

# Analyse de l'Effet du PMMA sur la Production de Particules Secondaires

Simulation Geant4 – Source  $^{152}\text{Eu}$  –  $25 \times 10^6$  événements

2 janvier 2026

## 1 Configurations comparées

Trois configurations ont été simulées pour isoler l'effet de chaque composant :

Table 1: Matériaux des différentes configurations

Configuration	PMMA (5 mm)	Feuille (20 $\mu\text{m}$ )	Eau (5 mm)
Air (référence)	Air	Air	Air
Tungstène seul	Air	Tungstène	Air
PMMA + Tungstène	<b>PMMA</b>	Tungstène	Air

## 2 Effet du PMMA sur le PreContainerPlane

Le PreContainerPlane est situé juste avant la région d'eau, après le bloc de PMMA. C'est ici que l'effet du PMMA est le plus visible.

### 2.1 Photons entrant dans l'eau

Table 2: Statistiques des photons au PreContainerPlane

Observable	Air	W seul	PMMA + W	Variation
Mean $\langle N_\gamma \rangle$	1.155	1.155	1.129	-2.3%
Std Dev	0.990	0.990	0.982	-0.8%
Énergie moyenne	1124 keV	1124 keV	1111 keV	-1.2%
Std Dev énergie	783 keV	783 keV	774 keV	-1.1%
Entries ( $E > 0$ )	$2.79 \times 10^7$	$2.79 \times 10^7$	$2.76 \times 10^7$	-1.1%

**Interprétation :** Le PMMA (5 mm,  $\rho \approx 1.18 \text{ g/cm}^3$ ) absorbe environ **2–3%** des photons incidents et réduit légèrement leur énergie moyenne par diffusion Compton. Cet effet est modéré car le PMMA est un matériau de faible Z (H, C, O).

## 2.2 Électrons entrant dans l'eau – Changement majeur

Table 3: Statistiques des électrons au PreContainerPlane

Observable	Air	W seul	PMMA + W	Facteur
Mean $\langle N_e \rangle$	$3.99 \times 10^{-4}$	$3.99 \times 10^{-4}$	$4.86 \times 10^{-3}$	$\times 12.2$
Std Dev	0.0208	0.0208	0.0735	$\times 3.5$
Énergie moyenne	346 keV	346 keV	478 keV	$\times 1.38$
Std Dev énergie	333 keV	333 keV	273 keV	$\times 0.82$
Entries ( $E > 0$ )	9 607	9 607	114 723	$\times 11.9$

Résultat majeur :

**Le PMMA produit 12 fois plus d'électrons que l'air !**

Mean :  $3.99 \times 10^{-4} \rightarrow 4.86 \times 10^{-3}$  (facteur  $\times 12.2$ )

Entries : 9 607  $\rightarrow$  114 723 (facteur  $\times 11.9$ )

Origine physique des électrons :

- **Effet Compton** : Processus dominant dans le PMMA pour les photons de 100 keV à 1 MeV
- **Composition** : Le PMMA ( $C_5H_8O_2$ ) contient des éléments légers favorisant le Compton
- **Énergie plus élevée** : 478 keV vs 346 keV indique des électrons Compton de haute énergie
- **Épaisseur** : 5 mm de PMMA offre suffisamment de matière pour les interactions

## 3 Effet sur le PostContainerPlane

### 3.1 Photons transmis

Table 4: Statistiques des photons transmis au PostContainerPlane

Observable	W seul	PMMA + W	Variation
Mean $\langle N_\gamma \rangle$	1.027	1.000	-2.6%
Std Dev	0.943	0.933	-1.1%
Énergie moyenne	1069 keV	1058 keV	-1.0%
Entries	$2.57 \times 10^7$	$2.45 \times 10^7$	-4.7%

### 3.2 Photons rétrodiffusés (backscatter)

Table 5: Statistiques des photons backscatter au PostContainerPlane

Observable	W seul	PMMA + W	Variation
Mean $\langle N_\gamma \rangle$	$8.11 \times 10^{-3}$	$8.08 \times 10^{-3}$	$\sim 0\%$
Std Dev	0.0956	0.0954	$\sim 0\%$
Énergie moyenne	80,7 keV	81,1 keV	$\sim 0\%$
Entries	189 338	188 544	$\sim 0\%$

**Observation importante :** Le backscatter des photons est **identique** dans les deux configurations. Il est entièrement dominé par la **fluorescence X du tungstène** (pic à 60–80 keV), et le PMMA n'a aucune influence sur ce processus.

