# FW81 00704

CEA-N-2195

- Note CEA-N-2195 -

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

# SECTIONS EFFICACES DE CAPTURE DE DIFFERENTS ELEMENTS POUR DES NEUTRONS D'ENERGIE COMPRISE ENTRE 0,5 ET 3 MeV

par

Gérard GRENIER, Jacques VOIGNIER, Serge JOLY

- Mars 1981 -

1 1 1

1 1 1

1.1

1.1

11

CEA-N-2195 - Gérard GRENIER, .Jacques VOIGNIER, Serge JOLY

SECTIONS EFFICACES DE CAPTURE DE DIFFERENTS ELEMENTS POUR DES NEUTRONS D'ENERGIE COMPRISE ENTRE 0,5 ET 3 MeV.

Sommaire.- Les sections efficaces de Capture des éléments : Rh, Y, Nb, Gd, W, Pt, Tt et des isotopes : <sup>135</sup>Gd, <sup>136</sup>Gd, <sup>136</sup>Gd, <sup>146</sup>Gd, <sup>142</sup>W, <sup>143</sup>W, <sup>146</sup>W, <sup>146</sup>W, <sup>203</sup>Tt et <sup>205</sup>Tt, ont été mesurées pour des neutrons d'éne gie comprise entre 0,5 et 3 MeV. La section efficace de capture est déterminée à partir du spectre des rayonnements y émis par l'échatillon. Le détecteur de rayonnements y est constitué d'un cristal Nal central associé à un cristal annulaire. La méthode de tamps de vol est utilisée. Nos résultats sont comparés aux données antérieures, ainsi qu'à des évaluations et des calculs.

1981

15 p.

15 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-N-2195 - Gérard GRENIER .Jacques VOIGNIER, Serge JOLY CAPTURE CROSS-SECTION MEASUREMENTS FOR DIFFERENT ELEMENTS AT NEUTROM ENERGIES BETWEEN 0.5 AND 3.0 MeV

Summary.- Neutron capture cross-sections have been measured for the nuclides : Rb, Y, Nb, Gd, W, Pt, T£, and for the isotopes  $^{155}$ (Kl,  $^{156}$ Gd,  $^{137}$ Gd,  $^{136}$ Gd,  $^{140}$ Gl,  $^{142}$ W,  $^{161}$ W,  $^{164}$ W,  $^{203}$ T£ and  $^{205}$ T£ in the .5 MeV to 3.0 MeV neutron energy range. Neutron capture cross-sections are determined through direct  $\gamma$ -ray spectrum emitted by the sample. The gamma-rays are detected by a Nal scintillator surrounded by an annular Nal detector. The time-of-flight method is used. Our results are compared with previous data, evaluations and statistical model calculations. calculations.

1981

en français

Commissariat à l'Energie Atomique - France

## Note CEA-N-2195

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

en analais

	-
REACTIONS PAR NEUTRONS	NEUTRON REACTIONS
CAPTURE	CAPTURE
SECTIONS EFFICACES	CROSS SECTIONS
DOMAINE 01 - 10 MEV	MEV RANGE 01 - 10
DOMAINE 100 · 1000 KEV	KEV RANGE 100 - 1000
ISOTOPES DE RUBIDIUM	RUBIDIUM ISOTOPES
CIBLE YTTRIUM 89	YTTRIUM 89 TARGET
CIBLE NIOBIUM 93	NIOBIUM 93 TARGET
ISOTOPES DE PLATINE	PLATINUM ISOTOPES
ISOTOPES DE GADOLINIUM	GADOLINIUM ISOTOPES
ISOTOPES DE TUNGSTENE	TUNGSTEN ISOTOPES
ISOTOPES DE THALLIUM	THALLIUM ISOTOPES
DONNEES EXPERIMENTALES	EXPERIMENTAL DATA

- Note CEA-N-2195 -

•----

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

# SECTIONS EFFICACES DE CAPTURE DE DIFFERENTS ELEMENTS POUR DES NEUTRONS D'ENERGIE COMPRISE ENTRE 0.5 ET 3 MeV

.

