



RadioProtection Cirkus

Les appareils de radioprotection Mesures de l'exposition externe

Nom de l'auteur : Marc AMMERICH

N° chrono : DOC-FO-20_1

Version du : 15 avril 2018

Le portail de la RP pratique et opérationnelle
www.rpcirkus.org - www.forum-rpcirkus.com

APPAREILS DE RADIOPROTECTION

Estimation des grandeurs de protection avec la mesure de grandeurs opérationnelles

PARTIE 1)

MESURE DU DÉBIT DE DOSE

- La chambre d'ionisation
- Le compteur Geiger-Müller
- Le compteur proportionnel
- Les détecteurs à semi conducteurs



APPAREILS DE RADIOPROTECTION

Précautions d'emploi avant toutes choses Pour tous les modèles de détecteurs

- Mettre en fonctionnement l'appareil quelques minutes avant la mesure.
- Réaliser une évaluation du bruit de fond : mesure en l'absence de toute radioactivité.
- Vérifier l'intégrité de l'appareil : pas de coups portés ou reçus.



MESURE DU DÉBIT DE DOSE

Chambre d'ionisation - Babyline

Babyline 91



Photo : MIRION

Chambre d'ionisation

Volume : 515 cm³

Gamme d'énergie : de 10 keV à 2 MeV

Gamme de mesure : 0,1 mGy/h à 100 mGy/h

$W_R = 1$

Estime H* (10) (3)

Estime H' (0,07)

Estimation de E

MESURE DU DÉBIT DE DOSE

Chambre d'ionisation - Babyline

Cette chambre d'ionisation **Babyline** a été mise au point au CEA, dans les années 50, Beaucoup se sont posés la question : d'où vient ce nom ?

Les chambres d'ionisation de l'époque avaient des volumes importants (de 4 à 20 litres). Pour la première fois les concepteurs ont réussi à faire un appareil plus petit (bébé) que le autres. Ils ont d'ailleurs conçus deux appareils avec des réponses linéaires ou logarithmiques.

D'où les noms : Babyline et Babylog



Photo : MIRION

MESURE DU DÉBIT DE DOSE

Chambre d'ionisation - Babyline

Babyline

Avantages et **Inconvénients**

Réponse indépendante de l'énergie. Mesures sous épaisseurs de références :
300 et 7 mg.cm⁻²

Mesures au contact ou d'un pinceau de rayonnements type générateur X "sous-estimée"

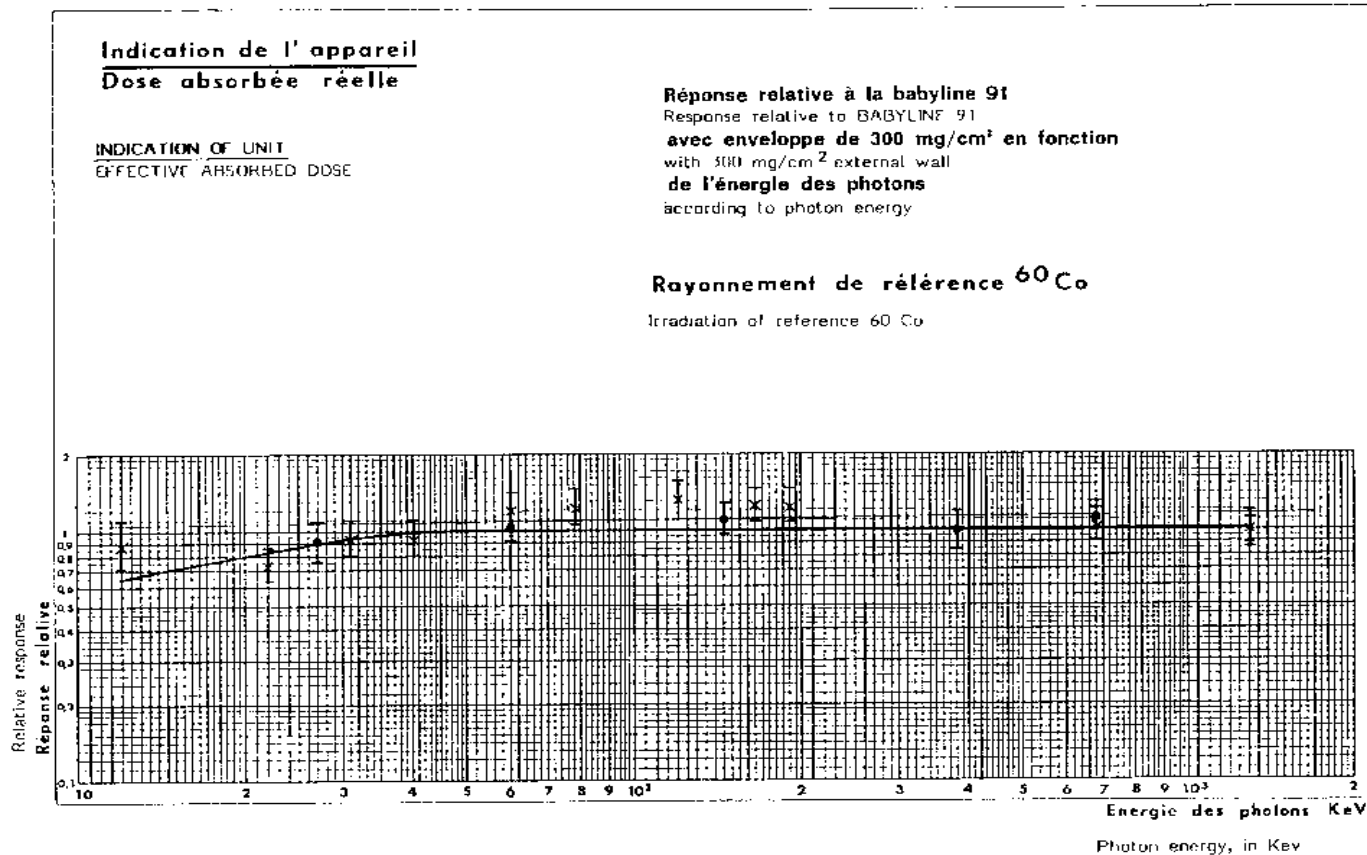
Anisotropie importante si l'énergie est faible

