

Introduction

La protection contre les rayonnements gamma demeure un enjeu majeur en médecine, en industrie et dans les systèmes embarqués. Bien que le plomb reste le matériau de référence grâce à son numéro atomique et sa densité élevées, son poids, sa toxicité, sa rigidité et ses contraintes réglementaires limitent son utilisation dans les technologies modernes, notamment les équipements portables et les structures légères.

Ces limitations ont encouragé le développement de matériaux de radioprotection alternatifs, en particulier les composites polymères renforcés. Les travaux de Shahzad (2023) montrent que les solutions actuelles s'orientent vers des matériaux offrant une bonne efficacité massique, même avec une densité bien inférieure à celle du plomb. Parmi eux, les nanomatériaux carbones, et notamment le graphène, sont particulièrement prometteurs grâce à leur faible masse, leur résistance mécanique et leur non-toxicité. Dans cette perspective, l'étude de Filak-Medoň et al. (2024) propose un composite innovant Graphène (carbone) /ABS (Acrylonitrile-Butadiène-Styrène, un thermoplastique commun, conçu pour concilier légèreté, stabilité structurelle et performances d'atténuation aux énergies γ . L'objectif de ce travail est d'analyser ce matériau, d'évaluer ses propriétés radiologiques et de déterminer dans quelle mesure il peut constituer une alternative légère et moderne aux blindages classiques au plomb, en s'appuyant sur les tendances mises en évidence par Shahzad (2023) et Gulbicim (2025).

I – Matériaux et conception du composite Graphène/ABS

Composition : 10 % en masse de nanoplaquettes de graphène (GNP) & 90 % d'ABS

Propriétés structurelles :

Les analyses microscopiques et spectroscopiques révèlent :

- Une **dispersion homogène** des nanoplaquettes dans toute la matrice (SEM),
- Une signature graphénique claire via les images des spectres Raman,
- L'absence d'agglomérats significatifs,
- La formation d'un **réseau électrique percolant** (conductivité ≈ 180 S/m).

Propriétés physico-chimiques :

Densité faible : $\approx 1,064$ g/cm 3 (environ 10 x plus léger que le plomb).

Stabilité mécanique : héritée de l'ABS, renforcée par le graphène.

Comportement électronique : favorable aux interactions photon-électron en régime Compton.

Ces éléments confirment que le matériau s'inscrit dans la stratégie des composites légers performants, telle que décrite dans Shahzad (2023) et Gulbicim (2025).

II – Procédé de fabrication et caractérisations préliminaires

Procédé de fabrication :

➤ Mélange mécanique ABS + GNP (1 h, 100 rpm),

- Hot-press à 190°C sous 250 kN,
- Découpe d'échantillons de 3 mm et 15 mm.

Ce procédé est compatible avec les techniques industrielles (extrusion, injection), un atout majeur pour la production en série.

Caractérisations

- SEM → homogénéité.
- Raman → intégration réussie des nanoplaquettes.
- Mesure de conductivité → réseau électrique fonctionnel.

Figure 2 : Photo/échantillons 3 et 15 mm

Ces observations confirment une fabrication contrôlée et un matériau reproductible, condition essentielle pour la radioprotection.

IV – Discussion, limites et perspectives

A. Atouts

- Très léger ($\approx 10\times$ plus léger que le plomb).
- Bonne atténuation massique.
- Flexibilité mécanique et non-toxicité.
- Accord très fort mesure / théorie via XCOM.
- Matériau moyennement coûteux mais facile à produire :
 - Comparatifs de multiples matériaux :
 - \$1.52 à \$3.21/kg pour le plomb
 - 7 à 15 €/kg selon le cours du graphène
 - 250 à 376/kg pour un hybride cobalt-titanate

B. Limites

- Atténuation linéaire plus faible que les matériaux denses.
- Dépendance à la qualité de dispersion.
- Données limitées sur le vieillissement radiatif.
- Perte de connaissance en France à la suite de l'abandon des UNGG

C. Perspectives et utilisations

- Optimisation du taux de GNP ($>10\%$).
- Architecture multicouche.
- Applications mobiles : drones, robots, systèmes embarqués, vêtements protecteurs légers.

