



Section de Protection Technique

JANVIER 2016

FICHES TECHNIQUES DE LA **SFRP**
Société Française de Radioprotection

CRISTALLIN :
LIMITES RÉGLEMENTAIRES, MESURE, DOSIMÉTRIE ET SUIVI MÉDICAL

Le cristallin de l'œil est un tissu radiosensible qui peut être affecté par les rayonnements ionisants. Il développe alors des opacités pouvant conduire à une cataracte. Des études épidémiologiques [1,2] ont conduit la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) à proposer une révision de la limite d'exposition pour le cristallin [3] qui peut induire dans certaines situations de travail, une modification importante des pratiques pour le suivi du risque des expositions du cristallin en radioprotection.

Cette fiche rappelle tout d'abord les limites réglementaires ainsi que les grandeurs à mesurer puis présente les différentes situations d'expositions, le principe et la performance de quelques dosimètres ainsi que leurs conditions de port. Enfin, elle décrit les possibilités de suivi indirect de la dose au cristallin ainsi que les modalités de suivi dosimétrique et médical.

1 - LIMITES RÉGLEMENTAIRES ET GRANDEURS À MESURER.

En 2010, la CIPR [3] recommande une diminution de la limite d'exposition professionnelle du cristallin en la portant à 20 mSv par an en moyenne sur cinq ans avec un maximum de 50 mSv sur une année (contre 150 mSv sur douze mois consécutifs auparavant). La directive européenne 2013/59/Euratom [4] reprend cette recommandation sous une formulation légèrement différente soit 100 mSv sur cinq ans avec un maximum de 50 mSv sur une année (article 9 [3]). Cette recommandation n'est pas encore transcrite en droit français à l'heure où cette fiche est publiée.

Cette limite est exprimée en termes de dose équivalente au cristallin $H_{cristallin}$ [3]. Cette grandeur de protection n'étant pas mesurable, elle est estimée au moyen de deux grandeurs opérationnelles $H^{(3)}$: l'une pour la dosimétrie d'ambiance, l'équivalent de dose directionnel à 3 mm de profondeur $H^{(3)}$ et l'autre, l'équivalent de dose individuel à 3 mm de profondeur $H^{(3)}$. La profondeur de 3 mm étant choisie car elle correspond à la profondeur à laquelle se trouve la partie du cristallin réputée sensible aux rayonnements ionisants. Pour considérer le dépôt d'énergie dans le tissu sans utiliser de fantôme anthropomorphe, les grandeurs opérationnelles sont définies dans des fantômes de formes simplifiées. Ainsi, pour $H^{(3)}$ il s'agit d'un fantôme de forme ortho cylindrique de 20 cm de diamètre constitué du matériau 4 éléments ICRU et pour $H^{(3)}$ de la sphère ICRU (30 cm de diamètre) [5,11,12].

2 - SITUATIONS À RISQUE D'EXPOSITION DU CRISTALLIN.

Quelques exemples de situations d'exposition du cristallin selon le secteur d'activité (industriel, médical) sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les situations à risque d'exposition et les sources mentionnées pour ces secteurs peuvent aussi être rencontrées auprès des installations de recherche. Sans souci d'exhaustivité, il s'agit ici d'attirer l'attention sur des situations auxquelles on ne pense pas forcément et de stimuler la réflexion sur le risque d'exposition en fonction du poste de travail. Ce tableau permet de constater que tous les types de rayonnements ionisants peuvent conduire à des expositions du cristallin : neutrons, photons et électrons. Dans certains cas, ces situations d'expositions peuvent conduire à des équivalents de dose approchant, voire supérieurs à la limite d'exposition inscrite dans la Directive 2013/59/Euratom.

