

ETUDE D'UNE SOURCE DE RAYONNEMENT SIMULANT DES SPECTRES  
REALISTES DE NEUTRONS POUR L'ETALONNAGE D'APPAREILS DE  
RADIOPROTECTION

J.L. CHARTIER - F. POSNY - M. BUXEROLLE  
CEA/Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire  
Département de Protection de la santé de l'Homme et de  
Dosimétrie - Ministère de l'Industrie

-----  
STUDY OF A RADIATION SOURCE FOR THE SIMULATION OF REALISTIC  
NEUTRON SPECTRA FOR CALIBRATING

A set-up intended to replicate neutron spectra encountered at workplaces is presented. Such a facility can provide means of calibrating dosimeters in spectral conditions similar to those of their use for radiation protection purposes. Results of a computational approach are compared with Bonner Multisphere Spectrometer measurements.

I - INTRODUCTION -

La simulation de spectres neutroniques réalistes constitue, actuellement, l'un des domaines d'étude de la radioprotection. Son but principal, est d'obtenir, avec l'instrumentation en usage, une meilleure estimation des doses "neutron" auxquelles sont soumis les personnels en activité dans l'industrie nucléaire. L'importance de ce projet, déjà reconnue en raison des performances limitées des dosimètres de surveillances individuelle et d'environnement, s'est amplifiée avec la publication des Nouvelles Recommandations de la CIPR (Rapport 60) en raison de l'abaissement des limites primaires de doses et du changement des facteurs de qualité des neutrons.

Pour l'étalonnage des instruments, la panoplie des spectres de référence recommandés est assez pauvre (4 spectres disponibles) et leur représentativité ne fait pas l'unanimité, par exemple : réacteurs, conteneurs de transport.

Il s'avère donc indispensable de compléter les moyens d'étalonnage actuels par d'autres dispositifs, mieux adaptés, délivrant des spectres neutroniques plus variés, dont la conformité aux situations effectivement rencontrées soit établie. Ceci a justifié l'action conjointe de plusieurs laboratoires dans le cadre du contrat CCE Bi7-0031-C, afin de recenser ces situations réelles, puis de les simuler en laboratoire.

Le principe d'un montage expérimental a été défini et ses caractéristiques ont été calculées puis optimisées à l'aide du code MCNP.

II - PRINCIPE DU MONTAGE -

II.1 - Généralités sur les spectres neutroniques réalistes

Une description générale simple représente de façon satisfaisante l'ensemble des cas rencontrés en radioprotection. 3 zones énergétiques composent un spectre réaliste (1,2) :

- a) la zone "thermique" (TH) :  $E_n < 1 \text{ eV}$
- b) la zone "intermédiaire" (INT) :  $1 \text{ eV} < E_n < 10 \text{ keV}$
- c) la zone "haute énergie" (HE) :  $10 \text{ keV} < E_n < 15 \text{ MeV}$

Les données consultées résultent, en général, de mesures multisphères (ou sphères de Bonner) pour lesquelles les informations spectrométriques doivent être considérées avec précaution (3).

Les différents "spectres" étudiés, ont montré que :

- les contributions relatives en fluence dans les zones TH, INT et HE peuvent varier dans de larges proportions,
- pour la zone HE, l'énergie moyenne de la distribution constitue un paramètre supplémentaire dépendant :

Pour la radioprotection, la loi de variation avec l'énergie de  $h_{\phi}(E)$ , facteur de conversion fluence-équivalent de dose, modifie notablement les "poids" dosimétriques respectifs des différentes zones.

### II.2 - Éléments fondamentaux de montage -

Le concept choisi est celui d'un dispositif de laboratoire produisant un faisceau de rayonnement non perturbé par l'environnement (Fig. 1).

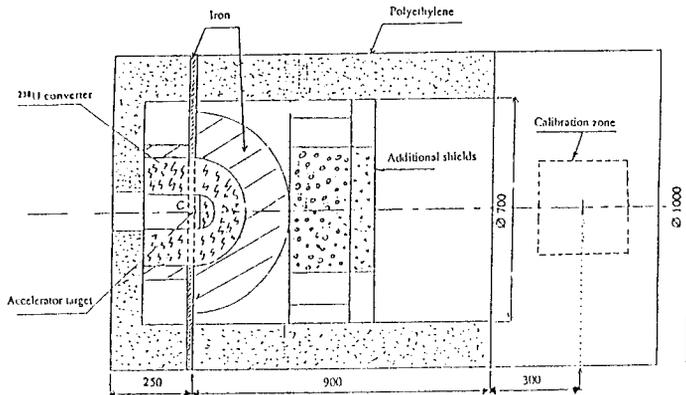


Figure 1

Schématiquement, les parties principales de l'option choisie sont :

- une source de rayonnement, constituée d'un convertisseur d' $^{238}\text{U}$  irradié en son centre par la cible d'un accélérateur,
- une chambre de diffusion, associant un canal cylindrique en polyéthylène et des écrans complémentaires,
- une zone d'étalonnage, assimilée à un orthocylindre ( $h = \varnothing = 30 \text{ cm}$ ), situé à 30 cm du plan de sortie du canal de  $(\text{CH}_2)_n$ .

