

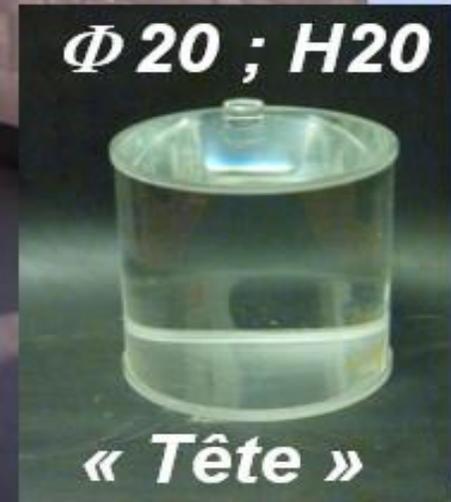
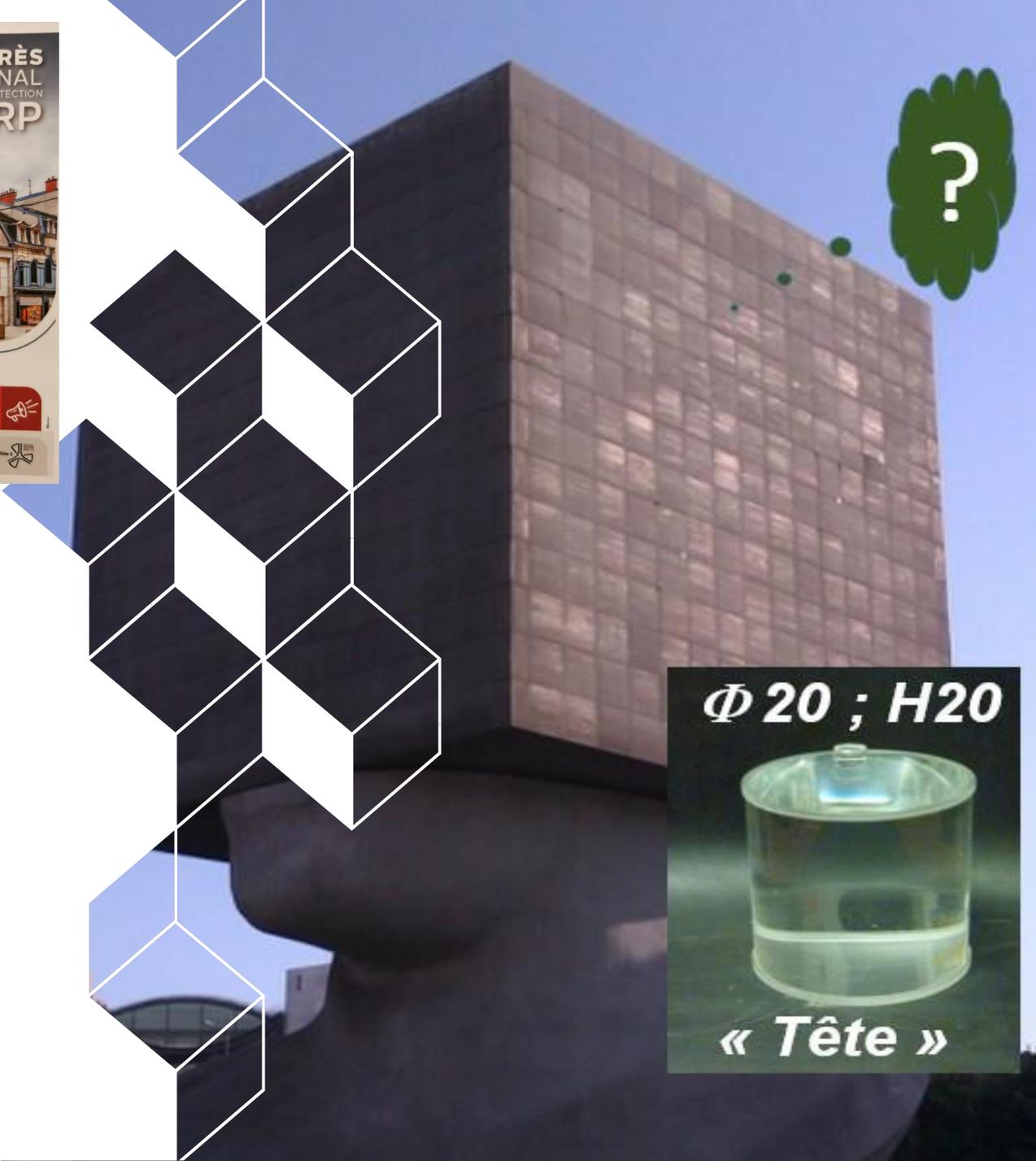


