

ETUDE DE LA MONAZITE BRUTE D'ANTETE ET DE VOHIBARIKA-MANANTENINA A L'AIDE D'UN DETECTEUR GE(LI). SPECTRE ENERGETIQUE. TENEUR EN U ET EN TH

par RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA

Professeur titulaire

Laboratoire de Physique nucléaire et appliquée

Faculté des Sciences, Université de Madagascar

BP 4279 — Antananarivo-Madagascar

(Octobre 1980).

Résumé :

Nous avons étudié dix échantillons de monazite d'Antete et de Vohibarika-Manantenina, leurs spectres énergétiques, les intensités relatives à la raie 238 keV, la teneur en U ($0,074 \pm 0,010$ p. 100), en Th ($0,21 \pm 0,09$ p.100), le rapport U/Th, l'activité globale moyenne des échantillons dans la région allant de 0 à 2300 keV, et la présence de K-40.

Nous soulignons aussi l'intérêt du tamisage pour la concentration des minerais (concentration en U multipliée par un facteur 6, concentration en Th par un facteur 50).

Abstract :

For ten monazite samples from Antete and Vohibarika-Manantenina, we have studied their energy spectra, their relative energy intensities with respect to 238 keV, the percentages of U and of Th, the ratio U/Th, the mean global activity of the samples in the zero to 2300 keV energy range, the presence of K-40.

We emphasize the interest of using a sieve for the ore concentration in U and Th; the concentration in U may be magnified by a multiplicative factor equal to 6 and that of Th by a multiplicative factor equal to 50.

1. INTRODUCTION

Dans le présent travail, nous étudions le spectre gamma d'une dizaine d'échantillons du sable brut d'Antete (Fort-Dauphin) Vohibarika-Manantenina ainsi que leur teneur en uranium et en thorium et la présence de K-40.

Le gisement d'Antete a été découvert en 1956 par le Service géologique de Madagascar. A cette époque, on estimait la réserve à 10 800 tonnes. Une prospection du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) français donnait une estimation de la réserve en monazite entre 13 000 tonnes à 15 000 tonnes (avec 250 000 tonnes d'ilménite et 17 000 tonnes de zircon). En effet, la monazite de Fort-Dauphin est toujours associée à l'ilménite et au zircon. La concentration brute était estimée à l'époque entre 2 à 3 pour cent de monazite, 4 pour cent de zircon et 43 pour cent d'ilménite.

Le gisement a été exploité par une association du CEA-Pechiney, la société d'exploitation SOTRASSUM qui a monté une usine-pilote inaugurée en 1959. La production à Antete de 1959 à 1963 est de 1 750 tonnes.

Nous donnons ci-dessous la production de monazite de 1955 à 1963, chiffres donnés par le Service géologique de Madagascar.

PRODUCTION DE MONAZITE ENTRE 1955 ET 1963

Année	Production	Année	Production	Année	Production
	En tonne		En tonne		En tonne
1955	63,0	1958	138,0	1961	455,6
1956	178,0	1959	122,0	1962	376,0
1957	183,0	1960	427,0	1963	615,1

A côté de l'intérêt économique certain pour le pays, les monazites d'Antete (et surtout les monazites des chaînes anosyennes de Fort-Dauphin et de façon générale les monazites de Madagascar) présentent un intérêt scientifique. Et c'est une des raisons pour lesquelles nous nous sommes intéressés à ce minéral.

Nous avons déterminé le spectre énergétique gamma entre 57,7 keV à 3 500 keV (113 raies) ainsi que l'intensité relative au pic 238,95 keV du Pb-212 (1). C'était à notre connaissance le premier spectre entier des monazites de Fort-Dauphin, Madagascar, déterminé à l'aide d'un détecteur (Ge(Li) ; il n'existe pas de tel spectre même obtenu à l'aide d'un détecteur NaI (T). Il intéressera certainement les géologues, les minéralistes et les prospecteurs, car la précision des mesures est très bonne si on les

compare avec les valeurs des énergies des radioéléments données par les tables. Nous avons retrouvé surtout les énergies de la famille du thorium (Ac-228, Bi-212, Tl-208, Pb-212) avec toutefois celles de la famille de l'U-238 (Pb-214, surtout Bi-214). Nous avons trouvé des traces de K-40 aussi. Le résultat confirme bien l'existence du thorium dans la monazite (formule $PO_4(Ce, La, Th)$).

Nous avons de même comparé le spectre de la monazite avec les spectres de l'uranium et de l'uranothorianite. Certaines raies de l'uranium n'ont pas pu être observées à cause de la faible teneur uranium du minerai. Nous n'avons vu dans le spectre de la monazite que les pics très intenses (ceux du Pb-214 et surtout du Bi-214). Les spectres de la monazite et de l'uranothorianite sont à peu près identiques.

