

UTILISATION DES CODES DE CALCUL EN R&D POUR LE DEVELOPPEMENT D'UN NOUVEAU DOSIMETRE PASSIF POUR LES PHOTONS & BETA

M. Million, B. Moreno





- + Contexte du développement
- + Modélisation/Validation
- + Nouveau design
- + Conclusions



Détecteur GN

Contexte du développement (1/2)



- + Evolution normative pour la dosimétrie passive
IEC 62387-1:2012 → NF EN 62387-1:2012

norme européenne

NF EN 62387-1
Mai 2012

norme française

Indice de classement : C 19-113

ICS : 13.280

**Instrumentation pour la radioprotection
Systèmes dosimétriques intégrés passifs
pour la surveillance de l'environnement et
de l'individu**

Partie 1 : Caractéristiques générales et exigences de
fonctionnement

- + Limite de l'ancien détecteur :
Réponse énergie-angle $E(\theta)$

- + Anticipation évolution : début de développement du nouveau dosimètre en 2011

- A minima : répondre aux exigences de la norme NF EN 62387-1:2012
- Au mieux : aller au-delà des exigences normatives en termes de performances métrologiques

Photon	Domaine en énergie moyenne obligatoire	Domaine en énergie moyenne visé
$H_p(10)$	80 keV à 1,25 MeV	16 keV à 6 MeV
$H_p(0,07)$	30 keV à 250 keV	16 keV à 6 MeV

	Domaine en dose obligatoire	Domaine en dose visé
$H_p(10)$	0,1 mSv à 1 Sv	0,05 mSv à 10 Sv
$H_p(0,07)$	1 mSv à 3 Sv	0,05 mSv à 10 Sv

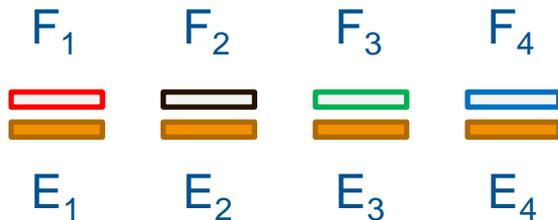
Bêta	Domaine en énergie moyenne obligatoire	Domaine en énergie moyenne visé
$H_p(0,07)$	0,8 MeV	0,2 MeV à 0,8 MeV

Contexte du développement (2/2)

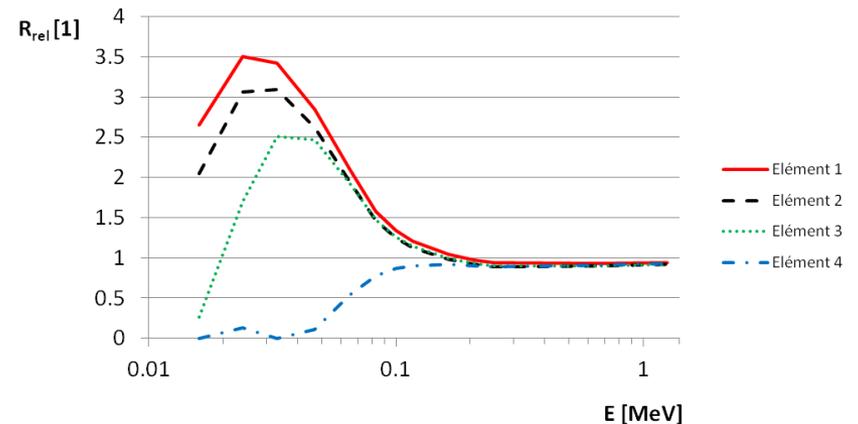


+ Principe de fonctionnement d'un dosimètre passif multiéléments

- Modulation de la réponse par l'ajout de filtre devant les éléments sensibles



- Reconstruction de la qualité du rayonnement incident
- Estimation de l'équivalent de dose



R_{rel} = réponse des éléments sensibles normalisée à $H_p(0,07)$

+ Paramètres d'optimisation et de tests nombreux :

- Matériaux des filtres
- Géométrie des filtres
- Positionnement des filtres
- Qualité de faisceaux



Développement par Monte-Carlo



+ Contraintes sur le développement

- Conservation de la technologie : *Optically Stimulated Luminescence* (OSL) avec cristaux d' $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$
- Conservation du nombre d'éléments sensibles
- Dosimètre lisible par lecteur existant
- Conservation du badge

