



LNHB

Laboratoire National
Henri Becquerel



Tutorial n°8

Mesure de la « dose » due à l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants : Objectifs et Evolutions

Alain BIAU(1), Jean-Marc BORDY(2)

(1) IRSN Fontenay aux Roses ; (2) CEA, LIST, LNE LNHB, F-91191 Gif-Sur-Yvette, France

Contenu de ce tutorial

Très large sujet que nous ne pourrions pas traiter dans tous ses détails, nous nous limiterons principalement aux photons et électrons

- Objectifs de la dosimétrie en RadioProtection
- Quelques dates clefs pour la France
- Les services de dosimétrie opérants en France
- Revue des principales techniques de mesure (film, TLD, RTL, OSL)
- Quelques caractéristiques des dosimètres individuels utilisés
- La confrontation aux tests de performance
- Quelques limites du système de grandeurs dosimétriques actuel
- Quelques éléments de réflexion du groupe ICRU 26 sur l'évolution des grandeurs opérationnelles

Objectifs de la dosimétrie en RP

Estimation simple fiable et précise du risque d'effet stochastique dû aux Ray. Ionisants

Limites annuelles d'exposition.

Grandeur utilisée pour exprimer la limite	Limite (mSv) Travailleur catégorie A	Limite (mSv) Travailleur catégorie B	Limite (mSv) public
Dose efficace, E (mSv)	20 (a)	6	1 (b)
Dose équivalente, H_T (mSv) Cristallin	150 (e,f)	-	15 (f)
Dose équivalente, H_T (mSv) peau, mains et pieds (d)	500 (c)	-	50 (c)

(a) Dépassement autorisé à 50 mSv/an dans la mesure ou la moyenne sur 5 ans est de 20 mSv/an), Décret 2003-296 du 31 Mars 2003: Article R231.96 « La somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser 20 mSv sur douze mois consécutifs. »

(b) Dépassement autorisé dans la mesure où la moyenne sur 5 ans est de 1 mSv/an)

(c) Valeur maximale moyennée pour 1 cm² de peau quelle que soit la surface exposée, cette valeur ne doit pas entraîner un dépassement de la limite de dose efficace, E .

(d) Pour le public seule la peau est considérée.

(e) La décision CIPR (4825-3093-1464) préconise 20 mSv pour les travailleurs en moyenne sur 5 ans avec un maximum pour une année de 50 mSv.

(f) La directive européenne 2013-059 « basic safety standard » publiée en janvier 2014 maintient une valeur à 15 mSv pour le public mais s'aligne sur la décision de la CIPR mentionné au point (e) pour les travailleurs.

Les grandeurs de protection H_T et E permettent d'établir des limites,
mais ne sont pas mesurables .../...

Objectifs de la dosimétrie en RP

Mise en place de grandeurs dites opérationnelles, équivalents de dose, pour estimer les grandeurs de protection

Récapitulatif des grandeurs opérationnelles.

Type de Dosimètre	Pouvoir de pénétration du rayonnement	Grandeurs dosimétriques opérationnelles
<u>Zone</u> Dosimètre d'ambiance	Fort	Equivalent de dose ambiant, $H^*(10)$
	Faible	Equivalent de dose directionnel, $H'(3)$
<u>Individuel</u> Dosimètre porté sur le corps	Faible	Equivalent de dose directionnel, $H'(0,07)$
	Fort	Equivalent de dose individuel, $H_p(10)$
	Faible	Equivalent de dose individuel, $H_p(3)$
		Equivalent de dose individuel, $H_p(0,07)$

Pour la peau et le cristallin, les profondeurs sont choisies en fonction de la localisation de l'organe cible.

Pour le corps entier, 10 mm représente une solution de compromis pour estimer au mieux E quels que soient le rayonnement et son énergie.

Objectifs de la dosimétrie en RP

Schéma globale de la méthode de dosimétrie externe

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 des grandeurs opérationnelles dans les installations

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

Vérification du respect des limites

Dates clefs en France

Décret 67-228 du 15 mars 1968 (arrêté du 19 avril 1968) : Dosimétrie photographique seule technique réglementaire, premier « décret travailleurs » en France.

Décret du 28 avril 1975 : INB autorisées à assurer la dosimétrie de leurs propres travailleurs (CEA, COGEMA, EDF) sous réserve de vérifications par le SCPRI.

Décret du 24 décembre 1998 : Introduction de la dosimétrie opérationnelle obligatoire en zone contrôlée, maintien de la dosimétrie passive sans monopole de la dosimétrie photographique.

Décret 2003-296 du 31 Mars 2003 : Réduit les limites de « dose » sur 12 mois (20 mSv, 6mSv et 1mSv)

Services de dosimétrie opérants en France

Secteur d'activité ou établissement	Dosimètres corps entier	Seuil* (en mSv)	Dosimètres poignets	Seuil* (en mSv)	Dosimètres Bagues	Seuil* (en mSv)
ALGADE	X et γ : TLD	0,1	-	-	-	-
AREVA NC La Hague	X, β , γ et neutrons : TLD	0,1 (0,34 pour neutrons)	X, β , γ et neutrons : TLD	0,1 (pour photons)	-	-
AREVA NC Marcoule	X, β , γ et neutrons : TLD	0,1 (0,33 pour neutrons)	X, β , γ et neutrons : TLD	0,5	-	-
DOSILAB	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
IPHC	X, β , γ : RPL	0,1	X, β , γ : RPL	0,1	-	-
IPN	X, β , γ : RPL	0,05	-	-	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-	-	-
IRSN	X, β , γ : RPL	0,05	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-
LANDAUER EUROPE	X, β , γ : OSL	0,05	X, β , γ : OSL	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces (standard ^a ou équipé d'un radiateur en téflon ^b)	0,1	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-
SPRA	X, β , γ : OSL	0,1	X, β , γ : OSL	0,1	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,2	-	-	-	-

* Le seuil mentionné ici est le seuil d'enregistrement retenu par le laboratoire

Rapport PRP-HOM/2012-007 (IRSN)

La **dosimétrie photographique pour illustrer la méthode** (obligatoire en France de 1968 à 1999)

- **Norbert Chassende-Baroz** a créé le dosimètre photographique français à base de papier photo, fabriqué par KODAK France utilisé au SCPRI, CEA et LCIE jusqu'à la fin des années 70 puis remplacé progressivement par les films KODACK et AGFA jusqu'au début 2000. (voir Vol 46 n°5 Radioprotection)
- **P. Pellerin P. Brun, JP Moroni, A. Biau et M. Valero** au SCPRI (OPRI)
- **G. Soudain, G. Portal, F. Bermann, Y. Magri** au CEA/IPSN
- **G. Leroy** au LCIE

