

# Simulation Monte Carlo Geant4

Mesure de Dose avec Blindage W/PETG Plein

Comparaison avec Configuration Bi/PETG à Billes

Analyse de Simulation

December 22, 2025

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
1.1	Objectifs . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Description de la Géométrie</b>	<b>2</b>
2.1	Configuration avec Billes de Bismuth (Référence) . . . . .	2
2.1.1	Coupe Longitudinale (Plan XZ) . . . . .	2
2.1.2	Coupe Transversale (Plan XY) . . . . .	3
2.2	Configuration Plaque W/PETG Pleine . . . . .	3
2.3	Paramètres Géométriques . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Angles Solides et Normalisation</b>	<b>4</b>
3.1	Définition des Angles Solides . . . . .	4
3.2	Visualisation du Cône et des Angles Solides . . . . .	5
3.3	Angle Solide de l'Empilement de Billes . . . . .	5
3.4	Angle Solide du DéTECTeur . . . . .	5
3.5	Procédure de Normalisation . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Bilan des Particules</b>	<b>7</b>
4.1	Statistiques de Génération . . . . .	7
4.2	Bilan de Transmission . . . . .	7
4.3	Visualisation du Bilan Particulaire . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Résultats de Dose</b>	<b>7</b>
5.1	Méthodes de Calcul . . . . .	7
5.2	Résultats W/PETG Pleine (25M événements) . . . . .	8
5.3	Comparaison des Trois Configurations . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Analyse et Discussion</b>	<b>8</b>
6.1	Efficacité du Blindage W/PETG . . . . .	8
6.2	Comparaison avec Bi/PETG . . . . .	9
6.3	Cohérence des Résultats . . . . .	9
<b>7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>9</b>
7.1	Résultats Principaux . . . . .	9
7.2	Comparaison des Blindages . . . . .	9
7.3	Validation . . . . .	9

## 1 Introduction

Ce document présente l'analyse des résultats de simulation Monte Carlo Geant4 pour la mesure de dose absorbée dans l'eau en présence d'un blindage W/PETG plein de 18 mm d'épaisseur. Les résultats sont comparés avec la configuration de référence (air) et la configuration avec billes de bismuth dans une matrice PETG.

### 1.1 Objectifs

- Caractériser l'atténuation d'une plaque W/PETG pleine (75%W / 25%PETG en masse)
- Comparer avec le blindage Bi/PETG à billes
- Valider la normalisation et les méthodes de calcul de dose

## 2 Description de la Géométrie

### 2.1 Configuration avec Billes de Bismuth (Référence)

La configuration Bi/PETG consiste en un empilement hexagonal compact (HCP) de billes de bismuth dans une cavité remplie de PETG. Cette géométrie est illustrée dans les figures suivantes.

