

## Dosimétrie du Cristallin : problématique et avancées techniques Session tutorial Congrès national de radioprotection – SFRP 2023

Jean-Marc Bordy

CEA-LIST, université Paris Saclay,  
Laboratoire National Henri Becquerel (LNE LNHB),  
F-91120 Palaiseau, France

### Introduction.

Ces dernières années de nombreux articles et communications orales et affiches lors de conférences ont traité de la dosimétrie du cristallin. Sans revenir dans le détail sur les raisons de cet engouement, rappelons que les deux principaux marqueurs en ont été la mise en évidence de l'existence de cas de cataractes radio induites notamment au travers d'études épidémiologiques auprès de professionnels du secteur médical et, subséquemment, la proposition par la CIPR de diminuer la limite d'exposition pour les travailleurs de 150 mSv par an à 20 mSv par an en moyenne sur 5 ans.

Aujourd'hui, la nécessité d'un suivi dosimétrique pour le cristallin fait l'unanimité. En matière de radioprotection, la vérification du respect des limites d'exposition des travailleurs en termes de dose équivalente et de dose efficace implique l'utilisation en routine de dosimètres, satisfaisant aux critères des tests de type, étalonnés en termes de grandeur opérationnelle. Pour la dosimétrie du cristallin, la limite d'exposition est exprimée en termes de dose équivalente au cristallin,  $H_{\text{crist}}$ , les grandeurs opérationnelles dédiées sont les équivalents de dose individuel  $H_p(3)$  et directionnel  $H'(3)$ . La figure 1 résume la méthode pour le suivi radiologique des travailleurs.

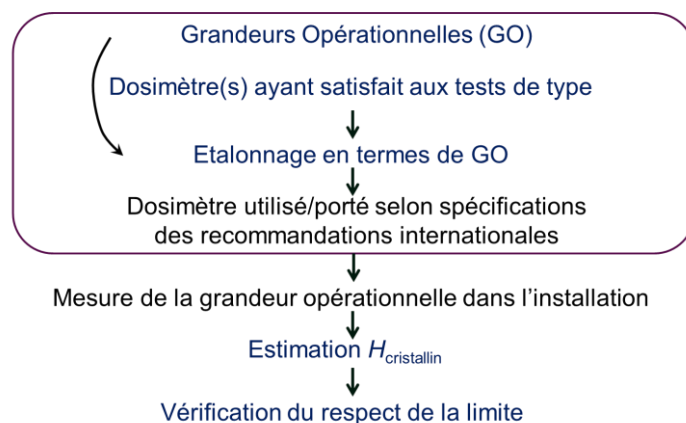


Figure 1 : Synoptique de la méthode du suivi radiologique des travailleurs depuis le choix d'un dosimètre jusqu'à son utilisation dans installations.

Afin de compléter ce panorama, rappelons brièvement que les trois principales caractéristiques d'un champ de rayonnement sont d'une part l'homogénéité spatiale et temporelle et d'autre part le niveau d'exposition selon que l'on soit plus ou moins proche de la limite d'exposition. De ces conditions d'exposition, auxquelles l'étude de poste donne accès, dépendent l'expression des besoins en termes de précision et de choix de la grandeur dosimétrique à mesurer.

### 1 – Choix de la grandeur opérationnelle

De fait, l'équivalent de dose individuel  $H_p(3)$  défini dans le fantôme ortho cylindrique de 20 cm de diamètre s'impose comme la meilleure solution d'un point de vue métrologique du fait de sa similitude avec la dose équivalente  $H_{\text{cris}}$  quels que soient l'énergie et l'angle d'incidence du rayonnement. Ainsi, l'équivalent de dose individuel  $H_p(3)$  défini dans le fantôme ortho cylindrique est le seul choix possible dans le cadre de test de type des dosimètres individuelles. Cette option est reprise dans les normes récemment mise à jour. Pour mémoire quelques tentatives, aujourd'hui désuètes, ont été faites pour l'utilisation du fantôme tronçonné (30x30x15 cm<sup>3</sup>) qui outre l'absence de similitude avec la forme d'une tête humaine ! ajoutait les difficultés connues à l'utilisation de  $H_p(10)$  notamment pour les expositions avec de grande angle d'incidence.

### 2 – Conditions d'étalonnage d'un dosimètre spécifique à la dosimétrie du cristallin.

L'étude des caractéristiques des grandeurs opérationnelles conduit au choix de l'équivalent de dose individuel  $H_p(3)$ , défini dans le fantôme ortho cylindrique de 20 cm de diamètre, pour la réalisation des tests de type des dosimètres. Outre les raisons métrologiques évoquées ci-dessus, des raisons relatives à la réalisation pratiques des expériences viennent confirmer ce choix. Ainsi, il est possible sur le fantôme ortho cylindrique de réaliser en une opération les irradiations selon tous les angles.

