

FR 8800 114

CEA-R-5398

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

CATALOGUE DE SPECTRES DE NEUTRONS

par

Michel BUXEROLLE - Martine MASSOUTIE - Jacques KURDJIAN

Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire

Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache

RAPPORT CEA-R-5398

PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA

(Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

A 11	Physique théorique	C 30	Utilisation des traceurs dans les sciences de la vie
A 12	Physique atomique et moléculaire	C 40	Sciences de la vie : autres études
A 13	Physique de l'état condensé	C 50	Radioprotection et environnement
A 14	Physique des plasmas et réactions thermonucléaires		
A 15	Astrophysique, cosmologie et rayonnements cosmiques	D 10	Isotopes et sources de rayonnements
A 16	Conversion directe d'énergie	D 20	Applications des isotopes et des rayonnements
A 17	Physique des basses températures		
A 20	Physique des hautes énergies	E 11	Thermodynamique et mécanique des fluides
A 30	Physique neutronique et physique nucléaire	E 12	Cryogénie
		E 13	Installations pilotes et laboratoires
B 11	Analyse chimique et isotopique	E 14	Explosions nucléaires
B 12	Chimie minérale, chimie organique et physico-chimie	E 15	Installations pour manipulation de matériaux radioactifs
B 13	Radiochimie et chimie nucléaire	E 16	Accélérateurs
B 14	Chimie sous rayonnement	E 17	Essais des matériaux
B 15	Corrosion	E 20	Réacteurs nucléaires (en général)
B 16	Traitement du combustible	E 30	Réacteurs nucléaires (types)
B 21	Métaux et alliages (production et fabrication)	E 40	Instrumentation
B 22	Métaux et alliages (structure et propriétés physiques)	E 50	Effluents et déchets radioactifs
B 23	Céramiques et cermets	F 10	Economie
B 24	Matières plastiques et autres matériaux	F 20	Législation nucléaire
B 25	Effets des rayonnements sur les propriétés physiques des matériaux	F 30	Documentation nucléaire
B 30	Sciences de la terre	F 40	Sauvegarde et contrôle
		F 50	Méthodes mathématiques et codes de calcul
C 10	Action de l'irradiation externe en biologie	F 60	Divers
C 20	Action des radioisotopes et leur cinétique		

Rapport CEA-R-5398

Cote-matière de ce rapport : E.40

DESCRIPTION-MATIERE (mots clefs extraits du thesaurus SIDON/INIS)

<i>en français</i>	<i>en anglais</i>
NEUTRONS	NEUTRONS
SPECTRES DES NEUTRONS	NEUTRON SPECTRA
FLUENCE DES NEUTRONS	NEUTRON FLUENCE
DOSIMETRIE DES NEUTRONS	NEUTRON DOSIMETRY
EQUIVALENTS DE DOSES	DOSE EQUIVALENTS

PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA
(Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

A 11	Physique théorique	CEA-R-5398 - BUXEROLLE Michel, MASSOUTIE Martine, KURDJIAN Jacques CATALOGUE DE SPECTRES DE NEUTRONS Sommaire. - Le développement de l'énergie nucléaire a rendu sensible les problèmes de dosimétrie des neutrons. Le plus grand nombre possible de situations d'irradiation a été recensé ; on les présente sous forme d'un recueil de 44 spectres de neutrons. La présentation est faite par graphes, en fonction du logarithme de l'énergie, pour la fluence énergétique et la fluence énergétique pondérée par le facteur de conversion équivalent de dose/fluence. La répartition de l'équivalent de dose est donnée en pourcentage dans 5 groupes d'énergie avec les bornes : 0,01 eV/0,5 eV/50 keV/1 MeV/5 MeV/15 MeV. Pour 1 neutron cm ⁻² , l'équivalent de dose, l'énergie moyenne et l'énergie efficace pour l'équivalent de dose, sont également donnés.	la vie		
A 12	Physique atomique		1987 Commissariat à l'Energie Atomique - France		
A 13	Physique de l'état				
A 14	Physique des plasmas				
A 15	Astrophysique, cosm				
A 16	Conversion directe				
A 17	Physique des basses				
A 20	Physique des hautes				
A 30	Physique neutronique				
B 11	Analyse chimique e				
B 12	Chimie minérale, chi				
B 13	Radiochimie et chir				
B 14	Chimie sous rayonn				
B 15	Corrosion				
B 16	Traitement du com				
B 21	Métaux et alliages (j	CEA-R-5398 - BUXEROLLE Michel, MASSOUTIE Martine, KURDJIAN Jacques CATALOGUE OF NEUTRON SPECTRA Summary. - Neutron dosimetry problems have arisen as a result of developments in the applications of nuclear energy. The largest number of possible irradiation situations has been collected ; they are presented in the form of a compilation of 44 neutron spectra. Diagrams show the variations of energy fluence and energy fluence weighted by the dose equivalent/fluence conversion factor, with the logarithm of the corresponding energy. The equivalent dose distributions are presented as percentages for the following energy bins : 0.01 eV/0.5 eV/50 keV/1 MeV/5 MeV/15 MeV. The dose equivalent, the mean energy and the effective energy for the dose equivalent for 1 neutron cm ⁻² are also given.			
B 22	Métaux et alliages (s		1987 Commissariat à l'Energie Atomique - France		
B 23	Céramiques et cerm				
B 24	Matières plastiques				
B 25	Effets des rayonnem				
B 30	Sciences de la terre				
C 10	Action de l'irradiatic				
C 20	Action des radioisot				

Rapport CEA-R-5398

Cote-matière de ce rapport : E.40

DESCRIPTION-MATIERE (mots clefs extraits du thesaurus SIDON/INIS)

<i>en français</i>	<i>en anglais</i>
NEUTRONS	NEUTRONS
SPECTRES DES NEUTRONS	NEUTRON SPECTRA
FLUENCE DES NEUTRONS	NEUTRON FLUENCE
DOSIMETRIE DES NEUTRONS	NEUTRON DOSIMETRY
EQUIVALENTS DE DOSES	DOSE EQUIVALENTS

- Rapport CEA-R-5398 -

Centre d'Études Nucléaires de Cadarache
Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
Département de Protection Technique
Service d'Instrumentation et de Dosimétrie en Radioprotection
Groupe de Dosimétrie des Neutrons

CATALOGUE DE SPECTRES DE NEUTRONS

par

Michel BUXEROLLE - Martine MASSOUTIE - Jacques KURDJIAN

- SEPTEMBRE 1987 -

I - INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années, la dosimétrie des neutrons était considérée, vis-à-vis de la dosimétrie des photons et des électrons, comme un objectif de moindre importance. Et ce, pour la raison bien simple que les sources de neutrons étaient peu nombreuses et ne posaient généralement pas de problèmes aigus pour la protection du personnel :

- Auprès des réacteurs, les écrans sont largement dimensionnés, quelques difficultés apparaissent seulement auprès des canaux expérimentaux.
- Auprès des accélérateurs, les protections sont également très importantes et, en fonctionnement, l'accès est interdit au voisinage des cibles.
- Les sources de neutrons pour les expérimentations étaient elles-mêmes peu puissantes : sources (α, n) telles que Ra - Be, Am - Be etc... ou (γ, n) telles que Sb - Be ; ces dernières, ainsi que les sources à base de radium suscitent d'ailleurs plus d'ennuis pour la protection γ qu'en ce qui concerne l'émission neutronique.

Mais à l'heure actuelle, avec le développement de l'énergie nucléaire, des problèmes sont apparus et ne concernent plus seulement quelques expérimentateurs mais bon nombre de travailleurs professionnellement exposés.

Dans les centrales à eau légère, le circuit d'eau primaire entraîne des neutrons retardés à l'extérieur des protections ; par effet de ciel autour du puits de cuve, des neutrons diffusent dans l'enceinte du réacteur.

Les perfectionnements apportés à la technologie des combustibles nucléaires ont autorisé des taux de combustion élevés. Il en est résulté une production accrue de transuraniens qui, à l'exception du plutonium - 241, sont des émetteurs alpha parfois très intenses comme le plutonium - 238 ; ce rayonnement entraîne des réactions (α, n) sur l'oxygène des oxydes ou l'aluminium des alliages. Cette production neutronique s'ajoute à celle des fissions spontanées qui concernent sept transuraniens sur dix. En conséquence, des problèmes liés aux neutrons apparaissent lors de la manipulation, du transport et du retraitement des combustibles irradiés.

Dans la filière rapide, le recyclage du plutonium conduit à manipuler, outre le plutonium - 239 tous les autres isotopes et notamment les émetteurs alpha tels que les plutonium - 238, 240 et 242. Ces isotopes sont gênants dans tout le cycle du combustible : fissions spontanées, réactions (α, n) sur le fluor (four de fluoruration), sur l'oxygène des composés chimiques ... Les problèmes de radioprotection apparaissent à tous les stades de la fabrication : boîtes à gants, fours, préparation des assemblages, manutention, stockage, transport ...

Par ailleurs, la production en quantités pondérales de transuraniens spontanément fissiles comme le californium - 252 a mis à la portée des utilisateurs des sources de neutrons intenses et de faible volume qui sont employées pour des examens par neutronographie et pour des usages médicaux.

Peu à peu, la dosimétrie des neutrons est devenue une question à l'ordre du jour et, devant la multiplicité et la variété des cas rencontrés, le Comité d'Instrumentation en Radioprotection -C.I.R.- a demandé le recensement du maximum d'éventualités d'irradiation par les neutrons (le cas des accélérateurs est exclu), ce qui a conduit au «catalogue de spectres de neutrons».

La représentation de la distribution en énergie des neutrons a été choisie à défaut de mesure stable des quantités dosimétriques. En effet, un aspect de la dosimétrie des neutrons réside dans le fait qu'une seule grandeur dosimétrique : le kerma pour un échantillon de tissus dans l'air, est accessible à une mesure directe. Les autres : dose, équivalent de dose, indices de dose ou d'équivalent de dose font intervenir différents facteurs, variable selon le fantôme représentatif du corps humain, la profondeur du point de mesure, l'énergie des neutrons...

Ces facteurs peuvent subir des révisions selon l'évolution des concepts dans la dosimétrie des neutrons. La méthode la plus sûre pour évaluer une grandeur dosimétrique passe par la restitution du spectre des neutrons et le calcul de la grandeur au moyen d'un facteur de conversion.

Pour la radioprotection, l'équivalent de dose est la quantité dosimétrique importante ; soit $h_{\Phi}(E)$ en sievert par neutron. cm^{-2} , le facteur de conversion variable en fonction de l'énergie E des neutrons, et Φ_E le spectre ou fluence différentielle (neutron. cm^{-2}/eV ou MeV), l'équivalent de dose est :

$$H_{\text{Sv}} = \int_{\mathcal{E}} h_{\Phi}(E) \cdot \Phi_E \cdot dE$$

(\mathcal{E} : domaine des énergies du spectre).

La figure 1 montre les facteurs de conversion en fonction de l'énergie des neutrons pour le kerma, la dose et l'équivalent de dose.

2 - REPRESENTATION DES SPECTRES

Dans la plupart des situations rencontrées, les spectres de neutrons présentent une caractéristique essentielle : la dégradation en énergie. En effet, sauf s'il y a des absorbeurs importants comme le cadmium ou le bore, le neutron ne disparaît généralement pas lors des interactions avec la matière. Il perd seulement de l'énergie d'où une accumulation du nombre de neutrons aux faibles énergies jusqu'au stade final qui est l'équilibre thermique avec la matière. L'action des neutrons sur les

tissus humains n'est alors pas négligeable, aussi est-on amené à prendre en compte une échelle d'énergie entre 10^{-3} eV environ et plusieurs dizaines de MeV ou même plus encore selon l'énergie initiale de la source.

L'étendue de l'échelle des énergies a une conséquence immédiate sur la distribution différentielle Φ_E (n.cm⁻²/eV) : il y a un rapport 10^6 entre le domaine de l'électron volt (Spectre de neutrons lents) et le domaine du MeV (Spectre de neutrons rapides). Une combinaison des composantes lentes et rapides, qui est le cas le plus habituel, devient difficile à représenter. Aussi a-t-on recours au changement de variable : $U = \text{Log } E$, assimilable à la variable de léthargie des neutroniciens. Avec cette condition, la distribution en fonction de la variable sans dimension U , devient équivalente au produit : $E \cdot \Phi_E$ et sauf exception (pics étroits) l'amplitude de variation est inférieure à 1.

La grandeur dosimétrique intéressant la radioprotection est l'équivalent de dose. La figure 1 montre que le facteur de conversion équivalent de dose/fluence reste stable, des basses énergies jusqu'à environ 20 keV, puis croît ensuite d'un facteur voisin de 35 entre 20 keV et 1 MeV environ pour ensuite demeurer à nouveau stable jusqu'à des énergies très supérieures à 10 MeV.

La variation brusque et importante de $h_{\Phi}(E)$ suggère de s'intéresser à la distribution de l'équivalent de dose. Dans ce « catalogue de spectres de neutrons », pour chaque cas étudié, on représente simultanément, en fonction de la variable logarithmique U :

- a) - En tracé continu : la distribution de la fluence énergétique pondérée par le facteur de conversion équivalent de dose/fluence c'est-à-dire le produit : $h_{\Phi}(E) \cdot E \cdot \Phi_E$ normalisé à 1 sievert.
- b) - En tracé à tirets : la distribution de la fluence énergétique, c'est-à-dire le produit : $E \cdot \Phi_E$ normalisé à 1 neutron.cm⁻².

L'échelle des abscisses est établie sur 9 modules logarithmiques entre 0,01 eV et 15 MeV ; les énergies sont indiquées, seulement pour le repérage.

Dans la plupart des cas, la partie prépondérante du spectre est due à la composante rapide et reste pratiquement concentrée sur un ou deux modules entre 0,1 MeV et quelques MeV. Dans le but de donner une représentation graphique accordant visuellement une importance suffisante à la zone prépondérante, la dimension des trois modules entre 0,01 MeV et 10 MeV a été prise du même ordre de grandeur que la dimension des six modules entre 0,01 eV et 0,01 MeV.

3 - FORMULATION DES SPECTRES

Au départ, une table d'énergie a été choisie de manière à obtenir un équilibre entre le domaine des neutrons lents et le domaine des neutrons rapides, c'est-à-dire que le nombre de divisions est à peu près équivalent pour les énergies inférieures à 0,1 MeV et pour les énergies supérieures à 0,1 MeV. Les intervalles sont pseudo-logarithmiques pour $E < 0,1$ MeV (10 intervalles par module) et linéaires au dessus de 0,1 MeV.

Cette table d'énergie reste la même pour tous les spectres. Certains, dont les données sont disponibles dans les publications sont introduits point par point après interpolation graphique. La plupart des spectres sont déduits de mesures effectuées avec le système multisphère ou au moyen de détecteurs à activation (SNAC 2).

Dans ces derniers cas, la restitution des spectres est obtenue avec une formulation identique par les codes de calcul MOPAR et SNAC 2. Les spectres sont représentés par une somme de fonctions mathématiques, évolutives grâce à des paramètres ajustés d'après les mesures (MODèles PARAmétrés).

Les spectres modèles retenus sont les suivants :

a) Composante lente (maxwellienne) - $E < 0,1$ eV

$$\Phi_M(E) = \Phi_M \cdot \frac{E}{E_0} \cdot \exp(-E/E_0)$$

avec E en eV.

E_0 = énergie la plus probable du spectre maxwellien est choisie a priori ;

$E_0 = 0,025$ eV pour l'équilibre thermique à 20°C.

Φ_M = fluence maxwellienne, est un paramètre ajusté.

b) Composante intermédiaire - $0,1$ eV $< E < 10$ à 100 keV.

$$\Phi_K(E) = K \cdot \frac{E^b}{E} \left[(1 - \exp(-E^2/E_c^2)) \cdot \exp(-E/E_d) \right]$$

avec E en eV.

L'allure générale est donnée par $K \cdot E^b/E$; la partie entre crochets représente la fonction de raccordement avec le spectre maxwellien et la fin du spectre en 1/E vers les hautes énergies.

E_c^2 et E_d sont choisis a priori ; on a retenu

$E_c^2 = 0,025$ et $E_d = 3 \cdot 10^5$ eV.

K et b sont des paramètres ajustés :

- K représente la fluence de neutrons intermédiaires par intervalle de léthargie (hypothèse : K/E).
- b caractérise la déviation du spectre par rapport au spectre en 1/E considéré comme l'équilibre lors du ralentissement des neutrons.

b > 0 indique un déficit de neutrons par rapport à 1/E (ralentissement dans un milieu lourd, absorption élevée).

b < 0 indique une accumulation de neutrons par rapport à 1/E (diffusions multiples, écrans réflecteurs).

c) Composante rapide - E > 10 à 100 keV

On utilise suivant les cas, deux formules :

$$\Phi_R(E) = C \cdot E^\alpha \cdot \exp(-\beta \cdot E^\lambda)$$

ou

$$\Phi_R(E) = C' \cdot E^{(\alpha + \gamma E)} \cdot \exp(-\beta \cdot E)$$

avec E en MeV.

C ou C', α , β , λ ou γ sont des paramètres ajustés.

C ou C' sont liés à la fluence de la composante rapide.

α , β , λ ou γ restituent la forme du spectre rapide.

Pour un spectre de fission de l'uranium - 235 on a :

$$\alpha = 0,5 ; \quad \beta = 0,775 ; \quad \lambda = 1 \text{ ou } \gamma = 0$$

Si $\Phi_R(E)$ est exprimé en n. cm⁻²/eV on a :

$$C = C' = 10^{-6} \cdot \Phi_f \cdot \frac{2\beta^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\pi}} = 10^{-6} \cdot 0,77 \cdot \Phi_f$$

Φ_f est la fluence de fission.

Pour la fission spontanée du californium - 252 on a :

$$\alpha = 0,5 ; \quad \beta = 0,704 ; \quad \lambda = 1 \text{ ou } \gamma = 0 \text{ avec}$$

$$C = C' = 10^{-6} \cdot 0,67 \cdot \Phi_f$$

Les paramètres λ ou γ permettent de prendre en compte les perturbations des spectres de fission et notamment les « queues » à haute énergie lors de la dégradation des spectres par ralentissement des neutrons.

