

FR 770 1965

CEA-N-1971

- Note CEA-N-1971 -

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

**SECTIONS EFFICACES DES REACTIONS (n, xn) et (n, xnf)
DES NOYAUX ^{231}Th , ^{232}Th , ^{233}Th
DANS LE DOMAINE D'ENERGIE 1 MeV - 20 MeV**

par

Jacqueline JARY

- Juin 1977 -

Note CEA-N-1971

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

en français

SECTIONS EFFICACES
CIBLE THORIUM 231
CIBLE THORIUM 232
CIBLE THORIUM 233
DOMAINE 01-10 MEV
REACTIONS PAR NEUTRONS
FISSION
REACTIONS DE NOYAU COMPOSE
BARRIERE DE FISSION
ENERGIE DE SEPARATION DU NEUTRON

en anglais

CROSS SECTIONS
THORIUM 231 TARGET
THORIUM 232 TARGET
THORIUM 233 TARGET
MEV range 01-10
NEUTRON REACTIONS,
FISSION
COMPOUND-NUCLEOUS REACTIONS
FISSION BARRIER
NEUTRON SEPARATION ENERGY

- Note CEA-N-1971 -

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

**SECTIONS EFFICACES DES REACTIONS (n, xn) et (n, xnf)
DES NOYAUX ^{231}Th , ^{232}Th , ^{233}Th
DANS LE DOMAINE D'ENERGIE 1 MeV - 20 MeV**

par

Jacqueline JARY

NOTE CEA-N-1971 - JARY Jacqueline

SECTIONS EFFICACES DES REACTIONS (n,xn) ET (n,xnf) DES NOYAUX ^{231}Th , ^{232}Th , ^{233}Th DANS LE DOMAINE D'ENERGIE 1 MeV - 20 MeV

Sommaire. - Cette note présente une évaluation par modèle statistique des sections efficaces de fission et de réactions $(n,2n)$, $(n,3n)$ et $(n,4n)$ induites par des neutrons sur les isotopes ^{231}Th , ^{232}Th , et ^{233}Th dans la gamme d'énergie 1 MeV - 20 MeV. La méthode d'évaluation consiste en une paramétrisation des largeurs de fission au moyen d'un ajustement sur les sections efficaces de fission connues. Elle utilise les pénétrabilités neutron fournies par un modèle en voies couplées et calcule les différentes largeurs (neutron, fission, radiative) par un modèle statistique en supposant des densités de niveaux du type gaz de Fermi.

1977

22 p.

Commissariat à l'Energie Atomique

NOTE CEA-N-1971 - JARY Jacqueline

STATISTICAL MODEL EVALUATION OF (n,xn) AND (n,xnf) CROSS-SECTIONS FOR ^{231}Th , ^{232}Th AND ^{233}Th FROM 1 MeV TO 20 MeV

Summary. - We present a method for a statistical model evaluation of fission and (n,xn) cross sections from 1 MeV to 20 MeV neutrons for thorium isotopes. It consists in the determination of fission width parameters by a fit to various experimental fission cross sections. This method makes use of neutron transmission coefficients from a coupled-channel model and neutron, fission and radiative widths calculated by the statistical model including Fermi gas model level densities. Results are presented for the nuclei ^{233}Th , ^{232}Th , ^{231}Th .

1977

22 p.

Commissariat à l'Energie Atomique

SECTIONS EFFICACES DES REACTIONS (n,xn) ET (n,xnf) DES NOYAUX ^{231}Th ,
 ^{232}Th , ^{233}Th DANS LE DOMAINE D'ENERGIE 1 MeV - 20 MeV

1 - INTRODUCTION

En vue de fournir une estimation préliminaire en réponse à certains besoins exprimés (cf p.ex. [1]), le but de ce travail est de calculer par un modèle statistique simple [2], un ensemble cohérent de sections efficaces de fission et de réactions (n,2n), (n,3n) et (n,4n) induites par des neutrons dans trois isotopes du Thorium : ^{233}Th , ^{232}Th et ^{231}Th , dans la gamme d'énergie 1 MeV - 20 MeV.

La méthode d'évaluation utilisée consiste à paramétriser les rapports des largeurs de fission aux largeurs totales d'une série d'isotopes par un ajustement aux sections efficaces de fission expérimentales. Les largeurs ainsi définies sont utilisées ensuite pour calculer, sans ajustement spécial, les sections efficaces (n,xn) et (n,xnf) ($1 \leq x \leq 4$) notamment dans les domaines mal connus ou exempts de données expérimentales.

2 - RAPPEL SUCCINCT DE LA METHODE DE CALCUL

Dans une version simplifiée du modèle statistique, les sections efficaces (n,xn) et (n,xnf) ($1 \leq x \leq 3$) sont traitées sous la forme globale suivante qui néglige les effets de conservation du moment angulaire et de la parité :

$$\sigma (n,xn) = \sigma_c (E_n) \cdot \frac{\Gamma_n (E^*)}{\Gamma_T} \cdot P (E^*, xn\gamma) \quad (1)$$

$$\sigma (n,xnf) = \sigma_c (E_n) \cdot \frac{\Gamma_n (E^*)}{\Gamma_T} \cdot P (E^*, xnf) \quad (2)$$

Dans ces expressions, les sections efficaces apparaissent comme le produit de la section efficace de formation du noyau composé $\sigma_c (E_n)$ relative à l'énergie E_n des neutrons incidents, par la probabilité de décroissance dans les voies (xn) et (xnf). Cette probabilité est elle-même le produit de la probabilité totale $\frac{\Gamma_n (E^*)}{\Gamma_T}$ pour que le noyau composé excité à

l'énergie E^* émette au moins un neutron par la probabilité relative $P(E^*, x\gamma)$ ou $P(E^*, xnf)$ pour qu'il émette exactement x neutrons et évolue ensuite respectivement par émission γ ou par fission.

