

I – Introduction

La protection du cristallin est devenue un enjeu central et une préoccupation majeure en radioprotection. Suite aux recommandations de la CIPR et à l'abaissement des limites de doses annuelles pour l'œil, la surveillance précise de la dose $H_p(3)$ est devenue une obligation complexe à mettre en œuvre [2].

Les dosimètres oculaires actuels, souvent portés en complément des équipements de protection[5], peuvent-être encombrants, peu pratiques et limitent parfois le champ de vision.

Face à ce défi opérationnel, ce projet présente une solution innovante : un dispositif 2-en-1 où le dosimètre est **directement intégré** aux verres de lunettes.

Ces verres possèdent une propriété unique, la radiophotoluminescence (RPL) : l'exposition aux rayonnements y crée des centres luminescents stables. Une simple lecture par UV permet alors de visualiser et de quantifier la dose absorbée, transformant une contrainte de radioprotection en un outil de surveillance pratique et intégré.

Bien que ce projet se concentre sur des applications cliniques, le potentiel de cet outil pour les travailleurs de l'industrie électronucléaire est évident.

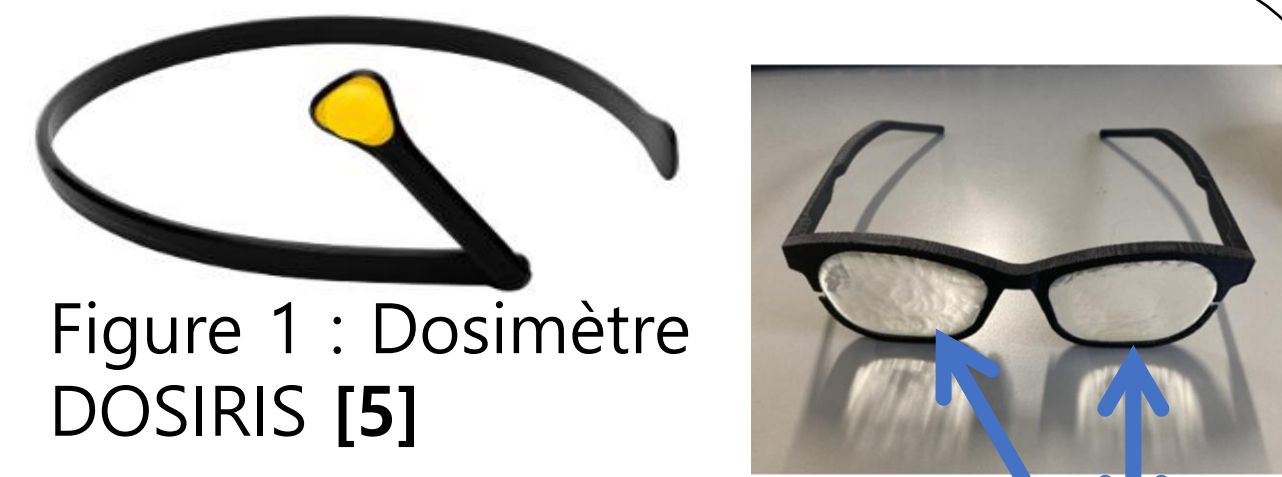


Figure 1 : Dosimètre DOSIRIS [5]