La distribution spectrale est la somme des trois composantes :

$$\Phi_E = \Phi_M(E) + \Phi_K(E) + \Phi_R(E)$$

4 - CALCUL DES GRANDEURS DOSIMÉTRIQUES

Rappelons que la grandeur dosimétrique ayant une importance majeure en radioprotection est l'équivalent de dose. Pour les différents spectres, le graphe en tracé continu est avec une variable logarithmique en abscisse, la représentation de :

$$\frac{h_{\Phi}(E) \cdot E \cdot \Phi_E}{\int_{E_m}^{E_M} h_{\Phi}(E) \cdot \Phi_E \cdot dE} = \frac{h_{\Phi}(E) \cdot E \cdot \Phi_E}{H}$$

$E_m = 0,01$ eV et $E_M = 15$ MeV sont les bornes inférieure et supérieure du domaine \mathcal{E} des énergies. Pour chaque spectre, on fait également figurer dans un petit tableau, la répartition de l'équivalent de dose en pourcentage de l'équivalent de dose total dans cinq bandes d'énergie E_i à E_{i+1} soit :

$$p_i (\%) = \frac{100}{H} \int_{E_i}^{E_{i+1}} h_{\Phi}(E) \cdot \Phi_E \cdot dE$$

Les intervalles d'énergie sont les suivants :

- 0,01 eV à 0,5 eV (coupure cadmium) : neutrons thermiques.
- 0,5 eV à 50 keV (limite pratique des réaction $\{n, p\}$ décelables dans les compteurs à protons) : neutrons intermédiaires, domaine dans lequel le facteur de conversion $h_{\Phi}(E)$ est à peu près stable.
- 50 keV à 1 MeV : neutrons rapides, domaine correspondant à une forte évolution de $h_{\Phi}(E)$ (facteur 35).
- 1 MeV à 5 MeV : neutrons rapides, $h_{\Phi}(E)$ stable.
- 5 MeV à 15 MeV : neutrons rapides, $h_{\Phi}(E)$ stable.

N.B. : La répartition en % est arrondie au chiffre entier le plus proche : la somme des % n'est pas toujours exactement égale à 100.

Cette répartition de l'équivalent de dose permet d'avoir rapidement une idée du domaine d'énergie pour lequel l'action des neutrons est prépondérante. Cette information est intéressante pour établir une relation entre les résultats de dosimètres différents (émulsion nucléaire et dosimètre à albedo, par exemple) et les raccorder à l'équivalent de dose réel.

En-dessous du tableau de répartition figurent aussi :

- Le facteur de conversion moyen en Sv/1 neutron. cm⁻² soit :

$$\bar{h}_{\phi} = \frac{\int_{E_m}^{EM} h_{\phi}(E) \cdot \phi_E \cdot dE}{\int_{E_m}^{EM} \phi_E \cdot dE} = \frac{H}{\Phi}$$

- L'énergie efficace en MeV :

$$\bar{E} = \frac{\int_{E_m}^{EM} h_{\phi}(E) \cdot E \cdot \phi_E \cdot dE}{\int_{E_m}^{EM} h_{\phi}(E) \cdot \phi_E \cdot dE}$$

La première de ces grandeurs : \bar{h}_{ϕ} , permet de passer directement de la fluence à l'équivalent de dose mais une telle évaluation exige des précautions. Deux situations semblables sont difficilement comparables selon l'absence ou la présence d'écrans réflecteurs, murs en béton par exemple, qui augmentent la fluence par des neutrons diffusés à basse énergie sans incidence notable sur l'équivalent de dose.

L'énergie efficace est utile pour caractériser le spectre des neutrons et leur action sur l'organisme, cette grandeur est généralement assez peu affectée par la proportion de rayonnement diffusé. L'énergie efficace ne permet pas d'évaluer un facteur de conversion moyen ; elle représente seulement, sur l'échelle des énergies, le barycentre de la distribution : $h_{\phi}(E) \cdot E \cdot \phi_E$.

Le graphe en tracé à tirets représente pour 1 neutron. cm⁻² la distribution de la fluence énergétique soit :

$$\frac{E \cdot \phi_E}{\int_{E_m}^{EM} \phi_E \cdot dE} = \frac{E \cdot \phi_E}{\Phi}$$

Au bas du tableau, on a fait paraître l'énergie moyenne du spectre :

$$\bar{E} = \frac{\int_{E_m}^{EM} E \cdot \phi_E \cdot dE}{\Phi}$$

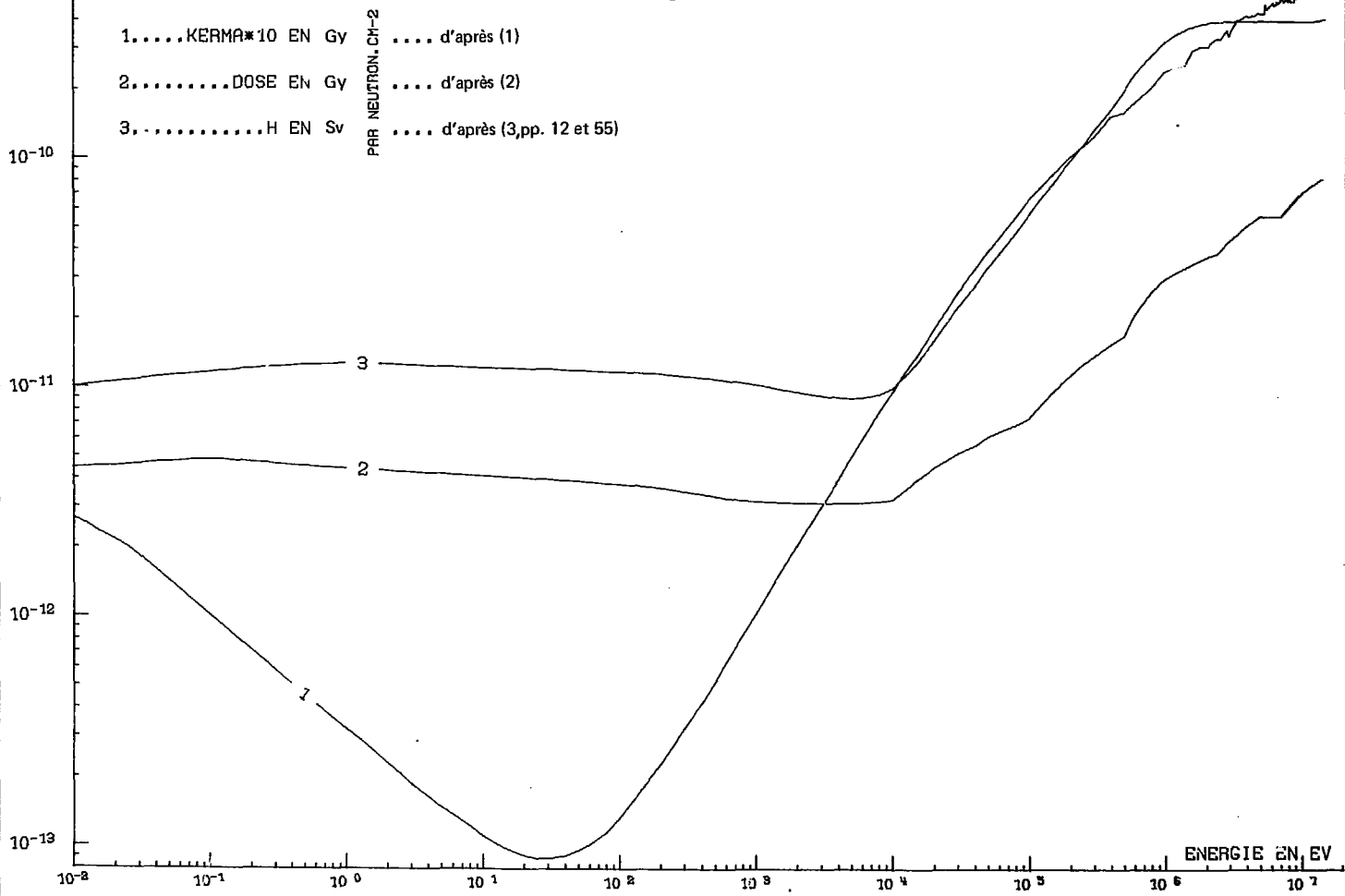
Cette énergie moyenne est différente de l'énergie efficace. Lorsque \bar{E} est proche de \bar{E} , cela signifie simplement que le spectre des neutrons est groupé dans un domaine d'énergie où $h_{\phi}(E)$ reste à peu près stable :

- soit à basse énergie, $E < 20$ keV
- soit à haute énergie, $E > 1$ MeV.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENT (ICRU). Neutron fluence, neutron spectra and kerma (ICRU report 13) Washington : ICRU, 1969, et ORNL - DWG - 68 - 4673.
- (2) AUXIER J.A., SNYDER W.S., JONES T.D. Neutron interactions and penetration in tissue. In : Radiation dosimetry (ATTIX F.H., ROESCH W.C., Eds). New York : Academic Press, 1968, Vol. 1, p. 275.
- (3) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). Data for protection against ionizing radiation from external sources, supplement to ICRP Publication 15. Oxford : Pergamon Press, 1973.
- (4) ZABOROWSKI H.L. Programme sphères. Détermination de la fraction neutronique d'une source $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ pour $E_n < 1,5 \text{ MeV}$ - Application aux sources $^9\text{Be} (\alpha, n)$. Note CEA - N - 2243, 1975.
- (5) ZABOROWSKI H.L. : Projet $^{252}\text{Cf} - \text{D}_2\text{O}$. Le système multiphère de dosimétrie neutron (S.M. - D.S.N.). Etudes d'applications à la radioprotection. Note CEA - N - 1916, 1976.
- (6) DICKSON H.W., GILLEY L.W. Personnel dosimetry intercomparison studies at the ORNL Health Physics research reactor. In : National and international standardization of radiation dosimetry, Atlanta, 1977. Vienne : AIEA, 1977, vol. 1, 491-509.

- Figure 1 -



LISTE DES SPECTRES DE NEUTRONS

- 1 - Spectre de source Am - Be
- 2 - Source Am - Be 15 Ci dans sphère polyéthylène 15 pouces
- 3 - SIGMA - 6 sources Am - Be 16 Ci dans cube graphite 1,5 m d'arête
- 4 - Californium - 252 - Fission spontanée. Spectre calculé
- 5 - Californium - 252 - Cellule LMRI d = 2 m
- 6 - Californium - 252 - Cellule ETCA d = 1,5 m
- 7 - Diffusé par l'environnement d'une source californium - 252
- 8 - Californium - 252 dans sphère d'eau lourde R = 20 cm. Spectre calculé
- 9 - Californium - 252 dans sphère d'eau lourde R = 20 cm - Mesures multisphère
- 10 - Source Am - Li - D = 40 cm
- 11 - Source Sb - Be sous 35 cm de plomb
- 12 - Spectre HPRR sans protection
- 13 - Spectre HPRR avec écran lucite (12 cm)
- 14 - Spectre HPRR avec écran acier (13 cm)
- 15 - Spectre HPRR avec écran béton (20 cm)
- 16 - Valduc - Silène sans écran - d = 4 m
- 17 - Valduc - Silène avec écran de plomb 10 cm - d = 4 m
- 18 - Valduc - Silène avec écran de plomb 10 cm - d = 8 m
- 19 - Valduc - Silène avec écran béton 50 cm - d = 4 m
- 20 - Valduc - Silène avec écran béton 75 cm - d = 11 m
- 21 - Valduc - Silène avec écran Pb 10 cm et écran béton (20 cm) - d = 2 m
- 22 - Circuit d'eau primaire d'un P.W.R.
- 23 - Tricastin - Plancher de service
- 24 - Tihange - Niveau inférieur
- 25 - Tihange - Niveau intermédiaire
- 26 - Tihange - Niveau sas personnel
- 27 - La Hague - Emballage de transport sous eau. d = 40 cm
- 28 - La Hague - Conteneur LEMER LK 100 - d = 1 m
- 29 - Plutonium - 240 - Fission spontanée - Spectre calculé
- 30 - Marcoule - Lingot de plutonium métal - d = 60 cm
- 31 - Marcoule - Masse de Pu O₂ - d = 60 cm
- 32 - Marcoule - Pu F4 - d = 40 cm
- 33 - Valduc - Oxalate de plutonium - d = 30 cm
- 34 - Cadarache - Pu O₂ eau légère - Cage de transport - d = 40 cm
- 35 - Cadarache - Pu O₂ eau légère en boîte à gants - d = 60 cm
- 36 - Cadarache - Pu O₂ fort taux de combustion - Boîte à gants - d = 60 cm
- 37 - Cadarache - Faisceau Super - Phénix - d = 60 cm

- 38 - Cadarache - Faisceau Super - Phénix - Protection neutrophage 5 cm -
d = 60 cm
- 39 - Cadarache - Solution de plutonium - d = 40 cm
- 40 - Cadarache - Stockage de matières de base
- 41 - Cadarache - Oxyde de plutonium
- 42 - Cadarache - Oxyde de plutonium avec béton neutrophage 7 cm
- 43 - CENFAR - Candide - Laboratoire des transuraniens
- 44 - CENFAR - Candide - Laboratoire des transuraniens

H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 1 - SPECTRE DE SOURCE AM/BE

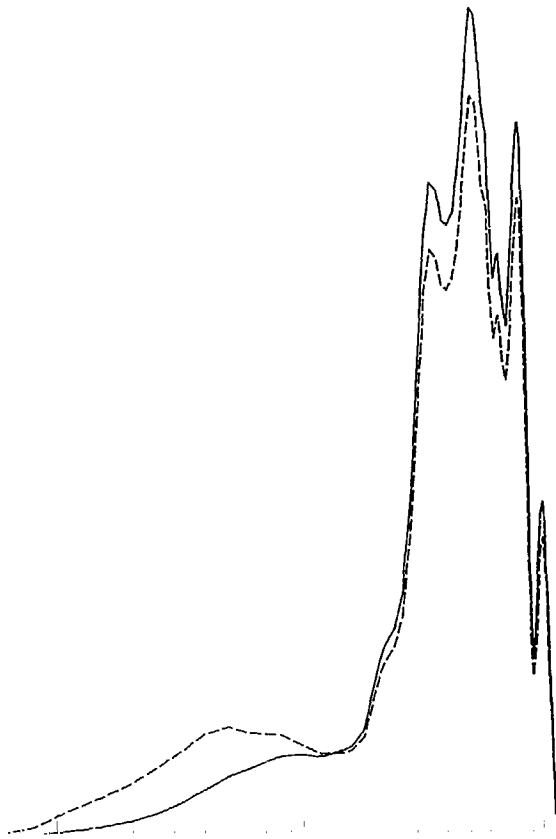
E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

d'après (4)

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 0
0.5 EV....50 KEV = 0
50 KEV.....1 MEV = 9
1 MEV.....5 MEV = 50
5 MEV.....15 MEV = 41

H EN SV/1 N.CM-2 = 3.647E-10
ENERGIE EFFICACE = 4.581 MEV
ENERGIE MOYENNE = 4.144 MEV



H.E.PHI_E ————— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 2 - SOURCE AM-BE 15 CI DANS SPHERE POLYETHYLENE 15 POUCES

E.PHI_E ----- (PHI_T = 1 N.CM-2)

S.P.R. LA HAGUE - MULTISPHERE D=50 CM ENTRE CENTRES

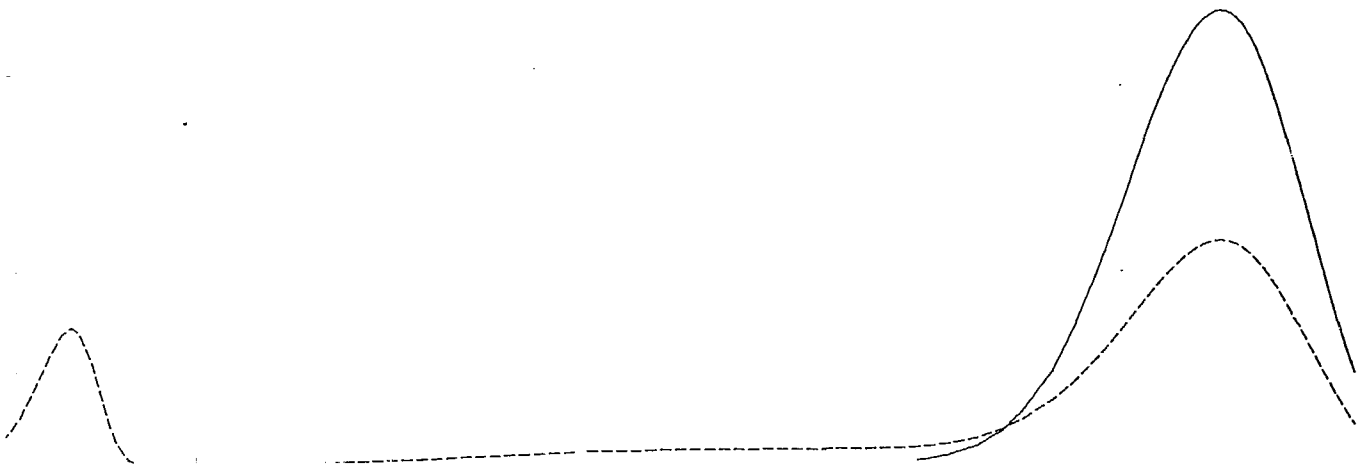
REPARTITION DE H EN P.CENT

0,01 EV....0,5 EV = 1
0,5 EV.....50 KEV = 1
50 KEV.....1 MEV = 10
1 MEV.....5 MEV = 57
5 MEV.....15 MEV = 31

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.054E-10

ENERGIE EFFICACE = 4.085 MEV

ENERGIE MOYENNE = 2.091 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 3 - CADARACHE - 6 SOURCES AM-BE 16 CI DANS CUBE GRAPHITE (1,5 M)***3

