

Les références nationales au LNE-LNHB pour la dosimétrie des rayons-X de basses et moyennes énergies à usage industriel et médical : cas des faibles durées d'exposition.

Marc Denoziere, Nelly Lecerf, Eric Leroy

- 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.

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 employées par le personnel.

Ces textes exigent que les mesures effectuées aient une traçabilité à une référence nationale.



Les Installations



Industriels (continus)

10 kV

60 kV

320 kV



20 kV Mammo. 50 kV



40 kV

150 kV



Médical (pulsés)

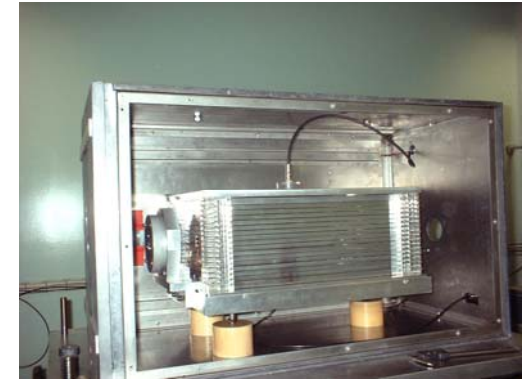
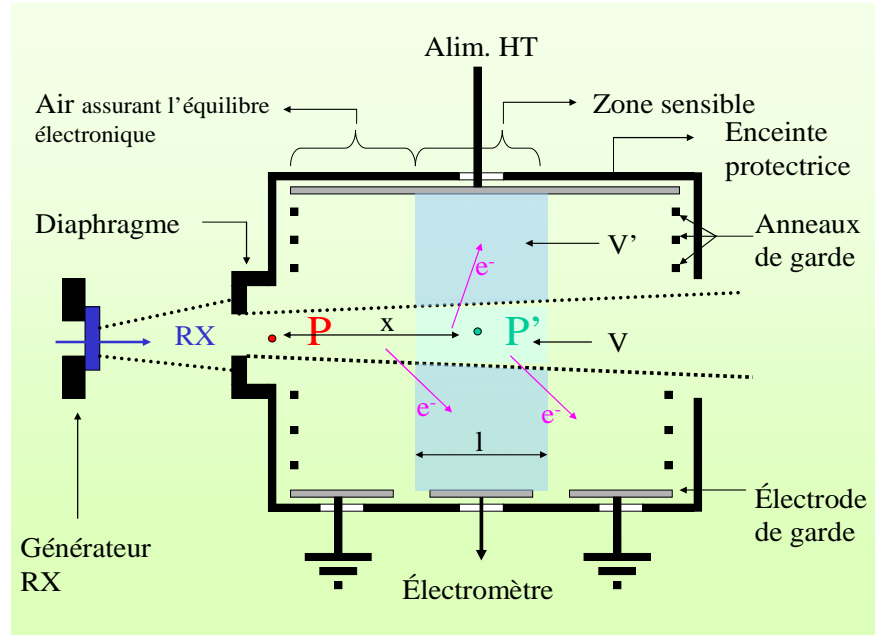
Les références



Diagnostic 40 à 150 kV (MD03)



Mammographie 20 à 50 kV (CE98)



Continus 60 à 250 kV (WK06)



Continus 10 à 60 kV (WK07)

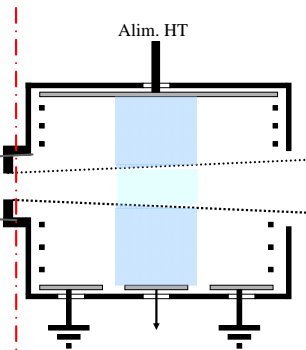
$$K_{air} = \frac{Q}{\rho_{air} \cdot V} \frac{W_{air}}{e} \frac{1}{1-g} \cdot \prod_i k_i$$

Kerma dans l'air :

K_{air} (en Gy)

1)

RX



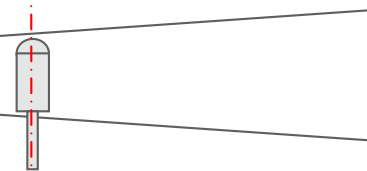
Charge d'ionisation :

(Corrigée T, p)

Q_{tr} (en C)

2)

RX



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

Incertitudes K_{air}

Exemple : Radiodiagnostic (40 mA, 1000 ms)