Conclusion

L'étude de Filak-Medoň et al. (2024) démontre que le composite Graphène/ABS constitue une alternative prometteuse au plomb pour les applications où la légèreté est un critère déterminant. Malgré une densité environ **dix fois plus faible** (1,064 g/cm 3 contre 11,34 g/cm 3), ce matériau atteint des coefficients massiques supérieurs à $0,20$ cm 2 /g aux hautes énergies, ce qui le place parmi les composites légers les plus performants. À 122 keV, son coefficient linéaire ($\approx 0,15-0,20$ cm $^{-1}$) reste naturellement inférieur au plomb ($\approx 1,24$ cm $^{-1}$), mais la comparaison massique lui est nettement favorable, confirmant son intérêt dans des environnements où le poids prime sur l'efficacité linéaire absolue. L'accord entre les mesures expérimentales et les prédictions XCOM montre que le composite suit fidèlement les lois physiques d'interaction photon-matière, garantissant une modélisation fiable pour l'ingénierie. Les analyses SEM et Raman attestent d'une dispersion homogène des nanoplaquettes de graphène, essentielle pour maintenir des performances constantes, tandis que les conclusions de Shahzad (2023) et Gulbicim (2025) confirment l'intérêt général des polymères renforcés en carbone pour la radioprotection moderne. Ainsi, sans prétendre remplacer le plomb dans les situations de blindage extrême, le composite Graphène/ABS offre un compromis remarquable entre **atténuation massique, faible densité, flexibilité, non-toxicité et facilité de mise en forme**. Il apparaît comme un excellent candidat pour les systèmes mobiles, embarqués ou portables, ouvrant la voie à une nouvelle génération de blindages adaptés aux besoins contemporains.

Bibliographie

- [1] Filak-Medoň, Karolina, et al. « Graphene-Based Nanocomposites as Gamma- and X-Ray Radiation Shield ». *Scientific Reports*, vol. 14, no 1, août 2024, p. 18998. [www.nature.com](https://doi.org/10.1038/s41598-024-69628-5), <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69628-5>.
- [2] Gulbicim, Hasan, et al. « Study on the Gamma Ray Shielding Performance of Engineering Plastic Composites Enhanced with Graphene Nano-Platelets (GNPs) and Graphite (G) Additives ». *Applied Physics A*, vol. 131, no 7, juillet 2025, p. 529. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1007/s00339-025-08660-2>.
- [3] Shahzad, Kashif, et al. « Views on Radiation Shielding Efficiency of Polymeric Composites/Nanocomposites and Multi-Layered Materials: Current State and Advancements ». *Radiation*, vol. 3, no 1, décembre 2022, p. 1-20. DOI.org, <https://doi.org/10.3390/radiation3010001>.
- [4] Alhindawy, Islam G., et al. « Optimizing Gamma Radiation Shielding with Cobalt-Titania Hybrid Nanomaterials ». *Scientific Reports*, vol. 13, no 1, juin 2023, p. 8936. DOI.org, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33864-y>.

III – Atténuation gamma : Méthodologie et résultats

A. Méthodologie

Mesures réalisées dans trois laboratoires indépendants (GIG, CLOR, UM Łódź) afin de tester la robustesse des résultats.

Énergies étudiées : Déetecteurs utilisés :

- 46 keV, (Pb-210)
- 122 keV, (Co-57)
- 356 keV, (Ba-133)
- 662 keV, (CS-137)
- HPGe, scintillateurs, chambre d'ionisation.

Paramètres extraits :

Coefficient d'atténuation linéaire μ , coefficient d'atténuation massique μ/p , Half-Value Layer (HVL), comparaison avec XCOM, modèle théorique de référence.