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - SIGMA - D=50 CM FACE W

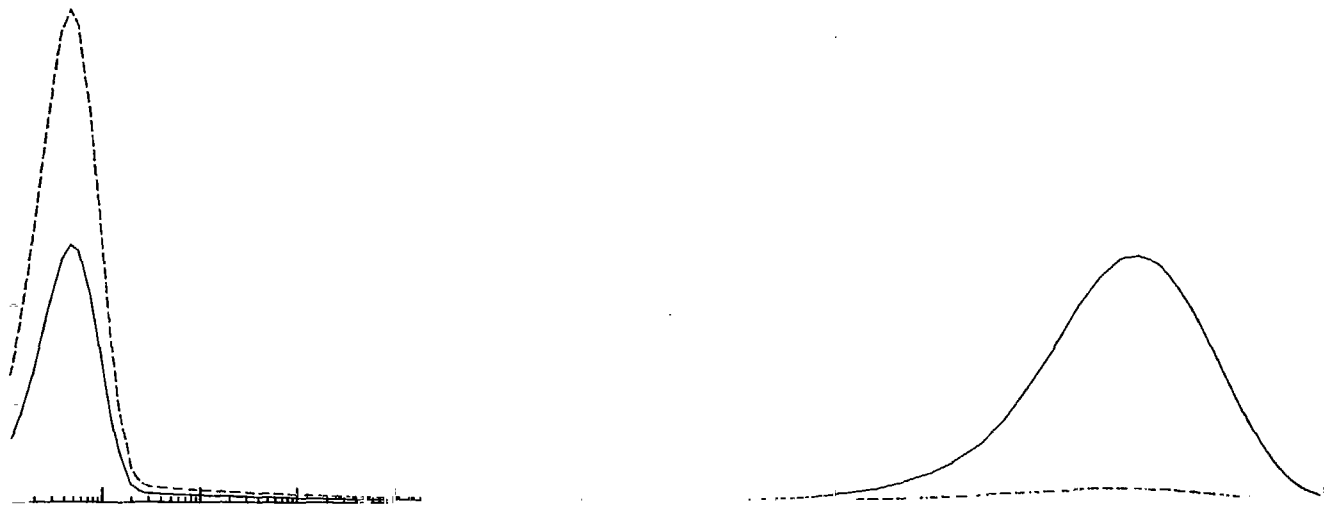
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 46
0.5 EV.....50 KEV = 4
50 KEV.....1 MEV = 15
1 MEV.....5 MEV = 32
5 MEV.....15 MEV = 2

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.137E-11

ENERGIE EFFICACE = 0.961 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.056 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 4 - CALIFORNIUM-252 - FISSION SPONTANEE

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

SPECTRE CALCULE AVEC ALPHA=0.54BETA=0.704GAMMA=0

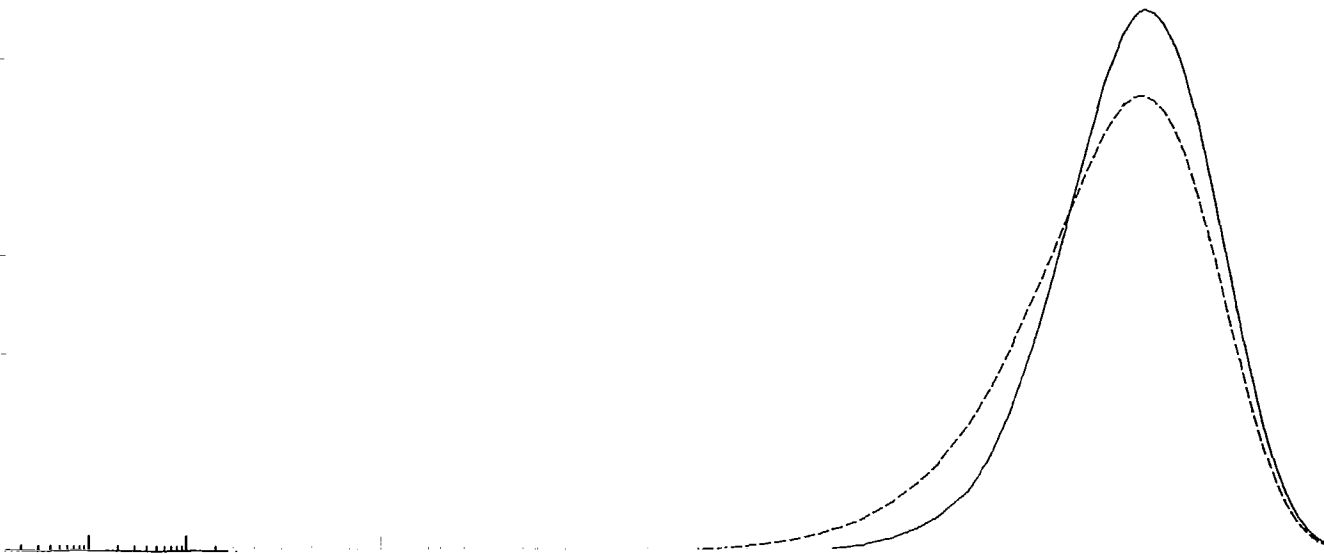
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 0
0.5 EV....50 KEV = 0
50 KEV.....1 MEV = 18
1 MEV.....5 MEV = 73
5 MEV.....15 MEV = 9

H EN SV/1 N.CM-2 = 3.367E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.453 MEV

ENERGIE MOYENNE = 2.131 MEV



H.E. PHI_E ——— ($H_T = 1 \text{ SV}$)

SPECTRE NUMERO 5 - CALIFORNIUM-252 - CELLULE L.M.R.I. D=2 M

E. PHI_E - - - - - ($\text{PHI}_T = 1 \text{ N. CM}^{-2}$)

MULTISPHERE

REPARTITION DE H EN P. CENT

0.01 EV.....0.5 EV = 1

0.5 EV.....50 KEV = 1

50 KEV.....1 MEV = 19

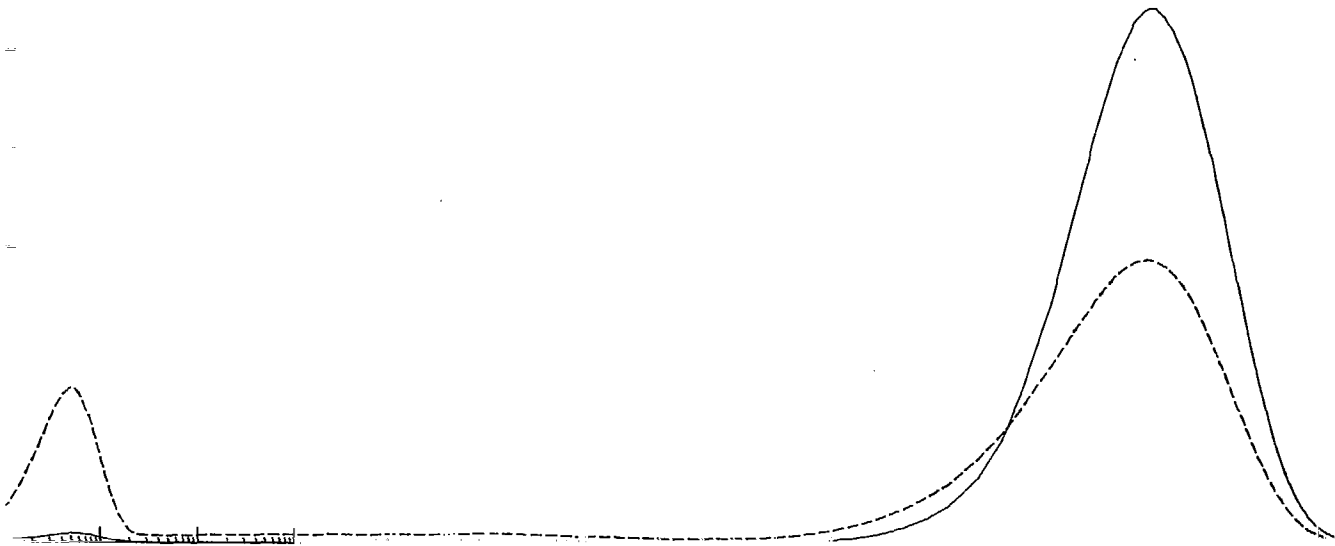
1 MEV.....5 MEV = 72

5 MEV.....15 MEV = 7

H EN SV/1 N. CM⁻² = 2.113E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.281 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.251 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 6 - CALIFORNIUM-252 - CELLULE E.T.C.A.

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - D=150 CM

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 1

0.5 EV.....50 KEV = 1

50 KEV.....1 MEV = 25

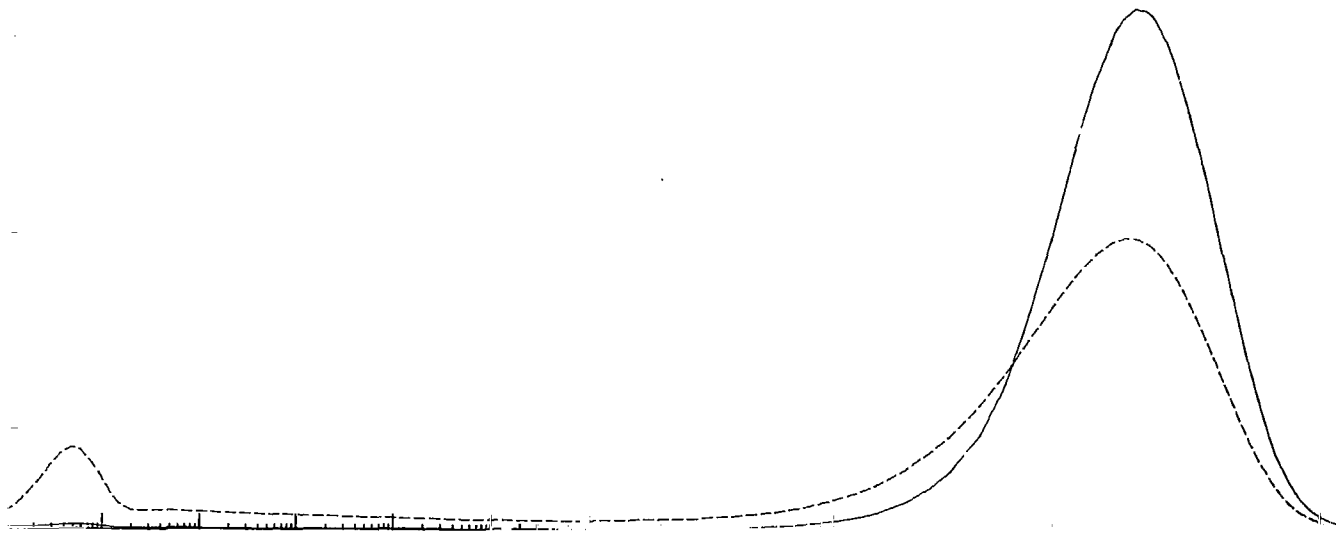
1 MEV.....5 MEV = 68

5 MEV.....15 MEV = 5

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.178E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.030 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.172 MEV



H.E. Φ_{I_E} ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 7 - DIFFUSE PAR L ENVIRONNEMENT D UNE SOURCE CALIFORNIUM-252

E. Φ_{I_E} - - - - - (PHI_T = 1 N. CM-2)

MULTISPHERE - MESURES AVEC CONE D OMBRE

REPARTITION DE H EN P. CENT

0.01 EV....0.5 EV = 11

0.5 EV.....50 KEV = 3

50 KEV.....1 MEV = 49

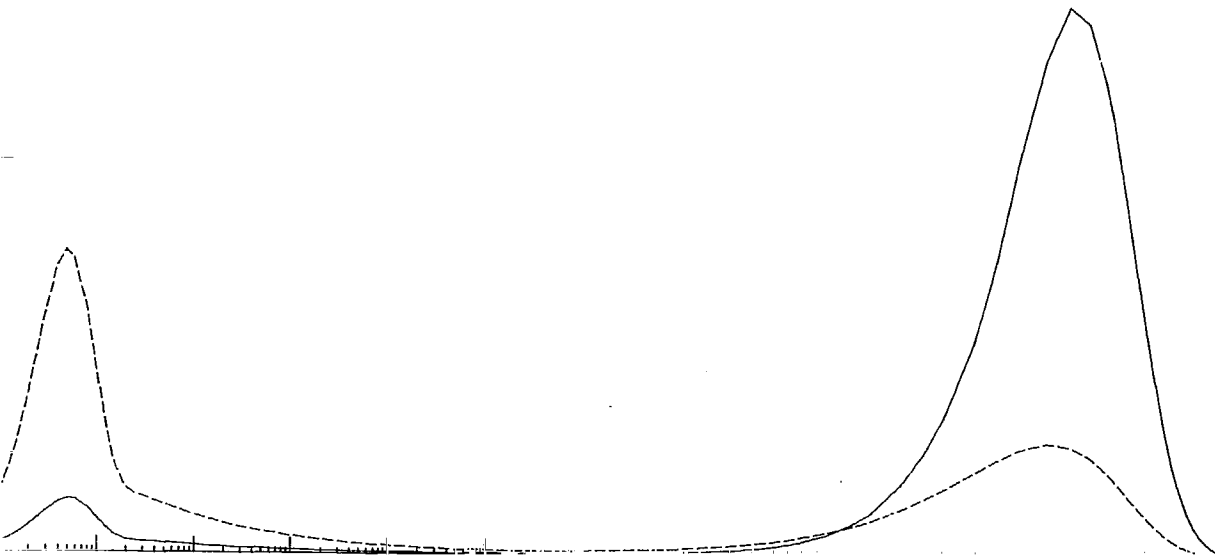
1 MEV.....5 MEV = 37

5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N. CM-2 = 6.418E-11

ENERGIE EFFICACE = 0.859 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.180 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 8 - CALIFORNIUM-252 DANS SPHERE D20 R=20 CM

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

d'après (5)

REPARTITION DE H EN P. CENT

0.01 EV....0.5 EV = 6

0.5 EV.....50 KEV = 12

50 KEV.....1 MEV = 16

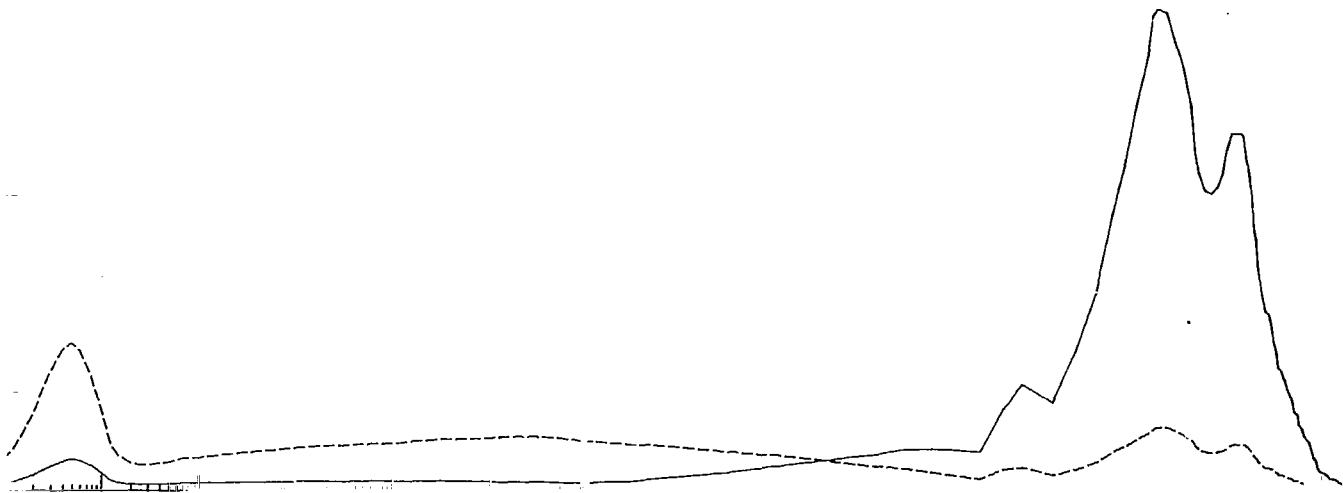
1 MEV.....5 MEV = 55

5 MEV.....15 MEV = 10

H EN SV/1 N.CM-2 = 5.357E-11

ENERGIE EFFICACE = 2.148 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.299 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 9 - CALIFORNIUM-252 DANS SPHERE D20 R=20 CM

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - D=70 CM ENTRE CENTRES

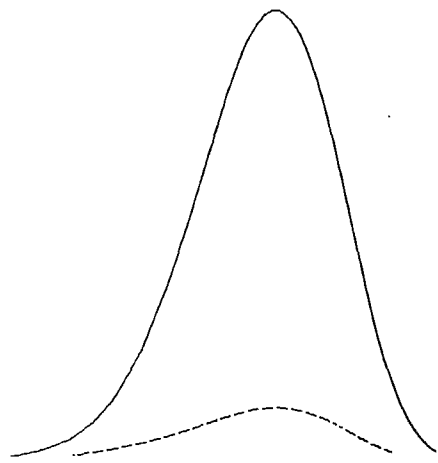
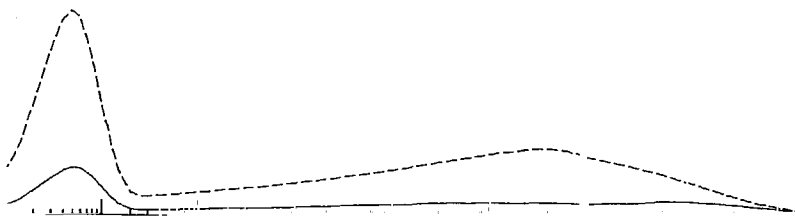
REPARTITION DE H EN P. CENT

0.01 EV....0.5 EV = 9
0.5 EV....50 KEV = 12
50 KEV.....1 MEV = 8
1 MEV.....5 MEV = 59
5 MEV.....15 MEV = 12

H EN SV/1 N.CM-2 = 4.864E-11

ENERGIE EFFICACE = 2.410 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.297 MEV



H.E.PHI_E ————— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 10 - SOURCE AM-LI - D=40 CM

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE

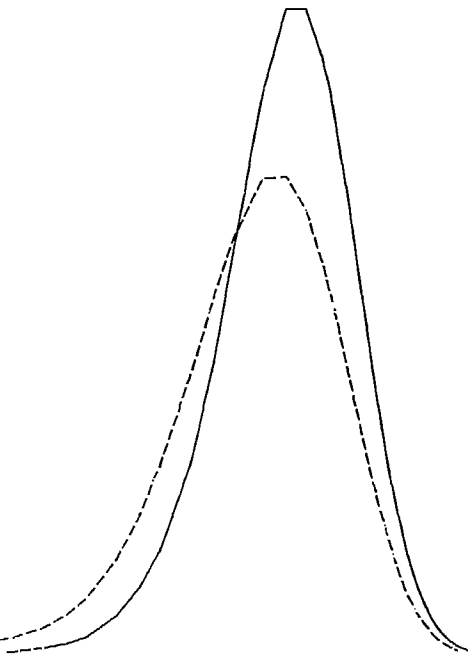
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 0
0.5 EV.....50 KEV = 0
50 KEV.....1 MEV = 48
1 MEV.....5 MEV = 52
5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.421E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.170 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.860 MEV



H.E.PHI_E ————— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 11 - SOURCE SB-BE SOUS 35 CM DE PLOMB

