

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Les outils de dosimétrie externe : ce qui existe, ce qui est en développement et problèmes restant à résoudre

Alain RANNOU

Direction de la Radioprotection de l'homme

alain.rannou@irsn.fr

De nouveaux types d'installations nécessitant des outils de dosimétrie adaptés

- Installations pour les applications médicales et la recherche (e.g. projets d'hadronthérapie *Etoile* à Lyon et *Archade* à Caen)
 - Rayonnements pulsés (faisceaux primaires typiquement de 1 s, fréquence 0,5 Hz) + rayonnements secondaires
- Accélérateurs et générateurs X délivrant des impulsions uniques ou des trains d'impulsions de rayonnements de haute intensité, dans l'industrie et la recherche (quelques mGy à kGy en quelques dizaines de ns à ms)
- Lasers Pulsés (10^{-15} secondes) de ultra-haute intensité (qq centaines de TW à qq PW) produisant des e^- de plusieurs dizaines de MeV
 - Champs complexes d'ions et de rayonnements secondaires (X, n)
- Installations de fusion (projet ITER)

....mais aussi des besoins non complètement satisfaits pour des situations plus conventionnelles

Dosimétrie individuelle externe : ce qui existe

- 2 techniques alternatives : dosimétrie passive et dosimétrie électronique
 - passive : utilisée depuis plus de 50 ans
 - électronique : un REX de plus de 10 ans
- Présentent chacune des avantages et des inconvénients au plan technique et pour leur mise en œuvre
- Coexistent actuellement dans le cadre réglementaire français
 - Dosimétrie passive assurée par des laboratoires agréés
 - Dosimétrie opérationnelle mise en œuvre par la PCR

Dosimétries passive : situation actuelle en France (IRSN et labos agréés par l'ASN)

	Poitrine	Poignet	Bague
X, β et γ	OSL, TLD et RPL (0,05 à 0,10 mSv)	OSL et TLD (0,05 à 0,1 mSv)	TLD (0,1 à 0,3 mSv)
Neutrons	DST (CR-39) et TLD (0,1 à 0,2 mSv)	DST (CR-39) et TLD (0,05 à 0,2 mSv)	-

- Disparition définitive du film photographique fin 2009
- Les « nouveaux venus » : l'OSL et de la RPL

le DST

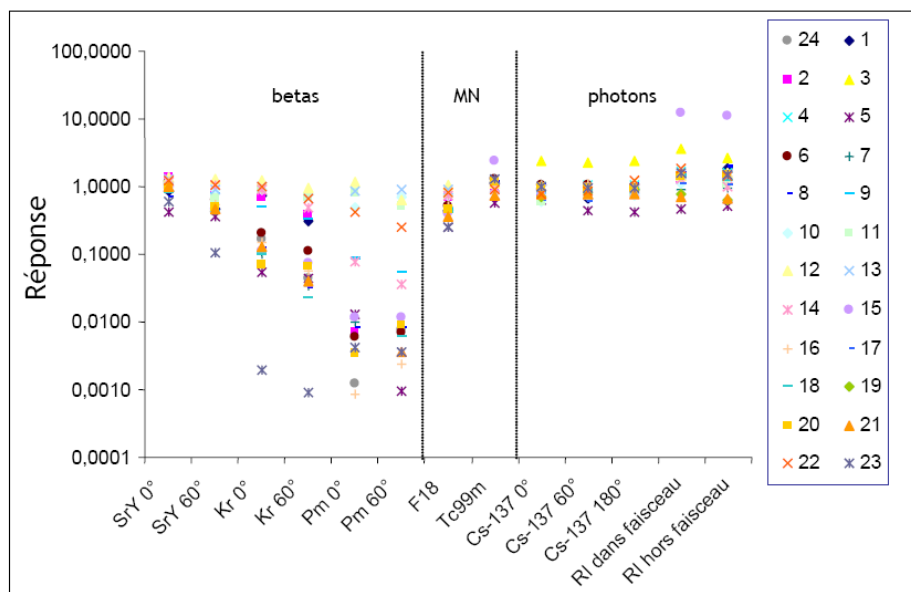
Dosimétrie des extrémités

■ le problème de la mesure de la dose aux extrémités

Intercomparaison de 24 laboratoires (16 pays)

