

## UTILISATION D'APPAREILS DE DETECTION POUR LUTTER CONTRE LE TRAFIC ILLICITE DE MATIERES RADIOACTIVES

PIERRE FUNK

IPSN/DSMR. Route du Panorama. B.P.6 92265 Fontenay-aux Roses. France



XA9848243

### Abstract

*Radiation detectors installed on fixed detection portals are widely used throughout the nuclear industry to prevent radioactive materials from being illegally removed from buildings or sites. These cumbersome and expensive devices detect any abnormal increase in radioactivity levels at various points along routes used by personnel or vehicles. It would therefore seem natural to use the same kind of equipment to prevent illicit trafficking of radioactive materials by installing it at strategic points. We present the parameters which influence the detection of radioactive materials, taking a plutonium-239 source as an example, and show, in our study, how difficult it is to actually detect a radioactive substance. The use of detectors used for real-time dose measurement is another interesting approach for the application. These are small, inexpensive detectors worn permanently by personnel to signal any abnormal dose rates. Although less sensitive than detection portals, they have a wider detection range than any fixed detectors, with a detection closer to the source.*

### Resume

*Les détecteurs de radioactivité installés dans des portiques de détection fixes sont utilisés couramment dans l'industrie nucléaire pour prévenir la sortie illicite de matières radioactives d'un bâtiment ou d'un site. Ces installations lourdes et coûteuses détectent toute élévation anormale de la radioactivité aux points de passage du personnel ou des véhicules. Il semble donc naturel d'utiliser ces mêmes matériels dans la lutte contre le trafic illicite de matières radioactives en les disposant à des postes stratégiques. Nous présentons les paramètres influençant la détection de ces matières en prenant l'exemple d'une source de plutonium 239 et montrons par cette étude la difficulté réelle de détecter le passage d'une telle matière. L'usage des détecteurs utilisés pour la mesure en temps réel de la dosimétrie est une autre approche intéressante pour cette application. Il s'agit de petits détecteurs peu onéreux, portés en permanence par le personnel et qui signalent tout débit de dose anormal. Si leur sensibilité est inférieure aux portiques de détection, ils permettent cependant de couvrir une zone de détection plus importante qu'une installation fixe, avec une détection au plus près de la matière.*

## 1. Portique de détection de matières radioactives

Les détecteurs de radioactivité sont utilisés couramment dans l'industrie nucléaire pour prévenir la sortie illicite de matières radioactives d'un bâtiment ou d'un site. Installés dans des portiques de détection fixes, ils sont ainsi disposés aux points de passage du personnel ou des véhicules et détectent toute élévation anormale de la radioactivité.

Dans ce contexte de surveillance de sortie de bâtiment ou de site, le choix et le réglage des détecteurs sont optimisés en fonction du type de rayonnement à détecter : gros cristaux cylindriques de Iodure de Sodium (NaI) ou plaque de scintillateur organique pour la détection gamma et tubes à Hélium 3 pour la détection de neutrons. Il semble donc naturel de vouloir utiliser ces mêmes matériels dans la lutte contre le trafic illicite de matières radioactives en les disposant à des postes stratégiques : aéroports, routes, gares...

Plusieurs questions se posent alors immédiatement à la personne chargée de choisir, d'installer et d'exploiter ces systèmes. Quels sont les matériels disponibles et les critères de choix ? Quelle est l'efficacité de ces systèmes et où doivent-ils être installés ? Combien cela va-t-il coûter ? Quelle

formation doivent recevoir les utilisateurs ? Certaines de ces questions ont des réponses immédiates, comme le coût. D'autres dépendent de l'endroit à surveiller. L'efficacité d'un système de détection dépend par exemple fortement de l'ambiance radioactive.

