MILLOT J. P., RASTOIN J.

Rapport CEA n° 793

Etude des gamma de Naiade.

Sommaire. — Après l'étude des sources de gamma, l'on étudie le flux de gamma de différentes énergies dans la piscine.

La dose biologique peut être obtenue ainsi par le calcul et comparée avec les résultats donnés par les plaques photographiques.

L'influence des photoneutrons est estimée par le calcul et l'on recherche leur influence sur la courbe de flux de neutrons thermiques sur l'axe de la plaque d'uranium, la plaque émettant des neutrons et la plaque protégée par du boral.

1958 3 pages

MILLOT J. P., RASTOIN J.

Report CEA n° 793

Study of γ's in Naiade.

Summary. — Following a study of the gamma sources, the flux of gamma of different energies in the swimming pool is investigated.

The biological dose can thus be obtained by calculation, and compared with the results given by photographic plates.

The influence of photoneutrons is estimated by calculation, and research is being carried ont on their influence on the thermal neutron flux curve on the axis of the uranium plate, with the plate emitting neutrons and with the plate protected by boral.

1958 3 pages

PRÉSIDENCE DU CONSEIL

COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

ETUDE DES GAMMA DE NAÏADE

par

J. P. MILLOT et J. RASTOIN

Rapport CEA n° 793

1958

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY
SERVICE DE DOCUMENTATION
Boîte postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)

- Rapport C.E.A. N° 793 -

Service de la Pile de Fontenay-aux-Roses

ETUDE DES GAMMA DE NAIADE

par

J.P. MILLOT et J. RASTOIN

R. 58.409/ JP

- Février 1958 -

ETUDE DES GAMMA DE NAIADE

RESUME

- Après l'étude des sources de gamma, on étudie le flux de gamma de différentes énergies dans la piscine.

- La dose biologique peut être obtenue ainsi par le calcul et comparée avec les résultats donnés par les plaques photos.

- L'influence des photoneutrons est estimée par le calcul et l'on recherche leur influence sur la courbe de flux de neutrons thermiques sur l'axe de la plaque d'uranium, la plaque émettant des neutrons et la plaque protégée par du boral.

I - SOURCES DE GAMMA.

a) Généralités.

Interviennent les gamma prompts de fission de ZOE et de NAIADE ;

les gamma des produits de fission de ZOE ;

les gamma de capture dans l'aluminium de la cuve et des barres de ZOE ;

Les gamma de capture dans le réflecteur de ZOE ;

les gamma de capture de la colonne thermique.

b) Gamma de la plaque d'uranium.

L'étude du flux sans choc dans la piscine a été faite en assimilant la plaque à une source disque isotrope de puissance $S_A(E)$ placée à la surface inférieure de la plaque :

$$S_A(E) = N \int_0^2 e^{-\mu(2-x)} F(x)dx$$

N nombre de gamma à l'énergie E produits par une fission (Rockwell p. 35) ;

F(x) fonction représentative de la répartition des fissions dans la plaque en fonction de l'épaisseur (note SPFAR-20I) ;

μ Coefficient d'absorption total de l'uranium à l'énergie E

S_A (5) $= 1,66.10^6$ $\gamma/cm^2/s$

S_A (3) $= 1,28.10^6$ $\gamma/cm^2/s$

S_A (2,3) $= 6,9.10^6$ $\gamma/cm^2/s$

S_A (1,5) $= 5,8.10^6$ $\gamma/cm^2/s$

S_A (1) $= 1,59.10^7$

c) <u>Gamma de la pile</u>.

I - Gamma de fission du coeur

On considère le coeur comme un cylindre homogène de hauteur 150cm, de rayon 91,5 cm dans lequel sont également répartis l'uranium des 69 barres de 3,65 cm de diamètre et de 150 cm de hauteur et l'aluminium des gaines de 1,5 mm d'épaisseur.

