Radiographie à l'aide d'un générateur pulsé de rayons X. Filtrage équilibré pour la mesure de largeur de dose à l'aide d'une diode PIN

J.-Cl. Brion, E. Paraf

► To cite this version:

J.-Cl. Brion, E. Paraf. Radiographie à l'aide d'un générateur pulsé de rayons X. Filtrage équilibré pour la mesure de largeur de dose à l'aide d'une diode PIN. Journal de Physique IV Proceedings, 1996, 06 (C4), pp.C4-755-C4-761. 10.1051/jp4:1996473 . jpa-00254356

HAL Id: jpa-00254356

<https://hal.science/jpa-00254356>

Submitted on 1 Jan 1996

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Radiographie à l'aide d'un générateur pulsé de rayons X. Filtrage équilibré pour la mesure de largeur de dose à l'aide d'une diode PIN

J.-Cl. Brion et E. Paraf

EUROPULSE, Route de Neyrague, 46600 Cressensac, France

Résumé : La radiographie-éclair est une technique d'observation des phénomènes rapides en milieux opaques ou éclairants mettant en oeuvre des photons X pulsés. La durée d'émission est de quelques dizaines de ns et l'énergie des photons atteint plusieurs centaines de keV. Un effet de flou inhérent à cette technique, qui dépend en particulier de la dimension de la source d'émission et de la durée d'émission, se produit sur l'image formée. On emploie une diode PIN (Silicium) pour mesurer la largeur de dose. La sensibilité du silicium favorisant nettement les X mous, on a mis au point un filtre adapté dont l'atténuation uniformise en fonction de l'énergie la sensibilité d'ensemble. Ainsi, la mesure reflète mieux l'ensemble du spectre émis.

Abstract : Flash radiography enables studying fast events in opaque or lighting media, thanks to pulsed X rays. Emission time is about a few tenth of ns and X rays energy can reach several hundred of keV. Blurring on the image is an intrinsic phenomenon of flash radiography. This blurring depends mainly on the emission source size and on the emission time. We are using a PIN diode (Silicium) in order to measure the emission time. As silicium sensitivity is much higher for soft X rays, we develop a suited filter which attenuation tends to make the overall sensitivity almost flat with respect to X rays energy. Measurement this way is much more closed to the whole energy spectrum emitted.

1. LA RADIOGRAPHIE-ÉCLAIR.

1. 1. Introduction.

La génération de photons X pulsés avec une durée d'émission de l'ordre de quelques dizaines de ns, permet l'observation en milieux opaques ou éclairants de phénomènes mettant en jeu des mobiles animés de vitesse de l'ordre du km / s : c'est la technique de la *radiographie-éclair* [1].

Les applications principales de la radiographie-éclair se rapportent à la balistique et à la détonique [2, 3]. Cette technique permet l'étude de divers phénomènes :

- Observation des ondes de choc dans des gaz, des liquides et des solides.
- Mesure de vitesse de détonation, mesure de densité et de vitesse à l'arrière d'un front de détonation.
- Position et vitesse d'un projectile le long de son parcours, déformation à la traversée de la cible.

Application à la mesure de vitesse (Figure 1).

La détermination de la vitesse d'un mobile, en radiographie-éclair, nécessite une installation disposant de plusieurs tubes RX. En supposant connues les distances entre tubes, ainsi que les instants auxquels chaque tube émet par rapport à un instant d'origine, on peut alors déduire la vitesse du mobile.

Distance entre tubes : d.

Instants d'émission successifs des tubes RX : t_n .

La vitesse du mobile est : $v = d / (t_2 - t_1)$

Figure 1. Exemple d'application de la radiographie-éclair : mesure de vitesse.
Application of flash radiography example : speed measurement.

1. 2. L'effet de flou.

Un effet physique important, intrinsèque à la radiographie-éclair, est le flou sur l'image obtenue. Ce flou résulte de la combinaison de trois phénomènes.

