

Abaissement de la limite de dose au cristallin pour les travailleurs: Aspects pratiques

Alain Rannou

Direction de la
radioprotection de
l'Homme

Sommaire

- Introduction
- Les situations à risque
- Grandeur de protection et grandeurs opérationnelles
- Les dosimètres individuels
- Les moyens de protection
- Conclusion

Sommaire

- | Introduction
- | Les situations à risque
- | Grandeur de protection et grandeurs opérationnelles
- | Les dosimètres individuels
- | Les moyens de protection
- | Conclusion

Introduction

- | *“The Commission has now reviewed recent epidemiological evidence suggesting that there are some tissue reaction effects, particularly those with very late manifestation, where threshold doses are or might be lower than previously considered. For the lens of the eye, the threshold is now considered to be 0.5 Gy.”*
- | *“For occupational exposure in planned exposure situations the Commission now recommends an equivalent dose limit for the lens of the eye of 20 mSv in a single year, averaged over defined periods of 5 years, with no single year exceeding 50 mSv.”*

(ICRP, 21 avril 2011)

Sommaire

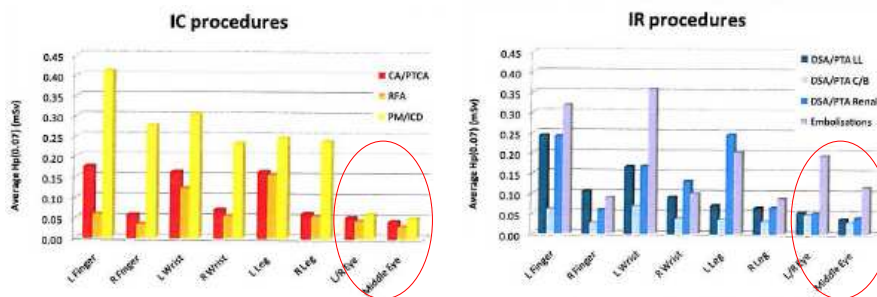
- | Introduction
- | Les situations à risque
- | Grandeur de protection et grandeurs opérationnelles
- | Les dosimètres individuels
- | Les moyens de protection
- | Conclusion

Les situations à risque

- | Rayonnements « à risque » = rayonnements faiblement pénétrants
 - Rayonnement β (parcours > 3 mm)
 - Photons de faibles énergies (typiquement RX produits par Générateurs électriques HT <150 kV)
- | Quid des autres rayonnements ?
 - Photons de hautes énergie (> 500 keV) et neutrons
 - ✓ La limite de 20 mSv en dose efficace est plus rapidement atteinte que celle de 150 mSv en dose équivalente au cristallin de l'œil (sauf cas particulier d'une exposition essentiellement de la tête)
 - Particules α
 - ✓ Leur parcours est trop faible pour atteindre le cristallin

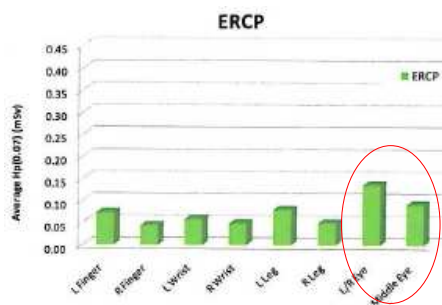
Expositions en cardiologie et radiologie interventionnelle

Des doses moyennes de l'ordre de 0,05 mSv/procédure,
Plus élevées en embolisation : 0,15 mSv/procédure



(ORAMED, 2010)

Cholangiopancreatographies rétrogrades endoscopiques



doses moyennes de l'ordre de 0,10 mSv/procédure

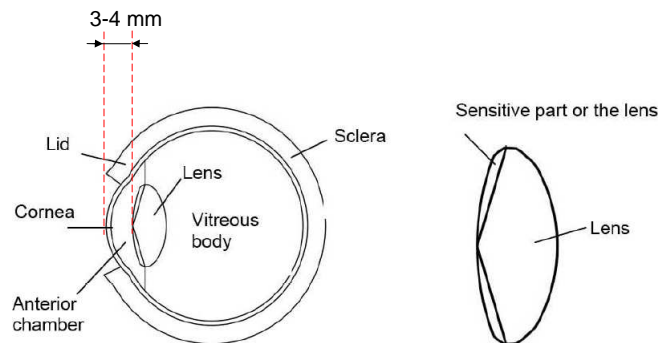
(ORAMED, 2010)