- 9 types de dosimètres: LiF(21), Li₂B₄O₇(2), CaF₂(1)

- Epaisseurs : TLD = 8,5 -240 mg/cm²; Filtres = 3 - 65 mg/cm²



Donadille, Journées SFRP, Paris mai 2008

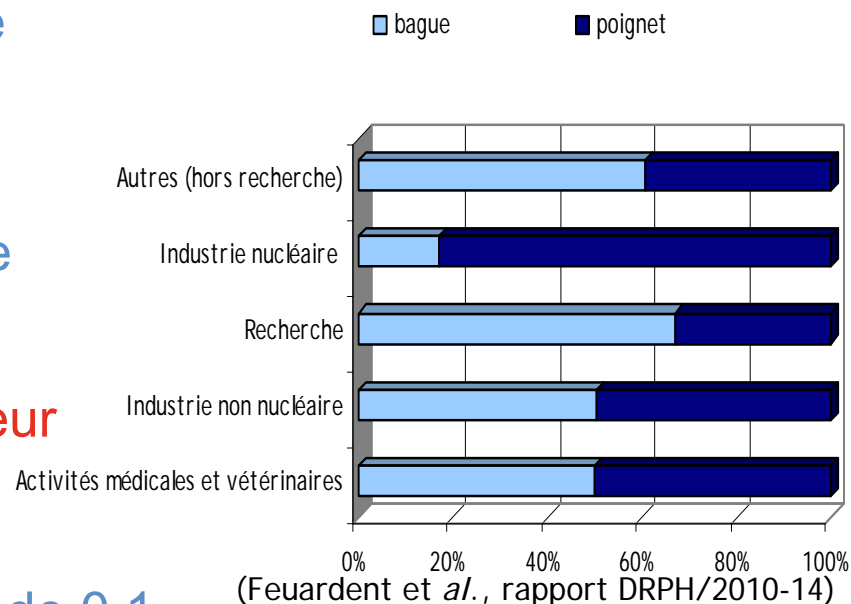
- Seuls 4/24 laboratoires présentent une réponse satisfaisante (au sens de la norme ISO 12794:2000)

- La dosimétrie 'bague' n'est pas représentative des doses maximales reçues



Dosimétrie des extrémités

- Dosimètre 'poignet' ou dosimètre 'bague' ?
- Nécessité de s'assurer de la pertinence du choix du dosimètre poignet,
- le cas échéant appliquer un facteur correctif
- Seuil de détection réglementaire de 0,1 mSv : non satisfait par certains types de dosimètres 'bagues'
- Situation à améliorer mais non critique
- L'important c'est de mettre en œuvre une surveillance !!!!



Evolutions en dosimétrie passive ?

- De nouvelles techniques à l'étude essentiellement pour la dosimétrie des neutrons
 - Technique OSL avec détecteur BeO (Sommer et Henniger, Radiat. Prot. Dosim., 2006)
 - Technique OSL + convertisseurs Li_6F (Yukihara et al., Radiat. Meas., 2008)
 - Fluorescent nuclear track detector (FNTD) : cristal $\text{Al}_2\text{O}_3: \text{C}, \text{Mg}$ couplé à une technique d'imagerie de la fluorescence permettant une discrimination neutrons rapides/gamma (Sykora et Akserod, Radiat Meas. 2010)

- Des évolutions du référentiel normatif pour la dosimétrie photons et bêta
 - Norme CEI 62387 (2007) applicable à tous les systèmes dosimétriques en lieu et place de la norme CEI 61066 pour la TLD [et ISO 1757 pour les films photographiques]

- ➔ Nécessité de vérifier certains points de conformité des dosimètres passifs 'poitrine' par rapport cette nouvelle norme (révision 2011)

Dosimétrie électronique (APD)

1/2

- Etude européenne EURADOS (Kamenopoulou et *al.*, Radiat. Prot. Dosim., 2006)
 - Enquête auprès des utilisateurs
 - Catalogue établi à partir des données fournies par les constructeurs



■ Principales observations

- Utilisation croissante et développements rapides de la dosimétrie électronique
- Davantage utilisée dans les centrales nucléaires que dans le domaine médical
- Les comparaisons entre dosimètres disponibles sur le marché montrent des différences significatives de caractéristiques

