

Analyse des Plans de Comptage PreContainer et PostContainer

Validation avec Géométrie Tout Air

Simulation Geant4 – Source ^{152}Eu

1^{er} janvier 2026

Résumé

Ce document présente l'analyse des résultats de simulation Monte Carlo obtenus avec Geant4 pour une géométrie de test où tous les matériaux ont été remplacés par de l'air. L'objectif est de valider le fonctionnement des plans de comptage PreContainer et PostContainer en vérifiant que les distributions de photons entrant et transmis sont quasi-identiques, et que la rétrodiffusion est nulle.

Table des matières

1 Configuration de la Simulation	2
1.1 Paramètres généraux	2
1.2 Définition des observables	2
2 Résultats pour les Photons	2
2.1 Statistiques globales	2
2.2 Interprétation physique	2
2.2.1 Transmission quasi-totale	2
2.2.2 Absence de rétrodiffusion	3
3 Résultats pour les Électrons	3
3.1 Statistiques globales	3
3.2 Interprétation	3
4 Validation du Code	3
4.1 Tests de cohérence	3
4.2 Estimation des pertes géométriques	4
5 Conclusion	4
A Description des Figures Générées	4
A.1 Canvas 1 : PreContainerPlane (avant l'eau)	4
A.2 Canvas 2 : PostContainerPlane – Photons transmis	5
A.3 Canvas 3 : PostContainerPlane – Photons rétrodiffusés	5
A.4 Canvas 4 : Comparaison Entrant vs Transmis	5
A.5 Canvas 5 : PostContainerPlane – Électrons transmis	5
A.6 Canvas 6 : PostContainerPlane – Électrons rétrodiffusés	5
A.7 Récapitulatif	6

1 Configuration de la Simulation

1.1 Paramètres généraux

- **Nombre d'événements** : $N = 25 \times 10^6$ désintégrations
- **Source** : ^{152}Eu (11 raies gamma principales)
- **Géométrie** : Tous les matériaux remplacés par de l'air
- **Plans de comptage** :
 - PreContainerPlane : $z = 97,5$ mm (avant l'eau)
 - PostContainerPlane : $z = 103,5$ mm (après l'eau)

1.2 Définition des observables

Les particules sont comptées selon leur direction de propagation :

Table 1: Définition des observables aux plans de comptage

Plan	Direction	Signification physique
PreContainer	$p_z > 0$ (+z)	Particules entrant dans la région eau
PostContainer	$p_z > 0$ (+z)	Particules transmises (sortant de l'eau)
PostContainer	$p_z < 0$ (-z)	Particules rétrodiffusées (backscatter)

2 Résultats pour les Photons

2.1 Statistiques globales

Table 2: Comparaison des distributions de photons entre PreContainer et PostContainer

Observable	PreContainer (entrant)	PostContainer (transmis)	Écart relatif
Nombre moyen $\langle N_\gamma \rangle$	1,155	1,004	-13.1%
Écart-type σ_{N_γ}	0,991	0,934	-5.7%
Énergie moyenne $\langle \Sigma E_\gamma \rangle$	1124 keV	1059 keV	-5.8%
Écart-type $\sigma_{\Sigma E}$	783 keV	745 keV	-4.9%
Entrées (énergie > 0)	$17,86 \times 10^6$	$16,49 \times 10^6$	-7.7%
Backscatter	—	0	—

2.2 Interprétation physique

2.2.1 Transmission quasi-totale

Les distributions PreContainer et PostContainer sont très similaires, ce qui est attendu pour une géométrie tout air :

$$\frac{\langle N_\gamma \rangle_{\text{Post}}}{\langle N_\gamma \rangle_{\text{Pre}}} = \frac{1.004}{1.155} \approx 0.87 \quad (1)$$

La différence de $\sim 13\%$ s'explique par les effets géométriques :

