



Étude théorique et numérique des émissions térahertz par interaction laser-fil relativiste

Lucas Latrille^{1,2*}, Émilien Denoual², Xavier Davoine^{2,3}, Laurent Gremillet^{2,3}, Emmanuel D'Humières¹, Luc Bergé^{1,2}

¹ CELIA, Université de Bordeaux-CNRS-CEA, UMR 5107, Talence F-33405, France

² CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France

³ Université Paris-Saclay, CEA, LMCE, F-91680 Bruyères-le-Châtel, France

* lucas.latrille@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

Depuis plusieurs années, les lasers pétawatt sont capables de délivrer des impulsions optiques de plusieurs femtosecondes avec des intensités supérieures à 10^{20} W.cm⁻³. Lorsque ces impulsions opérant à ultra-haute intensité (UHI) interagissent avec des fils métalliques, les électrons accélérés par la force pondéromotrice laser atteignent des vitesses relativistes, proches de celle de la lumière. L'accélération de ces particules engendre alors l'émission de rayonnements basses-fréquences dans la gamme des ondes gigahertz (GHz) et térahertz (THz) [1].

Ces rayonnements pouvant être nuisibles pour l'électronique des diagnostics utilisés dans les chambres d'expérience des installations laser UHI [2], il est important de pouvoir contrôler et comprendre les différents mécanismes de leurs émissions. De plus, les impulsions THz ont largement été étudiées ces dernières années pour leurs applications dans le domaine médical et les sciences des matériaux [3]. Cependant les modèles théoriques utilisés jusqu'à présent ne permettent pas de discriminer et quantifier les différents processus de conversion à l'origine de ce rayonnement basse-fréquence en régime UHI [1].

L'étude théorique et numérique des émissions térahertz par interaction laser-fil relativiste que nous menons (Fig. 1) vise à répondre à ce problème en développant un nouveau modèle incorporant les deux mécanismes de rayonnement basses-fréquences attendus dans ce contexte : le rayonnement d'antenne [4] et le rayonnement de transition cohérent (CTR) [5].

Un travail préliminaire a été effectué à l'aide de simulations numériques (Fig. 2) utilisant un code Particle-In-Cell (PIC) afin d'identifier ces deux mécanismes (Fig. 3) comme responsables du rayonnement THz provenant de ce type d'interaction. La diffraction du rayonnement due à la taille finie des fils est en particulier étudiée afin d'analyser ses effets sur le spectre en fréquence et la distribution angulaire émis. Le développement d'un modèle unifié de rayonnements basse-fréquence servira à l'analyse de données de simulation et expérimentales permettant à l'avenir d'optimiser les sources térahertz utilisées pour leurs différentes applications.

RÉFÉRENCES

- [1] H. B. Zhuo et al. "Terahertz generation from laser-driven ultrafast current propagation along a wire target", Phys. Rev. E 95 (2017)
- [2] A. Poyé et al. "Physics of Giant ElectroMagnetic Pulse generation in short pulse laser experiments", Phys. Rev. E 91 (2015)
- [3] P. Salén et al. "Matter manipulation with extreme terahertz light: Progress in the enabling THz technology", Phys. Rep. 836-837 (2019)
- [4] Glenn S. Smith. "Teaching antenna radiation from a time-domain perspective", American Journal of Physics 69.3 (2001)
- [5] C. B. Schroeder et al. "Theory of coherent transition radiation generated at a plasma-vacuum interface", Phys. Rev. E 69 (2004)

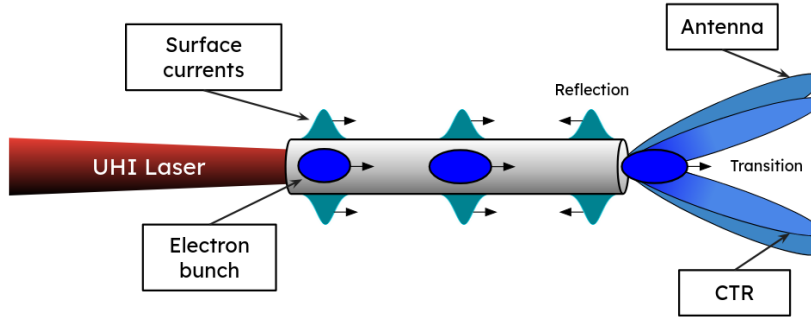


Figure 1 : Schéma de l'interaction laser-fil relativiste étudiée. Lors de l'interaction, le laser UHI accélère un paquet d'électrons à l'intérieur du fil et crée aussi un courant qui se propage à sa surface. Le passage du paquet d'électrons dans le vide et la réflexion du courant génère respectivement du rayonnement de transition cohérent (CTR) et du rayonnement d'antenne.