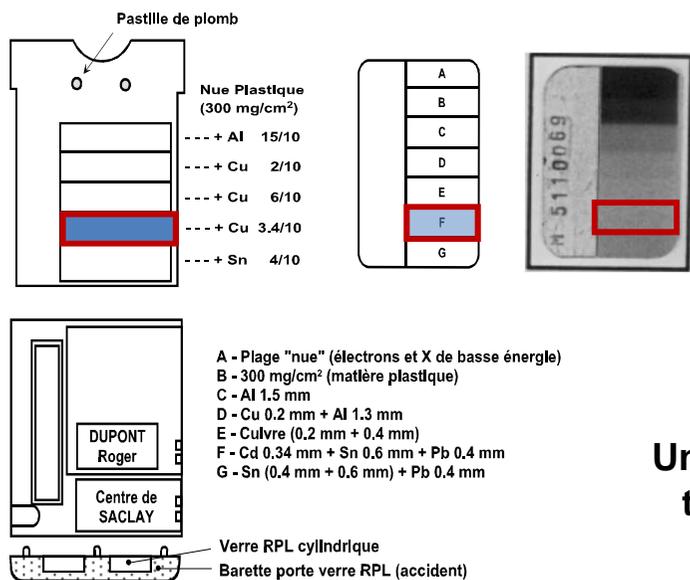
Avantages

- Technique simple et bien maîtrisée
- Faible coût adapté à une surveillance à grande échelle (coût d'un timbre poste)
- Possibilité de relecture

Inconvénients

- Dosimètre fragile si utilisé sans conditionnement étanche (humidité, chaleur, enveloppe papier qui peut se décoller et laisser entrer la lumière)
- Difficultés de marquage et d'identification du dosimètre, sauf pour le dosimètre Chassende Baroz
- Technique qui ne se prête pas facilement à l'automatisation du traitement et nécessite des travaux dans l'obscurité

Boîtier film photographique CEA (type PS).



Une **BARRIERE** peut être tournée en avant :



Principe du dosimètre multi-écran



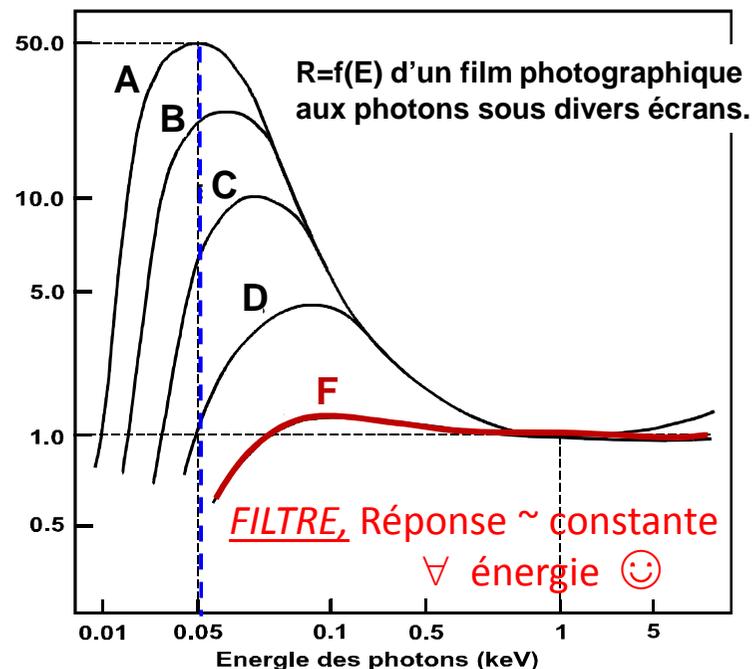
Spectrometrie en Energie :

Détermination de la nature du rayonnement, estimation du « spectre » en énergie, ...

Ex. (algorithme linéaire) :

$$D = N_A \cdot I_A + N_B \cdot I_B + N_C \cdot I_C + N_D \cdot I_D + N_E \cdot I_E + N_F \cdot I_F + N_G \cdot I_G$$

Réponse (u. a.)



N : Coef. d'étalonnage

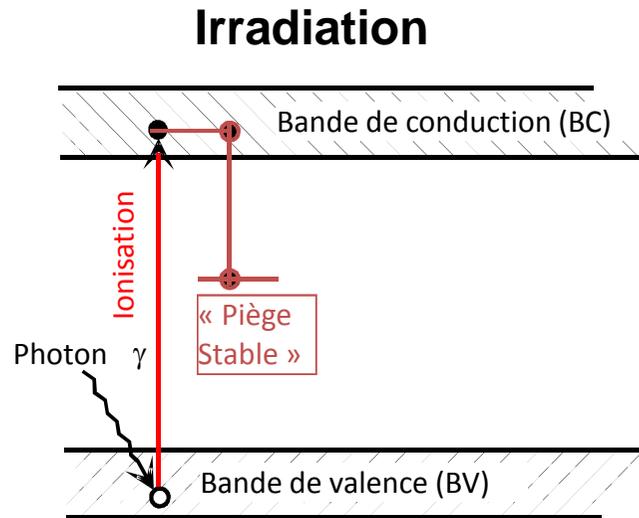
I : Indication du dosimètre

Techniques de mesure

Informations « complémentaires »

Traces de contamination	Paire de ciseaux	coupes de scanner
Conditions de travail	Conditions de port du dosimètre	Dosimètres exposés volontairement sans écran dans des scanners