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

MULTISPHERE

REPARTITION DE H EN P.CENT

0,01 EV...0,5 EV = 7

0,5 EV.....50 KEV = 43

50 KEV.....1 MEV = 50

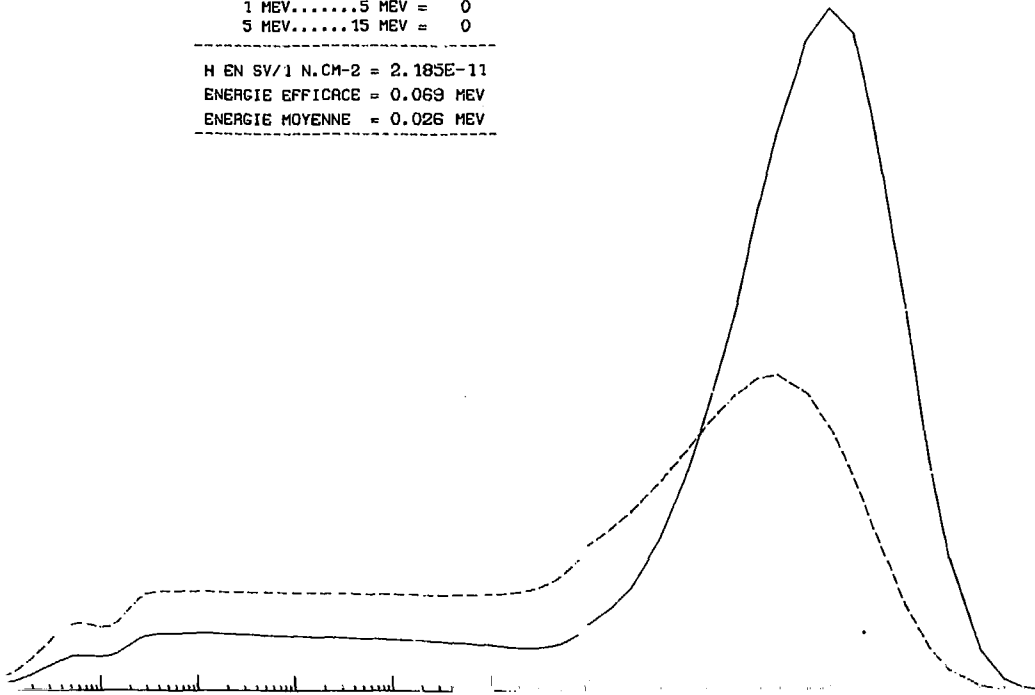
1 MEV.....5 MEV = 0

5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM⁻² = 2.185E-11

ENERGIE EFFICACE = 0.069 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.026 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 12 - SPECTRE HPAR SANS PROTECTION

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

d'après (6)

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV...0.5 EV = 0

0.5 EV.....50 KEV = 0

50 KEV.....1 MEV = 32

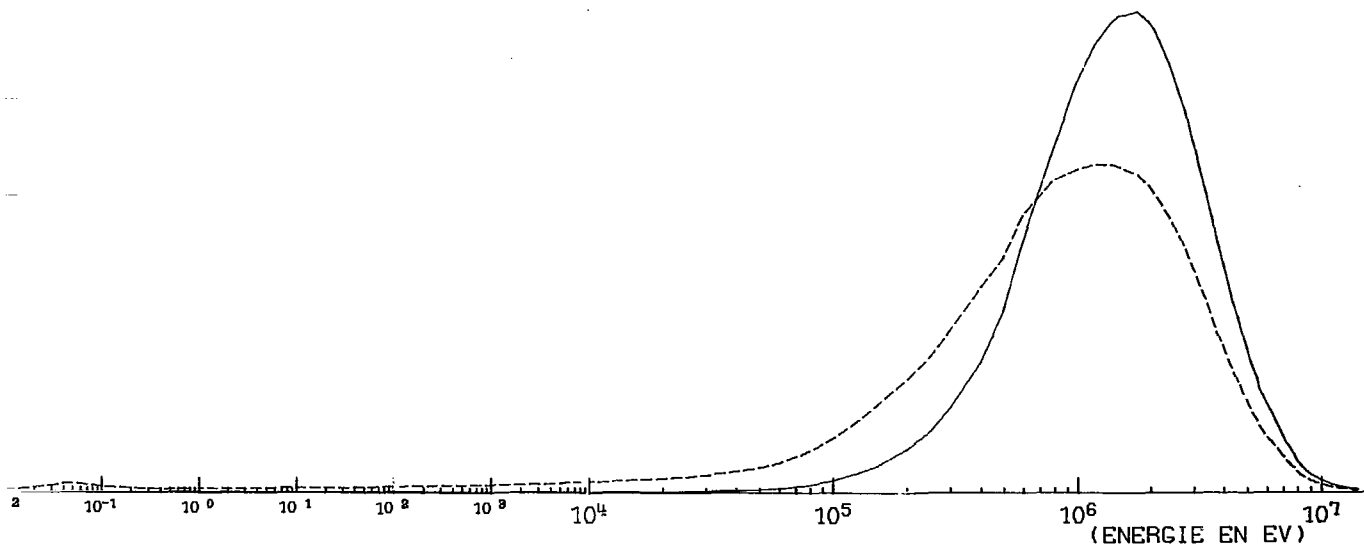
1 MEV.....5 MEV = 63

5 MEV.....15 MEV = 5

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.575E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.866 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.306 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 13 - SPECTRE HP RR AVEC ECRAN LUCITE (12 CM)

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

d'après (6)

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 3

0.5 EV....50 KEV = 2

50 KEV.....1 MEV = 21

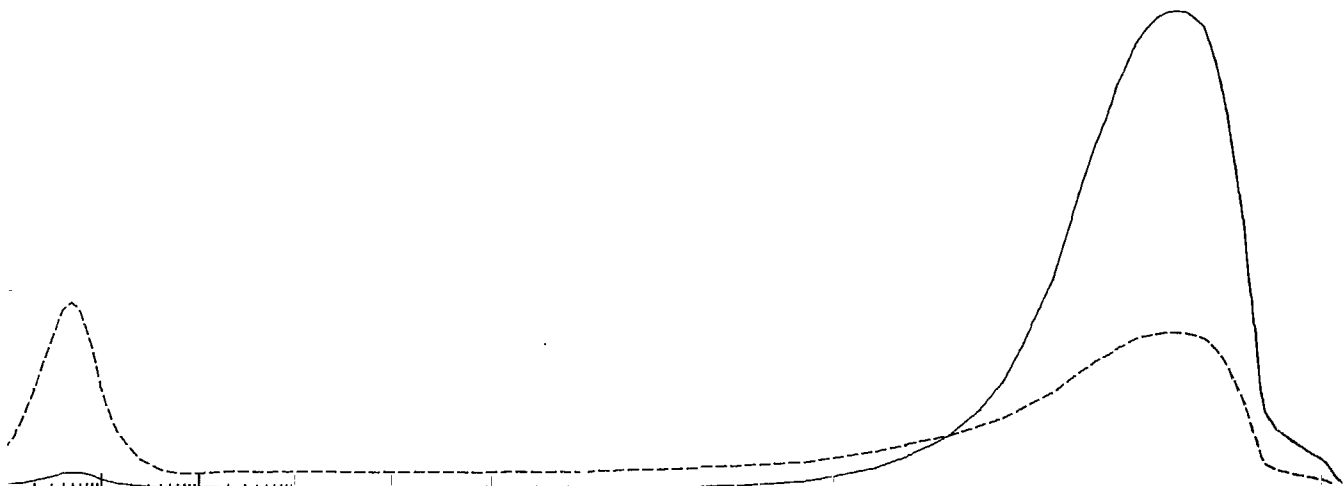
1 MEV.....5 MEV = 68

5 MEV.....15 MEV = 6

H EN SV/1 N.CM⁻² = 1.324E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.212 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.766 MEV



H.E. PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 14 - SPECTRE HPRA AVEC ECRAN ACIER (13 CM)

E. PHI_E (PHI_T = 1 N. CM⁻²)

d'après (6)

REPARTITION DE H EN P. CENT

0.01 EV....0.5 EV = 0

0.5 EV.....50 KEV = 0

50 KEV.....1 MEV = 64

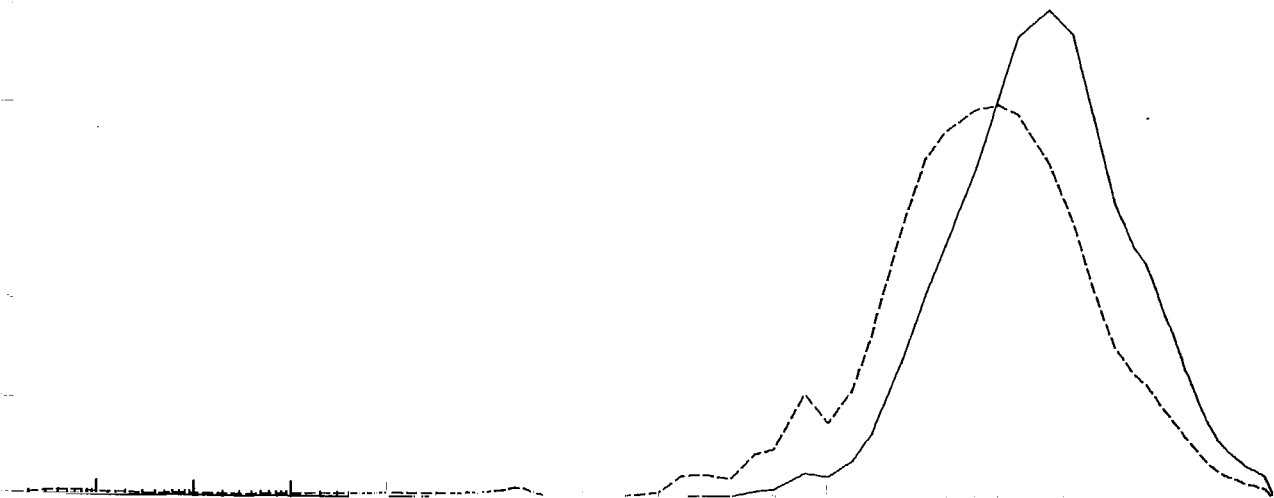
1 MEV.....5 MEV = 35

5 MEV.....15 MEV = 1

H EN SV/1 N. CM⁻² = 1.947E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.026 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.663 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 15 - SPECTRE HPAA AVEC ECRAN BETON (20 CM)

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

d'après (6)

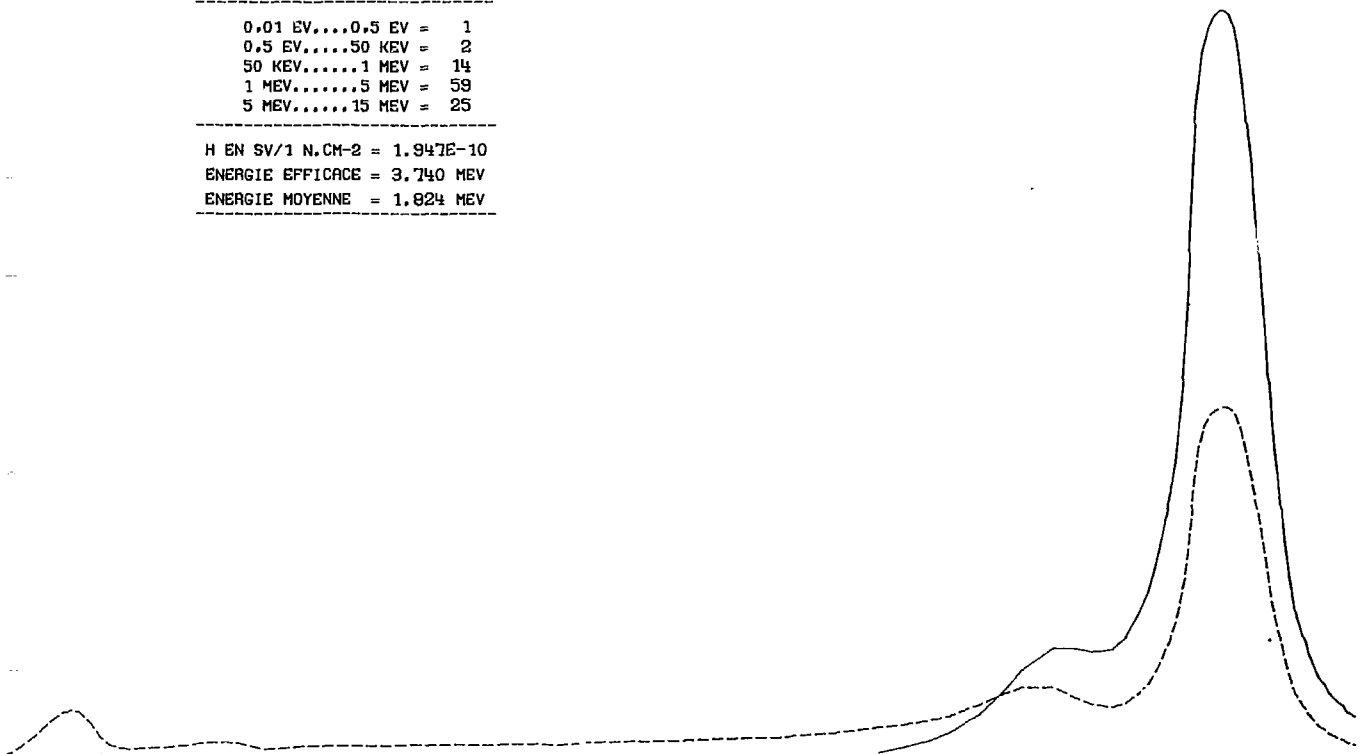
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV...0.5 EV = 1
0.5 EV...50 KEV = 2
50 KEV...1 MEV = 14
1 MEV...5 MEV = 59
5 MEV...15 MEV = 25

H EN SV/1 N.CM-2 = 1.947E-10

ENERGIE EFFICACE = 3.740 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.024 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 16 - VALDUC - SILENE SANS ECRAN CELLULE D=4 M

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

SNRC2

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 2

0.5 EV....50 KEV = 3

50 KEV.....1 MEV = 27

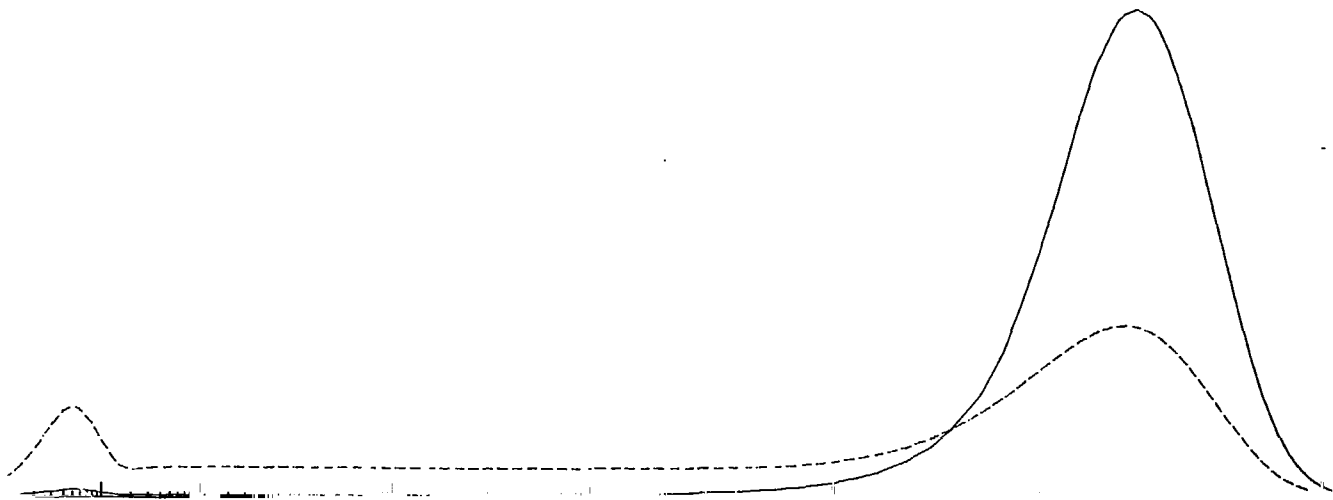
1 MEV.....5 MEV = 63

5 MEV.....15 MEV = 4

H EN SV/1 N.CM⁻² = 1.354E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.855 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.676 MEV



H.E.PHI_E ————— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 17 - VALDUC - SILENE AVEC ECRAN DE PLOMB 10 CM CELLULE D=4 M

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

SNAC2

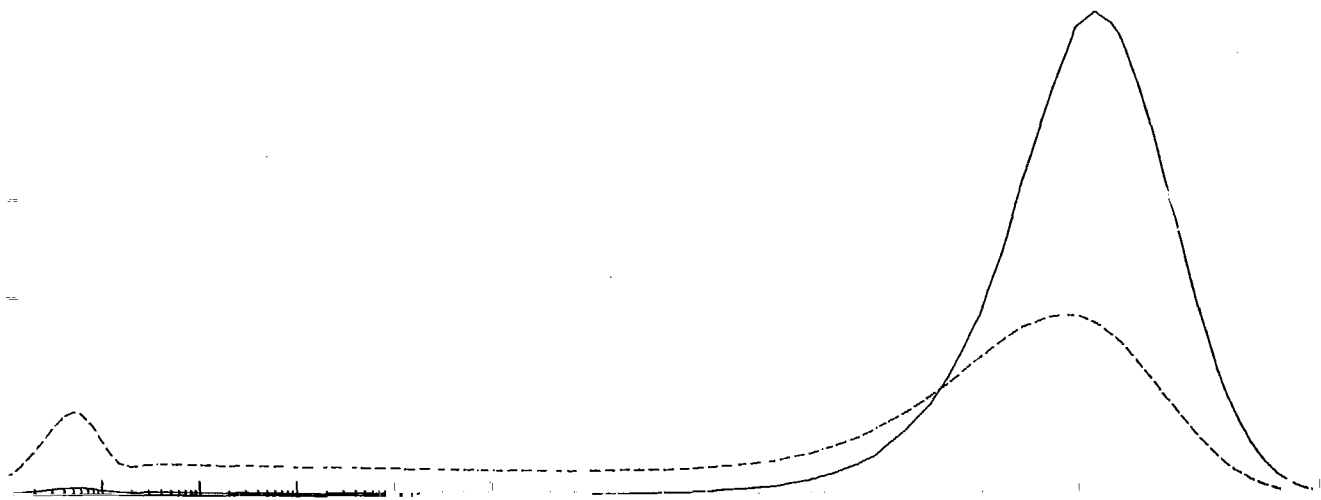
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 2
0.5 EV.....50 KEV = 3
50 KEV.....1 MEV = 43
1 MEV.....5 MEV = 51
5 MEV.....15 MEV = 2

H EN SV/1 N.CM⁻² = 1.258E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.339 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.493 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 18 - VALDUC - SILENE AVEC ECRAN DE PLOMB 10 CM - D=8 M