HOMOLOGATION CTHIR



MESURE DU DÉBIT DE DOSE

Chambre d'ionisation - Babyline



Réponse indépendante de l'énergie



MESURE DU DÉBIT DE DOSE

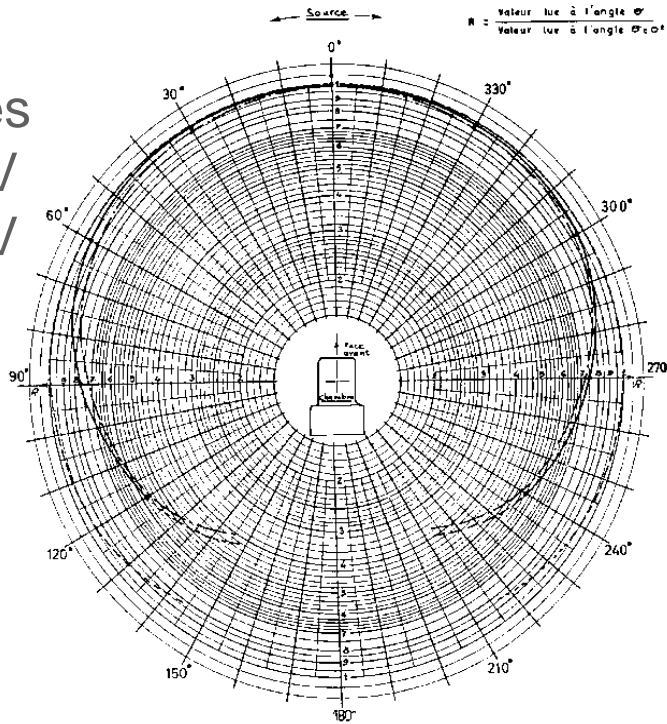
Chambre d'ionisation - Babyline

Réponse angulaire : anisotropie (importante si l'énergie est faible)

$$R = \frac{\text{Value read on } \theta \text{ angle}}{\text{Value read on } \theta = 0^\circ \text{ angle}}$$

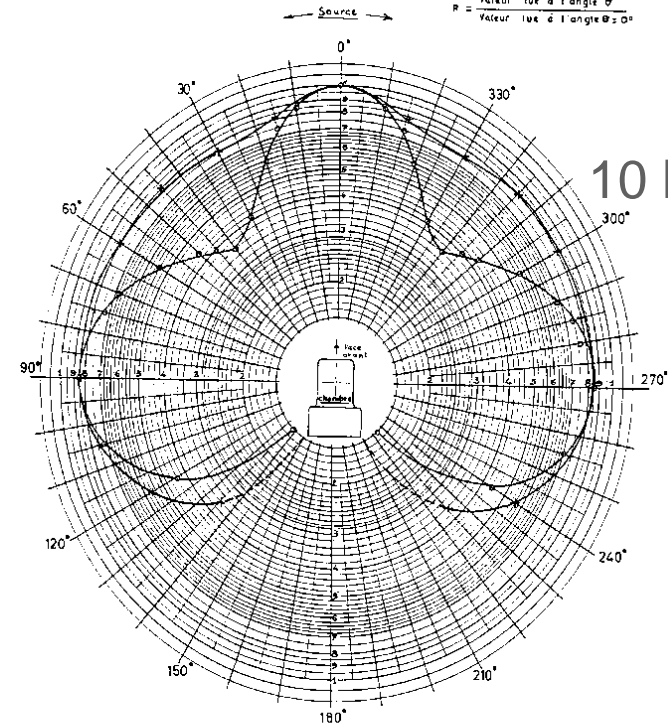
$$R = \frac{\text{Value read on } \theta \text{ angle}}{\text{Value read on } \theta = 0^\circ \text{ angle}}$$