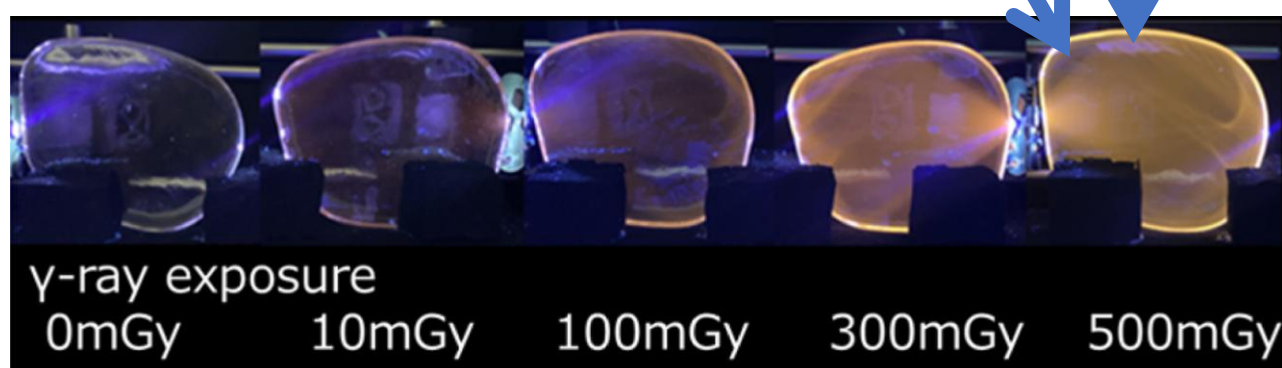


Figure 2 : Luminescence des verres RPL [1]

II – Principe physique

La Radiophotoluminescence (RPL)

- **Matériau sensible** : Utilisation de verre phosphate dopé avec des ions argent (Ag^+)
- **Interaction rayonnement-Matière** : L'exposition aux rayonnements X ou γ crée des paires électron-trou qui transforment les ions Ag^+ en centres colorés stables Ag^0 et Ag^{2+} mémorisant ainsi la dose [3]

Mécanisme de Lecture :

- Excitation des centres stables par une **lumière UV** à 365 nm
- Émission d'une luminescence **orange** (RPL)
- Intensité qui augmente linéairement avec la dose absorbée (mesure quantitative)

