



Laboratoire National  
Henri Becquerel

**list**

# RÉFÉRENCE DOSIMÉTRIQUE EN CHAMPS PULSÉS POUR LE DIAGNOSTIC INTERVENTIONNEL

M. Denoziere, N. Lecerf, J.M. Bordy

Contact : [Marc.denoziere@cea.fr](mailto:Marc.denoziere@cea.fr)

Introduction

Les installations

La mesure primaire en faisceau continu et son incertitude

Les caractéristiques des faisceaux pulsés

La mesure primaire en faisceaux pulsés

L'étalonnage en faisceaux pulsés

Exemple d'étude menée au LNHB

- la directive 96/29 Euratom : assurer la protection du public et des travailleurs,
- la directive 97/43 Euratom : domaine médical pour la radioprotection des patients dans le respect du rapport bénéfice/risque.

*« Le contrôle de la radioprotection en radiologie interventionnelle est depuis 2009 une priorité nationale de l'ASN ».*

**« Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et la radioprotection en France en 2012 »**

L'application de ces directives, retranscrites dans la législation française, introduit une obligation de maintenance, de contrôle de qualité interne et externe des appareils, et de l'existence de procédures utilisées par le personnel.

Ces textes stipulent que les mesures effectuées doivent être « traçable » à une référence nationale.



Radiothérapie de contact



10 kV

60 kV

RX Low

RX Medium

20 kV **Mammo.** 50 kV

Radiodiagnostic et interventionnel

40 kV

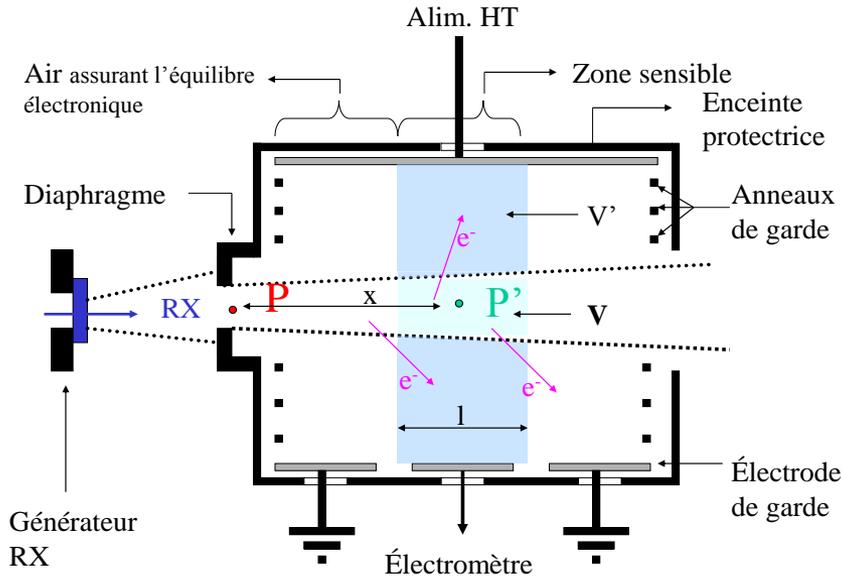
150 kV

Médical (pulsé)



320 kV





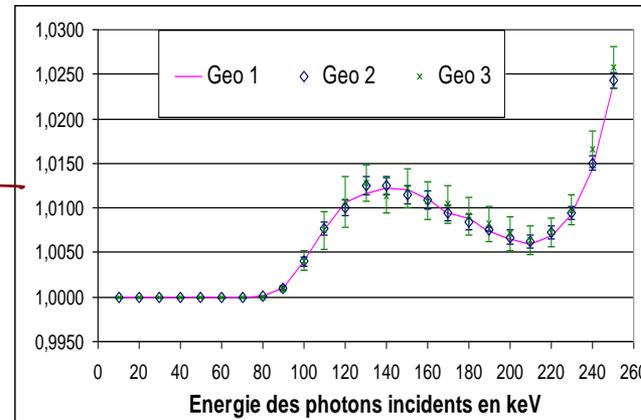
$$\dot{K}_{air} = \frac{I}{V \cdot \rho_0} \cdot \frac{W_{air}}{e} \cdot \frac{1}{(1 - g_{air})} \cdot \prod_i k_i$$

Climatiques

$$\prod k_i = k_{sc} \cdot k_e \cdot k_a \cdot k_{dia} \cdot k_s \cdot k_d \cdot k_{pol} \cdot k_{tp} \cdot k_h \cdot k_T \cdot k_p$$

Simulation MC

$$k_j = \frac{\int (F_j(E) \varphi(E))}{\int \varphi(E)}$$



Exemple : Radiodiagnostic (40 mA, 1000 ms)

Ici pas de correction liée  
à la durée de l'impulsion  
Car impulsion « longue »  
une seconde !