B.P. 73 - 92047 Fontenay-aux-Roses Cedex - Tél. 01 56 30 70 81 / 70 80
www.cipr.org | www.sfrp.org | www.sfrp.asso.fr

FICHE TECHNIQUE « CRISTALLIN » RÉDIGÉE PAR LE SFRP



10^{èmes} rencontres PCR | Gambini D.,-J. ; Bordy J.-M.*

* Au nom du comité de rédaction de la fiche technique SFRP



- Rédaction de la fiche technique SFRP « Cristallin : limites réglementaires, mesure, dosimétrie et suivi médical » (2014-2015)
- Publication de la fiche technique SFRP (janvier 2016).
 - 1- Limites réglementaires et Grandeurs à mesurer.
 - 2- Situations à risque d'exposition du cristallin.
 - 3 - Conditions de port d'un dosimètre individuel spécifique pour le cristallin.
 - 4 - Dosimètres pour la mesure directe de $H_p(3)$.
 - 5 - Équipements de protection individuelle.
 - 6 - Critère de choix entre une mesure directe et une évaluation indirecte de $H_p(3)$ pour les photons et les électrons.
 - 7 - Suivi médical professionnel, classement et surveillance.

Disponible sur le stand du club des jeunes sociétaires de la SFRP

- Dans quels cas d'exposition du cristallin une surveillance dosimétrique individuelle doit-elle être réalisée ? (Pt 7)
- Comment enregistrer la dose effectivement reçue par le cristallin après mise en œuvre des protections ? (Pt 7)
 - 1- Limites réglementaires et Grandeurs à mesurer.
 - 2- Situations à risque d'exposition du cristallin.
 - 3 - Conditions de port d'un dosimètre individuel spécifique pour le cristallin.
 - 4 - Dosimètres pour la mesure directe de $H_p(3)$.
 - 5 - Équipements de protection individuelle.
 - 6 - Critère de choix entre une mesure directe et une évaluation indirecte de $H_p(3)$ pour les photons et les électrons.
 - **7 – Suivi médical professionnel, classement et surveillance.**

Surveillance dosimétrique du cristallin

Aujourd'hui si l'on considère uniquement le risque d'exposition au niveau du cristallin :
catégorie B, 15 mSv/an < dose au niveau du cristallin < 45 mSv/an.
catégorie A, 45 mSv/an < dose au niveau du cristallin

Lorsque la directive 2013/59/Euratom sera transposée en droit français,
Catégorie A, 15 mSv/an

6 mSv/an < dose au niveau du cristallin sur plusieurs années consécutives (source IRSN)

150 mSv
↓
20(50)mSv

Suivi de la « dose » reçue par le cristallin

le système SISERI est en capacité de recevoir un résultat de dosimétrie du cristallin.

- Début 2016 (date de publication de fiche technique SFRP), la mesure et l'enregistrement de la dose au cristallin n'était pas mise en œuvre et le dernier bilan disponible des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants de l'IRSN ne présentait pas de résultats concernant l'exposition du cristallin.
- **Le rapport IRSN sur « la dosimétrie des travailleurs 2015 » mentionne les premiers enregistrements des « doses » au cristallin (200 travailleurs, 91% dans le secteur médical, plus forte « dose » au cristallin ~7 mSv)**
- La traçabilité des expositions comprend l'enregistrement du suivi dosimétrique, un suivi post exposition, une attestation d'exposition lorsque le travailleur quitte son employeur, et, éventuellement une surveillance post professionnelle.

- Est-il possible de mesurer la « dose » reçue par le cristallin par une méthode indirecte tant pour évaluer les risques (délimiter les zones) que pour surveiller les expositions individuelles ? (Pt 6)
 - 1- Limites réglementaires et Grandeurs à mesurer.
 - 2- Situations à risque d'exposition du cristallin.
 - 3 - Conditions de port d'un dosimètre individuel spécifique pour le cristallin.
 - 4 - Dosimètres pour la mesure directe de $H_p(3)$.
 - 5 - Équipements de protection individuelle.
 - **6 - Critère de choix entre une mesure directe et une évaluation indirecte de $H_p(3)$ pour les photons et les électrons.**
 - 7 – Suivi médical professionnel, classement et surveillance.