Réponses
1,17 MeV
1,33 MeV



ISOTROPIE DE LA BABYLINE 91

^{60}Co Energie γ $\left\{ \begin{array}{l} 1,17 \text{ MeV} \\ 1,33 \text{ MeV} \end{array} \right.$ avec ou sans enveloppe 300 mg/cm² - - - - -
 ^{241}Am Energie γ 0,060 MeV avec enveloppe 300 mg/cm² - - - - -
 sans
 (Tracé en CEA)



10 keV

ISOTROPIE DE LA BABYLINE 91

^{241}Am Energie γ 0,010 MeV avec enveloppe 300 mg/cm² - - - - -
 sans
 (Document CEA)



MESURE DU DÉBIT DE DOSE

Chambre d'ionisation - Babyline

Exemple de mesure au contact

Babyline : 14 $\mu\text{Gy}/\text{h}$

Dosimètre thermoluminescent

FLi : 0,1 mGy/h

A 30 cm : 1 $\mu\text{Gy}/\text{h}$



MESURE DU DÉBIT DE DOSE

Chambre d'ionisation – Autres détecteurs

Smart ion



Photo : APVL

Chambre d'ionisation

Volume : 450 cm^3

Gamme d'énergie : de 10 keV à 2 MeV

Gamme de mesure : de 0 à 500 mSv/h

Mesure H^* (10)

Mesure H' (0,07)

Estimation de E

MESURE DU DÉBIT DE DOSE

Chambre d'ionisation – Autres détecteurs

Ramion



Photo : ORION France

DOSIMAX



Photo : MEDI-TEST

MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Les Geiger-Müller compensés

Mesurent les photons



Photo : MIRION



Photo : Rotem



Photo : SAFE technologies



Photo : Carmelec



Photo : Saphymo

MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

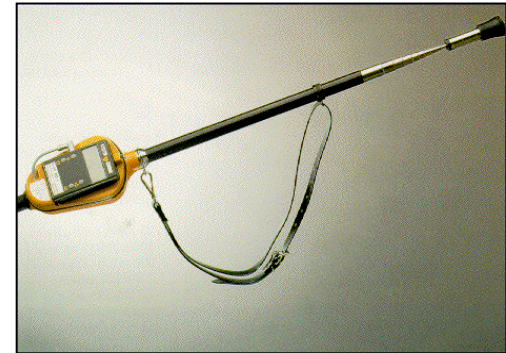
Les Geiger-Müller compensés

La détection des photons est réalisée à l'aide d'un détecteur du type Geiger Müller compensé en énergie de façon à être proche de la réponse théorique attendue en fonction de l'énergie des rayonnements photoniques pour la grandeur $H^*(10)$.



[6150 AD 5 et 6](#)

Photos : Saphymo



Geiger-Müller compensé

Mesure $H^*(10)$ – gamme de mesure $1 \mu\text{Sv/h}$ à 1Sv/h

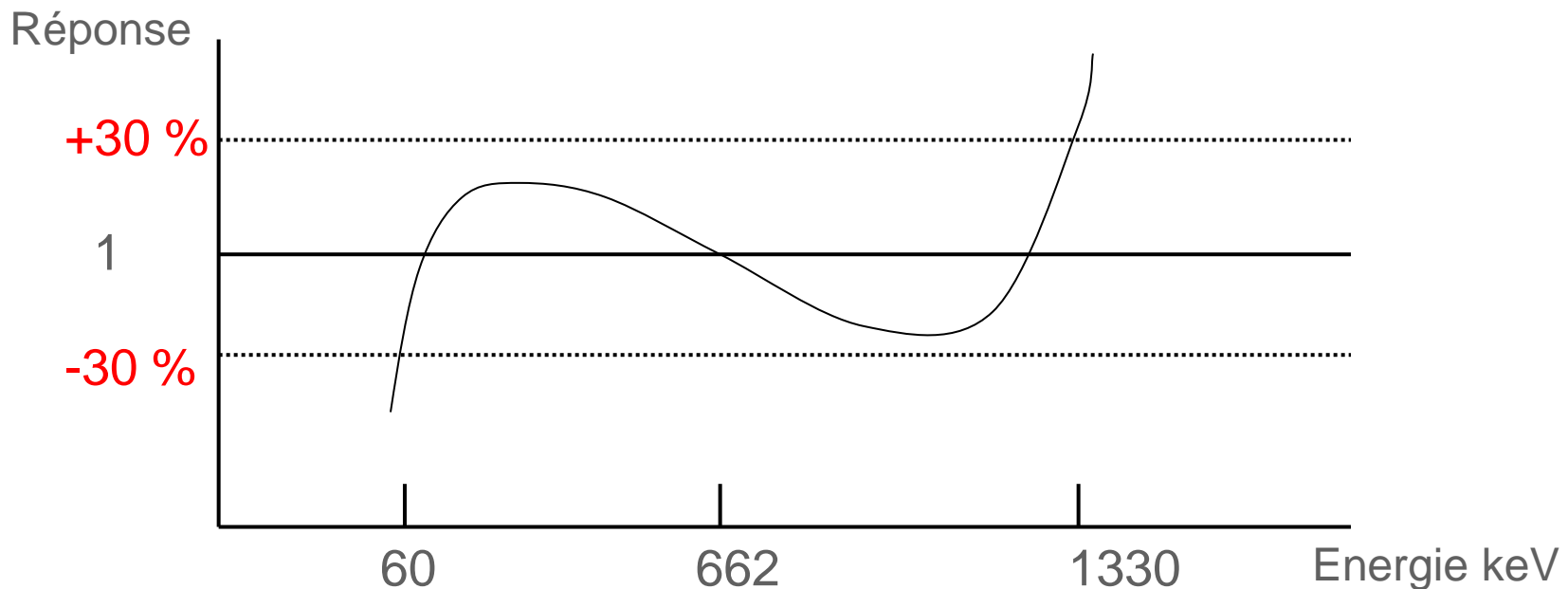
Mesure jusqu'à 4 mètres avec utilisation Télétector.