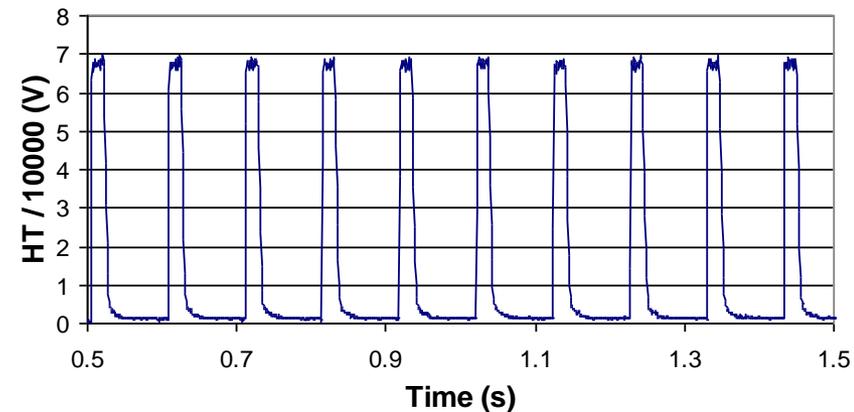
$K_{air}$		
Constantes physique et facteurs de correction	incertitudes relatives %	type
$\rho_{air}$	0,04	B
$W_{air/e}$	0,15	B
1-g bremsstrahlung	0,01	B
Volume de mesure	0,05	A
Charge mesurée	0,10	A
distance	0,10	B
electromètre	0,22	B
Temperature	0,04	B
Pression	0,04	B
$k_h$ humidité	0,10	B
$k_a$ air attenuation	0,03	B
$k_s$ recombinaison	0,08	B
$k_{sc}$ diffusion de photon	0,10	B
$k_e$ perte d'électron	0,10	B
$k_d$ distorsion de champ	0,01	B
$k_{pol}$ polarisation	0,04	B
$k_p$ transmission des parois	0,02	B
<b>incertitude combinée u</b>	<b>0,37</b>	
<b>incertitude élargie, U, k = 2</b>	<b>0,74</b>	

$N_k$		
Constantes physique et facteurs de correction	incertitudes relatives %	type
$K_{air}$	0,37	B
Charge mesurée	0,10	A
distance	0,10	B
electromètre	0,22	B
Temperature	0,04	B
Pression	0,04	B
$k_h$ humidité	0,10	B
<b>incertitude combinée u</b>	<b>0,47</b>	
<b>incertitude élargie, U, k = 2</b>	<b>0,94</b>	

Domaine	Mammographie	Diagnostic	interventionnelle
HV (kV)	22 - 49	40 - 150	40 - 150
Courant (mA)	~100	10 - 640	10 - 1000
Largeur d'impulsion (ms)	40 - 6000	1 - 6000	1 - 6000
Fréquence	Impulsion unique	Impulsion unique	1,10, 20 ips de 20 ms