Etude poste : évaluer les risques, délimiter les zones, définir quant et comment utiliser une évaluation indirecte de $H_p(3)$!

Tout dépend de l'ordre dans lequel le travail est fait ?

Qui de l'étude de poste ou de la mesure indirecte est là en premier ?

Processus itératif est envisageable

Etude de poste

- permet d'évaluer $H_p(10)$, $H_p(3)$, $H_p(0,07)$, $H^*(10)$, $H'(0,07)$

Routine (respect des limites)

Mesure directe de $H_p(3)$,

- Dosimètres étalonné en $H_p(3)$, porté au niveau du cristallin

Sinon mesure indirecte,

$$H_p(3) = H_p(10) \times R$$

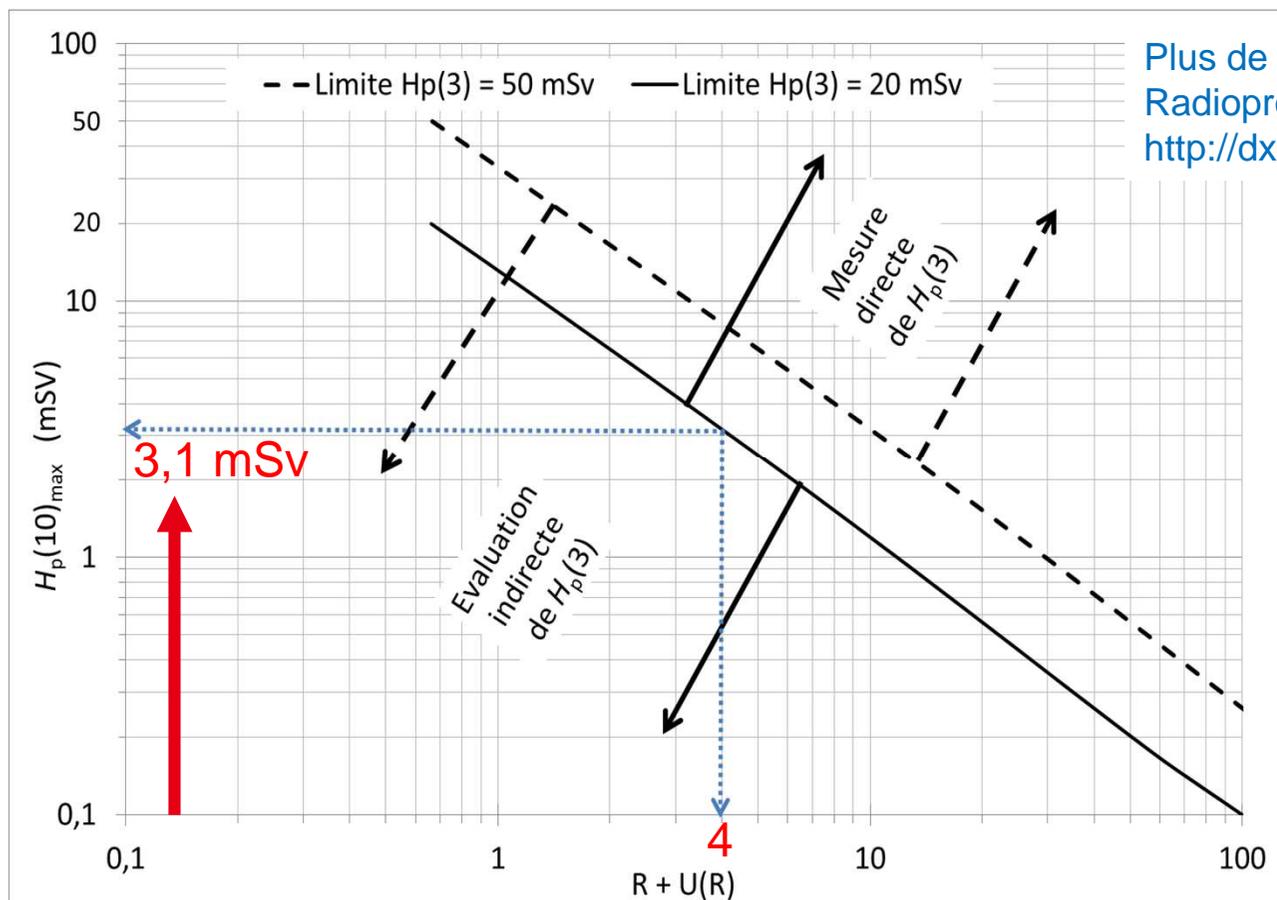
$$R = \frac{H_p(3)_{\text{étude de poste}}}{H_p(10)_{\text{étude de poste}}}$$