Les sections efficaces de formation du noyau composé utilisées dans ces calculs sont obtenues par un modèle en voies couplées [3]. Les probabilités relatives sont calculées sous la forme :

$$P(E^*, x\gamma) = \frac{\int_0^{E^* - S_1 - S_2 \dots - S_x} d\epsilon_1 \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma_c(\epsilon_1) \varrho(E_1^*) \frac{\Gamma_n}{\Gamma_T}(E_1^*) F(E_1^*, (x-1)\gamma)}{\int_0^{E^* - S_1} d\epsilon_1 \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma_c(\epsilon_1) \varrho(E_1^*)} \quad (3)$$

Dans cette expression ϵ_1 est l'énergie du neutron émis. $S_1, S_2 \dots$ sont les énergies de séparation d'un neutron respectivement du noyau composé, du premier noyau résiduel etc. ; $\varrho(E_1^*)$ est la densité de niveaux du 1er noyau résiduel excité à l'énergie E_1^* et $\sigma_c(\epsilon_1)$ est la section efficace de réaction inverse issue également d'un calcul en voies couplées [3].

Pour $x > 1$, $P(E^*, xnf)$ est une expression analogue à (3).

Dans le cas particulier où $x = 1$, le dernier noyau résiduel ne peut plus qu'émettre des γ ou se fissionner. Les deux derniers facteurs de l'intégrant du numérateur de l'équation (3) sont alors remplacés respectivement par les rapports $\frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma_T}$ ou $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_T}$.

Les sections efficaces $(n, 4n)$ dont le seuil est voisin de 18 MeV pour les isotopes du thorium sont calculées selon le modèle de Jackson [4]. Dans ce modèle, compte tenu de la fission, la section efficace $(n, 4n)$ s'écrit :

$$\sigma(n, 4n) = \sigma_c(E_n) \cdot \frac{\Gamma_n}{\Gamma_T}(E^*) \frac{\Gamma_n}{\Gamma_T}(E_1^*) \frac{\Gamma_n}{\Gamma_T}(E_2^*) \frac{\Gamma_n}{\Gamma_T}(E_3^*) \left| I(\Delta_4, 5) - I(\Delta_4^f, 7) \right| \quad (4)$$

avec

$$I(z, n) = \frac{1}{n!} \int_0^z y^n e^{-y} dy$$

$$\Delta_h = (E^* - \sum_{i=1}^h S_i) / T$$

$$\Delta_h^f = (E^* - \sum_{i=1}^h S_i - B_f^{(5)}) / T$$

$B_f^{(5)}$ étant la barrière de fission du noyau résiduel.

Les énergies d'excitation E_1^* , E_2^* , E_3^* des noyaux intermédiaires apparaissant dans le processus sont calculées en supposant que les neutrons émis emportent une énergie égale à la température nucléaire du noyau résiduel correspondant. La température nucléaire T qui apparaît dans les expressions de Δ_h et Δ_h^f ci-dessus est une température nucléaire moyenne obtenue à partir des températures des différents noyaux formés dans cette réaction.

Les densités de niveaux utilisées sont celles de Gilbert et Cameron [5] avec les corrections dues aux effets de couche et d'appariement. Au dessus d'une énergie de transition E_x^* déterminée empiriquement [5], la densité de niveaux suit la loi :

$$\rho(E^* - \Delta) \sim \exp \left[2 \sqrt{a(E^* - \Delta)} \right] / \left[a^{1/2} (E^* - \Delta)^{3/2} \right] \quad (5)$$

a étant le paramètre de densité de niveaux, et Δ la correction d'énergie d'appariement. Au dessous de E_x , la densité de niveaux est supposée suivre une loi en $\exp(\frac{E^*}{T})$, où T est la température nucléaire.

Les différentes largeurs Γ_n , Γ_f , Γ_γ sont calculées statistiquement à l'aide de ces densités de niveaux [2]. Les largeurs de fission, pour des énergies suffisantes au dessus de la barrière de fission B_f , sont écrites sous la forme

$$\Gamma_f(E^*) = K_1 \left[2\pi \rho(E^*) \right]^{-1} \int_0^{E^* - B_f} \rho^*(\epsilon) d\epsilon \quad (6)$$

où ϵ est l'énergie d'excitation dans les degrés de liberté autres que celui de fission. La densité $\rho^*(\epsilon)$ au point selle a la même expression que (5),

mais le paramètre de densité de niveaux a prend une autre valeur a_f supposée varier avec l'énergie d'excitation selon la loi approchée :

$$a_f = a \left(1 + \frac{K_2}{E^{\bullet} - \Delta} \right) \quad (7)$$

K_1 et K_2 sont les constantes ajustables de ce calcul.

3 - RESULTATS OBTENUS SUR LES CIBLES ^{233}Th , ^{232}Th et ^{231}Th

Les sections efficaces de fission mesurées ou évaluées ont été utilisées pour déterminer, à l'aide des paramètres K_1 et K_2 , les largeurs Γ_f , Γ_n et Γ_γ d'une série d'isotopes. Les sections efficaces (n, xn) et (n, xnf) sont ensuite calculées par les équations (1) et (2).

Les valeurs obtenues des coefficients K_1 et K_2 ainsi que les énergies de séparation des neutrons et barrières de fission utilisées sont données dans le tableau 1.

3-1-Cible Thorium 233

Les largeurs caractéristiques du noyau composé $^{234}\text{Th}^{\bullet}$ formé par l'absorption d'un neutron, ont été obtenues par un ajustement aux sections efficaces de fission $^{233}\text{Th} (n, f)$ (fig. 1) calculées à partir des probabilités de fission P_f déduites de mesures de réactions (t, pf) sur ^{232}Th [6] et des sections efficaces de formation du noyau composé $\sigma_c(E_n)$ [3], suivant la relation :

$$\sigma_{n,f}(E_n) = \sigma_c(E_n) \times P_f(E_n) \quad (8)$$

Les largeurs caractéristiques des autres isotopes $^{233}\text{Th}^{\bullet}$ et $^{232}\text{Th}^{\bullet}$ qui interviennent respectivement au niveau des 2ème et 3ème paliers de la section efficace de fission totale du ^{233}Th sont obtenues par ajustement sur les deux premiers paliers de fission du ^{232}Th (cf 3-2).

Les résultats de calcul des sections efficaces de fission et de réactions $(n, 2n)$ et $(n, 3n)$ sur ^{233}Th sont données dans le tableau 2, les sections efficaces de réaction $(n, 4n)$ obtenues sont reportées dans le tableau 5.