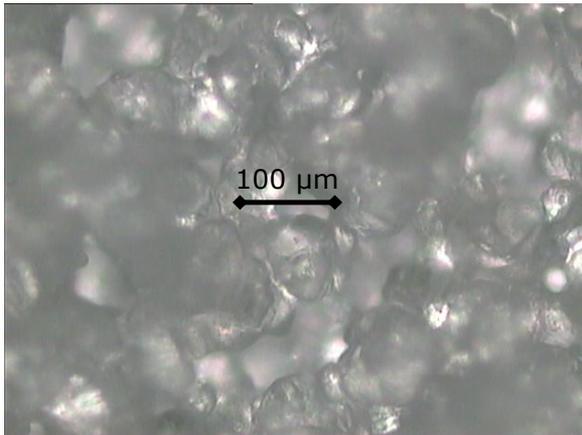


+ Etapes

- Modélisation des éléments sensibles
- Développement du modèle géométrique du badge
- Validation du modèle sur le dosimètre InLight

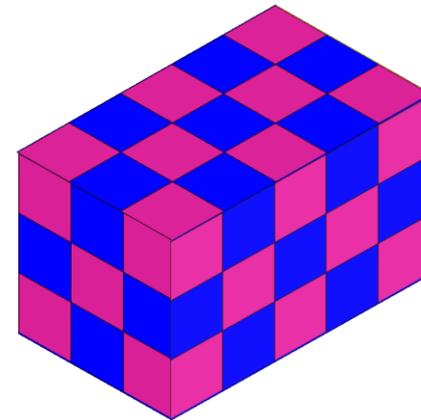


- + Eléments sensibles : poudre d'oxyde d'aluminium dans un liant en polyester



- + Modèles:

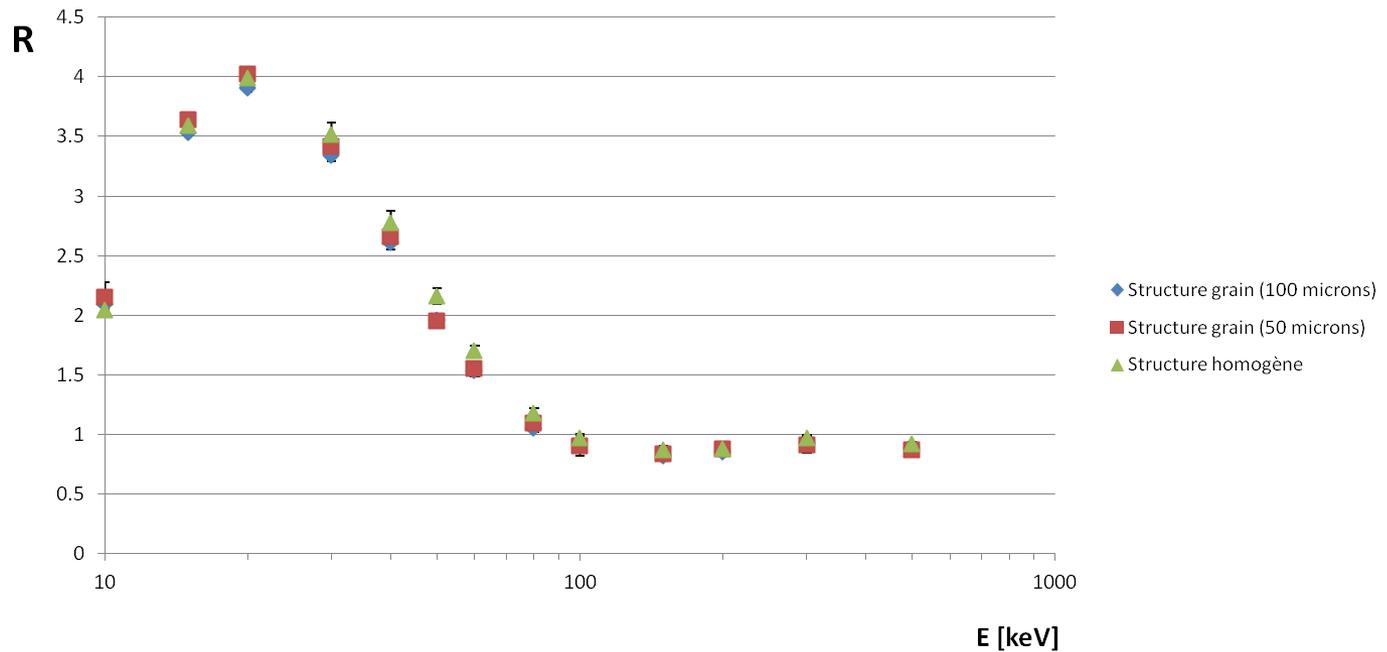
- Structure granulaire : grains cubiques de même dimensions pour liant et oxyde d'aluminium



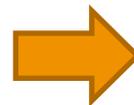
- Structure homogène : oxyde d'aluminium seul avec masse volumique modifiée



- + Dépendance en énergie de la réponse relative de l'oxyde d'aluminium pour les différents modèles