Dans le présent travail, nous allons étudier onze échantillons de monazite dont 8 en provenance d'Antete. (7 récoltés par nous-mêmes, et un donné par l'OMNIS). Nous avons étudié un échantillon de Vohibarika (Manantennina) à titre de comparaison avec les résultats des échantillons d'Antete. Chacune des mesures dure 20 000 secondes, ce qui représente à peu près 61 heures d'expériences en tout.

2. CONDITIONS EXPERIMENTALES. DEFINITION DES ECHANTILLONS

Nous donnons dans les tableaux I, II et III les principales propriétés de la famille de l'U-238, de la famille du Th-232 et du K-40 avec les énergies gamma les plus importantes et les plus couramment utilisées pour la détection et la détermination des teneurs. Nous en ajouterons d'autres lors de nos mesures.

Le tableau IV précise les échantillons étudiés avec les traitements physiques (moulu, tamisage) et les conditions expérimentales.

Il est déjà bien connu qu'un tamisage des échantillons augmente la concentration en monazite. On a déjà remarqué qu'un tamisage de 60 mesh élimine 50 pour cent du stérile tout venant sans perte, qu'un tamisage de 80 mesh élimine 80 pour cent du tout venant en perdant 5 pour cent de monazite, 50 pour cent d'ilménite, et 10 pour cent de zircon. La monazite renferme du ThO_2 et des oxydes de terres rares (Ce, La). L'ilménite, d'après Besairie, contient du TiO_2 (47 à 58 p. 100), FeO (7 à 39 p. 100); Fe_2O_3 (7 à 29 p. 100); P_2O_5 (0 à 0,7 p. 100); MnO_2 (0,30 à 0,50 p. 100).

Le zircon contient du ZrO_2 (59 à 65 p. 100), SiO_2 (30 à 33 p. 100), TiO_2 (0,9 à 4 p. 100) Al_2O_3 (1 à 6 p. 100), Fe_2O_3 traces), la teneur de TiO_2 résulte de la présence d'un peu de rutile non séparé

Il a été aussi remarqué que la monazite est toujours en association avec l'ilménite et le zircon.

Les échantillons ANT 1A, ANT 1B, ANT 1C, ANT 2, ANT 3, ANT 4, ANT 5, ANT 6, ANT 7, ont été récoltés par nous-mêmes à Antete. L'échantillon

ANTOMNIS nous a été donné par l'OMNIS, il est de couleur jaune. Quant à VOHI 1, il a été récolté à Vohibarika-Manantenina et a été étudié à titre de comparaison des minerais d'Antete.

TABLEAU I

Des principales propriétés de la famille de l'U-238

Z	Isotopes	Période	Radio-activités principales	Energie des raies gamma les plus importantes en keV
92	U-238 ↓	$4,4683 \times 10^9$ y	α	
90	Th-234 ↓	24,101 d	β	
91	Pa-234 m ↓	1,175 m	β	
92	U-234 ↓	$2,446 \times 10^5$ y	α	
90	Th-230 ↓	$8,0 \times 10^4$ y	α	
88	Ra-226 ↓	$1,599 \times 10^3$ y	α	186, 180 (double avec U-235 : 185,715)
86	Rn-222 ↓	3,82351 d	α	
84	Po-218 ↓	3,05 m	α	
82	Pb-214 ↓	26,8 m	β, α	295, 217 — 351, 992
83	Bi-214 ↓	19,7 m	β, α	609, 312-1120, 287-1238, 11, 1377, 669-1764, 50-2204, 21-2447, 81
84	Po-214 ↓	163,7 μ s	α	
82	Pb 210 ↓	22,26 y	α	
83	Bi 210 ↓	5,013 d	β	
84	Po-210 ↓	138,3763 d	α	
82	Pb-206	Stable		

Z	Isotopes	Période	Radio-activité principale	Energies des raies gamma les plus importantes en keV
90	Th-232 ↓	$1,41 \times 10^{10}$ y	α	
88	Ra-228 ↓	5,77 y	β	
89	Ac-228 ↓	6,13 h	β, α	129, 1-209, 5-338, 7 ^m 463, 3-795, 0-911, 2 968, 8-1587, 9-1587, 9
90	Th-228 ↓	1,91313 y	α	
88	Ra-224 ↓	3,665 d	α, γ	
86	Rn-220 ↓	55,61 s	α, γ	
84	Po-216 ↓	145 m	α, γ	
82	Pb-212 ↓	10,643 h	β, γ	238, 590 - 300, 070
83	Bi-212 ↓	60,600 m	β, γ	727, 27
84	Po-212 (64 %)	0,296 μ s	α	
81	Tl-208 (36 %) ↓	3,0527 m	β, α	510, 723-583, 139-860, 37-2614, 47
82	Pb-208	Stable		