La réponse, de 60 keV à 1,3 MeV *n'est pas parfaitement linéaire.*



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Un inconvénient à signaler pour tous les appareils du type Geiger-Müller compensé: il y a une limite de validité de la mesure entre 60 keV et 1,3 MeV. Si on regarde l'allure de la courbe de réponse en fonction de l'énergie, on observe :



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Les Geiger-Müller compensés

ita.



Détecteur

RADIAGEM

Geiger-Müller compensé

Mesure H* (10)

1 µSv/h à 1 Sv/h

Photo : MIRION

MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Les Geiger-Müller compensés



Photo : Berthold

LB 134

Réponse en énergie de l'équivalent de dose
ambient $H^*(10)$

Tube Geiger-Müller

Gamme de mesure dynamique : 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ à 20
mSv/h

Gamme d'énergie : 50 keV à 1,3 MeV

Alarme visuelles et sonores librement
paramétrables

Mesure de débit d'équivalent de dose et
l'équivalent de dose

MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

...De l'incertitude de la mesure et de la connaissance des appareils...

Un producteur de déchets fait transporter des poubelles de déchets en décroissance vers un entreposage.

Au départ les mesures de radioprotection sont de :

Contact colis 0.65 mSv/h

1 m du colis 0.08 mSv/h, donnant un TI de 8

Appareil utilisé : **Babyline 81**

A l'arrivé , les mesures de radioprotection sont de :

Contact colis 0.9 mSv/h

1 m du colis 0.13 mSv/h, donnant un TI de 13

Appareil utilisé : **AD 6**



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Si le référentiel de l'installation de réception prévoit que les colis ne peuvent être acceptés que si le DeD à 1m est inférieur ou égal à 0.1 mSv/h. En conformité avec ce référentiel, le colis est renvoyé au producteur.

Lors de la réception retour colis, le producteur mesure:
Contact colis 0.8 mSv/h
1 m du colis 0.09 mSv/h, donnant un TI de 9

Appareil utilisé : [Babyline 81](#)

Qui détient la vérité ?

Tout le monde ! Le colis contenant principalement du cobalt-60, la lecture des courbes de réponse en fonction de l'énergie montre une valeur de + 30 % pour un GM compensé.

....Encore faut-il le savoir !...



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Les compteurs proportionnels

Mesurent les photons



Photo : APVL

Valeurs restituées en $\mu\text{Sv/h}$



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Compteurs proportionnels



Photo : APVL

FH40

Mesure l'équivalent de dose ambiant H*
(10)

0.5 μ Sv/h à 100 mSv/h

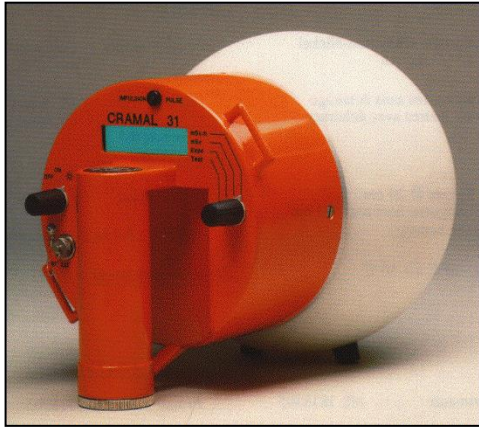
Réponse de 30 keV à 4 MeV

Existe en version bas bruit de fond



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Les compteurs proportionnels neutrons



Photos MIRION

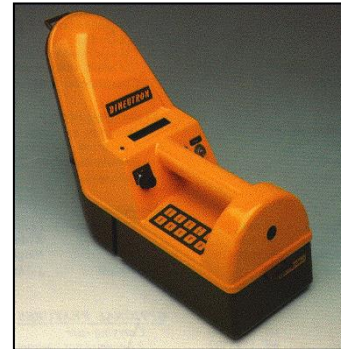


Photo Berthold

Valeurs données en $\mu\text{Sv/h}$

MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Compteur proportionnel neutrons



Photo : MIRION

CRAMAL 31

Neutrons Rapides
DéTECTEUR monosphère
Hélium 3 avec sphère modératrice
2 μ Sv/h à 200 mSv/h

Suivi courbe CIRP
de 2 keV à 15 MeV

Inconvénient : *le poids*

MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Compteur proportionnel neutrons



Photo : MIRION

DINEUTRON

Détecteur bi-sphère
Hélium 3 avec 2 sphères modératrices
1 $\mu\text{Sv/h}$ à 99 mSv/h
Affichage W_R
Suivi de la courbe CIRP
de 0,025 eV à 15 MeV



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Les scintillateurs



Photo APVL



Photo Berthold



Photo Saphymo

Valeurs données en $\mu\text{Sv/h}$ mesurent les gamma et les X

MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Les scintillateurs plastiques



Photo APVL

AT 1123

Mesure H* (10)

1 μ Sv/h à 10 Sv/h (!)