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

SNAC2

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 4

0.5 EV....50 KEV = 6

50 KEV.....1 MEV = 40

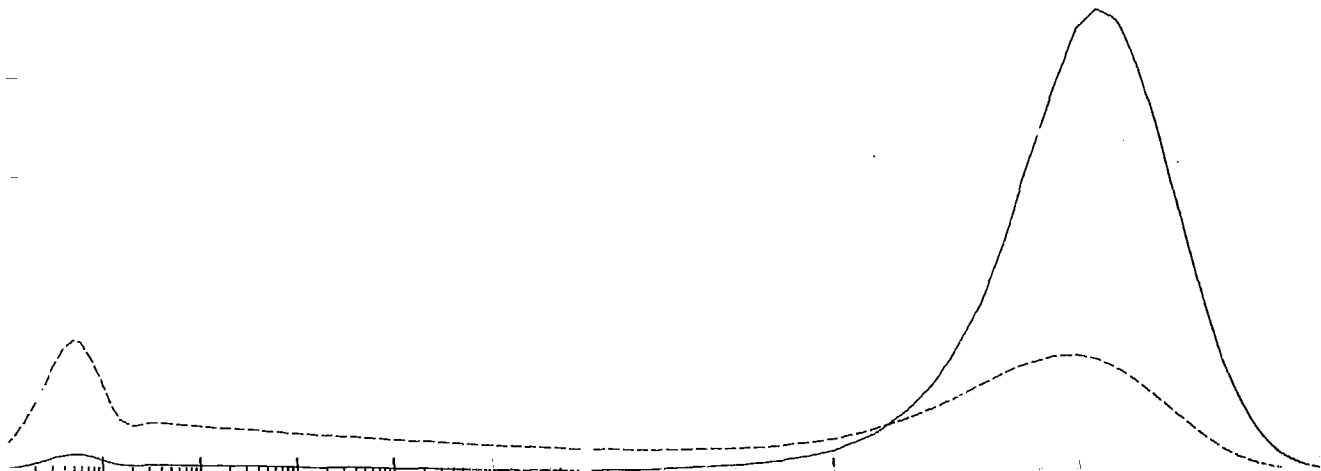
1 MEV.....5 MEV = 45

5 MEV.....15 MEV = 2

H EN SV/1 N.CM⁻² = 8.614E-11

ENERGIE EFFICACE = 1.290 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.324 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 19 - VALDUC - SILENE AVEC ECRAN BETON 50 CM CELLULE D=4 M

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 8

0.5 EV....50 KE = 6

50 KEV.....1 MEV = 42

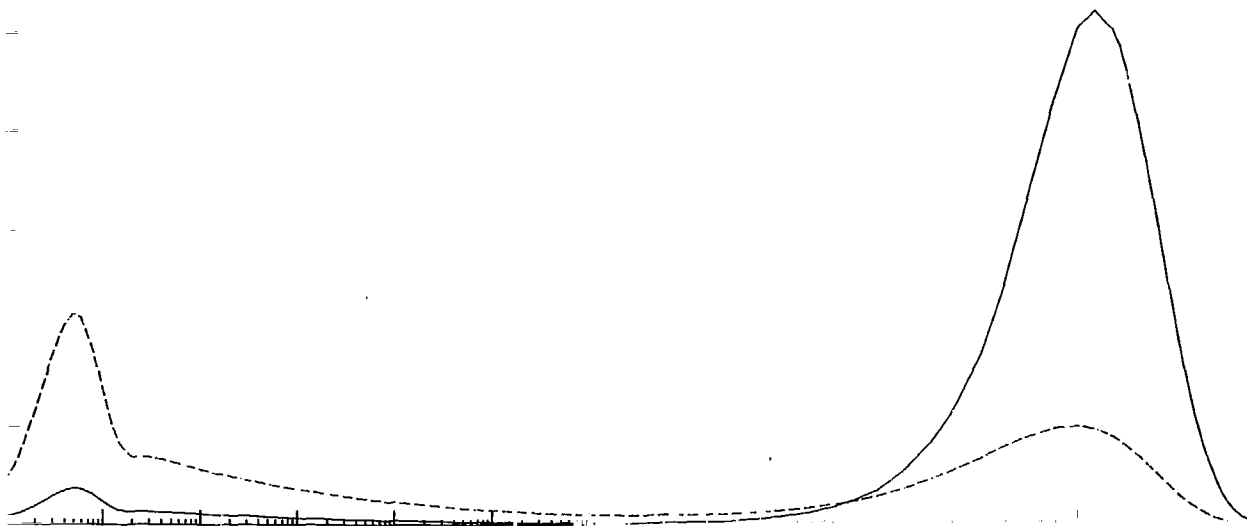
1 MEV.....5 MEV = 45

5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM-2 = 6.544E-11

ENERGIE EFFICACE = 1.010 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.202 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 20 - VALDUC - SILENE AVEC ECRAN BETON 75 CM HALL D=11 M

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE

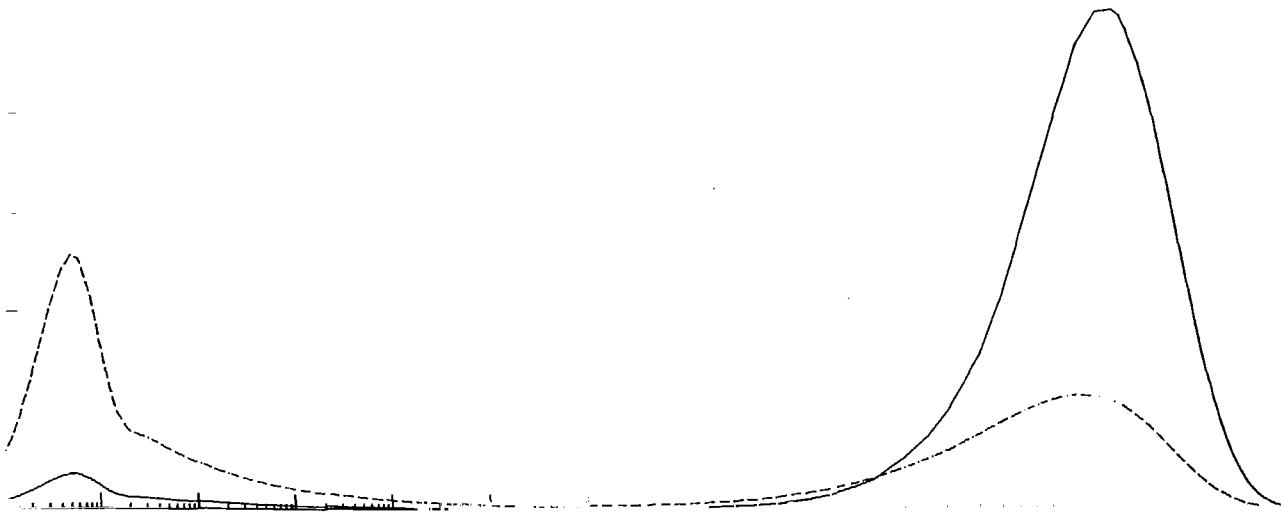
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV...0.5 EV = 8
0.5 EV.....50 KEV = 3
50 KEV.....1 MEV = 38
1 MEV.....5 MEV = 52
5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM-2 = 8.099E-11

ENERGIE EFFICACE = 1.226 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.289 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 21 - VALDUC - SILENE ECRAN DE PLOMB 10 CM ET ECRAN BETON 20 CM

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

SNAC2 - CELLULE D=2 M

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 4

0.5 EV....50 KEV = 5

50 KEV.....1 MEV = 38

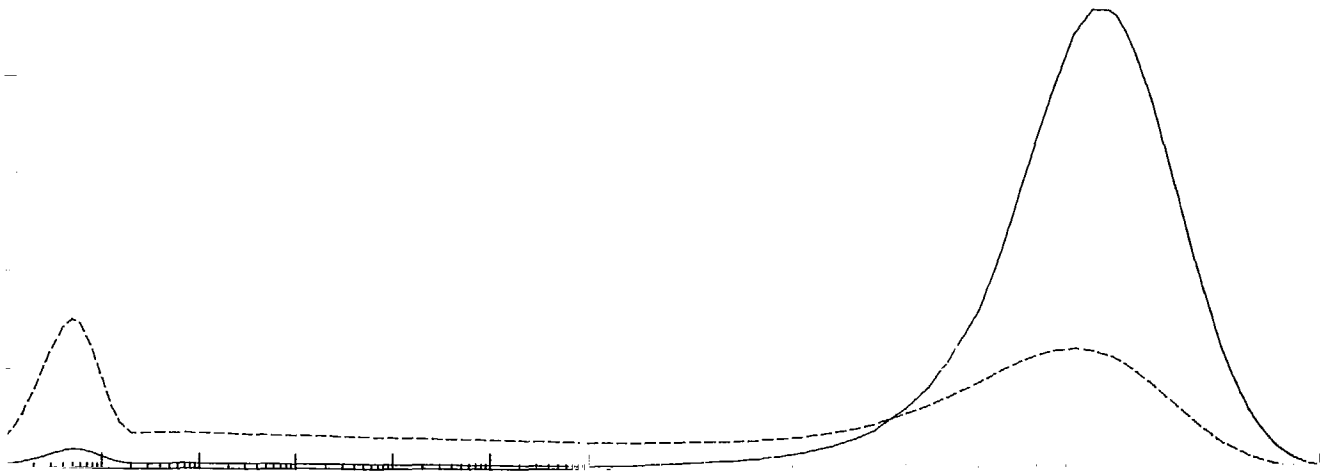
1 MEV.....5 MEV = 51

5 MEV.....15 MEV = 2

H EN SV/1 N.CM-2 = 9.057E-11

ENERGIE EFFICACE = 1.354 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.354 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 22 - CIRCUIT D EAU PRIMAIRE D UN P.W.R.

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

MULTISPHERE

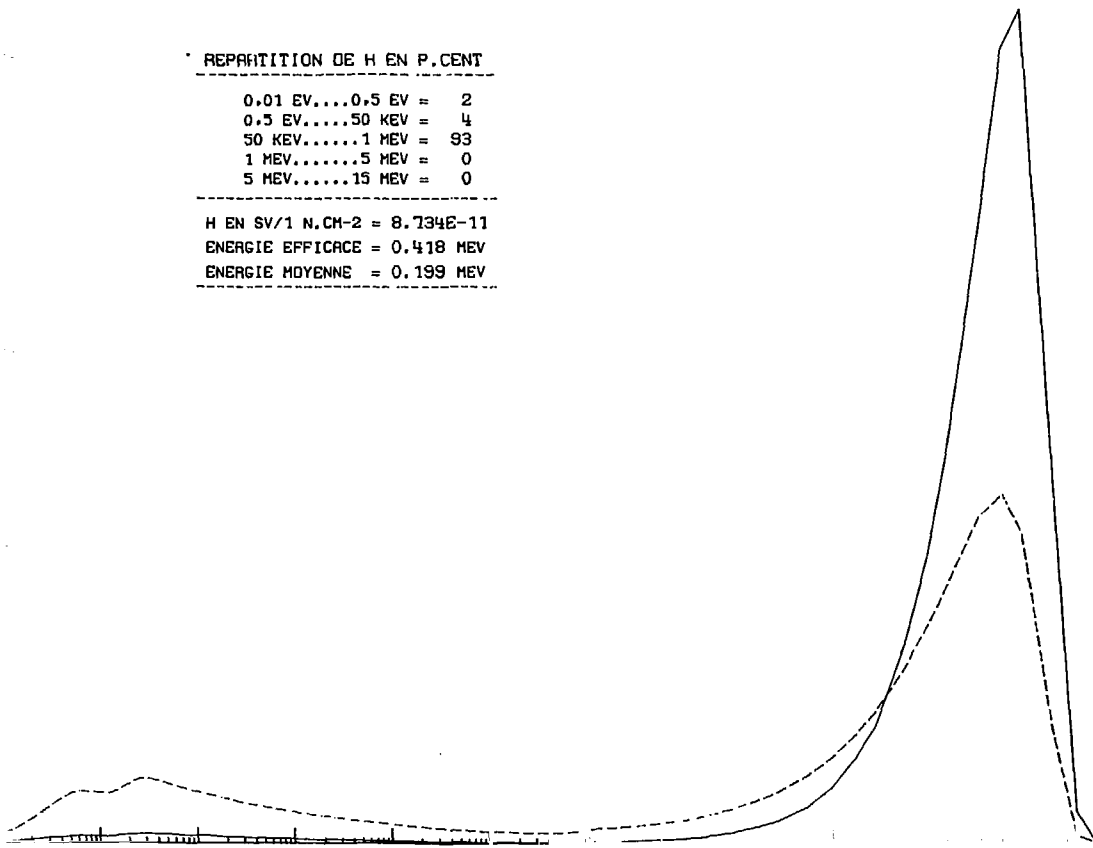
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 2
0.5 EV....50 KEV = 4
50 KEV.....1 MEV = 93
1 MEV.....5 MEV = 0
5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM⁻² = 8.734E-11

ENERGIE EFFICACE = 0.418 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.199 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 23 - TRICASTIN - PLANCHER DE SERVICE

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 29

0.5 EV....50 KEV = 14

50 KEV.....1 MEV = 57

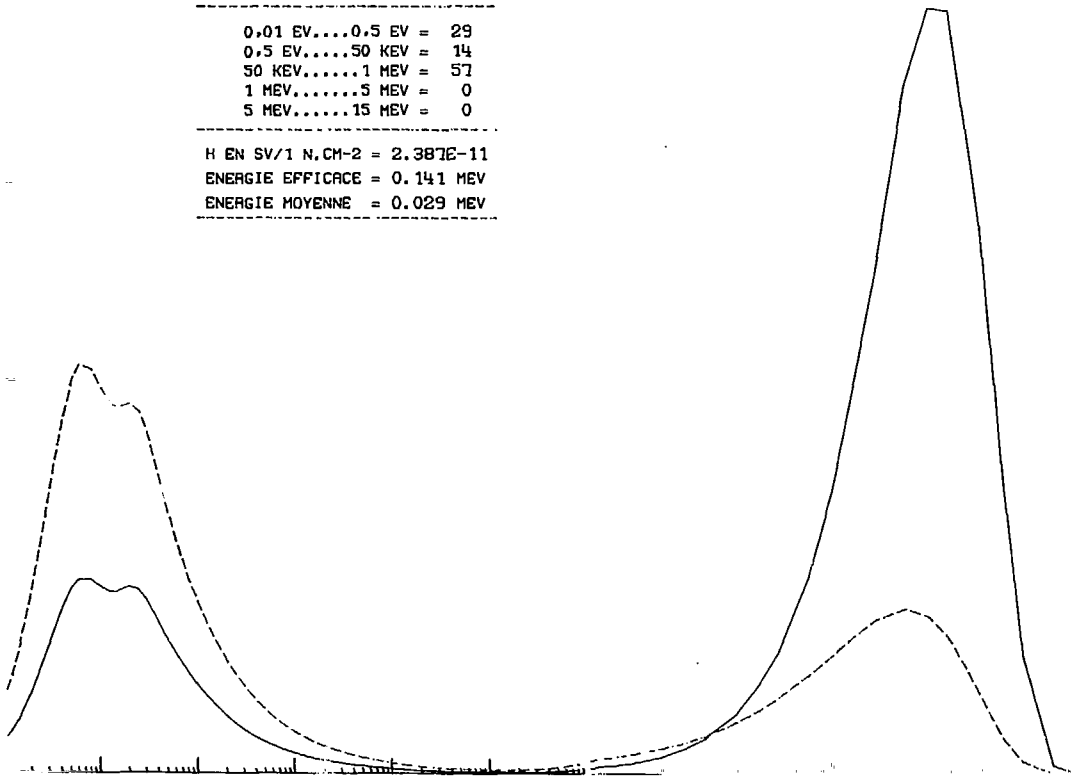
1 MEV.....5 MEV = 0

5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.387E-11

ENERGIE EFFICACE = 0.141 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.029 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 24 -- TIHANGE - NIVEAU INFERIEUR

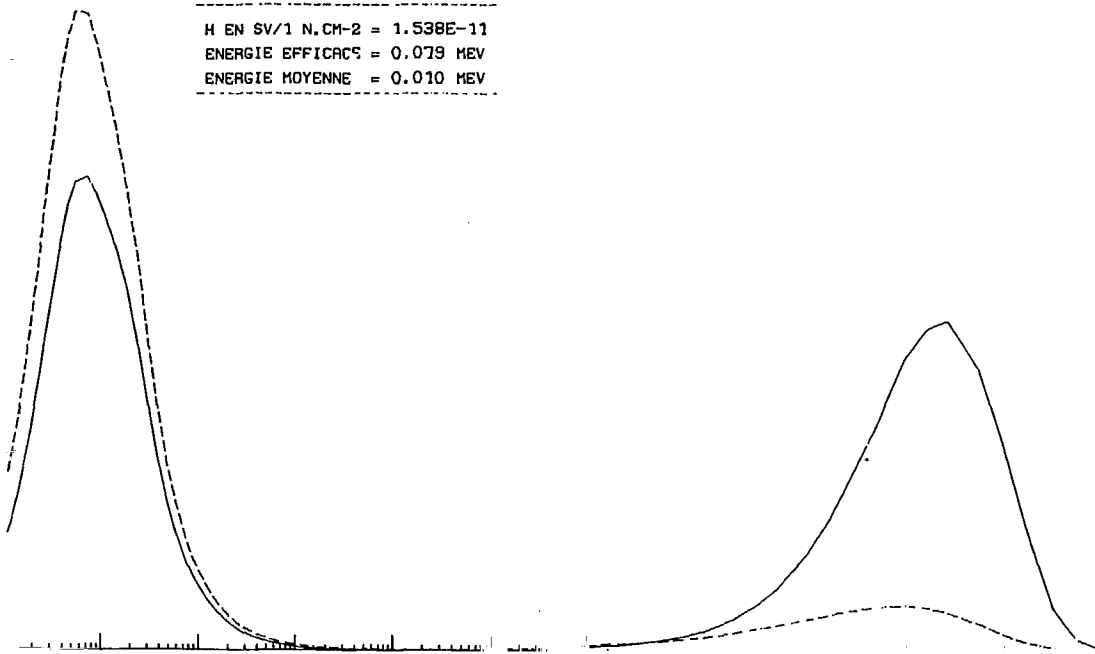
E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 64
0.5 EV.....50 KEV = 8
50 KEV.....1 MEV = 28
1 MEV.....5 MEV = 0
5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM-2 = 1.538E-11
ENERGIE EFFICACS = 0.079 MEV
ENERGIE MOYENNE = 0.010 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 25 - TIHANGE - NIVEAU INTERMEDIAIRE