3-2-Cible Thorium 232

L'ajustement à la section efficace de fission expérimentale [7] de ^{232}Th a permis de calculer les largeurs des isotopes ^{233}Th , ^{232}Th et

^{231}Th respectivement associés au premier, deuxième et troisième paliers de fission (cf fig. 2).

La section efficace de réaction $(n,2n)$ calculée (fig. 3) est en assez bon accord avec l'expérience [8] excepté entre 10 MeV et 13 MeV où elle est un peu forte ($\sim 25\%$) par rapport aux mesures. Une nouvelle paramétrisation du modèle optique actuellement en cours par ailleurs [3], et qui tend à diminuer les sections efficaces de formation du noyau composé dans ce domaine d'énergie, contribuera à une réduction sensible de cet écart. Les calculs présents seront ultérieurement repris dans ce nouveau cadre et complétés, si possible, par des calculs de sections efficaces (n,γ) et (n,n') à basse énergie.

A 14 MeV, la section efficace $(n,3n)$ calculée présentement est en bon accord avec l'expérience [9].

Les sections efficaces $(n,2n)$, $(n,3n)$ et (n,f) calculées sont tabulées dans le tableau 3, et les sections efficaces $(n,4n)$ dans le tableau 5.

3-3- Cible Thorium 231

Les largeurs caractéristiques des isotopes $^{232}\text{Th}^*$ et $^{231}\text{Th}^*$ concernés par les fissions respectivement de 1ère et de 2ème chance ont été déterminées par ajustement sur la section efficace de fission expérimentale du ^{232}Th .

Les largeurs du ^{230}Th , nécessaires pour calculer le 3ème palier de fission de ^{231}Th (fig 4), ont été obtenues par une simple extrapolation des rapports $\left(\frac{\Gamma_f}{\Gamma_T}\right)_{E_n = 3 \text{ MeV}}$ des isotopes voisins en fonction du nombre de masse (fig. 5).

On notera que les sections efficaces de fission calculées au niveau du 1er palier se trouvent, sans aucun ajustement, être très voisines de celles obtenues indépendamment à partir des mesures de P_f au moyen de réactions (t,pf) [6] et en utilisant la relation (8).

Les sections efficaces $(n,2n)$, $(n,3n)$ et de fission calculées sont données dans le tableau 4, et les sections efficaces $(n,4n)$ dans le tableau 5.

Les figures 6 et 7 montrent les sections efficaces (n,xn) calculées ($x = 2,3$ et 4) respectivement pour les cibles ^{233}Th et ^{231}Th .

4 - CONCLUSION

L'utilisation de ce modèle statistique simple a permis de calculer les sections efficaces de fission du ^{231}Th et ^{233}Th pour lesquelles n'existent que des mesures très indirectes et dans un domaine très limité d'énergie [6,7]. L'ajustement à la section efficace de fission mieux connue du ^{232}Th a permis également de calculer, au moyen des largeurs d'une série d'isotopes concernés par les fissions de 1er, 2ème et 3ème chances, les sections efficaces des réactions (n,2n) et (n,3n) des 3 isotopes ^{233}Th , ^{232}Th et ^{231}Th . Compte tenu des comparaisons possibles avec les sections efficaces expérimentales ^{232}Th (n,2n) et ^{232}Th (n,3n), nous espérons que les sections efficaces calculées par la méthode présente pour ces noyaux lourds peuvent constituer une première approche utile pour les applications pratiques en l'absence de données expérimentales suffisantes.

REFERENCES

- [1] WRENDA 76/77 World Request List for Nuclear Data INDC(SEC) - 55/URSF.
- [2] J. JARY, Rapport CEA-R-4647 (1975)
- [3] Ch. LAGRANGE, NEANDC-Report JAERI-M-5984 (1975),
et communications privées.
- [4] J.D. JACKSON, Can. J. Phys., 34 (1956) 767.
E.K. HYDE, The Nuclear Properties of the Heavy Elements, Vol III
p.318 (Prentice-Hall, Inc (1964)).
- [5] A. GILBERT, A.G.W. CAMERON, Can. J. Phys. 43 (1965) 1446.
- [6] J.D. CRAMER, H.C. BRITT, N.S.E. 41 (1970) 177.
- [7] V.M. PANKRATOV, Atom. Energija 14 (1963) 177.
BNL-325 2ème édition (1965).
- [8] J.P. BUTLER et al, Can. J. Chem. 39 (1961) 689.
H.A. TEWES et al, Bull. Am. Phys. Soc. 4 (1959) 445.
R.J. PRESTWOOD et al, Phys. Rev. 121 (1961) 1438.
D.R.F. COCHRAN, Communication privée (1958) citée dans BNL-325 (1965).
- [9] M.H. McTAGGART et al, J. Nucl. Energy 17 (1963) 437.
- [10] Livermore. LLL ENDL. 1976.
- [11] A.H. WAPSTRA, N.B. GOVE, Nuclear Data Tables 2 (1971) n° 4-5.
- [12] J.E. LYNN, Rapport AERE-R-7468 (1974).

Manuscrit reçu le 7 mars 1977

TABLEAU 1

Isotope	K_1	K_2	S	B_f
234	0,251	0,226	6,179	6,07
233	0,296	1,016	4,789	6,70
232	0,225	0,028	6,431	5,82
231	1,757	0	5,129	6,02
230	0,908	0	6,787	6,10

Paramètres K_1 et K_2 obtenus, énergies de séparation S des neutrons [11] et barrières de fission [12] des isotopes du Thorium.

TABLEAU 2

REACTIONS (N,XN) ET (N,XNF) POUR LE NOYAU DE CHARGE Z= 90, ET DE NOMBRE DE MASSE A= 235.