Il y a donc une valeur de $H_p(10)_{\max}$ au delà de laquelle $H_p(3) > \text{limite}$

Toute mesure à une incertitude associée, la vérification du respect des limites implique d'en tenir compte  modification de $H_p(10)_{\max}$

MESURE INDIRECTE – CRITÈRE POUR LE CHOIX

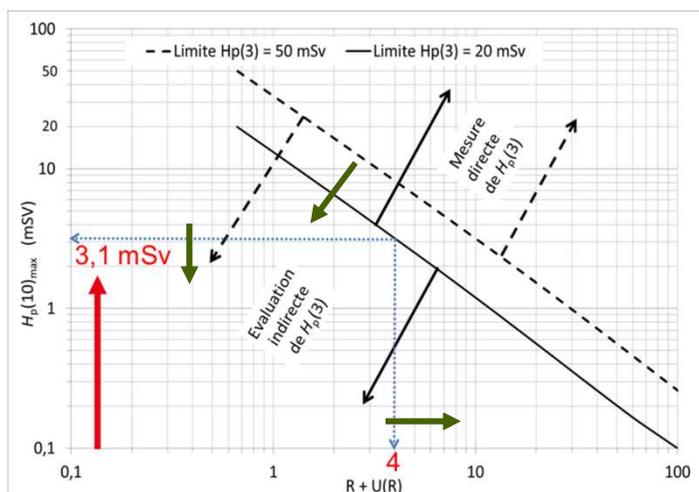
$H_p(10)_{\max} = f(R+U(R), U(H_p(10)), \text{limite } H_p(3))$ – Domaine d'application de la méthode indirecte (dépend du facteur d'élargissement des incertitudes)



Pour $R+U(R)=4$, on peut envisager un suivi de la « dose » au cristallin à partir de la « dose » corps entier avec un coefficient de conversion si la valeur de $H_p(10)$ est inférieure à 3,1 mSv, pour une limite d'exposition de 20 mSv/an ($H_p(3)$)

MESURE INDIRECTE – CRITÈRE POUR LE CHOIX

$H_p(10)_{\max} = f(R+U(R), U(H_p(10)), \text{limite } H_p(3))$ – Domaine d'application de la méthode indirecte (fonction du facteur d'élargissement des incertitudes)



La méthode indirecte permet d'atteindre
 $H_p(3) = 4 \times 3,1 = 12,4 \text{ mSv}$

L'écart entre 12,4 mSv et 20 mSv couvre les incertitudes liées :