Lorsque la pile fonctionne à 100 kW, le nombre de fissions par cm^3 du coeur est :

$$\frac{3,1 \times 10^{10} \times P}{V \text{ total}} = \frac{3,1 \times 10^{10} \times 10^5}{\pi \times 150 \times (91,3)^2} = 0,792 \times 10^9 \text{ fissions}$$

E	$\bar{\mu}$	S_V	S_{B_I}
1	0,109	$2,5.10^9$	$2,3.10^{10}$
1,5	0,086	$6,35.10^8$	$7,4.10^9$
2,3	0,068	$6,75.10^8$	$9,9.10^9$
3	0,061	$1,1.10^8$	2.10^9
5	0,055	$1,6.10^8$	$2,9.10^9$

$\bar{\mu}$ représente le coefficient d'atténuation du mélange en cm^{-1}

S_V représente la source de volume en $\gamma/cm^3/s$.

S_{B_I} représente la source équivalente placée à la surface du cylindre en $\gamma/cm^2/s$.

Les γ des produits de fission ne sont pas pris en considération car ils n'interviennent pas pour les calculs qui sont faits pour les γ de 5 MeV.

2 - Gamma de capture des gaines.

Le volume total des gaines est $1{,}93.10^4$ cm^3, soit 0,005 pour cent du volume total.

$$S_V = N\ (E)\,\Phi th\,\Sigma_a\ Al \times 0{,}005$$

E	N(E)	$\bar{\mu}$	S_V	S_{B_2}
5	0,6	0,005	$1{,}2.10^7$	$2{,}2.10^8$
7	0,7	0,051	$1{,}4.10^7$	$2{,}8.10^8$

Φth : flux thermique moyen : $3{,}15.10^{11}$ $n/cm^2/s$.

N (E) représente le nombre de photons par capture Σ_a Al = 0,013

S_{B_2} représente la source de surface équivalente placée à la surface du cylindre.

3 - Gamma de capture de la cuve.

La cuve d'aluminium a 8 mm d'épaisseur

Le flux thermique sur la cuve à 100 kW étant égal à 3.10^{11} d'après la note S.P.F.A.R. de MM. A. ERTAUD et R. BEAUGE, on entire la valeur de la source de surface constituée par la cuve.

E	S_{B_3}
5	$1{,}9.10^9$
7	$2{,}2.10^9$

d'ou la source totale de surface équivalente : $S_B = S_{B_1} + S_{B_2} + S_{B_3}$

d) Gamma de capture de réflecteur.

Le flux thermique dans le réflecteur est donné par la note de A. ERTAUD - R. BEAUGE

La source plane équivalente, placée à la surface extérieure du réflecteur, a une valeur S_C

$$S_C = \Sigma_a N \int_{91,3}^{181,3} \phi(r)\, e^{-\mu (181,3 - r)} dr = 2,5 \times 10^8 \gamma/cm^2/s.$$

N = 1 γ de 5 MeV par capture

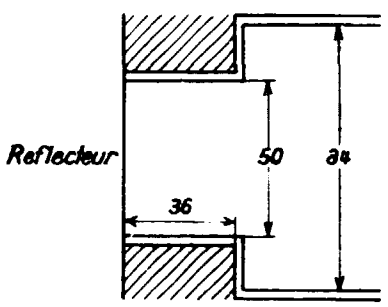
μ = 0,046 cm^{-1}

Σ_a = $2,5.10^{-4} cm^{-1}$

ρ = 1,67 (densité du graphite)

e) Gamma de capture de la colonne thermique.

Le calcul est fait pour les captures se produisant dans l'épaisseur de béton de 36 cm, de section 84 x 84. On ne tient pas compte des γ de capture dans l'acier dont l'évaluation est très délicate et qui de plus sont très atténués par le fer en sortant obliquement des plaques.



La source de surface à la sortie du béton est :

$$S_D = \Sigma_a N(E) \int_0^{36} \phi th\, e^{-\mu_b (36-x)} dx$$

Σ_a = 0,01 cm^{-1}

E (MeV)	3	5	7
N (E)	0,76	0,64	0,3

μ_b = 0,06 (valeur moyenne pour les γ de 5 et 7 MeV)

S_D = N(E) $5,7.10^7$ $\gamma/cm^2/s$.

f) Flux dans la piscine.