Installations identiques  
à celles utilisées  
dans les services médicaux

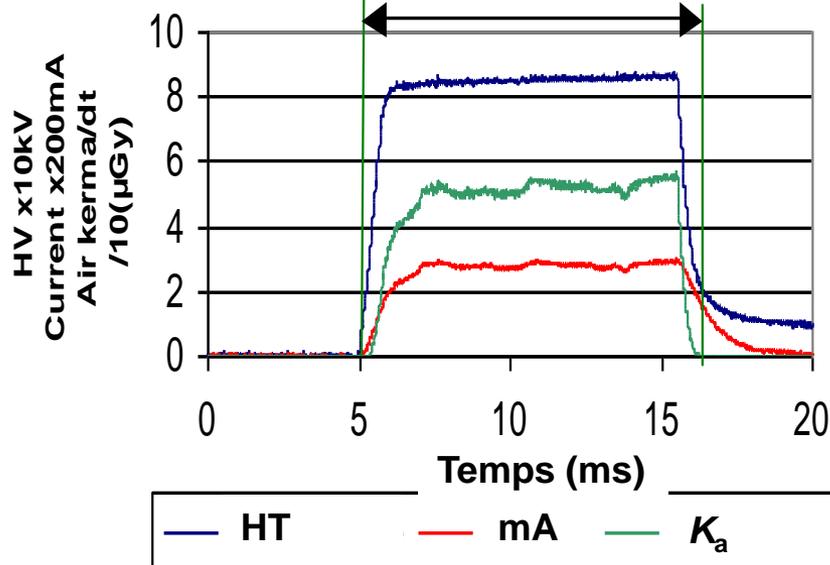
Multi-pulses 70 kV, 10 pps



Le nombre de mAs délivré par les générateurs de RX du commerce ne peut être considéré comme constant pendant les impulsions courtes.

6.4mAs 10ms 90kV

Durée effective



On introduit un « nombre de mAs effectif » qui ramené au « nombre de mAs théorique » permet de corriger le défaut

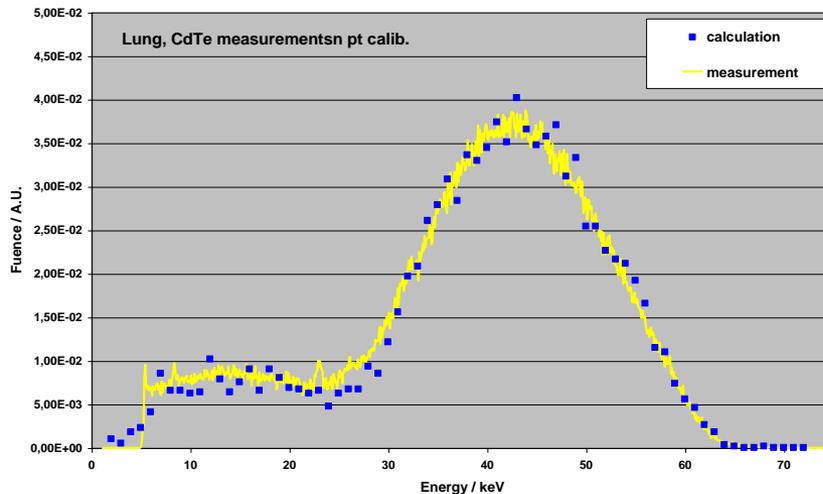
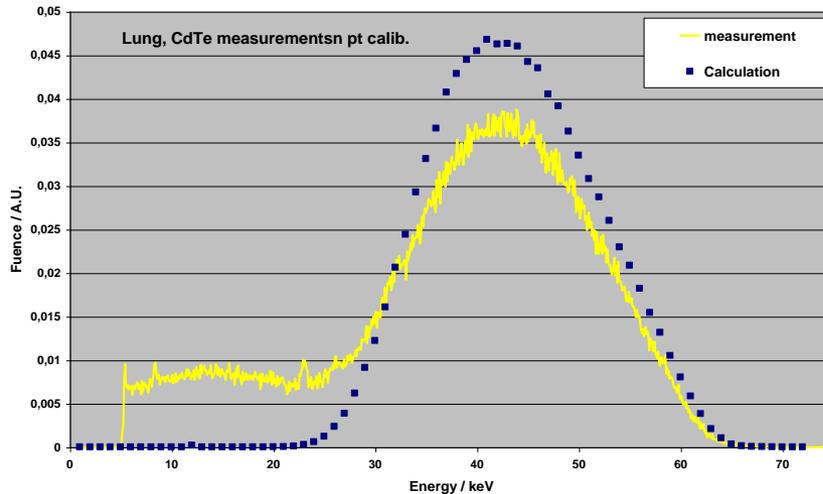
$$k_{tc} = \frac{mAs_{Th}}{mAs_{eff}}$$

