

Application de l'effet d'*echo* pour la génération d'harmonique d'ordre élevé dans des paquets d'électrons relativistes

Eléonore Roussel¹

¹ Univ. Lille, CNRS, UMR 8523 - PhLAM, Physique des Lasers, Atomes et Molécules, F-59000 Lille, France
eleonore.roussel@univ-lille.fr

Le principe de fonctionnement des lasers à électrons libres (LELs), tout comme celui des lasers traditionnels, est basé sur l'amplification de la lumière au sein d'un milieu amplificateur. Dans le cas des LELs, ce milieu se trouve être un paquet d'électrons relativistes généré à partir d'un accélérateur. Les LELs sont actuellement les sources aux courtes longueurs d'onde (ultraviolet extrême EUV et rayons X) les plus performantes mais leur cohérence longitudinale est encore marginalement maîtrisée. Des techniques telles que l'injection par une source cohérente externe (*seeding*) associée à un processus de conversion d'harmonique, permettent de pallier le manque de cohérence [1]. Cependant, les mécanismes de ce processus de conversion non-linéaire limitent la génération de lumière aux harmoniques d'ordre inférieur à 10 – 15 et ne permettent pas d'atteindre le domaine des X.

Ces dernières années, une nouvelle stratégie de conversion d'harmonique dans les LELs a vu le jour. Le principe, appelé *Echo-Enabled Harmonic Generation* (EEHG) [2], est basé sur le phénomène d'écho, effet dynamique connu depuis les années 60 [3], et qui peut être interprété comme un effet de mémoire à long terme. Dans un premier temps, une première modulation permet d'imprimer une modulation dans l'espace des phases mais sans conséquences visibles (par exemple un feuilletage). L'existence de cette structure est ensuite révélée lorsqu'une seconde modulation est appliquée au système.

Cet effet a été observé dans des domaines variés comme les plasmas [4], l'hydrodynamique [5], l'équation de Kuramoto [6], les gaz classiques [7], les atomes froids [8]. Ici, la manipulation d'électrons relativistes à l'aide de deux lasers externes permet de générer du rayonnement X cohérent via le phénomène d'écho. L'EEHG est actuellement considéré comme une technique révolutionnaire pour la génération de rayonnement laser dans les domaines EUV et les rayons X.

Nous développons ici le principe de fonctionnement du feuilletage de l'espace des phases de paquets d'électrons relativistes et montrons des résultats numériques démontrant la possibilité de générer du rayonnement X cohérent. Ensuite, nous présentons la première démonstration expérimentale de l'utilisation de ce principe d'écho pour la génération de rayonnement X cohérent sur le LEL italien FERMI [9].

References

1. YU, L. H., Generation of intense UV radiation by subharmonically seeded single-pass free-electron lasers, *Phys. Rev. A* **44**, 5178–5193 (1991)
2. G. STUPAKOV, Using the Beam-Echo Effect for Generation of Short-Wavelength Radiation, *Phys. Rev. Lett.* **102**, 074801 (2009)
3. R. W. GOULD, Plasma wave echo, *Phys. Rev. Lett.* **19**, 219 (1967)
4. J.H. MALMBERG, C.B. WHARTON, R.W. GOULD, T.M. O'NEIL, Observation of plasma wave echoes, *Phys. Fluids*, **11**, 1147 (1968).
5. J. VANNESTE, P.J. MORRISON AND T. WARN, Strong echo effect and nonlinear transient growth in shear flows, *Phys. Fluids*, **10**, 1398 (1998)
6. EDWARD OTT, JOHN H. PLATIG, THOMAS M. ANTONSEN, AND MICHELLE GIRVAN , Echo phenomena in large systems of coupled oscillators , *Chaos*, **18**, 037115 (2008)
7. T. W. MOSSBERG, R. KACHRU, E. WHITTAKER AND S. R. HARTMANN, Temporally Recurrent Spatial Ordering of Atomic Population in Gases: Grating Echoes, *Phys. Rev. Lett.* **43**, 851 (1979)
8. D. V. STREKALOV, ANDREY TURLAPOV, A. KUMARAKRISHNAN AND TYCHO SLEATOR, Periodic structures generated in a cloud of cold atoms, *Phys. Rev. A*, **66**, 023601 (2002)
9. E. ALLARIA *et al.*, Two-stage seeded soft-X-ray free-electron laser *Nature Photonics* **7**, 913–918 (2013)