

Analyse des Méthodes de Calcul du dose dans une Simulation Geant4

Source Europium-152 – Détecteur dans l'air à 20 cm – plaque intermédiaire pleine W/PETG
(18mm)

Documentation technique

December 24, 2025

Abstract

Ce document présente une analyse comparative de méthodes de calcul grandeurs radiométriques (débit de Kerma, débit de dose dans des tissus mous), implémentées dans la simulation Geant4 d'une source d'Europium-152.

La première méthode repose sur le dépôt d'énergie Monte Carlo, tandis que la seconde utilise le calcul par fluence avec les coefficients d'absorption d'énergie tabulés. Cette analyse inclut les fondements théoriques, l'implémentation informatique et les conditions de validité de chaque approche.

Contents

1	Configuration de la simulation	3
2	Description de la géométrie	3
2.1	Vue d'Ensemble – Coupe Longitudinale	3
3	Angles solides et normalisation	4
3.1	Définition des angles solides	4
3.2	Visualisation du Cône et des Angles Solides	4
3.3	Angle Solide de la plaque pleine	4
3.4	Angle Solide du Détecteur	5
3.5	Procédure de Normalisation	5
4	Bilan des Particules	6
4.1	Statistiques de Génération	6
4.2	Bilan de Transmission	6
4.3	Visualisation du Bilan Particulaire	6
5	Résultats de la simulation du débit de Dose	7
5.1	Méthodes de Calcul	7
5.2	Résultats W/PETG Pleine (25M événements)	7

1 Configuration de la simulation

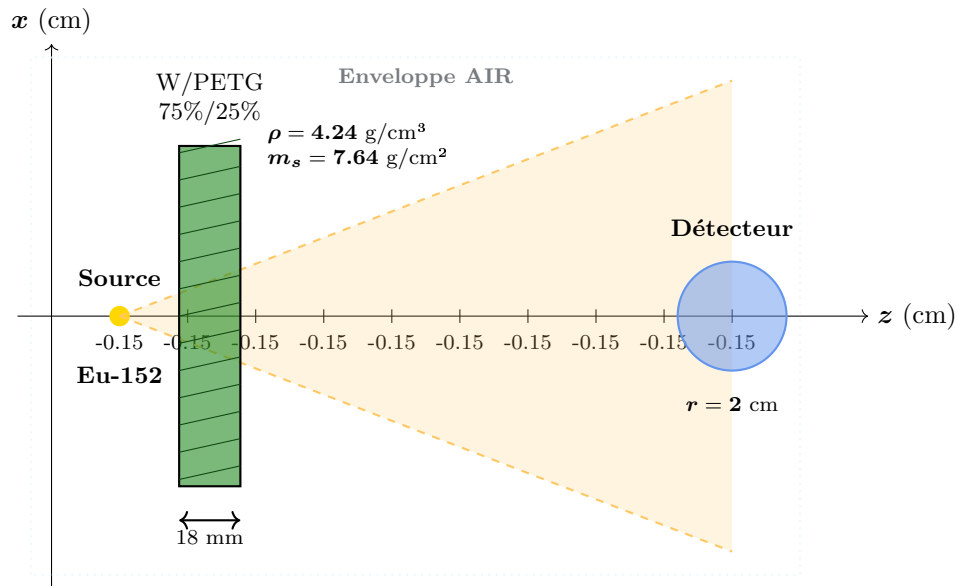
Nouvelle Configuration

- la **plaque intermédiaire** a une épaisseur de 18 mm
- la **plaque intermédiaire** est un bloc de **W/PETG** de $100 \times 100 \times 18$ mm
- Son centre est en $z = 4.65$ cm (2.65 cm de la source)
- Les plans de comptage sont distants de $z = 2$ mm des faces avant et arrières de la plaque
- Le centre du **détecteur sphérique** (matériau = Water) est à une distance de 18 cm de la source

2 Description de la géométrie

2.1 Vue d'Ensemble – Coupe Longitudinale

La géométrie de simulation comprend une source ponctuelle d'Eu-152, un blindage composite (plaque **W/PETG**, 75% tungstène, 25% PETG en fractions massiques), et un détecteur sphérique d'eau simulant un tissu biologique.