- + Pas de différences significatives

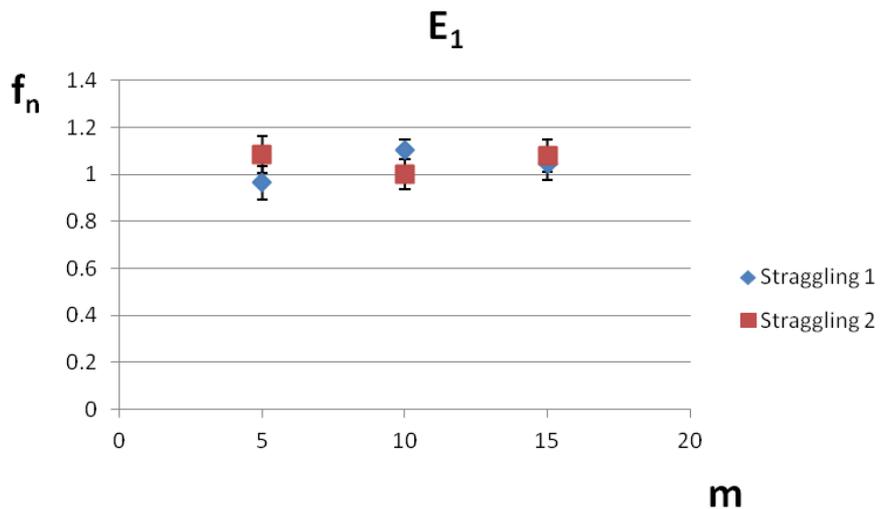


Choix du modèle le plus simple



+ Effet du modèle pour les électrons

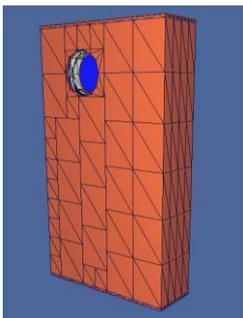
- Propagation des e- découpée en *major steps* : longueur s choisie pour que la perte d'énergie durant l'itération soit petite par rapport à l'énergie cinétique de l'e- (approximation nécessaire à l'application de la théorie de la diffusion multiple)
- *Major steps* découpés en *substeps* : longueur s/m choisie pour avoir des déflexions de trajectoire faible (améliore la justesse du modèle)
- *Straggling* appliqué une fois par major steps : plusieurs algorithmes disponibles
 - ITS *Energy sampling algorithm* (calcul totalement discrétisé)
 - *New Energy and Step-Specific Method* (NESSM, calcul de *straggling* non discrétisé)



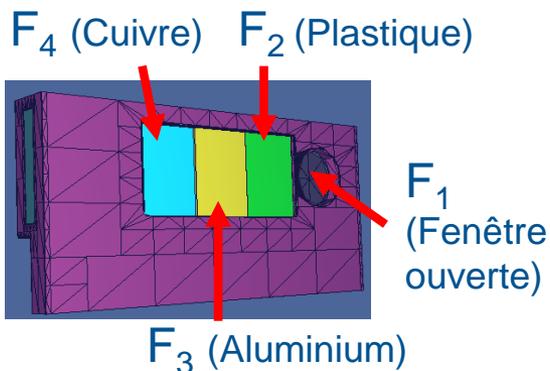
f_n = ratio entre résultat de la simulation dans une configuration donnée et la configuration de référence ($m=10$, NESSM)