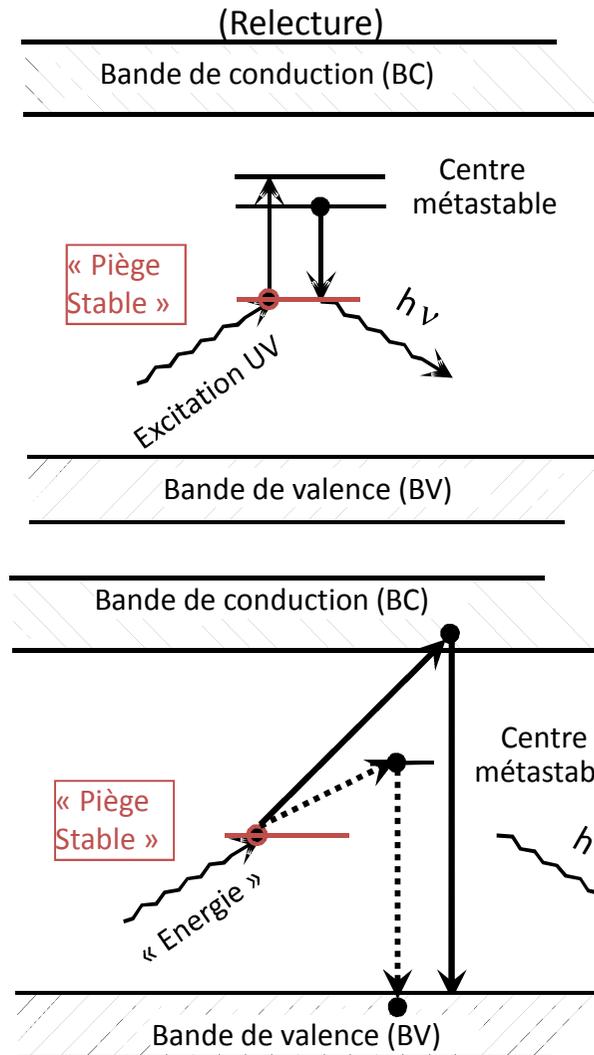
Techniques de mesure



Radio ThermoLuminescent (RTL)
(FLi, So_4Ca , ...)

Luminescence optiquement stimulée
OSL ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$)
(« Relecture » possible)
Ref. : *Phys Med Biol* 53 (2008) R351-R379

Radio Photoluminescent (RPL)



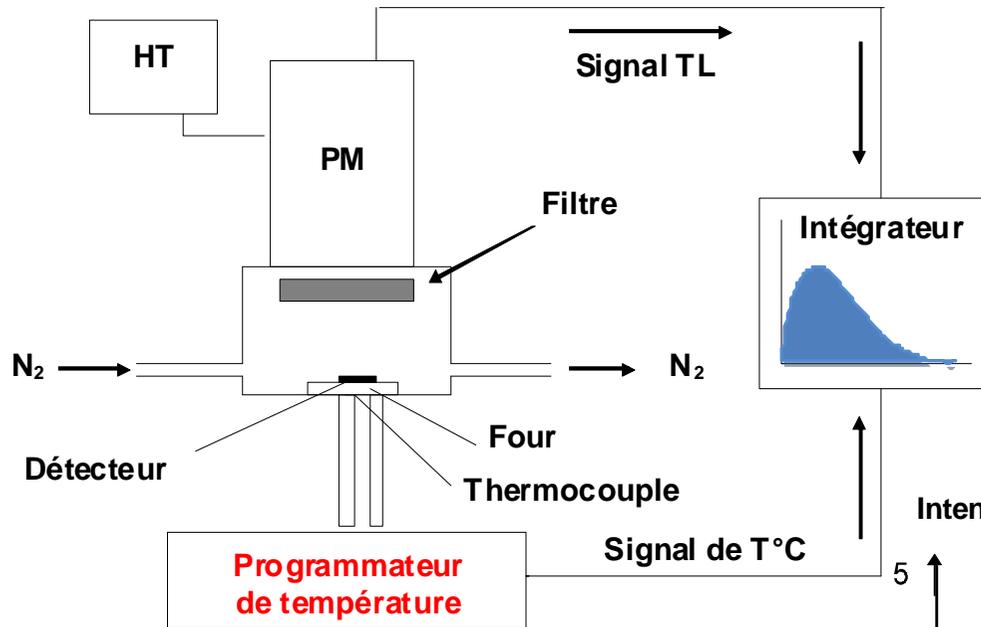
**Quantité
de lumière

« Dose »**

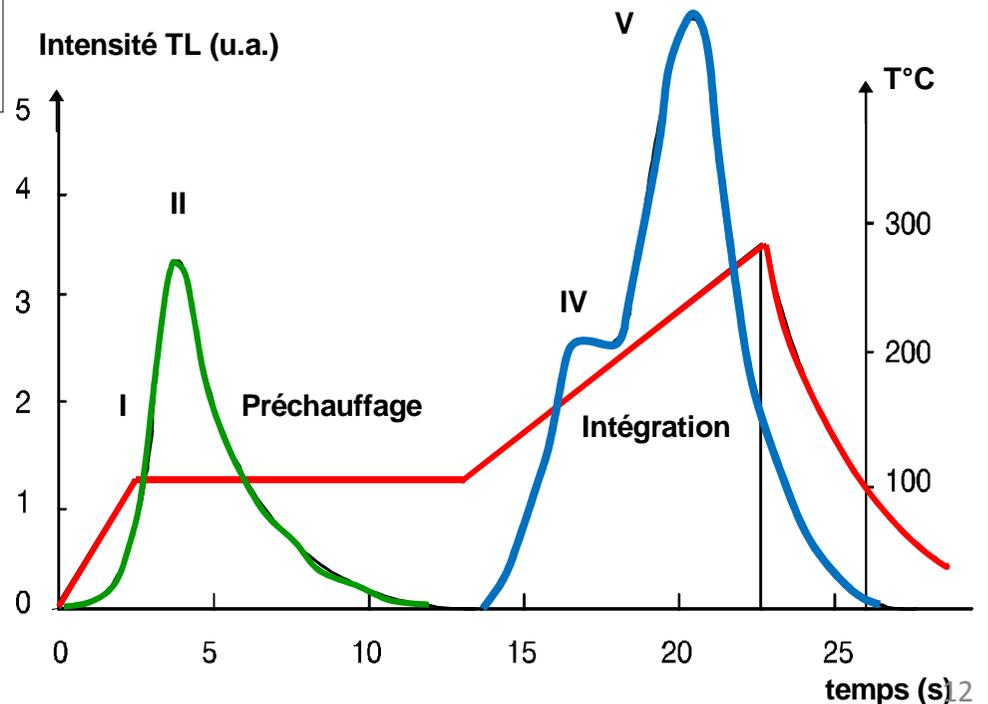
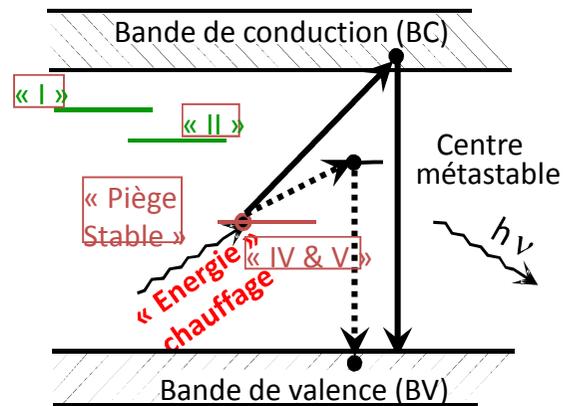
**Pas d'info
sur l'origine
de la
Luminescence**