- | Introduction
- | Les situations à risque
- | Grandeur de protection et grandeurs opérationnelles
- | Les dosimètres individuels
- | Les moyens de protection
- | Conclusion

Grandeurs dosimétriques

- | La dose au cristallin est exprimée en termes de dose à l'organe (dose équivalente):
 - | $H_{\text{crist}} = W_R \cdot D_{\text{crist}}$
 - D_{crist} : Dose absorbée moyenne au cristallin de l'œil
 - W_R : Facteur de pondération du rayonnement (=1 pour les photons et les β)
- | La dose au cristallin n'est pas une grandeur directement mesurable ; elle peut être calculée en fonction du rayonnement incident à l'aide de fantôme anthropomorphe simplifié (type MIRD) ou plus réaliste (type Voxel)

- Petitesse du volume du cristallin de l'œil
 - Variabilité de la radiosensibilité des différentes parties du cristallin
 - Faible pénétration des rayonnements à risque (notamment les β)
- } modélisation critique !!

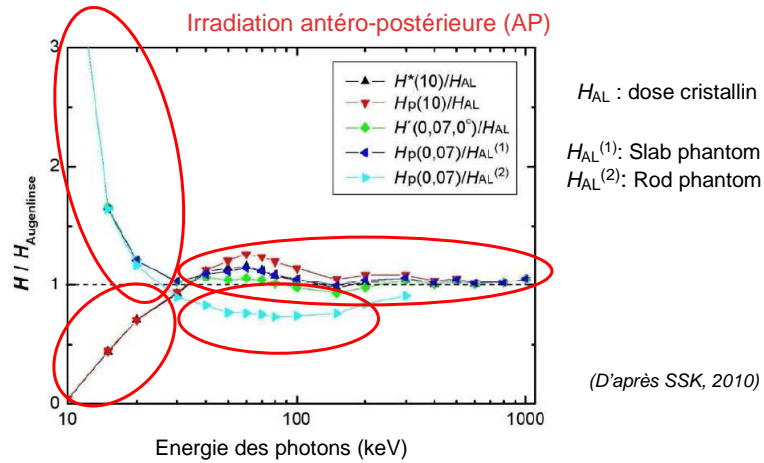


Behrens et al., Phys. Med. Biol. (2009)

Quelle grandeur opérationnelle ?

- La dose équivalente n'étant pas mesurable, l'ICRU a introduit :
 - l'équivalent de dose directionnel $H'(3, \Omega)$ (sphère de l'ICRU)
 - l'équivalent de dose individuel $H_p(3)$ (fantôme corporel)
- Faute de fantômes existants, la CIPR et l'ICRU n'ont pas déterminé les coefficients de conversion en fonction du kerma pour les électrons et les photons ($H_p(3)/K_a$)
- « Une profondeur $d = 3$ mm a été proposée pour le cas rare de la surveillance de la dose au cristallin. Dans la pratique, $H_p(3)$ a toutefois été rarement mesuré et $H_p(0,07)$ peut être utilisé pour cette même surveillance » (CIPR, Publication 103)

Exposition aux photons



→ $H_D(0,07)$ sur fantôme parallélépipédique d'eau (slab) est un bon estimateur de la dose au cristallin pour une exposition AP aux photons de 20 – 300 keV

La dose au cristallin dépend fortement de l'angle d'incidence et de l'énergie des photons