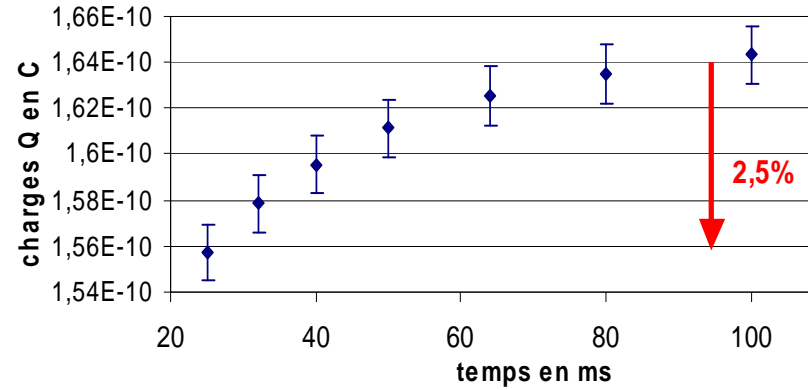
K_{air}		
Constantes physique et facteurs de correction	incertitudes relatives %	type
ρ_{air}	0,04	B
$W_{air/e}$	0,15	B
1-g bremsstrahlung	0,01	B
Volume de mesure	0,05	A
Charge mesurée	0,10	A
distance	0,10	B
electromètre	0,22	B
Temperature	0,04	B
Pression	0,04	B
k_h humidité	0,10	B
k_a air attenuation	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	
k_p transmission des parois	0,02	B
incertitude combinée u_c	0,37	
incertitude élargie, U, k = 2	0,74	

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
incertitude combinée u_c	0,47	
incertitude élargie, U, k = 2	0,94	

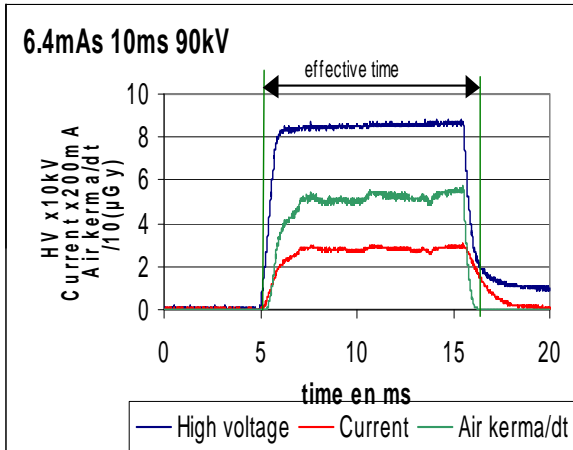
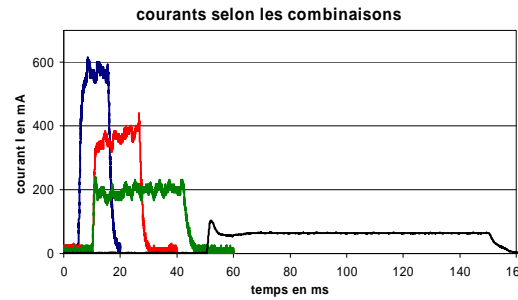
Temps courts

Charges collectées à 16mAs 90kV

mAs (milliampère
seconde)
= Courant x Temps

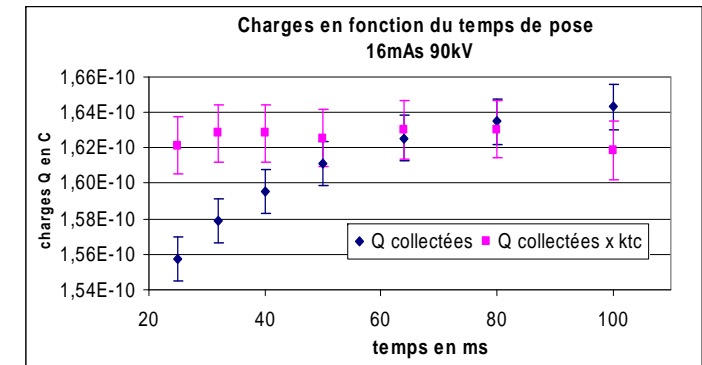


10ms x 640mA
16ms x 400mA
32ms x 200mA
100ms x 64mA



Facteur de correction
(pour les temps courts)