■ Principales observations (suite)

- Les paramètres les plus critiques sont leur réponse aux photons et bêtas de faibles énergies
- Ils peuvent être aussi fiables que les dosimètres passifs ... s'ils sont bien choisis
- La dosimétrie électronique peut être une solution économique uniquement pour de gros utilisateurs
- Les dosimètres sont (globalement) conformes aux normes internationales



■ Conclusion de l'étude

- des investigations complémentaires et des améliorations sont nécessaires, en particulier pour la dosimétrie des neutrons (et celles des extrémités)

- Mais aussi, des écarts de résultats par rapport à la dosimétrie passive

➔ Projet de norme ISO pour le traitement de ces écarts



Table 1. Technical characteristics of APDs and TLDs for beta, gamma and neutron personal dosimeters compared with IEC 61526 requirements.

Characteristic	IEC 61526 requirement	Typical values for APD	Typical values for TLDs
Size	<250 cm ³	100 cm ³ (31/31)	15 cm ³
Mass	<200 g	80 g (31/31)	50 g
Mechanical resistance	±10%, 1.5 m hard-tiled surface	Some APDs do not pass the test (~26/31)	No problem
Environmental immunity	±10%, 100 V m ⁻¹ at 100 kHz – 500 MHz and 1 V m ⁻¹ at 500 MHz – 1 GHz	Old APDs used to have problems (~28/31)	No problem
Effective range of Measurement	1 µSv – 1 Sv	1 µSv–10 Sv (25/31)	10 µSv – 1 Sv
Photon radiation fields (33 keV–2 MeV)	Dose equivalent, ±15%	(50 keV – 2 MeV) <u>(11/31)</u>	33 keV – 2 MeV
Beta radiation fields (⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y, ²⁰⁴ Tl)	Dose equivalent, ±15%	<u>(4/31)</u>	⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y (90%) ²⁰⁴ Tl (70%)
Neutron radiation fields	-35 to +122% (100 keV – 15 MeV -35 to 200% (0.025 eV – 100 keV)	<u>Only fulfilled in limited energy regions</u> ⁽¹⁰⁾	-50 to +100% in workplaces with field-dependent correction factors

In parentheses, the number of APDs that comply with the requirements are indicated

Ginjaume et al., Radiat. Prot. Dosim, 2007

Dosimétrie des neutrons

- Le problème non complètement résolu à ce jour est celui de la capacité des dosimètres à mesurer correctement l'équivalent de dose individuel dans toutes les configurations de champs