« mAs th » : nombre de mAs indiqué par l'appareil

« mAs eff » : intégral du courant sur la durée effective de l'impulsion

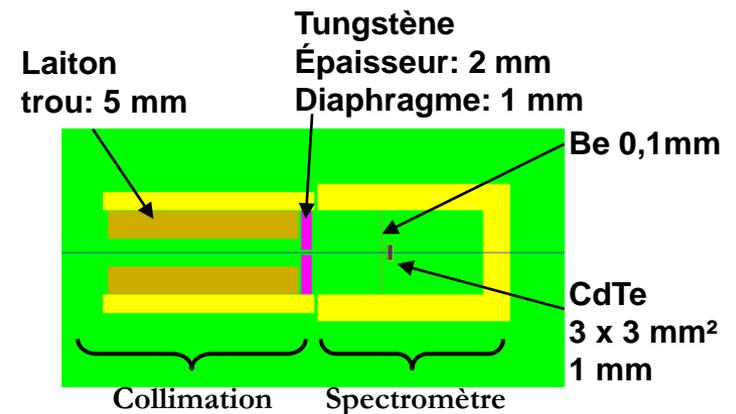
La « durée effective » (début et fin de l'impulsion) est choisie selon la contribution au kerma dans l'air (voir courbe verte)

Le calcul du kerma et des équivalents de dose requiert la connaissance de la distribution spectrale de la fluence

