

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 18ΗΣ ΜΑΪΟΥ 1989

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΣΟΛΩΝΟΣ ΚΥΔΩΝΙΑΤΟΥ

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.— **Radioactivité naturelle des sources thermales municipales de l'île grecque Ikaria**, par S. Danali-Cotsaki et G. Margomenou - Leonidopoulou*, διὰ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Γεωργίου Καραγκούνη.

1. INTRODUCTION

En Grèce il y a environ 750 sources thermales-curatives. 18 d'elles sont caractérisées comme de sources principales. Entre elles il y en a quelques unes dont la propriété curative est due à la radioactivité naturelle qu'elles contiennent comme celles-ci de l'île Ikaria à la mer Egée, de Kamena Vourla au golfe de Maliakos et de Loutraki au golfe de Corinthe.

Cette recherche concerne la radioactivité naturelle des sources radioactives municipales de l'île Ikaria, qui se sert dans la balnéothérapie radiologique: Apollon, Spileo, Asclépios et Leukada, pendant les années 1982-85 (Fig. 1).

Evaluations de la radioactivité de ces sources étaient commencées depuis plusieurs années, mais elles étaient faites, seulement, en utilisant des appareils portatifs comme le Fontaktoskop (1, 2) et plus récemment l'Emanometer de Scintrex (3). Avec ces appareils on faisait, surtout, des mesures du ^{222}Rn .

Dans cette recherche on se met à déterminer qualitativement et quantitativement tous les radioéléments naturels qui existent dans les eaux de ces sources.

* Σ. ΔΑΝΑΛΗ - ΚΩΤΣΑΚΗ καὶ Γ. ΜΑΡΓΟΜΕΝΟΥ - ΛΕΩΝΙΔΟΠΟΥΛΟΥ, Ἡ φυσικὴ ραδιενέργεια τῶν δημοτικῶν λαματικῶν πηγῶν λουτροθεραπείας τῆς νήσου Ἰκαρίας.

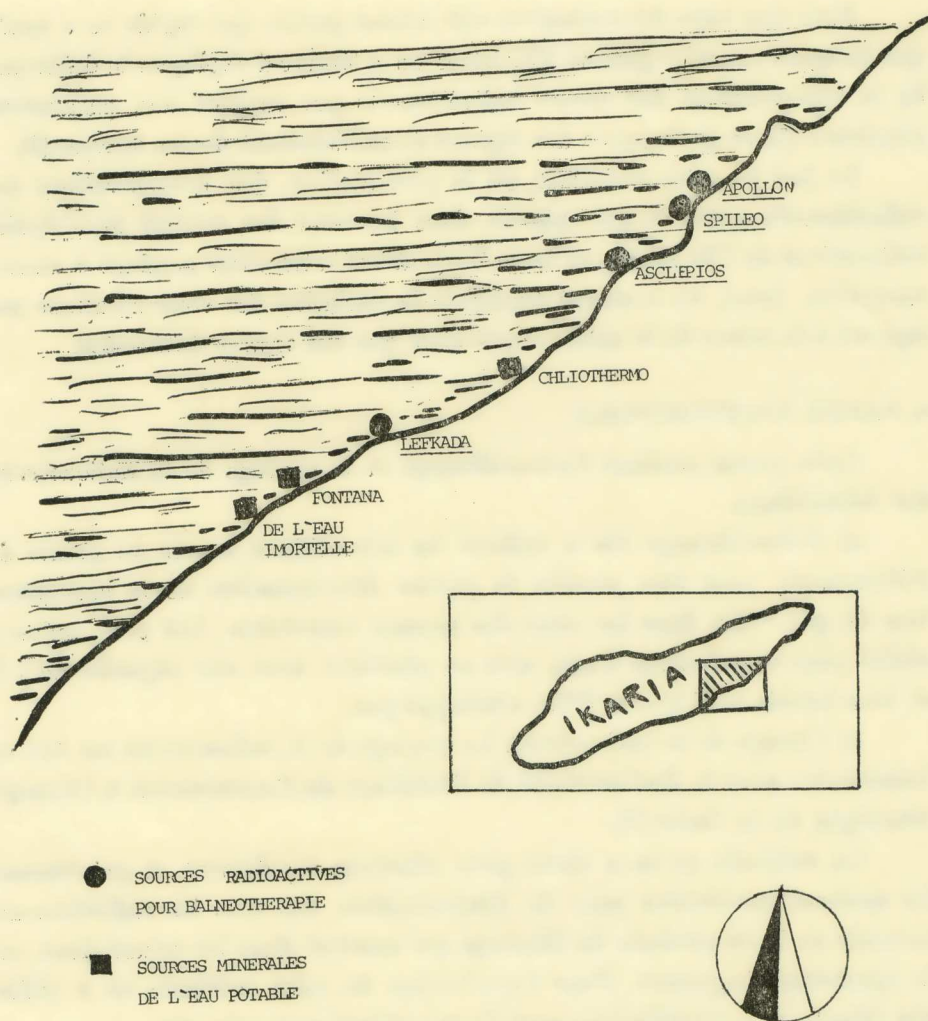


Fig. 1. Région de jaillissement des sources radioactives municipales de l'île grecque Ikaria (scale 1:50.000).