CDA – Couche de demi-atténuation

Le CDA augmente avec l'énergie selon les lois standards :

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu}$$

B. Résultats

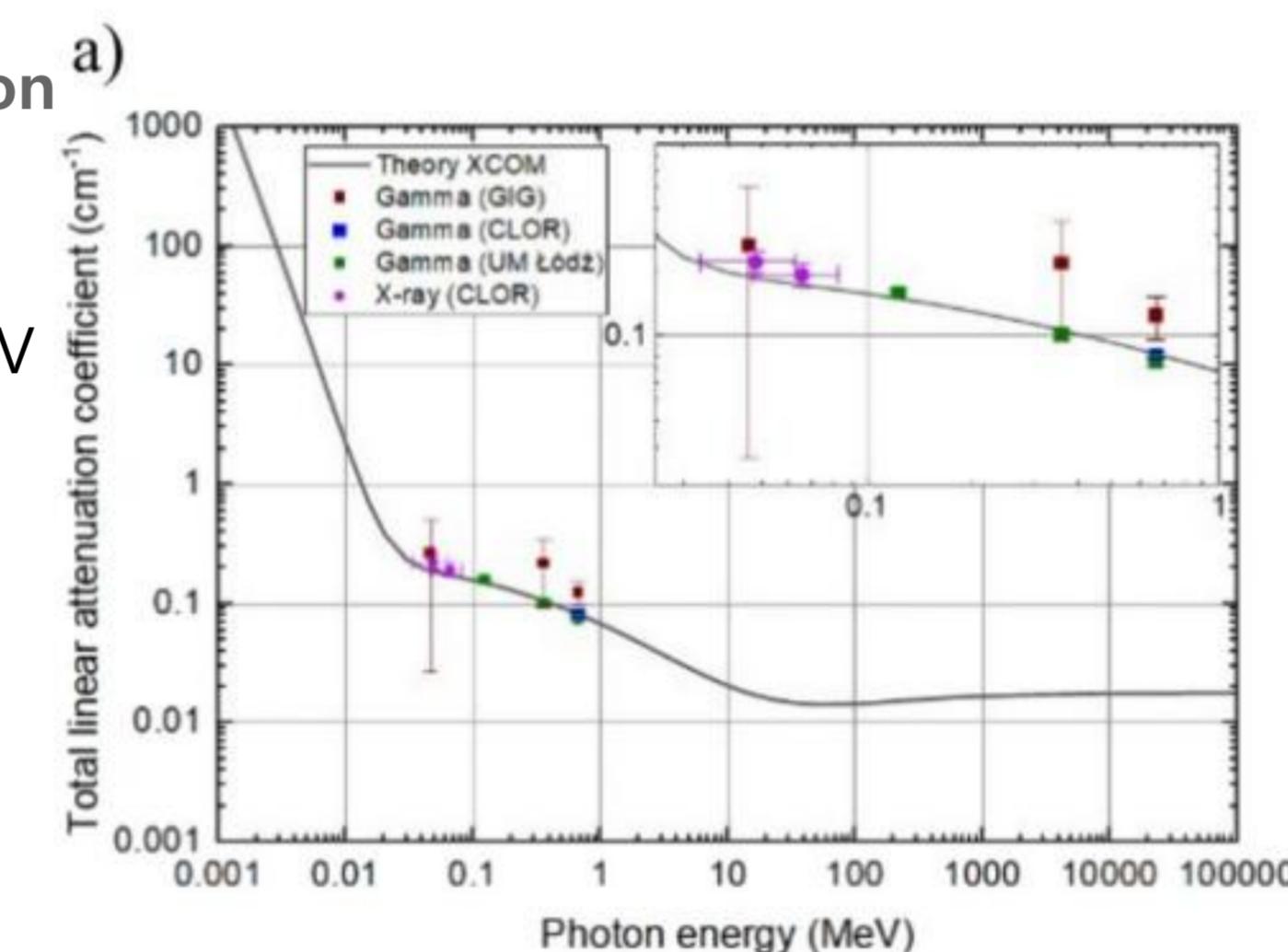
Coefficient d'atténuation linéaire μ :

- $\mu \approx 0,50$ cm $^{-1}$ à 46 keV
- $\mu \approx 0,07$ cm $^{-1}$ à 662 keV

Figure 3 : A)