Paramètres géométriques des deux configurations

Paramètre	Bi/PETG (billes)	W/PETG (pleine)
Position source z	2.00 cm	2.00 cm
Face avant plaque	3.75 cm	3.75 cm
Face arrière plaque	5.55 cm	5.55 cm
Épaisseur totale	18 mm	18 mm
Position détecteur	20.00 cm	20.00 cm
Distance source-détecteur	18 cm	18 cm
Dimensions plaque	10×10 cm ²	10×10 cm ²
Diamètre billes	6 mm	—
Nombre de billes	3402	—

3 Angles solides et normalisation

3.1 Définition des angles solides

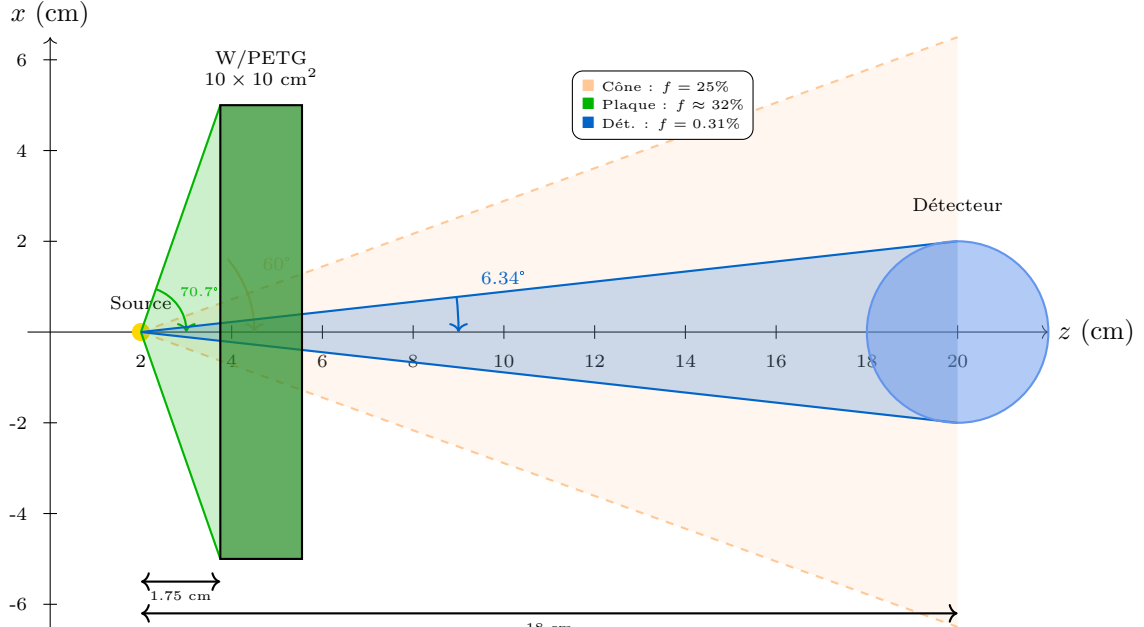
La source émet des photons dans un cône de demi-angle $\theta = 60^\circ$. L'angle solide correspondant est :

$$\Omega_{\text{cône}} = 2\pi(1 - \cos \theta) = \pi(1 - \cos 60^\circ) = 2\pi \times 0.5 = \pi \text{ sr}$$

La fraction de l'angle solide total ($4\pi \text{ sr}$) couverte par le cône est :

$$f_{\text{cône}} = \frac{\Omega_{\text{cône}}}{4\pi} = \frac{\pi}{4\pi} = 0.25 = 25\%$$

3.2 Visualisation du Cône et des Angles Solides



Comparaison des angles solides : cône d'émission (60° , orange), cône sous-tendu par la plaque (70.7° , vert), et cône du détecteur (6.34° , bleu). La plaque couvre entièrement le cône d'émission.