LES ENERGIES SONT EXPRIMEES EN MEV, LES SECTIONS EFFICACES EN BARN

ENERGIE DES NEUTRONS	1	SECT. EFFICACE (N,2N)	1	SECT. EFFICACE (N,3N)	1	SECT. EFFICACE (N,F)	1	SECT. EFFICACE (N,NF)	1	SECT. EFFICACE (N,2NF)	1	SECT. EFFICACE FISSION TOTALE	1
0.10000 01	1	0.0	1	0.0	1	0.10350 00	1	0.0	1	0.0	1	0.10350 00	1
0.15000 01	1	0.0	1	0.0	1	0.10160 00	1	0.0	1	0.0	1	0.10160 00	1
0.17500 01	1	0.0	1	0.0	1	0.10200 00	1	0.0	1	0.0	1	0.10200 00	1
0.20000 01	1	0.0	1	0.0	1	0.10380 00	1	0.0	1	0.0	1	0.10380 00	1
0.30000 01	1	0.0	1	0.0	1	0.10520 00	1	0.0	1	0.0	1	0.10520 00	1
0.40000 01	1	0.0	1	0.0	1	0.10510 00	1	0.0	1	0.0	1	0.10510 00	1
0.50000 01	1	0.44870-01	1	0.0	1	0.10540 00	1	0.10070-06	1	0.0	1	0.10540 00	1
0.60000 01	1	0.13650 01	1	0.0	1	0.10230 00	1	0.29200-05	1	0.0	1	0.10230 00	1
0.70000 01	1	0.21870 01	1	0.0	1	0.10050 00	1	0.22100-05	1	0.0	1	0.10050 00	1
0.80000 01	1	0.23620 01	1	0.0	1	0.11330 00	1	0.85150-01	1	0.0	1	0.11330 00	1
0.90000 01	1	0.24610 01	1	0.0	1	0.10740 00	1	0.11110 00	1	0.0	1	0.10740 00	1
0.10000 02	1	0.25340 01	1	0.0	1	0.10340 00	1	0.12100 00	1	0.0	1	0.10340 00	1
0.11000 02	1	0.25450 01	1	0.0	1	0.97670-01	1	0.12400 00	1	0.43160-02	1	0.97670-01	1
0.12000 02	1	0.24640 01	1	0.21750-01	1	0.91300-01	1	0.12400 00	1	0.71150-01	1	0.91300-01	1
0.13000 02	1	0.20500 01	1	0.35420 00	1	0.89010-01	1	0.12470 00	1	0.14110 00	1	0.89010-01	1
0.14000 02	1	0.14400 01	1	0.94420 00	1	0.85990-01	1	0.12950 00	1	0.15990 00	1	0.85990-01	1
0.15000 02	1	0.94010 00	1	0.14580 01	1	0.82720-01	1	0.12900 00	1	0.14800 00	1	0.82720-01	1
0.16000 02	1	0.61020 00	1	0.17550 01	1	0.75050-01	1	0.12640 00	1	0.14040 00	1	0.75050-01	1
0.18000 02	1	0.22900 00	1	0.18650 01	1	0.71310-01	1	0.11090 00	1	0.12490 00	1	0.71310-01	1
0.20000 02	1	0.74900-01	1	0.11490 01	1		1	0.86380-01	1	0.10110 00	1	0.74900-01	1

TABLEAU 3

REACTIONS (N,XN) ET (N,XNF) POUR LE NOYAU DE CHARGE Z= 90. ET DE NOMBRE DE MASSE A= 232.

LES ENERGIES SONT EXPRIMEES EN MEV. LES SECTIONS EFFICACES EN BARN

ENERGIE DES NEUTRONS	1 SECT. (N.2N)	1 SECT. (N.3N)	1 SECT. (N.F)	1 SECT. (N.MF)	1 SECT. (N.2MF)	1 SECT. EFFICACE TOTAL
0.3000 01	0.0	0.0	0.1350 00	0.0	0.0	0.1350 00
0.3700 01	0.0	0.0	0.1330 00	0.0	0.0	0.1330 00
0.4200 01	0.0	0.0	0.1340 00	0.0	0.0	0.1340 00
0.5000 01	0.0	0.0	0.1370 00	0.2130-03	0.0	0.1370 00
0.5300 01	0.0	0.0	0.1381 00	0.1070-02	0.0	0.1370 00
0.6000 01	0.0	0.0	0.1382 00	0.3490-01	0.0	0.1370 00
0.6700 01	0.0	0.0	0.1381 00	0.3290-01	0.0	0.1731 33
0.6500 01	0.4070-03	0.0	0.1370 00	0.1230 30	0.0	0.1731 33
0.6800 01	0.3710-01	0.0	0.1360 00	0.1070 00	0.0	0.2581 00
0.7200 01	0.3710 00	0.0	0.1354 00	0.2160 00	0.0	0.3250 00
0.7700 01	0.4010 00	0.0	0.1330 00	0.2031 00	0.0	0.3360 00
0.8000 01	0.1180 01	0.0	0.1314 00	0.1940 00	0.0	0.3250 00
0.9000 01	0.1800 01	0.0	0.1450 00	0.1570 00	0.0	0.3030 00
0.1000 02	0.2100 01	0.0	0.1450 00	0.1490 00	0.0	0.2940 00
0.1060 02	0.2210 01	0.0	0.1410 00	0.1500 00	0.0	0.2710 00
0.1170 02	0.2200 01	0.3740-04	0.1310 00	0.1510 00	0.1590-04	0.2840 00
0.1250 02	0.2320 01	0.0800-01	0.1310 00	0.1440 00	0.0800-03	0.2780 00
0.1320 02	0.2040 01	0.3770 00	0.1280 00	0.1450 00	0.3770-02	0.2810 00
0.1390 02	0.1520 01	0.8140 00	0.1250 00	0.1490 00	0.4130-01	0.3160 00
0.1490 02	0.9930 00	0.1330 01	0.1210 00	0.1400 00	0.1240 00	0.3820 00
0.1510 02	0.9000 00	0.1400 01	0.1210 00	0.1370 00	0.1270 00	0.4010 00
0.1610 02	0.5490 00	0.1840 01	0.1181 00	0.1290 00	0.2140 00	0.4630 00
0.1650 02	0.4580 00	0.1730 01	0.1180 00	0.1250 00	0.2381 00	0.4800 00
0.1730 02	0.3230 00	0.1861 01	0.1160 00	0.1140 00	0.2680 00	0.5020 00
0.1820 02	0.2100 00	0.1950 01	0.1120 00	0.1140 00	0.2900 00	0.5150 00
0.1900 02	0.1550 00	0.1990 01	0.1170 00	0.1070 00	0.3020 00	0.5320 00
0.2000 02	0.9450-01	0.1890 01	0.1090 00	0.9510-01	0.2951 00	0.5530 00

TABLEAU 4

REACTIONS (N,XN) ET (N,XNF) POUR LE NOYAU DE CHARGE Z= 90, ET DE NOMBRE DE MASSE A= 231.