$$k_{tc} = \frac{mAs_{théorique}}{mAs_{efficace}}$$



Etalonnages : temps courts

k_{tc}^1 Pour la détermination du kerma dans l'air

k_{tc}^2 Pour la mesure avec chambre à étalonner

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

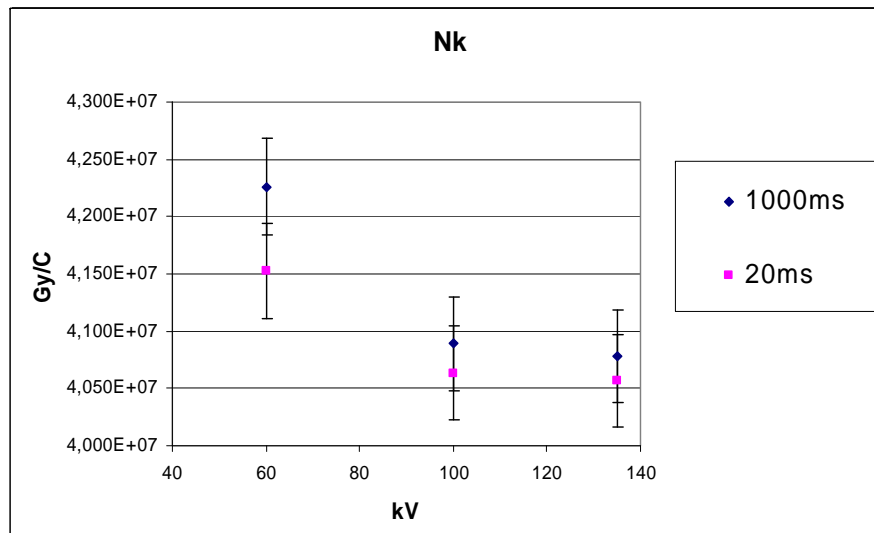
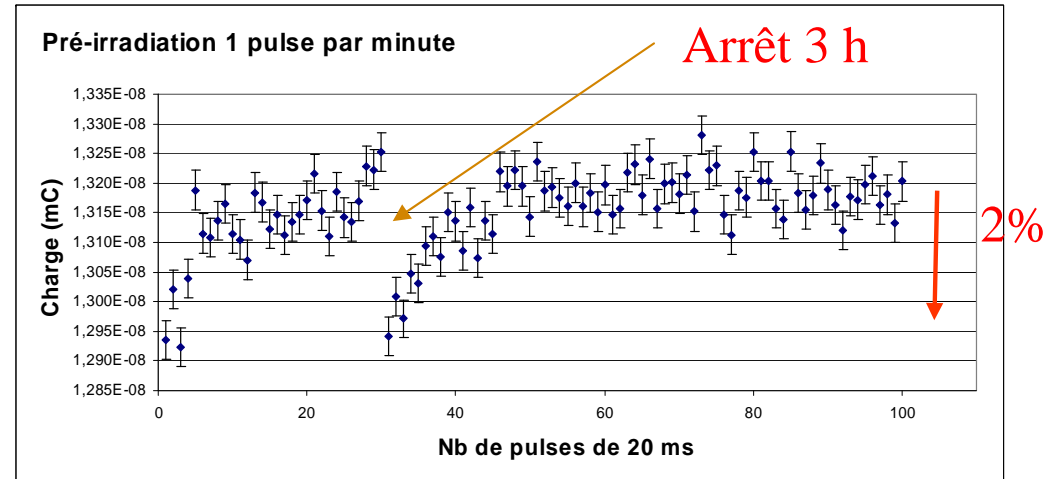
$$\frac{k_{tc}^1}{k_{tc}^2} \approx 1$$