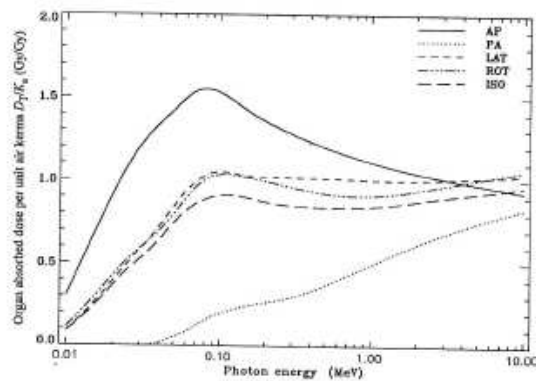
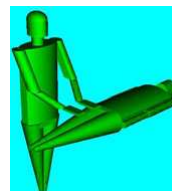
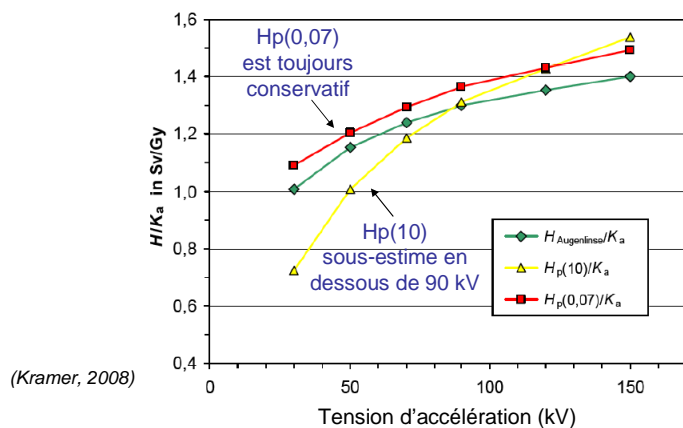


Fig. A.17. Eye lens absorbed dose per unit air kerma free-in-air.

Variation de la dose absorbée au cristallin selon l'incidence des photons (CIPR, Publication 74, 1996)

Exposition aux photons rétrodiffusés

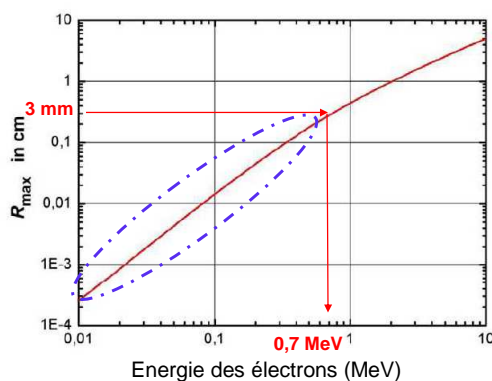
Irradiation de RX sur fantôme d'eau et diffusion à 135°



→ $H_{p(0,07)}$ sur fantôme parallélépipédique d'eau (slab) est un bon estimateur de la dose au cristallin pour une exposition à des RX rétrodiffusés

Exposition aux rayonnements bêta

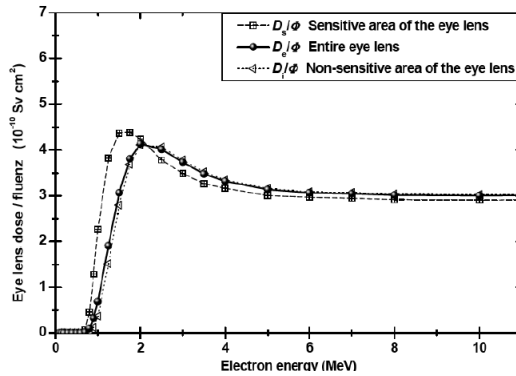
Le parcours des β de moins de 0,7 MeV est trop faible pour atteindre le cristallin



Parcours maximal des électrons dans les tissus mous en fonction de leur énergie

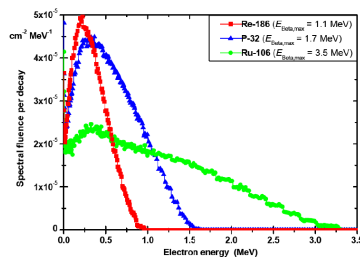
Exposition aux rayonnements bêta

La dose délivrée aux différentes parties du cristallin varie fortement



Conversion coefficients $D_{Eye\ lens}/\Phi$ for monoenergetic electrons (equivalent to the value of H_{Lens}/Φ) calculated using a realistic model of the eye for various areas of the eye lens (data from (Behrens et al. 2009)). Φ is the fluence of the vertically incident electrons.