list



Tutorial Dosimétrie du cristallin problématiques et avancées techniques

J.-M. Bordy



Dosimétrie du cristallin problématique et avancées techniques

1

**CONDITIONS DE LA TRAÇABILITÉ AUX
RÉFÉRENCES NATIONALES**

2

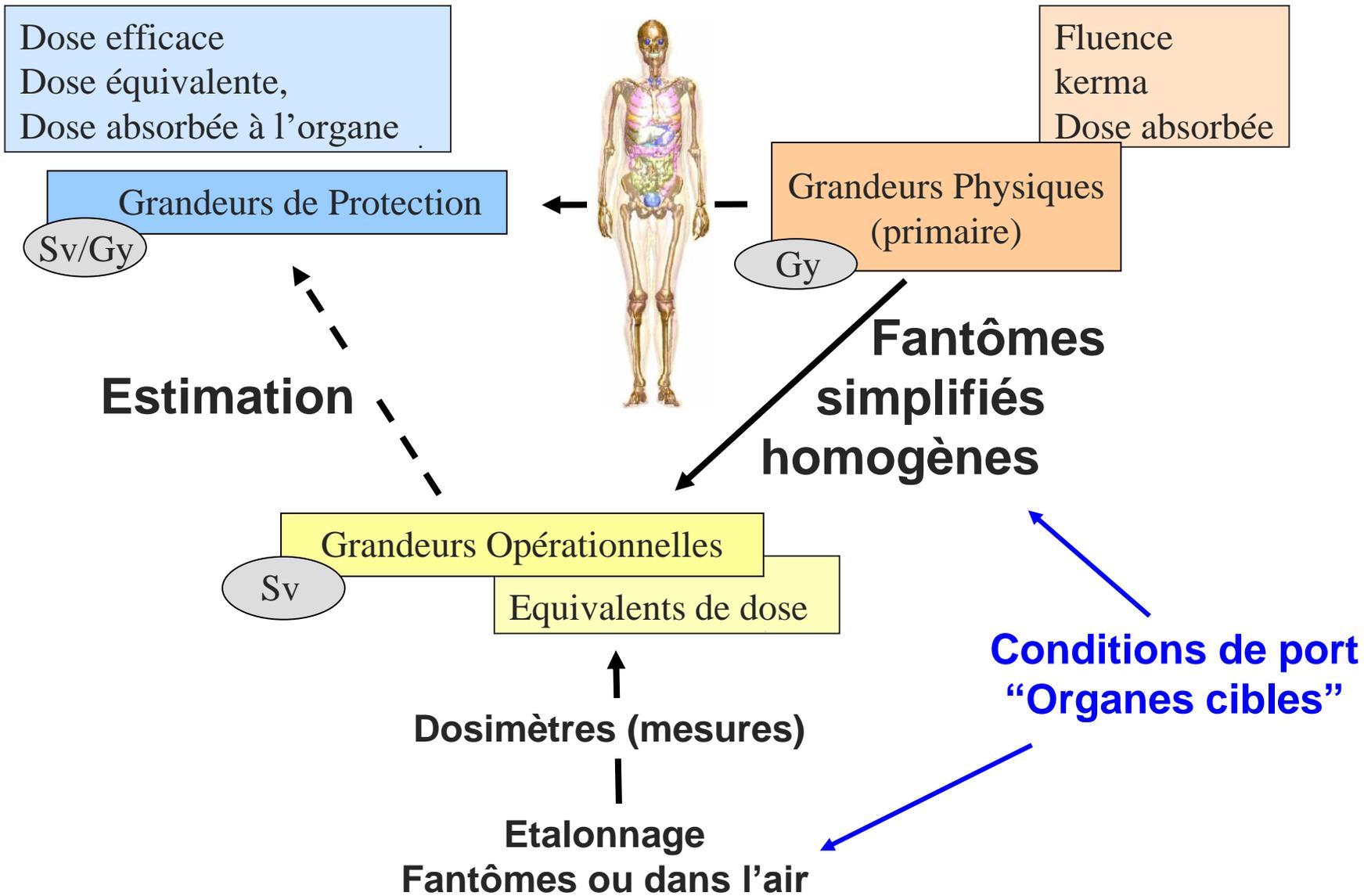
**CHOIX DE LA MÉTHODE DE
MESURE DIRECTE ET INDIRECTE**

3

**PRINCIPALES CONCLUSIONS DU
GROUPE DE TRAVAIL IRPA**



1 ■ Conditions de la traçabilité aux références nationales





Grandeurs Opérationnelles (GO) $H_p(d) - H'(d)$ ou $H^*(10)$
(fantômes équivalent tissu)

Dosimètre(s) ayant satisfait aux tests de type

Etalonnage en termes de GO (**sur fantôme** ou dans l'air)
indiv. zone

Dosimètre utilisé/porté selon spécifications
des recommandations internationales

Mesure les grandeurs opérationnelles dans les installations

Estimation H_{peau} , $H_{\text{cristallin}}$, E

Vérification du respect des limites

**Traçabilité vue
au travers de
l'utilisation
opérationnelles
des dosimètres**



Le cristallin est cas particulier :

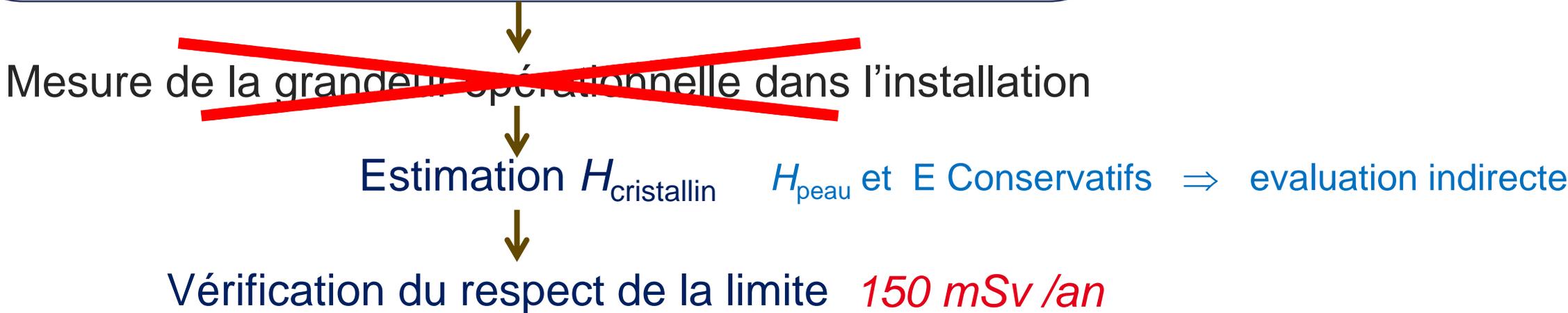
- ❑ Il ne fait pas parti de la liste des organes pour le calcul de la dose efficace

Cependant

- ❑ Il est prévu dans les dispositions légales de pouvoir/devoir réaliser une mesure de routine en dosimétrie individuelle ou de zone afin de vérifier le respect de la limite d'exposition en termes de dose équivalente - $H_{\text{cristallin}}$ – au travers de la grandeur opérationnelle, l'équivalent de dose individuel $H_p(3)$ ou directionnel $H'(3)$.



Situation avant la recommandation de la CIPR (2011) de ramener la limite d'exposition à 20 mSv en moyenne ...



Chronologiquement (concernant la dosimétrie du cristallin) :

Etudes biologique / épidémiologie

ORAMED (2007-2011) *ENEA / CEA-LNHB*

Etat des lieux / proposition de solutions (grandeur, fantôme, test de type, dosimètre)

CIPR (2011)

Décision 20 mSv

ISO / CEI (2011)

Normalisation des conditions d'étalonnage / tests de type / guides pratiques

ICRU (2012)

Préconisation de la grandeur adaptée

Livre blanc « surveillance radiologique des exposition des travailleurs » / DGT (ASN-IRSN) (2013)

Proposition méthode de mesure indirecte (publié en juin 2015)