- Les photons émis avec un angle θ important par rapport à l'axe z peuvent sortir latéralement du cylindre de détection (rayon $R = 25$ mm)
- La distance entre les deux plans est $\Delta z = 6$ mm

2.2.2 Absence de rétrodiffusion

Le résultatat $N_{\gamma,\text{back}} = 0$ confirme que :

- Le code de détection des directions fonctionne correctement
- Dans l'air, la section efficace de diffusion Compton est négligeable
- Il n'y a pas de matériau pour générer des photons rétrodiffusés

3 Résultats pour les Électrons

3.1 Statistiques globales

Table 3: Statistiques des électrons aux plans de comptage

Observable	PreContainer (entrant)	PostContainer (transmis)	PostContainer (backscatter)
Nombre moyen $\langle N_{e^-} \rangle$	$3,9 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$	0
Écart-type $\sigma_{N_{e^-}}$	0,020	0,022	0
Énergie moyenne $\langle \Sigma E_{e^-} \rangle$	360 keV	286 keV	0 keV
Entrées (énergie > 0)	~ 9750	~ 10046	0

3.2 Interprétation

- **Faible production d'électrons** : $\langle N_{e^-} \rangle \sim 4 \times 10^{-4}$ par désintégration, soit environ 1 électron pour 2500 événements
- **Légère augmentation au PostContainer** : Les électrons supplémentaires proviennent de :
 - Diffusion Compton des photons dans l'air (très faible)
 - Éventuellement, production de paires pour les photons de haute énergie
- **Backscatter nul** : Confirme l'absence de matériau diffuseur

4 Validation du Code

4.1 Tests de cohérence

1. **Conservation approximative** : Le rapport $N_{\text{Post}}/N_{\text{Pre}} \approx 0.87$ est cohérent avec les pertes géométriques latérales.
2. **Backscatter nul** : $N_{\gamma,\text{back}} = N_{e^-,\text{back}} = 0$ confirme que :
 - La détection de la direction ($p_z > 0$ vs $p_z < 0$) fonctionne
 - L'air ne produit pas de rétrodiffusion mesurable
3. **Distributions d'énergie** : Les spectres PreContainer et PostContainer sont quasi-superposés, avec les raies caractéristiques de ^{152}Eu visibles.

4.2 Estimation des pertes géométriques

Pour un cône d'émission de demi-angle $\theta_{\max} = 20$ et une distance $\Delta z = 6$ mm, le rayon additionnel couvert est :

$$\Delta r = \Delta z \cdot \tan(\theta_{\max}) = 6 \times \tan(20) \approx 2,2 \text{ mm} \quad (2)$$

Les photons à la limite du cylindre ($r \approx 25$ mm) au PreContainer peuvent dépasser le rayon de détection au PostContainer, expliquant les pertes observées.

5 Conclusion

La simulation avec géométrie tout air valide le bon fonctionnement des plans de comptage :

- ✓ Les distributions de photons PreContainer et PostContainer sont quasi-identiques
- ✓ La rétrodiffusion est nulle (aucun matériau diffuseur)
- ✓ Les différences observées ($\sim 13\%$) s'expliquent par les effets géométriques
- ✓ Le code est prêt pour une simulation avec la géométrie réelle

Prochaine étape : Relancer la simulation avec les vrais matériaux (eau, PETG, tungstène) pour mesurer :

- L'atténuation des photons par l'eau
- La rétrodiffusion Compton
- La production d'électrons secondaires

A Description des Figures Générées

Le script ROOT `plot_container_planes.C` génère 6 fichiers PNG correspondant à 6 canvas. Chaque figure est décrite ci-dessous avec son contenu et son interprétation.