L'étude des spectres neutronique et photonique, produits dans la zone d'étalonnage, a été effectuée à l'aide du code MCNP-3A, pour 2 énergies de la source primaire :

\* Configuration (I) :  $E_n^1 = 14,6 \text{ MeV}$  [Réaction (d,T)]

\* Configuration (II) :  $E_n^2 = 2,8 \text{ MeV}$  [Réaction (d,d)]

L'homogénéité de la fluence dans la zone d'étalonnage a été vérifiée aux distances 5, 10 et 15 cm de l'axe. Les variations relatives sont  $< 2\%$  pour l'ensemble des cas étudiés.

### III - ETUDE DE LA CONFIGURATION (I) : $E_n^1 = 14,6 \text{ MeV}$ -

#### III.1 - Atténuation de la composante "neutron" parasite de 14,6 MeV -

Afin de réduire cette contribution, une coquille de fer de 15 cm d'épaisseur entoure le convertisseur, et une 1/2 sphère d' $^{238}\text{U}$ , de rayon 5 cm, est placée au contact de la cible. Dans ces conditions, la contribution parasite résiduelle est :

- en fluence  $\phi_{14,6}/\phi_{total} \approx 0,2\%$
- en équivalent de dose  $H_{14,6}/H_{total} \approx 1,7\%$

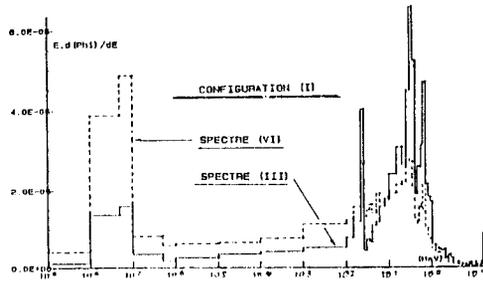
La géométrie de base du système est représentée par  $[E_n^1 + U + Fe]$ .

### III.2 - Caractéristiques des spectres produits -

Quelques exemples de spectres calculés pour le dispositif expérimental considéré sont tracés sur la figure 2 et regroupés dans le tableau 1.

TABLEAU 1

CONFIGURATION (I) - $E_n^1 = 14,6$ MeV											
Numéro du spectre	Géométrie du montage	$\phi_m$ (%)	$\phi_{tot}$ (%)	$\phi_{Fe}$ (%)	$E_1$ (MeV)	$H_{Fe}$ (%)	$H_{tot}$ (%)	$H_{Fe}$ (%)	$E_n^1$ (MeV)	Débit d'équivalent de dose moyen ( $\mu Sv/h$ ) <sup>a</sup>	
I	$[Fe + U + Fe]$ sans canal	0	1	99	0,42	0	0	100	0,71	2850	
II	$[Fe + U + Fe]$ + canal (Cl) <sub>10</sub> l = 90 cm	36	20	44	0,15	6	3	91	0,61	3700	
III	$[Fe + U + Fe]$ + canal (Cl) <sub>10</sub> l = 50 cm	21	18	61	0,23	7	2	96	0,65	3200	
IV	$[Fe + U + Fe]$ + canal (Cl) <sub>10</sub> l = 90 cm + Fe ép. 10 cm	45	27	28	0,08	12	7	81	0,50	1700	
V	$[Fe + U + Fe]$ + canal (Cl) <sub>10</sub> l = 50 cm + Fe ép. 10 cm	30	28	42	0,14	5	5	90	0,62	1500	
VI	$[Fe + U + Fe]$ l = 90 cm + D <sub>2</sub> O ép. 5 cm	43	26	31	0,09	10	7	83	0,56	2100	



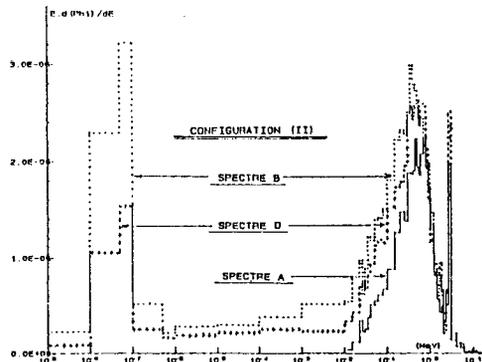
### IV - ETUDE DE LA CONFIGURATION (II) - $E_n^2 = 2,8$ MeV -

Le même dispositif expérimental de diffusion peut aussi être associé à une source de neutrons de 2,8 MeV produits par réaction (d,d). Dans ce cas, la composante monocinétique transmise appartient au domaine "haute énergie" du spectre. La géométrie de base du système est donc :  $[E_n^2 + U]$ .