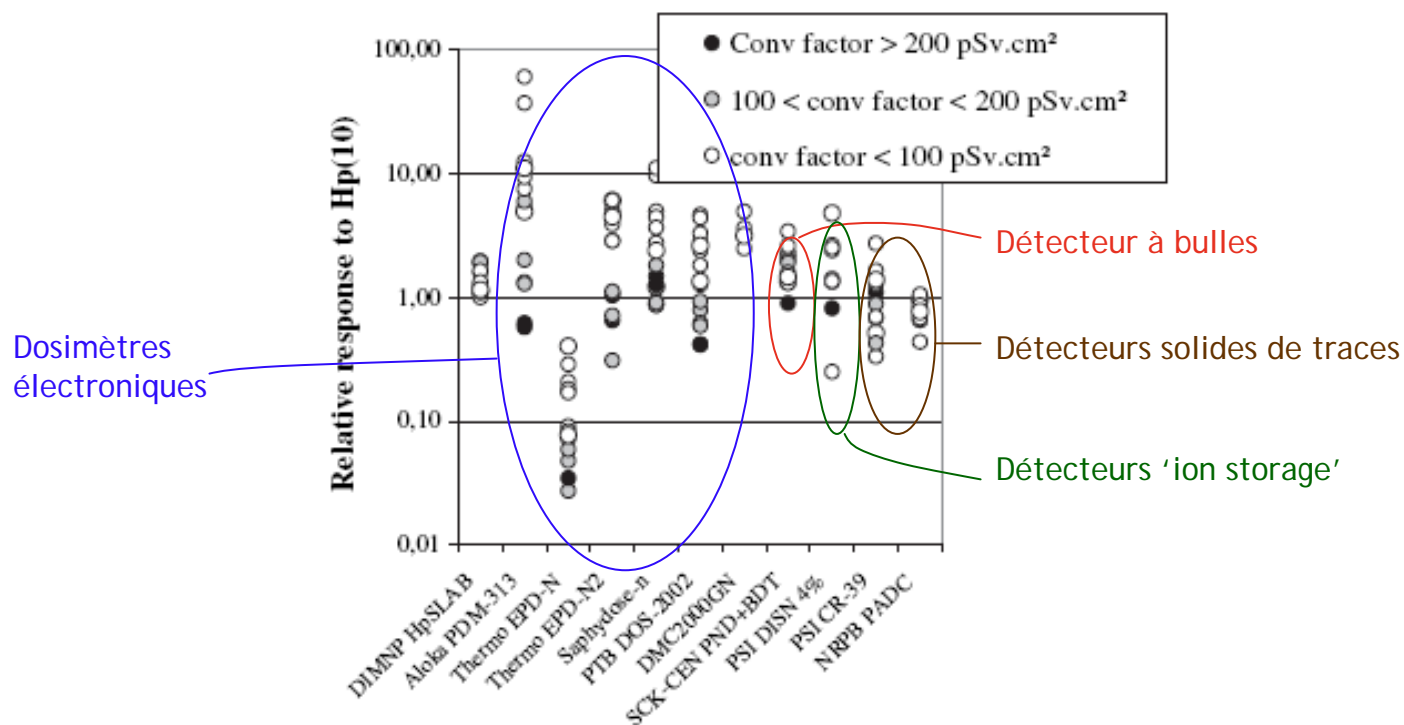


Fig. 2. Relative responses of different personal neutron dosimeters obtained in workplace fields during the EVIDOS project.

Projet EVIDOS : Luszik-Bhadra *et al.*, Radiat. Meas., 2007

« Saphydose-N : better radiologically but not user friendly » (Vanhavere, 2010)

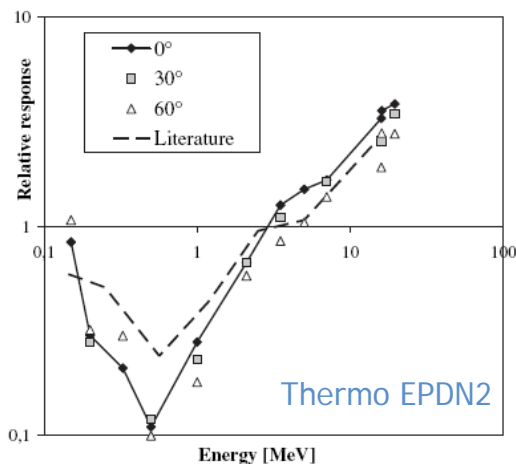


Fig. 4. Relative response to $H_p(10)$ from the EPD2 for different quasi mono energetic neutrons at 3 angles.

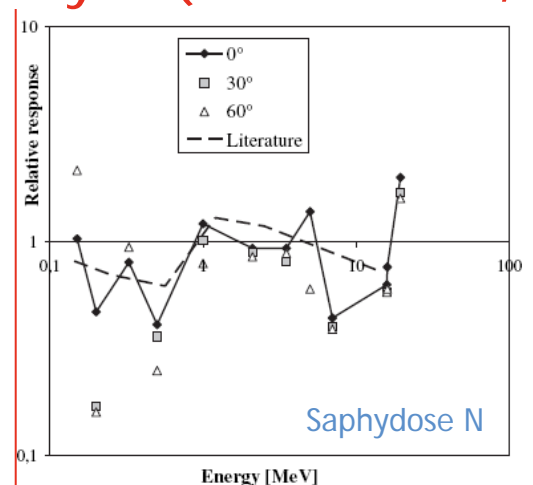


Fig. 6. Relative response to $H_p(10)$ from the Saphydose-N for different quasi mono energetic neutrons at 3 angles.