**Solution
multi-écrans**

Techniques de mesure



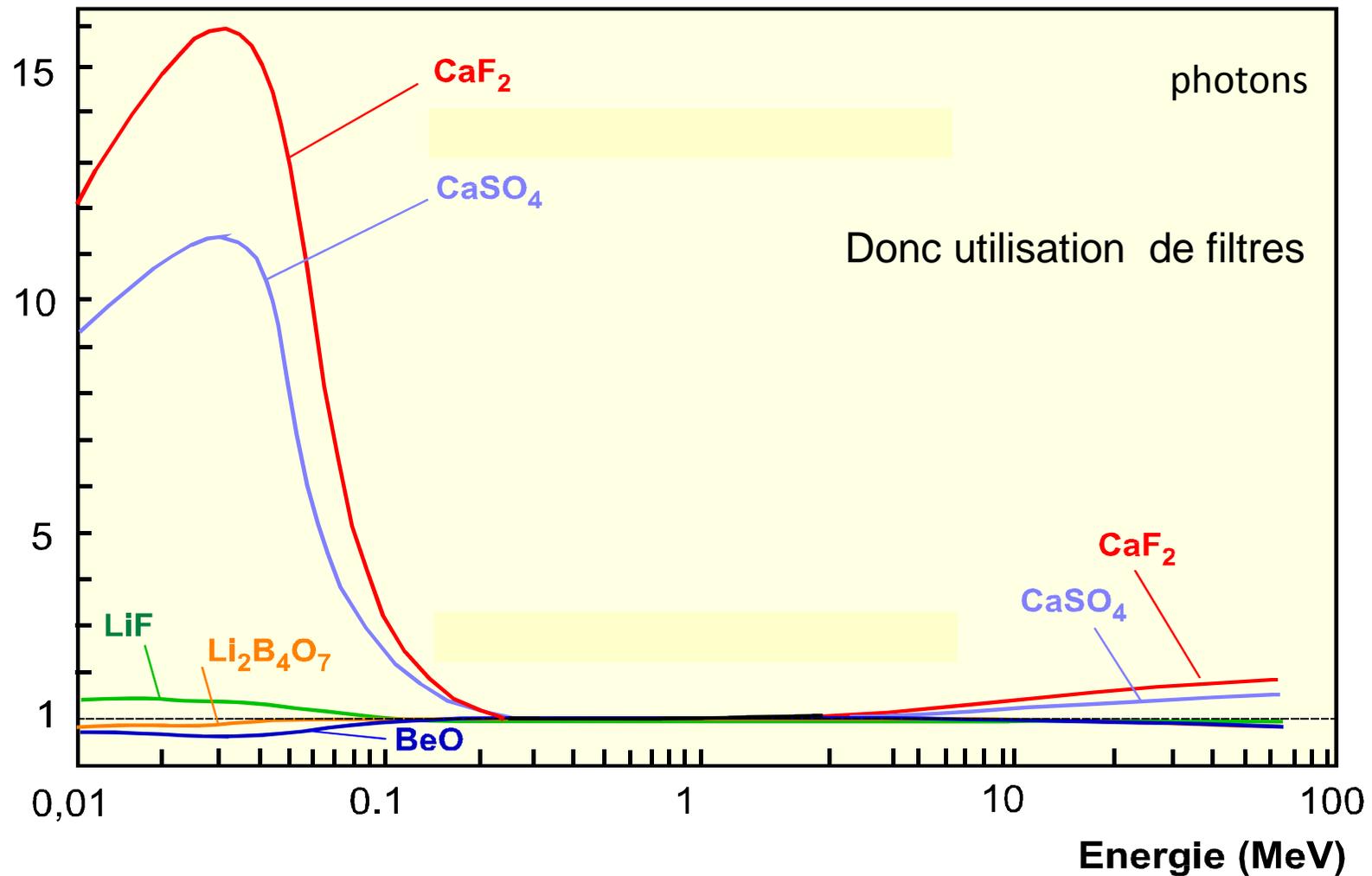
Radio Thermo Luminescent (RTL)
 Un préchauffage permet de « vider » les pièges peu profonds donc moins stables présentant un « fading » important



Techniques de mesure

Radio Thermo Luminescence (RTL)

Réponse normalisée (^{60}Co)



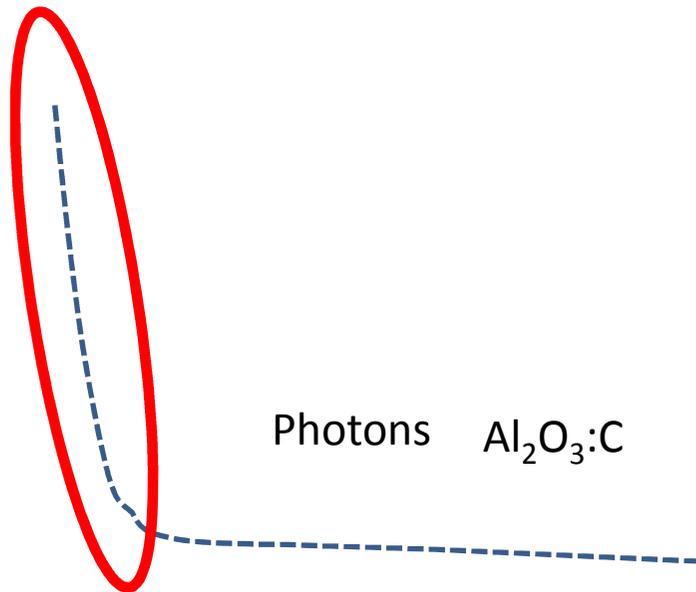
Techniques de mesure

Optically Simulated Luminescence

Comparaison de la réponse en fonction de l'énergie des photons pour $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ et FLi

OSL

FLi (RTL)



Mobit et al. Radiat Prot Dosim 119, 497-499, 2006).