Exposition aux rayonnements bêta



Spectres bêta de ¹⁸⁶Re, ³²P et ¹⁰⁶Ru/¹⁰⁶Rh (à 50 cm de sources ponctuelles)

$H'(0,07,0)$ et $H_p(0,07)$
= (très) conservatifs

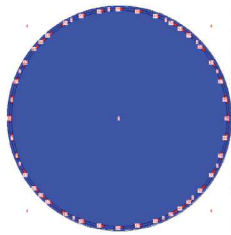
Radionuclides	E_{max} in MeV	$H_{Eye\ lens}/\Phi$ in Sv cm ²	$H'(0,07,0)/\Phi$ in Sv cm ²	$H'(3,0)/\Phi$ in Sv cm ²
Re-186	1.1	$1.6 \cdot 10^{-12}$	$4.5 \cdot 10^{-10}$	$1.5 \cdot 10^{-12}$
P-32	1.7	$6.0 \cdot 10^{-11}$	$4.8 \cdot 10^{-10}$	$7.5 \cdot 10^{-11}$
Y-90	2.3	$1.4 \cdot 10^{-10}$	$4.3 \cdot 10^{-10}$	$1.7 \cdot 10^{-10}$
Ru-106/Rh-106	3.5	$1.6 \cdot 10^{-10}$	$3.0 \cdot 10^{-10}$	$1.9 \cdot 10^{-10}$

(Behrens, 2009)

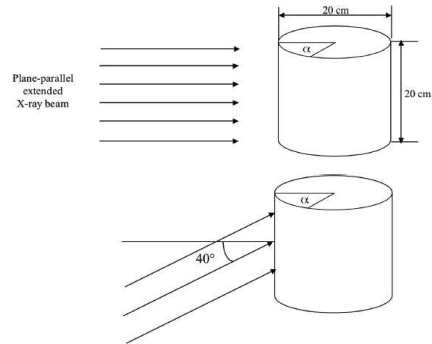
La grandeur $H_p(3)$

En l'absence de facteurs de conversion pour $H_p(3)$ et de fantôme *ad-hoc*, un nouveau fantôme numérique cylindrique « tête » a été développé dans le cadre du projet EUROMED

- $\phi = 20$ cm, $H = 20$ cm
- matériau E.T (ICRU)



(Gualdrini, 2010)



Exemple de calculs

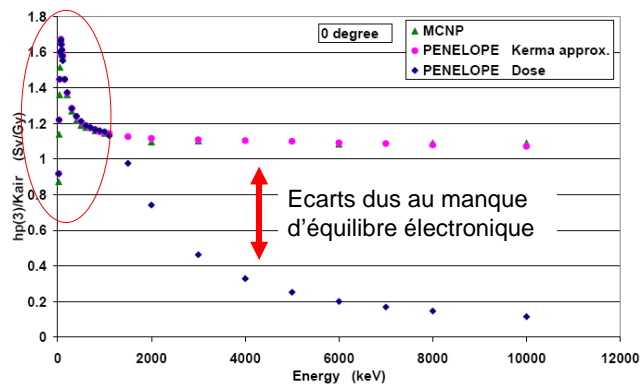


Figure 3 : $H_p(3)/K_{air}$ conversion coefficient versus photon energy at 0 degree incident angle.

Bordy, 2009



Coefficients de conversion calculés avec un accord satisfaisant pour les photons faiblement pénétrants

Le travailleur a 2 yeux !!

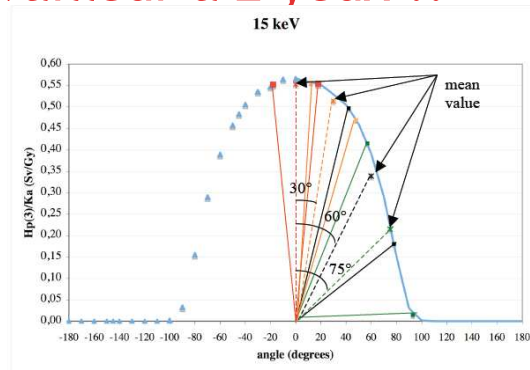


Figure 3: Angular profile of $H_T(\text{eye lens})/ka$ for 15 keV monoenergetic radiation normally impinging on the cylindrical phantom. The plot demonstrates that the central value between the eyes well approximates the average of the two eyes equivalent dose.