Quelques résultats des calculs sont rassemblés dans le tableau 2 et tracés dans la figure 3.

TABLEAU 2

CONFIGURATION (II) - $E_n^2 = 2,8$ MeV											
Numéro du spectre	Géométrie du montage	$\phi_m$ (%)	$\phi_{tot}$ (%)	$\phi_{Fe}$ (%)	$E_1$ (MeV)	$H_{Fe}$ (%)	$H_{tot}$ (%)	$H_{Fe}$ (%)	$E_n^2$ (MeV)	Débit d'équivalent de dose moyen ( $\mu Sv/h$ ) <sup>a</sup>	
A	$[Fe + U]$ sans canal	0	0	100	0,71	0	0	100	1,05	420	
B	$[Fe + U]$ + canal (Cl) <sub>10</sub> l = 90 cm	37	17	46	0,24	4	3	93	0,85	600	
C	$[Fe + U]$ + canal (Cl) <sub>10</sub> l = 90 cm + (Cl) <sub>10</sub> ép. 1 cm	36	16	48	0,29	4	2	94	0,98	600	
D	$[Fe + U]$ + canal (Cl) <sub>10</sub> l = 60 cm + (Cl) <sub>10</sub> ép. 1 cm	25	15	60	0,36	2	1	97	1,00	540	

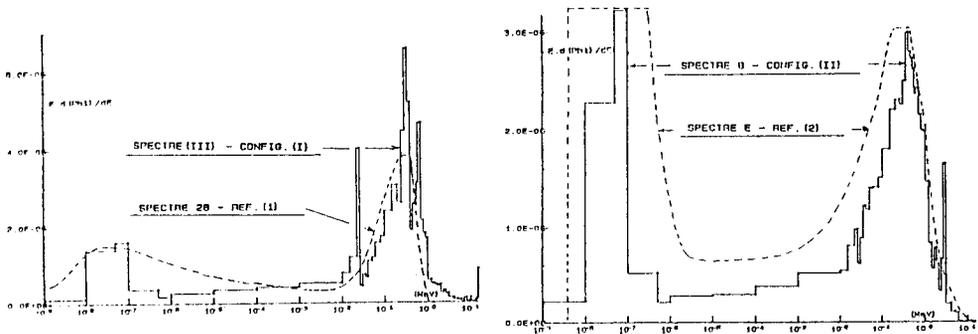


## V - COMMENTAIRES SUR LES SPECTRES NEUTRONIQUES CALCULES -

Les résultats présentés ont pour objectif principal de traiter des situations courantes de l'industrie nucléaire où les protections biologiques et l'environnement contribuent à produire des spectres dégradés : conteneurs de transport, laboratoires de fabrication de combustibles...

A partir de ces résultats, on constate que 2 groupes de spectres neutroniques de basse énergie peuvent être produits à l'aide de ce montage :  $\bar{E}_1 \simeq [0,10 \text{ à } 0,20] \text{ MeV}$  et  $\bar{E}_2 \simeq [0,25 \text{ à } 0,35] \text{ MeV}$ .

Deux exemples de simulation sont présentés ci-dessous. Ils correspondent, d'une part, au spectre de fuite d'un conteneur LK100 de transport de combustibles (spectre 28, réf. 1), et d'autre part, à une zone de passage dans un laboratoire de retraitement de combustibles (spectre E, réf. 2).



## VIII - CONCLUSIONS -

Un dispositif d'irradiation destiné à reproduire dans un laboratoire d'étalonnage des spectres neutroniques réalistes rencontrés en radioprotection a été présenté. A l'aide du code MCNP, les caractéristiques de plusieurs spectres disponibles dans la zone d'étalonnage ont été calculées. Enfin, le domaine d'application de ce dispositif a été précisé par le biais de comparaison à des données expérimentales.

### BIBLIOGRAPHIE

- 1 - M. BUXEROLLE et al. Catalogue de spectres de neutrons. Rapport CEA-R-5398 (1987).
- 2 - J.C. LIU et al. Neutron spectra measurements at ORNL Rad. Prot. Dos., Vol. 30, N°3, p. 169-178 (1990).
- 3 - A.V. ALEVRA et al. Unfolding Bonner-sphere Data : A European Intercomparison of Computer Codes - PTB-7.22-90-1 (Januar 1990).
- 4 - K. KNAUF et al. Neutronen spektrometrie in Strahlenschutz PTB Mitteilungen 99 (Februar 1989).
- 5 - J.F. BRIEEMSTER et al. MCNP - A General Monte Carlo Code for Neutron and Photon Transport (Version 3A) - LA-7396-M, Rev. 2 (Sept. 1986).