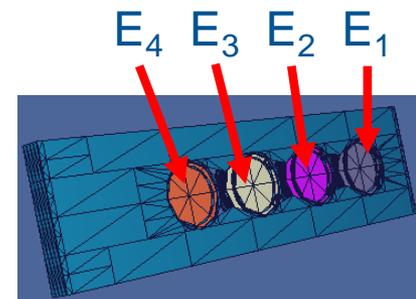
+ Modélisation de l'Inlight



Badge

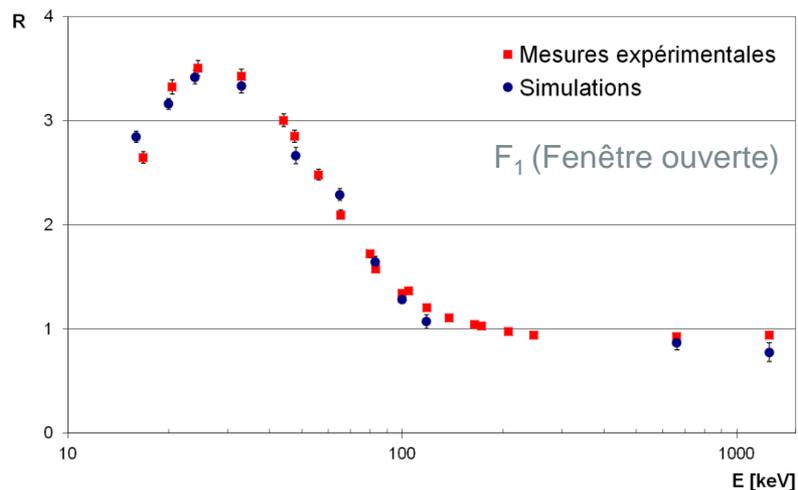


Boîtier porte-filtres

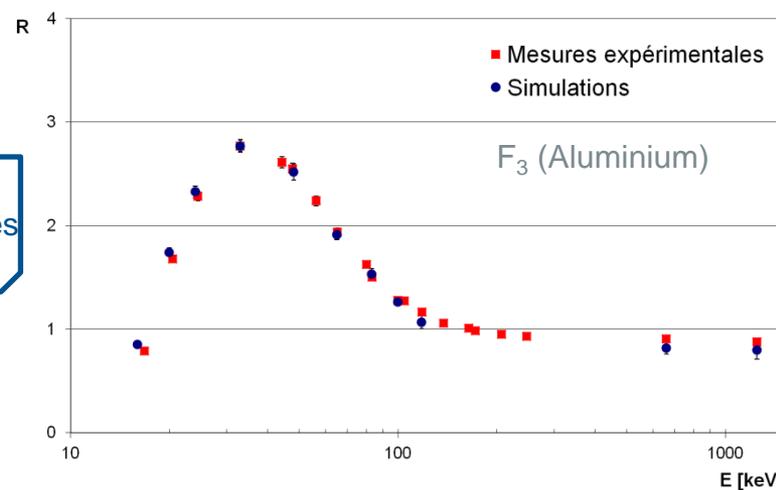


Carte porte-éléments

+ Résultats : réponse relative des éléments 1 et 3



Accord acceptable
entre MC et données
expérimentales

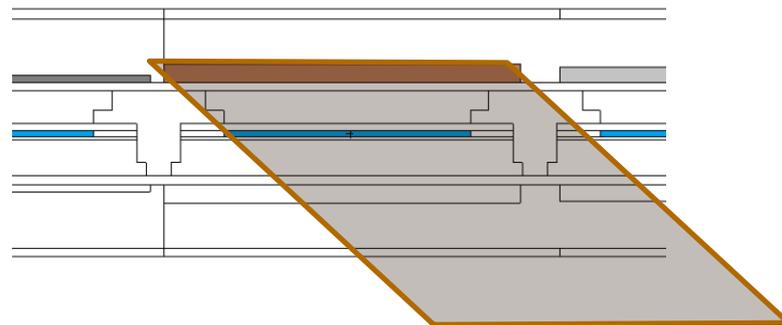


Nouveau design (1/7)

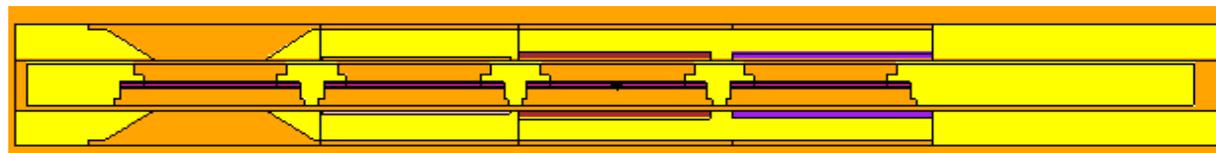
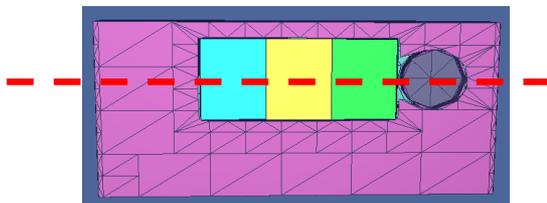


+ Nouvelle filtration obtenue par optimisation MC

Matériau	Epaisseur [g/cm ²]	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3	Filtre 4
Polyester	0.063	0.063			
Plastique (ABS)	1.325		1.325		
Plastique (ABS)	0.901			0.901	0.901
Aluminium	0.404		0.404	0.404	0.404
Titane	1.804			1.804	
Etain	2.578				2.578
	Epaisseur totale [g/cm²]	0.063	1.729	3.109	3.882