(Gualdrini, 2010)

Fantôme d'étalonnage

■ nouveau fantôme cylindrique « tête » développé dans le cadre du projet EUROMED pour l'étalonnage des dosimètres

- $\phi = 20 \text{ cm}$, $H = 20 \text{ cm}$
- Cylindre PMMA rempli d'eau



- | Introduction
- | Les situations à risque
- | Grandeur de protection et grandeurs opérationnelles
- | Les dosimètres individuels
- | Les moyens de protection
- | Conclusion

Quel dosimètre ?

- | **Champ de rayonnement variable en fonction des protections collectives et individuelles utilisées:**
 - Débits de dose et spectres en énergie variables (part de rayonnements diffusés, atténuation par les protections)
 - Angles d'incidence variables
- Le dosimètre doit avoir une sensibilité suffisante et avoir une bonne réponse angulaire
- Il doit être étalonné dans les conditions les plus proches possibles des conditions de port

Quel dosimètre ?

A priori tous les détecteurs passifs permettant la mesure de $H_p(0,07)$ sont de bons candidats

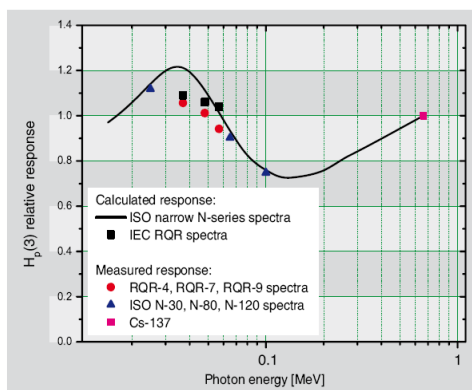
- TLD, RPL, OSL

Le dosimètre doit être porté du côté le plus exposé du visage, sur la peau, au plus près de l'œil → **aspect ergonomique !!!**



Prototype et version finale de dosimètre pour le cristallin (ORAMED)

Dosimètre RADCARD



Energy response of *EYE-D™* for photon radiation

Essais de type et étalonnage des dosimètres individuels

■ Procédures à développer

- Essais de type
 - ✓ Démontrer les performances de base du type de dosimètre (tests selon normes ISO et CEI)
- Etalonnage
 - ✓ Raccorder le système de dosimétrie aux références nationales

Essais de type et étalonnage des dosimètres individuels

■ Normes existantes

IEC 62387-1 "Radiation protection instrumentation – Passive integrating dosimetry systems for environmental and personal monitoring – Part 1: General characteristics and performance requirements" (2007)

ISO 12794 "Nuclear energy – Radiation protection – Individual thermo luminescence dosimeters for extremities and eyes" (2000)

- {
- ISO : dosimètres TLD uniquement, CEI : tous les types
 - Seule la norme ISO prend en compte la dosimétrie du cristallin
 - Aucune d'entre elles ne prend en compte les rayonnements pulsés

Proposition ORAMED

Comparison of the main requirements for passive dosimeters in photon fields (adapted from IEC 62387-1, ISO 12794 and EC report 160).

