

Étude et développement d'un flash X rafale à foyer unique

M.M. Idrissi, R. Viladrosa, E. Robert, C. Cachoncinlle et J.M. Pouvesle

GREMI, Groupe de Recherches sur l'Énergétique des Milieux Ionisés, UMR 6606, Université d'Orléans, 14 rue d'Issoudun, BP. 6744, 45067 Orléans cedex 2, France

Résumé. Nous présentons les premiers résultats de l'étude d'une nouvelle source, compacte, permettant de produire à partir d'un foyer unique des trains d'impulsions de photons X d'énergie allant de quelques keV à quelques centaines de keV. La source doit fonctionner à très haute fréquence, de quelques centaines de Hz en mode pulsé sur plusieurs secondes, à quelques kHz en mode rafale sur quelques coups (3 à 5 impulsions par rafale). Au stade actuel de développement la source peut fonctionner jusqu'à 500 Hz en mode pulsé et à plus de 2 kHz en mode rafale sur des trains de 5 impulsions. L'énergie des rayons X dans ces deux modes peut atteindre plusieurs centaines de keV.

1. INTRODUCTION

La radiographie rapide (durée d'exposition de quelques nanosecondes à quelques dizaines de nanosecondes) en mode monocoup existe depuis longtemps [1-2]. Elle est très largement utilisée dans le domaine industriel. Elle ne peut cependant satisfaire la demande croissante d'étude dynamique (ballistique, contrôle non destructif d'objet en mouvement, ...) nécessitant des séries d'impulsions X très rapprochées à partir d'un foyer unique.

Jusqu'à maintenant, pour pallier le manque de sources existantes, les expériences ou mesures faisaient appel à l'utilisation de plusieurs sources monocoup déclenchées avec des retards réglables conduisant à des images prises sous différents angles. Cette méthode rend bien sûr l'analyse des radiographies très difficile en raison des variations de position de la source de rayonnement.

Il est donc nécessaire de développer de nouvelles sources permettant de produire à partir d'un seul foyer des impulsions de photons X, d'énergie allant de quelques keV à quelques centaines de keV, à très haute fréquence (quelques centaines de Hz à quelques dizaines de kHz) en mode rafale.

Pour répondre à ces nouveaux besoins, nous avons travaillé sur un nouveau type de source pouvant a priori permettre de répondre aux exigences souhaitées, tout en gardant un caractère compact et transportable comme les autres sources précédemment développées au GREMI [6-7]. Dans cette étude, les principaux verrous se situent au niveau du système de commutation rapide et de la diode. Dans les deux cas, il existe des problèmes importants liés aux aspects d'extinction des plasmas générés. Nous présentons les premiers résultats obtenus sur un dispositif à foyer unique, émettant des photons X dont l'énergie peut atteindre 200 keV et fonctionnant à très haute cadence, produisant soit des trains d'impulsions longs (plusieurs secondes) à quelques centaines de hertz, soit des rafales de quelques coups dans la gamme kHz.

2. MONTAGE

Le montage expérimental est présenté à la *fig.1*. Il est composé de trois ensembles : un chargeur de condensateurs, un système de mise en forme de l'impulsion Très Haute Tension (THT) et d'une diode X. Le chargeur de condensateurs Technix (50 kV, 8 kJ) est dimensionné dans le but de charger les bancs de condensateurs C_T et C_S (respectivement condensateur permettant la commutation et condensateur transférant l'énergie dans le tube X) de capacité totale 12nF à une fréquence élevée de 500 Hz dans des trains d'impulsion longs. Les condensateurs du système THT sont montés dans une configuration de type Blumlein [4], commuté par un thyatron pouvant fonctionner à des cadences, pour l'instant, légèrement supérieures au kHz. En sortie du multiplicateur, nous pouvons produire des impulsions électriques entre 200 et 400 kV de temps dont le temps de montée varie de 75 à 90 ns. Les impulsions X obtenues, de largeur à mi-hauteur de 30 à 50 ns *fig.2b*, dépendent de la configuration des électrodes de la diode X et de la pression résiduelle régnant à l'intérieure de celle-ci. La diode de conception relativement classique en configuration anode pointe et cathode disque est sous vide entretenu, $5 \cdot 10^{-4}$ mbar au niveau de la diode.

La source développée fonctionne soit en mode pulsé soit en mode rafale. Ces deux modes possèdent des caractéristiques électriques différentes, ils sont par conséquent commandés indépendamment l'un de l'autre.