Gamme d'énergie : 15 keV - 10 MeV

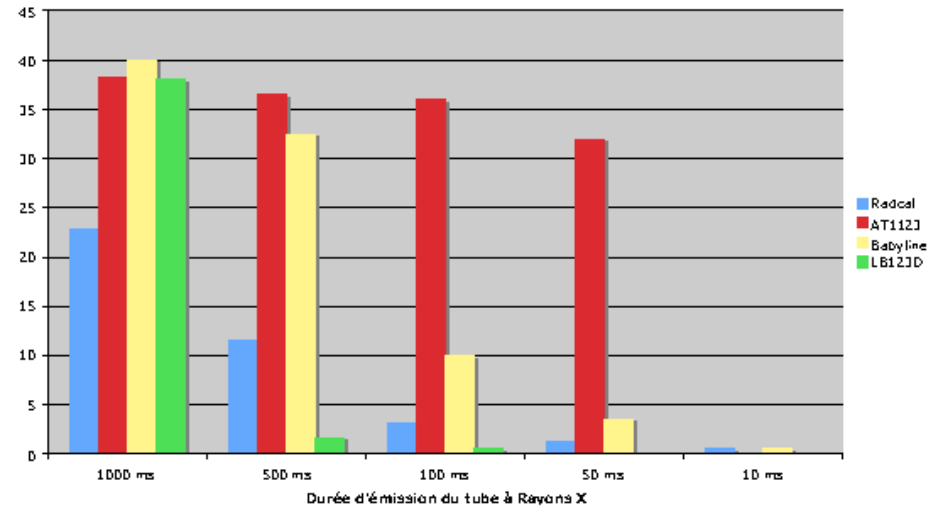
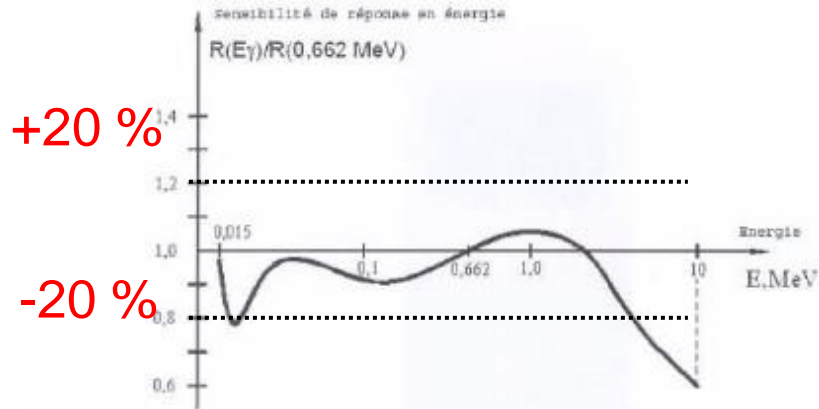
Réponse très rapide

MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Annexe A : Réponse énergétique relative du radiamètre par rapport l'énergie du rayonnement (Réf : Cs137 : 662 keV)

*AT1123 en rouge
première valeur à 50 ms*

70 kV - 100 mA



Réponse en énergie

Temps de réponse



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE

Les nouveaux matériels



Photos : MIRION

Photos
APVL

Photo
ROTEM

Photo Berthold

APPAREILS DE RADIOPROTECTION

Estimation des grandeurs de protection avec la mesure de grandeurs opérationnelles

PARTIE 2)

MESURE DE LA DOSE

➤ Dosimètres



MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Mesure de l'**équivalent de dose individuelle** : $H_p(d)$

C'est l'équivalent de dose dans le tissu mou au point spécifié sur la surface du corps à une profondeur d .

Ce dosimètre peut être constitué d'un détecteur recouvert d'une épaisseur appropriée de matériau équivalent tissu.



MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée

Dans cette catégorie on trouve aujourd'hui les dosimètres:

- Radiophotoluminescents
- Radiothermoluminescents

Le dosimètre photographique a disparu (et pourtant le nombre de personnes qui utilisent le vocable dosifilm est toujours significatif).

Ce sont ces dosimètres qui servent au niveau réglementaire de dosimétrie de référence.



MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée



> InLight contient un boîtier porte-écrans avec 4 détecteurs OSL, permettant la mesure et la différenciation des rayons X, gamma et bêta.

