



HAL
open science

Sources flash X compactes à haut taux de répétition

A. Khacef, E. Robert, C. Cachoncinlle, R. Viladrosa, J. Pouvesle

► **To cite this version:**

A. Khacef, E. Robert, C. Cachoncinlle, R. Viladrosa, J. Pouvesle. Sources flash X compactes à haut taux de répétition. Journal de Physique IV Proceedings, 1996, 06 (C4), pp.C4-747-C4-753. 10.1051/jp4:1996472 . jpa-00254355

HAL Id: jpa-00254355

<https://hal.science/jpa-00254355>

Submitted on 4 Feb 2008

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.

Sources flash X compactes à haut taux de répétition

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

GREMI, Université d'Orléans, BP. 6759, 45067 Orléans cedex 2, France

Résumé: Le besoin de sources flash X compactes se fait de plus en plus ressentir dans divers domaines d'application. Les diodes X alimentées par des générateurs impulsions très haute tension de petite taille sont capables d'émettre des débits de dose élevés dans des impulsions de durée comprise entre 10 et 50 ns. Un net progrès a été réalisé quant à la durée de vie des diodes et à la fiabilité des systèmes permettant ainsi un fonctionnement à dose émise constante durant de longue période de temps. Nous décrivons dans cet article les progrès réalisés au laboratoire GREMI dans le développement de flashes X de taille réduite pouvant produire de fortes doses dans des impulsions nanosecondes à haut taux de répétition (jusqu'à 50 Hz). Suivant la configuration des électrodes, des doses de 2 R par tir, à la fenêtre de sortie, de photons X d'énergie comprise entre 5 et 200 keV peuvent être émises aussi bien par une source linéaire (filament de 10 cm de long) que par une source ponctuelle (spot de diamètre inférieur à 300 μm). Parmi les nombreuses applications, nous donnerons en exemple l'utilisation de telles sources pour l'excitation de milieux gazeux à haute pression.

Abstract: Compact flash x-ray machines are founding extended fields of applications. X-ray diodes driven by repetitive small size pulser have been shown able to deliver high dose rates of x-rays in pulses of 10 to 50 ns duration. Improvements have been done on the life time of the diodes and reliability of the systems to allow operation at constant emitted dose over long periods of time. Described here is the progress obtained at GREMI laboratory in the development of true table-top flash x-ray sources producing strong x-ray doses in nanosecond pulses at high repetition rate (50 Hz). Doses up to 2R, measured at the output window, of x-rays between 5 and 200 keV can be generated from either a linear source (up to 10 cm long) or from a focal spot of less 300 μm in diameter depending on the electrode configuration. Among the numerous applications of compact flash x-ray sources, an example is given of the use of these devices for the excitation of high pressure gas samples.

1. INTRODUCTION

Les recherches visant à développer des sources impulsionsnelles de rayonnement X de taille réduite pouvant émettre des puissances crête élevées dans des impulsions nanosecondes et fonctionnant à haute fréquence ont connus depuis quelques années un intérêt grandissant. Le

besoin de telles sources se fait de plus en plus ressentir dans de très nombreux domaines d'activité aussi bien scientifiques qu'industriels. Parmi les applications potentielles de ces sources nous pouvons citer essentiellement l'observation et l'étude de phénomènes ultra rapides, la radiographie éclair à haute cadence dans des domaines aussi variés que la médecine, la biologie ou les matériaux, la préionisation de lasers à gaz, la photo-excitation et la photo-ionisation d'atomes, de molécules ou d'agrégats.

Bien que présentant des caractéristiques intéressantes, les sources X disponibles basées sur les générateurs de Marx sont en général de type monocoup ou fonctionnent à très faible taux de répétition. De plus ils restent des équipements très coûteux et de dimensions ne se prêtant pas à une utilisation aisée en laboratoire ou sur une chaîne de production.