P-POLARIZED GAUSSIAN LASER	
Frequency	$f_0 = 300 \text{ THz}$
Intensity	$a_0 = 4$
Pulse duration (FWHM)	$\tau_0 = 10 / f_0 = 33 \text{ fs}$
Spot size	$w_0 = 4 \mu\text{m}$

RECTANGULAR PLASMA TARGET	
Dimensions	$100 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$
Species	e-, H+ (fixed)
Density	$n_0 = 10 n_c$
Plasma frequency	$\omega_p = 3.16 \omega_0$

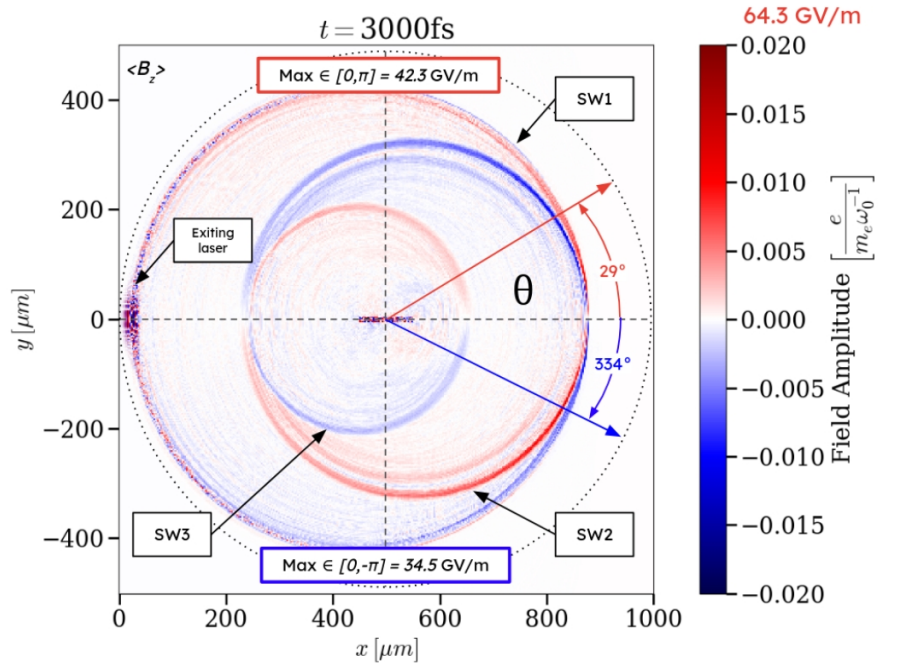


Figure 2 : Champ magnétique basse-fréquence émis par interaction d'un laser UHI avec un plasma surcritique dans une simulation du code PIC CALDER. Les ondes sphériques (SW, cercles en 2D) sont caractéristiques du mécanisme de rayonnement d'antenne.

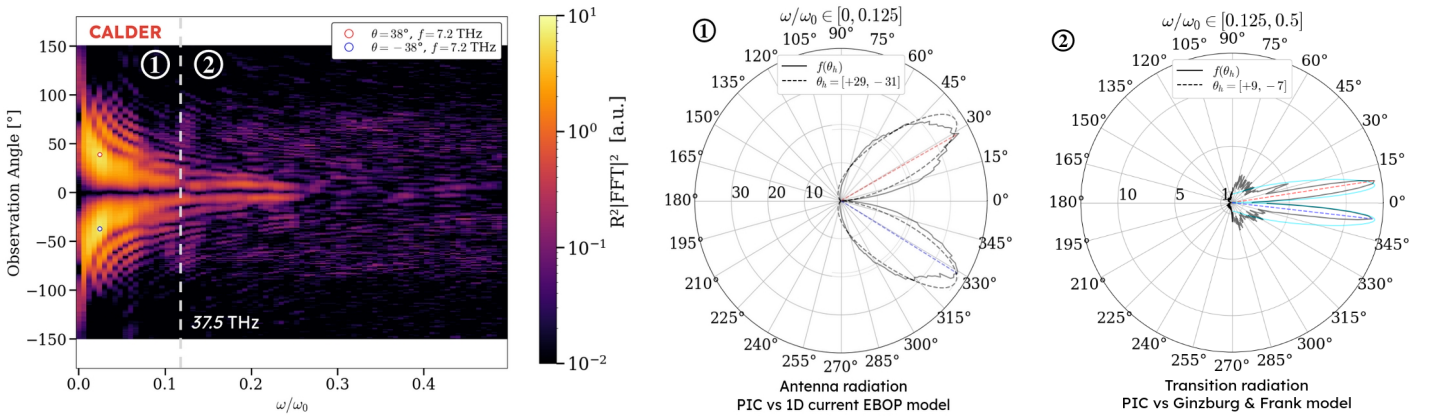


Figure 3 : Spectre en fréquence résolu en angle du champ magnétique basse-fréquence obtenu dans la simulation PIC (gauche). Comparaison des distributions angulaires du rayonnement THz de la simulation PIC avec les modèles théoriques pour le rayonnement d'antenne (milieu) et le rayonnement de transition (droite).