Pour que cette détermination soit autant précise que rapide on a appliqué la spectrométrie - gamma (4). Après on a essayé d'expliquer la différence de la concentration des divers radioéléments par rapport aux paramètres physiques (5) et géologiques des régions de jaillissement de ces sources (6).

Le but de cette recherche est la présentation des concentrations des radioéléments naturels qui existent dans les eaux des sources municipales radioactives de l'île Ikaria, et leurs fluctuations différentes pendant 4 années successives. Aussi, on a essayé expliquer la variation des concentrations par rapport à la saison de la même année ainsi que des années différentes.

2. PARTIE EXPERIMENTALE

Cette partie contient l'échantillonnage et la contage de la radioactivité des échantillons.

a) *Echantillonnage*: On a collecté les échantillons auprès de points de jaillissement, pour être possible la précise détermination de la concentration du gaz ^{222}Rn dans les eaux des sources examinées. Les pots, qu'on a utilisé pour la collection d'eau, sont en plastique avec une capacité de 1 l, et bien fermés ainsi que le ^{222}Rn n'échappe pas.

b) *Contage de la radioactivité*: Le contage de la radioactivité est fait au Laboratoire pour la Radioactivité de l'Ambiant du Commissariat à l'Energie Atomique de la Grèce (7).

La méthode qu'on a choisi pour effectuer rapidement et précisément les mesures nécessaires pour la détermination des tous les radioéléments naturels ou leurs produits de filiations qui existent dans les échantillons, est la spectrométrie-gamma. Pour l'application de cette méthode on a utilisé des détecteurs à scintillations avec de caractéristiques suivants:

(i) NaI: 3''X3''

(ii) Ge(Li): Largeur du pic à mi-hauteur: 1, 8 KeV à 1,33 MeV

Efficacité: 19,2% à 1,33 MeV

P/C: 48,4

(iii) Ge: Largeur du pic à mi-hauteur: 1,91 KeV à 1,33 MeV

Efficacité: 20% à 1,33 MeV

P/C: 48,6.

Les détecteurs, ci-dessus, sont joints aux analyseurs de 1024, 4096 et 16384 canaux, respectivement.

Les pots utilisés sont de type Marinelli, les mêmes qu'ils sont utilisés pour

l'échantillonnage. La durée de chaque contage était, environ, 20 heures.

Pour la constatation de l'existence du ^{222}Rn dans les eaux des sources examinées, on a fait plusieurs mesures dans des temps différents pour chaque échantillon et on a tracé la courbe $R_i=f(t_i)$ prenant les valeurs de R_i par le pic correspondant à l'énergie de 0,61 MeV, caractéristique de ce radioélément (Fig. 2).

Pour la détermination de la concentration du ^{226}Ra les mesures sont répétées après, aux moins, trois semaines, pour que les radioéléments ^{226}Ra - ^{222}Rn soient en équilibre.

Les Fig. 3 et 4 montrent deux spectrogrammes de la même échantillon, pris avec une différence du temps de 59 jours, auxquels on peut voir la réduction de la radioactivité, attribuée à la décroissance du ^{222}Rn .

La radioactivité due à chaque radioélément est calculée à la base de la formule ci-dessous (8):

$$C_{ki} = \frac{p_{ki}^s \cdot 100 \cdot A^{\text{std}}}{p_{ki}^{\text{std}} \cdot \text{Br} \cdot 2,22 \cdot V_s}$$

dans laquelle comme vu précédemment:

p_{ki}^s , les cps d'échantillon de radioélément k, à l'énergie i.

A^{std} , la radioactivité de la source standard k.

p_{ki}^{std} , les cps de la source standard k, à l'énergie i.

Br, le pourcentage de gammas du radioélément k à l'énergie i.

V_s , le volume de l'échantillon.

L'étalonnage est fait avec des sources standards de la même géométrie comme des échantillons. L'efficacité est calculée avec un $\sigma < 2\%$.

La limite inférieure de la détection, à 0,61 MeV, pour un σ et pour chacun des cristaux: NaI, Ge(Li), Ge est 0,52Bq/l, 0,44Bq/l et 0,04 Bq/l, respectivement.

Les résultats sont donnés au Tableau 1.