#### 2.1.1 Coupe Longitudinale (Plan XZ)

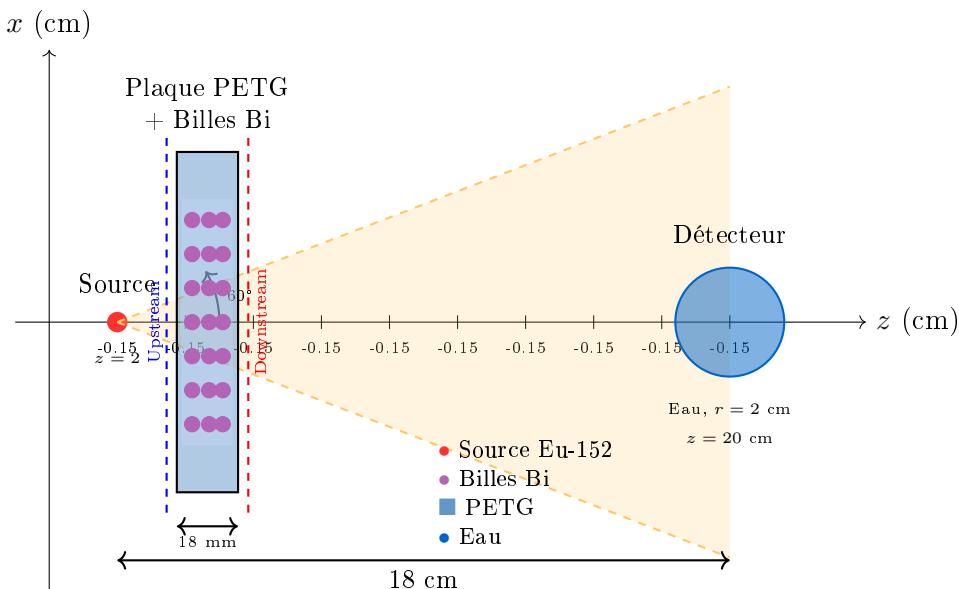


Figure 1: Coupe longitudinale (plan XZ) de la configuration Bi/PETG avec billes de bismuth. Le cône d'émission de demi-angle 60° est représenté en orange.

### 2.1.2 Coupe Transversale (Plan XY)

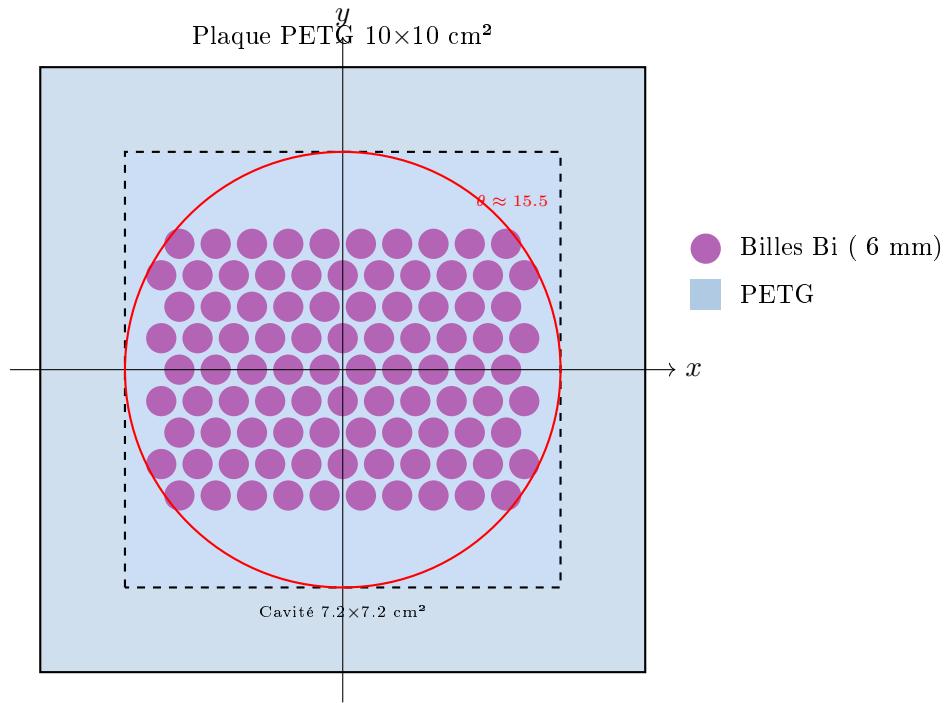


Figure 2: Coupe transversale (plan XY) montrant l'empilement hexagonal compact des billes de bismuth dans la cavité PETG.

### 2.2 Configuration Plaque W/PETG Pleine

La configuration étudiée dans ce rapport remplace l'empilement de billes par une plaque homogène de W/PETG (75% tungstène, 25% PETG en fractions massiques).

