

ETUDE ET MISE AU POINT D'UN REM-COMPTEUR A MODERATEUR ALLEGE

Y. HERBAUT, P. BORY, R. VIVIA
 Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble
 Service de Protection et des Etudes d'Environnement
 85 X - 38041 GRENOBLE CEDEX

1. BUT ET DEROULEMENT DE L'ETUDE

Nous voulons aboutir à la réalisation d'un rem-compteur à modérateur allégé. Ceci suppose :

- que la réponse du dispositif de détection, en fonction de l'énergie des neutrons, varie identiquement à la courbe d'équivalent de dose recommandée par la Commission Internationale de Protection Radiologique (1)

- que le poids et l'encombrement de la sonde soient le plus faible possible, afin de permettre la construction d'un appareil portatif beaucoup plus léger que ceux qui ont été conçus jusqu'alors.

Pour y parvenir, nous sommes partis des deux idées suivantes :

- détecter les neutrons épithermiques présents au centre d'un modérateur, plutôt que les neutrons thermiques habituellement mesurés dans les rem-compteurs classiques. Leur population, pour des neutrons incidents d'énergie donnée, doit en effet être maximale pour des épaisseurs de ralentisseur notablement inférieures à celles qui permettent d'obtenir, dans les mêmes conditions, le flux maximal de neutrons thermiques.

- Le détecteur idéal de neutrons épithermiques n'existant pas, on peut s'en approcher en utilisant un détecteur de neutrons thermiques placé sous cadmium. Si la section efficace de ce détecteur, pour la réaction considérée, est bien adaptée, seule une faible bande d'énergie sera prise en compte, correspondant à des neutrons en cours de ralentissement.

Cette étude a comporté trois parties :

- un calcul théorique préliminaire destiné à vérifier les hypothèses initiales.

- la réalisation d'un dispositif expérimental qui permette de confirmer ce calcul et de fixer l'épaisseur de modérateur la mieux adaptée. Pour ceci, nous avons choisi d'utiliser, comme partie sensible du détecteur, un cristal d'iodure de lithium. Cet élément est largement utilisé dans la technique multisphère.

- l'amélioration de la sensibilité du dispositif, en remplaçant le cristal par des compteurs proportionnels à ^3He , par ailleurs plus stables et facilitant la discrimination n- γ .

Les résultats auxquels ont conduit les deux premières parties ont été rapportés dans (2) et (3). Ils peuvent être résumés comme suit :

- le calcul théorique montre que la réponse d'un cristal d'iodure de lithium nu, placé au centre d'une sphère de 10 à 12 pouces de diamètre, suit correctement la courbe de dose de la C.I.P.R. Pour une réponse identique, l'épaisseur de modérateur est ramenée à environ 8 pouces si le cristal est recouvert de cadmium. Par contre, la sensibilité est divisée par un facteur 10.

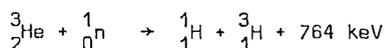
- Les essais expérimentaux faits à l'aide d'un scintillateur ILi sous cadmium, ont confirmé qu'une sphère de 8 pouces est la mieux adaptée à nos besoins. Sa réponse suit convenablement la courbe de référence (voir figure 1). En revanche, sa sensibilité est faible : 0,20 c/s pour 1 mrem/h. Il est nécessaire de l'augmenter pour les besoins de la radio-protection (facteur 5 si possible).

- C'est ce que nous avons recherché au cours de la troisième partie de l'étude. Nous résumons ici les résultats de nos essais avec les compteurs à Hélium 3. Ils ont été rapportés en détail par ailleurs (4).