Exemple de mise en œuvre pour la dosimétrie individuelle

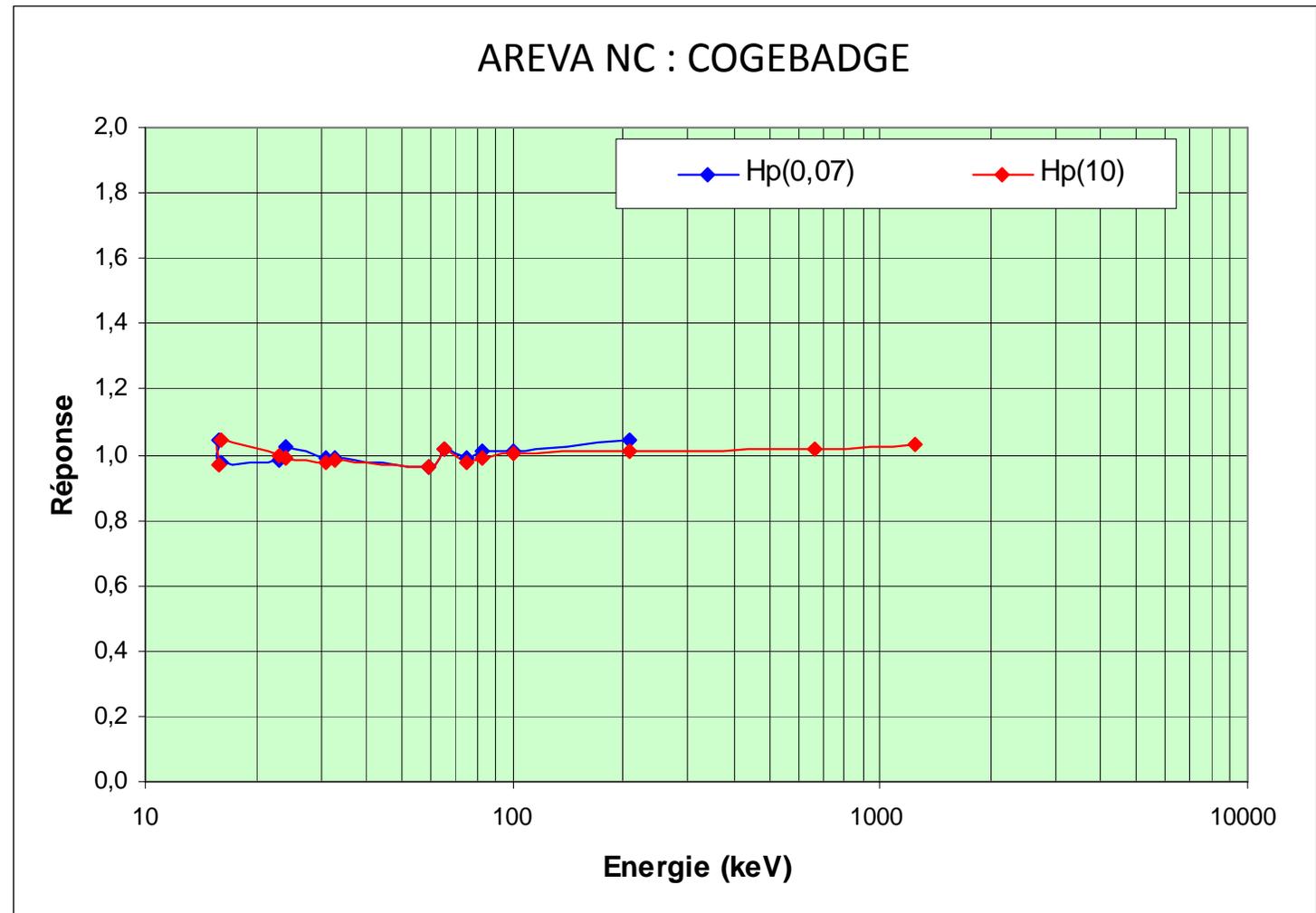
Radiophotoluminescence (RPL)

**5 (15) plages ; X γ β ; seuil 0.05 mSv ;
 $H_p(10)$ & $H_p(0,07)$**

Exemple de mise en œuvre pour la dosimétrie individuelle

4 pages ; X γ β ; seuil 0.15 mSv ; $H_p(10)$ & $H_p(0,07)$

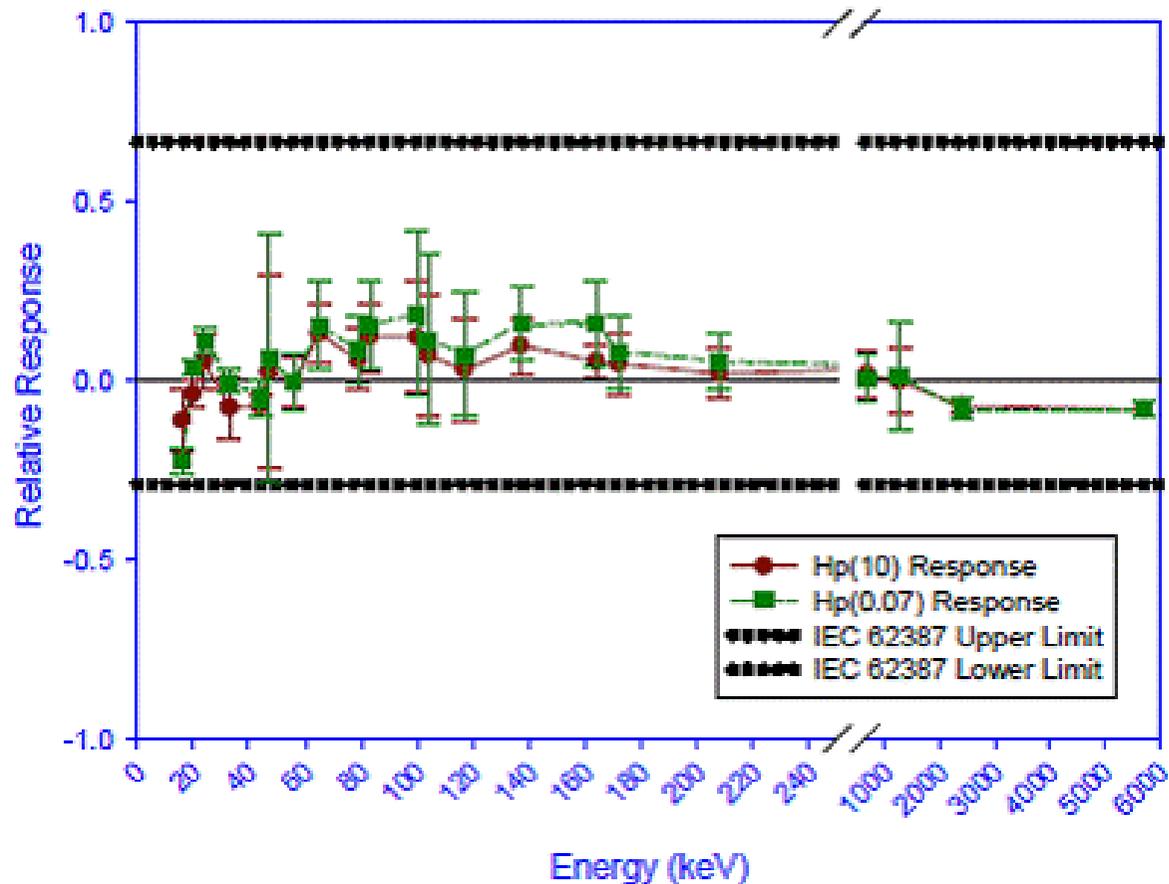
Radio Thermo
Luminescence (RTL)