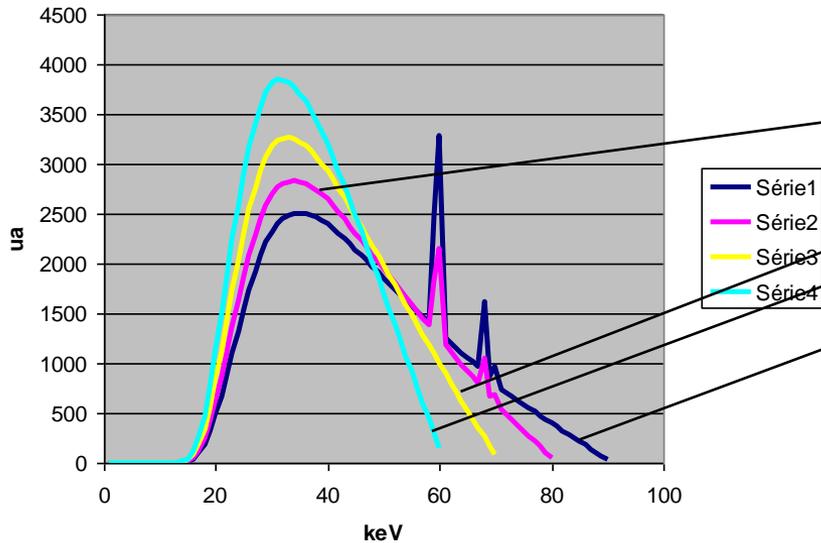


Calcul du spectre dans l'air validé par un calcul incluant un spectromètre

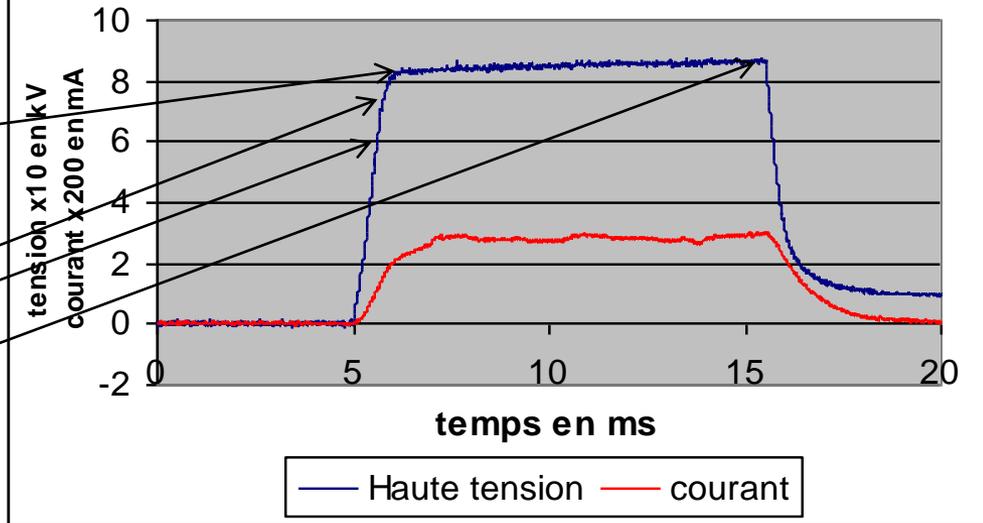
Comparaison calcul / expérience



## Spectre RX pour différente HT



## 6,4mAs 10ms 90kV

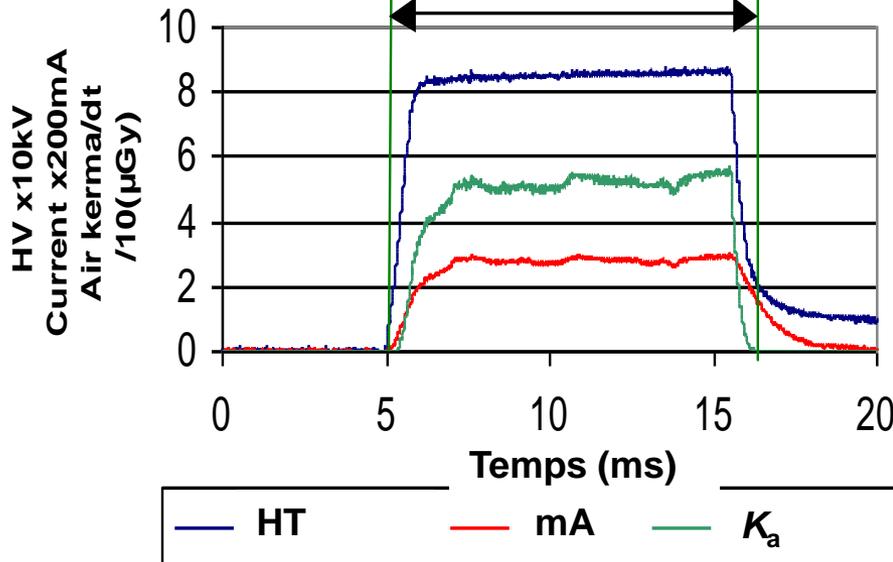


$$\frac{K_{air} \text{ mA}}{mAs} = \frac{K_{air}}{\left(\frac{C}{s}\right) s} \frac{C}{s} = \frac{K_{air}}{s}$$

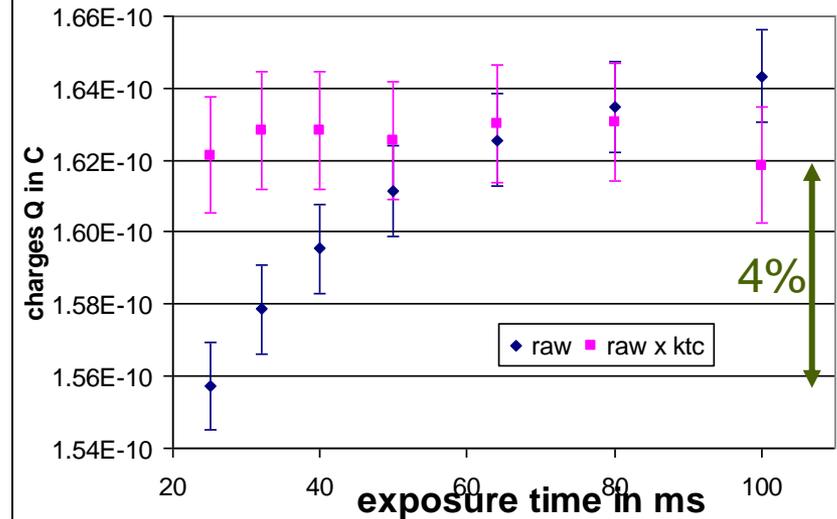


6.4mAs 10ms 90kV

Durée effective



collected charges vs exposure time  
diagnostic 16mAs 90kV



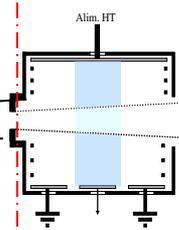
Une correction significative  
doit être appliquée  
aux mesures de référence  
en dessous de ~60 ms

$$k_{tc} = \frac{mAs_{Th}}{mAs_{eff}}$$

Pour un générateur donné

kerma dans l'air  
 $K_{\text{air}}$  (en Gy)

1) RX

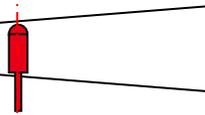


$k_{tc}^1$

Pour la détermination du kerma dans l'air

Charge « d'ionisation »  
(Corrigée T, p)  
 $Q_{tr}$  (en C)