3.3 Angle Solide de la plaque pleine

La plaque carrée de côté $c = 10 \text{ cm}$ est située à une distance $d = 1.75 \text{ cm}$ de la source (face avant à $z = 3.75 \text{ cm}$, source à $z = 2 \text{ cm}$).

Le demi-angle θ sous-tendu par le bord de la plaque est :

$$\theta_{\text{plaque}} = \arctan\left(\frac{a}{d}\right) = \arctan\left(\frac{c/2}{d}\right) = \arctan\left(\frac{5}{1.75}\right) = \arctan(2.857)$$

$$\theta_{\text{plaque}} = 70.7^\circ$$

Pour une surface rectangulaire de dimensions $2a \times 2b$ située à une distance d sur l'axe, l'angle solide exact est donné par :

$$\Omega = 4 \arctan\left(\frac{ab}{d\sqrt{a^2 + b^2 + d^2}}\right)$$

Pour une plaque carrée ($a = b = 5 \text{ cm}$) à $d = 1.75 \text{ cm}$:

$$\begin{aligned}
\Omega_{\text{plaque}} &= 4 \arctan \left(\frac{5 \times 5}{1.75 \times \sqrt{5^2 + 5^2} + 1.75^2} \right) \\
&= 4 \arctan \left(\frac{25}{1.75 \times \sqrt{25 + 25} + 3.06} \right) \\
&= 4 \arctan \left(\frac{25}{1.75 \times \sqrt{53.06}} \right) \\
&= 4 \arctan \left(\frac{25}{1.75 \times 7.28} \right) \\
&= 4 \arctan \left(\frac{25}{12.75} \right) \\
&= 4 \arctan(1.961) \\
&= 4 \times 1.101 \text{ rad} = 4 \times 63.1
\end{aligned}$$

$$\Omega_{\text{plaque}} \approx 4.02 \text{ sr}$$

La fraction de l'angle solide total (4π sr) :

$$f_{\text{plaque}} = \frac{\Omega_{\text{plaque}}}{4\pi} = \frac{4.02}{12.57} \approx 0.32 = 32\%$$

3.4 Angle Solide du Détecteur

Le détecteur sphérique de rayon $r = 2$ cm est situé à une distance $d = 18$ cm de la source. Le demi-angle sous-tendu est :

$$\theta_{\text{det}} = \arctan \left(\frac{r}{d} \right) = \arctan \left(\frac{2}{18} \right) = 6.34$$

La fraction d'angle solide :