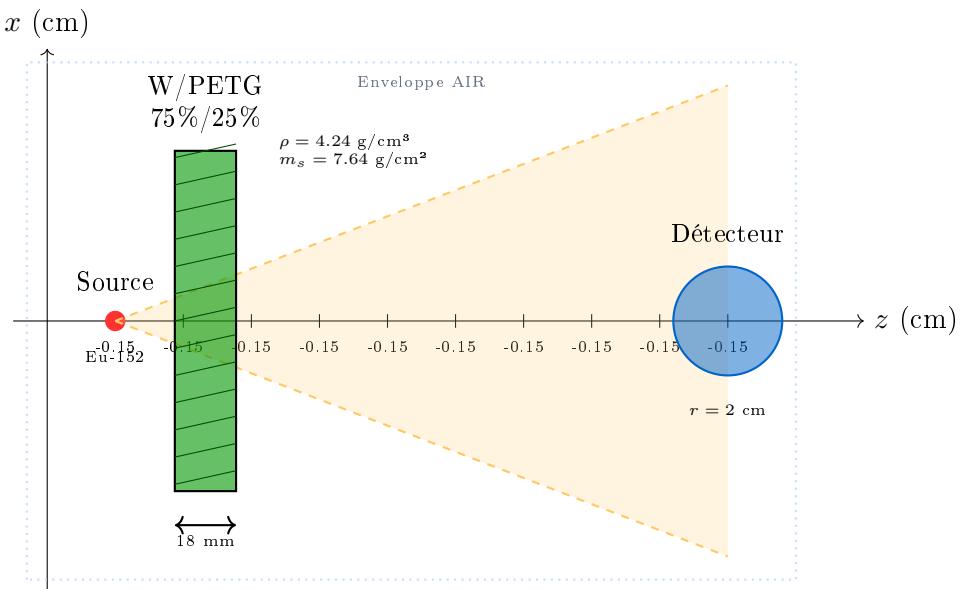


Figure 3: Coupe longitudinale de la configuration W/PETG pleine. La plaque homogène remplace l'empilement de billes.

## 2.3 Paramètres Géométriques

Table 1: 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	$10 \times 10 \text{ cm}^2$	$10 \times 10 \text{ cm}^2$
Diamètre billes	6 mm	—
Nombre de billes	3402	—
Densité blindage	9.79 g/cm <sup>3</sup> (Bi)	4.24 g/cm <sup>3</sup>
Masse surfacique	8.12 g/cm <sup>2</sup>	7.64 g/cm <sup>2</sup>

## 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 :

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

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

$$f_{\text{cône}} = \frac{\Omega_{\text{cône}}}{4\pi} = \frac{\pi}{4\pi} = 0.25 = 25\% \quad (2)$$