Flux sans choc

$$\phi(x, E) = S_A e^{-bA} \times \pi.900 \frac{e^{-\mu_e x}}{4\pi(7+x)^2}$$

$$+ S_B e^{-bB} \times 2\,500 \frac{e^{-\mu_e x}}{4\pi(157+x)^2}$$

$$+ S_C e^{-bC} \times 2\,500 \frac{e^{-\mu_e x}}{4\pi(157+x)^2}$$

$$+ S_D e^{-bC} \times 4\,500 \frac{e^{-\mu_e x}}{4\pi(157+x)^2}$$

μ_e = coefficient d'atténuation de l'eau

bB = bC + 90 μ graph.

= bA + 90 μ graph. + 2 μU

bA = nombre de longueurs de relaxation entre la plaque et l'eau.

II - COURBE DE DOSE.

On utilise le build-up de dose (1) de l'eau correspondant aux longueurs de relaxation au point considéré. La présence de graphite, d'uranium et d'autres matériaux ne semble pas perturber le phénomène

La courbe tracée est en bon accord avec l'expérience.

III - PHOTONEUTRONS.

a) Généralités.

La courbe du flux thermique dans l'axe de la plaque d'uranium change nettement de pente vers 150 cm de la paroi de la piscine. On attribue ce phénomène aux photoneutrons de l'eau lourde contenue dans l'eau légère. Le calcul de la production de ces photoneutrons permet de vérifier cette hypothèse.

---

(1) Rockwell

Le tracé des courbes sans choc montre que dans la région où apparaissent les photoneutrons, seuls les gamma provenant des sources de 5 à 7 MeV interviennent. Les gamma de la plaque interviennent pour moins de 10 pour cent.

b) Flux diffusé jusqu'au seuil d'énergie de la réaction.

La réaction (γ, n) a un seuil à 2,3 MeV. La section efficace nous est fournie par le Reactor Handbook Physics, p. 627.

D'après Rockwell, p. 446, le flux diffusé à l'énergie E au point r

$$\phi(r,E)dE = 0{,}52\ b\ \frac{E_o}{E}\ \phi_o(r,E_o)e^{\alpha(E-E_o)}\ dE$$

E_o = L'énergie de flux sans choc $\phi_o(r, E_o)$

b = nombre de longueurs de relaxation à partir de la source

α = 0,20 pour E_o = 5 et 7 MeV

0,52= facteur tiré des courbes Rockwell.

c) Source de photoneutrons.

$$S_n(r,E_o) = \int_{2,23}^{E_o} \phi(r,E)\ \Sigma_n(E)\ dE + \phi_o(r, E_o)\Sigma_n E_o$$

$$= \chi(r,E_o)\ \phi_o(r,E_o)$$

$$\chi(r,E_o) = 0{,}52\ b\ E_o e^{-\alpha E_o} \int_{2,23}^{E_o} \frac{e^{\alpha E}}{E}\ \Sigma_n(E)\ d\ E + \Sigma_n(E_o)$$

$$\chi(r,5) = 5{,}25 \times 10^{-8} b + 2{,}48 \times 10^{-8}$$

$$\chi(r,7) = 8{,}94 \times 10^{-8} b + 2{,}04 \times 10^{-8}$$

$$\Sigma_n(E) = N'_o\ 10^{-24}\sigma_n(E)$$

$\sigma_n(E)$ = section efficace en barn par atome de deuterium

N nombre d'atomes d'hydrogène par cm^3 d'eau $6,69.10^{22}$ at/cm^3

N' nombre d'atomes de deuterium par cm^3 d'eau $1,035.10^{19}$ at/cm^3

On considère les sources de photoneutrons comme isotropes (Rockwell p. 462) (erreur inférieure à 2 pour cent).

d) Flux de photoneutrons dans l'axe de la plaque.