- aux caractéristiques du dosimètre « $H_p(10)$ » (tests de type)
- au ratio R

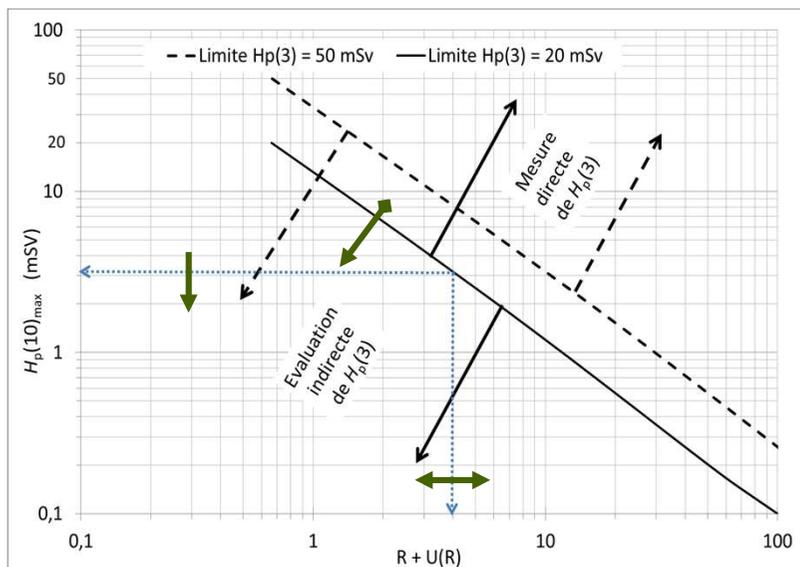
Pour un facteur d'élargissement, k, égal à ~ 2 et une distribution gaussienne des mesure de $H_p(10)$, dans 2,5% des cas la valeur estimée de $H_p(3)$ est inférieure ou égale à 20 mSv alors que $H_p(3)$ est supérieure à 20 mSv.

En effet, k plus grand conduirait à une valeur de $R+U(R)$ plus grande donc une valeur de $H_p(10)_{\max}$ plus petite, alors réduction du domaine d'application de la méthode indirecte mais réduction du pourcentage de cas de sous estimation potentielle (pour $k=3$; 0,13%).

MESURE INDIRECTE – CRITÈRE POUR LE CHOIX

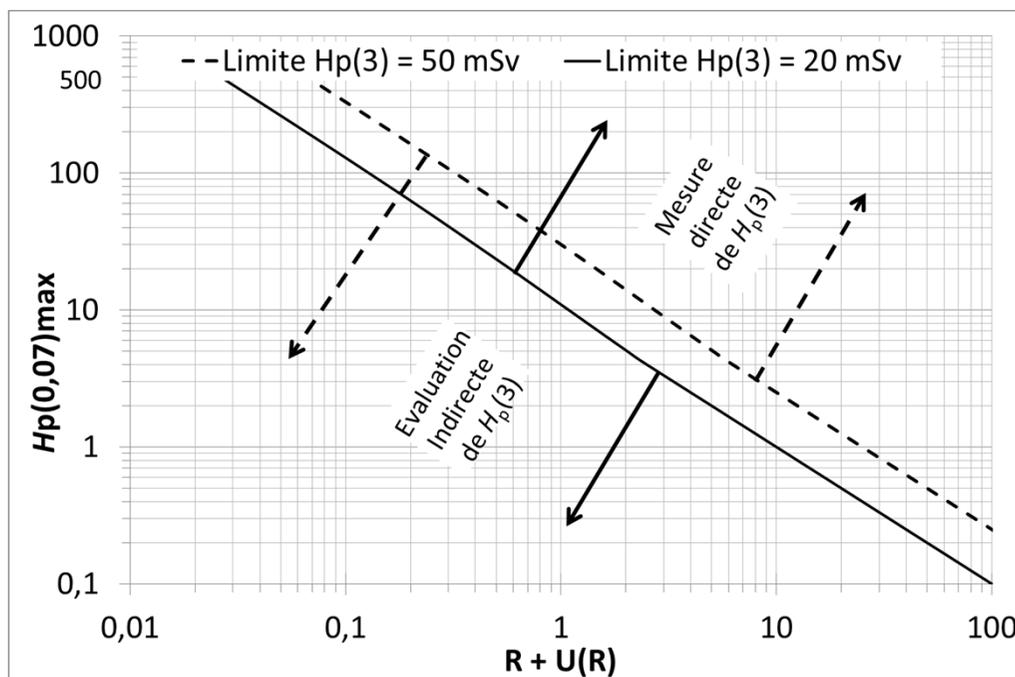
$$H_{max}^{(10)} = f(R+U(R), U^{(10)}), \text{ limite } H_p(3)$$

Incidence sur le domaine d'application de la méthode indirecte



$H_p(0,07)$ au niveau des extrémités

$$R = \frac{H_p(3)_{\text{étude de poste}}}{H_p(0,07)_{\text{étude de poste}}}$$



Distance source détecteur faible, reproductibilité ?