## 2. Détection du plutonium

Nous présentons dans cette section les paramètres influençant la détection de matières radioactives en prenant l'exemple d'une source de plutonium 239. Pour une telle source, le nombre  $n$  de photons détectés à l'énergie  $E$  est une fonction de différents paramètres :

$$n = f_{\text{source}}(\text{activité}, c_{\text{auto-absorption}}) \times f_{\text{détecteur}}(\text{efficacité}) \times c_{\text{ecran}}$$

Le premier terme caractérise la source, le deuxième le détecteur et le troisième les écrans entre la source et le détecteur. Plusieurs hypothèses sont faites pour présenter les résultats qui suivent (modèle simplifié de calcul d'efficacité, d'angles solides...), mais ils permettent cependant de donner des ordres de grandeurs intéressants.

### Influence du terme source

Considérons une source massique de  $^{239}\text{Pu}$  de masse  $m = 2$  kg avec les dimensions précisées figure 1.

Le nombre  $n_0(E)$  de photons gamma émis par seconde et par gramme de Pu à l'énergie  $E$  est donné par  $n_0(E) = I(E) \times a_0$  où  $I(E)$  est la probabilité d'émission d'un photon du  $^{239}\text{Pu}$  à l'énergie  $E$  et  $a_0$  est l'activité en Becquerel d'un gramme de  $^{239}\text{Pu}$ . Le nombre de photons émis par seconde à l'énergie  $E$  dans la direction la plus pénalisante  $\bar{u}$  est donné par  $n_{\bar{u}}(E) = K(E) \times m \times n_0(E)$ .

$$K(E) = \frac{1 - e^{-\mu_{\text{Pu}}(E)x}}{\mu_{\text{Pu}}(E)x}$$
 est le coefficient d'auto-absorption.

Le tableau 1 donne les valeurs de  $n_0(E)$  puis de  $n_{\bar{u}}(E)$  pour certaines énergies d'émission caractéristique du  $^{239}\text{Pu}$ .

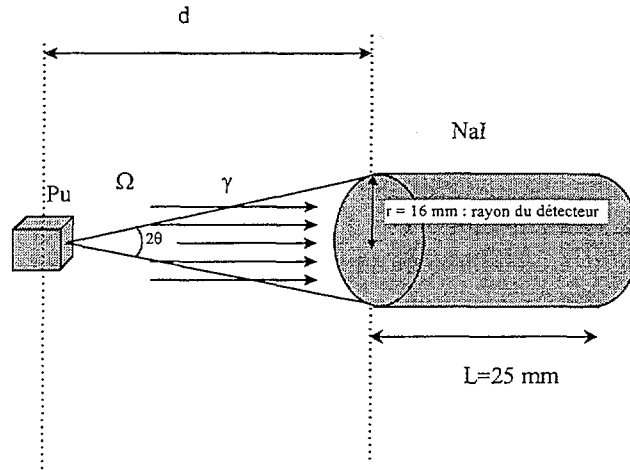
Energie (keV)	13,6	38,69	51,62	94,66	98,44	111	129,3	375,02	413,69
I(E)(%)	4,4	0,00586	0,0208	0,00163	0,0029	0,0013	0,0062	0,00158	0,00151
$n_0(E)$ (pour 1 g)	1,01E+08	1,35E+05	4,78E+05	3,74E+04	6,66E+04	2,99E+04	1,42E+05	3,63E+04	3,47E+04
$\mu_{\text{Pu}}$ (cm <sup>-1</sup> )	2178	356,4	198	39,6	35,6	9,9	77	6,7	5,2
$n_{\bar{u}}(E)$ (pour 2 kg)	1,03E+07	8,39E+04	5,36E+05	2,10E+05	4,15E+05	6,70E+05	4,11E+05	1,20E+06	1,48E+06
Pu équivalent (g)	0,10	0,6	1	6	6	22	3	33	43

**Tableau 1 : valeurs de  $n_0(E)$  et de  $n_{\bar{u}}(E)$**

Seule une faible épaisseur du plutonium contribue à l'émission détectable. On peut traduire ceci en masse de  $^{239}\text{Pu}$  « équivalent » pour lequel il n'y aurait pas d'auto-absorption. Cela montre clairement l'importance de ce phénomène pour le plutonium : le nombre de photons à 129,3 keV issu d'une source massive de deux kilogrammes de  $^{239}\text{Pu}$  est le même que celui émis par 3 grammes d'un échantillon de  $^{239}\text{Pu}$  qui ne présenterait pas d'auto-absorption (copeaux par exemple) !