-Le flou de diffusion (Figure 2). Il est issu de l'interaction des photons X tout au long du parcours entre la source et le film photographique (diffusion Compton). Lors d'une interaction Compton [4], le photon incident est *diffusé* par un électron du milieu traversé. Le photon diffusé voit alors sa trajectoire déviée par rapport à celle du photon incident. L'énergie initiale du photon incident est répartie entre le photon diffusé et l'électron qui a donné lieu à l'effet Compton. La probabilité d'interaction d'un photon par effet Compton, comparée à l'absorption photo-électrique, dépend à la fois de l'énergie du photon et du numéro atomique (Z) du milieu de propagation.

En radiographie-éclair, l'effet de la diffusion des photons sur le flou produit à l'image intervient de plusieurs façons. D'une part, le photon peut être diffusé par le tube RX lui-même (verre de l'enceinte, par exemple) ou par l'objet à radiographier, ainsi que par tout autre élément se plaçant sur le parcours allant de la source d'émission au film photographique. Dans ce cas, c'est l'effet de déviation qui introduit le flou, les photons pouvant être recueillis ainsi par le film ayant une trajectoire "fausse". D'autre part, la diffusion peut se produire à l'intérieur même de l'émulsion photographique. Alors c'est le dépôt d'énergie à distance créé par le photon diffusé qui produit le flou.

Figure 2. Flou de diffusion : différentes causes de diffusion.
Scattering blurring : different sources of blurring.

Figure 3. Le flou géométrique.
Geometrical blurring.

-Le flou géométrique (Figure 3). Il est dû à la dimension de la "*tache focale*" (dimension de la source d'émission). C'est la conséquence d'une source de dimension finie, par opposition à la source idéale ponctuelle. Par ailleurs, le flou géométrique est également lié au grandissement introduit par les positions relatives de la source, de l'objet et de l'écran.

Les paramètres géométriques suivent.

f : diamètre de la tache focale.

h : dimension de l'objet, perpendiculairement au faisceau.

a : distance entre le lieu d'émission et l'objet à radiographier.

b : distance entre l'objet et le film photographique.

ϕ_1, ϕ_2 : diamètres observés sur le film.

Les relations suivantes permettent d'exprimer l'effet de la tache focale.

$$\phi_1 = h \cdot (1 + b/a) - b \cdot f/a$$

$$\phi_2 = h \cdot (1 + b/a) + b \cdot f/a$$

Estimation du flou dû à la tache focale.

Soit : $f = 2 \text{ mm}$

$a = 500 \text{ mm}$

$b = 100 \text{ mm}$

Alors : $\phi_2 - \phi_1 = 0,8 \text{ mm}$.

-Le flou dynamique. Il résulte de la combinaison entre la vitesse d'évolution du mobile, souvent élevée, et le temps d'émission des photons X (profil temporel de la dose) qui tout en étant très bref, est évidemment non-nul.

Estimation du flou dynamique.

Soit $v = 4000 \text{ m/s}$ la vitesse du mobile et $\tau = 50 \text{ ns}$ le temps de pose. On se place dans le cas du film idéal, ayant une réponse uniforme en fonction de l'énergie des photons incidents

Le flou dynamique introduit correspond à un déplacement de l'objet de : $v \cdot \tau = 0,2 \text{ mm}$, avant grandissement éventuel.

2. MESURES ASSOCIÉES.

2. 1. Mesure de la tache focale.

La largeur de la tache focale, qui dépend principalement de la géométrie de la diode émettrice peut être mesurée par de différentes méthodes :

- Méthode du sténopé.
- Méthode du coin infiniment absorbant.
- Méthode de la caméra à trou "pinhole" (Figure 4).

Figure 4. Méthode de la caméra à trou pour la mesure de la tache focale.
Source size measurement by the pinhole method.

La méthode de la "pinhole" pour mesurer la dimension de la tache focale d'un tube RX consiste à intercaler entre la source X et le film photographique une plaque d'un matériau dense (Plomb, Tantale...) et percée d'un trou de diamètre petit devant la dimension présumée de la tache focale. Evidemment, le cas idéal correspondrait à un plan infiniment fin et au pouvoir absorbant infiniment grand.

Les paramètres géométriques suivent.

f : diamètre de la tache focale ; l'émission, par hypothèse, n'a lieu que sur la circonférence.

a : distance entre le lieu d'émission et l'entrée de l'écran.

b : distance entre la sortie de l'écran et le film

h_0, h : respectivement diamètre interne et externe de la zone exposée sur le film.