L'énergie E_n des photoneutrons créés par les gamma d'énergie E est approximativement donnée par :

$$E_n = \frac{2}{3}\left[E - S_n\right]$$

S_n étant le seuil de la réaction (2,23 MeV)

Le spectre de la source est de la forme :

$$N(E)dE = 0,52\ b\Sigma_n(E)\frac{E_o}{E}\ e^{\alpha(E-E_o)}dE + \Sigma_n(E)\int(E-E_o)dE$$

Le spectre varie peu de 150 à 200 cm de la paroi de la piscine.

Les sources de photoneutrons de E à E + dE sont de la forme :

$$K\ DE\ e^{-\ Cr}$$

Une théorie de l'âge faite à partir de ces sources permet d'obtenir les sources de neutrons thermiques à la distance r,

$$S_r = KdEe^{-Cr}\ e^{C^2\tau}$$

comme

$$C < 0,04 \qquad C^2\tau < 0,064$$

$$\tau\ (2\ \text{à}\ 3\ \text{MeV}) \sim 40\ cm^2 \quad e^{C^2\tau} \simeq 1$$

Nous pouvons donc pratiquement considérer les photoneutrons comme à l'énergie thermique.

Les sources de photoneutrons sont :

$$S_r = A\ (E_o)\ e^{-a(E_o)r}\ \chi(b)$$

et, en tenant compte de la diffusion, le flux de photoneutrons est :

$$\Phi\ (r) = \frac{A(E_o)\ e^{-a(E_o)r}}{(\Sigma_a - Da^2)}\ \chi(b)$$

Da^2 est négligeable devant $\sum a = 0,02\ cm^{-1}$

$$\Phi(r) = \frac{A(E_o)e^{-a(E_o)r}}{\sum_a} \chi(b)$$

Les courbes montrent un accord satisfaisant des résultats et du calcul.

BIBLIOGRAPHIE

Rockwell Reactor Shielding Desing Manual

Reactor Handbook Physics.