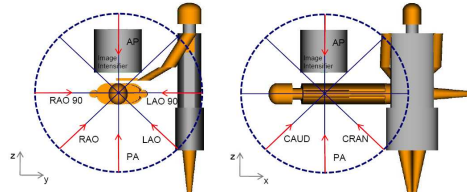
(Influence) quantity	This work (proposal)	ISO 12794	IEC 62387-1
	All passive Eye lens	TLD, Extremity and eye lens $H_p(0.07)$ and $H_p(3)$	All passive $H_p(0.07)$ All passive: $H_p(10)$
Radiation energy	(15 keV–3 MeV) 0.6 ≤ response ≤ 1.4 (20 keV–100 keV) 0.7 ≤ response ≤ 1.3	(15 keV–3 MeV) 0.5 ≤ response ≤ 1.5	Energy 30 keV–250 keV and angle (0–60°): 0.71 ≤ response ≤ 1.67
Angle of incidence	0.85 ≤ response ≤ 1.15 (0°–60°) 0.7 ≤ response ≤ 1.3 (0°–75°) 0.2 mSv	0–60° at 60 ± 5 keV: 0.85 ≤ response ≤ 1.15	
Threshold		1 mSv	0.01 mSv (from the "scope and objet" chapter)
Linearity	0.2 mSv to 1 Sv 0.9 ≤ response ≤ 1.1	1 mSv to 1 Sv: 0.9 ≤ response ≤ 1.1	1 mSv to 3 Sv 0.91 ≤ response ≤ 1.11
Coefficient of Variation Environmental conditions and others	Criteria from both IEC and ISO standard are relevant	reproducibility: 10% batch homogeneity: 15% temperature up to +40 °C and humidity up to 90%; 0.9 ≤ response ≤ 1.1 light exposure; 0.9 ≤ response ≤ 1.1	from 15% (< mSv) to 5% (≥ 11 mSv) temp.: -10 °C to +40 °C, humidity 40%–90%, fading, light, reader stability and power supply combined: 0.83 ≤ response ≤ 1.25 0.91 ≤ response ≤ 1.11 IEC 61000-6-2 deviation ³ limited
Additivity ¹ Electromagnetic Compatibility (EMC) Mechanics Software	Not treated in this paper	no requirement	IEC 60068-2-32; deviation ³ limited WELMEC Guide 7.2 ²

¹ (1) Additivity of measured values for different irradiation conditions. (2) Deviation is an additional indication which is due to the influence quantity, e.g. to additional or lost pulses as a result of EMC. (3) A guide to software requirements from the European Corporation in Legal Metrology, recommended for application all over Europe.

(Bordy, 2011)

- | Introduction
- | Les situations à risque
- | Grandeur de protection et grandeurs opérationnelles
- | Les dosimètres individuels
- | Les moyens de protection
- | Conclusion

Lunettes de protection



Left eye (Ratio with/without glasses)	PA	CRA 20
Small lens (0.5 mm Pb)	0.30	0.28
Large lens (0.5 mm Pb)	0.15	0.14
Small and thick lens (1.0 mm Pb)	0.26	0.25
Large and thick lens	0.14	0.13

PA: projection Postéro-antérieure
CRA 20: projection crânienne à 20°

Protection > 80%

(Koukorava, 2011)

Autres équipements de protection

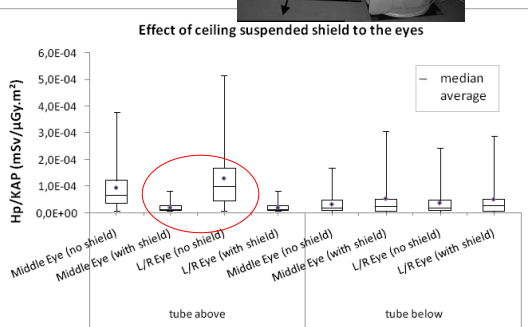
- Visières en acrylique plombé (0,1 mm équivalent) : protection de 99% (à 40 kV) à 77% (à 140 kV) selon fabricant
- Ecrans plombés suspendus : protection jusqu'à 97% (Koukorava, 2011)
- Cabines de protection, peu répandues

A noter qu'il n'existe pas de normes pour ces équipements

Des expositions liées aux pratiques



Cholangiopancreatographies rétrogrades endoscopiques



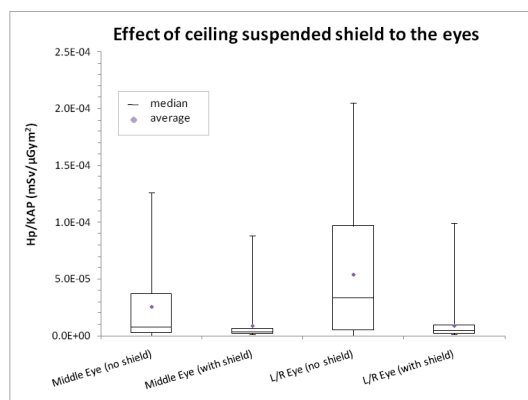
tube above	with ceiling:	27 cases
	without ceiling:	49 cases
tube below	with ceiling:	32 cases
	without ceiling:	61 cases