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 80

0.5 EV....50 KEV = 3

50 KEV.....1 MEV = 17

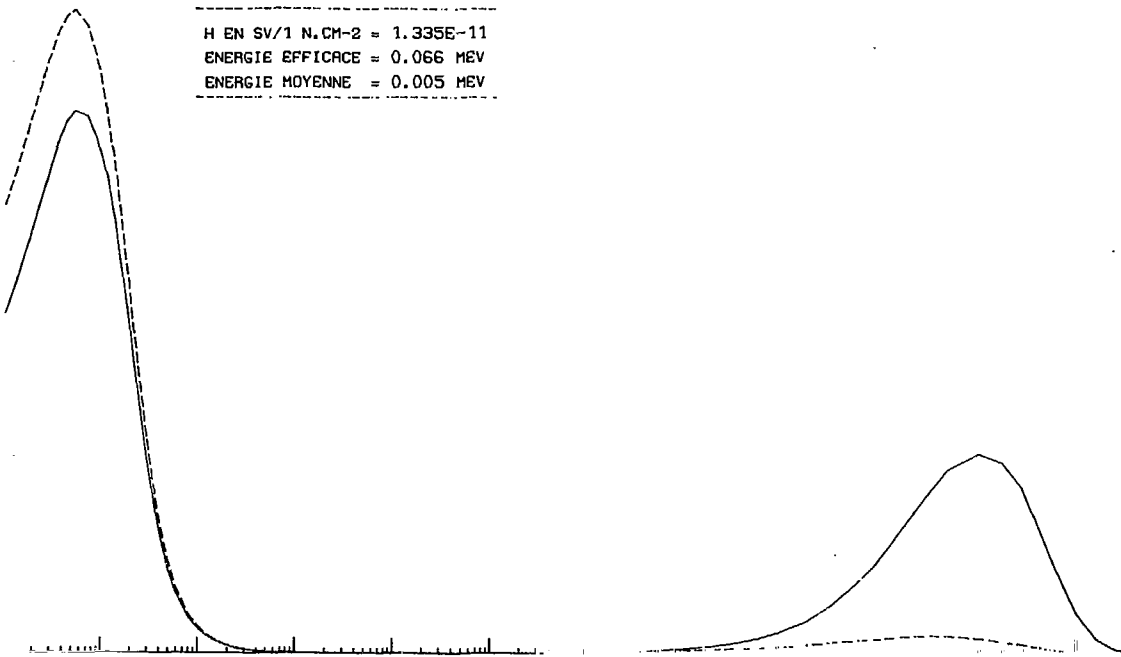
1 MEV.....5 MEV = 0

5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM-2 = 1.335E-11

ENERGIE EFFICACE = 0.066 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.005 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 26 - TIHANGE - NIVEAU SAS PERSONNEL

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

MULTISPHERE

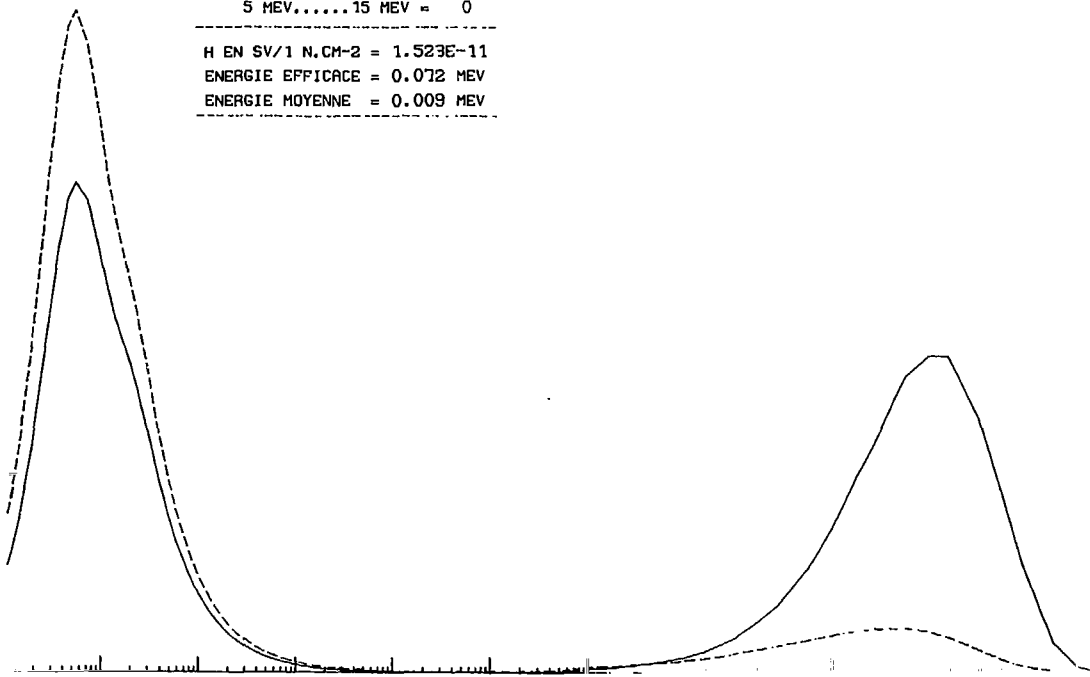
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 63
0.5 EV.....50 KEV = 10
50 KEV.....1 MEV = 27
1 MEV.....5 MEV = 0
5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM⁻² = 1.523E-11

ENERGIE EFFICACE = 0.072 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.009 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 27 - LA HAGUE - EMBALLAGE DE TRANSPORT SOUS EAU

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - D=40 CM

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 1

0.5 EV.....50 KEV = 4

50 KEV.....1 MEV = 11

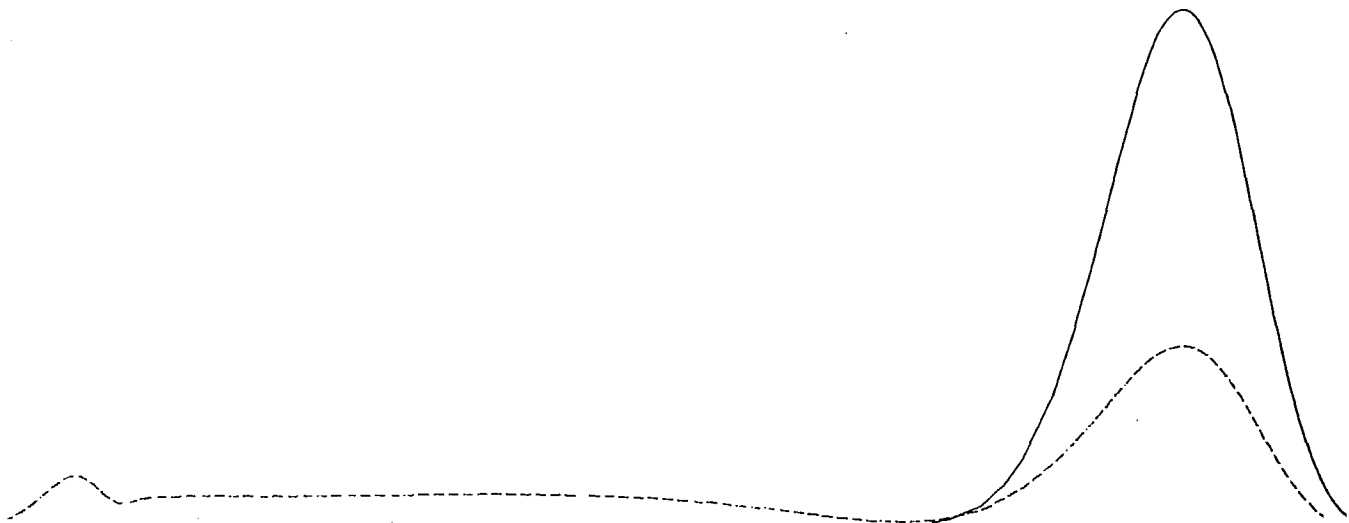
1 MEV.....5 MEV = 70

5 MEV.....15 MEV = 14

H EN SV/1 N.CM-2 = 1.450E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.865 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.051 MEV



H.E.PHI_E ————— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 28 - LA HAGUE - CONTENEUR LEMER LK 100 - COMBUSTIBLE TRICASTIN

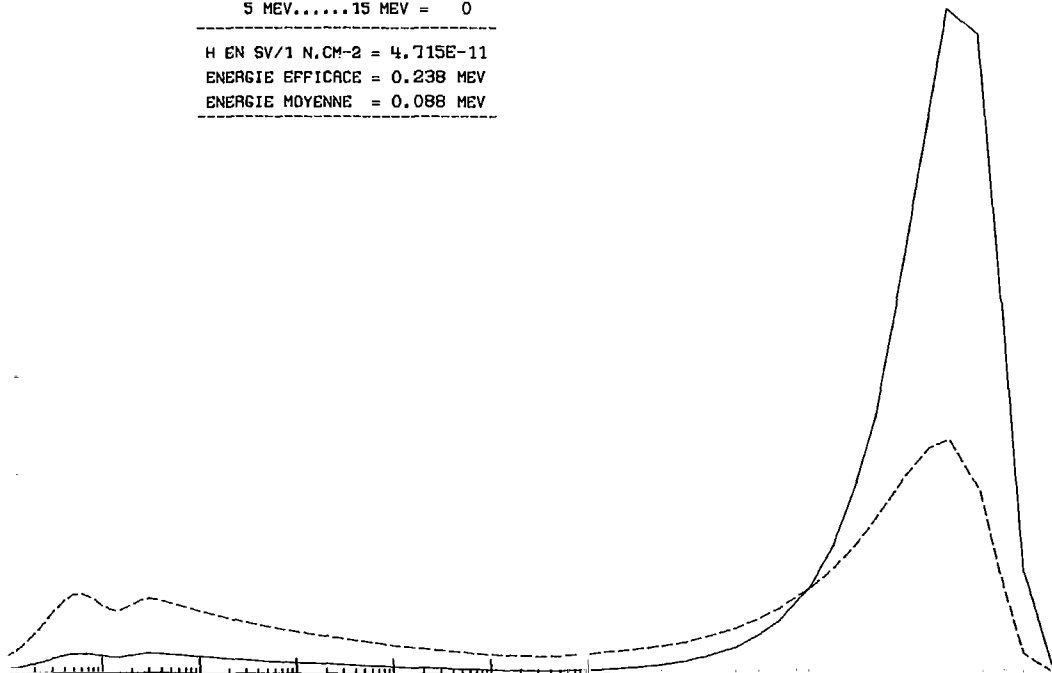
E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

MULTISPHERE - D=100 CM

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 6
0.5 EV.....50 KEV = 11
50 KEV.....1 MEV = 83
1 MEV.....5 MEV = 0
5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM⁻² = 4.715E-11
ENERGIE EFFICACE = 0.238 MEV
ENERGIE MOYENNE = 0.088 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 29 - PLUTONIUM-240 - FISSION SPONTANEE

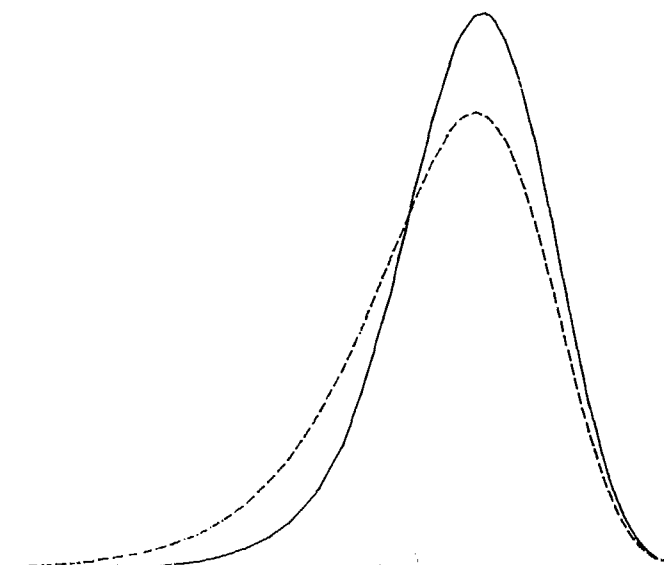
E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

SPECTRE CALCULE AVEC ALPHA=0.54BETA=0.84GAMMA=0

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 0
0.5 EV.....50 KEV = 0
50 KEV.....1 MEV = 23
1 MEV.....5 MEV = 72
5 MEV.....15 MEV = 5

H EN SV/1 N.CM-2 = 3.223E-10
ENERGIE EFFICACE = 2.108 MEV
ENERGIE MOYENNE = 1.787 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 30 - MARCOULE - LINGOT DE PLUTONIUM METAL EN BOITE A GANTS

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

MULTISPHERE - D=60 CM

REPARTITION DE H EN P.CENT

0,01 EV....0,5 EV = 2

0,5 EV....50 KEV = 2

50 KEV.....1 MEV = 39

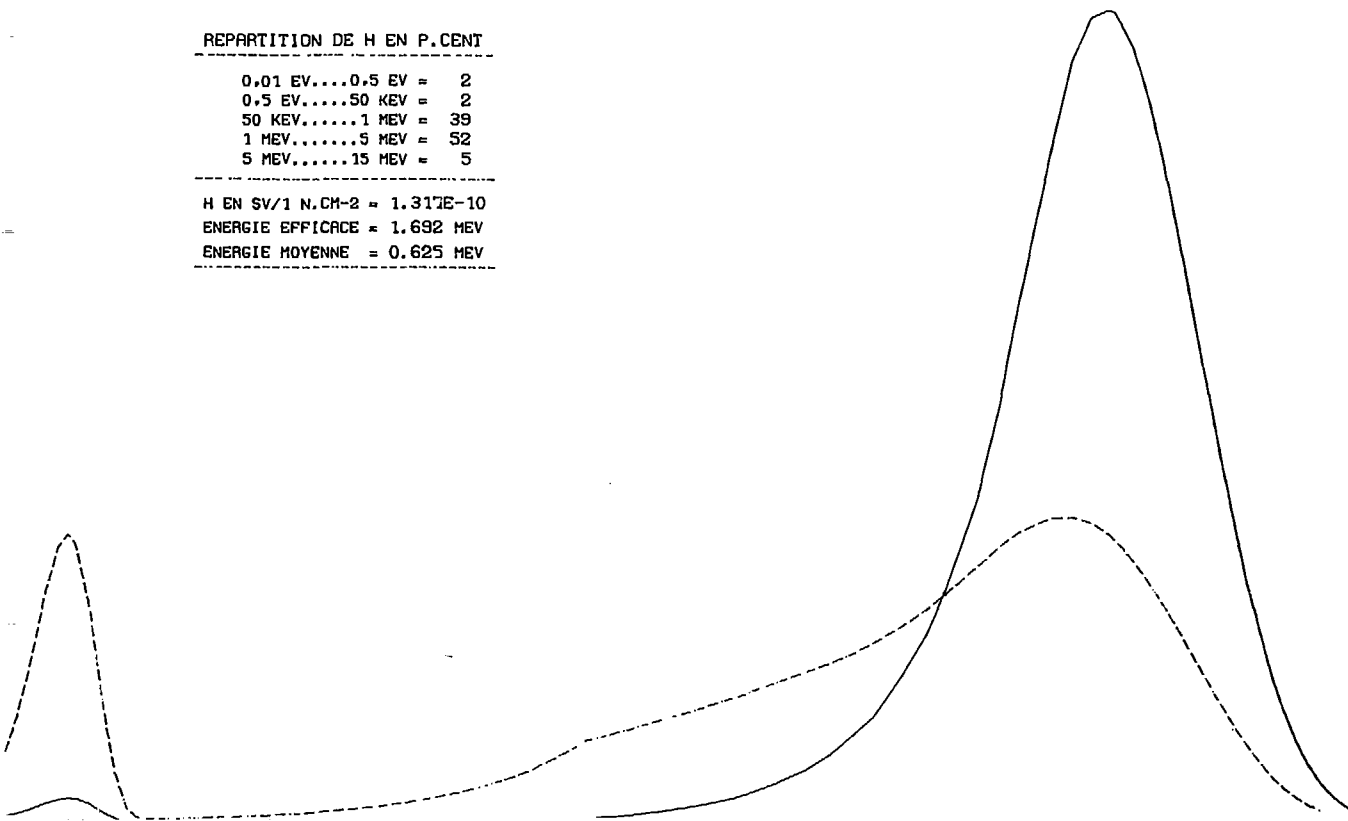
1 MEV.....5 MEV = 52

5 MEV.....15 MEV = 5

H EN SV/1 N.CM⁻² = 1.317E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.692 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.625 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 31 - MARCOULE - OXYDE DE PLUTONIUM

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - D=40 CM

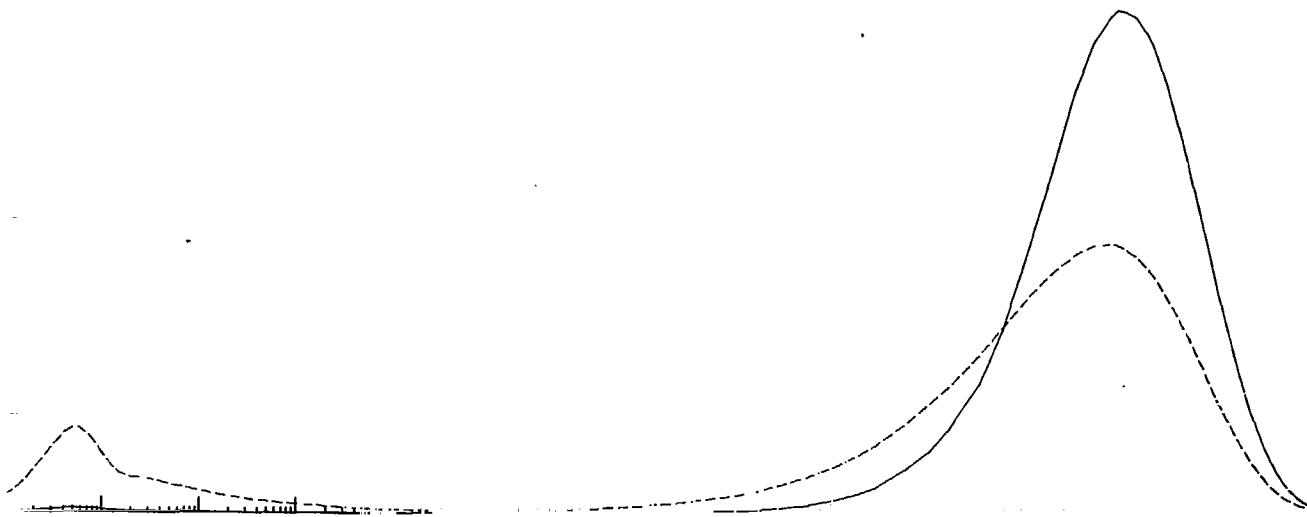
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 1
0.5 EV.....50 KEV = 1
50 KEV.....1 MEV = 32
1 MEV.....5 MEV = 63
5 MEV.....15 MEV = 3