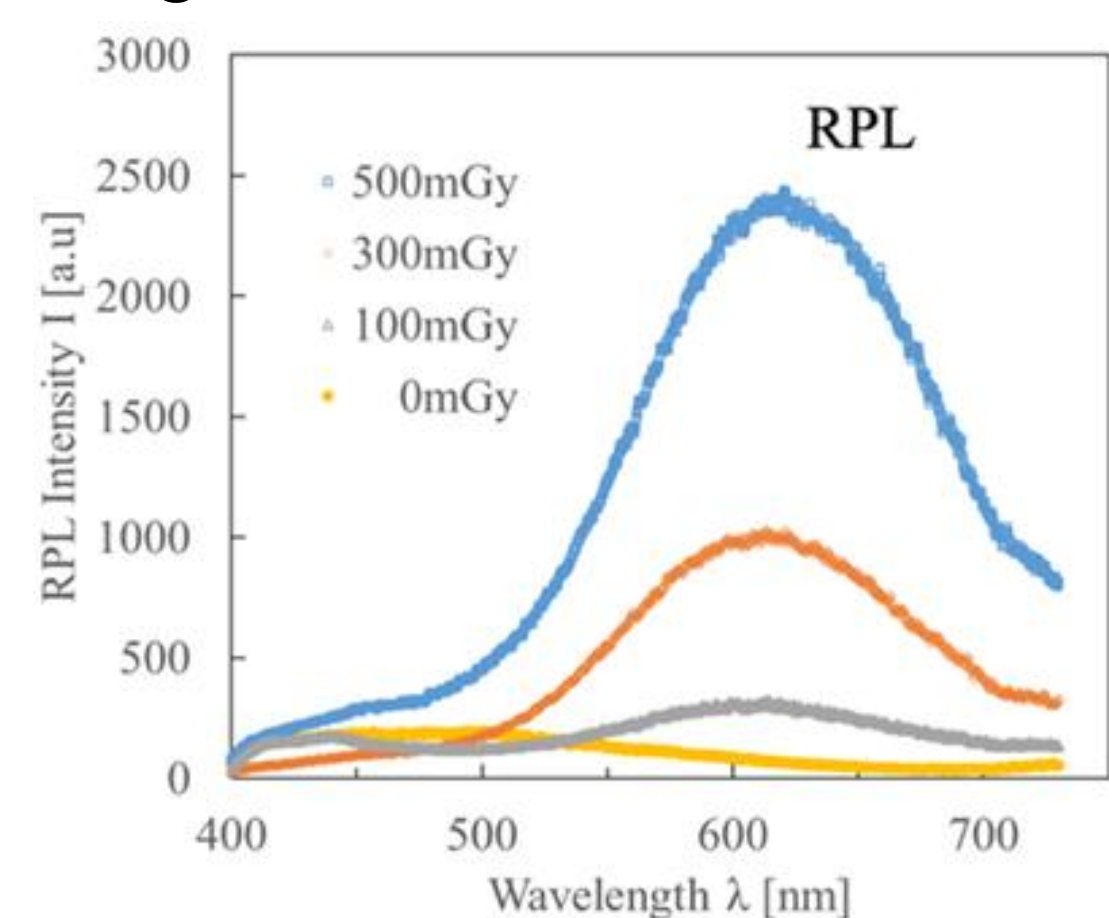


Figure 3 : Spectre des lunettes RPL [1]

III – Fabrication des verres RPL

Le processus de fabrication des lunettes RPL se décompose en cinq étapes principales, de la matière première au produit fini :

- **Composition** : mélange de poudres de métaphosphate :
 - De sodium : $NaPO_3$
 - D'aluminium : $(Al(PO_3)_3)$
- **Chauffage et fusion** : Fondre les poudres en un verre homogène dans un four :
 - 60 min à 1000°C
- **Moulage** : Contenu en fusion versé dans un moule métallique à 400 °C
- **Refroidissement** :
 - Température ambiante pour la solidification du verre
- D'un **activateur**, élément clé pour la RPL :
 - Le chlorure d'argent : $AgCl$ à 0,2mol%

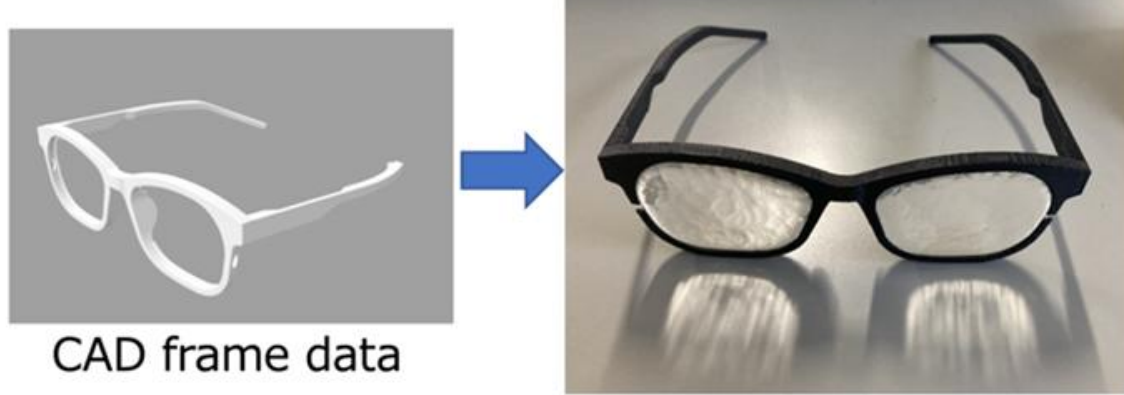


Figure 4 : Illustration de la Fabrication des verres RPL [1]

Une fois ces lunettes-dosimètres fabriquées, un système de lecture compact et dédié est nécessaire pour mesurer la dose absorbée

IV – Système de lecture compact de l'irradiation

Fonctionnement en trois phases :

- **Excitation** : Deux diodes électroluminescentes (LED) UV, avec une longueur d'onde de 365 nm, excitent les centres RPL dans chaque verre.
- **Filtrage** : L'émission RPL (lumière orange) traverse une série de filtres optiques passe-haut (FELH550)

Ces filtres sont essentiels pour éliminer le bruit de fond et la lumière parasite, ne laissant passer que les photons d'intérêt

- **Détection** : Les photons RPL sont ensuite captés par deux tubes photomultiplicateurs indépendants, fonctionnant en mode comptage de photons