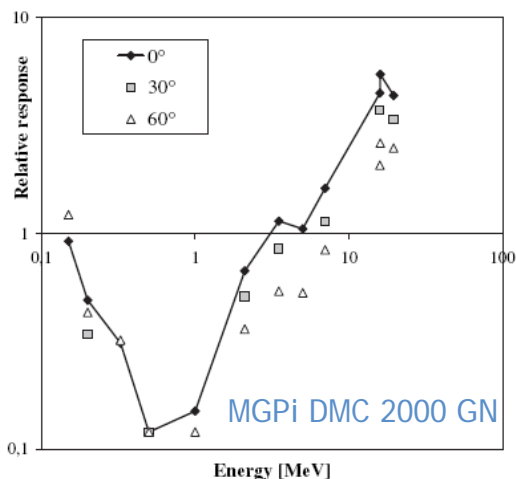


Fig. 5. Relative response to $H_p(10)$ from the DMC 2000 GN for different quasi mono energetic neutrons at 3 angles.

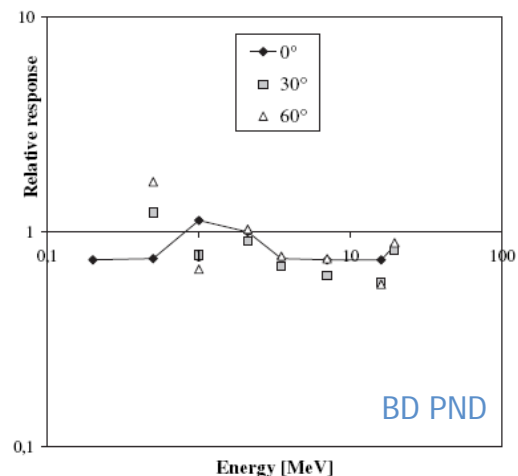


Fig. 7. Relative response to $H_p(10)$ from the BD-PND for different quasi mono energetic neutrons at 3 angles.

Vanhavere et al., Radiat. Meas., 2010

Dosimétrie des neutrons

Approches dosimétriques innovantes (cf. *Revue d'Agosteo, Radiat. Meas, 2010*)

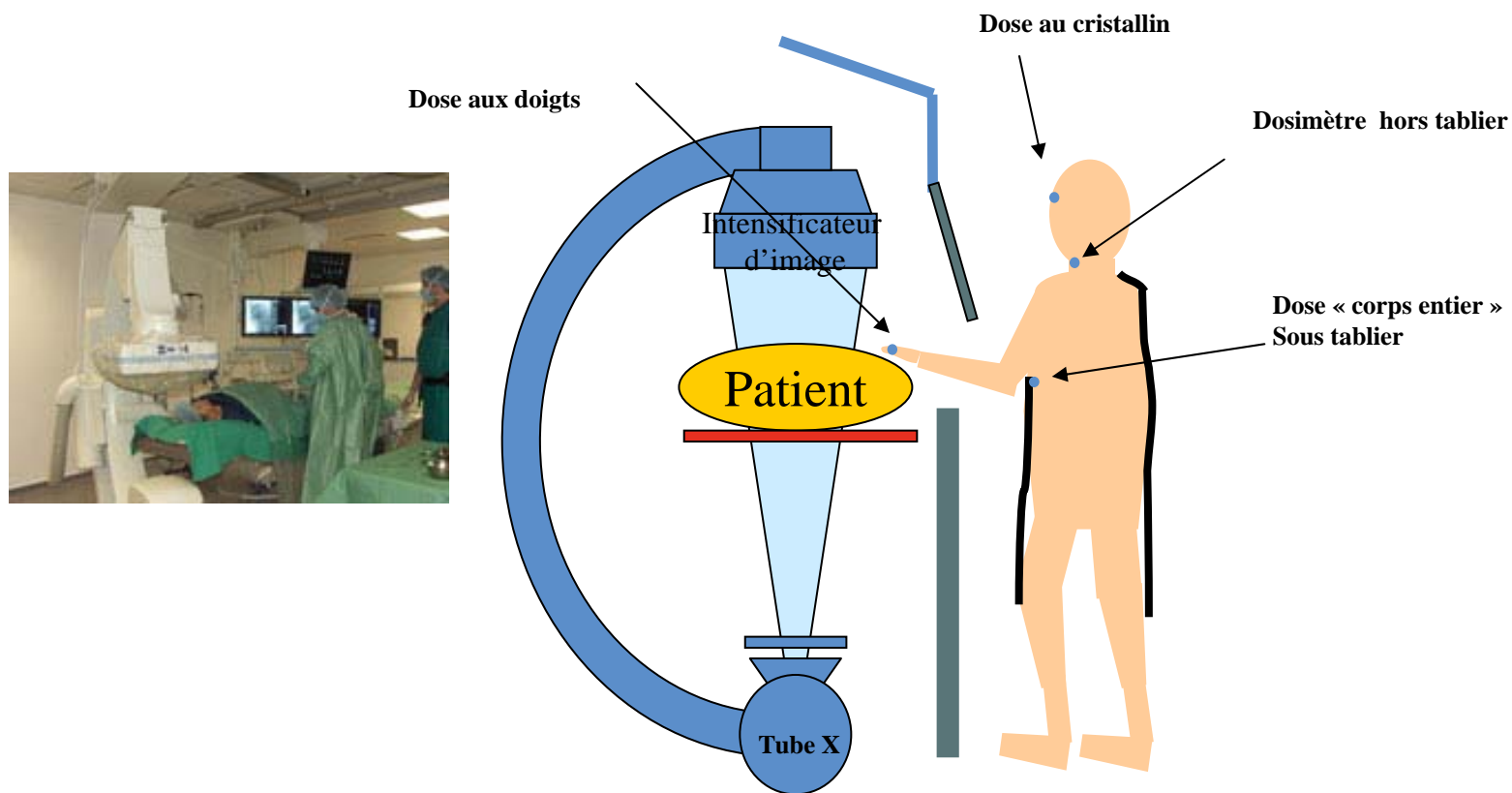
- rem-mètres passifs fondés sur des DST ou des TDL + convertisseurs)
- Détecteurs à bulles ('superheated detectors')
- CPET multi-éléments
- Microdosimètre à silicium