Photo Landauer

Dosimètres radiophotoluminescents

Corps entier

Oxyde d'aluminium dopée au carbone

Réponse indépendante de l'énergie
entre 5 keV et 10 MeV

Gamme de dose : 0,01 mGy à 10 Gy

Emballage dans un boîtier étanche

Lecture par luminescence stimulée
optiquement OSL (Laser)

MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée

Dosimètres radiothermoluminescents

Corps entier
Fluorure de Lithium
Réponse indépendante de l'énergie entre
5 keV et 10 MeV



Photo Dosilab

MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée



Photo IRSN

Dosimètres radiophotoluminescents

Corps entier

5 plages de mesures en routine
(15 en analyse spécifique)

Réponse en énergie

$\pm 10\%$ entre 10 keV et 10 MeV

Seuil d'enregistrement : 50 μSv

Fading négligeable

Pas d'influence des conditions extérieures
(T° ,chaleur, humidité).

MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée

Dosimètres radiophotoluminescents - Corps entier

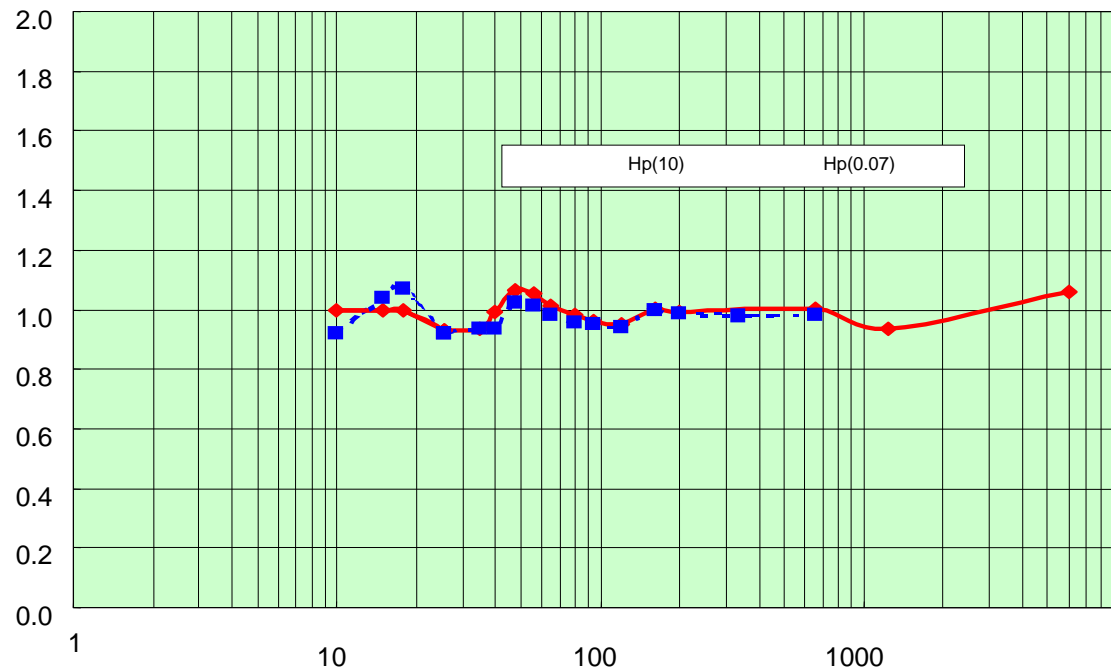


Photo IRSN

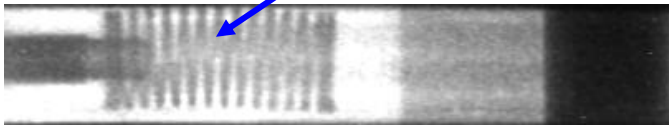
Réponse en énergie du dosimètre
RPL 450 (en keV)



MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée

Ressort



Présence d'un stylo bille
devant le dosimètre



Présence de photons de
faible énergie 13,8 keV

Photos IRSN

Dosimètres radiophotoluminescents

Comme pour le film, la technique RPL permet de réaliser des images.

Présence d'objet devant le dosimètre.
L'identification d'une contamination sur le dosimètre.

Discrimination en énergie gamma haute et basse énergie
gamma et bêta y compris de basse énergie.

MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

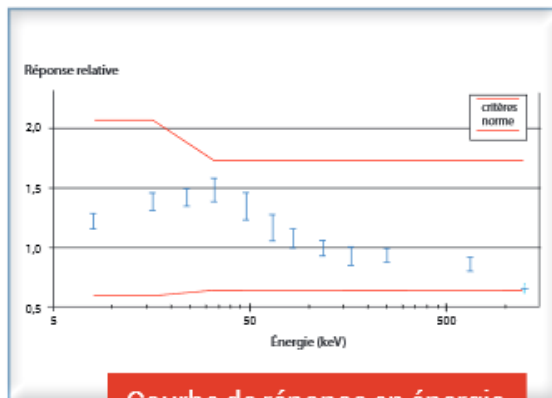
Les dosimètres à lecture différée - Extrémités