Manuscrit reçu le 30 Janvier 1958

Echelles logarithmiques

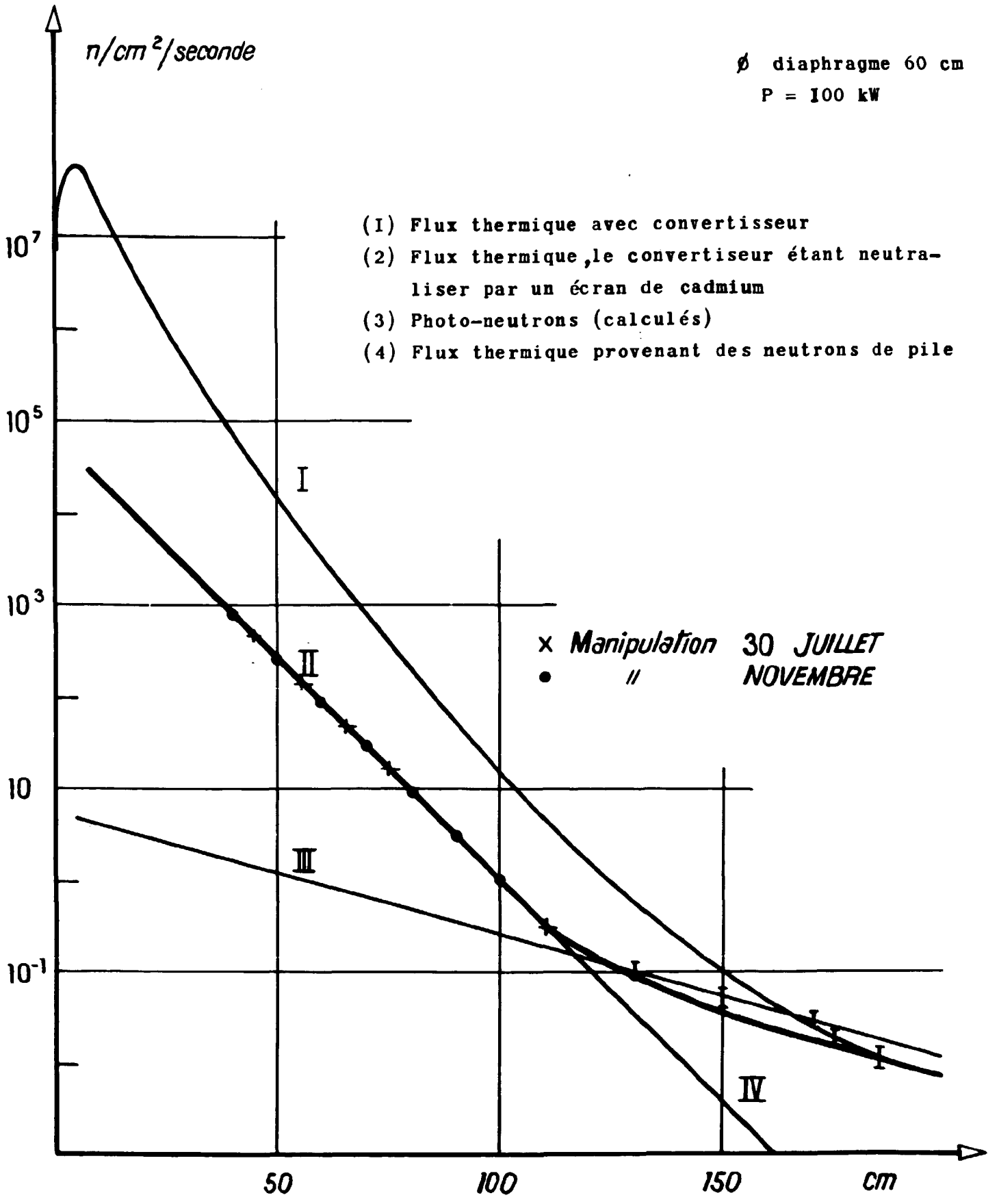
Pour 10 = 4 cm

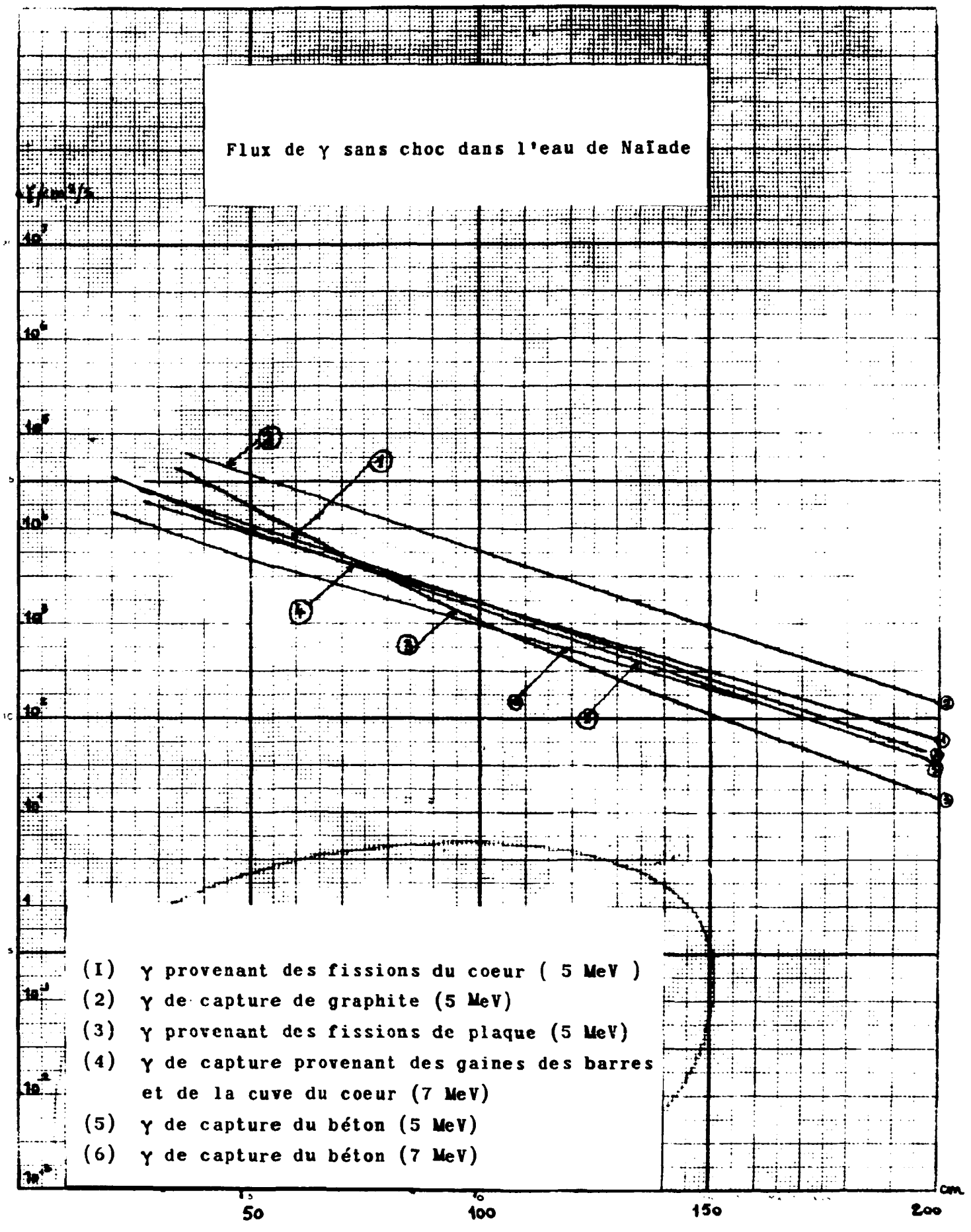
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0,16	0,32	0,45	0,58	0,70	0,82	0,92	1,00	1,12
2	1,20	1,28	1,37	1,45	1,52	1,59	1,66	1,72	1,79	1,85
3	1,91	1,96	2,02	2,08	2,12	2,18	2,22	2,27	2,32	2,36
4	2,41	2,45	2,49	2,53	2,57	2,61	2,65	2,69	2,72	2,76
5	2,80	2,83	2,86	2,90	2,93	2,96	2,99	3,02	3,05	3,08
6	3,11	3,14	3,17	3,20	3,22	3,25		3,30		3,34
7	3,38		3,43		3,48	3,50		3,54		3,59
8	3,61		3,66		3,70	3,72		3,75		3,80
9	3,82		3,86		3,89	3,91		3,95		3,98