3. RESULTATS - DISCUSSION

Les résultats obtenus, pour chacune des sources examinées, montrent que:

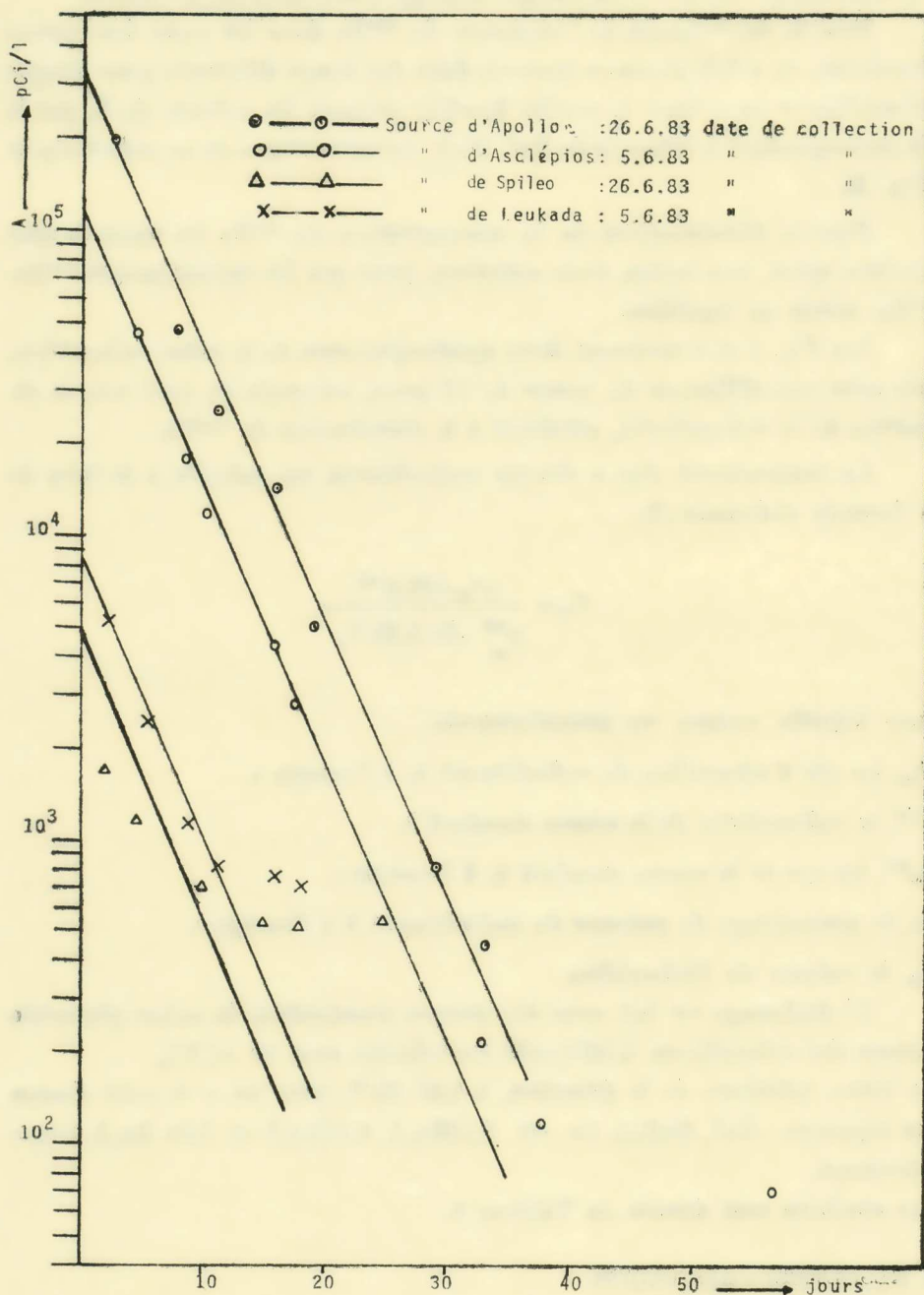


Fig. 2. Décroissance du ^{222}Rn par rapport au temps dans les eaux des sources d'Appolon, d'Asclépios, de Spileo et de Leukada.