Dosimètres radiothermoluminescents

| Rayonnement | Gamme d'énergie | Gamme de dose |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| Photons (X, γ) | de 8 keV à 1.25 MeV | De 0.2 mSv à 10 Sv |
| Bêta | > 0.8 MeV | De 0.8 mSv à 500 mSv |



Photo IRSN



Courbe de réponse en énergie



MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée - Extrémités

Dosimètres radiothermoluminescents



Photo Dosilab



MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée - Extrémités

Dosimètres radiothermoluminescents



Photo: Landauer

| Type de rayonnement mesuré | Résultat du dosimètre MONOBAGUE | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| | Photons | Bêta |
| Grandeurs mesurées | Hp (0,07) poitrine et poignet | |
| Domaine de mesure | 0,10 mSv à 5 Sv | |
| Seuil de report | 0,1 mSv | |
| Linéarité de réponse | 0,10 mSv à 5 Sv Écart type < à 7 % | |
| Réponse en énergie (énergie moyenne) | 15 keV à 1 MeV | 250 keV à 1 MeV |
| Réponse angulaire | $\pm 60^\circ$ de 15 keV à 1 MeV | $\pm 60^\circ$ de 250 keV à 1 MeV |

MESURE DE L'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture différée - Cristallin



Photo: Landauer



Photo: IRSN

Dosimètres radiothermoluminescents conçus pour :

- Études de poste et suivi des travailleurs
- Configurations multiples avec ou sans EPI
- Adaptable à tout support de protection
- Identification simple et rapide
- Équivalent de dose individuel Hp (3)



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture directe

Dans cette catégorie on trouve aujourd'hui les dosimètres opérationnels à lecture directe. Ce sont pour la plupart des dosimètres à semi-conducteur.

Ces dosimètres sont nécessaires pour entrer en zone contrôlée et suivre ainsi la dose reçue en temps réel.

Ils ont pour obligation réglementaire de fournir des estimations majorantes de l'exposition externe corps entier.



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres à lecture directe – Quelques modèles



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE



| | Eurisys Mesures Dosicard | MGP DMC 2000 XB | MTE Rados ELD | MTE Rados ELD |
|------------------------|-------------------------------|---------------------|---|---|
| NATURE DU DÉTECTEUR | diode Silicium | diode Silicium | DIS Chambre d'ionisation | DIS + Lecteur PDU |
| GAMME D'ÉNERGIE | 60 keV à 1,25 MeV | 20 keV à 6 MeV | Hp(10) 15 keV à 9 MeV Hp(0,07) 6 keV à 9 MeV | Hp(10) 15 keV à 9 MeV Hp(0,07) 6 keV à 9 MeV |
| GRANDEUR MESURÉE | | Hp(10) Hp(0,07) | Hp(10) Hp(0,07) | Hp(10) Hp(0,07) |
| GAMME DE DOSE | 1 µSv à 10 Sv | 1 µSv à 10 Sv | Hp(10) 1 µSv à 40 Sv Hp(0,07) 10 µSv à 40 Sv | Hp(10) 1 µSv à 40 Sv Hp(0,07) 10 µSv à 40 Sv |
| GAMME DE DÉBIT DE DOSE | 1 µSv/h à 1 Sv/h | 0,1 µSv/h à 10 Sv/h | | Calculé à partir du lecteur PDU |
| ALARMES | Sonore et visuelle | Sonore et visuelle | | Sonore et visuelle |
| DIMENSIONS | 89x57x8 mm | 84x48x17,5 mm | 44x41x9 mm | 90x62x14 mm |
| POIDS | 50 g | 70 g | 20 g | 120 g |
| ALIMENTATION | Pile lithium | Pile lithium | | Pile type AA |
| AUTONOMIE | 3000 h en utilisation normale | 9 mois | > 10 ans | 2 mois et demi en utilisation normale |