### 3.2 Visualisation du Cône et des Angles Solides

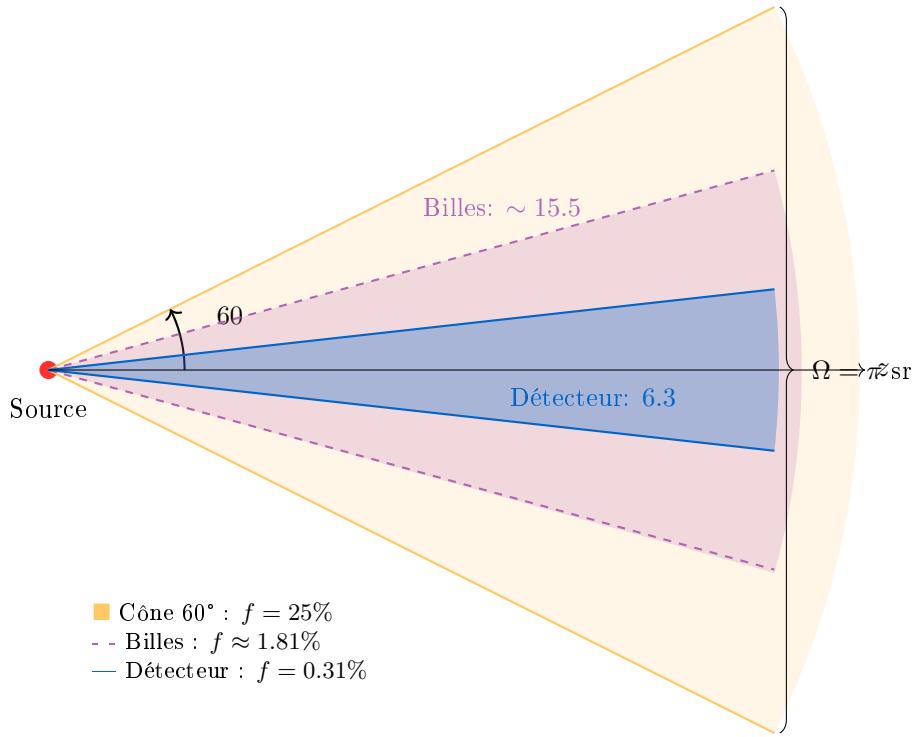


Figure 4: Visualisation des différents angles solides : cône d'émission ( $60^\circ$ ), couverture de l'empilement de billes ( $\sim 15.5$ ), et acceptance du détecteur ( $\sim 6.3$ ).

### 3.3 Angle Solide de l'Empilement de Billes

L'empilement de billes occupe une cavité de  $7.2 \times 7.2 \text{ cm}^2$  située à  $z = 4.65 \text{ cm}$  (centre). L'angle solide sous-tendu depuis la source ( $z = 2 \text{ cm}$ ) est :

$$\theta_{\text{billes}} = \arctan \left( \frac{3.6}{2.65} \right) \approx 53.7 \quad (\text{demi-diagonale}) \quad (3)$$

Pour la dimension caractéristique (rayon équivalent  $r = 3.6 \text{ cm}$ ) :

$$\theta_{\text{billes}} \approx \arctan \left( \frac{3.6}{2.65} \right) \approx 53.7 \quad (4)$$

La fraction d'angle solide correspondante :

$$f_{\text{billes}} = \frac{1 - \cos(53.7)}{2} \approx 0.0181 = 1.81\% \quad (5)$$

### 3.4 Angle Solide du DéTECTEUR

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

$$\theta_{\text{det}} = \arctan \left( \frac{r}{d} \right) = \arctan \left( \frac{2}{18} \right) = 6.34 \quad (6)$$

La fraction d'angle solide :

$$f_{\text{det}} = \frac{1 - \cos(6.34)}{2} \approx 0.00306 = 0.306\% \quad (7)$$

### 3.5 Procédure de Normalisation

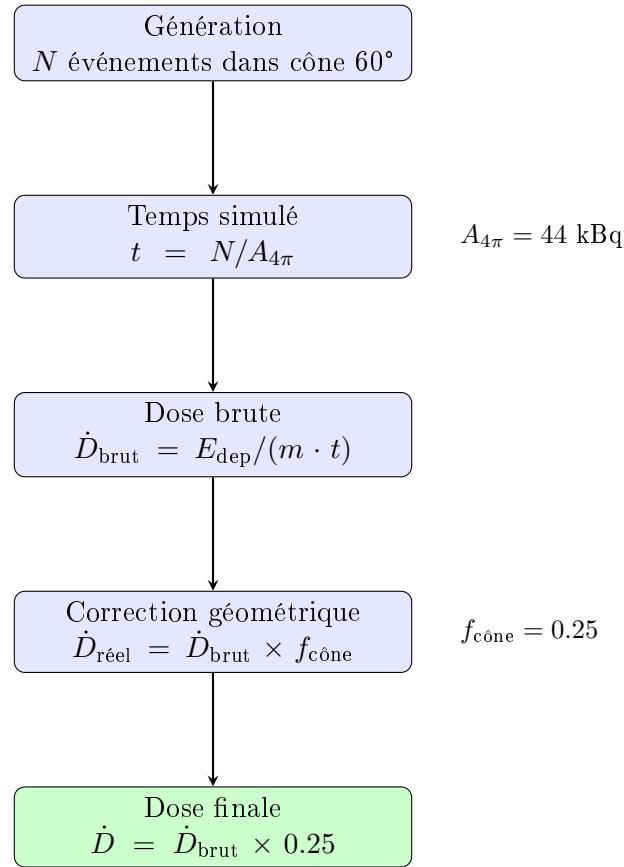


Figure 5: Procédure de normalisation pour le calcul du débit de dose.