$$\frac{u(N_k^{tc})}{N_k^{tc}} = 1\%$$

Exemples : Chambre NE 2571

rayonnement « pulsé » 10 mAs, 20 ou 1000 ms

	CCRI135	CCRI100	RQR4
HT (kV)	135	100	60
CDA	0,5 mm Cu	3,3 mm Al	2,2 mm Al

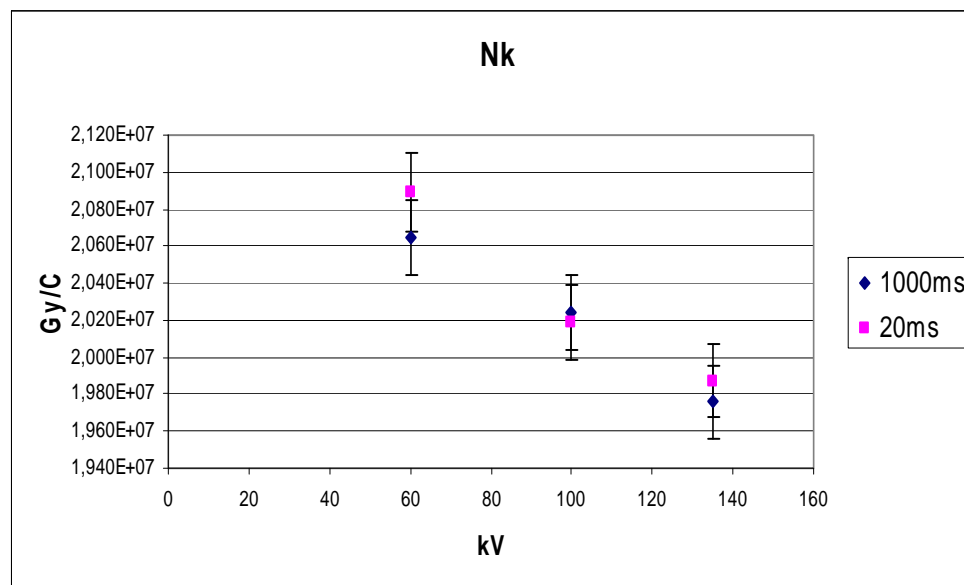


Exemples : Chambre PTW TM 77334

rayonnement « pulsé » 10 mAs, 20 ou 1000 ms



	CCRI135	CCRI100	RQR4
HT (kV)	135	100	60
CDA	0,5 mm Cu	3,3 mm Al	2,2 mm Al



4.2. Matériels nécessaires à la réalisation des contrôles :

Les matériels nécessaires à la réalisation des opérations de contrôle prévues par la présente annexe sont :

- dispositif d’essai de limitation de faisceau de rayons X pour la radioscopie et la radiographie ;
- marqueurs radio-opaques de dimensions connues permettant la détermination précise d’un point de mesure, tels que fils radio-opaques ou pièces de monnaie, au nombre d’au moins 4 ; une règle à détecteurs solides et affichage LCD peut être utilisée en radiographie ;
- règle à graduations millimétriques radio-opaques d’une longueur au moins égale à 260 mm peut être utilisée pour la radiographie et la radioscopie ;
- tout autre matériel équivalent présentant les mêmes fonctionnalités ;
- densitomètre d’une précision supérieure ou égale à 0,02 DO, utilisé conformément aux prescriptions du fabricant et dont l’exactitude est vérifiée avant chaque contrôle avec un film étalon certifié ;
- sensitomètre utilisé conformément aux prescriptions du fabricant ;
- équipements de mesure disposant d’un certificat d’étalonnage ou de conformité valide permettant :
- la mesure non invasive de la haute tension avec une précision de 3 % pour les qualités de faisceaux utilisés en radiologie conventionnelle (de 50 kV à 120 kV au moins) désigné par la suite sous le nom de kVpmètre. Le kVpmètre doit être adapté aux mesures en radioscopie. Lors de son utilisation, les corrections adaptées à la filtration de l’installation contrôlée doivent être appliquées ;
- **la mesure du kerma dans l’air et du débit de kerma dans l’air avec une précision de 5 % pour les qualités de faisceaux utilisés en radiologie conventionnelle (de 50 kV à 120 kV au moins) désigné par la suite sous le nom de dosimètre ;**

Incertitudes de transfert # 1%, + Biais 2% + mesure x% $\Rightarrow \sigma \geq 5\% ??$

Conclusion

- Le LNE-LNHB dispose des références dosimétriques pour les rayons X de basses et moyennes énergies utilisés dans les domaines médical (faisceau pulsés) et industriel.
- Le coefficient d'étalonnage d'une chambre secondaire au radiodiagnostic est mesuré :
 - ✓ pour des durées d'exposition > 100 ms avec une incertitude type de 0,47 % ($k=1$)
 - ✓ pour des durées d'exposition < 100 ms avec une incertitude type de 1 % ($k=1$)
- Selon le type de chambre l'absence de pré-irradiation peut introduire des biais (qq %) Phénomène critique pour les rayonnements pulsés.
- Le LNE-LNHB, accrédité par le COFRAC (ISO 17025), raccorde les laboratoires secondaires et peut réaliser des PTI.