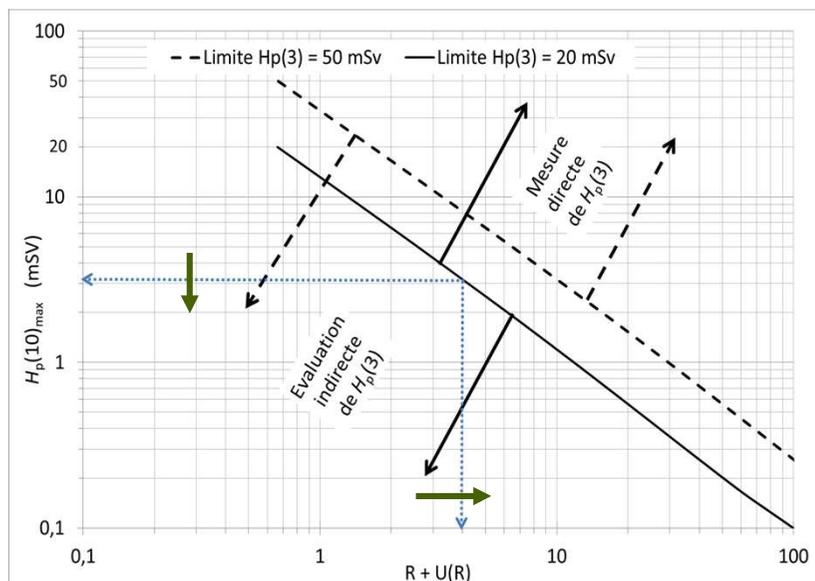
$$U(R_{H_p(0,07)}) > U(R_{H_p(10)}) ! R+U(R) \nearrow$$

Pas forcément avantageux

MESURE INDIRECTE – CRITÈRE POUR LE CHOIX

$$H_{max}^{???} = f(R+U(R), U^{???}, \text{limite } H_p(3))$$

Incidence sur le domaine d'application de la méthode indirecte



Evaluation à partir de $H^*(10)$

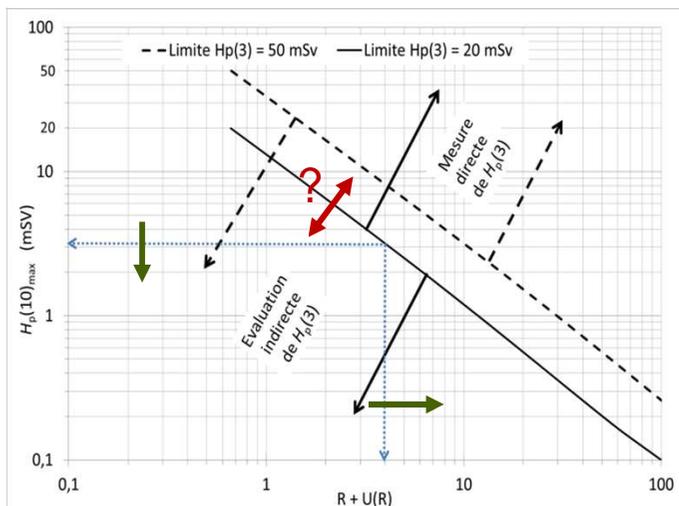
$$R^* = \frac{H_p(3)_{\text{étude de poste}}}{H^*(10)_{\text{étude de poste}}}$$

Une variation inopinée des conditions de travail dans une ambiance radiologique inchangée pourra entraîner une variation de R^* plus grande que celle d'un ratio fondé sur $H_p(10)$; ce dernier varierait dans une moindre mesure car les deux grandeurs sont mesurées sur la personne et donc prennent en compte au moins partiellement de la même manière la variation des conditions de travail. **Donc augmentation de $U(R^*)$ d'ou diminution du domaine d'application** (flèches vertes).