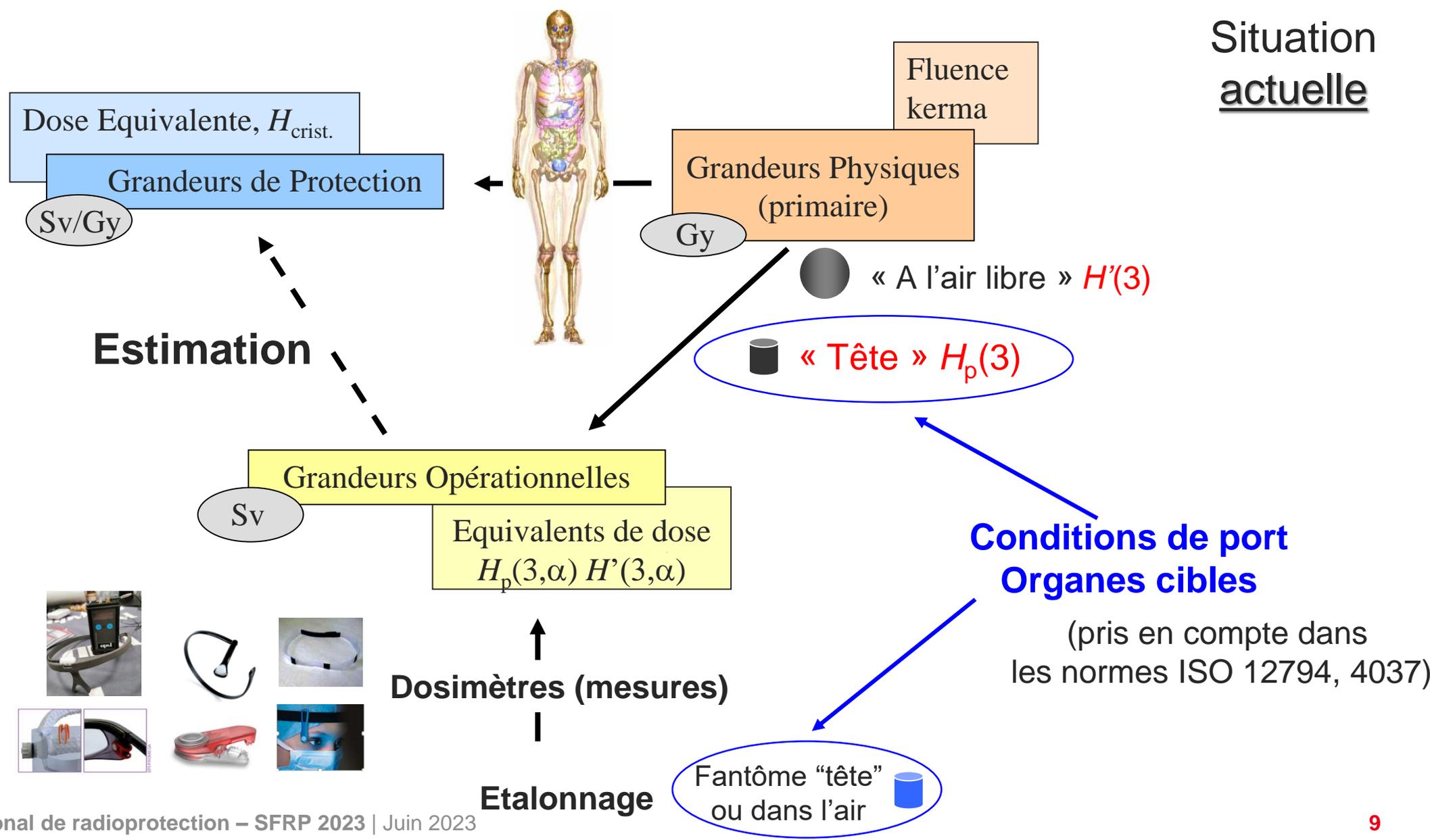
AIEA (2013)

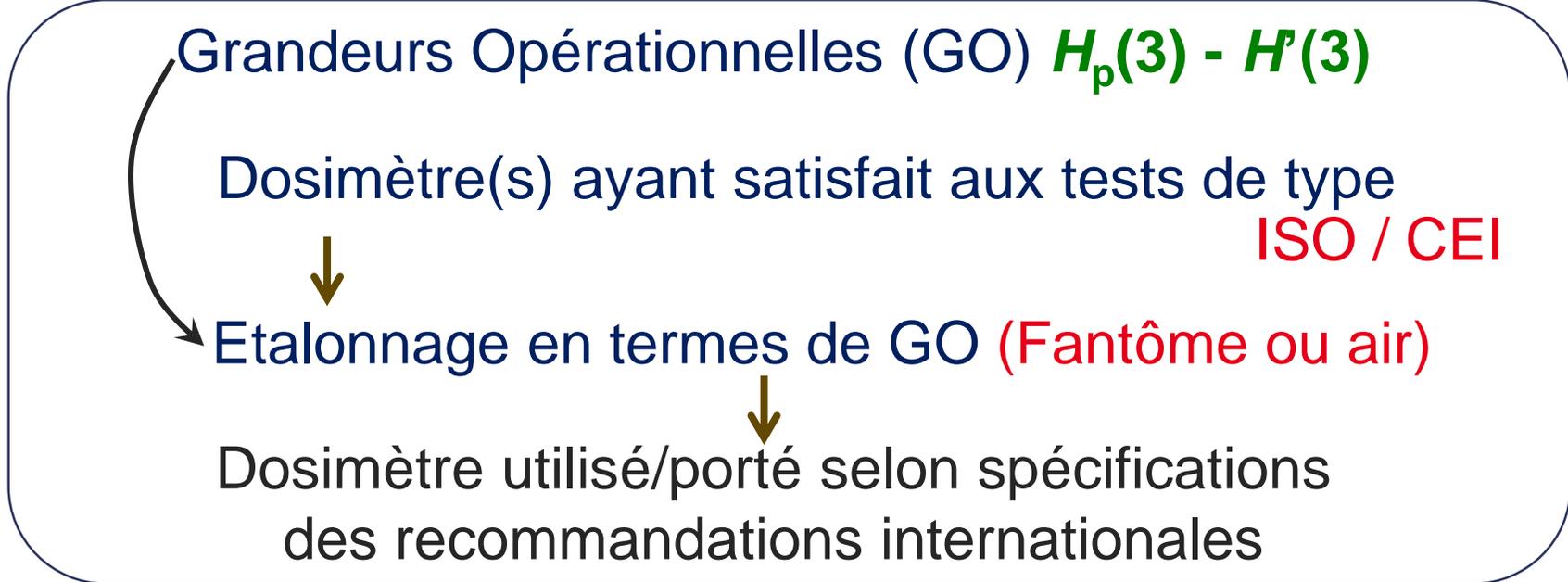
Guide pratique

GT IRPA : Evaluation de l'évolution des pratiques (2012)



Situation actuelle





Situation actuelle



2 ■ **Choix méthode directe et indirect**



Même si dorénavant il est admis que l'exposition du cristallin doit faire l'objet d'un suivi dosimétrique les modalités de son implémentation peuvent être débattues.

