nous ne pouvons pas immobiliser pendant plusieurs mois pour le spectre alpha l'unique MCA 8100/E que nous avons ; il sert pour l'enseignement ; il n'a pas de mémoire magnétique et la moindre coupure de courant, assez fréquente, effacerait tout enregistrement.

Le présent travail donne le spectre énergétique de la monazite de Fort-Dauphin de 0 à 4 000 keV, spectre obtenu avec un détecteur Ge(Li) coaxial dont les caractéristiques sont : 22,5 cm² de fenêtre utile, hauteur 4,3 cm.

2. EXPERIENCES

Nous avons fait plusieurs mesures dans des conditions légèrement différentes. Elles ont duré chacune 20 000 secondes en tenant compte de la correction due au temps mort de l'électronique (live time). Dans les deux cas, le détecteur, le préamplificateur, l'amplificateur sont les mêmes, mais les analyseurs multicanaux sont différents.

La première expérience utilise un analyseur multicanal, 4 096 canaux, marque CANBERRA, type 8 100/E sans analyseur de pic. Nous avons dû ainsi découper l'enregistrement et le spectre en plusieurs morceaux. Les énergies de 0 à 1 336 keV ont été réparties sur 4 096 canaux, ce qui a exigé 4 mesures ;

Première mesure : canaux 1 à 1 024 (énergies de 0 à 334 keV).

Deuxième mesure : canaux 1 025 à 2 048 (énergies de 334 à 668 keV).

Troisième mesure : canaux de 2 049 à 3 072 (énergies de 668 à 1 002 keV).

Quatrième mesure : canaux de 3 073 à 4 096 (énergies de 1 002 à 1 336 keV).

Ensuite les énergies ont été réparties de 0 à 4 000 keV sur 4 096 canaux. Trois mesures ont été faites :

a. Canaux 1 024 à 2 048 : pour 1 000 keV à 2 000 keV ;

b. Canaux 2 049 à 3 072 : pour 2 000 keV à 3 000 keV ;

c. Canaux 3 073 à 4 096 : pour 3 000 keV à 4 000 keV.

Les canaux 1 à 1 024 contiennent les énergies de 1 à 1 000 keV déjà trouvées dans la première partie. Il a fallu faire 7 mesures de 20 000 secondes soit à peu près 39 heures d'enregistrement. En comptant les spectres de l'U, de Th, et de l'uranothorianite pour la comparaison, le présent travail, représente une durée totale de 156 heures d'enregistrement sur chaîne gamma. Comme le multianalyseur 8 100/E ne comporte ni l'option calibration ni l'option analyse des pics, la calibration de la chaîne a été faite par la droite de régression linéaire. Tout le dépouillement (détermination des pics par pondération, contenu net, correction du bruit de fond,...) a été faite manuellement à l'aide d'une machine à calculer de poche.

Les résultats sont donnés sur le Tableau I, colonne 1^{re} expérience.

Ayant pu disposer momentanément d'un analyseur multicanal, 8 192 canaux, marque CANBERRA, type 8 180 avec l'option « analyse des pics », nous avons fait une deuxième expérience avec un temps de collecte (live time) de 20 000 secondes. Les résultats sont donnés sur le tableau I, colonne 2^e expérience.

Nous pouvons donc dire que les deux expériences sont indépendantes.

Sur le tableau II, nous donnons les moyennes des deux résultats ainsi que l'identification des radioisotopes.

Nous donnons aussi les intensités relatives en donnant la valeur 100 p. 100 au pic 238,95 du Plomb-212.