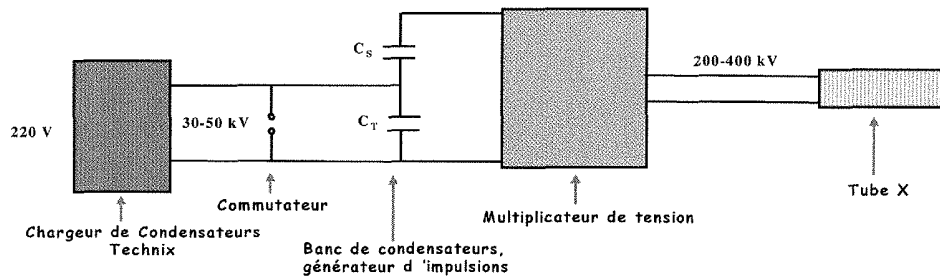


Fig. 1. Dispositif expérimental

3. FONCTIONNEMENT ET OPTIMISATION DE LA SOURCE

Dans le mode pulsé la charge du banc de condensateurs se fait par l'alimentation haute tension Technix,

La charge du banc de condensateur de 12 nF à 50kV se fait en un peu moins de 1 ms *fig.2a*. Ceci permet d'atteindre des fréquences avoisinant le kHz.

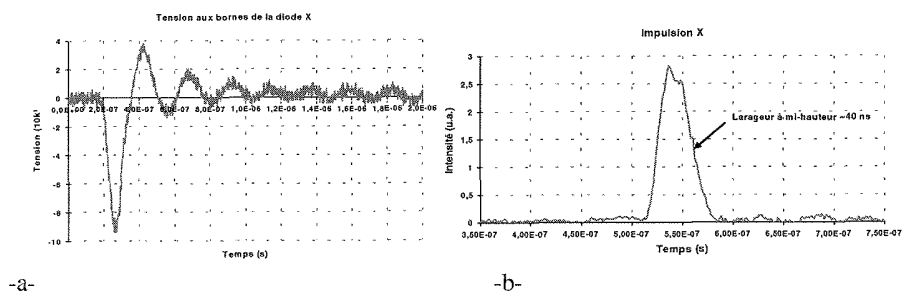


Fig.2. Evolutions temporelles typiques : de la tension à la diode X (a), d'une impulsion de rayons X (b).

Le générateur très haute tension permet de produire des impulsions de tension d'une largeur à mi-hauteur de l'ordre de la centaine de nanosecondes, conduisant à des fronts de montée en courant dI/dt de l'ordre de 10^{11} A s^{-1} , ce qui favorise la production de débit de dose extrêmement élevé, de quelques 10^7 à 10^8 rad s^{-1} . La dose d' X produite a été optimisée en fonction de la pression au sein du tube X, l'énergie stockée dans C_S et C_T , la tension de charge et la distance inter-électrodes. Actuellement on obtient des doses de l'ordre de 1 à 2 mrad à 1 m de la source. Les fluctuations de la dose sont inférieures à 10 %.

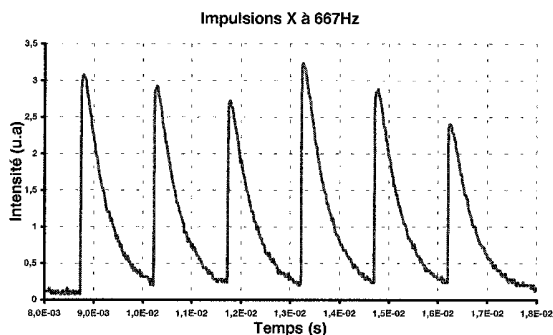
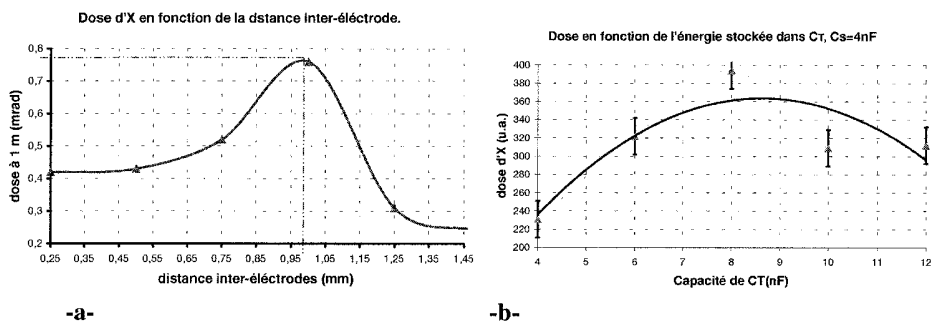


Fig.3 Rafale de six tirs à 667 Hz en mode pulsé

Une rafale de six impulsions X à très haute cadence est représentée *fig.3*. Les impulsions X sont enregistrées au moyen d'une photodiode Hamamatsu sensible au rayonnement X, le rayonnement visible étant coupé par une fine lame d'aluminium de $12 \mu\text{m}$. Sur cette figure la durée des impulsions mesurée ne représente pas la durée réelle des impulsions, l'impédance d'entrée de l'oscilloscope ayant une valeur élevée de manière à pouvoir visualiser le train d'impulsions sur une plage de temps adéquate. La durée réelle de ces impulsions est d'environ 40 nanosecondes (voir *fig.2b*).