TABLEAU II Des principales propriétés de la famille du Th-232

Z	Isotope	Période	Radio-activité principale	Energie gamma principale en keV
19	K 40 ↓	$1,277 \times 10^9$ y	β, γ	1460, 75
20	Ca-40 + β (89 %)	Stable		
21	Ar-40 + γ (11 %)	Stable		

TABLEAU III K-40

TABLEAU IV

Définition des échantillons

Désignation	Provenance	Conditions physiques				Durée d'enregistrement en seconde	Remarques
		Couleur	Tamisé	Masse en gramme			
ANT 1A	Antete	Brut, non moulu		20	20 000	Diminution du facteur 1,8 de l'échantillon 1A sur l'échantillon 1B.	
ANT 1B	Antete	Moulu		20	20 000		
ANT 1C	Antete	Moulu	Noir	20	20 000		
ANT 2	Antete	Moulu		20	20 000	Il existe de l'U dans cet échantillon.	
ANT 3	Antete	Moulu		20	20 000	Il existe de l'U.	
ANT 4	Antete	Moulu		20	20 000	Activité moins faible que celle des autres.	
ANT 5	Antete	Moulu		20	20 000		
ANT 6	Antete	Moulu		20	20 000		
ANT 7	Antete	Moulu		20	20 000		
ANTO-MNIS	Antete (OMNIS)	Moulu	Jaune	20	20 000	Il existe de l'U.	
VOHI 1	Vohibarika Manantenina	Moulu		20	20 000	Donne les mêmes valeurs que celles des minerais d'Antete.	

3. ETUDE DES SPECTRES ENERGETIQUES DES ECHANTILLONS. INTENSITE RELATIVE A LA RAIE 238 keV

Les tableaux V, VI, VII, VIII donnent les mesures des principales énergies, les isotopes correspondants, les intensités relatives par rapport à 238 keV et les erreurs statistiques, les moyennes des intensités des échantillons.

Les bruits de fond de la salle ont été bien sûr soustraits. Le tableau VIII compare les résultats moyens des échantillons d'Antete, pour ANTONNIS et VOHI 1.

Nous remarquons que :

a. Nous retrouvons les mêmes raies grosso modo ;

b. Les intensités relatives des raies ne changent pas de façon appréciable d'un échantillon à l'autre, quel que soit le traitement fait. En particulier, c'est le cas des raies de l'Ac-228 (128,9 keV - 154,0 keV - 209,5 keV - 270,2 keV - 338,7 keV - 911,2 keV - 968,8 keV - 1501,5 keV), des raies du Tl-208 (510,7 keV - 587,2 keV - 860,4 keV) :

c. Les intensités relatives de certaines raies sont changées d'un facteur multiplicatif qui varie de 2/3 à 2.

MONAZITE D'ANTÈTE

TABLEAU V

Echantillons		ANT 1A		ANT 1B		ANT 2	
Energie du pic en keV	Isotope	Intensité relative à 238 keV	Erreur en p. 100	Intensité relative à 238 keV	Erreur en p. 100	Intensité relative en 238	Erreur en p. 100
77	Bi K α_1 X-ray	61,33	5,99	53,19	5,12	58,94	4,45
86,8		5,25	32,95	4,90	25,22	6,18	20,21
92,7	ThK α_1 X-ray					5,23	24,39
105,6	ThK β_1 X-ray					1,78	88,22
128,9	Ac-228	7,38	43,08	8,28	29,51	8,14	30,23
154,0	Ac-228	1,60	67,61	2,26	33,83	1,29	60,77
209,5	Ac-228					12,83	25,18
238,6	Pb-212	100,00	3,06	100,00	2,20	100,00	2,24
270,2	Ac-228	9,75	17,60	7,62	16,65	9,73	12,73
300,0	Pb-212	6,02	38,68	10,74	14,10	9,02	17,50
338,7	Ac-228	18,83	18,82	18,04	14,26	16,11	16,39
463,2	Ac-228	7,18	26,34	4,17	34,91	3,37	44,37
510,7	Tl-208+ann	7,34	19,71	8,45	11,39	7,14	14,24
583,2	Tl-208	22,15	15,30	25,61	9,85	21,71	11,22
609,3	Bi-214+DE	2,18	71,11	4,11	24,91	3,20	33,34
651,4						1,78	63,61
727,2	Bi-212 β decay			2,49	61,89	1,96	80,68
795,2	Ac-228						
860,4	Tl-208	2,61	55,98	3,17	30,78	2,99	33,30
911,2	Ac-228	12,85	8,67	11,70	7,15	12,66	6,35
968,8	Ac-228	9,05	7,88	8,78	5,96	9,06	5,56
1 120,3	Bi-214+SE					0,88	69,72
1 246,9					0,68	84,10	
1 336,5	SE					0,48	60,35
1 462,0	K-40	2,34	38,00	1,66	33,39	1,39	41,88
1 501,5	Ac-228	0,80	78,76	0,68	67,07	0,68	66,01
1 592,6	Ac-228 + DE			2,11	22,48	1,97	25,09
1 764,5	Bi-214			0,74	39,03	0,44	95,67

