

PRESENTATION D'UNE FORMULATION GENERALE DE CALCUL
DU RENDEMENT D'UNE SONDE POUR LA DETECTION "IN SITU"
D'UN EMETTEUR GAMMA EN MILIEU INFINI

Georges LAPICQUE

Centre des Faibles Radioactivités, Laboratoire mixte CNRS-CEA
91190 - Gif-sur-Yvette, France

The proposed formulation enables a fast hand calculation of the "in situ" efficiency of a detecting probe for measuring the gamma activity of tracers in the sea. Comparisons with available data yield an accuracy of the order of 5% in the range 0.5 to 1.5 MeV for a standard 10 cm x 8 cm cristal. Our theoretical results also lead to optimal design of probes.

L'intérêt de la formulation théorique proposée réside dans la possibilité de calculer rapidement, sans l'aide d'aucun programmeur, le rendement "in situ" d'une sonde destinée à la mesure de l'activité d'émetteurs gamma répartis localement de façon homogène dans un milieu infini tel que la mer. Les paramètres sont les coefficients d'absorption dans le milieu et dans les matériaux utilisés, ainsi que les diamètres du détecteur et de la coque cylindrique de la sonde. Le calcul de formes optimales est, en outre, rendu possible de façon très simple. La comparaison des résultats théoriques avec les données expérimentales obtenues au CFR (R. Chesselet (2)) indique une précision de l'ordre de 5% pour des scintillateurs standards de 5 cm x 4,5 cm et 10 cm x 8 cm dans la gamme 0.5 à 1.5 MeV.

But : Le but de cette étude est de fournir un outil mathématique permettant aux chercheurs le calcul rapide et précis du rendement (sous le pic d'énergie E_0) d'une sonde détectrice destinée à la mesure "in situ" de l'activité d'un émetteur γ dilué dans un milieu homogène absorbant, et généralement infini, comme la mer. Le calcul, qui ne nécessite l'utilisation d'aucun programme, est tout-à-fait général s'applique à toute particule ou pseudo particule soumise à un simple processus d'absorption par le milieu. Les effets de diffusion, supposés secondaires, doivent donc être évalués séparément. Dans le cas de la détection dans l'eau de photons γ , un calcul simple, d'après des données expérimentales (1), indique que la correction additive au rendement, due à la diffusion Compton, est de l'ordre de 5% dans la région du MeV pour une largeur de pic de 100 keV.

Méthode : L'intégration de tous les trajets de toutes les sources élémentaires du milieu émetteur homogène depuis leur émission jusqu'à leur détection permet de calculer deux coefficients K_A et K_D tels que $R(E_0) = K_A K_D$. Le premier caractérise le milieu extérieur à la sonde et a été dénommé "coefficient d'ambiance". Le second caractérise le détecteur proprement dit. Nous l'avons appelé "coefficient intrinsèque".

Nous donnons ci-après les résultats en milieu infini pour un rayonnement monoénergétique (E_0), les paramètres étant : - Les coefficients d'absorption totale dans le milieu (μ), dans le détecteur (μ_T) et le coefficient d'absorption sous le pic E_0 (μ_p).

- Le rayon (R_0) du détecteur sphérique. Le rayon X_0 de la sonde cylindrique (supposée fermée par des calottes concentriques au détecteur). Si certains secteurs de la sonde sont absorbants (μ_i , épaisseur x_i), ils seront affectés du coefficient $\exp(-\mu_i x_i)$.

Formulation de K_A (milieu homogène infini). (β_1 et β_2 : demi angles au sommet des cônes de révolution délimités à partir du centre O du détecteur par les calottes sphériques). Nous aboutissons au résultat suivant :

$$K_A = 4 \pi R_0^2 \cdot \frac{1}{4\mu}$$

Expression qui, multipliée par l'activité S_0 de l'émetteur donne le taux d'arrivée des photons à travers la surface du détecteur, et qui est égale au produit du courant J à travers une surface (soit $\frac{S_0}{4\mu}$), de la surface du détecteur, et d'un coefficient dépendant de la géométrie de la sonde. Un résultat important est que toute sonde non absorbante axée sur le centre du détecteur est toujours optimale. On démontre de même que toute sonde sphérique concentrique au détecteur est toujours optimale (facteur de transmission F égal à 1).