Bien sur, l'estimation de $H_{\text{Cristallin}}$ implique dans le meilleur des cas une mesure directe de $H_p(3)$ avec un dosimètre spécialement étudié pour mesurer $H_p(3)$, dosimètre porté au niveau de l'œil, **derrière** l'éventuelle protection individuelle (lunette, visière ...)

Une solution de compromis entre la contrainte de porter un dosimètre supplémentaire près de l'œil, et le besoin d'un suivi précis de l'exposition du cristallin, pourrait conduire à une mesure indirecte. C'est-à-dire :

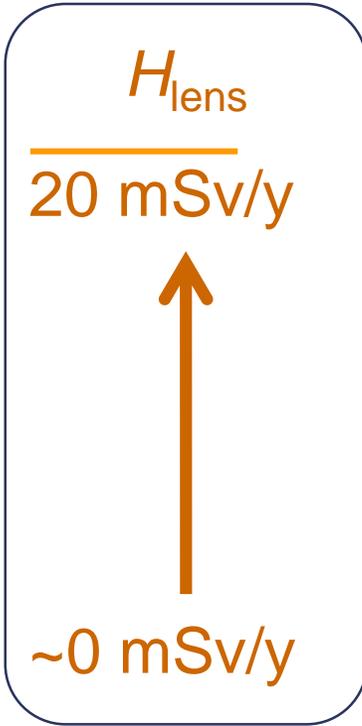
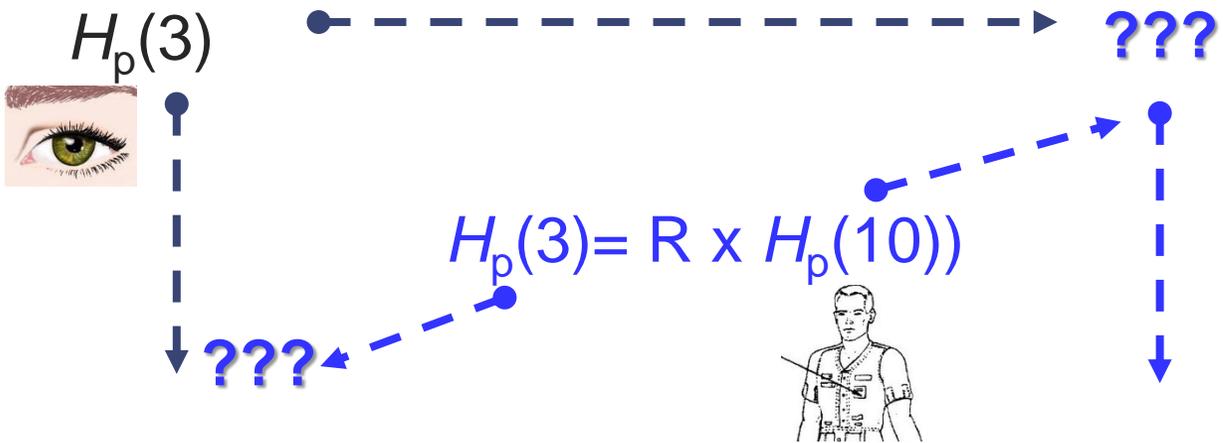
- estimer $H_p(3)$ à partir de la mesure d'une autre grandeur opérationnelle (ex. $H_p(10)$ pour la dosimétrie corps entier portée au niveau du tronc)

$$R = H_p(3) / H_p(10)$$

Dans ce cas, un critère objectif est nécessaire pour justifier le recours à une méthode indirecte



Champ de rayonnements
Non homogène → Homogène
Variable → Constant



Precision

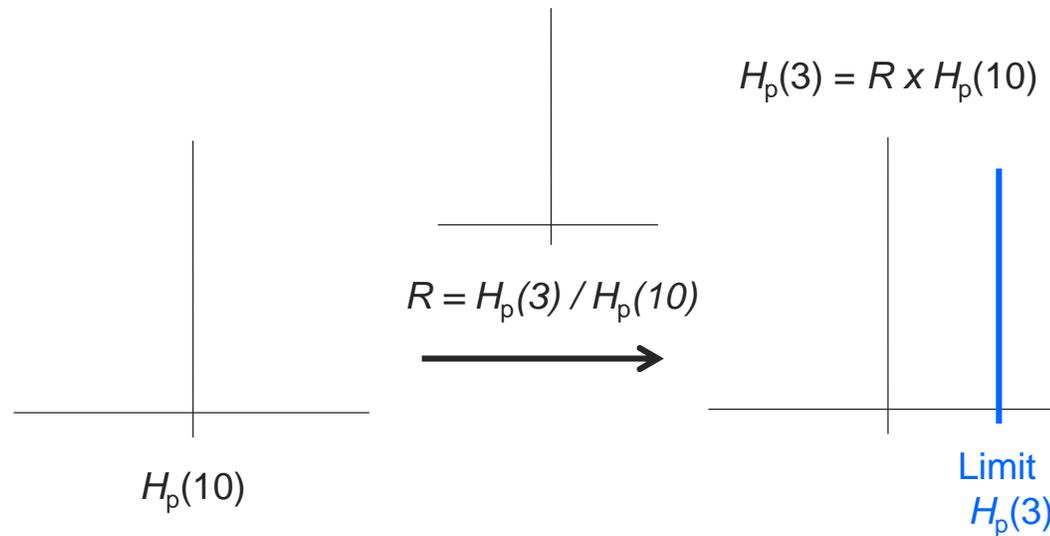
On doit garder à l'esprit que l'évaluation indirecte conduit à une diminution de la précision.

On doit donc évaluer dans quelle mesure la méthode indirecte peut être utilisée.

Quand $H_p(3) = R \times H_p(10)$ peut être utilisé « sans » risque (voir niveau de confiance statistique) de ne pas signaler un dépassement de la limite en termes de $H_p(3)$?



