

# Observation directe de la formation de patterns dans des paquets d'électrons relativistes

E. Roussel<sup>1</sup>, C. Evain<sup>1</sup>, M. Le Parquier<sup>1</sup>, C. Sz waj<sup>1</sup>, S. Bielawski<sup>1</sup>, M. Hosaka<sup>2</sup>, N. Yamamoto<sup>2</sup>, Y. Takashima<sup>2</sup>, T. Konomi<sup>3</sup>, M. Adachi<sup>3</sup>, H. Zen<sup>3</sup>, S. Kimura<sup>3</sup>, M. Katoh<sup>3</sup>, J. Raasch<sup>4</sup>, P. Thoma<sup>4</sup>, A. Scheuring<sup>4</sup>, K. Ilin<sup>4</sup>, M. Siegel<sup>4</sup>, L. Manceron<sup>5</sup>, J.-B. Brubach<sup>5</sup>, M.-A. Tordeux<sup>5</sup>, J.-P. Ricaud<sup>5</sup>, L. Cassinari<sup>5</sup>, M. Labat<sup>5</sup>, M.-E. Couprie<sup>5</sup>, P. Roy<sup>5</sup>

(1) PhLAM, Université Lille 1, 59655 Villeneuve d'Ascq, France.

(2) Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya, 464-8603, Japan.

(3) UVSOR, Institute for Molecular Science, Okazaki 444-8585, Japan.

(4) Institute of micro and nanoelectronic systems, KIT, Karlsruhe, Germany.

(5) Synchrotron SOLEIL, Gif-sur-Yvette, France.

`eleonore.roussel@ed.univ-lille1.fr`

Les paquets d'électrons relativistes sont sujets à une instabilité menant à la formation spontanée de structures spatiales [1], avec une période typique de l'ordre du millimètre, et qui évoluent de manière complexe. L'ingrédient principal est l'interaction du paquet d'électrons avec son propre champ (*wakefield*), et apparaît au delà d'une densité de charge critique. Ce phénomène est important pour deux raisons principales. D'une part, il représente une des limitations fondamentales en ce qui concerne la densité de courant maximale accessible de manière stable. D'autre part, les structures émettent un rayonnement cohérent extrêmement intense (typiquement  $10^5$  fois plus intense que le rayonnement synchrotron "traditionnel"), ce qui présente un fort potentiel en tant que source de rayonnement térahertz.

Cependant, jusqu'à présent les confrontations théorie/expérience se heurtaient à un obstacle majeur : l'impossibilité d'observer de façon directe ces structures et leur évolution, à cause des échelles de temps mises en jeu. En pratique, résoudre une structure de 1 millimètre se déplaçant quasiment à la vitesse de la lumière nécessite en effet de détecter un signal avec une résolution de l'ordre de la picoseconde.

Nous présentons ici les premières observations directes, en temps réel de telles structures à chaque tour dans des anneaux de stockage. Les expériences ont été effectuées à UVSOR (Japon) et au Synchrotron SOLEIL, et ont été rendues possible par l'utilisation de deux stratégies de détection nouvelles, et très différentes : un détecteur à film mince de supraconducteur [2] pour UVSOR, et un système nouveau basé sur l'échantillonnage électro-optique pour SOLEIL. Les structures observées se sont avérées présenter des nombres d'ondes caractéristiques précis (9 mm pour UVSOR et 1 mm pour Synchrotron SOLEIL), ainsi qu'une dynamique riche et complexe. Les structures dérivent constamment et irrégulièrement en fonction du temps, et apparaissent par bouffées avec une période de l'ordre de la milliseconde.

Ces résultats expérimentaux seront comparés aux résultats numériques que nous avons obtenus à partir de l'équation de Vlasov-Fokker-Planck à 1 degré de liberté. Nous verrons en particulier comment les structures à une dimension observées expérimentalement sont attribuées à l'existence de structures dans un espace des phases (au sens thermodynamique) à 2 dimensions [3], et en rotation (avec des structures de type "marguerite" et spirale). Nous verrons également comment les nouvelles possibilités expérimentales permettent de tester les modèles de façon extrêmement sévère.

## Références

1. J. BYRD ET AL. Observation of Broadband Self-Amplified Spontaneous Coherent Terahertz Synchrotron Radiation in a Storage Ring *Ohys. REv. Lett.*, **89**, 224801 (2002).
2. P. THOMA ET AL., High-Speed Y-Ba-Cu-O Direct Detection System for Monitoring Picosecond THz Pulses, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, **3**, 81 (2013).
3. E. ROUSSEL, C. EVAIN, C. SZWAJ AND S. BIELAWSKI, Microbunching instability in storage rings : link between phase-space structure and Terahertz Coherent Synchrotron Radiation Radio-Frequency spectra *Phys. Rev. ST AB*, à paraître (2014).