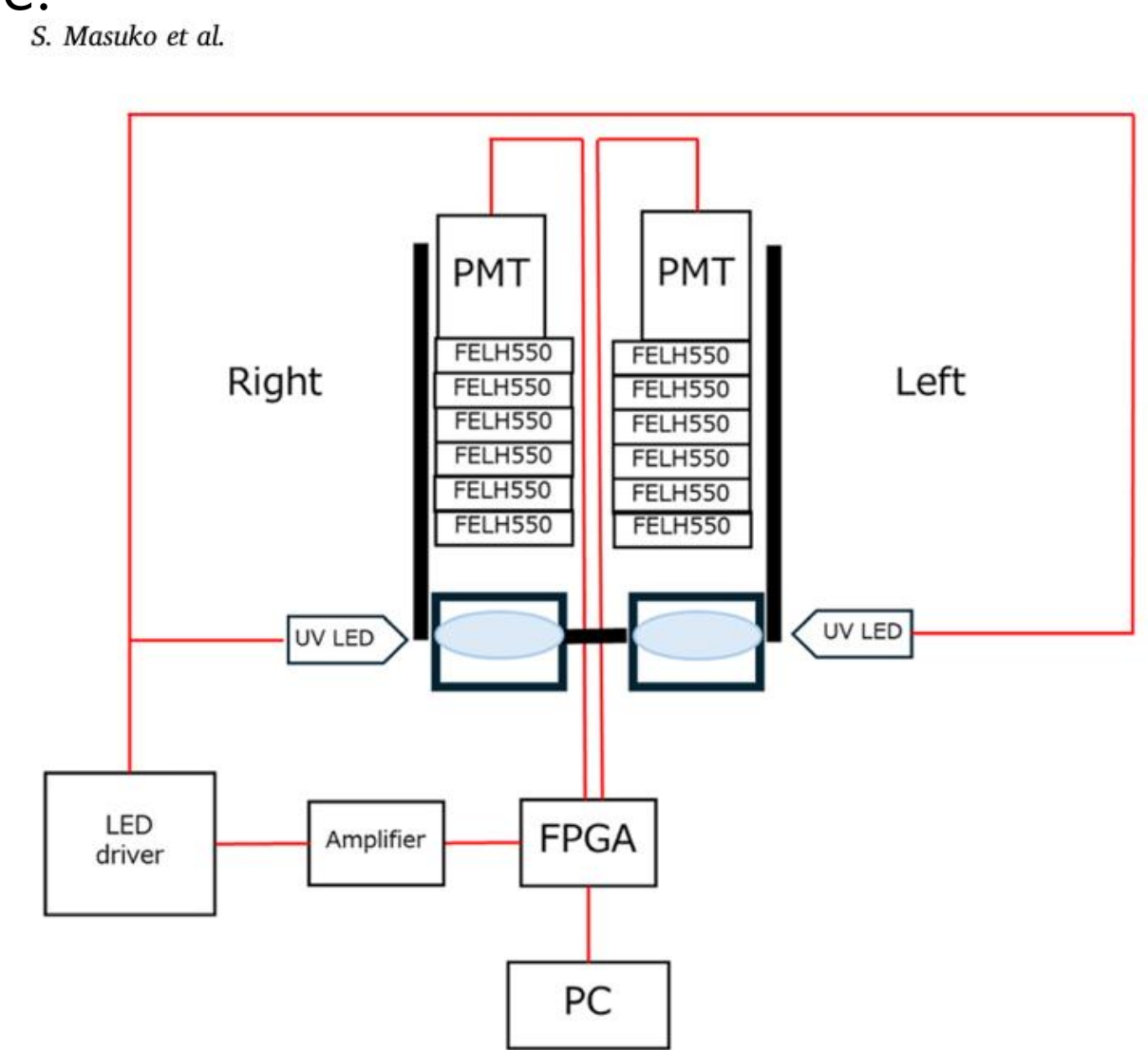


Figure 5 : Illustration du Système de lecture compact [1]

V – Mesure et Résultats scientifiques

L'évaluation des performances dosimétriques a été réalisée par exposition à un champ de rayonnement γ standardisé, pour des doses calibrées de 10, 100, 300, 500 mGy