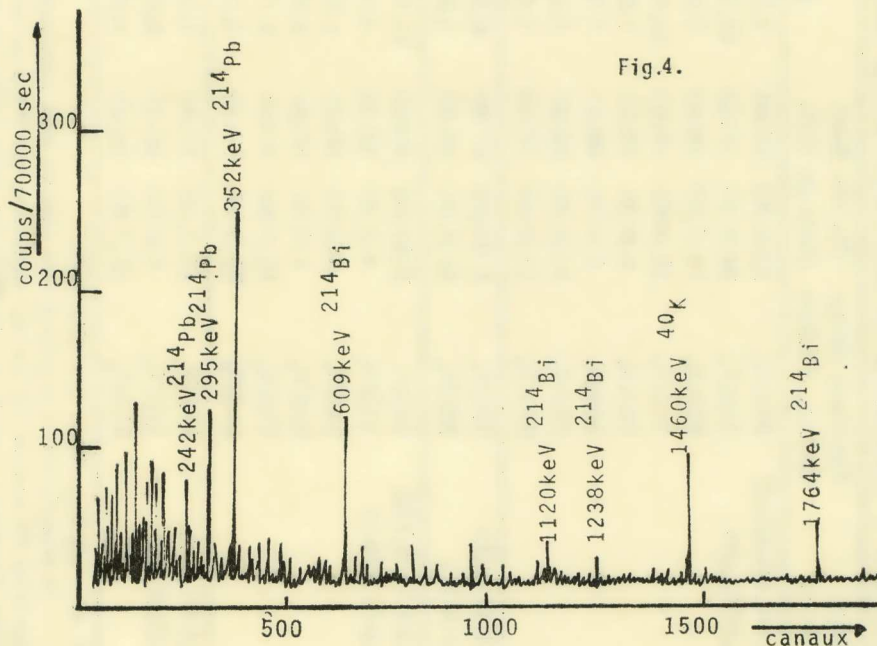
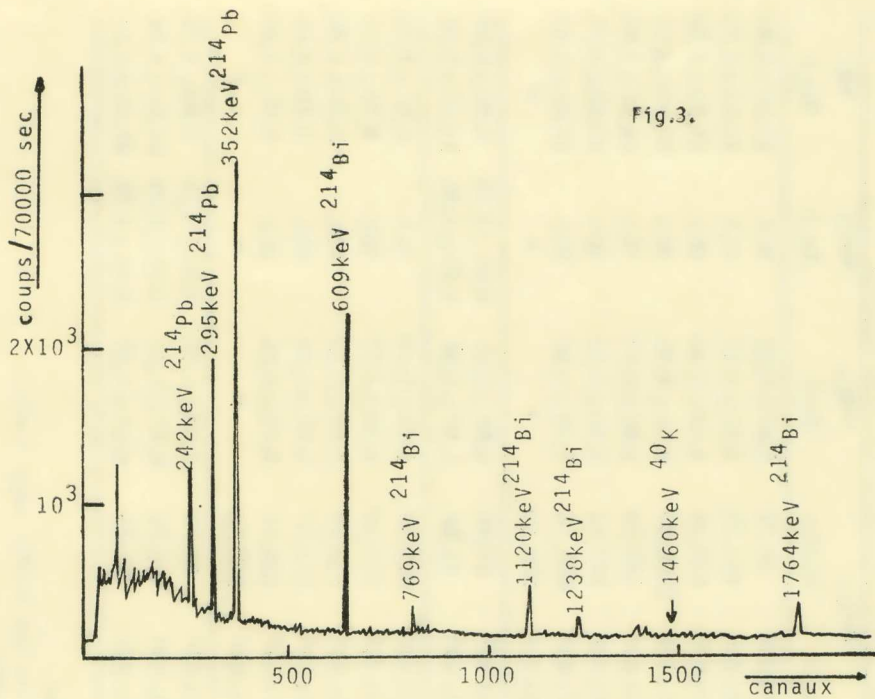


Fig. 3, 4. Deux spectrogrammes de la même échantillon pris avec une différence du temps des 59 jours.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Συγκεντρώσεις φυσικών ραδιοισοτόπων στα νερά των ραδιενεργών πηγών Ν. Ικαρίας.
TABLEAU 1. Concentrations des radioéléments naturels dans les eaux des sources thermales d'Ikaria,

Πηγή Source	Χαρ/σμος Caract. d'échan.	Ημ/νία Date de Coll.	^{222}Rn Bq/l	Mache	^{226}Ra Bq/l	^{208}Tl Bq/l	^{40}K Bq/l
ΑΠΟΛΛΩΝΑΣ APOLLON	ΙΘΑΝ ₁	13/5/82	07:45	96,75	1,67±0,62	MA	13,50±1,80
	ΙΘΑΝ ₂	26/6/83	08:20	944,25	0,66±0,27	MA	16,63±1,75
	ΙΘΑΝ ₃	31/7/83	08:40	528,00	1,49±0,90	MA	15,70±4,88
	ΙΘΑΝ ₄	21/9/83	08:15	2286,00	0,44±0,35	MA	11,58±3,41
	ΙΘΑΝ ₅	5/2/84	08:15	138,52	0,93±0,17	MA	14,38±1,11
	ΙΘΑΝ ₆	1/4/84	08:15	547,11	2,00±0,23	MA	15,83±0,31
	ΙΘΑΝ ₇	31/3/85	08:30	695,34	1,03±0,26	MA	15,11±1,50
	ΙΘΑΝ ₈	25/8/85	07:00	384,19	*	*	*
ΣΠΗΛΑΙΟ SPILEO	ΙΘΣΝ ₁	3/10/82	07:05	19,50	4,89±0,69	0,44±0,11	6,96±1,68
	ΙΘΣΝ ₂	26/6/83	08:10	13,50	4,97±0,36	0,82±0,34	10,48±2,21
	ΙΑΣΝ ₁	3/10/82	08:00	972,00	1,47±0,69	MA	6,27±0,78
	ΙΑΣΝ ₂	5/6/83	08:15	333,00	0,99±0,27	MA	9,72±1,72
	ΙΑΣΝ ₃	5/2/84	08:35	322,49	0,33±0,22	MA	5,36±1,30
	ΙΑΣΝ ₄	1/4/84	08:00	359,67	0,53±0,19	MA	3,19±1,02
ΑΣΚΛΗΠΙΟΣ ASCLEPIOS	ΙΑΣΝ ₅	31/3/85	09:00	522,53	0,63±0,14	MA	5,96±1,36
	ΙΑΣΝ ₆	25/8/85	08:00	283,38	*	*	*
ΛΕΥΚΑΔΑ LEUKADA	ΙΑΕΝ ₁	13/5/82	06:50	18,00	6,89±1,00	0,44±0,25	6,86±1,79
	ΙΑΕΝ ₂	5/6/83	06:45	24,75	6,87±0,36	0,66±0,39	14,50±1,74
	ΙΑΕΝ ₃	31/7/83	06:45	33,00	4,42±0,27	0,96±0,36	15,55±1,50

M. A. = μη ανιχνεύσιμο (no detectable).

* = συνεχίζονται οι μετρήσεις (les mesures sont continuées).