Formulation de K_D (milieu homogène infini). Le calcul que nous proposons conduit à :

$$K_D = \frac{\mu_p}{\mu_T} \left\{ 1 - \frac{1}{2R_0^2 \mu_T^2} \left[1 - (2\mu_T R_0 + 1) \exp(-2\mu_T R_0) \right] \right\}$$

Résultats (Détecteurs sphériques de même volume que les références)

La confrontation des résultats numériques dans la gamme 0,5 MeV à 1,5 MeV pour des scintillateurs courants NaI (Tl) de 4,5 x 5 (cm) et 10 x 8 (cm) avec les courbes expérimentales obtenues au CFR Gif (2) permet de penser que la précision de la méthode est de l'ordre de 5%, ce qui paraît largement suffisant pour une estimation en chambre préalablement à l'achat d'un équipement coûteux. La formulation permet, ce qui est essentiel, le dessin de sondes de formes optimales.

Bibliographie :

- (1) B. Price, C. Horton, K. Spinney, In Radiation Shielding, vol. 2, p. 42 et 50, Pergamon Press 1957.
- (2) R. Chesselet, Etude de la radioactivité artificielle du milieu marin par spectrométrie gamma. Thèse, Paris, 1966.

12. Lapique G. - Presentation d'une formulation generale de calcul du rendement d'une sonde pour la detection "in situ" d'un émetteur gamma en milieu infini.

Discussion

Got H. (France) : Peut-on appliquer les calculs de rendement en milieu aqueux au milieu solide, c'est-à-dire dans le cas de mesures par spectrométrie gamma "in situ" du fond marin ?

Lapique G. : Oui: deux cas sont possibles. 1^{er} cas : la surface de séparation des 2 milieux infinis (mer - sédiment) passe par le centre du détecteur (plan équatorial). Il n'y a à cet égard aucune difficulté: on évalue séparément l'action de chaque milieu semi-infini comme expliqué dans cette communication (la surface utile du détecteur étant celle de la demisphère pour chaque milieu). 2^{me} cas : la surface n'est pas équatoriale. Le calcul n'aboutit plus, hélas, à une intégration exacte. L'approximation n'est possible que si le détecteur est petit par rapport à la longueur d'absorption dans le milieu ambiant. La formule obtenue ne fait pas apparaître de façon très simple le flux produit par une source plane comme on aurait pu l'espérer. Elle fait intervenir les fonctions intégrales

$$E_2(t) = \int \frac{e^{-t}}{t^2} dt.$$

La question sera traitée dans une note CEA en voie d'achèvement.

Livingston H.D. (USA) : What would you say was the practical application of "in situ" gamma probes in the oceans, that is 1) in what areas can they be applied and 2) for radionuclides from what kinds of sources ?

Lapique G. : I think a good example is the "in situ" study which has been carried out at La Hague (in the Race of Alderney) for a bout ten years. Activities of 2 to 3 pCi/l of ^{137}Cs and ^{103}Ru , ^{106}Ru were detected at the end of a tide cycle. This required measurements of 4 to 6 hours. The equipment has been used with success about once or twice a year. Presently, the trend seems to be for fine "in vitro" measurements with semi conductors. However, for the initial stage of a plant study, "in situ" measurements are still regarded as very useful. A time may come, also, when laboratories can no longer meet the demand for sample analysis. "In situ" methods will again then be necessary.

Joseph J. (Monaco): Quelle est la relation entre l'énergie absorbée et l'énergie dispersée pour les rayons de γ ?

Lapique G. : C'est le problème de la diffusion des gammas Compton évoqué dans ma dernière figure. Un terme correcteur B ("build up") doit être ajouté au flux frappant le détecteur. Dans le cas de l'eau de mer, j'ai utilisé des courbes données, pour le ^{60}Co et pour les gammas de 3 MeV dans la littérature spécialisée (Crouthamel, Price, Horton, Spinney). Un calcul simple aboutit à une correction de + 5% pour la gamme d'énergie E_0 à " $E_0 - 100 \text{ KeV}$ ".