Exemple de mise en œuvre pour la dosimétrie individuelle

Luminescence optiquement stimulée ($Al_2O_3:C$)

4 plages ; X γ β ; seuil 0.05 mSv ;
 $H_p(10)$ & $H_p(0,07)$



Exemple de mise en œuvre pour la dosimétrie individuelle



Les résultats des tests de type pour la caractérisation des performances des dosimètres montrent que la solution multi-détecteurs associée à des écrans/filtres adaptés et à des algorithmes linéaire ou à branche donne de bon résultats.

Reste à savoir si dans la pratique, en routine, ces performances sont avérées

Tests de performance

Test de performance des services de dosimétrie européens (2000)

neutrons, les photons et les particules bêta

Photons : ~ 50 keV à ~7 MeV (différentes orientations)

Haute énergies	P01	R-F (0°) + W-300 (WA ± 80°) (50% + 50%)	P07	S-Ir (0°)	moyenne énergies
	P02	RF (0°) + W-300 (WA ± 80°) (20% + 80%)	P08	S-Ir (WA ± 80°)	
	P03	R-F (0°)	P09	S-Co (0°) + W-80 (WA ± 80°) (50% + 50%)	Mélange Moyenne et basse énergies
	P04	R-F (0°) without electronic equilibrium	P10	S-Co (0°) + W-80 (WA ± 80°) (80% + 20%)	
moyenne énergies	P05	S-Ir (0°) + S-Ir (WA ± 80°) (50% + 50%)	P11	S-Co (0°) + W-80 (WA ± 80°) (80% + 20%)	
	P06	S-Ir (0°)	P12	W-80 (WA ± 80°)	

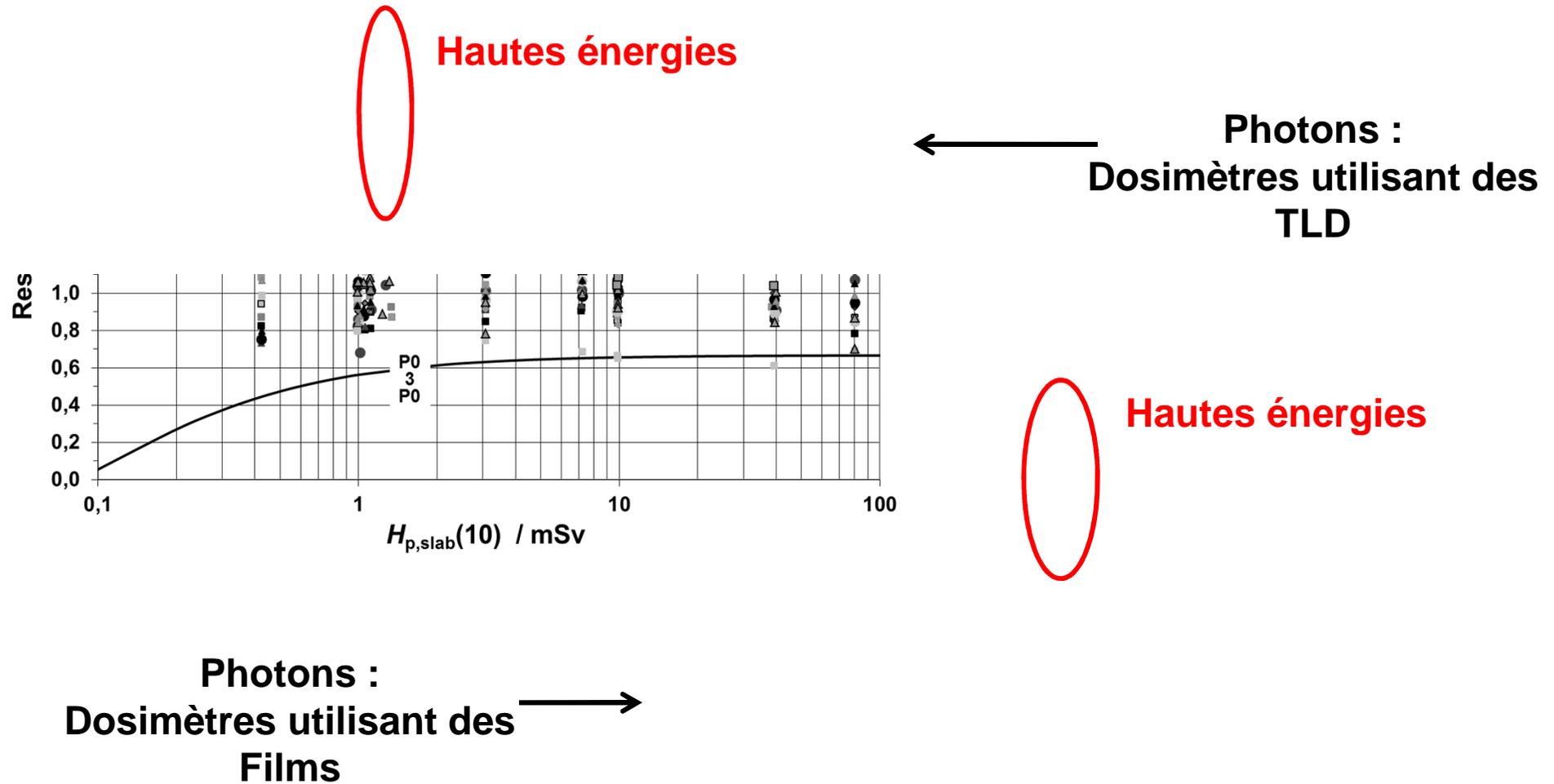
Particules bêta : (différentes orientations)

⁹⁰Sr-⁹⁰Y (max 2284 keV)