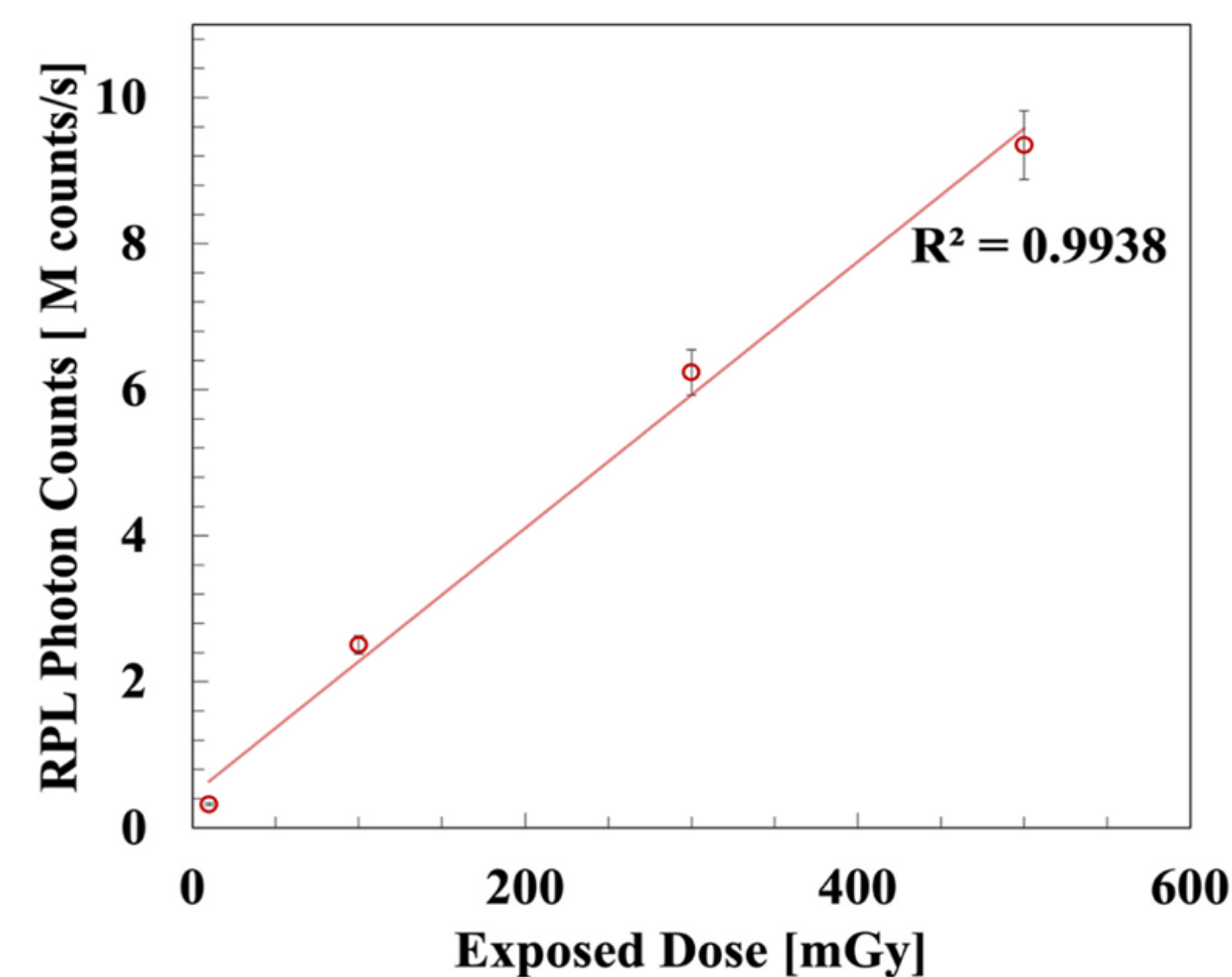


Figure 6 : Réponse du nombre de photons en fonction de la dose reçue [1]