Placement des filtres au plus près des détecteurs

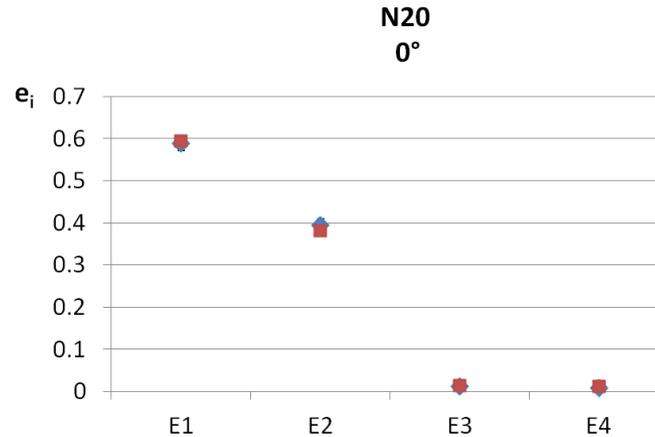
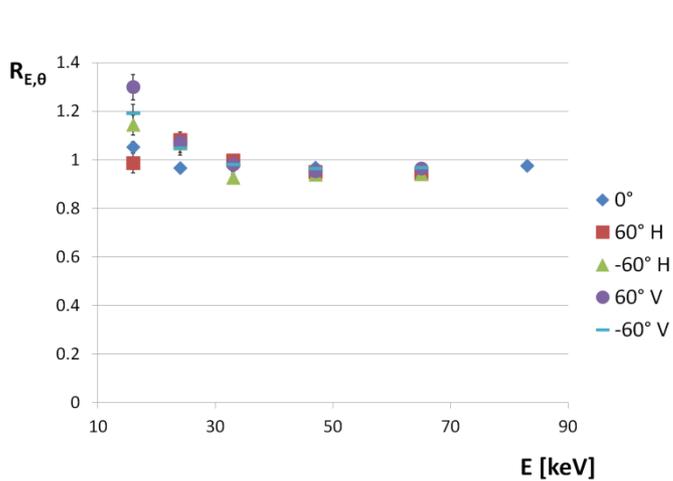


Agrandissement de l'ouverture sur l'élément 1

Nouveau design (2/7)



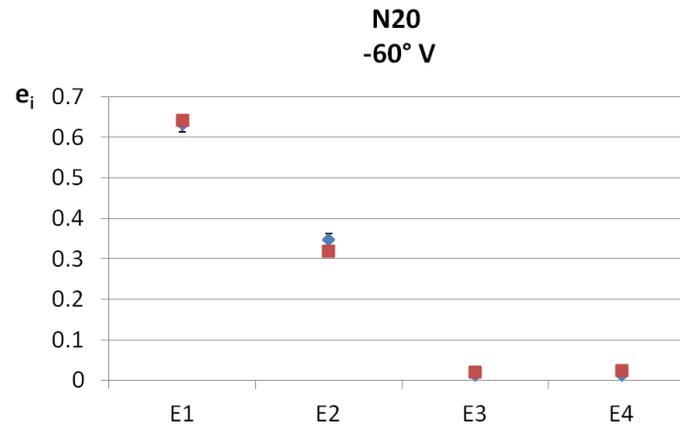
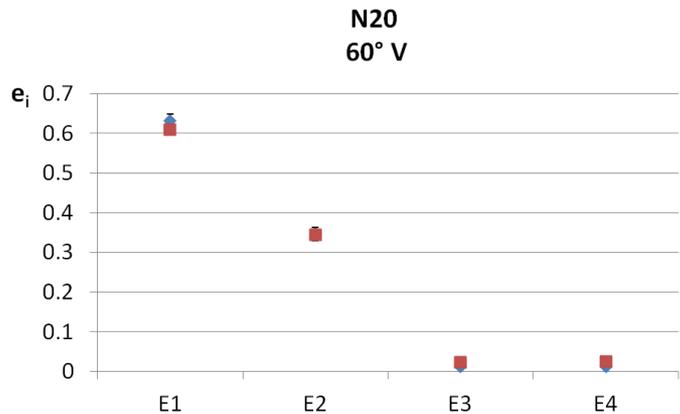
+ Comparaison des simulations aux données expérimentales