Aussi, il existe un grand intérêt pour le développement de systèmes de laboratoire compacts et facilement transportables pouvant avoir des performances comparables à celles des gros équipements disponibles. Bien que relativement conventionnelles, les décharges rapides très haute tension [1,8], dans le vide ou dans un gaz basse pression, restent très attractives pour la réalisation de telles sources.

Dans cet article nous présenterons les récents développements réalisés au laboratoire GREMI à Orléans sur les systèmes flash X impulsions, très compacts et pouvant fonctionner à des taux de répétition relativement élevés. Ces sources ont été initialement développées pour l'excitation d'échantillons gazeux à très haute pression pour la génération de la fluorescence UV-VUV. L'optimisation de telles sources aux puissances élevées tout en conservant une taille très réduite rend ces systèmes très attractifs pour d'autres applications. Ces systèmes sont de véritables "table-top devices" de volume et de poids dans tous les cas inférieurs à 0.15 m³ et 80 Kg respectivement.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les systèmes flash X développés dans ce travail sont axés autour de trois importants sous-ensembles: un tube X démontable et de faible impédance, un générateur Blumlein ou multi-lignes, et un élément de commutation pouvant fonctionner à haut taux de répétition (thyatron, spak-gap rotatif ou pseudo-spark). Le système utilisant le générateur Blumlein est représenté schématiquement sur la figure 1. Les détails sur sa construction sont donnés dans la référence [1].

La mise en forme de l'impulsion haute tension est réalisé au moyen d'une ligne Blumlein de self propre très faible commutée par un thyatron (EG&G HY 5313). L'impédance de la ligne ainsi que les temps de transit de l'impulsion haute tension sont de l'ordre de 1.15 Ω et 8 ns respectivement. Dans cette configuration et suivant les paramètres de décharge, la tension aux bornes des électrodes atteint typiquement des valeurs comprises entre 1.5 et 1.8 fois la tension de charge appliquée. En fonctionnement, la ligne Blumlein est chargée de manière impulsionnelle à l'aide d'une alimentation haute tension à découpage (Converter Power RCS 3000) à une tension maximum de 37.5 kV. L'ensemble de la ligne Blumlein, du thyatron et de son électronique de déclenchement sont placés dans un container en acier de 1 mm d'épaisseur jouant le rôle de cage de Faraday. De plus, afin de prévenir toute formation d'arcs et de minimiser l'effet corona, les lignes de décharge et le thyatron baignent dans de l'huile isolante spéciale haute tension. La commande de l'alimentation HT, de la charge des lignes et du déclenchement des impulsions se font à distance par l'intermédiaire de fibres optiques.

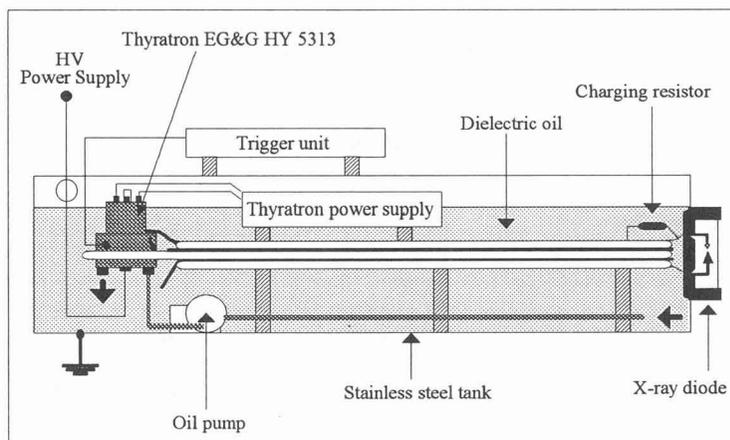


Figure 1: Schéma représentant le système flash X fonctionnant à haut taux de répétition.
Schematic diagram of a high repetition rate flash x-ray device using a Blumlein pulser.