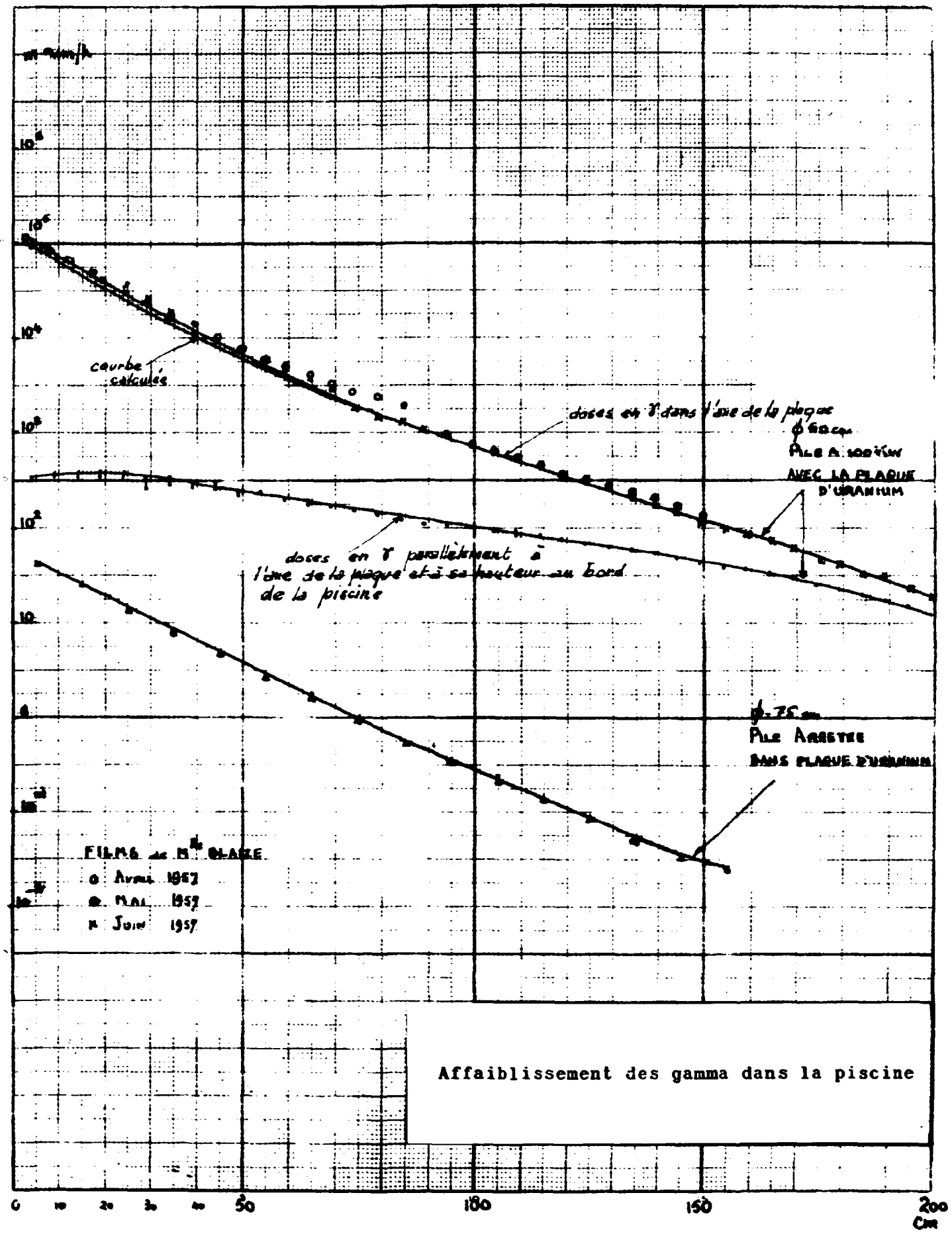
Pour 10 = 2 cm

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0,08	0,16	0,23	0,29	0,35	0,41	0,46	0,51	0,56
2	0,60	0,64	0,68	0,72	0,78	0,80	0,82	0,86	0,89	0,92
3	0,95	0,98	1	1,03	1,06	1,10	1,11	1,13	1,16	1,18
4	1,20	1,22	1,24	1,26	1,28	1,31	1,32	1,34	1,36	1,38
5	1,40	1,41	1,43	1,45	1,46	1,48	1,49	1,51	1,53	1,54
6	1,56	1,57	1,58	1,60	1,61	1,63	1,64	1,65	1,67	1,68
7	1,69		1,71		1,74	1,75		1,77		1,80
8	1,81		1,83		1,85	1,86		1,88		1,90
9	1,91		1,93		1,95	1,96		1,97		1,99

Flux thermique dans l'eau de
Nafade




Flux de γ sans choc dans l'eau de Naïade
γ/cm²/s
10⁷
10⁶
10⁵
10⁴
10³
10²
10¹
1
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
50
100
150
200
cm
(I) γ provenant des fissions du coeur (5 MeV)
(2) γ de capture de graphite (5 MeV)
(3) γ provenant des fissions de plaque (5 MeV)
(4) γ de capture provenant des gaines des barres et de la cuve du coeur (7 MeV)
(5) γ de capture du béton (5 MeV)
(6) γ de capture du béton (7 MeV)



Affaiblissement des gamma dans la piscine

FIN