TABLEAU I

SPECTRE ENERGETIQUE DE LA MONAZITE DE MADAGASCAR

Première expérience					Deuxième expérience		
Numéro du canal du pic	Energie du pic (en keV)	Contenu net	Intensité par rapport au maximum de la bande en p. 100	Intensité par rapport au pic 239,0 keV en p. 100	Energie du pic (en keV)	Contenu net	Intensité relative en p. 100
Bande de 1 * 1024 canaux :							
230	57,7	664	0,033	0,033			
247,2	63,5	7 321	0,37	0,37			
274,2	72,5	42 136	2,12	2,12			
281,6	74,9	263 224	13,26	13,26			
288,4	77,3	298 608	15,04	15,04			
300,6	81,3	1 971	0,20	0,099			
310,4	84,6	80 341	4,04	4,04			
318,7	87,4	186 579	9,40	9,40			
326,5	90,0	154 882	7,80	7,80			
336,8	93,3	240 345	12,11	12,11			
354,6	99,4	44 209	2,23	2,23			
373	105,5	93 479	4,71	4,71			
383	108,9	32 246	1,62	1,62			
402,3	115,3	22 463	1,13	1,13			
443,9	129,3	93 662	4,72	4,72	129,3	101 670	5,71
487,5	143,8	2 088	0,10	0,10			
494,6	146,2	7 419	0,37	0,37			
518,5	154,2	38 154	1,92	1,92	154,0	35 010	1,96
546,2	163,4	2 100	0,11	0,11			
613,7	186,0	37 368	1,88	1,88	186,1	45 699	2,57
630,5	191,6	6 895	0,35	0,35			
654,3	199,6	10 998	0,55	0,55	199,4	11 463	0,64
669,5	204,7	4 531	0,23	0,23			
684,1	209,5	181 379	9,14	9,14	209,3	171 574	9,64
703,7	216,1	9 394	0,47	0,47	216,2	15 949	0,89
755,8	233,5	4 914	0,25	0,25			
772,2	239,0	1 984 903	100,00	100,00	238,9	1 780 578	100,00
779,2	241,4	223 953	11,28	11,28			
814,0	252,9	8 924	0,45	0,45	252,7	8 606	0,48
831,9	258,9	3 291	0,16	0,16			
866,7	270,6	121 392	6,12	6,12	270,5	111 357	6,25
868,3	277,6	75 344	3,79	3,79	277,9	26 226	3,72
921,4	288,8	12 311	0,62	0,62	288,3	401	0,64
941,5	295,5	71 988	3,63	3,63	295,7	78 243	4,40
956,2	300,5	111 079	5,60	5,60	300,6	105 749	5,88
1 019,0	321,2	3 401	0,17	0,17			

Première expérience					Deuxième expérience		
Numéro du canal du pic	Energie du pic (en keV)	Contenu net	Intensité par rapport au maximum de la bande en p. 100	Intensité par rapport au pic 239,0 keV en p. 100	Energie du pic (en keV)	Contenu net	Intensité relative en p. 100
Bande de 1 024-2 048 canaux :							
1 039,4	328,3	94 965	18,23	4,78	328,2	88 032	4,34
1 052,5	332,7	10 612	2,03	0,53			
1 070,3	338,6	369 216	70,88	18,60	333,6	343 527	19,29
1 111,0	352,3	137 539	26,40	6,93	352,5	132 991	7,47
1 283,1	409,8	34 265	6,57	1,73	409,7	43 556	2,45
1 375,8	440,9	2 096	0,40	0,40	0,11		
1 412,9	453,3	7 403	1,42	0,37			
1 442,2	463,1	98 690	18,94	4,97	463,6	83 319	1,63
1 488,9	478,7	5 917	1,13	0,30			
1 565,5	504,3	2 624	0,50	0,13			
1 585,6	510,9	174 409	33,48	8,79	511,5	142 139	7,93
1 623,7	523,7	1 237	0,24	0,06			
1 693,7	547,1	2 401	0,54	0,12			
1 703,5	550,4	2 801	0,54	0,14			
1 740,8	562,8	14 617	2,80	0,74	562,8	14 141	0,79
1 768,0	571,9	4 874	0,94	0,25			
1 802,6	583,5	520 881	100,00	26,24	583,6	475 377	26,70
1 880,8	609,5	81 541	15,65	4,11	609,7	81 033	4,55
1 901,9	616,7	1 089	0,21	0,05			
1 913,9	620,8	1 188	0,22	0,06			
Bande de 2 048-3 072 canaux :							
2 048,4	666,0	996	0,32	0,05	666,0	714	0,04
2 155,5	701,8	3 142	1,00	0,16	702,6	1 392	0,03
2 173,0	707,7	1 450	0,46	0,07			
2 232,0	727,4	106 058	33,81	5,34	727,7	97 033	5,45
2 315,9	755,5	11 144	3,55	0,56	755,8	9 796	0,55
2 338,8	763,5	5 171	1,65	0,26	763,8	2 676	0,15
2 354,2	768,3	3 690	1,18	0,18			
2 366,5	772,5	16 788	5,35	0,85	772,7	14 614	0,82
2 396,0	782,3	5 185	1,65	0,26			
2 406,0	785,7	13 409	4,27	0,67	786,0	10 152	0,57
2 434,1	795,1	52 160	16,63	2,62	795,4	47 735	2,63
2 540,4	830,6	5 355	1,70	0,27			
2 555,7	835,8	18 057	5,75	0,91	836,4	15 335	0,89
2 569,5	840,4	11 069	3,53	0,56			
2 629,9	860,6	57 572	18,35	2,90	861,1	48 213	2,70
2 728,1	893,5	3 322	1,06	0,17			
2 760,2	904,2	5 662	1,80	0,28			
2 780,0	910,9	313 667	100,00	15,80	911,9	254 343	14,87
2 849,9	934,2	3 167	1,01	0,16			
2 903,5	952,1	856	0,27	0,04			
2 923,5	958,7	2 399	0,76	0,12			
2 941,3	964,8	41 183	13,12	2,07			
2 953,9	969,0	171 255	54,60	8,53	969,7	135 391	7,63