MONAZITE D'ANTÈTE

TABLEAU VI

Echantillons		ANT 3		ANT		ANT 5	
Energie du pic mesuré en keV	Isotopes	Inten- sité relative à 238 keV	Erreur en p. 100	Inten- sité relative à 238 keV	Erreur en p. 100	Inten- sité relative à 238 keV	Erreur en p. 100
77	BiK α_1 X-ray	56,83	5,24	61,89	5,19	62,94	5,33
86,8		9,46	14,32	8,21	18,61	7,73	19,21
92,7	ThK α_1 X-ray	4,12	34,65	4,36	36,31	2,21	71,80
105,6	ThK β_1 X-ray						
128,9	Ac-228	8,88	30,93	9,92	30,75	10,03	28,82
154,0	Ac-228	1,50	59,22	1,27	77,64	1,96	46,88
209,5	Ac-228	11,48	31,97	11,45	35,84	11,24	34,53
238,6	Pb-212	100,00	2,53	100,00	2,81	100,00	2,70
270,2	Ac-228	9,08	15,52	9,93	15,74	8,84	16,92
300,0	Pb-212	8,08	22,45	10,63	18,35	8,89	21,25
338,7	Ac-228	6,65	48,19				
463,2	Ac-228	3,39	49,19	4,48	40,65	4,38	39,40
510,7	Tl-208+ann	8,32	13,52			2,37	38,68
583,2	Tl-208	24,21	10,96	22,04	14,01	22,07	13,17
609,3	Bi-214+DE	2,42	51,43	3,72	35,32	4,12	29,82
727,2	Bi-212 β decay	4,76	17,15	3,11	31,98	4,70	18,78
795,2	Ac-228	3,43	25,37	2,41	43,80	3,21	29,15
860,4	Tl-208	2,28	50,56				
911,2	Ac-228	13,30	6,49	13,21	7,44	13,68	6,57
968,8	Ac-228	8,93	6,55	9,83	6,09	9,29	6,67
1 120,3	Bi-214+SE					1,60	43,70
1 336,5	SE						
1 462,0	K-40	1,61	42,37	2,44	29,47	1,74	42,49
1 501,5	Ac-228	0,85	56,65				
1 592,6	Ac-228+DE	2,82	16,35	2,75	19,56	2,51	21,80
1 764,5	Bi-214	0,60	77,58			0,48	99,99

Le tableau XI donne la comparaison des moyennes des échantillons d'Antete, de ANT 1C qui a subi un tamisage, et de ANTONNIS. Nous voyons que ANTONNIS contient 6,5 fois plus ($0,48 \pm 0,03$ p. 100) d'uranium que la normale ($0,074 \pm 0,010$ p. 100) et 48 fois plus ($9,64 \pm 0,69$ p. 100) de thorium que la normale ($0,21 \pm 0,09$ p. 100). Nous donnons aussi les valeurs moyennes de U/Th pour la latérite, l'uraninite, la betafite, la thorite, la monazite et le zircon.

L'effet du tamisage est ainsi bien évident.