Les dosimètres individuels étant conçus pour répondre aux spécifications des tests de type en termes de  $H_p(3)$ , il va de soi que ces derniers ne peuvent être étalonnés qu'en termes de  $H_p(3)$  défini dans le fantôme ortho cylindrique. Ces conditions d'étalonnage sont prises en compte dans la norme ISO 29661 et ISO 4037. Comme tous dosimètres individuels, il doit être placé à la surface du fantôme alors qu'un dosimètre de zone est étalonné dans l'air en l'absence de tous matériaux diffusants.

### 3 – Conditions de port d'un dosimètre adaptée à la dosimétrie du cristallin.

Un dosimètre spécifiquement conçu pour mesurer  $H_p(3)$  doit être porté au niveau de l'œil. Le dosimètre doit être porté de sorte qu'il ne puisse conduire à une sous-estimation de l'exposition du cristallin. Deux localisations sont possibles, soit entre les deux yeux, soit auprès de l'œil le plus exposé, l'étude de poste doit pouvoir fournir les informations permettant de faire un choix sur la localisation du dosimètre. Si des protections individuelles sont mises en œuvre, par exemple une paire de lunettes, le dosimètre doit être porté sous ces protections pour fournir une information sur l'exposition réelle du cristallin. Dans le cas contraire des corrections doivent être appliquées aux résultats de la mesure.

### 4 – Design d'un dosimètre adapté à la mesure de $H_p(3)$ .

La solution idéale voudrait que le dosimètre et son environnement reproduisent exactement les conditions de définition de la grandeur qu'il est sensé mesurer de la manière la plus précise possible. Ainsi, l'épaisseur de matériau équivalent tissu à l'avant du détecteur devrait avoir une épaisseur de 3 mm dans toutes les directions, un bolus de forme hémisphérique ou approchante semble être la plus adaptée. De même l'épaisseur de matériau équivalent tissu à l'arrière du détecteur devrait être suffisante pour reproduire la composante rétrodiffusée du rayonnement si le dosimètre n'est pas porté à même la peau. Si les deux conditions précédentes peuvent être remplies relativement aisément, la composition du détecteur lui-même est plus problématique car elle n'est pas, le plus souvent, rigoureusement équivalente au tissu. Cette composition et donc la variation de la réponse en fonction de l'énergie est une caractéristique intrinsèque « figée ». Si cette variation s'éloigne trop des spécifications des tests de type, il faut adapter la composition du bolus et du retro diffuseur pour corriger ce défaut. De nombreux dosimètres sont aujourd'hui proposés citons sans possibilité d'être

exhaustif IRSN LANDAUEUR DOSILAB Gammadata (Suède) RadCard ... Ces dosimètres utilisent des détecteurs OSL ou TLD.

### 5 – Choix des conditions de suivi en routine.

L'étude de poste permet en premier lieu de caractériser d'un point de vue angulaire et énergétique, le champ de rayonnement. L'existence de postes de travail pour lesquels un gradient de dose important et non constant dans le temps, du fait notamment des déplacements du travailleur, est avérée mais représente un nombre de cas réduit. L'étude de poste permet aussi d'évaluer le niveau d'exposition afin de classer les travailleurs selon leur catégorie, « non exposé » et catégories A et B. De cette classification dépend le degré de précision requis pour la mesure de routine des équivalents de dose. Notons la similitude de la problématique entre dosimétrie d'extrémité et du cristallin, dans les deux cas l'homogénéité spatiale et temporelle joue un rôle primordial dans le choix des modalités de suivi ; si l'une des dosimétries est jugée nécessaire, l'autre l'est aussi probablement. Les contraintes de travail induites par le voisinage des yeux et la « multiplication » des dosimètres doivent aussi entrer en ligne de compte.

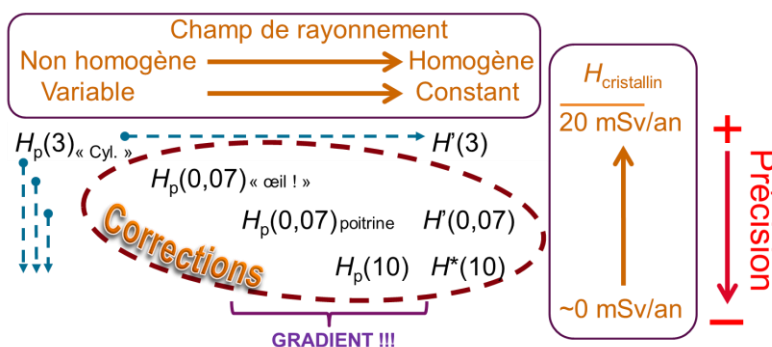


Figure 2 : Classification des conditions de mesure en routine en fonction de la précision relative requise et de l'homogénéité du champ de rayonnement.