раг

Gérard GRENIER, Jacques VOIGNIER, Serge JOLY

I I I I II I

ii -

# TABLE DES MATIERES

- c -

\*-

,

INTRODUCTION	2
I - METHODE ET CONDITIONS EXPERIMENTALES	2
II - RESULTATS ET DISCUSSION	3
REFERENCES	6
TABLEAU	8
FIGURES	9

-----

1.1

1

1 1 1

1

#### INTRODUCTION

Les sections efficaces et les spectres de capture sont importants pour la technologie nucléaire, en particulier pour la protection des réacteurs. La connaissance des sections efficaces et des spectres de capture apporte aussi des renseignements sur le mécanisme de la réaction  $(n,\gamma)$ . D'une façon générale, les résultats expérimentaux disponibles concernant la capture des neutrons sont limités pour les énergies de neutrons élevées. Rares sont les mesures effectuées avec des neutrons ayant une énergie supérieure à 700 keV. La méthode que nous avons développée permet de telles mesures.

Les sections efficaces de capture de nombreux éléments obtenus avec des neutrons d'énergie comprise entre 0,5 et 3 MeV, sont présentées. Ces résultats sont comparés aux données antérieures, ainsi qu'à des évaluations et des calculs basés sur le modèle statistique.

## I - METHODE ET CONDITIONS EXPERIMENTALES -

La méthode a déjà été décrite en détails par ailleurs [1], nous ne rappelerons ici que le principe. La section efficace de capture est déterminée à partir du spectre des rayonnements γ émis par l'échantillon. Le détecteur de rayonnementsy est constitué d'un cristal NaI central associé à un cristal annulaire. Le spectromètre fonctionne simultanément en mode anti-Compton (AC) et en mode premier échappement (PE). Les rayonnements  $\gamma$  de capture sont discriminés des rayonnements parasites par la méthode du temps de vol. Le spectre d'amplitude est déconvolué par la fonction de réponse du spectrométre puis corrigé de son efficacité. La distribution des rayonnements y émis par capture est déduite de la forme de la distribution expérimentale à l'aide d'un calcul théorique et la section efficace est définie à partir du rapport de ces deux distributions. Les neutrons sont produits par les réactions <sup>7</sup>Li(p,n) pour une énergie de 500 keV et T (p,n) pour les neutrons d'énergie supérieure. Le faisceau de protons utilisé est délivé par le Van de Graaff 4MV de Bruyères-le-Châtel; c'est un faisceau pulsé à une fréquence de répétition de 2,5 MHz et une largeur de bouffée d'environ 1 ns.

Les cibles de lithium métallique ou de tritium adsorbé dans du titane sont déposées sur un support de tantale ou d'or refroidi par un jet d'air comprimé. L'épaisseur des cibles varie de 40 à 80 keV. L'efficacité et les spectres de réponse du spectromètre y (modes AC et PE) sont déterminés à l'aide de sources radioactives calibrées et de réactions nucléaires.

Le spectromètre  $\gamma$  est entouré d'une importante protection de plomb et de paraffine mélangée avec du carbonate de lithium ou de l'acide borique. Le collimateur est rempli par un cylindre de <sup>6</sup>Li H de 20 cm de longueur pour atténuer le flux des neutrons diffusés par l'échantillon. Une barre d'ombre de tungstène protège le détecteur central des radiations produites par la cible.

Le flux de neutrons est mesuré par un long compteur directionnel placé à  $0^{\circ}$ .

L'acquisition biparamétrique des spectres d'amplitude et de temps de vol est faite pour les deux modes AC et PE.

A l'exception de la transmission des neutrons à travers l'échantillon obtenue expérimentalement et de l'atténuation des rayonnements y dans l'échantillon, les autres corrections (diffusion multiple et atténuation des neutrons dans l'échantillon, amisotropie de la source de neutrons) sont calculées à l'aide d'une version modifiée du programme Monte-Carlo de D.L. SMITH [2].

## II - RESULTATS ET DISCUSSION -

Nos résultats sont comparés aux données antérieures et aux valeurs calculées par modèle statistique à Bruyères-le-Châtel.

- Les sections efficaces de capture du rubidium sont reportées sur la figure l. La courbe représente un calcul fait par SIMON [3]. Les valeurs calculées sont en bon accord avec nos résultats expérimentaux, à 2,5 MeV elles semblent copendant 30% plus élevées.