Σημείωση: Το σφάλμα (σ) για την περιποίηση του ^{226}Ra κυμαίνεται από 0,03% μέχρι 0,35%.
(Note: L'erreur σ pour le cas de ^{226}Ra est entre 0,03% et 0,35%.)

a) La concentration du ^{222}Rn (Fig. 5) est plus grande aux eaux des sources d' Apollon et d'Asclépios, jusqu'à deux ordres de magnitude, par rapport aux sources de Spileo et de Leukada.

A la base des concentrations du ^{222}Rn qu'on a déterminé dans cette recherche et tenant compte de la valeur de 100 Mache, posée comme une limite inférieure dans la bibliographie internationale relative (9, 10), on peut dire que les sources d'Apollon et d' Asclépios, dont les eaux incluent du ^{222}Rn en concentration presque une ordre de magnitude plus que la limite ci-dessus, peuvent être caractérisées, comme de sources radioactives fortes. Tandis que les eaux de la source de Leukada, dans lesquelles la concentration du ^{222}Rn est entre 20-100 Mache (c' est-à-dire: entre 266-1333 Bq/l) et les eaux de la source de Spileo, dans lesquelles la concentration de ce radioélément est moins que 20 Mache (<266 Bq/l) peuvent être caractérisées comme de source radioactive medium l'une d'elles et faible l'autre, respectivement.

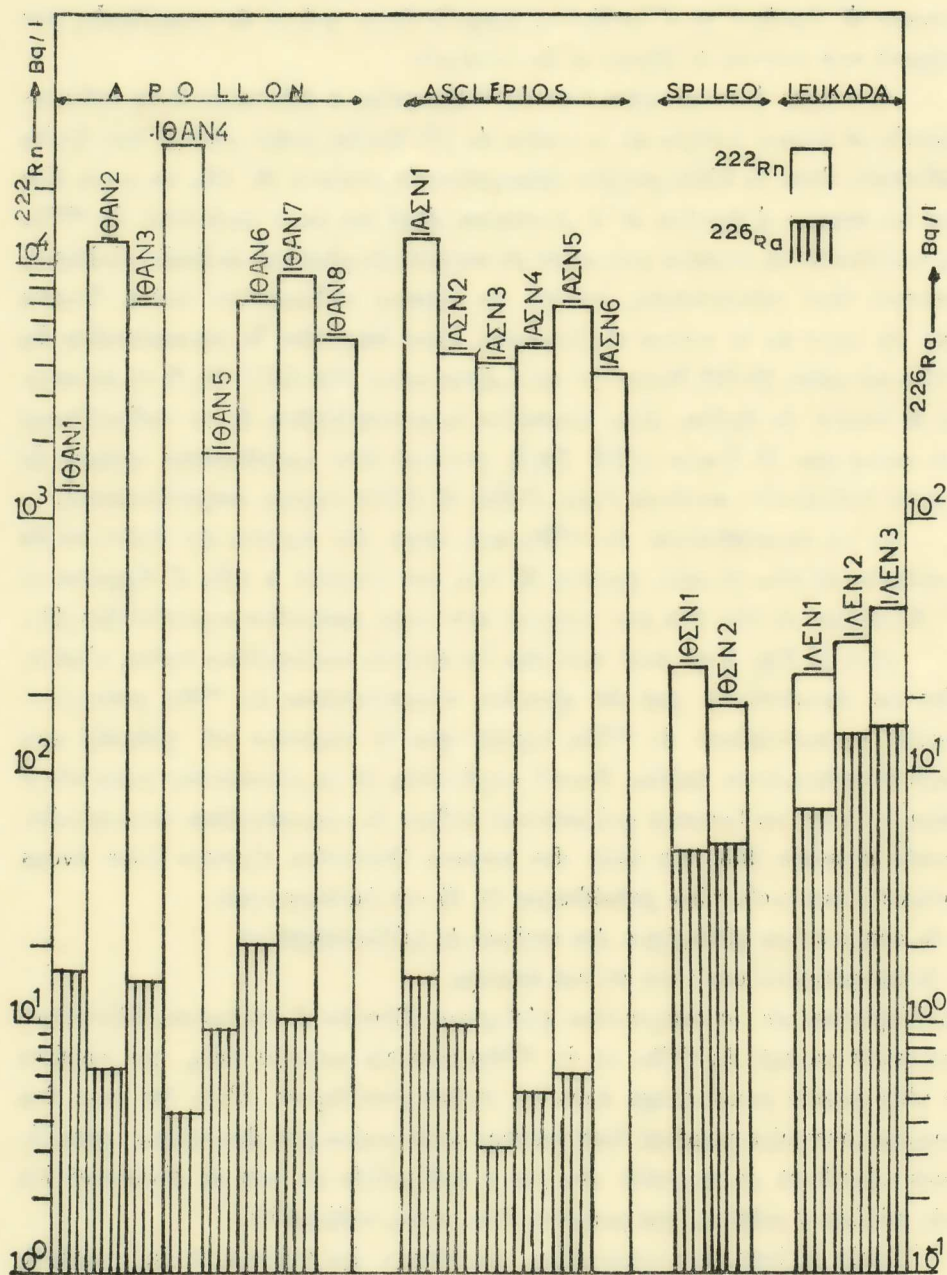
b) La concentration du ^{226}Ra aux eaux des sources de Spileo et de Leukada est plus grande, environ 20 fois, par rapport à celle d' Appolon et d' Asclépios, et 100 fois par rapport aux eaux naturelles superficielles (11).