MONAZITE D'ANTÈTE

TABLEAU VII

Echantillons		ANT 6		ANT 7		Moyennes des échantillons	
Energie du pic mesuré en keV	Isotopes	Inten- sité relative à 238 keV	Erreur en p. 100	Inten- sité relative à 238 keV	Erreur en p. 100	Inten- sité relative en % par rapport à 238 keV	Erreur en p. 100
77	BiK α_1 X-ray	71,53	10,81	62,46	7,00	61,44	5,35
86,8		5,72	59,45	5,40	37,88	6,61	1,65
92,7	ThK α_1 X-ray	3,16	99,99	6,16	33,40	4,21	1,41
105,6	ThK α_1 X-ray					1,78	
128,9	Ac-228	12,54	56,19	8,95	44,87	9,27	1,59
154,0	Ac-228	2,95	75,18	3,95	31,13	2,10	0,94
209,5	Ac-228	14,23	65,95	10,28	52,63	11,92	1,40
238,6	Pb-212	100,00	6,49	100,00	3,63	100,00	3,21
270,2	Ac-228	12,00	30,13	8,67	24,34	9,45	1,27
295,2	Pb-214	14,06	32,63	8,51	31,90	11,29	3,92
300,0	Pb-212					8,90	1,75
338,7	Ac-228	16,52	46,82	17,26	25,52	15,57	4,48
463,2	Ac-228	6,06	70,68	4,50	53,88	4,69	1,31
510,7	Tl-208+ann	2,83	78,55	3,79	32,49	5,75	2,65
583,2	Tl-208	15,16	51,20	22,26	18,24	21,65	2,76
609,3	Bi-214+ DE	3,60	92,24	6,25	27,40	3,70	1,26
651,4		3,30	98,45			2,54	1,59
727,2	Bi-212 β decay	1,53	99,99	5,23	23,37	3,40	1,49
795,2	Ac-228	4,23	55,74	3,31	40,17	3,33	0,67
860,4	Tl-208+ Bi- 212	3,74	87,01	2,33	76,53	2,85	0,56
911,2	Ac-228	14,72	17,39	13,15	10,19	13,16	0,86
968,8	Ac-228	10,36	16,63	9,37	9,34	9,35	0,51
1 120,3	Bi-214+ SE	1,52	99,99	2,18	46,91	1,55	0,53
1 246,9						0,68	
1 336,5	SE					0,48	
1 462,0	K-40	9,24	20,92	2,82	39,43	2,78	2,26
1 501,5	Ac-228					0,75	0,09
1 592,6	Ac-228+ DE	2,59	54,79	2,73	27,41	2,50	0,33
1 764,5	Bi-214	0,74	99,99	0,52	99,99	0,55	0,16

COMPARAISON

TABLEAU VIII

Echantillons		ANT OMNIS		VOHI 1		Moyenne pour les échantillons Antete
Energie du pic mesuré en keV	Isotopes	Inten- sité relative à 238 keV	Erreur en p. 100	Inten- sité relative à 238 keV	Erreur en p. 100	Intensité relative en p. 100
77	BiK α_1 X-ray	22,04	0,98	58,09	5,82	61,4 \pm 5,3
86,8				40,53	4,82	6,6 \pm 1,7
92,7	ThK α_1 X-ray	29,53	0,81			4,2 \pm 1,4
105,6	ThK β_1 X-ray	5,96	2,37	4,48	24,81	1,8
128,9	Ac-228	4,64	2,71	6,27	25,41	9,3 \pm 1,6
154,0	Ac-228	1,57	6,49	2,06	63,46	2,1 \pm 1
209,5	Ac-228	7,81	1,58	8,81	11,79	11,9 \pm 1,4
238,6	Pb-212	100,00	0,21	100,00	1,76	100,00
270,2	Ac-228	9,31	1,75	5,84	13,16	9,5 \pm 1,3
300,0	Pb-212	7,83	1,55	4,22	13,18	8,9 \pm 1,8
338,7	Ac-228	15,42	0,59	16,20	4,69	15,6 \pm 4,5
463,2	Ac-228	3,58	1,86	3,34	22,79	4,7 \pm 1,3
510,7	Tl-208+ann	4,76	1,50	7,22	8,18	5,8 \pm 2,7
583,2	Tl-208	20,06	0,46	21,36	3,26	21,7 \pm 2,8
609,3	Bi-214+DE	2,84	1,99	5,26	14,77	3,7 \pm 1,3
651,4						2,5 \pm 1,6
727,2	Bi-214 β decay	3,81	1,46	4,46	9,66	3,4 \pm 1,5
795,2	Ac-228	1,86	2,10	2,12	20,34	3,3 \pm 0,7
860,4	Tl-208	1,80	1,94	2,10	20,20	2,9 \pm 0,6
911,2	Ac-228	12,19	0,54	12,56	5,18	13,2 \pm 0,9
968,8	Ac-228	8,98	0,80	9,93	5,95	9,4 \pm 0,5
1 120,3	Bi-214+SE	0,57	7,02	1,02	37,87	1,6 \pm 0,5
1 246,9						0,68
1 336,5	SE					0,48
1 462,0	K-40	0,22	16,98	2,05	18,39	2,8 \pm 2,3
1 501,5	Ac-228					0,8 \pm 0,1
1 592,6	Ac-228+ DE	2,37	2,66	2,42	15,46	2,5 \pm 0,3
1 764,5	Bi-214	0,44	9,10	0,55	53,64	0,6 \pm 0,2

4. TENEUR EN U, EN Th. RAPPORT U/Th

Nous avons déterminé les teneurs en U, en Th et les rapports U/Th et Th/U en utilisant plusieurs raies.