Proportionnalité directe simple

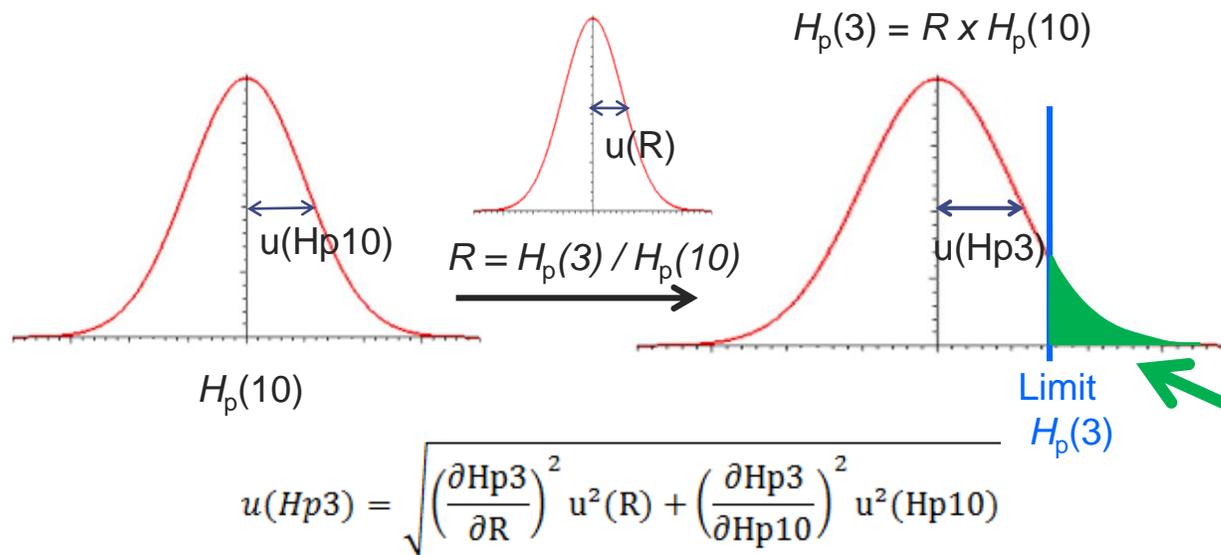


Monde parfait



On doit garder à l'esprit que l'évaluation indirecte conduit une diminution de la précision.

Avec les incertitudes de mesure

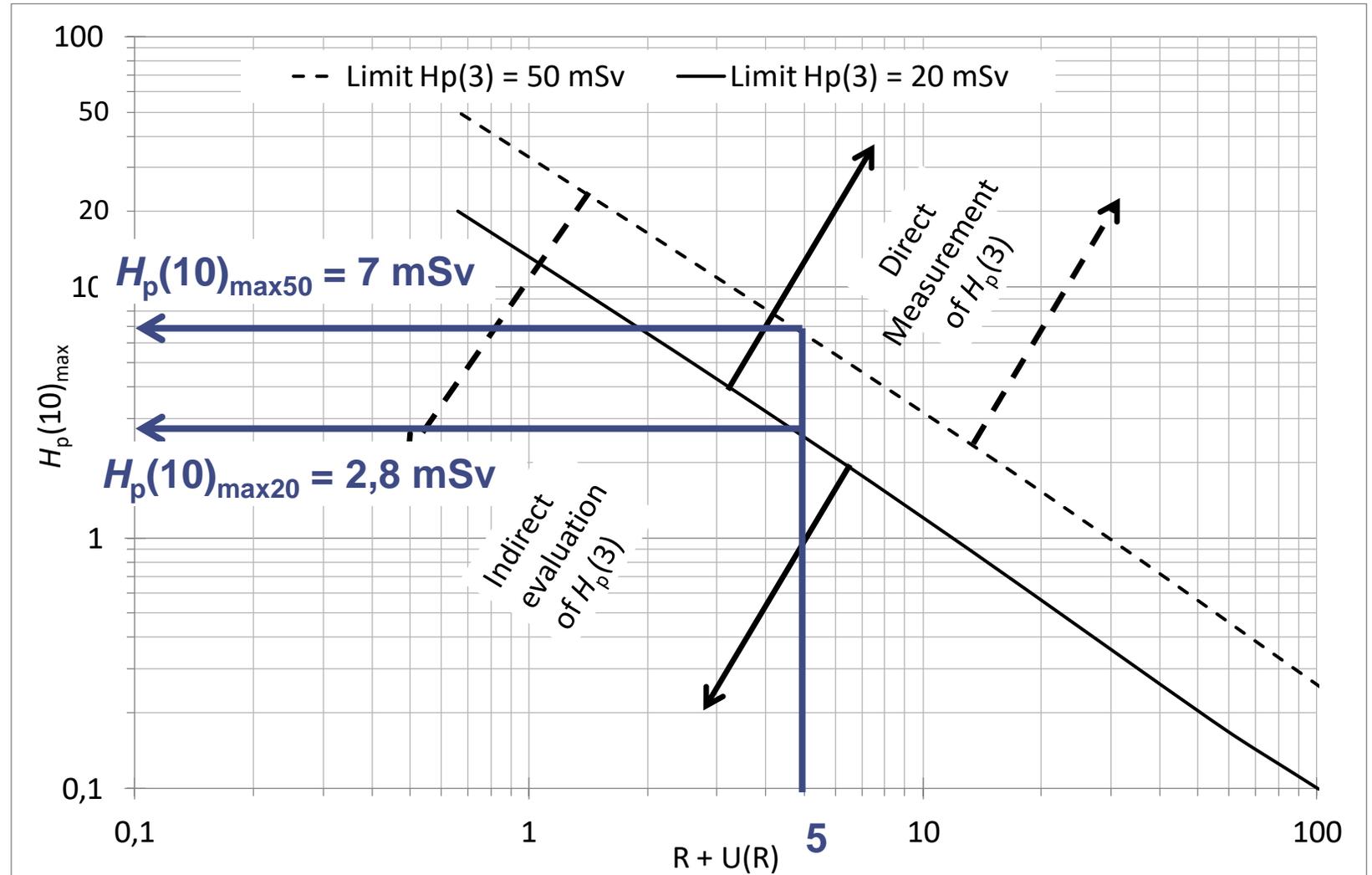


Situation réelle



Risque de dépassement de la limite alors que la mesure indirecte demeure sous cette limite.

On définit une valeur mesurée de $H_p(10)_{\max}$ en dessous de laquelle une évaluation indirecte de $H_p(3)$ est réalisable **en minimisant le risque de dépasser la limite d'exposition (avec un niveau de confiance ~ 95%)**



Attention : le champ de rayonnement doit être conforme à celui obtenu lors de l'étude de poste



Exemple de valeur de R

http://www.amtsn.asso.fr/IMG/pdf/PrA_c_sentation_EDF_CRISTALLIN.pdf

	$R = H_p(3) / H_p(10)$
Boite à gants (usine de retraitement)	2,78 and 3,34 (photon)
	1 (neutron)
Centrale nucléaire (REP)	0,9 to 1,5
Boite à gants (médecine nucléaire)	12,5 (photon)
orthopaedic	10 (RX)
Radiologie interventionnelle	4 (RX)

Large variation de R en fonction du poste de travail

Donc l'incertitude $U(R)$ pourrait être très large si R doit couvrir une grande variété de situation

L'étude de poste prend toute son importance !