- **Linéarité de la réponse** : Nombre de photons comptés augmente linéairement avec la dose reçue
- **Haute précision** : Coefficient $R^2 > 0,99$
- **Plage dynamique** : De 10 mGy à 500 mGy

Il n'y a **pas de contamination lumineuse** (crosstalk < 1%) entre les deux voies de mesure. Cela garantit que le dosimètre peut détecter une exposition asymétrique (ex : source de rayonnement située sur le côté du visage) avec précision [1]

VI – Forces et limites

Forces :

- **Réponse linéaire** : Luminescence proportionnelle à la dose reçue
- **Dosimètre à lecture différé oculaire** : Pas de perte d'information dans le temps [1]
- **Discrimination spatiale** : Mesure indépendante des deux lentilles, pratique en cas d'irradiation latérale
- **Ergonomie 2-en-1** : Protection physique et dosimétrie passive intégrées en un seul EPI

Limites :

- **Seuil de confiance élevé** : Limite ~ 10 mGy, trop élevé pour la dosimétrie en centrale (échelle du μGy)
- **Bruit de fond** : Masque les signaux de très faible dose (bande spectrale large donc pas de pic fin et fluorescence parasite du verre phosphate) [1]
- **Biais géométrique** : L'excitation UV latérale peut entraîner une sous-estimation de la dose si l'irradiation n'est pas uniforme sur le verre
- **Validation limitée au rayonnement X, γ** : Pas d'étude sur les particules β ou aux neutrons

VII – Perspective et optimisation

Amélioration de la Sensibilité

- **Augmentation de la puissance d'excitation (LED UV)**
 - Une excitation plus intense permettrait d'augmenter la RPL des verres.
 - Augmenter le signal lumineux pour les faibles doses [1]
- **Filtrage optique sélectif** : Filtre optique plus performant qui isole mieux la plage de longueur d'onde efficace (signal orange vers 630 nm) [1]
- **Correction de la géométrie de lecture** : Il faudrait repenser la disposition des LED ou ajouter des facteurs de correction géométrique [4]
- **Tests multi-rayonnements** : Caractériser la réponse du dosimètre face aux rayonnements bêta et aux Neutrons, car l'étude se limite aux rayonnements X et γ

Conclusion

Ce projet valide la **preuve de concept** d'un dosimètre oculaire intégré, transformant un simple EPI en outil de dosimétrie optimisé. Les résultats confirment la viabilité de la technologie RPL pour cartographier l'exposition locale avec une réponse linéaire fiable ($R^2 > 0.99$) et une discrimination gauche/droite inédite.

Bien que la sensibilité actuelle (~10 mGy) destine ce prototype prioritairement au milieu médical, les pistes d'optimisation identifiées ouvrent la voie vers l'échelle du **microGray**. À terme, cette innovation pourrait simplifier considérablement la surveillance du cristallin $H_p(3)$ pour les opérateurs de l'industrie électronucléaire.

Bibliographie

- [1] Masuko, S., Nakajima, R., et al 2025. Convenient monitoring of local radiation exposure using an eyewear-type dosimeter and dedicated compact readout system. J. Lumin. 286, 121401 <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2025.121401>
- [2] Kong, T.Y., Kim, S.Y., et al, 2021. A preliminary evaluation of the implementation of a radiation protection program for the lens of the eye in Korean nuclear power plants. Nucl. Eng. Technol. 53, 3035–3043. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.04.003>
- [3] Kawamoto, H., Fujimoto, Y., Asai, K., 2025. Effect of $Al(PO_3)_3$ concentration on radiophotoluminescence properties in Ag-doped phosphate glasses. J. Lumin. 288, 121562. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2025.121562>
- [4] Assenmacher, F., Musto, E., Yukihiro, E.G., 2020. Propriétés dosimétriques d'un dosimètre environnemental $H^*(10)$ basé sur la radiophotoluminescence du verre phosphate dopé à l'argent. Radiat. Meas. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2020.106468>
- [5] CEA-DOSIMÉTRIE Fiche technique-DOSIRIS-TLD-Cristallin 2025