Le tableau IX donne le pourcentage d'uranium contenu dans les différents échantillons. Nous constatons que pour tous les pics intenses, nous trouvons à peu près la même teneur $[(0,074 \pm 0,010) \text{ p. } 100]$ pour les échantillons d'Antete et de Vohibarika, tandis que pour ANTMNIS, nous obtenons une teneur en U égale à $(0,48 \pm 0,03) \text{ pour cent}$, c'est-à-dire 6,5 fois plus grande.

Le tableau X donne la teneur en thorium. Nous obtenons à peu près la même teneur pour chaque échantillon quel que soit le pic utilisé. Les concentrations varient de 0,13 à 0,31 pour cent, pour les échantillons d'Antete et de Vohibarika. Les échantillons qui ont subi un tamisage ont une concentration plus considérable. ANT 10 contient 4 fois plus de thorium que l'échantillon non tamisé, ANTMNIS $(9,64 \pm 0,69 \text{ p. } 100)$ soit 46 fois plus.

TABLEAU IX

Pourcentage d'uranium U contenu dans les monazites d'Antete-Fort-Dauphin

(Les valeurs sont données en p. 100. Les mesures ont porté sur 20 grammes de monazite moulu et ont duré 20 000 secondes.)

Pic utilisé		Echantillons										VOIII I
En-keV	Isotopes	ANT 1A	ANT 1B	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5	ANT 6	ANT 7	ANTO-MNIS		
185,6	Th-230 + R, 226									0,27	0,05	
295,2	Pb-214							0,082	0,086			
351,9	Pb-214									0,48	0,09	
609,3	Bi-214+SE	0,078	0,089	0,085	0,081	0,082	0,084	0,076	0,083	0,44	0,09	
1 120,2	Bi-214+SE			0,062			0,069	0,049	0,063	0,49	0,06	
1 377,3	Bi-214									0,48		
1 407,9	Bi-214									0,50		
1 729,6	Bi-214									0,44		
1 764,5	Bi-214		0,082	0,073	0,074	0,066	0,070	0,064	0,063	0,51	0,07	
Moyenne des pourcentages		0,078	0,086 ± 0,073	± 0,078	± 0,074	± 0,074	± 0,074	± 0,068	± 0,074	± 0,48 ±	0,08	
		0,005	0,012	0,05	0,011	0,008	0,015	0,012	0,03	0,02		
Moyenne du pourcentage d'uranium pour les échantillons ANT 1A à ANT 7 = (0,074 ± 0,010) % U												

Fiche établie par R.A.

TABLEAU X

Teneur en thorium contenu dans les monazites d'Antete-Fort-Dauphin

(Les valeurs sont données en pourcent. Les mesures ont porté sur 20 grammes de minéral et ont duré 20000 secondes).

Pic utilisé		Echantillons												
En keV	Isotopes	ANT 1A	ANT 1B	ANT 1C	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5	ANT 6	ANT 7	ANTO-MNIS	VOH11		
76,4		0,17	0,27		0,29	0,23	0,21	0,23	0,07	0,13				
92,2	Th K α , X-ray				0,29	0,18	0,16			0,14				
154,0	Ac-228	0,15	0,40	0,84	0,22	0,21	0,15	0,25	0,09		9,45	0,23		
209,5	Ac-228			0,65	0,42	0,31	0,25	0,27	0,09	0,14	9,05	0,19		
238,6	Pb-212	0,16	0,30	0,81	0,29	0,24	0,19	0,21	0,07	0,12	10,28	0,12	Bons résultats	
300,0	Pb-212	0,10	0,32	0,67	0,26	0,19	0,21	0,19			7,97		Résultats médiocres	
338,7	Ac-228 Rn-223	0,18	0,32	0,78	0,29	0,10			0,06	0,13	9,53	0,18		
409,4	Ac-228			0,76							9,82	0,20		
463,3	Ac-228	0,30	0,33	0,84	0,26	0,22	0,23	0,25	0,09	0,16	9,71	0,17		
510,7	Tl-208+ann.	0,17	0,37	0,67	0,30	0,29					7,01	0,20		
583,2	Ac-228	0,17	0,34	0,83	0,31	0,28	0,21	0,23	0,04	0,13	9,97	0,20	Bons résultats	
727,3	Bi-212 β decay			0,77		0,29	0,15	0,26		0,16	9,88	0,21		
860,4	Tl-208			0,87		0,26			0,09	0,13	8,74	0,19		
911,2	Ac-228	0,16	0,28	0,91	0,29	0,25	0,20	0,23	0,06	0,13	10,31	0,20	Bon résultats	
969	Ac-228	0,17	0,30	0,90	0,31	0,25	0,22	0,23	0,06	0,13	10,66	0,22	Bons résultats	
1 592,6	Ac-228+ DE		0,25		0,23	0,27	0,21	0,21	0,05	0,13	9,57	0,18		
Moyenne des mesures de teneurs pour chaque échantillon		0,17 \pm 0,05	0,31 \pm 0,05	0,80 \pm 0,09	0,29 \pm 0,05	0,24 \pm 0,05	0,20 \pm 0,03	0,23 \pm 0,02	0,07 \pm 0,02	0,13 \pm 0,01	9,64 \pm 0,69	0,19 \pm 0,03		
Concentration moyenne sur les échantillons : (0,21 \pm 0,09) % Th														