Autres techniques

- Détecteur pixel actif CMOS à l'IPHC de Strasbourg (Trocmé et al., *radiat. Meas.*, 2008)
- Dosimètre MOSFET pour neutrons thermiques (Fragopoulou et al., 2009)

La dosimétrie en radiologie interventionnelle (1/4)

- le problème de la représentativité de la mesure
 - champ hétérogène et port d'un tablier de plomb



D'après CIPR 85

La dosimétrie en radiologie interventionnelle (2/4)

- le problème de la représentativité de la mesure
 - champ hétérogène et port d'un tablier de plomb
 - ➔ en fonction de l'énergie et de la géométrie du champ de rayonnement, la dose efficace peut être surestimée d'un facteur jusqu'à 60 par un dosimètre placé sur le tablier et sous-estimée d'un facteur jusqu'à 7 par un dosimètre placé sous le tablier (Agosteo, IRPA12, 2008)
 - De nombreux algorithmes pour une double dosimétrie existent, de même des facteurs correctifs pour une seule dosimétrie, mais pas d'harmonisation aujourd'hui au niveau international
 - Pas de cadre réglementaire en France aujourd'hui
 - ➔ Etudier une dosimétrie adaptée (recommandation GP MED de l'ASN)

La dosimétrie en radiologie interventionnelle (3/4)

■ le problème de la dosimétrie électronique en champ pulsé

Parameter	Range
High peak voltage	50-120 kV
Intensity	5-1000 mA
Inherent Al equivalent filtration	4.5 mm
Additional Cu filtration	0.1 – 0.9 mm
Pulse duration	1 - 20 ms
Pulse frequency	1 – 30 s ⁻¹
Dose equivalent rate in the direct beam (table)	2 to 360 Sv.h ⁻¹
Dose equivalent rate in the scattered beam (operator – above the lead apron)	5.10 ⁻³ to 10 Sv.h ⁻¹

Caractéristiques types des champs de rayonnement en radiologie/cardiologie interventionnelle