-a-

-b-

Fig.4 Variation de la dose pour une tension de charge de 30 kV en fonction de :
-a- distance anode-plan de la cathode pour $C_S= 4 \text{ nF}$ et $C_T= 8 \text{ nF}$, -b- la valeur de la capacité de transfert.

Les *fig. 4a* et *4b* mettent en évidence la forte influence de la géométrie des électrodes ainsi que l'influence des caractéristiques électriques du système sur la dose de rayonnement X produit. Les conditions optimales, pour une tension de charge de l'étage primaire de 30 kV sont atteintes pour une configuration géométrique des électrodes de type anode pointe, et cathode disque creux pour les valeurs de condensateurs $C_T=8\text{nF}$ et $C_S=4\text{nF}$ et pour une distance anode-plan de cathode de 1 mm. Des études sont en cours pour déterminer une loi pouvant donner les variations de la dose en fonction de ces différents paramètres.

4. APPLICATION DE LA SOURCE A LA RADIOGRAPHIE

Pour prouver la qualité des images que l'on peut obtenir à partir d'une source à foyer unique nous avons choisi un objet test dont la vitesse est en rapport avec la fréquence de fonctionnement obtenue dans les conditions actuelles de développement. Nous avons pris la radiographie, d'un ventilateur en mouvement, voir *fig.5*, sur une rafale de 2 tirs à 500 Hz. Afin de rendre la visualisation plus aisée, nous avons muni les ailettes de petites pastilles de plomb triangulaires. La figure 5 permet d'apprécier la définition obtenue, et l'absence de flou sur les parties fixes qui aurait été inhérent à l'emploi d'une source multifoyers.

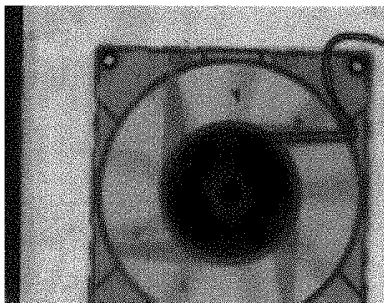


Fig.5 Radiographie d'un ventilateur en mouvement, rafale de deux tirs espacé de 2 ms.

5. CONCLUSION

Un nouveau type de flash X haute cadence a été développé. Il permet d'obtenir des séries de tirs à 500 Hz en mode continu, sur quelques secondes, et en mode rafale sur plusieurs tirs. Une application de ce nouveau dispositif montre l'intérêt d'une telle source à foyer unique et de ses avantages pour des études cinématographiques d'objets rapides. Des études sont en cours pour amener la fréquence de tirs dans la gamme dizaines de kHz, tout en conservant la compacité du système.

Remerciements

Ce travail est soutenu par la société INEL, la DGA et la Région Centre.

Références

1. R. Germer, "X-ray flash techniques," J. Phys. E: Sci Instrum., 12 pp 336-350, 1979.
2. A. Mattsson, "Some characteristics of a 600 kV flash x-ray tube", Physica Scripta, 5, pp. 92-102 1972.
3. R. Alexander "Everyday Practical Electronics" November 1999.
4. E. Sato & al. Proc. SPIE 2869, 937 (1996).5. E. Sato & al Proc. " Repetitive compact flash x-ray generators for soft radiography SPIE, 1801, pp. 628-642, 1992.
5. A. Shikoda, E. Sato, M. Sagae, T. Oizumi, Y. Tamakawa and T. Yanagisawa, Rev. Sci. Instrum., 65, pp. 850-856, 1994.
6. A.Khacef, R.Viladrosa, C. Cachoncinlle, et J.M. Pouvlesle J.Phys IV France 9 (1999).
7. R.Viladrosa, A. Khacef, C. Cachoncinlle, et J.M. Pouvlesle Proc. SPIE 2869, 1086 (1996).
8. H. Isobe, E. Sato, Y. Hayasi, M. Suzuki, H. Arima and F. Hoshino, Proc. SPIE, 491, 168, (1984).