Dans tous les cas où la limite d'exposition annuelle peut être approchée, c'est-à-dire là où le besoin en termes de précision est le plus grand, le meilleur choix dans le cas d'une exposition non homogène et non constante, est de mettre en œuvre un dosimètre permettant une évaluation directe de  $H_p(3)$ . Par contre, si l'exposition est homogène et constante, une dosimétrie de zone au moyen d'un dosimètre étalonné en termes de  $H^*(3)$  est possible à la condition que l'homogénéité et la constance soient démontrées pendant la période d'utilisation du dosimètre.

Dans tous les autres cas, tendant à des niveaux d'exposition plus faibles et des situations plus homogènes, représentant la grande majorité des situations, selon le besoin en termes de précision, d'autres dosimètres étalonnés et portés pour une mesure de l'exposition corps entier ou de celle des extrémités est possible, mais une correction doit être apportée aux résultats pour tenir compte du passage de la grandeur mesurée réellement,  $H_p(10)$ ,  $H_p(0.07)$ ,  $H^*(10)$  ou encore  $H^*(0.07)$  vers  $H_p(3)$  ou  $H^*(3)$  et le cas échéant des gradients de dose constatés lors de l'étude de poste entre l'œil et la poitrine ou les extrémités. La première correction doit être calculée en pondérant la différence des coefficients de conversion du kerma vers les équivalents de dose en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence du rayonnement. Toute correction impliquera une dégradation de la précision des mesures.

## 6 – Etat des lieux réalisé par le CT IRPA

Un GT IRPA a été créé en 2012, à la suite de la publication en 2011 par la CIPR de sa déclaration recommandant une nouvelle limite de dose professionnelle pour le cristallin à 20 mSv/a en moyenne sur 5 ans (maximum 50 mSv/a) au lieu de 150 mSv/a. Le travail du GT a été scindé en 3 phases.

La phase 1 a consisté à faire une enquête pour fournir un point de vue international des professionnels de l'IRPA sur l'impact de la réduction de la limite de dose pour le cristallin, en termes de dosimétrie et de méthodes de protection. Les résultats de cette enquête, ainsi que des recommandations, ont été publiés dans plusieurs revues.

Le GT a démarré la phase 2 en 2015, en examinant les progrès réalisés après l'adoption des recommandations de la phase 1 et en rassemblant les expériences de terrain des praticiens (méthodes, difficultés, mise en œuvre de la législation). Cette phase a débouché en 2017 sur la publication d'un guide pratique pour la surveillance et la protection du cristallin pour les travailleurs. Dans le même temps, en France, l'IRSN a publié un rapport avec des recommandations sur les bonnes pratiques pour l'exposition professionnelle du cristallin (2013) et la SFRP a édité une fiche technique sur le sujet : limites réglementaires, mesure, dosimétrie et surveillance médicale (2016).

La phase 3 du GT de l'IRPA a été lancée en 2018 avec une nouvelle enquête pour contribuer davantage au partage des expériences et à la sensibilisation de la communauté de la RP, à la protection des travailleurs en cas d'exposition du cristallin, sur la base d'un questionnaire (27 questions, 4 sujets principaux). Les réponses sont venues de tous les continents (44 pays, 6 institutions). La synthèse a été publiée en 2020 (JRP).

L'enquête a montré que beaucoup de progrès ont été réalisés pour résoudre les problèmes posés par la nouvelle limite, que son introduction dans la réglementation est en bonne voie dans de nombreux pays et que d'autres préfèrent attendre avant de s'engager. La formation et l'éducation sont cruciales pour garantir une utilisation appropriée des protections et accroître la sensibilisation, et il est nécessaire de continuer à suivre ces évolutions pour faciliter le partage d'expériences et aider les autorités à déterminer la voie à suivre pour la mise en œuvre dans leur pays.

La phase 4 n'est pas encore engagée. Le GT a travaillé en lien avec celui de l'AEN/CRPPH sur le même sujet, qui envisage une 4<sup>ème</sup> phase de son côté. La France fait partie des pays qui ont bien avancé pour résoudre les problèmes techniques et administratifs liés à la nouvelle limite.