²⁰⁴Tl (max 763.4 keV)

(¹⁴⁷Pm (max 224.7 keV))

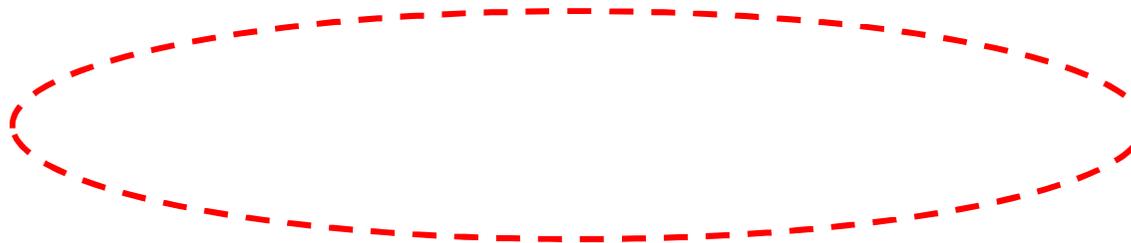
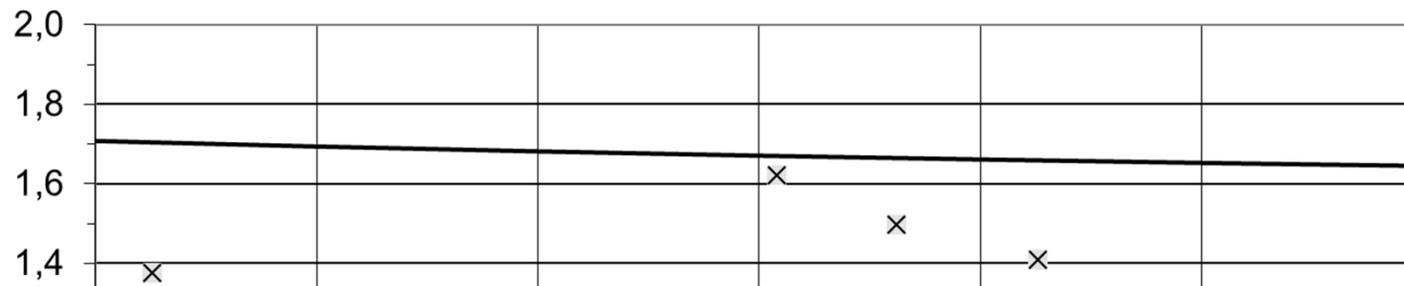
Tests de performance



Radiat Prot Dosim, Vol 89, n° 1-2, pp 107 - 154, 2000

Tests de performance

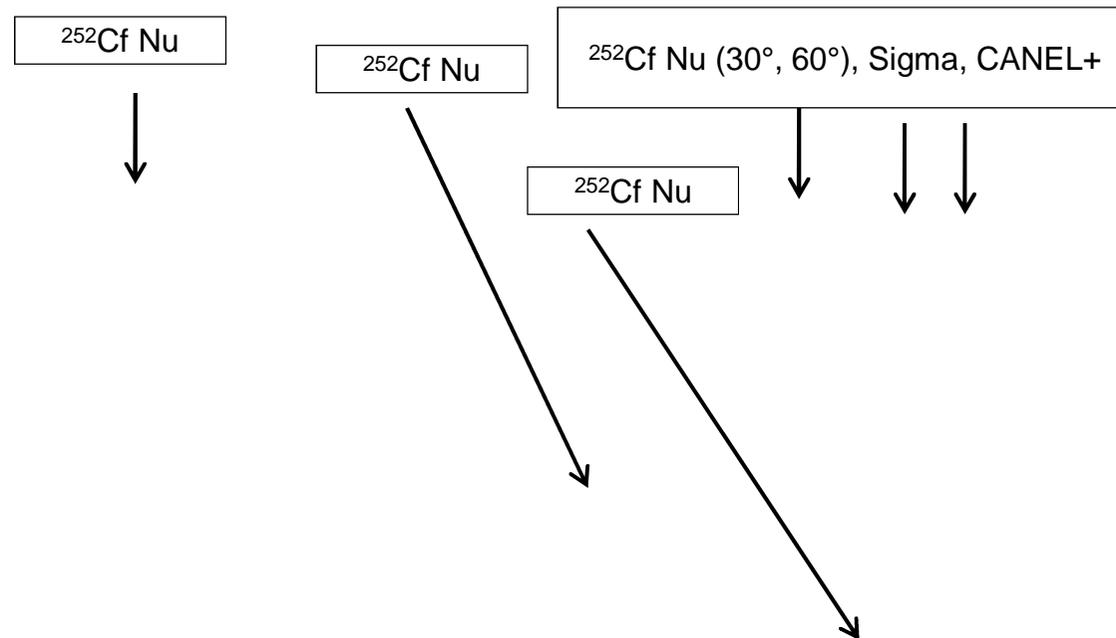
Particules bêta



Angle !
Energie !

Tests de performance

neutron



Radiat Prot Dosim, Vol 89, n° 1-2, pp 107 - 154, 2000

Marqueur d'une difficulté technique
d'utilisation des détecteurs en dosim. individ.

Quel que soit le système dosimétrique et les caractéristiques intrinsèques de son détecteur, les performances peuvent être correctes.

Ces performances résultent très largement :

Du **design des dosimètres** (détecteur(s) + écrans/filtres)

Des **algorithmes de calcul** des grandeurs dosimétriques

L'ensemble est **spécifiquement adaptés** aux grandeurs dosimétrique,

si ces dernières changent **une refonte du système** peut s'avérer nécessaire.

Détecteurs, filtres, algorithmes ?

Quelques limites du système actuel

Calcule des coefficients de conversion avec la kerma approximation !!!

Q(L) dans l'eau pas dans le tissu ICRU

Q(L) utilisé au point de dépôt d'énergie, w_R relatif au rayonnement incident

Uniquement deux fantômes dans ICRU (sphère et « slab »)

il en résulte la différences entre grandeurs opérationnelles et de protection

Manques des valeurs de coefficients de conversion pour les hautes énergies

.../...