c) A la Fig. 5 on peut voir que les sources radioactives fortes, c'est-à-dire les caractérisées par de grandes concentrations de ^{222}Rn présentent petites concentrations de ^{226}Ra , tandis que le contraire est présenté aux sources radioactives faibles. Pour l' explication de ce phénomène nous avons examiné tout les facteurs qui peuvent influer la concentration des radioéléments naturels dans les eaux des sources thermales. Comme nous avons prouvé à nos recherches précédentes (5, 6) ces facteurs sont:

- la composition géologique des régions de jaillissement et
- la température des eaux de ces sources.

(i) *l'influence de la composition géologique*: Comme il est connu, l'Uranium qui est le parent du ^{226}Ra et du ^{222}Rn coexiste avec le SiO_2 , qui consiste la plus grande pourcentage dans les roches granitiques. Alors, les eaux des sources thermales pendant leur passage souterraine par des veines granitiques adsorbent de quantité des gazes radioactifs ou non et dissolvent les sels minéraux solubles qui peuvent être, aussi, radioactifs.

Mais, puisque la composition géologique des régions de jaillissement n'est pas, partout, la même, la plus grande concentration du ^{222}Rn que nous avons constaté dans les eaux des sources d' Apollon et d' Asclépios, est due, évidemment, à la plus grande accumulation de ce radioélément dans les vei-

Fig. 5. Concentrations des ^{222}Rn et ^{226}Ra aux thermales d'Ikaria.

nes granitiques, que les eaux de ce source traversent (Fig. 6).

(ii) *l'influence de la température*: Comme on voit dans le Tableau 2, la température des eaux des sources d'Apollon et d'Asclépios est plus basse que celle des sources de Spileo et de Leukada. C'est pour ça que la quantité du résidu est plus petite dans les eaux des sources d'Apollon et d'Asclépios. Par conséquent les eaux des sources d'Apollon et d'Asclépios ont la capacité de dissoudre beaucoup plus grande quantité du gaz ^{222}Rn que les eaux des sources de Spileo et de Leukada. Comme il est évident, les sources de Spileo et de Leukada ont la capacité de dissoudre plus grande quantité de sels minéraux et donc de sels du ^{226}Ra . La raison ci-dessus explique, aussi, l'apparence du ^{208}Tl (fils du ^{232}Th), dans les eaux des sources de Spileo et de Leukada.

TABLEAU 2

Résidu solide à 105° C, Température des eaux, Concentrations du ^{222}Rn et du ^{226}Ra dans les eaux des sources thermales d'Ikaria*.

Source	Résidu solide g/kg *	Température des eaux °C *	^{222}Rn Bq/l X10 ³	^{226}Ra Bq/l
Apollon	29,7116	49,5	1,29-30,48	0,44-2,00
Spileo	41,9724	55,5	0,18- 0,26	4,89-4,97
Asclépios	32,2276	35,5	3,78-12,96	0,33-1,47
Leukada	42,2436	59,0	0,24- 0,44	4,42-6,89

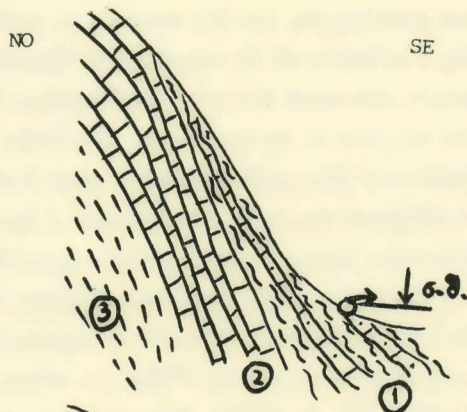
* Bibliographie No 2.

d) Dans les eaux des sources examinées il existe, aussi, le radioélément ^{40}K , en grande concentration. La concentration de ce radioélément est plus grande dans les eaux de source d'Apollon. C'est à cause de grande concentration de K^+ , en relation du résidu solide, qu'il est constaté par l'analyse chimique des eaux de ce source.