IV.3.2.7.1. XI

Minéral	U(en %)	Th(en %)	$\frac{U}{Th}$	$\frac{Th}{U}$	Remarque
Moyenne sur les 7 échantillons ANT 1A, ANT 1B, ANT 2 à ANT 7	$U_m = 0,074 \pm 0,010$	$Th_m = 0,21 \pm 0,09$	$\left(\frac{U}{Th}\right)_m = 0,35$	$\left(\frac{Th}{U}\right)_m = 2,86$	
ANT 3	$U_s = 0,11 \pm 0,01$	$Th_s = (0,80 \pm 0,09)$	$\left(\frac{U}{Th}\right)_s = 0,14$	$\left(\frac{Th}{U}\right)_s = 7,27$	$\frac{U_s}{U_m} \approx 1,5$; $\frac{Th_s}{Th_m} \approx 4$
ANT OMNIS	$U_o = 0,48 \approx 0,03$	$Th_o = 9,64 \approx 0,69$	$\left(\frac{U}{Th}\right)_o = 0,049$	$\left(\frac{Th}{U}\right)_o = 20,08$	$\frac{U_o}{U_m} \approx 6,5$; $\frac{Th_o}{Th_m} \approx 46$ $\frac{U_o}{U_s} \approx 4,4$; $\frac{U_o}{U_j} \approx 12$
VOHI 1	$U_v = 0,08 \pm 0,02$	$Th_v = 0,19 \pm 0,03$	$\left(\frac{U}{Th}\right)_v = 0,42$	$\left(\frac{Th}{U}\right)_v = 2,38$	$\frac{U_v}{U_m} \approx 1$; $\frac{Th_v}{Th_m} \approx 1$ La monazite de Vohibrika a une teneur sensiblement égale à celle de la monazite d'Antete.
Comparaison : Latérite [3]	Moyenne : 0,001 varie de 0,0003 à 0,004	Moyenne : 0,005 varie de 0,0008 à 0,0132		Moyenne : 5 très variable	
Uraninite [4]			16 à 60		
Bétafite [4]			20		
Thorite [4]			0,1 à 0,2		
Monazite [4]			0,1		
Zircon [4]			0,5 à 10		Valeur conforme à ANT 3 obtenu après tamisage du minéral.

5. ACTIVITE GLOBALE MOYENNE DES ECHANTILLONS DANS LE SPECTRE D'ENERGIES DE 0 A 2023,3 keV

Elle est donnée sur le tableau XII.

TABLEAU XII

Echantillons	Activité en Bq/g
ANT 1A.	1,52
ANT 1B.	3,23
ANT 1C.	8,14
ANT 2.	2,90
ANT 3.	2,37
ANT 4.	1,89
ANT 5.	2,23
ANT 6.	0,60
ANT 7.	1,18
VOHI 1.	1,92

Si on met à part l'échantillon 1C qui a été tamisé, nous voyons que les activités globales moyennes des échantillons varient entre 1 Bq/g à 4 Bq/g. BESAIRES a signalé que la radioactivité superficielle varie de 10 coups par seconde à 35 coups par seconde, mais il n'a pas précisé l'appareil utilisé (certainement un tube G.M. de géologues-prospecteurs).

6. DETERMINATION DE L'ENERGIE DU K-40. RECHERCHE DE K-40 DANS LES ECHANTILLONS

Les résultats sont donnés sur le tableau XIII.