A.1 Canvas 1 : PreContainerPlane (avant l'eau)

Fichier : `histos_precontainer.png`

Contenu : 4 histogrammes (2×2) représentant les particules **entrant dans la région eau** (direction $+z$) :

- Haut gauche : Nombre de photons par désintégration (N_γ)
- Haut droite : Somme des énergies des photons (ΣE_γ en keV)
- Bas gauche : Nombre d'électrons par désintégration (N_{e^-})
- Bas droite : Somme des énergies des électrons (ΣE_{e^-} en keV)

Interprétation : Ce plan mesure le flux de particules **incident** sur la région où se trouve normalement l'eau. C'est la référence pour calculer l'atténuation.

A.2 Canvas 2 : PostContainerPlane – Photons transmis

Fichier : `histos_postcontainer_photons_transmis.png`

Contenu : 2 histogrammes représentant les photons **soutant de l'eau** (direction $+z$, transmis) :

- Gauche : Nombre de photons transmis par désintégration (N_γ transmis)
- Droite : Somme des énergies des photons transmis (ΣE_γ en keV)

Interprétation : Ces photons ont traversé la région eau sans être absorbés ni rétrodiffusés. La comparaison avec le PreContainer permet de mesurer l'atténuation.

A.3 Canvas 3 : PostContainerPlane – Photons rétrodiffusés

Fichier : `histos_postcontainer_photons_backscatter.png`

Contenu : 2 histogrammes représentant les photons **retournant vers l'eau** (direction $-z$, backscatter) :

- Gauche : Nombre de photons rétrodiffusés par désintégration (N_γ backscatter)
- Droite : Somme des énergies des photons rétrodiffusés (ΣE_γ en keV)

Interprétation : Ces photons proviennent de la diffusion Compton dans les matériaux situés après l'eau. Dans la géométrie tout air, cette distribution est **vide** (Mean = 0).

A.4 Canvas 4 : Comparaison Entrant vs Transmis

Fichier : `histos_comparison_photons.png`

Contenu : 2 histogrammes superposés (Pre en orange, Post en cyan) :

- Gauche : Superposition des distributions N_γ (entrant vs transmis)
- Droite : Superposition des distributions ΣE_γ (entrant vs transmis)

Interprétation : Cette figure permet de visualiser directement l'atténuation. Dans la géométrie tout air, les deux distributions sont quasi-superposées.

A.5 Canvas 5 : PostContainerPlane – Électrons transmis

Fichier : `histos_postcontainer_electrons_transmis.png`

Contenu : 2 histogrammes représentant les électrons **soutant de l'eau** (direction $+z$) :

- Gauche : Nombre d'électrons transmis par désintégration (N_{e^-} transmis)
- Droite : Somme des énergies des électrons transmis (ΣE_{e^-} en keV)

Interprétation : Ces électrons peuvent être des électrons primaires ayant traversé l'eau, ou des électrons secondaires produits par effet Compton ou photoélectrique dans l'eau.

A.6 Canvas 6 : PostContainerPlane – Électrons rétrodiffusés

Fichier : `histos_postcontainer_electrons_backscatter.png`

Contenu : 2 histogrammes représentant les électrons **retournant vers l'eau** (direction $-z$) :

- Gauche : Nombre d'électrons rétrodiffusés par désintégration (N_{e^-} backscatter)
- Droite : Somme des énergies des électrons rétrodiffusés (ΣE_{e^-} en keV)

Interprétation : Ces électrons proviennent de la rétrodiffusion dans les matériaux après l'eau. Dans la géométrie tout air, cette distribution est **vide**.

A.7 Récapitulatif

Table 4: Récapitulatif des 6 figures générées

Canvas	Fichier PNG	Plan	Particules / Direction
1	histos_precontainer.png	Pre	γ et e^- entrant ($+z$)
2	histos_postcontainer_photons_transmis.png	Post	γ transmis ($+z$)
3	histos_postcontainer_photons_backscatter.png	Post	γ backscatter ($-z$)
4	histos_comparison_photons.png	Pre+Post	γ superposition
5	histos_postcontainer_electrons_transmis.png	Post	e^- transmis ($+z$)
6	histos_postcontainer_electrons_backscatter.png	Post	e^- backscatter ($-z$)