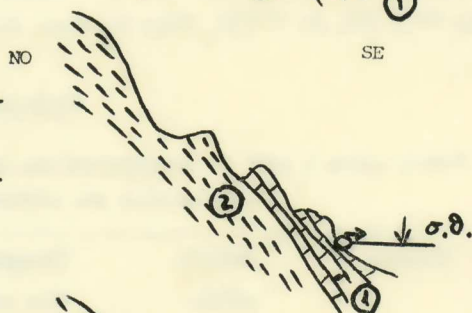
e) Des grandes variations de la concentration du ^{222}Rn et du ^{226}Ra sont remarquées dans les eaux de la source d'Apollon, tant dans les saisons divers de la même année qu'à la même saison des années différentes. C'est évident que c'est à cause de la protection insuffisante (12) de la source et,

APOLLON

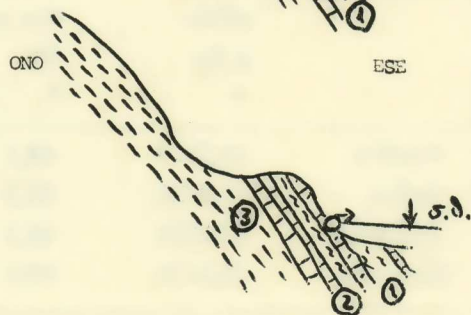
1. Schistes semimetamorphiques à intercalations de marbres et de calcaires.
2. Marbres et dolomies à veines granitiques.
3. Ensemble de gneiss.

*SPILEO*

1. Schistes semimetamorphiques à intercalations de marbres et de calcaires.
2. Marbres et dolomies à veines granitiques.
3. Ensemble de gneiss.

*ASCLEPIOS*

1. Marbres et dolomies à veines granitiques.
2. Ensemble de gneiss.

*LEFKADA*

1. Conglomérats marnés et calcaires d'âge de pliocène.
2. Schistes semimetamorphiques à intercalations de marbres et de calcaires.
3. Marbres et dolomies à veines granitiques.
4. Ensemble de gneiss.
5. Granite.



σ. θ.: niveau de la mer.

Fig. 6. Coupes géologiques des régions de jaillissement des sources thermales de l'île Ikaria.

aussi, du mélange souterrain des ses eaux avec les eaux de la source voisine d'Artémis, dont la radioactivité est trop élevée et pour ça on ne l'utilise pas (13, 14).

4. CONCLUSIONS

De l'analyse des résultats de cette recherche nous avons obtenu les conclusions suivantes:

a. Les sources de l'île Ikaria, Apollon et Asclépios, présentent une très grande concentration de ^{222}Rn . En comptant sur les limites internationales et sur les concentrations de ce radioélément, que nous avons déterminé dans cette recherche, ces sources, peuvent être caractérisée, comme des sources radioactives fortes.

b. Dans les eaux des sources examinées nous avons, aussi, constaté du ^{226}Ra , en grande concentration. La concentration de ce radioélément est très grande, environ 100 fois par rapport aux eaux naturelles, superficielles, particulièrement dans les eaux des sources de Spileo et de Leukada.

c. Les sources qui présentent une concentration du ^{222}Rn élevée, elles présentent une concentration du ^{226}Ra basse, et contrairement. Ce phénomène est dû aux facteurs physiques et géologiques.

d. Le radioélément ^{40}K est présenté, aussi, à concentration élevée, surtout dans les eaux de la source d'Apollon, où sa concentration est 100 fois plus grande par rapport à celle aux eaux naturelles superficielles.

e. Dans les sources moins radioactives, comme celles de Spileo et de Leukada, nous avons détecté de ^{208}Tl (fils de ^{232}Th), aussi.

j. La concentration du ^{222}Rn et du ^{226}Ra dans les eaux des sources radioactives fortes, et surtout d'Apollon, présentent des fluctuations très grandes par rapport à la saison et à l'année.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements et respects sont adressés au Professeur-Académicien Mr George Karagounis pour ses conseils et la communication de cette Etude à l'Académie d'Athènes.