Quelques dosimètres sont disponibles commercialement (exemples non exhaustifs)

Voir aussi diapositive 26

Le principe est de prendre en compte autant que possible une adaptation ergonomique, tout en mesurant précisément $H_p(3)$



<http://www.rotundascitech.com/EyeDosimetry.html>

* Health Protection Agency (HPA) proposed a similar design



<http://www.landauer-fr.com/lentreprise/actualites.html>



http://dosimetre.irsn.fr/fr-fr/Documents/Fiches%20produits/IRSN_Fiche_dosimetre_Cristallin.pdf



dosilab – dosiEYE
<http://www.dosilab.fr/>



www.radpro-int.com/assets/eye-d.pdf

Synoptique – résumé (photons)



Case	Dose	Energy	Quantity	Calibration phantom	Dosimeter	Additional calculations required	Remarks	
Non homogeneous radiation fields (with or without the use of protective equipment) Or homogeneous radiation field when protective equipment are used	“High and low doses” (categories A & B)	All energies	$H_p(3)_{cyl}$	Right Cylinder (Diam. 20 cm)	Design for $H_p(3)_{cyl}$	No	Best accuracy	
			$H(3)$	Free in air	Design for $H(3)$	Yes	Large error possible - higher uncertainty	
	“Low doses” (category B)	$H_p(10)$ cannot be used below about 20 keV	$H_p(10)$	Slab	Design for $H_p(10)$	Yes		
			$H_p(3)_{slab}$	Slab	Design for $H_p(3)_{slab}$	Yes		
			$H_p(0.07)$	Rod, pillar, slab	Design for $H_p(0.07)$	Yes		
			$H^*(10)$	Free in air	Design for $H^*(10)$	Yes		
			$H(0.07)$	Free in air	Design for $H(0.07)$	Yes		
Homogeneous radiation fields Note : It must be proven that the radiation field is homogeneous	“High and low doses” (categories A & B)	All energies	$H_p(3)_{cyl}$	Right Cylinder (Diam 20 cm)	Design for $H_p(3)_{cyl}$	No	Best accuracy	
			$H_p(3)_{slab}$	Slab	Design for $H_p(3)_{slab}$	No	Good accuracy - Care must be taken that the radiation fields remain homogeneous	
			$H(3)$	Free in air	Design for $H(3)$	No		
	“Low doses” (category B)	$H_p(10)$ cannot be used below about 20 keV		$H_p(10)$	Slab	Design for $H_p(10)$	Yes	Large error possible, - higher uncertainty, - Care must be taken that the radiation fields remain homogeneous
				$H_p(0.07)$	Rod, pillar, slab	Design for $H_p(0.07)$	Yes	
				$H^*(10)$	Free in air	Design for $H^*(10)$	Yes	
				$H(0.07)$	Free in air	Design for $H(0.07)$	Yes	

Synoptique – résumé (électrons)

Case	Dose	Energy	Quantity	Calibration phantom	Dosemeter	Additional calculations required	Remarks
Non homogeneous radiation fields (without the use of shielding thick enough for stopping beta radiations)	“High and low doses” (categories A & B)	All energies above 0.7 MeV	$H_p(3)_{cyl}$	Right Cylinder (Diam. 20 cm)	Design for $H_p(3)_{cyl}$	No	Best accuracy
	“Low doses” (category B)		$H(3)$	Free in air	Design for $H(3)$	Yes	Large error possible, - higher uncertainty
			$H_p(3)_{slab}$	Slab	Design for $H_p(3)_{slab}$	Yes	
			$H_p(0.07)$	rod or pillar, slab	Design for $H_p(0.07)$	Yes	
			$H(0.07)$	Free in air	Design for $H(0.07)$	Yes	
Non homogeneous radiation fields (with the use of shielding thick enough for stopping beta radiations)		Consider “photon radiation” as the beta particles are completely absorbed in the shielding					
Homogeneous radiation fields <u>Note</u> : It must be proven that the radiation field is homogeneous	“High and low doses” (categories A & B)	All energies above 0.7 MeV	$H_p(3)_{cyl}$	Right Cylinder (diam 20 cm)	Design for $H_p(3)_{cyl}$	No	Best accuracy
			$H_p(3)_{slab}$	Slab	Design for $H_p(3)_{slab}$	No	Good accuracy, - Care must be taken that the radiation fields remain homogeneous
			$H(3)$	Free in air	Design for $H(3)$	No	
	“Low doses” (category B)		$H_p(0.07)$	rod or pillar, slab	Design for $H_p(0.07)$	Yes	Large error possible, - higher uncertainty, - Care must be taken that the radiation fields remain homogeneous
			$H(0.07)$	Free in air	Design for $H(0.07)$	Yes	



3 ■ **Principales conclusions du groupe de travail IRPA**

Après la recommandation de la CIPR 2011 :
150 mSv/an -> 20 mSv/an en moyenne sur 5 ans (max 50 mSv/an)

IRPA forme un Task Group en 2012 :

Phase I :

Enquête pour fournir un point de vue international des professionnels de l'IRPA sur l'impact de la réduction de la limite pour le cristallin en abordant les implications à la fois pour la dosimétrie et les méthodes de protection.

Résultats publiés :

*Broughton J, Cantone M C, Ginjaume M and Shah B 2013 Report of task group on the implications of the implementation of the ICRP recommendations for a revised dose limit to the lens of the eye **J. Radiol. Prot.** 33 855–68*

*Broughton J, Cantone M C, Ginjaume M and Shah B 2015a Implication in dosimetry of the implementation of the revised dose limit to the lens of the eye **Radiat. Prot. Dosim.** 164 70–74*

*Broughton J, Cantone M C, Ginjaume M, Shah B and Czarwinski R 2015b Implication of the implementation of the revised dose limit to the lens of the eye: the view of IRPA professionals **Ann. ICRP** 44 138–43*

Après la recommandation de ma CIPR 2011 :
150 mSv/an -> 20 mSv/an en moyenne sur 5 ans (max 50 mSv/an)

IRPA Task Group :

Phase II (2015) :

examiner les progrès réalisés après l'adoption des recommandations de la phase I, et de rassembler les expériences de terrain des praticiens (méthodes, difficultés, vers la mise en œuvre de la législation).