Première expérience					Deuxième expérience		
Numéro du canal du pic	Energie du pic (en keV)	Contenu net	Intensité par rapport au maximum de la bande en p. 100	Intensité par rapport au pic 239,0 keV en p. 100	Energie du pic (en keV)	Contenu net	Intensité relative en p. 100
<i>Bande de 3 072 * 4 096 canaux :</i>							
3 146,7	1 033,6	2 485	17,36	0,12	1 033,9	1 344	0,07
3 167,2	1 040,6	787	5,50	0,04			
3 242,5	1 065,6	2 549	17,81	0,13	1 066,0	2 596	0,15
3 282,7	1 079,0	5 361	37,46	0,27	1 079,3	4 143	0,23
3 328,9	1 094,4	4 753	33,21	0,24	1 094,8	5 463	0,31
3 378,0	1 110,8	3 724	28,02	0,19	1 110,9	3 653	0,21
3 407,1	1 120,5	14 311	100,00	0,72	1 120,8	15 256	0,86
3 510,0	1 154,9	2 353	16,44	0,12	1 154,8	2 149	0,12
3 759,2	1 238,2	4 687	32,75	0,24	1 238,3	4 391	0,25
3 784,3	1 246,5	3 218	22,48	0,16	1 247,2	3 931	0,22
3 887,5	1 281,0	1 007	7,04	0,05			
<i>Bande de 1 024 * 2 046 canaux :</i>							
1 361,8	1 376,6	4 880	8,63	0,25	1 378,1	4 971	0,30
1 387,5	1 409,4	805	1,42	0,04			
1 439,9	1 458,9	7 026	12,43	0,35	1 459,5	6 035	0,34
1 475,6	1 496,6	4 443	7,86	0,22	1 496,6	4 140	0,23
1 489,6	1 511,4	3 162	5,60	0,16	1 512,9	4 216	0,24
1 532,8	1 556,9	1 340	2,30	0,07			
1 564,2	1 590,0	56 510	100,00	2,85	1 593,9	5 638	0,32
1 593,4	1 620,8	11 941	20,95	0,59	1 592,9	12 203	0,53
1 602,2	1 630,0	8 552	15,13	0,43	1 621,0	7 531	0,43
1 636,0	1 666,9	1 141	2,02	0,06	1 630,9	8 424	0,47
1 697,0	1 730,0	2 433	4,30	0,12	1 729,6	1 294	0,07
1 729,0	1 764,5	9 989	17,67	0,50	1 847,7	815	0,05
<i>Bande de 2 048 * 3 076 canaux :</i>							
2 050,1	2 101,5	17 547	13,38	0,88			
2 147,7	2 204,0	1 936	1,46	0,10			
2 364,0	2 436,1	186	0,14	0,01			
2 377,2	2 446,4	442	0,34	0,02			
2 514,0	2 590,9	1 570	1,20	0,03			
2 533,0	2 611,0	131 124	100,00	6,61			
2 793,2	2 836,0	242	0,18	0,01			
3 015,6	3 121,0	606	0,46	0,03			
<i>Bande de 3 072 * 4 096 canaux :</i>							
3 086,0	3 186,3	1 949	100	0,10			
3 350,0	3 461,1	145	7,4	0,007			