Quelques limites du système actuel

$H'(0,07)$ surestime H_{peau}

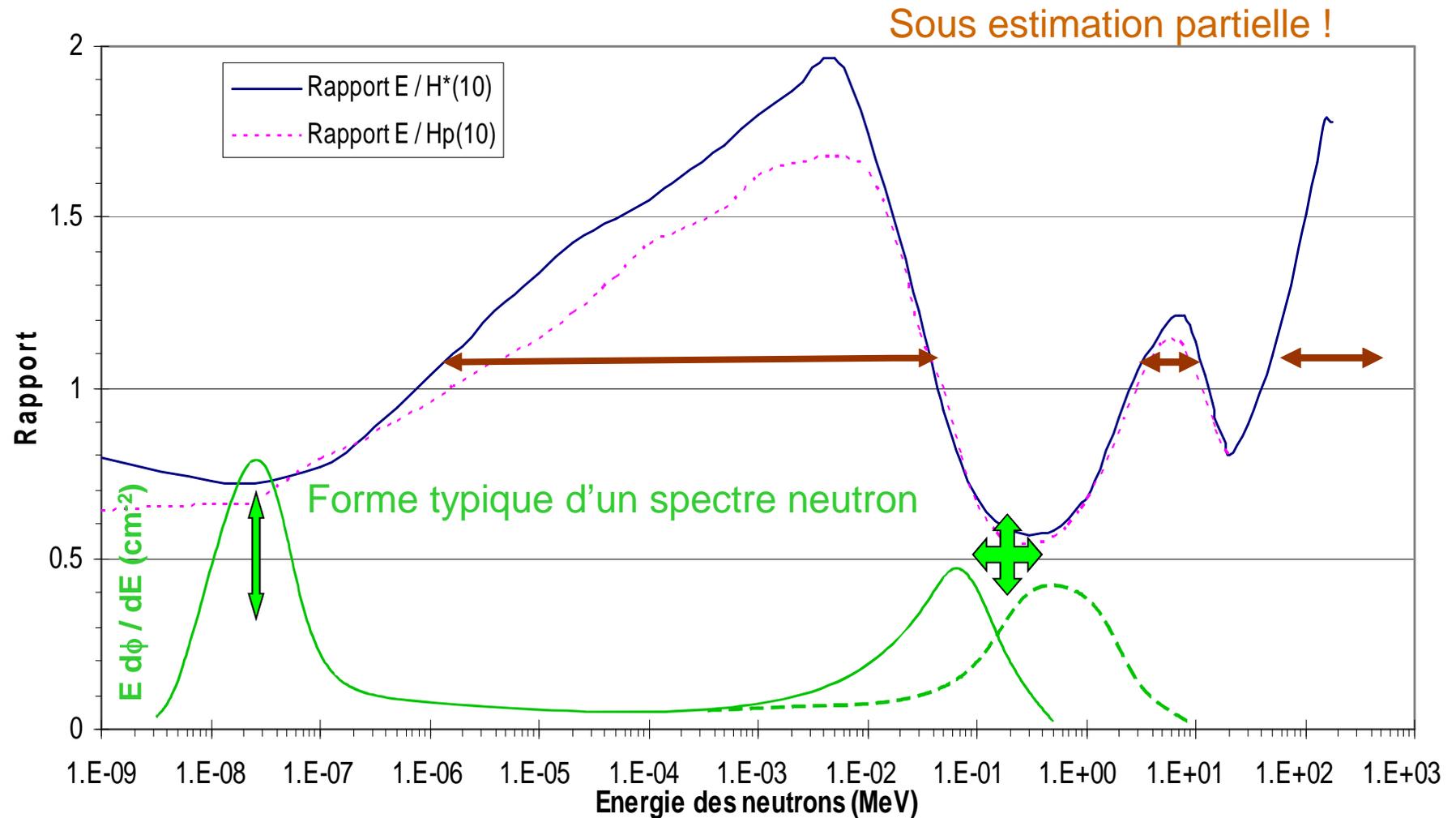
Quelques limites du système actuel

Fausse bonne idée exemple :

$$H'(0,07) = H_p(3) = D_{\text{cristallin}}$$

Quelques limites du système actuel

Equivalents de dose, $H^*(10)$, $H_p(10,0^\circ)$



Quelques limites du système actuel

Evolution ICRP, calcul des coefficients de conversion

Différences accrue au dessus de ~ 700 keV !



ICRU WG 26 quelques pistes

Propositions/reflexions :

Introduction des fantômes doigt ($D=1,9$ cm) ,
poignet ($D=7,2$ cm) et tête ($D=H=20$ cm)
pour l'instant il n'y a que la sphère ($D=30$ cm
et le « slab » ($30 \times 30 \times 15$ cm³)

Utiliser des coefficients de conversion pour les grandeurs opérationnelles dont le calcul inclue le suivi les particules secondaires

Il s'agit :

- De respecter la définition de l'équivalent de dose $H = Q D$ et pas $H = Q K$
- De se rapprocher des conditions de calcul des coefficients de conversion pour les grandeurs de protection

ICRU WG 26 quelques pistes

Passage au calcul avec suivi des particules secondaires
Pour les grandeurs opérationnelles (équivalents de dose)

ICRU WG 26 quelques pistes

Propositions/reflexions :

Principale question : concordance entre grandeurs de protection et grandeurs opérationnelles pour assurer une bonne estimation des grandeurs de protection par les grandeurs opérationnelles.

Séparer les cas des grandeurs dites isotropes (H^*) ou non (H' et H_p)

Séparer les cas où l'étalonnage est fait dans l'air (H^* , H') ou sur fantôme (H_p)

Lié au test de type nécessaire pour qualifier les dosimètres

ICRU WG 26 quelques pistes

Abandonner la sphère et $Q(L)$ donc $H^*(d)$ et utiliser E_{max} /enveloppe (anthropomorphe et w_R-w_T) quelle que soit l'orientation dans le champ de rayonnement (AP PA LLAT RLAT ISO ROT)


 $E(AP)$

Nouveau nom :

« Equivalent de dose ambient » ☺

Nouveau symbole : H^* ☺

ICRU WG 26 quelques pistes

Propositions/reflexions

Isotopique / $H^*(d)$: E_{max} /enveloppe ; « Equivalent de dose ambient » ; H^* ☺

Non isotropique / $H'(d,\Omega)$: Calculer dans un fantôme anthropomorphe (donc sur l'organe cible) en fonction de l'angle Ω

Nom : « Dose directionnelle au cristallin » et « Dose directionnelle locale à la peau »

Symbole : $H'_{cristallin}$ et $H'_{peau,local}$

Réflexion en cours pour la dosimétrie individuelle, équilibre à trouver entre nécessité d'un fantôme pour les tests de type et l'étalonnage et des valeurs de coefficients de conversion proche de ceux des grandeurs de protection.

Pas de modification des procédures d'étalonnage

Nous vous remercions pour votre attention