### Efficacité de détection

L'efficacité de détection  $\varepsilon$  est définie comme le rapport entre le nombre de photons détectés et le nombre de photons émis par la source. Elle dépend de l'efficacité intrinsèque  $\varepsilon_i$  du détecteur (rapport entre le nombre de photons détectés et le nombre de photons vus par le détecteur) et de l'angle solide  $\Omega$  sous lequel la source voit le détecteur :  $\varepsilon = \varepsilon_i \times \frac{\Omega}{4\pi}$ . La figure 2 précise la géométrie de mesure étudiée.



**Figure 2 : géométrie de mesure**

Nous donnons dans le tableau 2 les valeurs de  $\varepsilon_i$  obtenues pour un détecteur NaI de longueur 25 mm et de diamètre 16 mm.

Energie (keV)	13,6	38,69	51,62	94,66	98,44	111	129,3	375,02	413,69
$\varepsilon_i$	1	1	1	1	1	1	0,80	0,71	0,49

**Tableau 2 : valeurs de  $\varepsilon_i$  obtenues pour un détecteur NaI**

L'angle solide est donné par la formule :  $\Omega = 2\pi(1 - \cos\theta) = 2\pi\left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + r^2}}\right)$

Application numérique :

- $d_1 = 40 \text{ cm}$        $\varepsilon = \varepsilon_i \times 4 \times 10^{-4}$ .
- $d_2 = 2 \text{ m}$        $\varepsilon = \varepsilon_i \times 1,6 \times 10^{-5}$ .

La distance  $d_1$  est caractéristique d'un portique pour des piétons et la distance  $d_2$  d'un portique pour des véhicules.

### Influence des écrans

Le tableau 3 présente les épaisseurs de plomb nécessaires pour atténuer 90% et 99% des photons pour les différentes énergies considérées du  $^{239}\text{Pu}$ , puis le facteur de transmission pour un écran de plomb d'épaisseur 8 mm.

Energie (keV)	13,6	38,69	51,62	94,66	98,44	111	129,3	375,02	413,69
Epaisseur (mm) atténuation 90%	0,02	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,8	8	12
Epaisseur (mm) atténuation 99%	0,04	0,4	0,7	0,9	0,9	1	1,5	18	22
t(8 mm de plomb)	<1E-10	<1E-10	<1E-10	<1E-10	<1E-10	<1E-10	<1E-10	0,08	0,11

**Tableau 3 : influence d'un écran de plomb**

Les émissions de faibles énergies du plutonium sont rapidement atténuées par le plomb.

Remarque :

La constitution d'une boîte de plomb ( $\rho = 11,34 \text{ g.cm}^{-3}$ ) de 8 mm d'épaisseur permettant de contenir le lingot de plutonium aurait une masse de

$$((2 + 0,8 \times 2)(5,6 + 0,8 \times 2)(9 + 0,8 \times 2) - (5,6 \times 9 \times 2)) \times 11,34 = 1,972 \text{ kg}$$

Ce qui donne une masse totale de 4 kg pour un objet de dimension environ  $11 \times 7 \times 4 \text{ cm}^3$  !

## Prise en compte de tous les effets

Nous pouvons maintenant calculer le nombre de photons détectés en tenant compte des trois effets décrits précédemment. Nous prenons dans cet exemple un écran de plomb de 8 mm et considérons les deux distances  $d_1=40$  cm et  $d_2 = 2$  m. Le tableau 4 résume les résultats obtenus (nombre de photons  $n_1$  et  $n_2$ ) et montre le faible nombre de photons qui sera effectivement détecté.