Publication d'un guide pratique pour la surveillance et la protection du cristallin pour les travailleurs

*IRPA 2017 IRPA Guidance on Implementation of Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers
International Radiation Protection Association*

[www.irpa.net/docs/IRPA%20Guidance%20on%20Implementation%20of%20Eye%20Dose%20Monitoring%20\(2017\).pdf](http://www.irpa.net/docs/IRPA%20Guidance%20on%20Implementation%20of%20Eye%20Dose%20Monitoring%20(2017).pdf)



En parallèle en partie suite au Groupe de travail de la DGT sur le livre blanc de la radioprotection,

IRSN Rapport PRP-HOM/2013-00010 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

(www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_PRP-HOM-2013-0010_Recommandations-Cristallin.pdf)

SFRP Technical Information Sheets 2016 Eye lens: regulatory limits, measurement, dosimetry and medical surveillance INIS-FR-16-0652 (www.sfrp.asso.fr/sections/protection-technique.html,1,45,0,0,0)



GT IRPA Phase III (2018) :

Nouvelle enquête en 2019 pour contribuer davantage au partage des expériences et à la sensibilisation de la communauté de la radioprotection, à la protection des travailleurs en cas d'exposition du cristallin.

Représentants : Afrique, Amérique sud et nord, Asie, Australie et Europe.

Rédaction d'un questionnaire ; 27 questions 4 sujets principaux

- i) surveillance et évaluation des « doses », interprétation des résultats
- ii) méthodes de protection envisagées par les différents secteurs (médicales, nucléaires et industrielles)
- iii) impact direct ou indirect (notamment de la limite d'exposition) sur les pratiques actuelles
- iv) les processus législatifs adoptés ou envisagés pour l'implémentation de la limite de dose pour les applications médicales, nucléaires et industrielles, et les guides ou documents traitant de la surveillance du cristallin

GT IRPa Phase III (2018) :

Report of IRPA task group on issues and actions taken in response to the change in eye lens dose limit

Marie Claire Cantone et al

J. Radiol. Prot. 40 (2020) 1508–1533 ; <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abb5ec>

Beaucoup de réponses : 44 pays, 6 institutions

Table 1. Responses from individual countries relating to implementation of eye dose limit.

	Africa ^a	Americas	Asia/ Australasia	Europe
Implications for dosimetry				
Dosemeters calibrated in terms of $H_p(3)$	–	–	2	10
Collar dosimeter worn by interventional staff either as single dosimeter or part of double dosimetry method	–	6(1)	6 (1)	10(5)
Dosemeter positioned adjacent to the eye	–	1	4(1)	15(4)
Pilot studies of eye dose levels undertaken	–	4	5	17
Risk assessment carried out prior to eye dose monitoring	1	1	4	13
Monitoring of interventional clinicians based on role	–	1	2	2
Confirmed intention to adopt 20 mSv dose limit	2	2	6	17
Monitoring suggested for eye doses above 5 or 6 mSv	1	3	3	5
Monitoring suggested for eye doses above 15 mSv	–	–	1	7
Problems in compliance anticipated	1	1	3	12
Training undertaken at local or national level	–	3	6	11
Additional cost foreseen for implementation		3	6	12

Implications for protection

Regular use of ceiling suspended shielding and eyewear	1	3	4	11
Variable use of ceiling suspended shielding and eyewear	1	3	4	5
Application of ALARA tools in minimising dose	1	1	3	10
Countries highlighting importance of RP training	1	1	1	3

Preparation of legislation and the implications

Concerns about new system for lens dosimetry	1	1	5	8
No change foreseen in health surveillance	–	3	5	10
Guidelines available about eye dose monitoring	–	2	4	11
ASs heavily involved in preparing legislation	1	5	8	17
Dose limit with averaging over 5 yr allowed	2	2	4	12
Strict 20 mSv per year dose limit being introduced	–	–	–	3
Maintaining 150 mSv per year limit for present		3	3	3
Consideration being given to other tissue reactions	1	2	4	3

Number of countries in survey

	2	6	8	18
--	---	---	---	----

Figures in brackets denote numbers in which practice only followed at some centres.

^aTwo regional African societies representing ten countries, RP—Radiation Protection.

GT IRPa Phase III (2018) :

Report of IRPA task group on issues and actions taken in response to the change in eye lens dose limit
Marie Claire Cantone et al

J. Radiol. Prot. 40 (2020) 1508–1533 ; <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abb5ec>

Quelques détails sans pouvoir être exhaustif

27 pays ont l'intention d'adopter la limite de 20 mSv/an.

3 pays ont l'intention, au moment de l'étude, de conserver la limite à 150 mSv/an.

1 pays n'a pas de limite pour le cristallin pour le moment mais impose une double dosimétrie avec un dosimètre au niveau du cou.

Le National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) a recommandé une réduction de la limite à 50 mGy, et estime que toute réduction de la limite requerra une réévaluation des pratiques de suivi et de protection

De plus, le niveau au delà duquel le suivi est nécessaire n'est la même partout. Il est recommandé au dessus de 5–6 mSv / an dans 12 pays, et requiert dans 9 pays si il y a un risque de dépasser 15 mSv.

Les réponses mentionnent des difficultés de mise en place opérationnelle : ergonomie, disponibilité des services d'étalonnage, beaucoup de résultats sont entre 20 et 50 principalement pour les professions médicales !



GT IRPa Phase III (2018) :

Report of IRPA task group on issues and actions taken in response to the change in eye lens dose limit

Marie Claire Cantone et al

J. Radiol. Prot. 40 (2020) 1508–1533 ; <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abb5ec>

Quelques détails sans pouvoir être exhaustif

20 pays prévoient des surcouts importants jusqu'à 600k€ pour les plus « larges » pour le suivi des personnes
4 pays considèrent qu'il n'y aurait pas de cout additionnel car le dosimètre au niveau du cou ! est suffisant.
Seulement 2 pays considèrent que la réduction des « doses » aura un cout important ; ex. mise en place de protection individuelle (EPI) !

Discussion sur l'efficacité des EPI, voir le design protection de coté !!! Souvent pas de procédure pour vérifier l'efficacité de EPI !! Mais 9 pays rapportent des études spécifiques pour optimiser l'utilisation ou le design des EPI. 4 pays considèrent que les EPI sont bons avec adéquation des dosimètres existants au EPI

5 pays proposent d'utiliser un dosimètres sur la protection et d'appliquer un facteur de correction.

11 pays recommandent de porter le dosimètre à proximité de l'œil, 4 sur la protection, 3 sous la protection, et 4 selon la convenance et le confort des utilisateurs. Cela conduit à de multiple combinaison concernant la classification des travailleurs.

1 pays utilise Hp(10) pour évaluer la dose au cristallin !