◆ MC
■ Exp

$$e_i = \frac{E_i}{\sum_{i=0}^4 E_i}$$

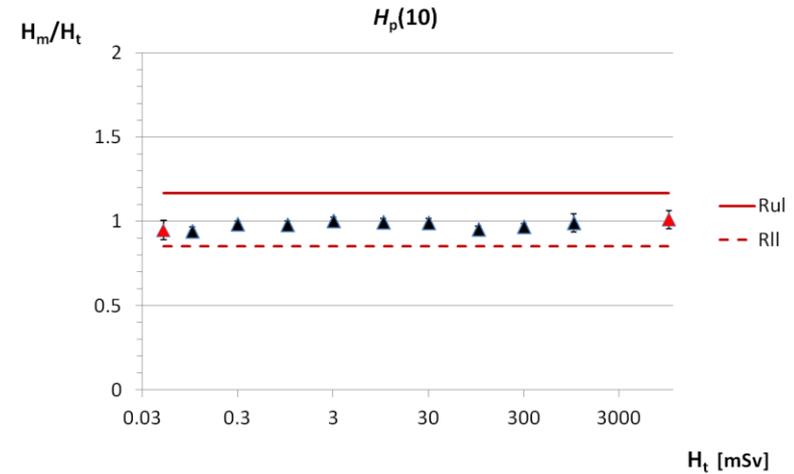
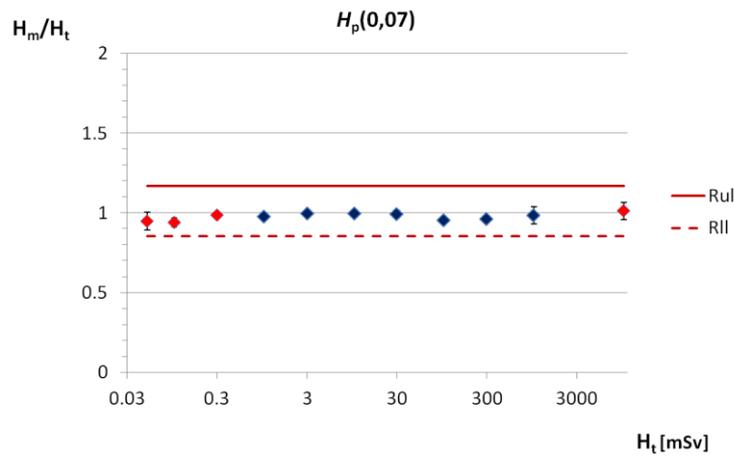
$$R_{E,\theta}^i = \frac{e_{E,\theta,\text{exp}}^i}{e_{E,\theta,\text{MC}}^i}$$



$$R_{E,\theta} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 R_{E,\theta}^i$$



+ Performances métrologiques : linéarité

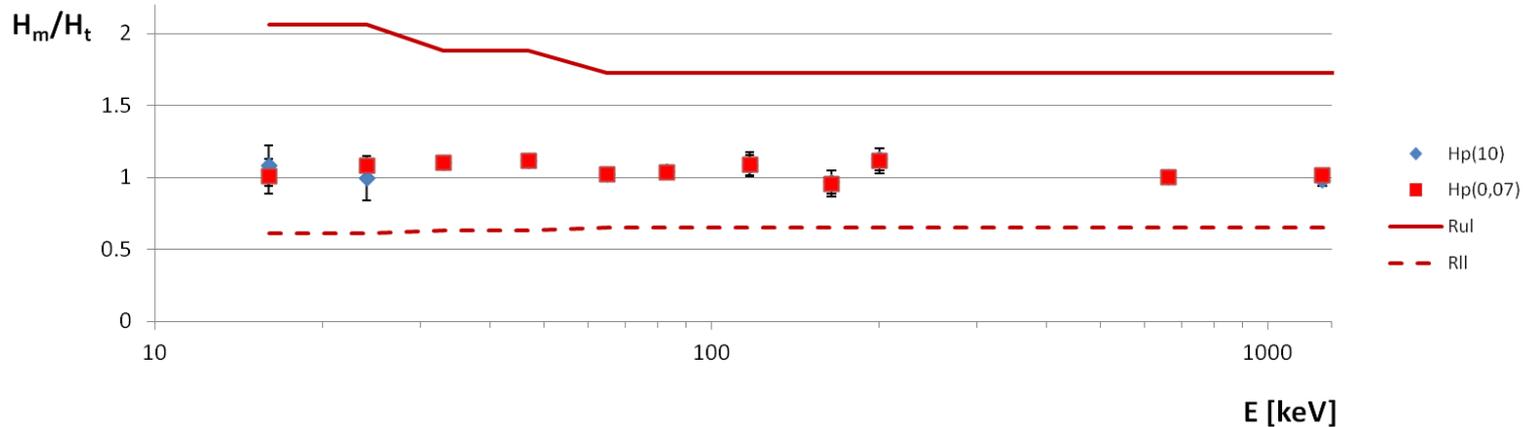


$H_p(10)$: [0,05 mSv; 10 Sv]

$H_p(0,07)$: [0,05 mSv; 10 Sv]