Le diamètre de la tache focale est liée aux paramètres géométriques :

$$f = a \cdot (h + h_0) / (2 \cdot b)$$

Dans le cas particulier où l'émission a lieu sur le disque entier de diamètre f et non plus seulement à la circonférence, alors la zone exposée est le disque entier de diamètre h , et non plus la couronne (h, h_0). L'expression du diamètre de la tache focale est alors simplifiée.

$$f = a \cdot h / (2 \cdot b)$$

2. 2. Mesure du profil temporel de la dose déposée.

Le profil temporel de dose, plus simplement la largeur de dose, peut être mesuré soit à l'aide d'un ensemble scintillateur-photomultiplicateur, soit à l'aide d'une diode PIN (Silicium).

La sensibilité du semi-conducteur, pour le cas de la diode PIN décroît nettement avec l'énergie des photons X émis au-delà de quelques 10 keV. Pour rendre la sensibilité du dispositif plus uniforme, on dispose en amont de la diode PIN un assemblage de matériaux de géométrie et de densité tels que l'ensemble réalise un filtrage dont l'efficacité varie en fonction de l'énergie des photons incidents en compensant la non uniformité de la réponse du silicium (Figure 5).

Figure 5 . Filtrage adapté : ◇ sensibilité intrinsèque de la diode, □ atténuation due au filtre, Δ sensibilité globale.

Suited filtering : ◇ diode sensitivity, □ filtre attenuation, Δ overall sensitivity.

Figure 6. Algorithme de calcul du filtre adapté.
Suited filter calculation algorithm.

Le filtre est composé de matériaux usuels, mais de densité nettement différentes pouvant aller de l'Aluminium jusqu'au Tantale. L'assemblage est formé d'un disque muni d'un perçage central pour chaque matériau choisi. On a développé un calcul informatique qui optimise la

conception du filtre en déterminant l'épaisseur et le diamètre de perçage de chaque matériau à partir de la réponse du Silicium sur une plage en énergie donnée (Figure 6). Pour une surface active de diode définie par un disque de diamètre de 12 mm, le perçage est nettement différent d'un matériau à l'autre. Dans le cas de l'aluminium, le disque entier est conservé alors que pour les matériaux plus lourds le perçage peut atteindre un diamètre de 8 à 9 mm.

On présente l'effet du filtre sur le signal de dose déposée, à partir d'une tension délivrée de 450 kV (Figure 7. Abscisses : 25 ns/div. Ordonnées : 2 V/div sans le filtre, 1V/div avec le filtre). Les profil temporels de dose obtenus sont nettement distincts selon que la diode est équipée ou non de son filtre. Lorsque la diode PIN est sans filtre, la montée du signal est de 19 ns et la largeur de dose (largeur à mi-hauteur du signal mesuré) est de 58 ns. Avec le filtre, on obtient alors 16 ns pour le temps de montée et 35 ns pour la largeur de dose.

Figure 7. Profil temporel de dose obtenu à l'aide d'une diode PIN : effet du filtre.
Timing dose acquisition with a PIN diode : filter effect.

3. CONCLUSION.

La mesure de la largeur de dose à l'aide d'une diode PIN seule renforce nettement la contribution des photons X les plus mous (jusqu'à quelques 10 keV). Ce faisant, on obtient une largeur de dose, mesurée comme la largeur à mi-hauteur du signal, nettement surestimée. L'utilisation du filtre adapté, en uniformisant la sensibilité en fonction de l'énergie des photons, permet ainsi une mesure plus fidèle de la largeur de dose car le signal obtenu est alors plus représentatif de l'ensemble du spectre.

Références.

1. La radiographie-éclair. *La revue des laboratoires d'essais*, Mars 1987.
2. R. Germer. X-ray flash techniques. *J. Phys. E : Sci. Instrum*, Vol 12, 1979.
3. F. Jamet, I. G. Thomer. Flash radiography, Elsevier, Amsterdam, 1976.
4. R. D. Evans. The atomic nucleus, Krieger, New York, 1982.