La diode X très facilement démontable, est scellée à l'intérieur du container et, afin de minimiser l'inductance du système, la liaison électrique entre les électrodes et les conducteurs supérieurs et inférieurs de la Blumlein est assurée par des feuilles de cuivre à travers un passage en élastomère conservant ainsi un bonne étanchéité à la fois du container et de la diode. La diode X et le dispositif de rotation de l'anode sont représentés schématiquement figure 2.

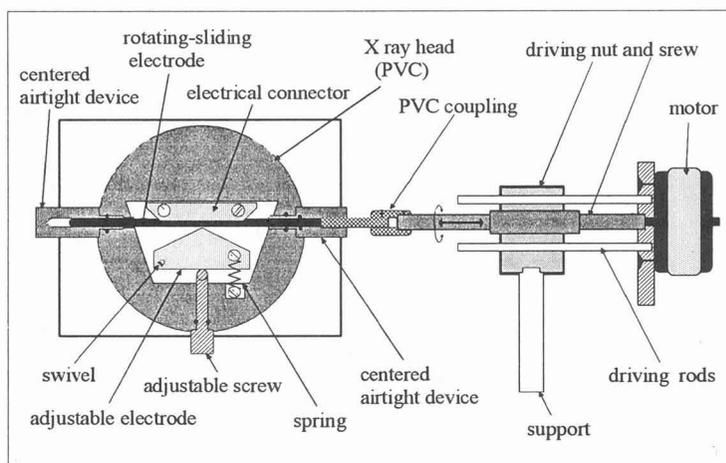


Figure 2: Représentation schématique de la diode X, incluant le système de rotation et de translation de l'anode, de la source flash X montrée sur la fig 1.
Schematic diagram of the x-ray diode, including the system for rotation and translation of the anode, of the flash x-ray source shown in fig 1.

La décharge se fait entre une anode cylindrique en W, Mo ou en Cu (10 cm de long et 8 mm d'épaisseur) et une cathode en graphite ayant une forme de lame (10 cm de longueur, 3 cm de hauteur et de 0.5 cm d'épaisseur) ou de pointe. La distance anode-cathode (A-C) peut être ajustée d'une fraction de mm à 1 cm. La pression résiduelle de fonctionnement, comprise entre 10^{-2} et 10^{-4} torr, est assurée à l'aide d'une petite pompe primaire.

3. PERFORMANCES

Pour une tension donnée, l'efficacité de conversion de l'énergie électrique stockée dans la ligne Blumlein en énergie de rayonnement X dépend essentiellement de la distance anode-cathode (A-C) et la pression dans la diode X. Ces paramètres facilement ajustables ont permis de déterminer les points de fonctionnement optimaux du système. Des impulsions X d'intensité et de largeur temporelle variables peuvent être obtenues. Les durées de l'impulsion X peuvent ainsi être ajustée entre quelques ns et 30 ns. Les meilleurs résultats ont toujours été obtenus en utilisant un anode en tungstène. Avec ce matériau et pour un fonctionnement dans le domaine de fréquence allant du mode monocoup jusqu'à 50 Hz (fréquence maximale permise par l'alimentation) la dose moyenne par tir reste indépendante du taux de répétition comme le montre la figure 3. Sur cette figure est aussi montré un exemple typique de l'évolution temporelle de l'impulsion X.