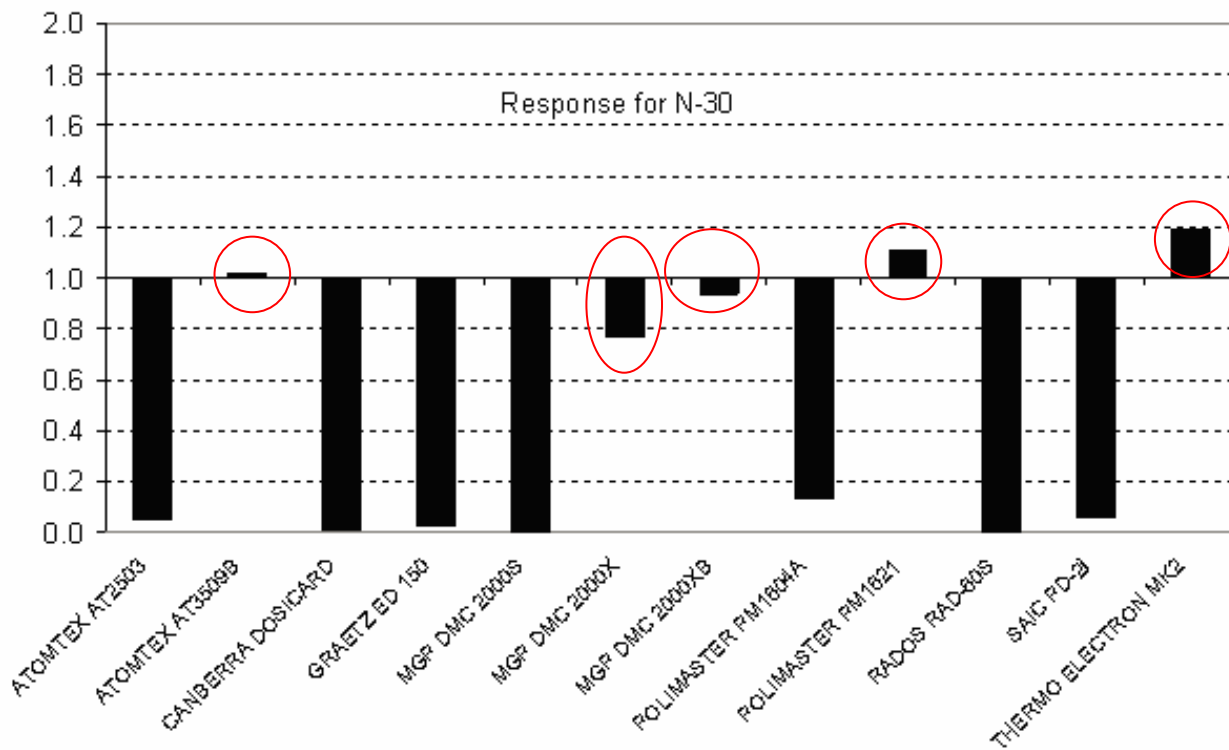
| | Saphymo Dox Si-2G | MTE Rados RAD 52 | APVL Siemens | ARIES Dositec L36 | |
|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---|--------------------|------------------------|
| NATURE DU DÉTECTEUR | diode Silicium | diode Silicium | diode Silicium | diode Silicium | NATURE DU DÉTECTEUR |
| GAMME D'ÉNERGIE | 48 keV à 1,5 MeV | 80 keV à 3 MeV | Hp(10) 20 keV à 6 MeV Hp(0,07) 250 keV à 1,5 MeV | 80 keV à 6,2 MeV | GAMME D'ÉNERGIE |
| GRANDEUR MESURÉE | Hp(10) | Hp(10) | Hp(10) Hp(0,07) | Hp(10) | GRANDEUR MESURÉE |
| GAMME DE DOSE | 1 µSv à 0,1Sv | 1 µSv à 1 Sv | 1 µSv à 16 Sv | 1 µSv à 9,99 Sv | GAMME DE DOSE |
| GAMME DE DÉBIT DE DOSE | 10 µSv/h à 8 Sv/h | 5 µSv/h à 3 Sv/h | 1 µSv/h à 4 Sv/h | 10 µSv/h à 1 Sv/h | GAMME DE DÉBIT DE DOSE |
| ALARMES | Sonore | Sonore et visuelle | Sonore et visuelle | Sonore et visuelle | ALARMES |
| DIMENSIONS | 105x70x30 mm | 78x67x22 mm | 85x63x19 mm | 48x70x17 mm | DIMENSIONS |
| POIDS | 180 g | 80 g | 95 g | 77 g | POIDS |
| ALIMENTATION | Pile lithium | Pile alcaline | Pile alcaline ou lithium | Pile lithium | ALIMENTATION |
| AUTONOMIE | 18 mois en utilisation normale | 2 mois et demi en utilisation normale | Lithium : 5 mois Alcaline : 2 mos | 6 mois | AUTONOMIE |

Performances des principaux dosimètres opérationnels disponibles en France



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les inter comparaisons ont montré que tous les dosimètres ne mesuraient pas les gamma ou X de faible énergie.



MESURE DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE ABSORBÉE

Les dosimètres ne conviennent pas tous, à tous les champs de rayonnements.

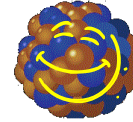
Des précautions sont à prendre avec:

- Les rayonnements Beta
- Les rayonnements X à basses énergies
- Les champs pulsés.





POUR RÉSUMER



**Les appareils de mesures sont extrêmement variés.
Il ne demeure pas moins qu'il faut se poser les bonnes questions avant d'entreprendre une mesure :**

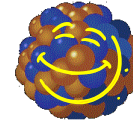
- Dose, débit de dose, débit d'équivalent de dose
- En profondeur, à la peau, au cristallin
- Quels types de rayonnements (simples ou multiples)
- Temps de réponse
- Gamme de mesure en énergie
- Gamme de mesure en dose, en débit de dose

...Sont les premiers pas pour une mesure correcte.





POUR RÉSUMER



- Nous vous incitons à vous rendre sur les sites des constructeurs. A étudier les documentations techniques.
- Nous ne pouvons être exhaustifs tant il y a d'appareils à votre disposition pour faire vos mesures.
- Et n'hésitez pas à les contacter ou venir les voir lors des différentes journées techniques où ils sont généralement présents.