Energie (keV)	13,6	38,69	51,62	94,66	98,44	111	129,3	375,02	413,69
$n_1(E)$ ( $d_1=40$ cm)	4E-07	3E-09	2E-08	8E-09	2E-08	3E-08	1E-08	27,5	32,0
$n_2(E)$ ( $d_2=2$ m)	2E-08	1E-10	9E-10	3E-10	7E-10	1E-09	5E-10	1,1	1,3

Tableau 4 : comptage détecté pour deux distances source-détecteur

## Seuil d'alarme, limite de détection et probabilité de fausses alarmes

Le seuil d'alarme SA couramment utilisé dans les applications de détection de matières radioactives est défini par la formule  $SA = Bdf + \sigma\sqrt{Bdf}$  où  $Bdf$  est le bruit de fond mesuré par le détecteur et  $\sigma$  un paramètre entier. Un tel seuil est donc ajusté en permanence en fonction du bruit de fond radioactif relevé à l'endroit où se trouve le système de détection. Il est d'autant plus petit que le bruit de fond est faible. La valeur de  $\sigma$  retenue fixe la probabilité de fausses alarmes. Pour  $\sigma = 6$ , on a par exemple  $p = 10^{-11}$  soit moins d'une fausse alarme par an pour mille passages par jour dans le portique. En choisissant une valeur plus faible pour  $\sigma$  on diminue la limite de détection mais la valeur de  $p$  augmente.

## 3. Choix de systèmes de détection dans le contexte de la lutte contre le trafic illicite de matières nucléaires

Nous avons vu comment les portiques de détection de matières radioactives sont utilisés dans l'industrie nucléaire pour prévenir la sortie illicite de matières radioactives d'un bâtiment ou d'un site et nous avons étudié quelques paramètres permettant de caractériser ces systèmes. La conclusion principale à tirer de cette étude est la nécessité de connaître la source à détecter (forme physico-chimique, nature de l'emballage) pour choisir le système de détection convenable (nature et efficacité du détecteur, distance de mesure). Nous avons également montré qu'il n'est pas forcément aisé de détecter le passage d'une matière radioactive. Dans le contexte de la lutte contre le trafic illicite de ces matières, aucune de ces données n'est disponible !

Les portiques de détection sont d'autre part des installations lourdes et coûteuses qui doivent être installés à tous les points de passage obligés du personnel, des véhicules ou du matériel de l'installation à surveiller. Il ne semble alors pas envisageable d'équiper tous les points stratégiques concernés par le contexte de la lutte contre le trafic illicite de matières radioactives.

Une autre approche consiste à utiliser des systèmes « portables ». Nous pensons par exemple aux détecteurs utilisés pour la mesure en temps réel de la dosimétrie du personnel travaillant sur les sites nucléaires. Ce sont de petits détecteurs peu onéreux, qui signalent tout débit de dose anormal. Leur sensibilité est inférieure aux portiques de détection mais ils permettent de couvrir une zone de détection plus importante qu'une installation fixe : tout endroit où le personnel est susceptible de se rendre. La détection est alors possible au plus près de la matière et nous avons vu combien la distance entre la source et l'appareil de détection était un facteur essentiel pour augmenter l'efficacité de détection. Ces détecteurs sont enfin un outil utile pour la protection du personnel contre les rayonnements : ils permettent de rassurer et de responsabiliser le personnel. Une solution possible serait alors d'utiliser conjointement des systèmes de détection fixes et des moyens portables.

La lutte contre le trafic illicite de matières radioactives n'est pas une tâche simple : il s'agit d'un ensemble de mesures et l'aspect « détection » qui étudié dans ce document n'en est qu'un élément. Il faut enfin rappeler que la sécurité des matières radioactives repose avant tout sur un suivi et une protection physique de ces matières à l'endroit même où elles sont détenues.