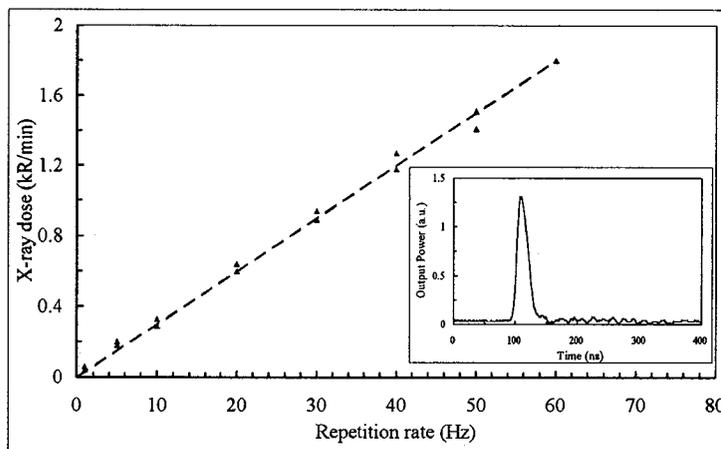


Figure 3: Dose moyenne produite à la fenêtre de sortie en fonction du taux de répétition (Anode W, tension de charge de 30 kV, distance inter-électrode 1.5 mm). En encadré est montrée une évolution temporelle typique de l'émission X (Anode W, tension de charge 20 kV, distance inter-électrode 1.6 mm, pression résiduelle dans la diode 0.02 mbar).

Average dose produced at the output window, as a function of pulse repetition rate (Anode W, charging voltage 30 kV, electrode separation 1.5 mm). Inset is a typical recording of the x-ray power as a function of time (Anode W, charging 20 kV, electrode separation 1.6 mm, residual pressure in the diode 0.02 mbar)

Pour une énergie stockée de 6 J, ce système a permis d'atteindre à ce jour [2] des doses de 2 R par tir à la fenêtre de sortie de la diode (1.2 mR à 1 m) de photons X d'énergie comprise entre

5 et 50 keV. Emises dans des impulsions de 18 ns à mi-hauteur, cela représente un débit de dose instantané de quelques 10^8 R/s. Suivant la configuration d'électrodes utilisée, l'émission X se présente comme un filament homogène de 10 cm de long et 1.5 mm de diamètre ou comme une source ponctuelle de diamètre inférieur à 300 μm .

La durée de fonctionnement du système, sans réduction sensible de la dose, est limitée par les dégradations que subit l'anode. Ce phénomène d'érosion est beaucoup plus rapide dans le cas d'une cathode pointe. La réalisation d'une anode tournante et d'un système externe de réglage de l'espacement des électrodes (fig. 2) a considérablement augmenté la fiabilité du système et permet un fonctionnement en routine à 10-20 Hz pendant plusieurs jours sans modification importante de la dose émise (fluctuations autour de la dose moyenne <15% sur plusieurs heures).

Des systèmes utilisant les générateurs multi-lignes (6 à 12) permettant la production de photons X de plus haute énergie avec des flux suffisants de photons autour de 200 keV ont été développés. Ces systèmes présentent des caractéristiques similaires à celles mentionnées précédemment concernant la largeur de l'impulsion, la dose émise et le taux de répétition. Comme pour le premier type de flash, une étude systématique de l'émission X en fonction de paramètres critiques, tel que la séparation A-C, la nature et la géométrie des électrodes, et la pression résiduelle a été entreprise. Un exemple de la variation de la dose en fonction de la distance A-C est donné figure 4.

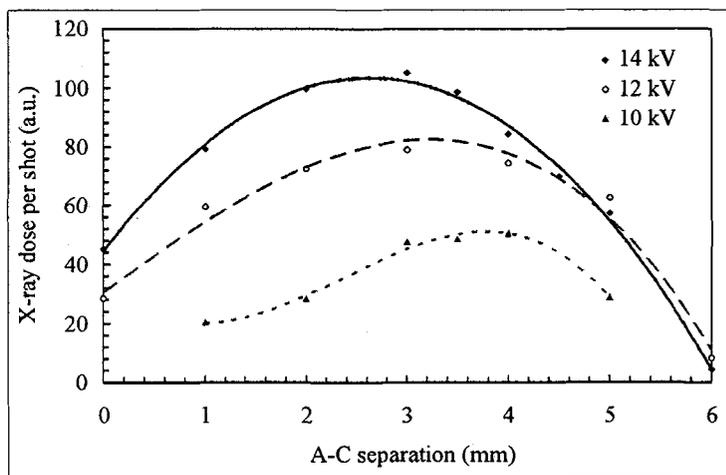


Figure 4: Dose X en fonction de la distance A-C pour différentes tensions de charge (Anode W, cathode Cu).
X-ray dose as a function of A-C separation for different charging voltages (Anode W, cathode Cu).