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.009E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.722 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.950 MEV



H.E. Φ_{I_E} ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 32 - MARCOULE - FLUORURE DE PLUTONIUM (PuF₄)

E. Φ_{I_E} - - - - - (PHI_T = 1 N. CM⁻²)

MULTISPHERE - D=40 CM

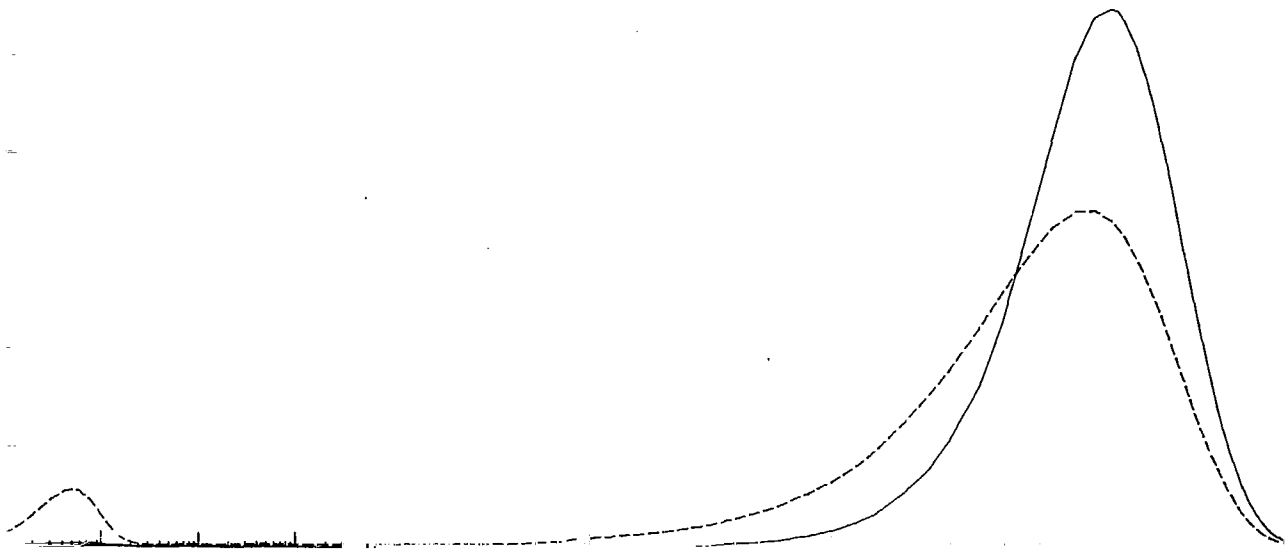
REPARTITION DE H EN P. CENT

0.01 EV....0.5 EV = 1
0.5 EV....50 KEV = 0
50 KEV.....1 MEV = 39
1 MEV.....5 MEV = 59
5 MEV.....15 MEV = 1

H EN SV/1 N. CM⁻² = 2.242E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.438 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.925 MEV



H.E.PHI_E ————— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 33 - VALDUC - OXALATE DE PLUTONIUM

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - D=30 CM

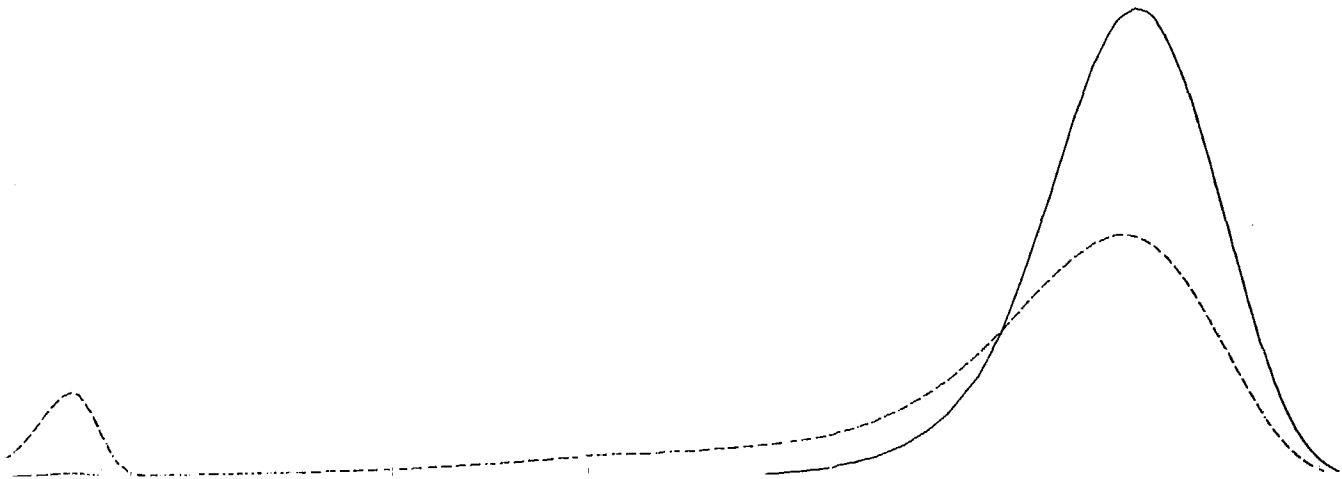
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 1
0.5 EV.....50 KEV = 1
50 KEV.....1 MEV = 27
1 MEV.....5 MEV = 64
5 MEV.....15 MEV = 7

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.021E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.094 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.125 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 34 - CADARACHE - OXYDE DE PLUTONIUM - FILIERE EAU LEGERE

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - CAGE DE TRANSPORT D=40 CM

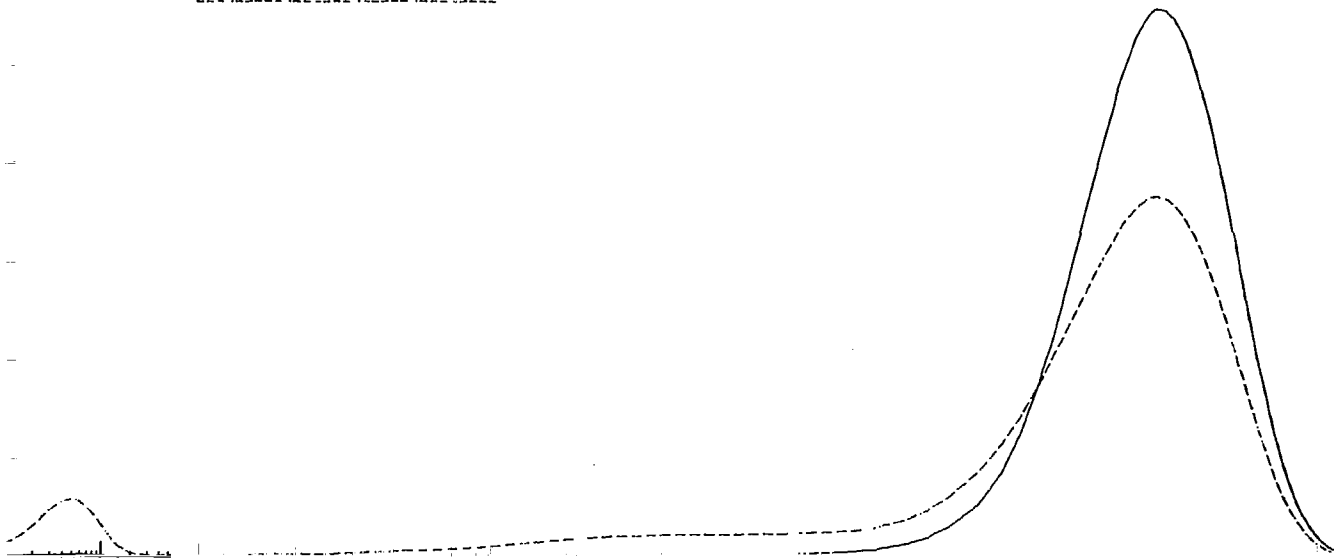
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 0
0.5 EV.....50 KEV = 1
50 KEV.....1 MEV = 17
1 MEV.....5 MEV = 74
5 MEV.....15 MEV = 8

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.640E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.439 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.659 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 35 - CADARACHE - OXYDE DE PLUTONIUM - FILIERE EAU LEGERE

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - BOITE A GANTS D=60 CM

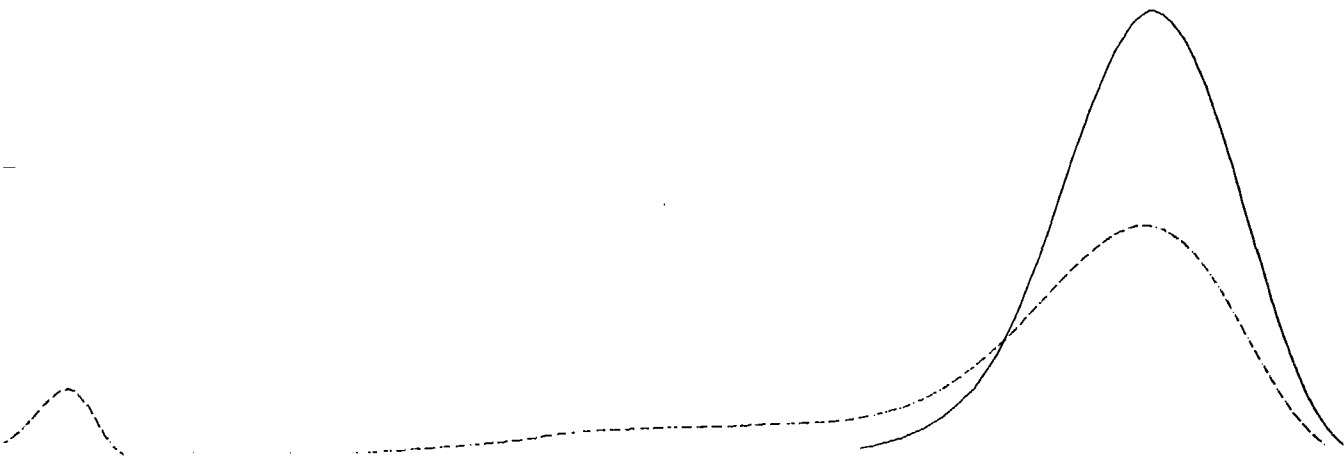
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 1
0.5 EV.....50 KEV = 1
50 KEV.....1 MEV = 21
1 MEV.....5 MEV = 65
5 MEV.....15 MEV = 12

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.107E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.561 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.398 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 36 - CADARACHE - OXYDE DE PLUTONIUM - FORT TAUX DE COMBUSTION

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - BOITE A GANTS D=60 CM

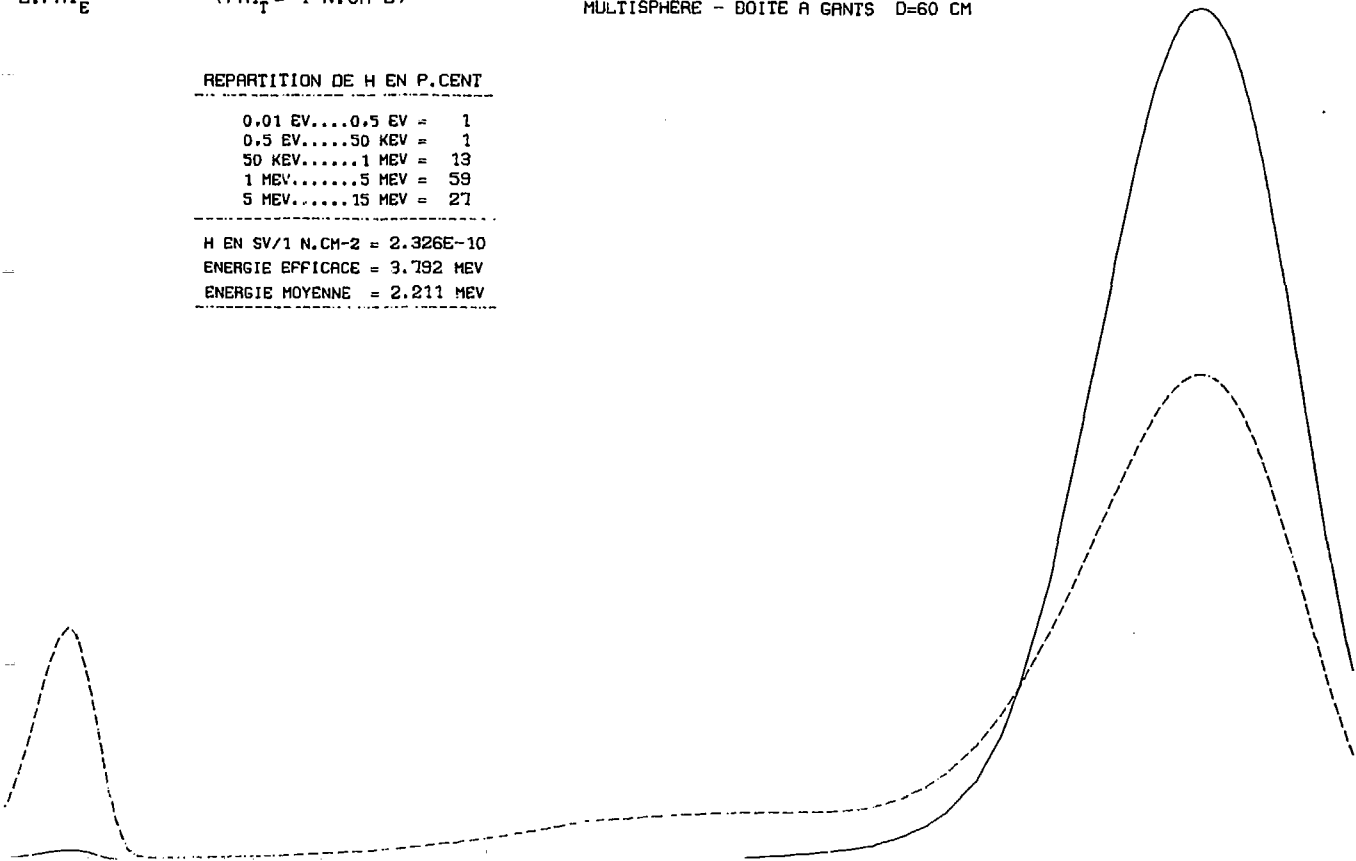
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 1
0.5 EV....50 KEV = 1
50 KEV.....1 MEV = 13
1 MEV.....5 MEV = 59
5 MEV.....15 MEV = 27

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.326E-10

ENERGIE EFFICACE = 3.792 MEV

ENERGIE MOYENNE = 2.211 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 37 - CADARACHE - FAISCEAU SUPER-PHENIX

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - D=60 CM

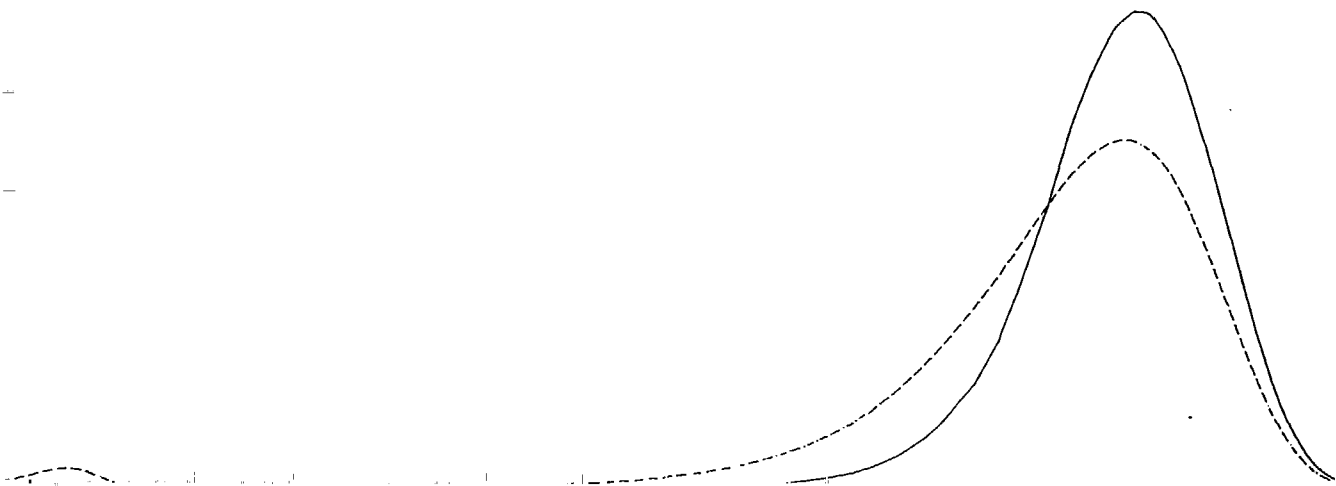
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV...0.5 EV = 0
0.5 EV...50 KEV = 0
50 KEV...1 MEV = 27
1 MEV...5 MEV = 66
5 MEV...15 MEV = 7

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.852E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.186 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.649 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 38 - CADARACHE - FAISCEAU SUPER-PHENIX/PROTECTION NEUTROPHAGE 5 CM

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - D=60 CM

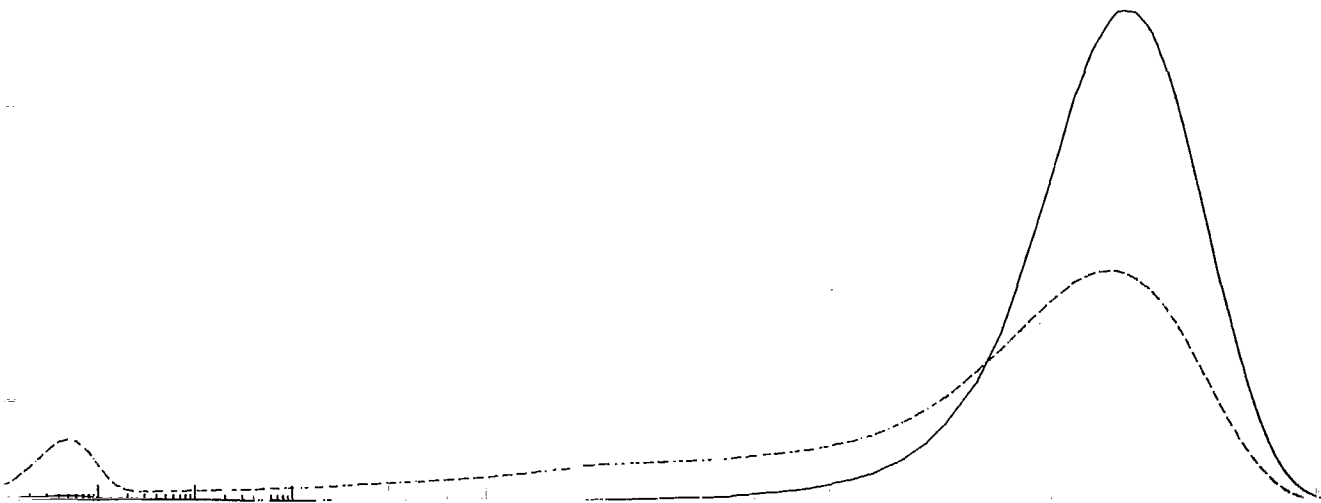
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 1
0.5 EV.....50 KEV = 2
50 KEV.....1 MEV = 31
1 MEV.....5 MEV = 63
5 MEV.....15 MEV = 3