LES ENERGIES SONT EXPRIMEES EN MEV, LES SECTIONS EFFICACES EN BARN

ENERGIE DES NEUTRONS		SECT. EFFICACE (N,ZN)		SECT. EFFICACE (N,ZN)		SECT. EFFICACE (N,P)		SECT. EFFICACE (N,NP)		SECT. EFFICACE (N,ZNF)		SECT. EFFICACE FISSION TOTALE	
	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
0.10000	01	0.0	I	0.0	I	0.16260 00	I	0.0	I	0.0	I	0.16260 00	I
0.15000	01	0.0	I	0.0	I	0.15970 00	I	0.0	I	0.0	I	0.15970 00	I
0.17500	01	0.0	I	0.0	I	0.16080 00	I	0.0	I	0.0	I	0.16080 00	I
0.20000	01	0.0	I	0.0	I	0.16420 00	I	0.0	I	0.0	I	0.16420 00	I
0.30000	01	0.0	I	0.0	I	0.16870 00	I	0.0	I	0.0	I	0.16870 00	I
0.40000	01	0.0	I	0.0	I	0.16990 00	I	0.0	I	0.0	I	0.16990 00	I
0.50000	01	0.0	I	0.0	I	0.16530 00	I	0.83220-04	I	0.0	I	0.16540 00	I
0.60000	01	0.60200 00	I	0.0	I	0.15760 00	I	0.77120-02	I	0.0	I	0.16510 00	I
0.70000	01	0.16160 01	I	0.0	I	0.16170 00	I	0.12760 00	I	0.0	I	0.28910 00	I
0.80000	01	0.19430 01	I	0.0	I	0.14570 00	I	0.24950 00	I	0.0	I	0.39570 00	I
0.90000	01	0.21020 01	I	0.0	I	0.13540 00	I	0.30810 00	I	0.0	I	0.44390 00	I
0.10000	02	0.22130 01	I	0.0	I	0.12670 00	I	0.33410 00	I	0.22400-05	I	0.46080 00	I
0.11000	02	0.22590 01	I	0.0	I	0.11720 00	I	0.34900 00	I	0.41530-03	I	0.46060 00	I
0.12000	02	0.22490 01	I	0.89300-06	I	0.10950 00	I	0.34890 00	I	0.37890-01	I	0.47670 00	I
0.13000	02	0.21000 01	I	0.34110-01	I	0.10260 00	I	0.34230 00	I	0.15330 00	I	0.52870 00	I
0.14000	02	0.17330 01	I	0.27700 00	I	0.97540-01	I	0.34060 00	I	0.29940 00	I	0.73760 00	I
0.15000	02	0.12890 01	I	0.64340 00	I	0.22460-01	I	0.35950 00	I	0.34400 00	I	0.79800 00	I
0.16000	02	0.92000 00	I	0.97770 00	I	0.87930-01	I	0.35710 00	I	0.36540 00	I	0.81050 00	I
0.18000	02	0.43930 00	I	0.14060 01	I	0.81000-01	I	0.34470 00	I	0.41320 00	I	0.81870 00	I
0.20000	02	0.15420 00	I	0.12450 01	I	0.75520-01	I	0.27990 00	I	0.35800 00	I	0.72150 00	I

TABLEAU 5

	Seuil de la réaction (MeV)	E_n (MeV)	$\sigma(n,4n)$ (barn)
^{233}Th	16,349	18	0,303
		20	1,163
^{232}Th	18,347	19	0
		20	0,124
^{231}Th	17,149	18	0,0016
		20	0,550

Sections efficaces des réactions $(n,4n)$ des isotopes
du Thorium.

LEGENDE DES FIGURES

Fig. 1 Section efficace de fission neutronique du ^{233}Th .

× Réf.[6](voir texte)

--- Réf.[10]: évaluation Livermore ENDL (1976)

— Calculs présents

Fig. 2 Section efficace de fission neutronique du ^{232}Th .

× Réf.[7]

— Calculs présents

Fig. 3 Sections efficaces des réactions $^{232}\text{Th}(n,2n)$ et $^{232}\text{Th}(n,3n)$

• BUTLER et al

× TEWES et al

• PRESTWOOD et al

Δ COCHRAN et al

---- Evaluation expérimentale BNL-325 (1965)

■ McTAGGART Réf.[9] [Réaction (n,3n)]

— Calculs présents

Réf. [8] [réaction
(n,2n)]

Fig. 4 Section efficace de fission neutronique du ^{231}Th

× Réf.[6](voir texte)

--- Evaluation de Livermore. ENDL (1976) réf. [10]

— Calculs présents

Fig. 5 Rapports des largeurs de fission aux largeurs totales, pour une énergie des neutrons incidents de 3 MeV, en fonction du nombre de masse du noyau.

× Valeurs obtenues par ajustement aux différentes sections efficaces de fission expérimentales (^{233}Th et ^{232}Th).

— Droite extrapolée

Fig. 6 Sections efficaces (n,xn) calculées (x = 2,3 et 4) sur la cible ^{233}Th .

Fig. 7 Sections efficaces (n,xn) calculées (x = 2,3 et 4) sur la cible ^{231}Th .