Des résultats intéressants ont été obtenus en changeant la nature du gaz dans la diode X. Ces résultats sont montrés sur la figure 5 (les résultats avec l'air doivent être comparés à ceux obtenus avec N_2). Dans le cas de gaz rares légers la pression de fonctionnement peut-être largement étendue sans diminution de la dose émise. Ceci est particulièrement intéressant dans le cas d'applications spécifiques faisant appel à des photons de faibles énergies impliquant l'absence de fenêtre entre la diode et le milieu irradié, évitant ainsi l'utilisation de système de pompage complexe.

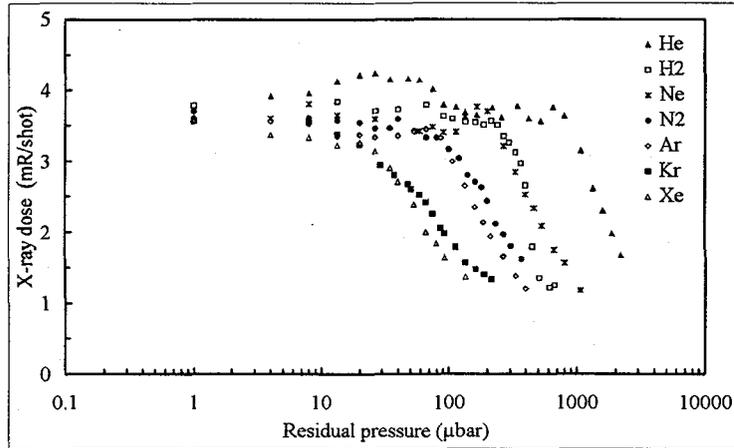


Figure 5: Dose émise en fonction de la pression résiduelle dans la diode X pour différents gaz de remplissage (tension de charge 15 kV, distance source - détecteur 0.25 m).
X-ray dose measured at 0.25 m from the x-ray source as a function of the residual pressure in the x-ray diode for different gases (charging voltage 15 kV).

Des expériences récentes [8-10] sur l'excitation de plasmas à base de gaz rares à haute pression ont montrés l'efficacité de ces nouvelles sources flash X pour l'investigation des cinétiques rapides des plasmas haute pression et dans la production et l'étude de la fluorescence UV-VUV des ions hétéronucléaires de gaz rares, spécialement $(\text{ArNe})^+$ et $(\text{ArXe})^+$ à haute pression. Un exemple de spectre dans un mélange Ar-Ne est montré figure 6. Etudiés depuis près d'une décennie, les excimères ou exciplèxes ioniques sont des candidats potentiels pour de nouvelles classes de lasers émettant dans le domaine UV-VUV.