Les formules de normalisation sont :

$$t_{\text{simul\'e}} = \frac{N_{\text{events}}}{A_{4\pi}} = \frac{25 \times 10^6}{44000} = 568.18 \text{ s} \quad (8)$$

$$\dot{D}_{\text{brut}} = \frac{E_{\text{déposée}}}{m_{\text{det}} \times t_{\text{simulé}}} \quad (9)$$

$$\dot{D}_{\text{corrigé}} = \dot{D}_{\text{brut}} \times f_{\text{cône}} = \dot{D}_{\text{brut}} \times 0.25 \quad (10)$$

## 4 Bilan des Particules

### 4.1 Statistiques de Génération

Table 2: Statistiques de génération des gammas (25M événements)

Paramètre	Valeur	Commentaire
Événements simulés	25,000,000	—
Gammas générés	48,099,889	—
Moyenne $\gamma/\text{événement}$	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

Table 3: 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)	$\sim 3,007,061$	$\sim 6.25\%$
Gammas dans détecteur	180,750	0.376%
Événements avec dépôt	34,923	—

### 4.3 Visualisation du Bilan Particulaire

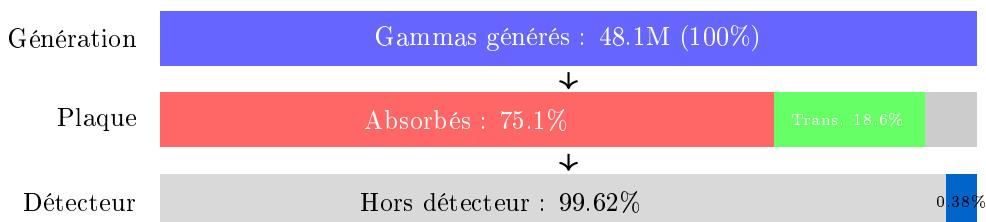


Figure 6: Bilan des particules : de la génération au détecteur.

## 5 Résultats 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)

Table 4: Résultats de dose pour la configuration W/PETG pleine

Méthode	Dose (nGy/h)	Incertitude	% incert.
Méthode 1 (MC)	96.72	$\pm 0.68$	0.70%
Méthode 1bis (Forçage)	102.03	$\pm 0.24$	0.24%
Méthode 2 (Fluence)	102.03	$\pm 0.24$	0.24%
<b>Valeur retenue</b>	<b>102.0</b>	$\pm 0.2$	0.2%

## 5.3 Comparaison des Trois Configurations

Table 5: Comparaison des configurations de blindage

Configuration	Transmission	Dose (nGy/h)	Réduction	Facteur
AIR (référence)	97.9%	$179.2 \pm 1.2$	—	1.00
Bi/PETG (billes)	17.1%	$94.4 \pm 0.2$	47%	1.90
W/PETG (pleine)	18.6%	$102.0 \pm 0.2$	43%	1.76