TABLEAU II

SPECTRE ENERGETIQUE DE LA MONAZITE DE MADAGASCAR
 Identification des radioisotopes

Moyenne des valeurs déterminées par les deux expériences		Valeurs données dans les tables		Radioéléments
Energie en keV	Intensité relative en p. 100	Energie en keV		
57,7	0,033	57,76	Ac-228	
63,5	0,37	63,282	Th-234	
72,5	2,12	73	Th-228	
74,9	13,26	74,9	Pb-214 + Bi-214	
77,3	15,04	77,1	Bi K _{α1} X-ray	
81,3	0,10	81,185	Th-231	
84,6	4,04	84,371	Th-228	
87,4	9,40	87,3	Pb-214 + Bi-214	
90,0	7,80	90,0	Th-234 K _{α1} X-ray	
93,3	12,11	93,33	Th-K _{α1} X-ray	
99,4	2,23	99,8	Ac-228	
105,5	4,71	105,59	Th K _{β1} X-ray	
108,9	1,62	108,67	Th K _{β2} X-ray	
115,3	1,13	115,18	Pb-212	
129,3	5,21	128,90	Ac-228	
143,8	0,10	143,9	U-235 + Ra-223	
146,2	0,37	146,22	Ac-228	
154,1	1,94	154,02	Ac-228	
163,4	0,11	163,4	U-235	
186,05	2,23	186,180	Ra-226 + (Th-230)	
191,6	0,35	191,53	Ac-228	
199,5	0,60	199,63	Ac-228	
204,7	0,23	204,33	Ac-228	
209,4	9,39	209,52	Ac-228	
216,15	0,68	215,8	Ac-228 + Th-228	
233,5	0,25	232,33	Ac-228	
238,95	100,00	238,590	Pb-212	
241,4	11,28	241,924	Pb-214	
252,8	0,47	252,5	Tl-208	
258,9	0,16	258,87	Pb-214	
270,55	6,19	270,210	Ac-228	
277,85	3,76	277,36	Tl-208 + (Th-230)	
288,55	0,63	288,10	Bi-212 α decay	
295,6	4,02	295,19	Pb-214 + Bi-212 α decay	
300,55	5,74	300,11	Pb-212	
321,2	0,17	321,72	Ac-228	
328,3	4,86	327,980	Ac-228 + Bi-212 α decay	
332,7	0,53	332,94	Ac-228	
338,6	18,95	338,296	Ac-228	
352,4	7,20	352,28	Pb-214	
409,75	2,09	409,83	Ac-228	
440,9	0,11	440,93	Ac-228	
453,3	0,37	452,91	Bi-212 α decay	
463,35	4,83	463,33	Ac-228	
478,7	0,30	478,63	Ac-228	

Moyenne des valeurs déterminées par les deux expériences		Valeurs données dans les tables	Radioéléments
Energie en keV	Intensité relative en p. 100	Energie en keV	
504,3	0,13	503,73	Ac-228
511,2	8,38	510,70	Annih. rad. + Te-208
523,7	0,06	523,26	Ac-228
547,1	0,12	546,43	Ac-228
550,4	0,14	549,78	Rn-220 + Pb-214
562,8	0,77	562,65	Ac-228
571,9	0,25	572,16	Ac-228
583,55	26,47	583,174	Tl-208
609,6	4,33	609,312	Bi-214 + DE
616,7	0,05	616,02	Bi-212 α decay + DE
620,8	0,06	620,48	Ac-228
666,0	0,05	665,76	Bi-214
702,2	0,12	701,53	Ac-228
707,7	0,07	707,58	DE
727,55	5,40	727,264	Bi-212 β decay
755,7	0,56	755,291	Ac-228
763,65	0,21	763,32	T-208
768,3	0,18	768,38	Bi-214 + Pa-234 m
772,6	0,84	771,83	Ac-228
782,3	0,26	782,2	Bi-212 + Ac-228
785,85	0,62	785,54	Ac-228 + Bi-212 β decay
795,25	2,65	794,928	Ac-228
830,6	0,27	830,48	Ac-228
836,1	0,90	835,703	Ac-228
840,4	0,56	840,29	Ac-228
860,85	2,80	860,53	Te-208
893,5	0,17	893,42	Bi-212 β decay
904,2	0,28	904,22	Ac-228
911,4	15,34	911,179	Ac-228
934,2	0,16	934,05	Bi-214
952,1	0,04	951,99	Bi-212 β decay
958,7	0,12	958,44	Ac-228
964,8	2,07	964,80	Ac-228 + Bi-214
969,35	8,13	968,941	Ac-228
1033,75	0,10	1033,20	Ac-228
1040,6	0,04	1040,12	Ac-228
1065,8	0,14	1065,02	Ac-228
1079,12	0,25	1078,67	Bi-212 β decay + SE
1094,5	0,28	1094,50	Te-208 + Ac-228
1110,85	0,20	1110,48	SE
1120,65	0,79	1120,276	Bi-214 + SE
1154,9	0,12	1155,35	Descendant du Ra-226
1238,25	0,24	1238,109	Bi-214
1246,85	0,19	1246,96	Bi-214
1281,0	0,05	1281,02	Bi-214
1377,35	0,28	1377,651	Bi-214
1409,4	0,04	1407,90	Bi-214
1459,2	0,34	1459,06	K-40
1496,6	0,22	1496,22	Ac-228
1512,15	0,20	1512,72	Bi-212 β decay
1556,9	0,07	1557,15	Ac-228