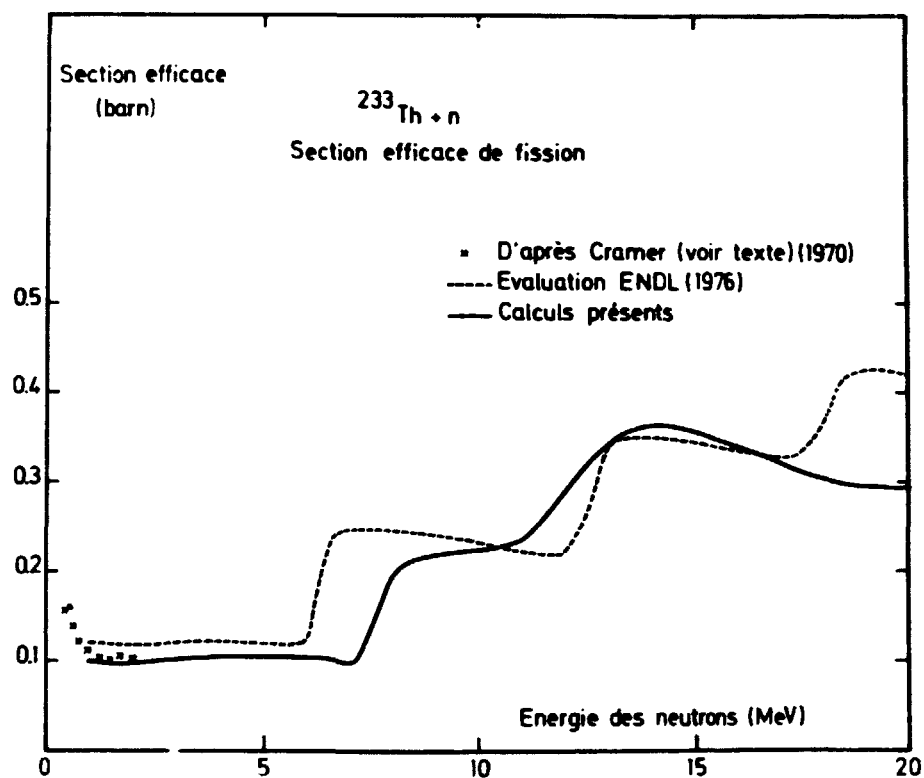


FIG. 1

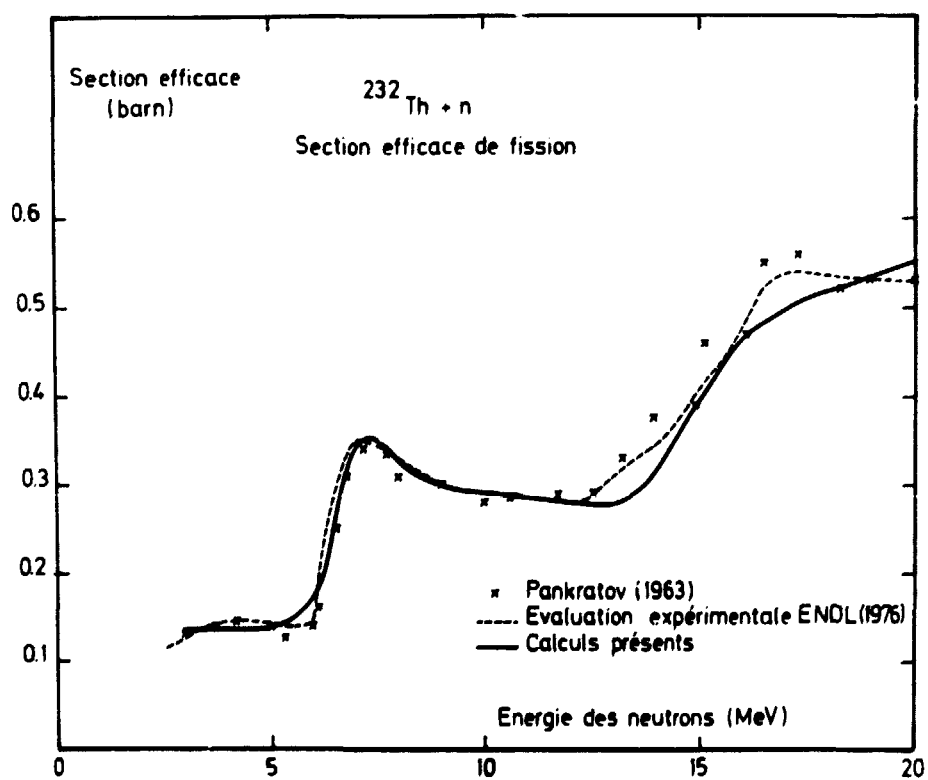


FIG. 2

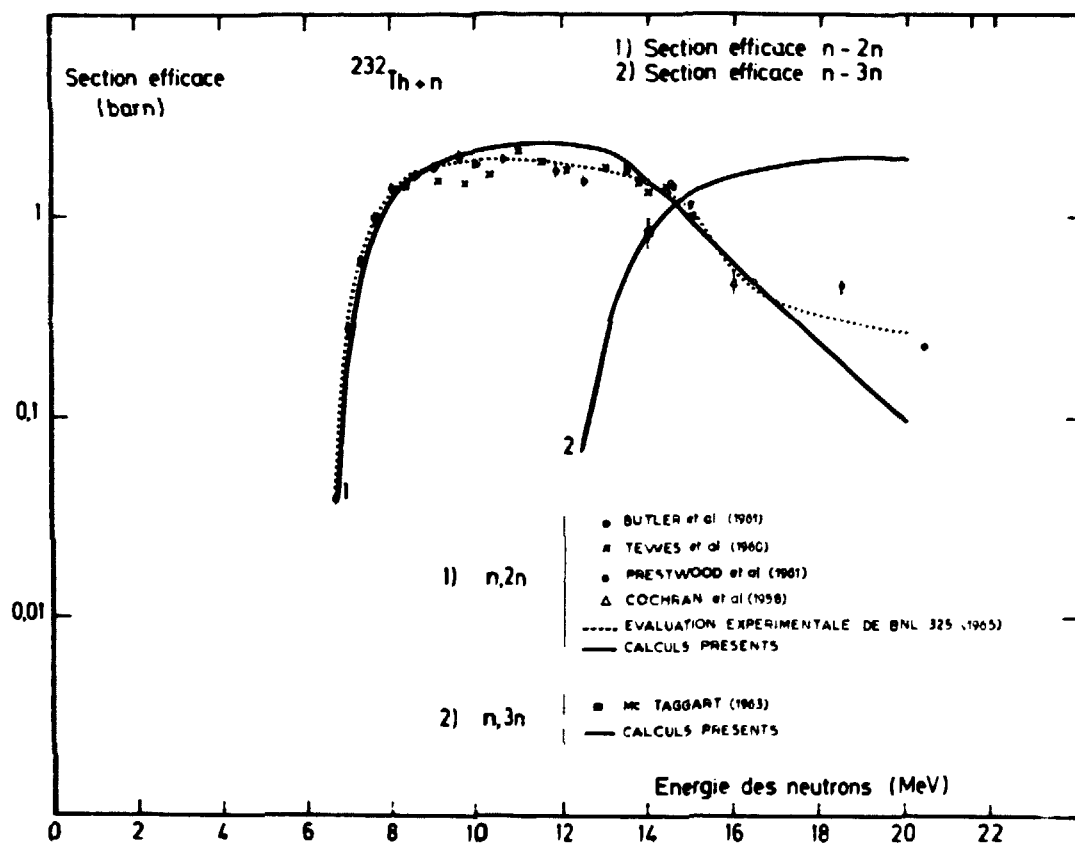


FIG. 3