- Les résultats relatifs à la section efficace de capture de l'yttrium sont représentés sur la figure 2. Tous les résultats antérieurs au-dessus de 500 keV ont été obtenus par la méthode d'activation. Nos valeurs sont en assez bon accord avec les résultats de KOROLEVA [4] et de STUPEGIA [5] renormalisés. Si l'on ne considère pas les résultats de BOSTROM [6] et de GRENCH [7] qui devraient être renormalisés, la courbe calculée par THOMET [8] semble assez bien représenter les résultats expérimentaux. Par contre l'évaluation ENDF/BIV est systématiquement trop haute.

Les sections efficaces de capture du niobium sont indiquées sur la figure
3. La plupart des résultats ont été obtenus par l'intermédiaire des rayonnements γ prompts. Nos valeurs sont en bon accord avec les données récentes de MACKLIN [9] et de POËNITZ [10] jusqu'à 1,2 MeV. Au dessus de cette énergie nos valeurs sont plus élevées que celles de POËNITZ (≈ 15% à 2 MeV). Le calcul de DELAROCHE [11] s'ajuste assez bien sur l'ensemble des résultats expérimentaux.

- Les données relatives à la section efficace de capture du platine sont montrées sur la figure 4. Après renormalisation, on constate un bon accord entre les valeurs de GIBBONS [12] et de DIVEN [13] et nos résultats.

L'évaluation de BENZI [14], assez représentative des résultats expérimentaux en dessous de 1 MeV, est en désaccord avec nos valeurs au-dessus de cette énergie.

- Les sections efficaces de capture des isotopes : <sup>155</sup>Gd, <sup>156</sup>Gd, <sup>157</sup>Gd, <sup>158</sup>Gd et <sup>160</sup>Gd et du gadolinium naturel sont données sur la figure 5. A l'exception de <sup>158</sup>Gd il n'y a pas de données entre 0,5 et 3 MeV pour les autres isotopes. Les résultats antérieurs pour <sup>158</sup>Gd, obtenus par activation, sont en bon accord avec nos valeurs, bien que notre valeur à 0,5 MeV semble un peu trop élevée. Nos résultats expérimentaux sont dans l'ensemble en bon accord avec les calculs de DELAROCHE [15], à l'exception de <sup>155</sup>Gd pour lequel les résultats expérimentaux n'ont pu être reproduits correctement, par suite sans doute d'une mauvaise connaissance des états excités.

Pour le gadolinium naturel les résultats obtenus par FRIESENHAHN [16] avec un gros scintillateur liquide sont en accord avec nos valeurs. Au-dessus de 700 keV il n'y a pas d'autres résultats disponibles. En dessous de l'MeV les évaluations ENDF/BIV et de BENZI semblent trop basses.

La section efficace de capture du gadolinium naturel, obtenue à partir des sections efficaces des isotopes en tenant compte des pourcentages isotopiques est en très bon accord avec la mesure directe faite avec le gadolinium naturel (tableau I).  Les résultats concernant les sections efficaces de capture des isotopes : 182, 183, 184, Wet 186, Wet du tungstène naturel sont présentés sur la figure 6.

La situation pour les isotopes dutungstène est très voisine de celle des isotopes du gadolinium. A l'exception de <sup>186</sup>W, il n'y a pas de donrées au-dessus de 0,5 MeV. Nos valeurs pour <sup>186</sup>W sont en bon accord avec l'ensemble des données antérieures obtenues par activation, à l'exception cependant des résultats de KONONOV [17], mais d'une manière générale les valeurs de KONONOV semblent trop faibles.

Pour le tungstène naturel les données sont assez dispersées. Nos valeurs s'accordent cependant assez bien avec les résultats les plus récents de FRICKE [18].

Les calculs de DELAROCHE [15] sont très consistants avec l'ensemble de nos résultats. D'autre part comme pour le gadolinium nos résultats sur les isotopes et l'élément naturel sont en très bon accord (tableau I).

- Les sections efficaces des isotopes :  $^{203}$ Tl,  $^{205}$ Tl et du thalium naturel sont reportées sur la figure 7.

Les seules données disponibles dans le domaine d'énergie 0,5 - 3 McV sont celles de STAVISSKI et de HOFMAN [20] obtenues par activation sur le <sup>205</sup>Tl. Ces données sont d'ailleurs en assez bon accord avec nos valeurs.

Bien que les erreurs statistiques soient importantes, compte tenu des très faibles sections efficaces mesurées, l'ensemble de nos résultats est très cohérent. On peut voir, en effet, sur le tableau I que les sections efficaces du thalium naturel calculées à partir des valeurs obtenues pour les isotopes sont en très bon accord avec les mesures faites sur le thalium naturel.