Moyenne des valeurs déterminées par les deux expériences		Valeurs données dans les tables	Radioéléments
Energie en keV	Intensité relative en p. 100	Energie en keV	
588,9	0,32	1 588,20	Ac-228
! 591,5	1,77	1 592,6	Ac-228 + DE
! 620,9	0,51	1 620,73	Bi-212 β decay
! 630,45	0,45	1 630,73	Ac-228
! 666,9	0,06	1 666,44	SUM (755 + 911)
! 729,8	0,10	1 729,81	Bi-214 + SUM
! 764,6	0,47	1 764,51	Bi-214
! 847,7	0,05	1 847,5	Bi-214 + SUM
2 101,5	0,88	2 103,48	SE
2 204,0	0,10	2 204,12	Bi-214
2 436,1	0,01	2 435	Bi-214
2 446,4	0,02	2 247,710	Bi-214
2 590,9	0,08		
2 611,0	6,61	2 611	Tl-208
2 886,0	0,01	2 884,43	Bi-214
3 121,0	0,03		
3 186,3	0,10	3 183,64	Bi-214
3 461,1	0,007		

CONCLUSIONS ET REMARQUES

Les énergies que nous avons déterminées et les énergies données dans les livres de références concordent dans l'approximation de 0,5 keV (ce qui représente un canal). Nous retrouvons surtout les énergies de la famille du thorium (Ac-228, Bi-212, Tl-208, Pb-212, avec toutefois celles de la famille de l'uranium U-238 (Pb-214, surtout Bi-214). Le potassium-40 est présent aussi. Le résultat confirme bien l'existence du thorium dans la monazite (formule PO_4 (Ce, La, Th) ;).

Nous avons aussi comparé les raies de la monazite avec les raies de l'uranium. Certaines raies de l'uranium ne sont pas visibles dans la monazite. Nous pouvons expliquer ce fait par la faible teneur en uranium (0,5%) du minerai. Nous ne pouvons voir dans le spectre de la monazite que les pics très intenses (ceux du Pb-214, et du Bi-214) de la famille de l'uranium.

De plus, la comparaison des spectres de l'uranothorianite et de la monazite montre qu'il n'y a guère d'anomalie. Les deux spectres sont à peu près identiques.

Pour terminer, cherchons la concentration de l'élément superlourd — s'il existait — correspondant à la limite d de notre détection. Pour déterminer la valeur de d , prenons le plus grand pic (239 keV) du thorium. Il lui correspond 1 780 578 coups avec un bruit de fond égal à 12 413 d'où une erreur statistique de $\sqrt{12\,413} \approx 111$ coups sur le bruit de fond. Pour qu'un pic inconnu au voisinage de ce grand pic puisse sortir du bruit de fond, il faut qu'il contienne au moins 4 fois l'erreur statistique sur le bruit de fond, soit $111 \times 4 = 444$ coups, ce qui donne le rapport d :

$$d = \frac{444}{1\,780\,578} \approx 2,5 \times 10^{-4}$$

Comme l'activité α est proportionnelle au nombre de coups détectés, nous avons :

$$d = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\lambda_1 N_1}{\lambda_2 N_2}$$