2) RX



$k_{tc}^2$

Pour la mesure avec chambre à étalonner

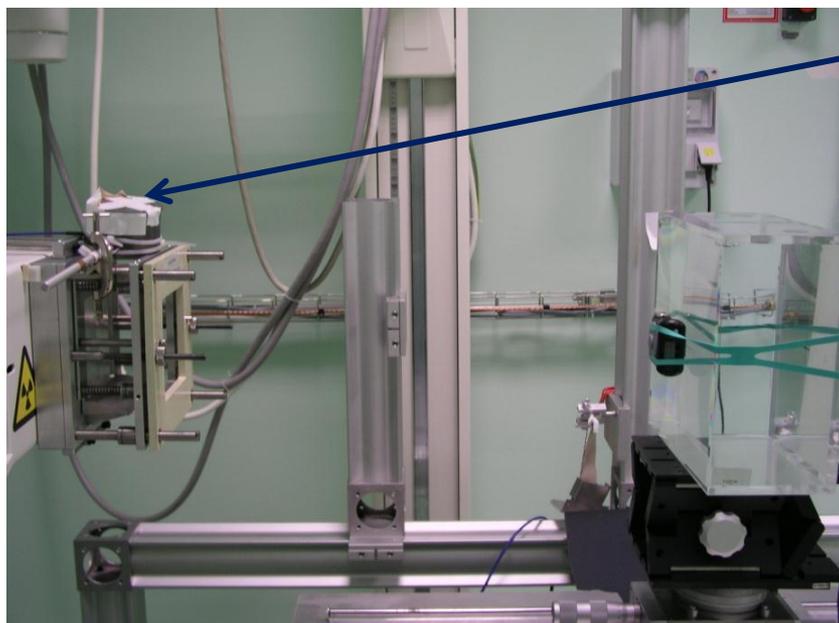
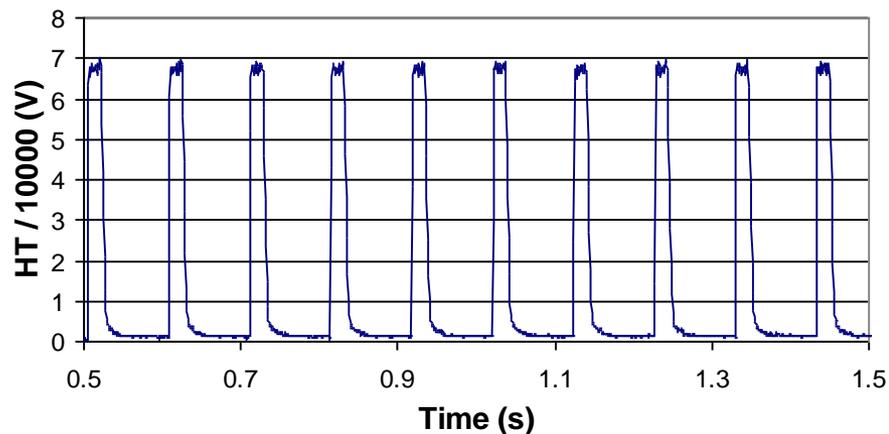
$$N_k = \frac{K_{\text{air}}}{Q_{tr}} \quad (\text{en Gy} \cdot \text{C}^{-1})$$

$$N_k^{\text{tc}} = \frac{K_{\text{air}} \cdot k_{tc}^1}{Q_{tr} \cdot k_{tc}^2} \quad (\text{en Gy} \cdot \text{C}^{-1})$$

$$\frac{k_{tc}^1}{k_{tc}^2} \approx 1$$

$$\frac{u(N_k^{\text{tc}})}{N_k^{\text{tc}}} = 1\% \quad \text{Incertitude type}$$