TABLEAU XIII

Echantillon	Energie du K-40 mesurée en keV	Aire nette	Erreur en %	Remarques
ANT 1A	1 464,5	1 148	38,00	Pas de K-40.
ANT 1B	1 463,1	1 537	33,39	Trace de K-40.
ANT 1C	1 464,6	2 315	23,65	Présence de K-40.
ANT 2	1 463,6	1 257	41,88	Très faible trace.
ANT 3	1 462,2	1 887	42,37	
ANT 4	1 462,3	1 465	29,47	Trace infime.
ANT 5	1 462,7	1 149	42,49	Néant.
ANT 6	1 463,4	1 356	20,92	
ANT 7	1 461,5	1 063	39,43	Néant.
ANT OMNIS	1 460,0	6 771	16,98	Présence certaine de K-40.
VOHI 1	1 464,3	1 183	18,39	Néant.
Bruit de fond de la salle	1 464,5	1 129		

La valeur moyenne de l'énergie du K-40 déterminée par les 12 mesures est : $E = (1463,0 \pm 1,4)$ keV à comparer avec les valeurs 1460,8 keV et 1462,0 données par la plupart des tables. Il semble que le tamisage augmente aussi le taux de K-40. (ANT 1C, ANT 3, ANT OMNIS).

7. CONCLUSIONS ET REMARQUES

L'étude des échantillons de monazite d'Antete, de Vohibarika montre que nous avons à peu près la même concentration en U ($0,074 \pm 0,010$ p. 100) et en Th ($0,21 \pm 0,09$ p. 100).

Des traitements physiques peuvent augmenter ces teneurs de façon appréciable, en particulier le tamisage (de 60 mesh ou 80 mesh). Une usine a fonctionné à Antete suivant le schéma suivant :

- alimentation en sable tout venant par voie Decauville et wagonnets ;
- première concentration des sables lourds par spirales Humphrey (8 groupes de spirales en parallèle avec pour chaque groupe 3 à 5 spirales en série et en parallèle) ;
- deuxième concentration sur trois tables à secousse à la sortie des spirales ;
- séchage ;
- séparation électromagnétique par un premier séparateur à bandes croisées qui enlève l'ilménite, et par un second séparateur à disque qui sépare la monazite du zircon.

Le débit par heure est de 65 à 10 kilogrammes de monazite, 60 à 65 kilogrammes de zircon, 800 à 900 kilogrammes d'ilménite.

Nous donnons ces indications pour attirer l'attention sur la faisabilité d'une exploitation industrielle de nos ressources en monazite et en minerais de thorium.

L'étude de la raie du K-40 (1460 keV) montre qu'il y a des traces dont certaines sont très infimes.

Les intensités relatives à 238 keV sont à peu près constantes d'un échantillon à l'autre.

L'activité globale moyenne dans la bande des énergies 0 à 2300 keV varie de 1 Bq/g à 4 Bq/g.

Concluons en disant que les minerais de thorium qui existent à Madagascar (et en Inde) prendront de la valeur le jour où les centrales nucléaires à filière thorium seront au point, et que c'est là une des chances de Madagascar pour résoudre le problème de la crise de l'énergie.

REMERCIEMENTS

Nous voudrions remercier l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA-PNUD) pour la dotation d'un détecteur Ge(Li) pour le Laboratoire de Physique Nucléaire et Appliquée (LPNA) dans le cadre de son assistance ordinaire ainsi que les étudiants de troisième cycle de physique nucléaire théorique et appliquée et les deux techniciens du LPNA, MM M. RANOHARISON et B. RAZAKABOAY pour la récolte et la préparation des échantillons.

REFERENCES

- (1) RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA, PAIC (G.), RAZANAJATOVO (MM). — Détermination du spectre énergétique gamma de la monazite de Fort-Dauphin (Madagascar) à l'aide d'un détecteur Ge(Li), *Ann. Univ. Madagascar, série Sc, Nat. Math.* n° 16, (1979) (sous presse).
- (2) BESAIRIE (H.). — Les ressources minérales de Madagascar, *Annales géologiques de Madagascar*, Imprimerie nationale, Tananarive, Madagascar, fascicule n° XXX, (1961).
- (3) CLARK (S.P.), PETERMAN (Z.E.), HEIER (K.S.). — Abundances of uranium, thorium and potassium. *Handbook of Physical Constants*, *Geol. Soc. Am. Mem.* 47 (1966).
- (4) FRONDEL (J.W.), FLEISCHER (M.), JONES (R.S.). — Glossary of uranium and thorium bearing minerals, 4th edition, *US Geological Survey Bulletin*, 1250 (1967).