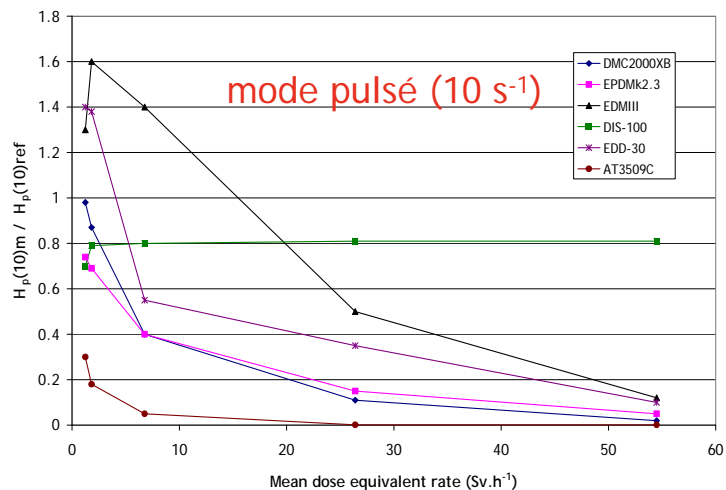
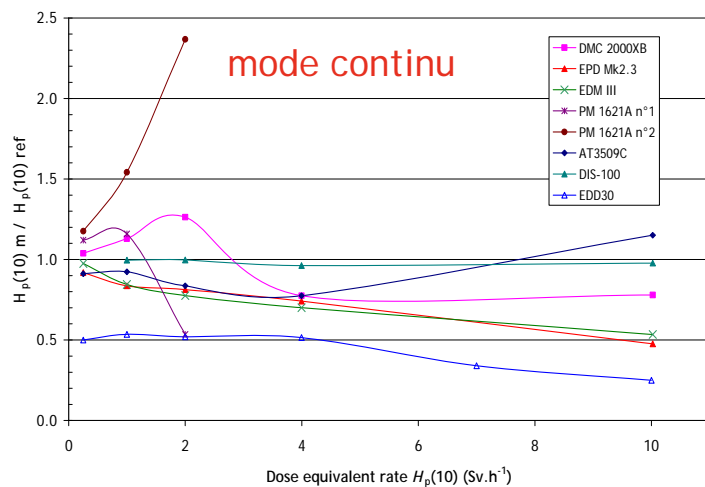
(Projet ORAMED : Clairand et *al.*, Radiat. Prot. Dosim, 2004)

- La norme en vigueur pour les dosimètres individuels électroniques (CEI 61526) ne fournit aucune spécification pour les rayonnement pulsés
- Il n'existe par ailleurs pas de norme pour définir des champs de référence pour ces rayonnements

➔ **Problème de caractérisation des dosimètres**

La dosimétrie en radiologie interventionnelle (4/4)

■ le problème de la dosimétrie électronique en champ pulsé



- Certains dosimètres électroniques sont 'aveugles' en rayonnement pulsé
- Réponse proche de 1 pour des débits de dose < 2 Sv/h mais sous-estimation au-dessus de cette valeur, d'autant plus importante que les débits sont élevés
- La réponse de tous les dosimètres varie de 30% en moyenne dans la gamme de fréquence de 1 à 20 s⁻¹
- En conditions réelles d'utilisation, sous-estimation des dosimètres électroniques (de 20 à 35%) par rapport aux dosimètres passifs

Projet ORAMED : Clairand et *al.*, Radiat. Prot. Dosim, 2004

La dosimétrie du cristallin

- La surveillance de la dose au cristallin n'est actuellement pas une réalité !!!
- Des techniques (passives) existent mais ne sont pas ergonomiques
- Des travaux sont en cours dans le cadre d'EURADOS pour développer de nouveaux outils (prototypes de système dosimétrique et fantômes pour calculer les facteurs de conversion $H_p(3)/k_a$ à 0° et 90°)



Gualdrini et al., 2010
(contrat ORAMED)

Conclusion

La dosimétrie individuelle externe : des techniques relativement robustes après plusieurs décades de développements continus

mais...

- des investigations nécessaires pour satisfaire certaines exigences non totalement atteintes ou répondre à de nouveaux besoins :
 - Dosimétrie électronique neutrons
 - Dosimétrie des extrémités et du cristallin
 - Dosimétrie électronique en champs pulsés
 - Dosimétrie en radiologie interventionnelle ?
- procédure de traitement des écarts entre dosimétries passive et active à normaliser

MERCI DE VOTRE ATTENTION