Multi-pulses 70 kV, 10 pps

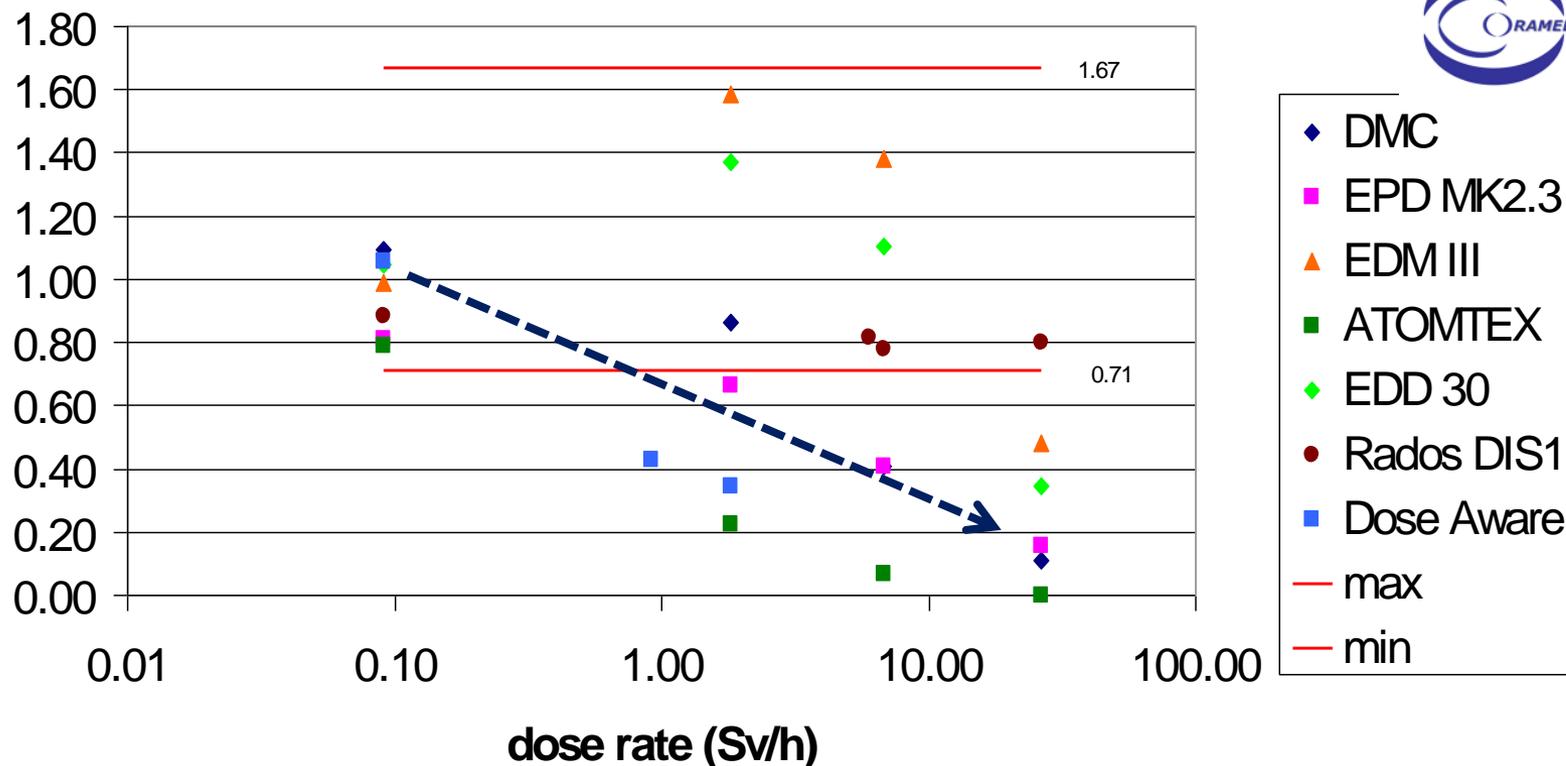


Exemple d'application :  
Étalonnage sur n impulsions

- Comptage du nombre d'impulsion
- Utilisation d'un dosimètre moniteur pour intégrer toute la « dose »
- Calcul de la dose moyenne par impulsion (Gy)
- Estimation du 'débit' de dose

## Response of APD = reading of APD/Hp(10) at 10 pps 70kV, 4.5 mm Al + 0.2 mm Cu

Exemple (suite)



Très fortes variations avec le débit sauf pour Rados DIS

Le LNHB dispose de références dosimétriques en termes de kerma dans l'air pour les rayons X pulsés utilisés en radiologie.

Le LNHB peut y étalonner les dosimètres aussi bien en termes de kerma dans l'air, qu'en termes d'équivalent de dose  $H_p(10)$ ,  $H_p(0.07)$ ,  $H_p(3)$ ,  $H'(3)$ ,  $H'(0.07)$  et  $H^*(10)$

**Merci pour votre attention**