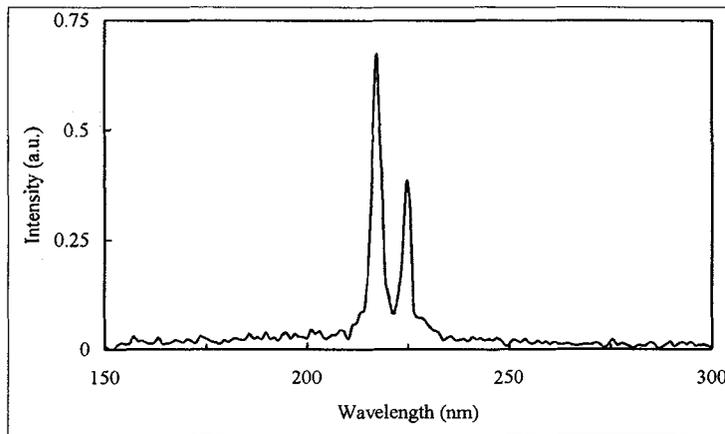


Figure 6: Spectre résolu en temps (70-130 ns) d'un mélange Ar-Ne (100:1.4) à 1.3 bar montrant la fluorescence de l'exciplexe ionique $(\text{ArNe})^+$ à 216 et 224 nm.
Time resolved spectrum (70-130 ns) of Ar-Ne mixture (100:1.4) at 1.3 bar showing the exciplexe radiation of $(\text{ArNe})^+$ at 216 and 224 nm.

4. CONCLUSION

Le développement et l'optimisation de sources flash X compactes produisant des puissances moyennes élevées dans des impulsions nanosecondes sont d'un grand intérêt pour diverses applications dans l'industrie et la recherche. De réels progrès ont été réalisés en ce qui concerne la durée de vie des diodes et la fiabilité des systèmes permettant un fonctionnement en routine à haut taux de répétition sans diminution significative de dose. Des systèmes compacts qui émettent des flux utiles (supérieurs à quelques R par tir à la fenêtre de sortie) de photons X d'énergie comprise entre quelques keV et 200 keV, dans des impulsions de durée comprise entre 10 et 50 ns et des taux de répétition de 50 Hz ont été développés. Les dimensions réduites des systèmes développés en font de véritables "table top devices" facilement utilisables dans les laboratoires ou dans l'industrie.

Ces nouvelles sources flash X compactes sont des outils très performants dans la radiographie éclair, par exemple l'ombroscopie résolue en temps de l'interaction faisceau laser excimère - cibles liquides [11] et dans la production et l'étude de plasmas de gaz rares à haute pression.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le Pr. C.B. Collins ainsi que le Dr. F. Davanloo du Center for Quantum Electronics de l'Université du Texas à Dallas, pour leurs conseils et leur aide dans la recherche réalisée au GREMI et soutenu par le CNRS, la DRET, le MESR, l'ANVAR et la région Centre.

Références

- [1] Pouvesle J.M., Cachoncinlle C., Robert E., Viladrosa R., Collins C.B., and Davanloo F., *Rev. Sci. Instrum.* 64 (1993) 2320-2325.
- [2] Robert E., Cachoncinlle C., Khacef A., Viladrosa R., and Pouvesle J.M., *Ann. Phys.* 19 (1994) C1-167-168.
- [3] Bradley L.C., Mitchell A.C., Johnson Q., and Smith I.D., *Rev. Sci. Instrum.* 55 (1984) 25-34.
- [4] Collins C.B., Davanloo F., and Bowen T.S., *Rev. Sci. Instrum.* 57 (1986) 863-865.
- [5] Davanloo F., Coogan J.J., Bowen T.S., Krause R.K., and Collins C.B., *Rev. Sci. Instrum.* 59 (1988) 2260-2264.
- [6] Ikhlef A. and Skowronek M., *IEEE Trans. Plasma Sci.* 21 (1993) 669.
- [7] Sato E, Kimura S., Kawasaki S., Isobe H., Takahashi K., Tamakawa Y., and Yanagisawa T., *Rev. Sci. Instrum.* 61 (1990) 2343-2348.
- [8] Cachoncinlle C., Pouvesle J.M., Davanloo F., Coogan J.J., and Collins C.B., *J. Phys. D.* 23 (1990) 984-986.
- [9] Pouvesle J.M., Cachoncinlle C., Durand G., Spiegelmann F., Collins C.B., and Davanloo F., *Spectral Line Shapes* 7 (1993) 359.
- [10] Robert E., Khacef A., Cachoncinlle C., and Pouvesle J.M., *Opt. Comm.* 117 (1995) 179-188.
- [11] Cachoncinlle C., Challine I., Jobard F., Robert E., and Pouvesle J.M., *Ann. Phys.* 19 (1994) C1-47-48.