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DETECTEUR

a) Réaction utilisée

La réaction mise en jeu lorsqu'un neutron interagit avec un noyau d'hélium est la suivante :



Proton et triton, n'étant pas dans un état excité, perdent leur énergie dans le volume sensible du compteur. Ils donnent ainsi naissance à des impulsions d'amplitude proportionnelle à l'énergie totale dissipée par la réaction. La section efficace de celle-ci varie comme suit : elle est d'environ 5 000 barns à 0,025 eV et obéit à une loi en $1/v$ dans la gamme 0,001 - 0,1 eV. A 1 keV, elle n'est plus que de 20 barns, pour devenir faible (800 mbarns) au-delà de 300 keV.

b) Coupure cadmium

Le compteur à hélium 3 n'est pas spécifiquement un détecteur de neutrons épithermiques, tel que souhaité pour réaliser le rem-compteur. On peut néanmoins lui faire remplir cet office en le plaçant sous une feuille de cadmium de 0,7 mm d'épaisseur. Ainsi, compte tenu des variations de section efficace de la réaction ${}^3\text{He} (n, p) {}^3\text{H}$, on peut considérer que la très grande majorité des neutrons détectés ont une énergie comprise entre 0,55 eV et quelques keV. Les impulsions résultantes sont donc distribuées autour d'une valeur moyenne peu différentes de (k. 764) mV avec une dispersion n'excédant théoriquement pas quelques pour cent.

Notons que les effets parasites (réaction de diffusion élastique, effets de parois et d'extrémités) qui sont habituellement gênants pour l'utilisation du compteur à hélium 3 en spectrométrie, sont négligeables pour son emploi en rem-compteur (4).

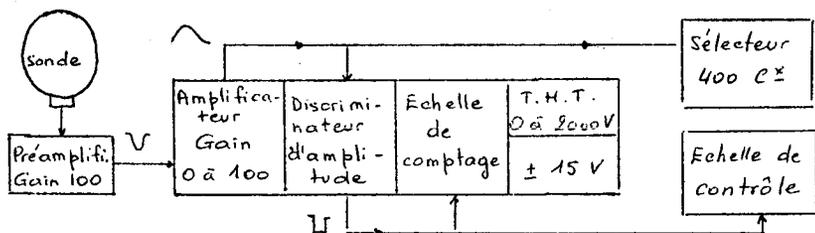
3. APPAREILLAGE UTILISE

Deux modèles de sondes ont particulièrement été étudiés, chacune d'un poids approximatif de 4 kg :

- l'une équipée d'un compteur de type 0,5 NH 1/1 KF (0,7 cm³), placé sous cadmium au centre d'une sphère de polythène de 8 pouces de diamètre,

- l'autre équipée d'un compteur de 5 NH 2,5 K placé au centre d'un modérateur identique.

L'ensemble de mesure est schématisé par le diagramme ci-dessous :



4. REPONSE EN FONCTION DE L'ENERGIE DES NEUTRONS

a) sources de neutrons utilisées : le Van de Graaff de la Section d'Etudes et de Mesures de Neutrons Rapides de Cadarache nous a permis de couvrir la gamme d'énergie comprise entre 20 keV et 7 MeV, avec un pas tel qu'une vingtaine de points ont été explorés. Une mesure à 14,7 MeV a été faite à l'aide des neutrons générés par un accélérateur du C.E.N./GRENOBLE. Une source de Pu-Be, étalonnée par le LMRI, nous a permis une comparaison avec des neutrons monocinétiques de même énergie que l'énergie moyenne du spectre qu'elle délivre.

b) mode opératoire

La sonde à étudier est placée à une distance telle qu'elle permette d'assimiler la source de neutrons à une source ponctuelle, et que le flux de particules soit suffisant pour obtenir une statistique de mesure acceptable.

Pendant l'exposition N impulsions sont analysées par le rem-compteur. Toutes celles qui ont une amplitude supérieure au seuil de discrimination sont dénombrées par l'échelle de comptage.

Φ , la fluence neutronique au point d'exposition, est déduite de la mesure qui est simultanément faite par un moniteur. Celui-ci est placé dans une direction telle que les neutrons qu'il détecte aient la même énergie que ceux arrivant sur le compteur à étudier (symétrie dans le plan par rapport à la source de neutrons). Une correction d'angle solide permet de calculer la fluence au niveau du rem-compteur.

Les techniques utilisées pour la mesure de Φ (5) (6), permettent de connaître ce paramètre avec une erreur ne dépassant jamais 10 %, et dans la plupart des cas voisine de 4 %.