Concernant la modification de la législation et l'édition de guide pratique : 39 pays indiquent une forte activité législative (19 pays sont passés à 20 mSv/an)

GT IRPa Phase III (2018) :

Report of IRPA task group on issues and actions taken in response to the change in eye lens dose limit
Marie Claire Cantone et al

J. Radiol. Prot. 40 (2020) 1508–1533 ; <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abb5ec>

Table 2. Dosemeters developed for monitoring the dose to the lens of the eye.

Country	Organisation developing dosemeter	Dosemeter name	Dosemeter type ^a
Belgium	SCK-CEN, Chyuda Techno dosimetry services		TLD
China	CIRP—China Institute of Radiation Protection		
France	IRSN Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety	DOSIRIS	TLD
USA/Europe	LANDAUER	VISION [®] nanoDot	TLD OSL
Switzerland	DOSILAB	dosiEYE	TLD
Germany	Dosimetrics		OSL
Sweden	Gammadata	EYE-D	TLD
Russia	St Petersburg Research Inst. Of Radiation Hygiene	MKD-A	TLD
Thailand	TINT—Thailand Institute of Nuclear Technology	nanoDot	OSL

^aTLD: thermoluminescent dosemeter; OSL: optically stimulated luminescence.

GT IRPa Phase III (2018) :

Report of IRPA task group on issues and actions taken in response to the change in eye lens dose limit

Marie Claire Cantone et al

J. Radiol. Prot. 40 (2020) 1508–1533 ; <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abb5ec>

CONCLUSIONS GT IRPA III

- l'introduction d'une limite annuelle de dose de 20 mSv pour le cristallin est en bonne voie dans la majorité des pays.
- Tous les pays n'ont pas l'intention adopter les 20 mSv/an dans un avenir « prévisible ».
- Par rapport aux enquêtes précédentes,
 - ✓ quantité importante de travail réalisée concernant la mise en œuvre pratique.
 - ✓ Mais directives nationales et internationales disponibles et en place dans seulement la moitié des pays étudiés.
- Formation et éducation cruciales pour garantir une utilisation appropriée des protections et accroître la sensibilisation.
- 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.



Le futur à moyen (long) termes ?????

**Retour à une mesure de la dose absorbée plutôt qu'un suivi
en termes d'équivalent de dose !!!!! pour la dosimétrie
d'extrémité et du cristallin ????**



Quelques publications non citées dans les diapositives précédentes

Principle for the design of radiation protection dosimeters for operational and protection quantities, J.M. Bordy, G. Gualdrini, J. Daures and F. Mariotti, *Radiation protection dosimetry*, (2011) 144(1-4): 257-261

Proposals for the type tests and calibration methodology of passive eye lens dosimeters in interventional cardiology and radiology workplaces, J.M. Bordy, J. Daures, M. Denozière, G. Gualdrini, M. Guijaume, E. Carinou, F. Vanhavere, *Radiation Measurements* [doi:10.1016/j.radmeas.2011.07.035](https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.07.035) |

The new eye-dTM dosimeter for measurements of Hp(3) for medical staff, P. Bilski, J.-M. Bordy, J. Daures, M. Denozière, E. Fantuzzi, P. Ferrari, G. Gualdrini, M. Kopec, F. Mariotti, F. Monteventi, S. Wach, *Radiation Measurements*, [doi:10.1016/j.radmeas.2011.04.031](https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.04.031) |

Monte carlo determination of the conversion coefficients $H_p(3)/K_a$ in a right cylinder phantom with penelope code. comparison with "mcnp" simulations“ J. Daures, J. Gouriou, J.M. Bordy, *Radiation Protection Dosimetry* (2011) 144(1-4): 37-42

ENEA extremity dosimeter based on LiF(Mg,Cu,P) to evaluate $H_p(3,\alpha)$, Mariotti, E. Fantuzzi, B. Morelli, G. Gualdrini, M. C. Botta, G. Uleri, J.M. Bordy, and M. Denozière, *Radiation Protection Dosimetry* (2011) 144(1-4): 187-191

Eye lens dosimetry: task 2 within the ORAMED project G. Gualdrini, F. Mariotti, S. Wach, P. Bilski, M. Denozière, J. Daures, J.M. Bordy, P. Ferrari, F. Monteventi, and E. Fantuzzi; *Radiation Protection Dosimetry* (2011) 144(1-4): 473-477

Conversion coefficients from air kerma to personal dose equivalent, Hp(3) for eye-lens dosimetry, Daures, J., Gouriou, J. and Bordy, J.-M., ISSN/0429-3460, CEA-R-6235. CEA (2009)

Principles for the Design and Calibration of Radiation Protection Dosimeters for Operational and Protection Quantities for Eye Lens, Bordy, J.-M., Gualdrini, G., Daures, J., Mariotti, F., *Dosimetry. Rad. Prot. Dosim.* 144, 257-261 (2011)

A new cylindrical phantom for eye lens dosimetry development, Gualdrini, G., Mariotti, F., Wach, S., Bilski, P., Denozière, M., Daures, J., Bordy, J.-M., Ferrari, P., Monteventi, F., Fantuzzi, E., Vanhavere, F, *Rad. Meas.* 46, 1231-1234 (2011)

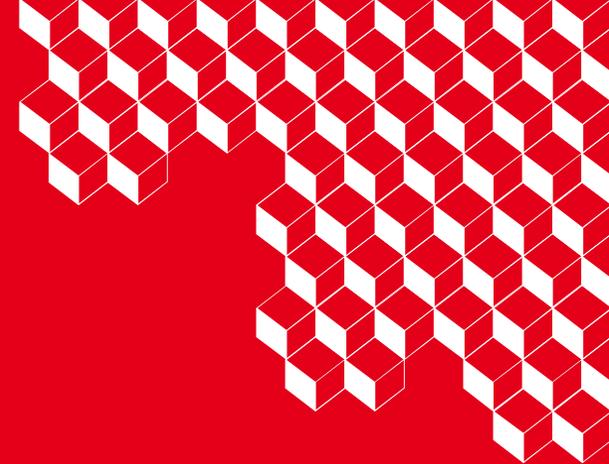
ORAMED project. Eye lens dosimetry. A new Monte Carlo approach to define the operational quantity Hp(3)., Mariotti, F. and Gualdrini, G., ISSN/0393-3016, RT/2009/1/BAS. ENEA (2009)

Dose conversion coefficients for photon exposure of the human eye lens, Behrens, R. and Dietze, G., 2011 *Phys. Med. Biol.* 56 415–437.

.../...



list



Merci pour votre attention