#### REFERENCES

- [1] S. JOLY et al, NIM 153, 493 (1978).
- [2] D.L. SMITH, ANL/NDM-17 (1975), Argcnne National Laboratory, Argonne.
- [3] G. SIMON et al, Rapport NEANDC (E) 212 L p. 148 et communication privée.
- [4] V.P. KOROLEVA et al, Conférence Internationale sur les Données Nucléaires, Paris (1966) p. 473.
- [5] D.C. STUPEGIA et al, Journal of Nuclear Energy 22, 267 (1968).
- [6] N.A. BOSTROM et al, Rapport WADC-TN-59-107 (1959) p. 126.
- [7] H.A. GRENCH et al, Nucl. Phys. A94, 157 (1967).
- [8] P. THOMET (BRC), National Soviet Conference on Neutron Physics, Kiev 9-13 juin 1975, vol.1, p. 252.
- [9] R.L. MACKLIN, Nucl. Sc. Eng. <u>59</u>, 12, 1976.
- [10] W.P. PUENITZ, Rapport ANL/NDM-8 (1974).
- [11] J.P. DELAROCHE, "Interactions of neutrons with nuclei", Conférence de Lowell, 6-9 juillet 1976, Conf-7607 15-P2, p. 1291
- [12] J.M. GIBBONS et al, Phys. Rev. 122, 182 (1961).
- [13] B.C. DIVEN et al, Phys. Rev. 120 556 (1960).
- [14] V. BENZI et al, Rapport DOC CEC (71) 9. Comitato Nazionale Energia Nucleare, Centro di Colcolo, Bologna (1971).

- 6 -

[15] - J.P. DELAROCHE (BRC), Communication privée.

[16] - S J. FRISENHAHN et al, Nucl. Phys. A <u>146</u>,337 (1970).

[17] - V.N. KONONOV et al, Soviet Journal of Nucl. Physics 4, 204 (1967).

[18] - M.P. FRICKE et al, Report IAEA-CN-26/43 (1970), p. 265.

[19] - Y.Y. STAVISSKI et al, Atommaya Energiya 9,401 (1960).

1

і I.

1.1

П

[20] - Y.V. HOFMAN, Supplément au "Ukrainskii Fizicheskii Zhurnal"" Kiev 3, 14 (1958).

Manuscrit reçu le 13 janvier 1981

## TABLEAU I

Comparaison entre les sections efficaces obtenues directement sur l'élément naturel et celles déterminées à partir des mesures sur les isotopes séparés, en tenant compte de l'abondance isotopique.

	SECTION EFFICACE DE L'ELEMENT NATUREL (mb)		
ELEMENT	En MeV	Valeur obtenue directement sur l'élément.	Valeur déterminée à partir des mesures sur les isotopes séparés.
<u>GADOLINIUM</u>	0,5 2,5	$161 \stackrel{+}{=} 15$ $43 \stackrel{+}{=} 6$	184 <sup>+</sup> 25 44 <sup>+</sup> 6
TUNGSTENE	0,5 1,0 2,5	$58 \stackrel{+}{=} 6$ 61 $\stackrel{+}{=} 7$ 29 $\stackrel{+}{=} 4$	$58 \pm 7$ $66 \pm 12$ $31 \pm 6$
<u>THALIUM</u>	) <b>,5</b>	$21 \pm 3$ $17 \pm 5$ $7 \pm 3$	$19 \pm 5$ $16 \pm 5$ $8 \pm 4$
	2,5	7 - 3	8 ± 4

T



FIGURE 1 : Section efficace de capture du rubidium.



FIGURE 2 : Section efficace de capture de l'yttrium.

I.

- 9 -



FIGURE 3 : Section efficase de capture du niobium.





i

- 10 -

- 11 -



Т

і I

..... I

I.

1

т т

- 12 -

1.1



<u>FIGURE 6</u> : Sections efficaces de capture de  $^{182}W$ ,  $^{183}W$ ,  $^{184}W$ ,  $^{186}W$ , et  $^{nat}W$ .



<u>FIGURE 7</u> : Sections efficaces de capture de  $^{203}$ Tl,  $^{205}$ Tl et  $^{nat}$ Tl.



1

- 13 -

Edité par le Service de Documentation Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay 91191 G/F-sur-YVETTE Cédex (France)

Т

I.

I.

• ----- --

8