Toutes corrections faites (rayonnement diffusé, atténuation par l'air, contamination par des groupes de neutrons d'énergies parasites), l'efficacité du rem-compteur, ϵ , se calcule en reliant N à Φ .

c) résultats obtenus

Ils sont traduits par les courbes de la figure 1. L'erreur totale $\Delta\epsilon/\epsilon$, obtenue par une combinaison quadratique des erreurs partielles, n'excède jamais 5 %.

d) essais en centrale nucléaire : nous avons profité d'intercomparaisons de mesures de rayonnement, organisées par l'EDF autour du réacteur de la centrale de CHOOZ, pour tester notre rem-compteur dans un contexte opérationnel, à savoir :

- débits de dose allant de quelques mrem/h à plusieurs rem/h
- spectres complexes s'étendant de quelques eV à plusieurs MeV
- composante γ importante.

Nous avons obtenu des résultats en bonne concordance avec ceux donnés par d'autres techniques de détection (4).

5. CONCLUSIONS

La réponse du rem-compteur étudié, en fonction de l'énergie des neutrons, est satisfaisante. Entre 20 keV et 15 MeV, l'écart avec la courbe de dose CIPR, n'excède jamais un facteur 2, ce qui est convenable pour les besoins de la radioprotection. Entre 0,5 eV, limite inférieure résultant de la conception de l'appareil, et 20 keV, aucune mesure n'a été faite, faute de sources de neutrons. Néanmoins, les bons résultats obtenus lors des intercomparaisons en centrale nucléaire, laissent penser que la réponse du système doit être correcte aux basses énergies.

Il semble donc tout à fait possible de réaliser un rem-compteur portatif basé sur ce principe. Son poids ne devrait pas excéder 6 kg. Sa sensibilité doit pouvoir être encore améliorée par l'emploi de compteurs plus performants.

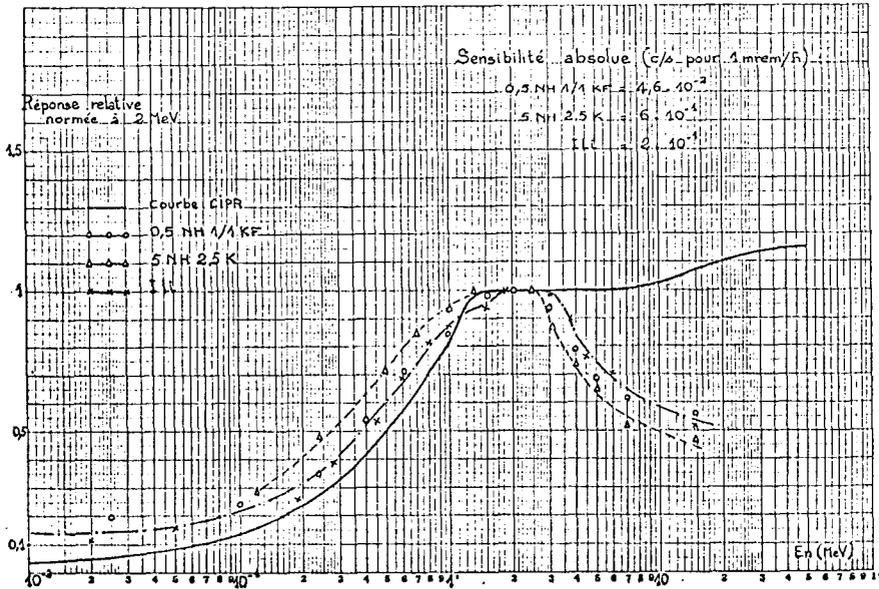


figure 1 - Sensibilité du rem-compteur en fonction de $E(n)$.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) CIPR 21 - Avril 1975
- (2) LYMBERIS C. - Rapport CEA R 4597 (1974)
- (3) BORY P. - HERBAUT Y. - Note SPEE/URMR 75.08 (1975)
- (4) BORY P. - HERBAUT Y. - VIVIA R. - Note SPEE/URMR 76.17 (1976)
- (5) SZABO I. - SEMNR - à paraître
- (6) BORY P. - LOGRE P. - SPLHA/ACC 69-11 (1969)