MESURE INDIRECTE – CRITÈRE POUR LE CHOIX

$$H_{\text{???}}_{\text{max}} = f(R+U(R), U(\text{???}), \text{limite } H_p(3))$$

Incidence sur le domaine d'application de la méthode indirecte)



$H_p(\text{???})$ mesuré sur le corps
(épaule, cou, sur le tablier de plomb, .../...),

$$R = \frac{H_p(3)_{\text{étude de poste}}}{H_p(\text{???})_{\text{étude de poste}}}$$

Toute mesure doit être traçable à une référence nationale

$$H_{p,\text{étude de poste}}(\text{???}) = \text{Mesure}_{\text{étude de poste}} \frac{K_{\text{air,étalonnage } hp(10) k}}{\text{Mesure}_{\text{étalonnage}}} \rightarrow U(k)$$

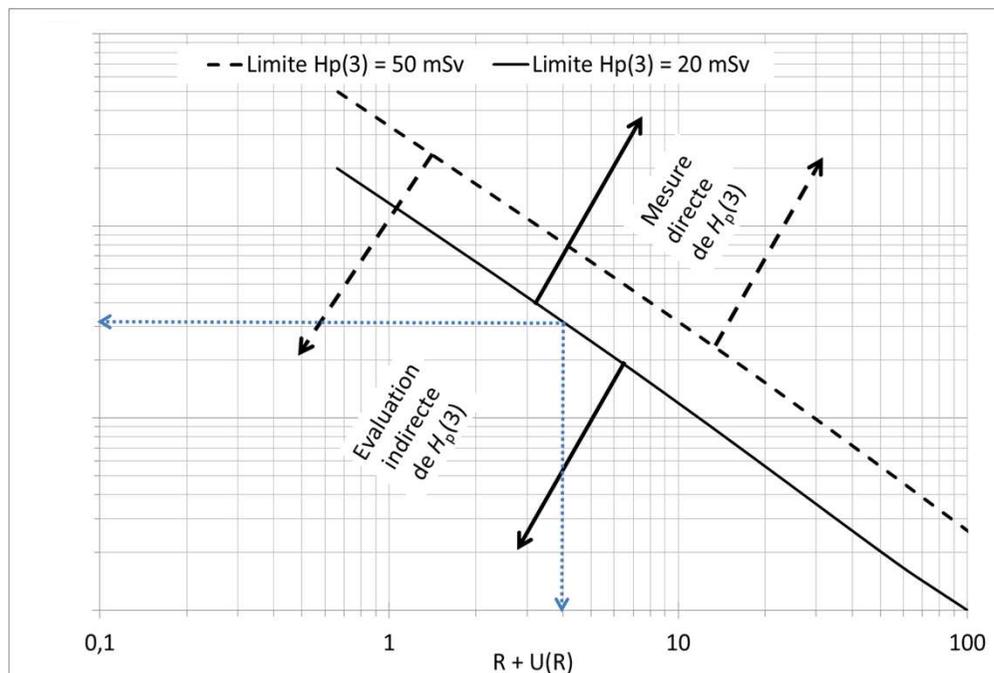
U(k) prend en compte que le dosimètre n'est étalonné ni sur une face latérale du fantôme, ni avec un tablier de plomb entre lui et le fantôme.

U(???) doit être déterminée

Comme précédemment, augmentation de l'incertitude globale U(R), donc de R+U(R), donc réduction du domaine d'application.