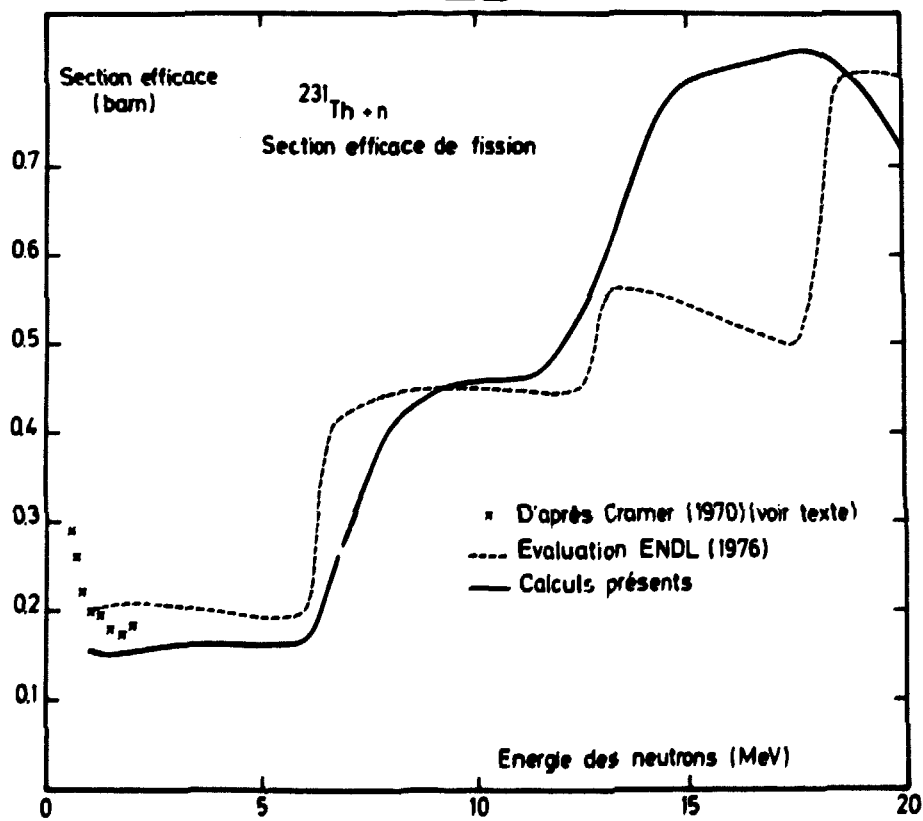


FIG. 4

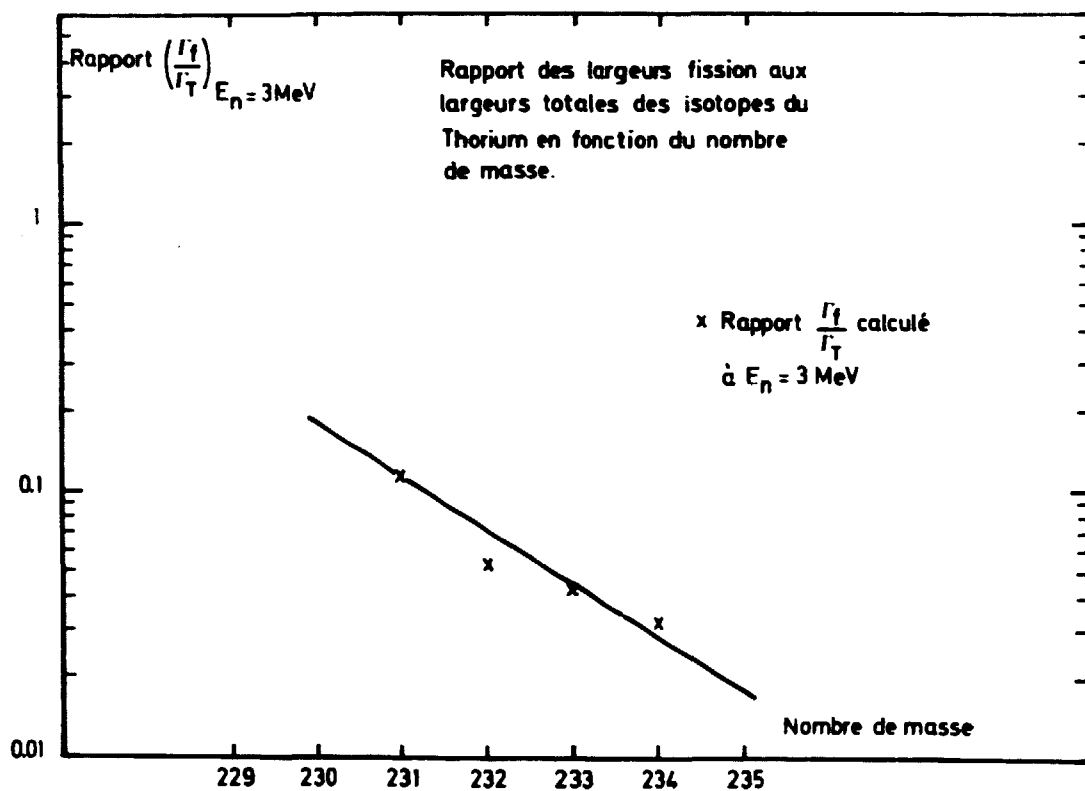


FIG. 5

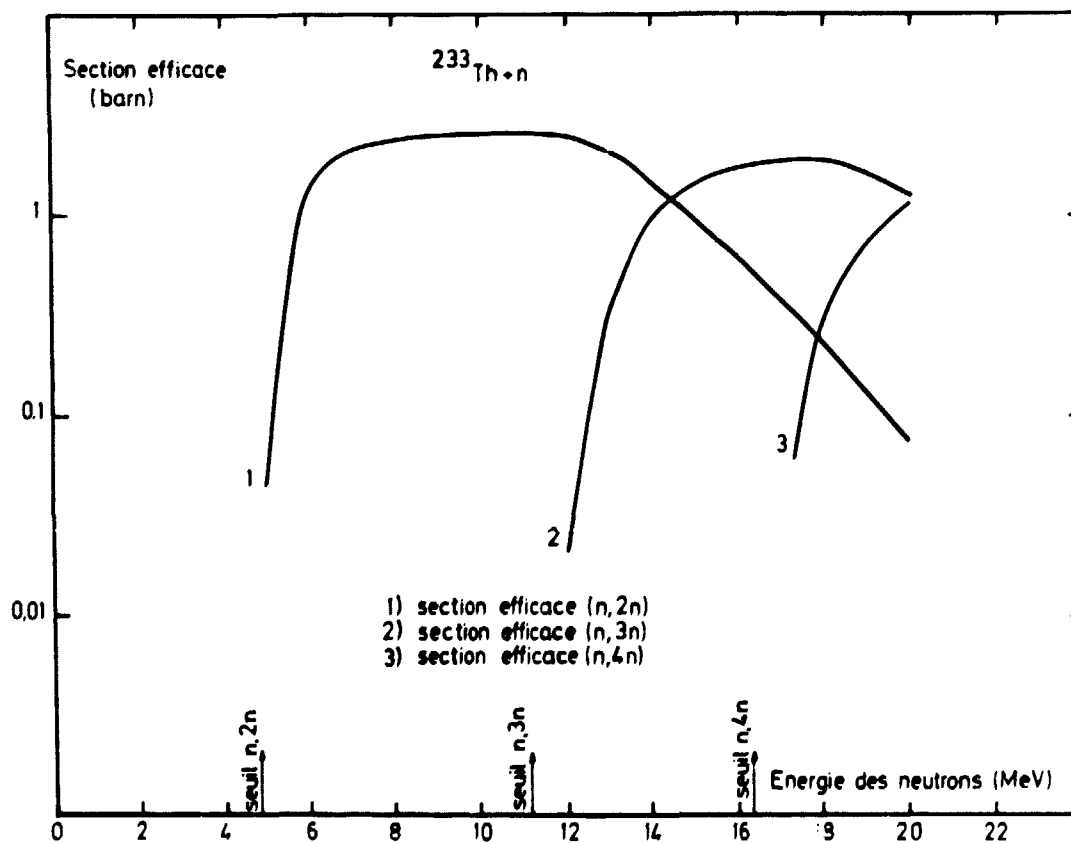


FIG. 6

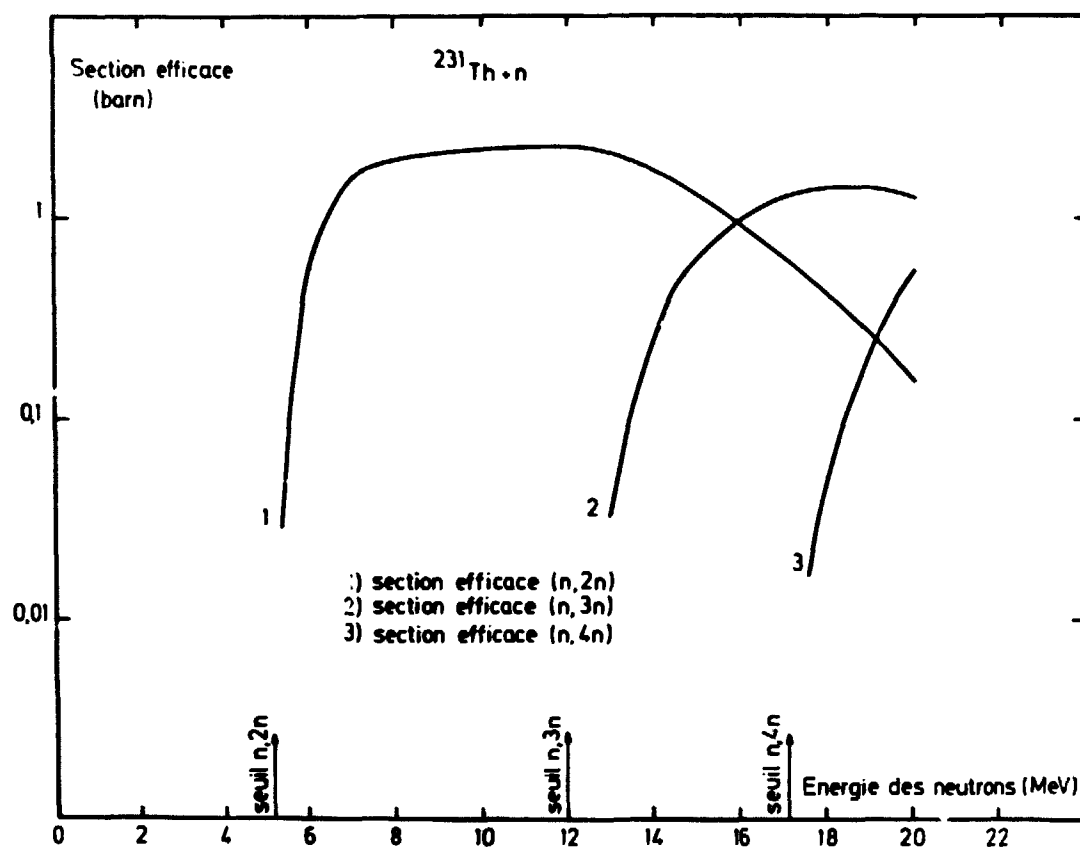


FIG. 7



Edité par

le Service de Documentation

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Boîte Postale n° 2

91190 - Gif-sur-YVETTE (France)