BIBLIOGRAPHIE

1. M. L. Pertessis, Praktika de l'Académie d'Athènes **14**, 155 (1939) (en grec).
2. C. G. Macris, A. C. Macris, B. Stratis, M. N. Economou, J. Panagiotidis et G. Agathoclis, Annuaire Scientifique de la Faculté Physicomathématique de l'Université de Thessalonique **9**, 207 (1965) (en grec).
3. G. Gioni-Stavropoulou, Explorations Hydrologiques et Hydrogéologiques, Num. 39, Institut des Explorations Géologiques et Minéralogiques (1983) (en grec).
4. S. Danali, G. Margomenou, H. Haloulou et K. Veldeki, Compte Rendu du 8ème Congrès Panhellénique de Chimie, Vol. B, pag. 604, Association des Chimistes Grecs, Athènes (1983) (en grec).
5. S. Danali, G. Margomenou and K. Veldeki, Health Phys. **50**, 509, (1986).
6. S. Danali, G. Margomenou et K. Veldeki, Recherche de la Radioactivité Naturelle des Sources Radioactives de la Grèce, Communiqué au Congrès Scientifique International de Municipalités et de Communautés de Sources Curatives de Grèce (à l'occasion de la célébration des 2300 ans de vie de Thessalonique), p. 133, Thessalonique (1986) (en grec).
7. S. Danali, Functional Arrangement and Organizational Problems of a Laboratory for Monitoring the Radioactivity in Biosphere, UCRL-Transl. 1356, University of California, Lawrence Radiation Laboratory, USA (1967).
8. S. Danali, Mesures de physique Nucléaire, Manuel, Commissariat à l'Energie Atomique de la Grèce, 2ème éd. (1963) (en grec).
9. N. G. Leoussis, Sources Radioactives de la Grèce, monographie, Athènes (1969) (en grec).
10. I. Uzunov, F. Steilhäusler and E. Pohl, Health Phys. **41**, 807 (1981).
11. J. N. Andrews and D. F. Wood, Health Phys. **27**, 307 (1974).
12. G. Margomenou-Leonidopoulou, Compte Rendu du 7ème Congrès Panhellénique de Chimie, Vol. A, p. 185, Association des Chimistes Grecs, Ioannina (1982) (en grec).
13. M. Garagounis, Modelling, Simulation and Control. Vol. 2, No. 2, p. 39, C, AMSE Press, France (1985).
14. C. Garagounis, Geologica Balcania **13**, 4, p. 55, Sofia (1983) (in German).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Ἡ φυσικὴ ραδιενέργεια τῶν δημοτικῶν ιαματικῶν πηγῶν λουτροθεραπείας
τῆς νήσου Ἰκαρίας**

Στὴν παροῦσα ἔρευνα ἐξετάζεται ἡ φυσικὴ ραδιενέργεια τῶν δημοτικῶν πηγῶν λουτροθεραπείας τῆς νήσου Ἰκαρίας: Ἀπόλλωνας, Σπηλιά, Ἀσκληπιεὺς καὶ Λευκάδα. Γιὰ τὴν ἐξέταση ἐφαρμόσθηκε γ-φασματοσκοπικὴ ἀνάλυση, ἐργαστηριακὰ (γιὰ πρώτη φορὰ σὲ μελέτῃ ιαματικῶν πηγῶν) καὶ προσδιορίσθηκαν ποιοτικὰ καὶ ποσοτικὰ ὅλα τὰ φυσικὰ ραδιοϊσότοπα ποὺ ὑπάρχουν στὰ νερὰ τῶν πηγῶν αὐτῶν, σὲ δείγματα ποὺ συλλέχθηκαν σὲ διαφορετικὲς ἐποχὲς ἐπὶ τέσσαρα συνεχῆ χρόνια.

Ἀπὸ τὰ ἀποτελέσματα διαπιστώνεται ὅτι:

α) Ἡ ἐμφάνιση φυσικῶν ραδιενεργῶν στοιχείων σὲ σημαντικὲς ποσότητες στὰ νερὰ τῶν πηγῶν ὀφείλεται στὴ γεωλογικὴ σύσταση τῶν περιοχῶν ἀναβλύσεως, ἡ δὲ διαφορὰ τῶν συγκεντρώσεών τους, στὴ διαφορετικὴ γεωλογικὴ δομὴ, κατὰ κύριο λόγο.

β) Οἱ πηγὲς Ἀπόλλωνας καὶ Ἀσκληπιεὺς παρουσιάζουν πολὺ μεγάλη συγκέντρωση ^{222}Rn ὥστε νὰ χαρακτηρίζονται ὡς ἰσχυρὲς ραδιενεργὲς πηγές, σὲ παγκόσμια κλίμακα.

γ) Οἱ πηγὲς Λευκάδα καὶ Σπηλιά παρουσιάζουν πολὺ ὑψηλὴ συγκέντρωση ^{226}Ra . Ἐπίσης στὰ νερὰ τῶν πηγῶν αὐτῶν διαπιστώθηκε καὶ συγκέντρωση ^{208}Tl , ποὺ δηλοῖ τὴν ὑπαρξὴ ^{232}Th .

δ) Ὅλες οἱ πηγὲς ἐμφανίζουν σημαντικὴ συγκέντρωση ^{40}K .

ε) Οἱ ἰσχυρότερες σὲ ^{226}Ra πηγὲς παρουσιάζουν χαμηλὴ συγκέντρωση ^{222}Rn καὶ ἀντιστρόφως. Αὐτὸ ὀφείλεται στὴ διαφορὰ θερμοκρασίας τῶν νερῶν τῶν πηγῶν αὐτῶν, δηλ. οἱ θερμότερες πηγὲς διαλύουν μεγαλύτερη ποσότητα ἀνοργάνων ἀλάτων, ραδιενεργῶν καὶ μὴ, ἐνῶ δὲν συγκρατοῦν μεγάλες ποσότητες τοῦ ἀερίου ^{222}Rn .