CONCLUSIONS

$$H_{???}_{max} = f(R + U(R), U(???), \text{limite } H_p(3))$$



$$R = \frac{H_p(3)_{\text{étude de poste}}}{XXXXX_{\text{étude de poste}}}$$

XXXXX doit être traçable à une référence nationale

Meilleure est la précision sur R, (plus précise est l'étude de poste)
plus grand sera le domaine d'application de la méthode indirecte



Section de Protection Technique

- ICRP (2011) International Commission on Radiological Protection Statement on tissue reactions, ICRP ref 4825-3093-1464.
- Directive européenne 2013/59/Euratom DU CONSEIL du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants.
- Daures J. et al. (2009) Conversion coefficients from air kerma to personal dose equivalent Hp(3) for eye-lens dosimetry, ISSN-0429-3460, CEA-R-6235 Saclay, France.
- Daures J. et al. (2011) Monte Carlo determination of the conversion coefficients Hp(3)/Ka in a right cylinder phantom with penelope code. Comparison with "mcnp" simulations", Radiation Protection Dosimetry 144 (1-4), 37-42.
- Gualdrini G. et al. (2011) A new cylindrical phantom for eye lens dosimetry development, Radiation Measurements 46, 1231-1234.
- Gualdrini G. et al. (2013) Air kerma to $H_p(3)$ conversion coefficients for photons from 10 keV to 10 MeV, calculated in a cylindrical phantom. Radiation Protection Dosimetry 154 (4), 517-521.
- P. Devin et al. (2013) 9^{ème} Congrès National de Radioprotection, Bordeaux, La dosimétrie du cristallin.
- Marcié S. et al. (2014) Exposition du cristallin du praticien lors des traitements avec des rayons X de basse énergie, Radioprotection 49(4), 289-292.
- Livre blanc sur la surveillance radiologique des travailleurs. <http://www.asn.fr/Informer/Actualites/Livre-blanc-sur-la-surveillance-radiologique-des-travailleurs>
- Bordy J.M. et al. (2013) 9^{ème} Congrès National de Radioprotection, Bordeaux, la dosimétrie du cristallin : aspects théoriques, <http://www.sfrp.asso.fr/medias/sfrp/documents/Bordeaux-S7b.pdf>
- Rapport IRSN PRP-HOM/2013-00010 (2013) Recommandations sur les bonnes pratiques en matière de radioprotection des travailleurs dans la perspective de l'abaissement de la limite réglementaire de dose équivalente pour le cristallin.
- Fiches Techniques de la SFRP Cristallin : LIMITES RÉGLEMENTAIRES, MESURE, DOSIMÉTRIE ET SUIVI MÉDICAL. Janvier 2016
- AIEA TECDOC 1731, (2013) Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye.
- IEC 62387 Radiation protection instrumentation – Passive integrating dosimetry systems for environmental and personal monitoring.
- Bordy J.M. et al. (2013) 9^{ème} Congrès National de Radioprotection, Bordeaux, la dosimétrie du cristallin : aspects pratiques, <http://www.sfrp.asso.fr/medias/sfrp/documents/Bordeaux-S8a.pdf>
- Rannou A. et al. (2013) 9^{ème} Congrès National de Radioprotection, Bordeaux, Abaissement de la limite de dose au cristallin pour les travailleurs : implications pratiques, <http://www.sfrp.asso.fr/medias/sfrp/documents/Bordeaux-S7e.pdf>
- Bordy J.M. (2015), Monitoring of eye lens doses in radiation protection, Radioprotection 50(3), 177-185, <http://dx.doi.org/10.1051/radiopro/2015009>
- ISO 15382:2015 Radioprotection — Procédures pour la surveillance des doses au cristallin, à la peau et aux extrémités
- Code du travail 4^{ème} partie, livre IV, titre V, chapitre 1
- Clairand I., présentation IRSN lors de la Réunion du réseau des Personnes compétentes en radioprotection de l'AP-HP, La Pitié-Salpêtrière, 8 mars 2016

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
 Institut List | CEA SACLAY NANO-INNOV | BAT. 861 – PC142
 91191 Gif-sur-Yvette Cedex - FRANCE
www-list.cea.fr

Établissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019