+ Performances métrologiques : dépendance en énergie pour les photons



$$H_p(10): 0,97 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,11$$

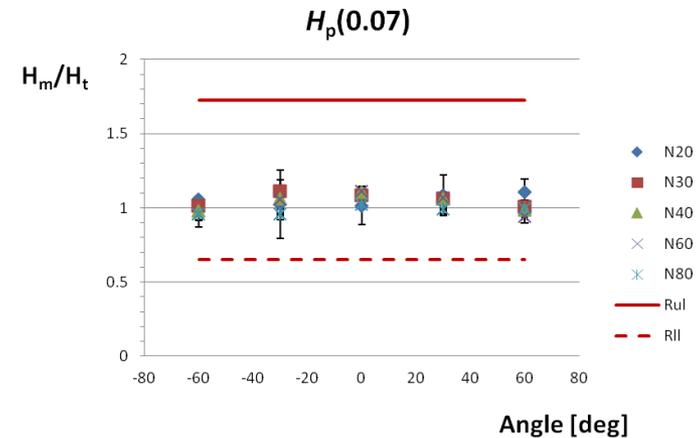
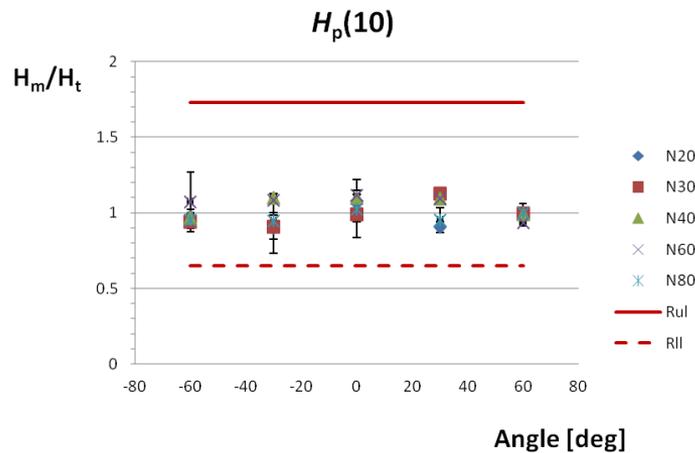
$$H_p(0,07): 0,96 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,11$$

$$16 \text{ keV} \leq \bar{E}_\gamma \leq 1250 \text{ keV}$$

Nouveau design (5/7)



- ⊕ Performances métrologiques : dépendance en énergie-angle pour les photons et les angles verticaux



$$H_p(10): 0,90 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,12$$

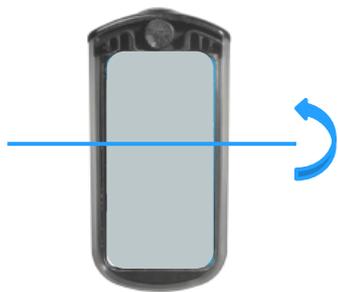
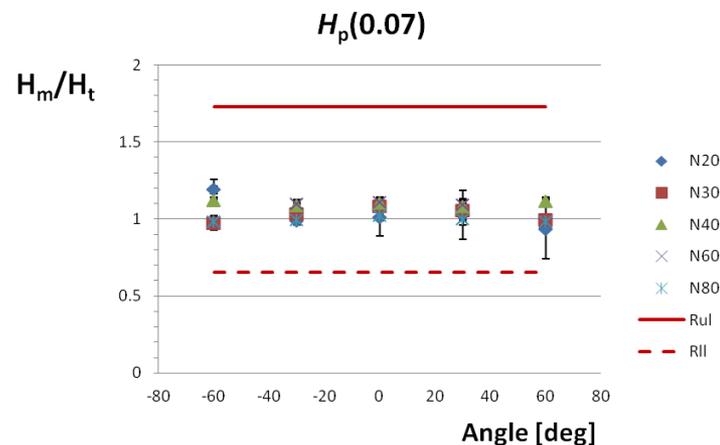
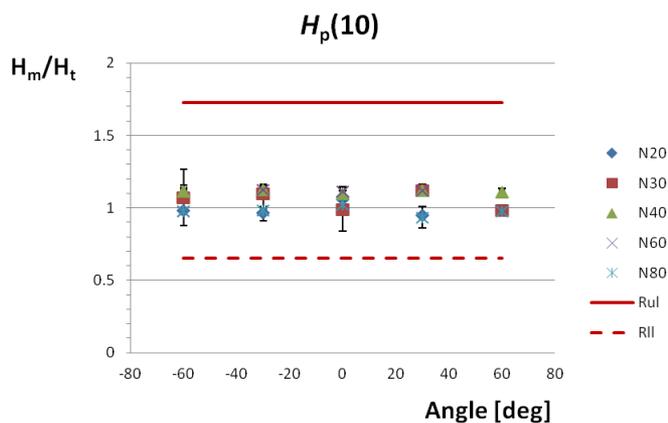
$$H_p(0,07): 0,93 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,11$$

$$angle: -60^\circ \leq \theta_v \leq 60^\circ$$

Nouveau design (6/7)