Comparaison du coefficient d'atténuation linéaire

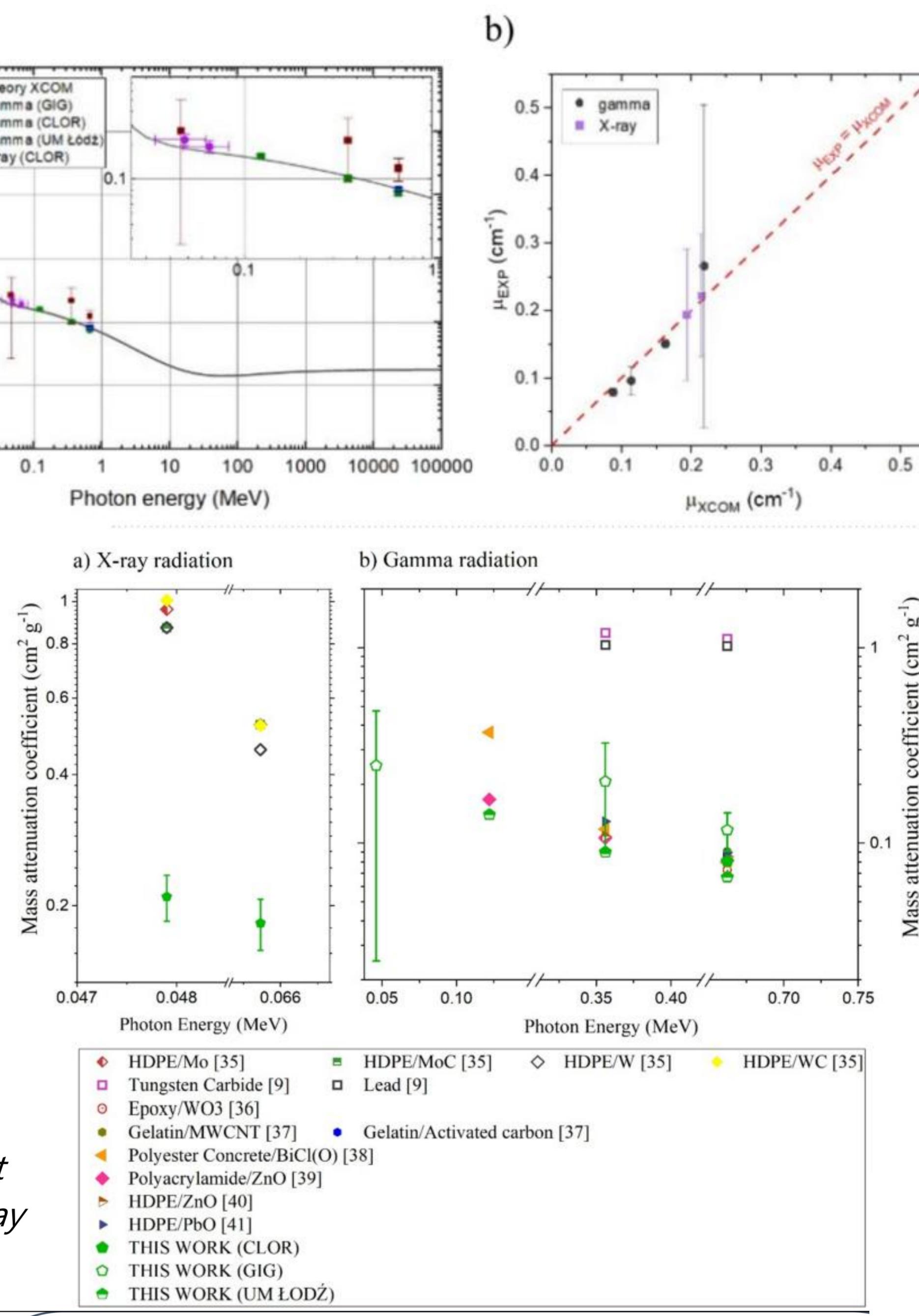
B) Corrélation avec modèle XCOM



Coefficient d'atténuation massique μ/p :

- $\mu/p \geq 0,20$ cm 2 /g aux énergies élevées.
- Excellent performance massique, comparable aux meilleurs polymères renforcés signalés par Shahzad (2023).

Figure 4 : Comparaison du coefficient d'atténuation massique radiation X-Ray et Gamma



CDA – Couche de demi-atténuation

Les mesures concordent avec les prédictions XCOM → validation physique du matériau.

Figure 5 : Comparaison du coefficient d'atténuation linéaire expérimental (cm $^{-1}$) pour les rayonnements gamma et X avec les données théoriques issues du modèle XCOM