% reduction			
Tube above		Tube below	
M eye	L eye	M eye	L eye
81	88	-24	-44
Ratio (without/with)		0.80	0.69
5	8		

L'écran plafonnier réduit la dose à l'œil gauche d'un facteur 8 lorsque le tube se trouve sous la table

Des expositions liées aux pratiques

Embolisations



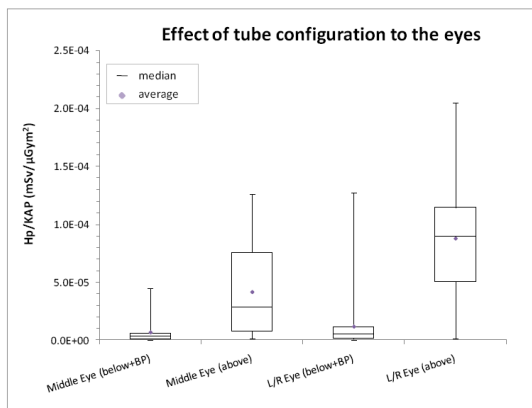
with ceiling shield: 49 cases
without ceiling shield: 51 cases

% reduction		
M eye	L eye	median
60%	86%	
Ratio (without/with)		
2.52	7.4	
		median

L'écran plafonnier réduit la dose à l'œil gauche d'un facteur 7,4

Des expositions liées aux pratiques

Embolisations



Above: 30 cases
Below: 67 cases

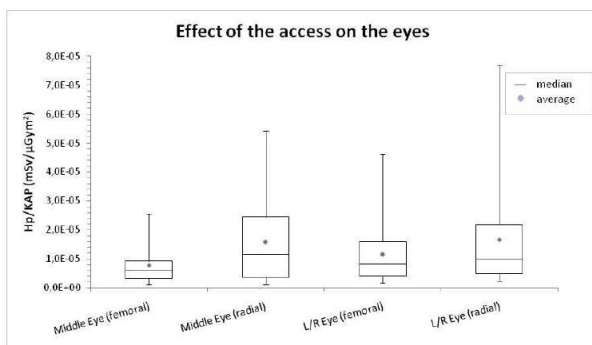
% (above-below/above)		
M Eye	L Eye	median
88%	94%	
Ratio (above/below)		
8.06	17.29	median

(ORAMED, 2010)

En l'absence d'écran plafonnier, la dose à l'œil gauche est 17,3 fois plus faible lorsque le tube est sous la table

Des expositions liées aux pratiques

Angioplasties/angiographies cardiaques



Left Eye	Middle Eye	
radial/femoral		
1.2	2.0	for median

La voie d'accès fémoral réduit les doses par rapport à la voie fémorale en l'absence d'écran plafonnier (tube sous la table)

- | Introduction
- | Les situations à risque
- | Grandeur de protection et grandeurs opérationnelles
- | Les dosimètres individuels
- | Les moyens de protection
- | Conclusion

Conclusion

- | Avec l'abaissement de la limite de dose, en l'absence de protection, le cristallin de l'œil sera probablement l'organe critique en cardiologie/radiologie interventionnelle
- | Des moyens de dosimétrie passive existent mais
 - nécessiteront des développements pour être totalement opérationnels
 - Des procédures normalisées d'étalonnage restent à définir
- | Les moyens de dosimétrie active sont très limités
- | Des moyens de protection (80 - 90%) existent
 - Lunettes plombées
 - Ecran plafonnier, écran de table
- | Les pratiques peuvent optimisées (psotion du tube, position du praticien, qualité du faisceau, taille du champ)
- | La mise en application de ces moyens/pratiques nécessitera des efforts

Merci de votre attention !