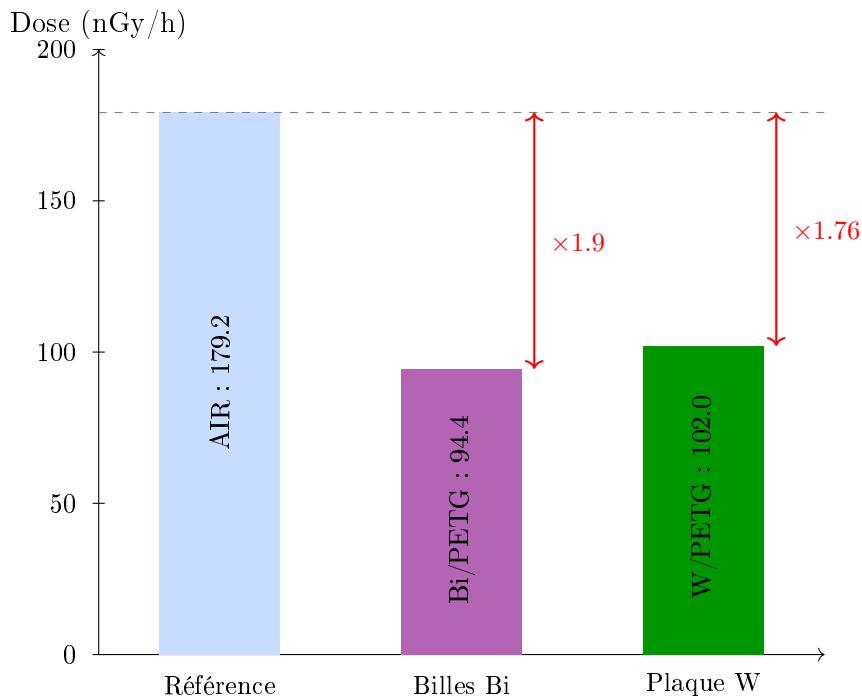


Figure 7: Comparaison des débits de dose pour les trois configurations.

## 6 Analyse et Discussion

### 6.1 Efficacité du Blindage W/PETG

La plaque W/PETG pleine de 18 mm (masse surfacique 7.64 g/cm<sup>2</sup>) présente :

- Une transmission de 18.6% (absorption de 81.4% des gammas)

- Une **réduction de dose de 43%** par rapport à l'air
- Un **facteur de réduction de 1.76**

## 6.2 Comparaison avec Bi/PETG

Malgré des transmissions similaires (18.6% vs 17.1%), la configuration W/PETG donne une dose **légèrement supérieure (+8%)** à la configuration Bi/PETG. Cela s'explique par :

1. **Différence de numéro atomique** :  $Z_{\text{Bi}} = 83 > Z_{\text{W}} = 74$
2. **Section efficace photoélectrique** :  $\sigma_{\text{PE}} \propto Z^{4-5}$
3. **Spectre durci différent** : Le bismuth absorbe plus efficacement les basses énergies
4. **Géométrie** : La plaque pleine vs les billes avec gaps d'air

## 6.3 Cohérence des Résultats

Table 6: Vérification de cohérence

Paramètre	Observé	Attendu
Moyenne $\gamma/\text{event}$	1.924	1.924
$P(N=0)$	11.0%	11.7%
Accord méthodes 1bis/2	102.03 / 102.03	Identique
Écart méthode 1 vs 1bis	5.2%	< 10%

## 7 Conclusion

Cette étude par simulation Monte Carlo Geant4 a permis de caractériser l'efficacité d'une plaque W/PETG pleine de 18 mm comme blindage contre le rayonnement gamma de l'Eu-152.

### 7.1 Résultats Principaux

- **Débit de dose** :  $\dot{D} = 102.0 \pm 0.2 \text{ nGy/h}$  (à 18 cm de la source)
- **Facteur de réduction** : 1.76 par rapport à l'air
- **Transmission** : 18.6% des gammas traversent la plaque

### 7.2 Comparaison des Blindages

Bi/PETG (billes)	vs	W/PETG (pleine)
94.4 nGy/h		102.0 nGy/h
Facteur 1.90		Facteur 1.76

Le blindage Bi/PETG avec billes reste **légèrement plus efficace (+8%)** que la plaque W/PETG pleine, malgré des masses surfaciques comparables (8.12 vs 7.64 g/cm<sup>2</sup>).

### 7.3 Validation

Les résultats sont validés par :

- L'accord entre les trois méthodes de calcul (< 6%)
- La cohérence des statistiques de génération
- Une incertitude statistique faible (0.2%) grâce aux 25M événements