- ⊕ Performances métrologiques : dépendance en énergie-angle pour les photons et les angles horizontaux



$$H_p(10): 0,94 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,13$$

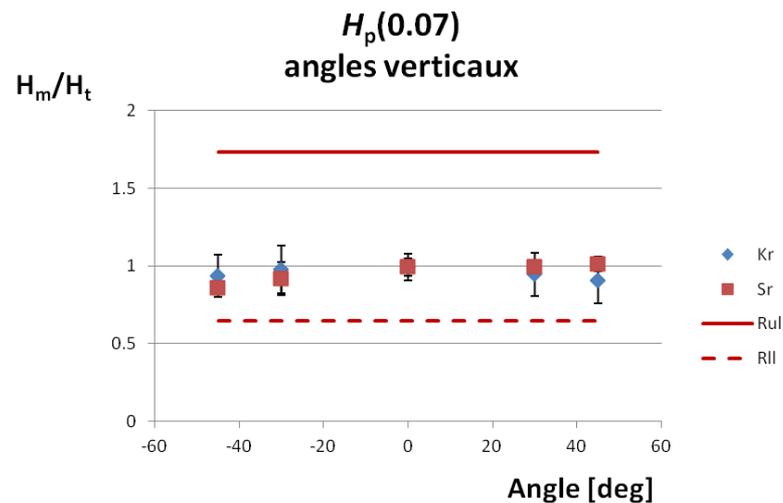
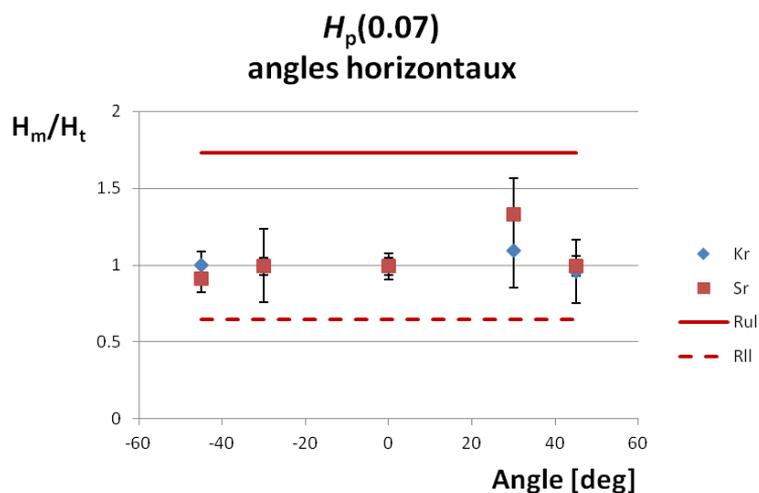
$$H_p(0,07): 0,94 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,19$$

$$angle: -60^\circ \leq \theta_H \leq 60^\circ$$

R_{ul} et R_{ll} sont les limites acceptables données par la norme NF EN 62387-1:2012. Elles varient en fonction de l'énergie. Par souci de lisibilité les valeurs utilisées sont les plus contraignantes de la norme.



- + Performances métrologiques : dépendance en énergie-angle pour les photons et les angles horizontaux



$$H_p(0,07): 0,99 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,33$$

$$angle: -45^\circ \leq \theta_H \leq 45^\circ$$

$$H_p(0,07): 0,86 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,01$$

$$angle: -45^\circ \leq \theta_V \leq 45^\circ$$



- + Modèles MCNP développés et validés
- + Design du nouveau dosimètre par MC
- + Performances métrologiques meilleures que celles requises par la norme NF EN 62387-1:2012
- + Extension de l'accréditation à 6 MeV en cours

$$0,2 \text{ MeV} \leq \bar{E}_{e^{\pm}} \leq 0,8 \text{ MeV}$$

$$H_p(0,07): 0,99 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,33$$

$$\text{angle: } -45^\circ \leq \theta_H \leq 45^\circ$$

$$H_p(0,07): 0,86 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,01$$

$$\text{angle: } -45^\circ \leq \theta_V \leq 45^\circ$$

$$16 \text{ keV} \leq \bar{E}_\gamma \leq 1250 \text{ keV}$$

$$H_p(10): 0,90 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,12$$

$$H_p(0,07): 0,93 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,11$$

$$\text{angle: } -60^\circ \leq \theta_V \leq 60^\circ$$

$$H_p(10): 0,94 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,13$$

$$H_p(0,07): 0,94 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,19$$

$$\text{angle: } -60^\circ \leq \theta_H \leq 60^\circ$$

Merci de votre attention