L'indice 1 correspond à l'élément inconnu et l'indice 2 à l'élément connu, le thorium ; λ est la constante radioactive ($\lambda T = \log 2$), N le nombre de noyaux. Un raisonnement simple donne la concentration C_1 de l'élément inconnu :

$$C_1 = d \cdot \frac{T_1}{T_2} \times \frac{A_1}{A_2} \times P_2$$

où T_1 et T_2 sont les demi-vie de l'élément inconnu et du thorium, A_2 et A_1 les masses atomiques correspondants, et P_2 la concentration en élément-thorium du minerai. Dans le cas actuel, nous avons :

$$d = 2,5 \times 10^{-4}$$

$$P_2 = 6\% = 0,06$$

$$T_2 = 1,39 \times 10^{10} \text{ a}$$

$$A_2 = 232$$

Pour déterminer A_1 , faisons remarquer que la monazite contient du Ce ($Z=58$) et du Th ($Z=90$) qui sont deux homologues chimiques. On pourrait donc trouver dans la monazite l'homologue supérieur du Ce et du Th qui aurait un numéro atomique $Z=122$ correspondant à un nombre de masse A_1 qui serait égal à 347. ($A_1 = 347$).

La valeur de C_1 est dans ce cas égal à :

$$\begin{aligned} C_1 &= 2,5 \cdot 10^{-4} \times \frac{347}{232} \times 0,06 \frac{T_1}{T_2} \\ &= 2,2 \times 10^{-5} \frac{T_1}{T_2} \text{ g/g} \end{aligned}$$

Si l'élément inconnu avait la même demi-vie que le thorium ($1,39 \times 10^{10}$ a), C_1 serait égal à $2,2 \times 10^{-5}$ g/g.

Si sa demi-vie était 10^8 a, C_1 serait égal à $1,6 \times 10^{-7}$ g/g.

Les valeurs limites des demi-vie (3×10^8 a à 6×10^9 a) données par H. J. ROSE et D. SINCLAIR pour la radioactivité alpha donneraient des concentrations C_1 comprises entre $4,7 \times 10^{-7}$ g/g et $9,5 \times 10^{-6}$ g/g. Ces valeurs ont le même ordre de grandeur que les valeurs déduites par les deux auteurs pour la radioactivité alpha [3].

Comme nous n'avons pas pu déceler un pic, nous pouvons conclure que, en ce qui concerne le spectre gamma s'il existait des éléments inconnus dans la monazite, leurs concentrations seraient inférieures à 10^{-7} g/g.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'Agence Internationale de l'Energie Atomique pour l'aide en matériel qui a permis ce travail ainsi que la Représentation à Antananarivo du Programme des Nations Unies pour le développement. Nous avons aussi bénéficié de l'aide des deux techniciens du Laboratoire de Physique Nucléaire et Appliquée, HM. RAZAKABOAY Benjamin et RANO HARISON Maurice.

BIBLIOGRAPHIE

1. R.-V. GENTRY, T.-A. CAHILL, N.-R. FLETCHER, H.-C. KAUFMAN, L.-R. MEDSKER, J.-W. NELSON, N.-R. FLOCCINI. — *Phys. Rev., Lett.*, 37, 1976, p. 11.
2. A. CHEVALLIER, J. CHEVALLIER, A. PAPE and M. DEBAUVAIS. — *Journal de Physique, Lettres*, tome 38, août 1977, p. 331.
A. CHEVALLIER, J. CHEVALLIER, A. PAPE, M. DE BEAUVAIS, B. LEROUX. — Communication, Symposium de Lubbock, USA, mars 1978.
3. H.-J. ROSE and D. SINCLAIR. — *J. Phys. G. Nuclear Phys.* Vol. 5, N° 6, (1979) p. 781.
4. RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA. — *Bull. Acad. Malgache*, tome 54/1-2 (1976-1978) pp. 155-162.
PAIC G., RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA, RAZANAJATOVO M., RANDRIANARIVONY E., RAKOTOSON G., RATIARISON A. — *Ann. Univ. Madagascar*, Série Sc. Nat. et Math., n° 14, 1977, pp. 303-308.