$$f_{\text{det}} = \frac{1 - \cos(6.34)}{2} \approx 0.00306 = 0.306\%$$

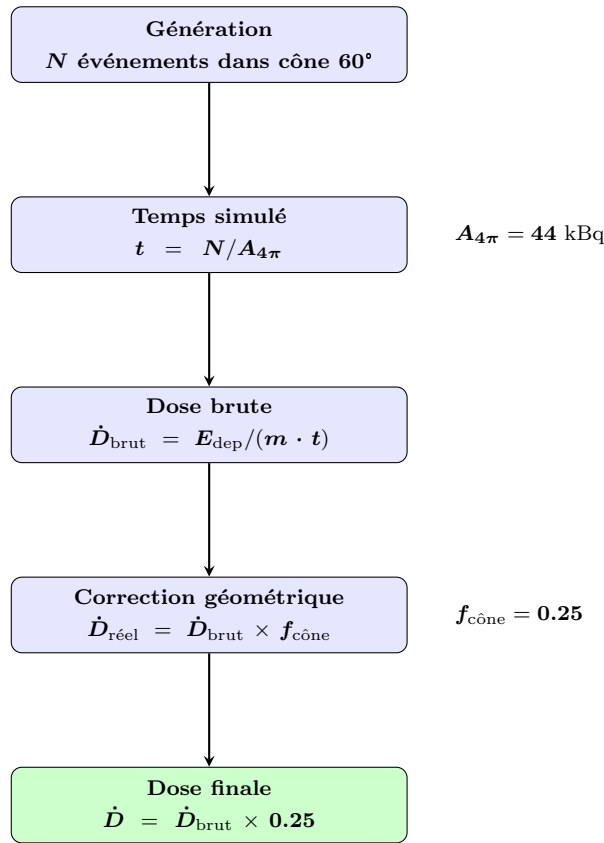
3.5 Procédure de Normalisation

Les formules de normalisation sont :

$$t_{\text{simulé}} = \frac{N_{\text{events}}}{A_{4\pi}} = \frac{25 \times 10^6}{44000} = 568.18 \text{ s}$$

$$\dot{D}_{\text{brut}} = \frac{E_{\text{déposée}}}{m_{\text{det}} \times t_{\text{simulé}}}$$

$$\dot{D}_{\text{corrigé}} = \dot{D}_{\text{brut}} \times f_{\text{cône}} = \dot{D}_{\text{brut}} \times 0.25$$



Procédure de normalisation pour le calcul du débit de dose.

4 Bilan des Particules

4.1 Statistiques de Génération

Statistiques de génération des gammas (25M événements)

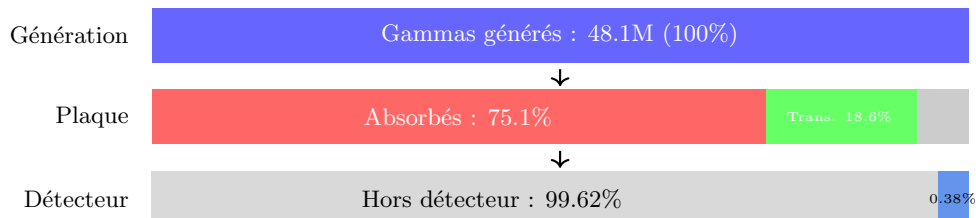
Paramètre	Valeur	Commentaire
Événements simulés	25,000,000	—
Gammas générés	48,099,889	—
Moyenne γ /événement	1.924	Attendu : 1.924
Événements sans gamma	$\sim 11\%$	$P(N = 0) \approx 11.7\%$
Temps simulé	568.18 s	$t = N/A_{4\pi}$

4.2 Bilan de Transmission

4.3 Visualisation du Bilan Particulaire

Bilan de transmission à travers la plaque W/PETG

Catégorie	Nombre	Pourcentage
Gammas générés (total)	48,099,889	100%
Gammas transmis	8,960,192	18.63%
Gammas absorbés	36,132,636	75.12%
Hors acceptance (MISSED)	~ 3,007,061	~ 6.25%
Gammas dans détecteur	180,750	0.376%
Événements avec dépôt	34,923	—



Bilan des particules : de la génération au détecteur.

5 Résultats de la simulation du débit de Dose

5.1 Méthodes de Calcul

Trois méthodes sont utilisées pour calculer le débit de dose :

1. **Méthode 1 (Monte Carlo direct)** : Somme des dépôts d'énergie dans le volume sensible
2. **Méthode 1bis (Forçage)** : Estimation du dépôt forcé pour chaque gamma traversant
3. **Méthode 2 (Fluence $\times \mu_{en}/\rho$)** : Calcul analytique basé sur la fluence

5.2 Résultats W/PETG Pleine (25M événements)

Résultats de dose pour la configuration W/PETG pleine

Méthode	Dose (nGy/h)	Incertitude	% incert.
Méthode 1 (MC)	96.72	± 0.68	0.70%
Méthode 1bis (Forçage)	102.03	± 0.24	0.24%
Méthode 2 (Fluence)	102.03	± 0.24	0.24%
Valeur retenue	102.0	± 0.2	0.2%