H EN SV/1 N.CM-2 = 1.786E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.766 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.862 MEV



H.E. PHI_E ($H_T = 1 \text{ SV}$)

SPECTRE NUMERO 39 - CADARACHE - SOLUTION DE PLUTONIUM

E. PHI_E ($\text{PHI}_T = 1 \text{ N. CM}^{-2}$)

MULTISPHERE - $D=40 \text{ CM}$

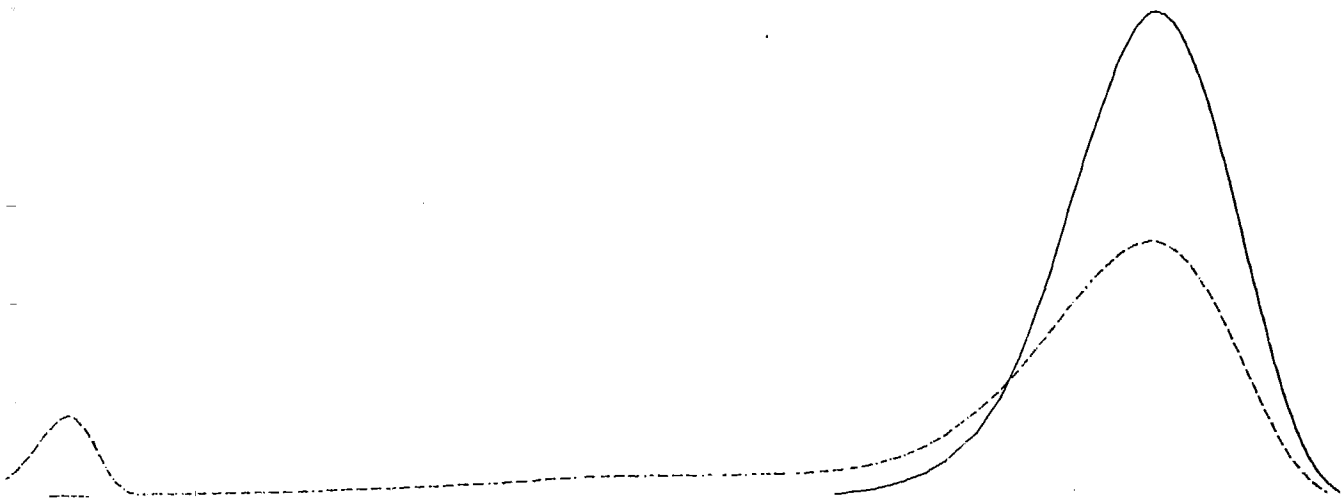
REPARTITION DE H EN P. CENT

0,01 EV...0,5 EV = 1
0,5 EV...50 KEV = 1
50 KEV...1 MEV = 20
1 MEV...5 MEV = 68
5 MEV...15 MEV = 10

H EN SV/1 N. CM⁻² = 2.139E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.445 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.354 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 40 - CADARACHE - STOCKAGE DE MATIERES DE BASE

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE

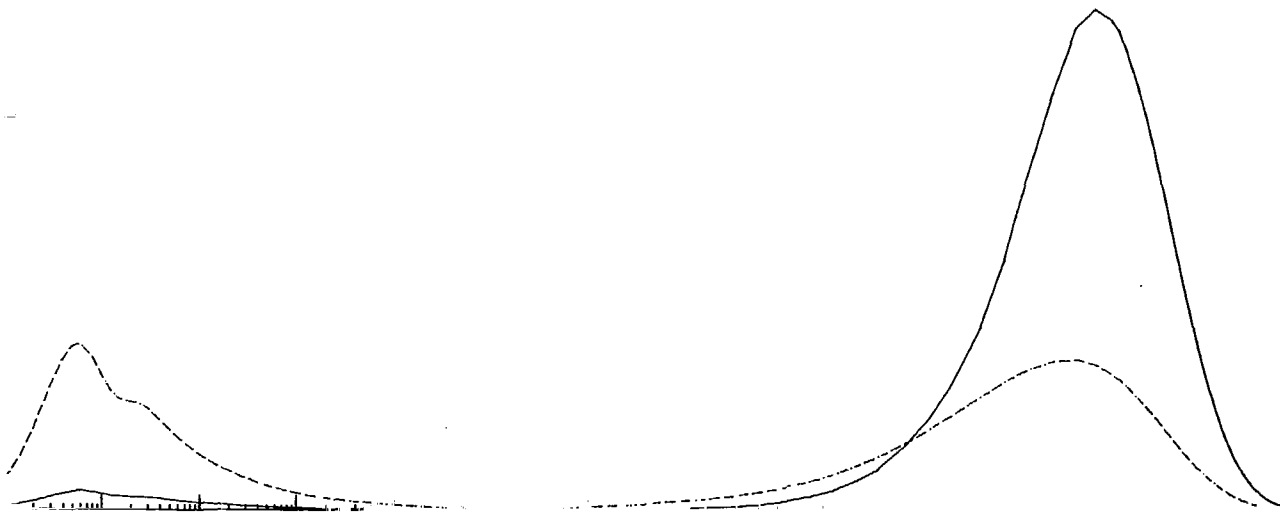
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 5
0.5 EV....50 KEV = 2
50 KEV.....1 MEV = 43
1 MEV.....5 MEV = 50
5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM-2 = 1.021E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.197 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.364 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 41 - CADARACHE - OXYDE DE PLUTONIUM

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

MULTISPHERE - D=40 CM

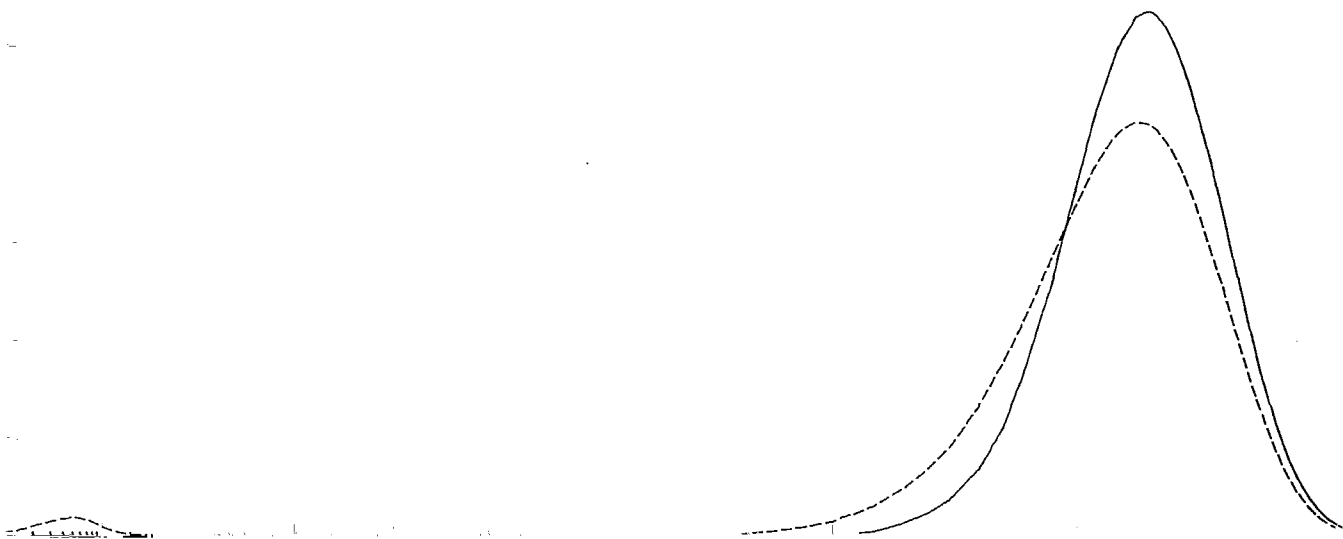
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV =	0
0.5 EV.....50 KEV =	0
50 KEV.....1 MEV =	20
1 MEV.....5 MEV =	71
5 MEV.....15 MEV =	8

H EN SV/1 N.CM⁻² = 3.123E-10

ENERGIE EFFICACE = 2.362 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.916 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 42 - CADARACHE - OXYDE DE PLUTONIUM A ECRAN BETON NEUTROPHAGE 7 CM

E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE - D=40 CM

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 0

0.5 EV....50 KEV = 1

50 KEV.....1 MEV = 32

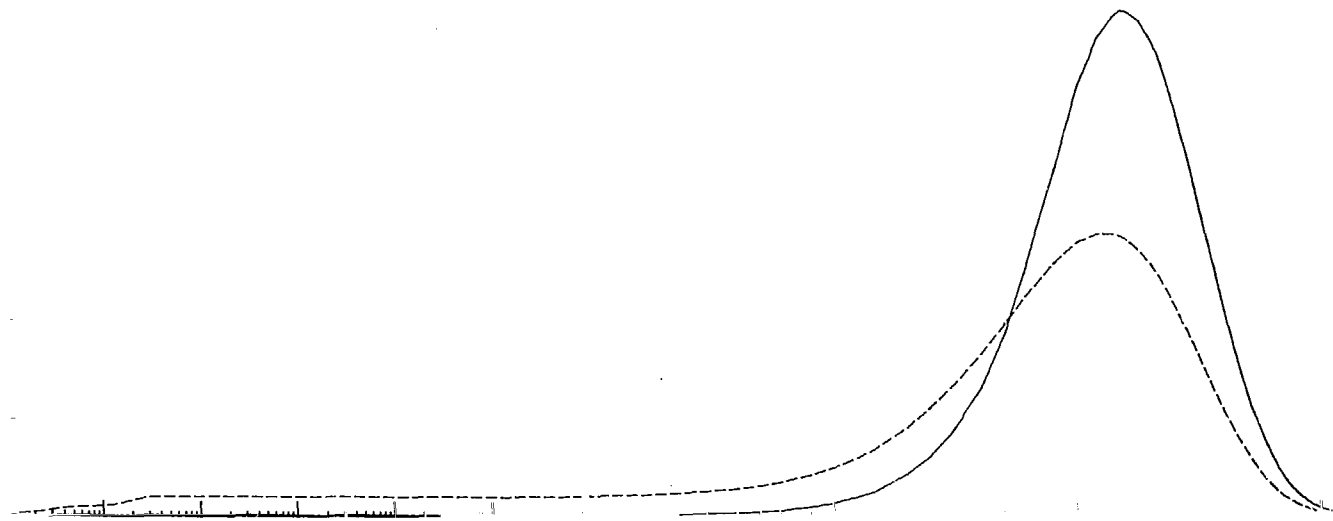
1 MEV.....5 MEV = 63

5 MEV.....15 MEV = 3

H EN SV/1 N.CM-2 = 2.087E-10

ENERGIE EFFICACE = 1.751 MEV

ENERGIE MOYENNE = 1.002 MEV



H.E.PHI_E (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 43 - CENFAR - CANDIDE - LABORATOIRE DES TRANSURANIENS

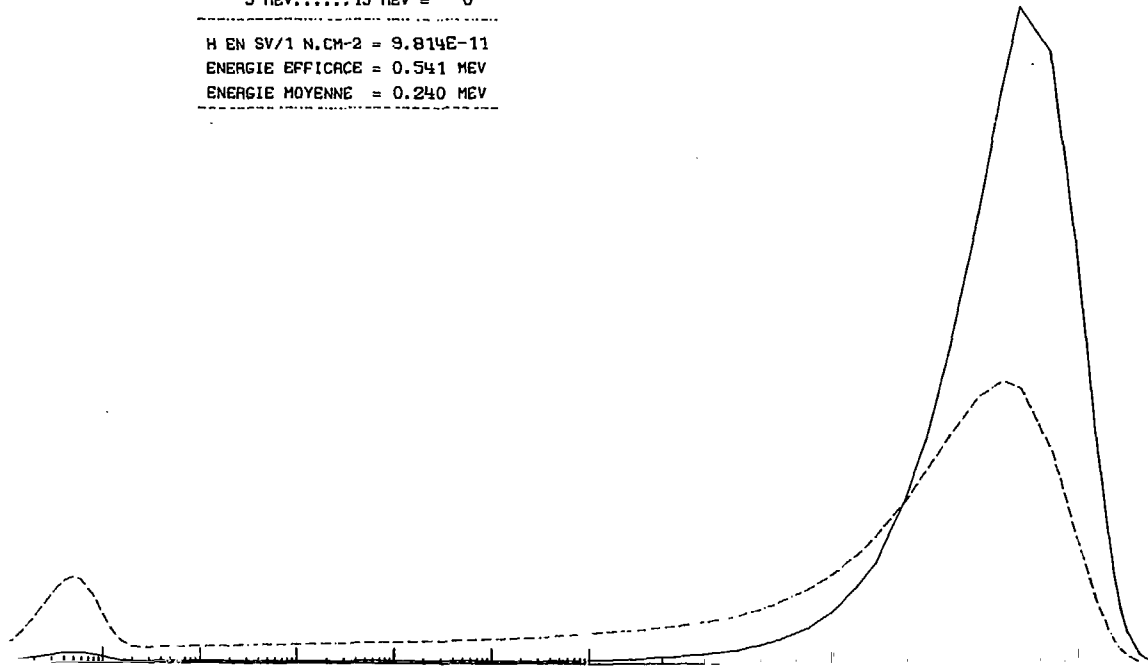
E.PHI_E (PHI_T = 1 N.CM⁻²)

MULTISPHERE

REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV....0.5 EV = 2
0.5 EV....50 KEV = 4
50 KEV.....1 MEV = 84
1 MEV.....5 MEV = 10
5 MEV.....15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM⁻² = 9.814E-11
ENERGIE EFFICACE = 0.541 MEV
ENERGIE MOYENNE = 0.240 MEV



H.E.PHI_E ——— (H_T = 1 SV)

SPECTRE NUMERO 44 - CENFAR - CANDIDE - LABORATOIRE DES TRANSURANIENS

E.PHI_E - - - - - (PHI_T = 1 N.CM-2)

MULTISPHERE

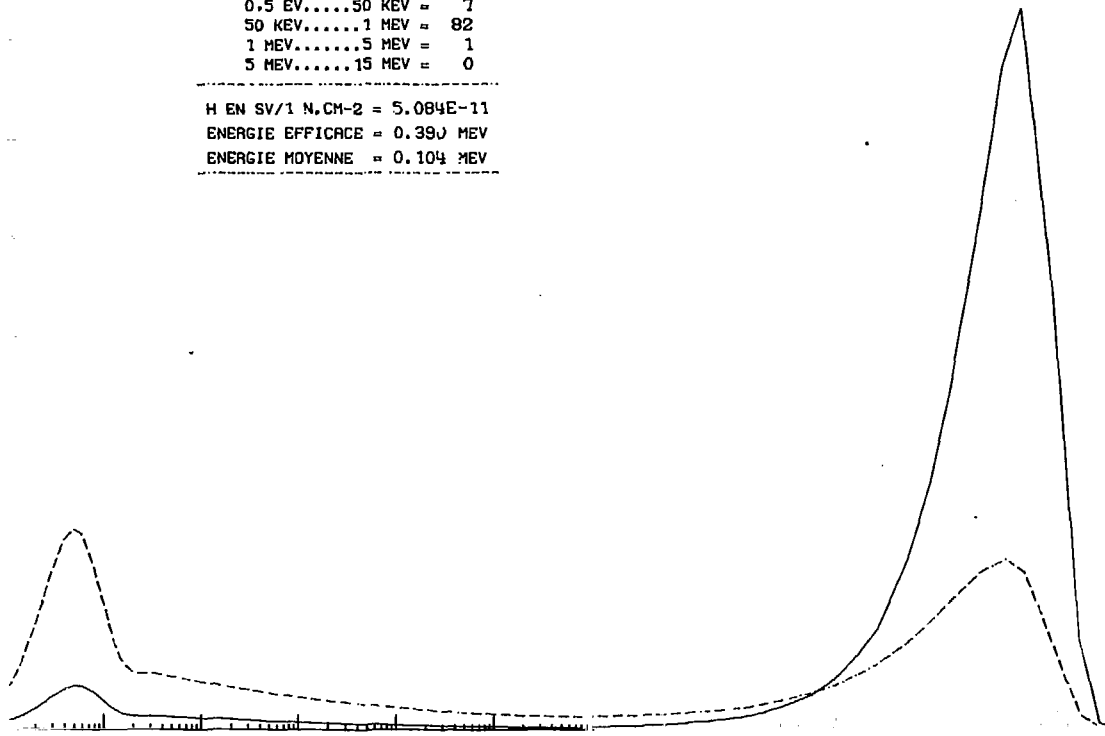
REPARTITION DE H EN P.CENT

0.01 EV...0.5 EV = 10
0.5 EV...50 KEV = 7
50 KEV...1 MEV = 82
1 MEV...5 MEV = 1
5 MEV...15 MEV = 0

H EN SV/1 N.CM-2 = 5.084E-11

ENERGIE EFFICACE = 0.390 MEV

ENERGIE MOYENNE = 0.104 MEV



Achévé d'imprimer

par
le C.E.A., Section de Documentation, Cadarache
SEPTEMBRE 1987

Dépôt légal
3^e trimestre 1987

La diffusion, à titre d'échange, des rapports et bibliographies du Commissariat à l'Energie Atomique est assurée par le Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).

Ces rapports et bibliographies sont également en vente à l'unité auprès de la Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.

Reports and bibliographies of the Commissariat à l'Energie Atomique are available, on an exchange basis, from the Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).

Individual reports and bibliographies are sold by the Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.

Edité par

le Service de Documentation

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Boîte Postale n° 2

91 190 Gif-sur-YVETTE (France)