### 3.3 Électrons transmis

Table 6: Statistiques des électrons transmis au PostContainerPlane

Observable	W seul	PMMA + W	Facteur
Mean $\langle N_{e^-} \rangle$	$4.13 \times 10^{-4}$	$4.18 \times 10^{-3}$	$\times 10.1$
Std Dev	0.0210	0.0681	$\times 3.2$
Énergie moyenne	290 keV	477 keV	$\times 1.64$
Entries	9 973	99 092	$\times 9.9$

### 3.4 Électrons rétrodiffusés (backscatter)

Table 7: Statistiques des électrons backscatter au PostContainerPlane

Observable	W seul	PMMA + W	Facteur
Mean $\langle N_{e^-} \rangle$	$1.66 \times 10^{-3}$	$3.38 \times 10^{-3}$	$\times 2.0$
Std Dev	0.0453	0.0648	$\times 1.4$
Énergie moyenne	156 keV	267 keV	$\times 1.71$
Entries	37 350	75 342	$\times 2.0$

## 4 Analyse des figures

### 4.1 Figure PreContainer (4 panneaux)

Photons (panneaux supérieurs) :

- Distribution du nombre de photons similaire mais légèrement décalée vers la gauche
- Mean = 1.129 (vs 1.155 sans PMMA) : perte de  $\sim 2\%$
- Spectre d'énergie quasi-identique avec pics des raies Eu-152 visibles

Électrons (panneaux inférieurs) – Changement majeur :

- Distribution beaucoup plus étendue : jusqu'à  $N_{e^-} = 5$  (vs 3–4 sans PMMA)
- Nombre d'entrées  $\times 12$  : 114 723 vs 9 607
- Spectre d'énergie en forme de "bosse" caractéristique de l'effet Compton
- Pic vers 500–600 keV avec coupure nette à  $\sim 1400$  keV (bord Compton)

### 4.2 Figure Comparaison Pre/Post (photons)

- Perte de photons :  $(1.129 - 1.000)/1.129 = 11.4\%$  (vs 11.1% sans PMMA)
- Les spectres Pre et Post sont quasi-superposés
- La forme spectrale n'est pas modifiée par le passage à travers l'eau (en air) et le tungstène

### 4.3 Figure Photons backscatter

- Pic de fluorescence X du tungstène toujours dominant à **60–80 keV**
- Raies  $K_\alpha$  (58–59 keV) et  $K_\beta$  (67–69 keV) du W

- **Identique** à la configuration sans PMMA → le tungstène domine le backscatter  $\gamma$
- Queue Compton jusqu'à  $\sim 1200$  keV

#### 4.4 Figure Électrons transmis

- Spectre très différent de la configuration sans PMMA
- Forme en “bosse” avec pic à  $\sim 500$  keV
- Queue jusqu'à  $\sim 1500$  keV (électrons Compton de haute énergie)
- Entrées : 99 092 (vs 9 973 sans PMMA) → facteur  $\times 10$

#### 4.5 Figure Électrons backscatter

- Distribution plus large : jusqu'à  $N_{e^-} = 8$  (vs 7 sans PMMA)
- Spectre d'énergie élargi avec pic à  $\sim 200$ – $300$  keV
- Queue étendue jusqu'à  $\sim 2500$  keV (vs 1800 keV sans PMMA)
- Doublement du nombre d'électrons backscatter : 75 342 vs 37 350

### 5 Tableau récapitulatif

Table 8: Synthèse de l'effet du PMMA sur toutes les observables

Plan	Observable	W seul	PMMA + W	Facteur
PreContainer	Photons (Mean)	1.155	1.129	$\times 0.98$
	Électrons (Mean)	$3.99 \times 10^{-4}$	$4.86 \times 10^{-3}$	<b><math>\times 12.2</math></b>
PostContainer transmis	Photons (Mean)	1.027	1.000	$\times 0.97$
	Électrons (Mean)	$4.13 \times 10^{-4}$	$4.18 \times 10^{-3}$	<b><math>\times 10.1</math></b>
PostContainer backscatter	Photons (Mean)	$8.11 \times 10^{-3}$	$8.08 \times 10^{-3}$	$\times 1.0$
	Électrons (Mean)	$1.66 \times 10^{-3}$	$3.38 \times 10^{-3}$	<b><math>\times 2.0</math></b>

### 6 Conclusions

1. **Production massive d'électrons Compton** : Le PMMA (5 mm) multiplie par **12** le nombre d'électrons entrant dans la région d'eau. C'est l'effet le plus significatif observé.
2. **Électrons de haute énergie** : L'énergie moyenne des électrons augmente de 346 keV à 478 keV, indiquant une production dominée par l'effet Compton avec des photons de haute énergie.
3. **Spectre Compton caractéristique** : Le spectre des électrons présente une forme en “bosse” avec une coupure nette correspondant au bord Compton des raies gamma de l'Eur-152.
4. **Photons peu affectés** : Le PMMA n'absorbe que  $\sim 2$ – $3\%$  des photons et ne modifie pas significativement leur spectre d'énergie.
5. **Backscatter photon inchangé** : La fluorescence X du tungstène (60–80 keV) domine complètement le backscatter des photons, indépendamment du PMMA.
6. **Backscatter électron doublé** : Le doublement des électrons backscatter ( $\times 2$ ) est une conséquence directe de l'augmentation des électrons incidents sur le tungstène.

**Implication pour la dosimétrie :** La présence du PMMA modifie considérablement le spectre de particules chargées atteignant l'eau. Les électrons Compton produits dans le PMMA contribueront significativement à la dose déposée dans les premiers millimètres d'eau, un effet qui sera visible lorsque le matériau "eau" sera activé dans la simulation.