

Utilisation de tubes à ondes progressives pour étudier l'interaction onde-particule non-linéaire

Khalil Aliane^{1,2,3*}, Meirielen C. de Sousa^{1,4,5}, Yves Elskens¹,
Frédéric André³, Damien F.G. Minenna⁶, Alexandre Poyé¹ & Fabrice Doveil¹
*présentateur principal

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, UMR 7345 PIIM, Marseille, France

² Centre National d'Études Spatiales, Toulouse, France

³ Thales AVS/MIS, Vélizy, France

⁴ Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

⁵ Ecole Polytechnique, Palaiseau, France

⁶ CEA, IRFU, Université Paris Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette, France

L'interaction entre ondes électromagnétiques et particules chargées est fondamentale dans plusieurs domaines de la physique. Elle constitue le mécanisme clé derrière plusieurs technologies, parmi lesquelles les gyrotrons, les lasers à électrons libres, les accélérateurs de particules, ainsi que les tubes à ondes progressives (TOP). C'est sur ces derniers que porte principalement notre étude.

Les TOPs sont des tubes à vide utilisés principalement comme amplificateurs d'onde radiofréquence pour les télécommunications spatiales. L'amplification est assurée par l'échange de moment entre un faisceau d'électrons et une onde RF se propageant le long d'un guide d'onde de structure périodique, avec une vitesse de phase voisine de la vitesse des particules. L'amplification sature lorsque les électrons sont piégés par l'onde.

Afin de simuler les interactions non-linéaires ondes-faisceau dans les TOPs, plusieurs approches sont envisageables : modélisation en domaines temps ou fréquence, description fluide, cinétique ou N -corps du faisceau etc... Nous optons pour un modèle hamiltonien à N corps en domaine temps appelé DIMOHA. Ce genre de modèle est généralement écarté en électrodynamique du fait du nombre considérable de particules à simuler. Pour pallier ce problème, d'une part nous agglomérons des paquets de particules adjacentes en macro-électrons, d'autre part nous utilisons une discrétisation dite de Kuznetsov, tirant profit de la périodicité structurelle des TOPs pour décomposer les champs sur une base de fonctions à nombre de degrés de liberté réduit [1].

Des modèles similaires, dits pseudo-spectraux, réalisent cette réduction d'ordre en exprimant les champs et leurs gradients dans l'espace de Fourier. Toutefois, ce choix confine ces modèles aux seules structures périodiques, là où DIMOHA tolère une certaine flexibilité, grâce à la localité de ses fonctions de base [1,2]. Il est ainsi possible dans notre modèle de simuler des structures complexes telles que des hélices à profil de pas non uniforme, ou encore des défauts locaux.

Avec ce modèle, nous étudions plusieurs phénomènes impliquant l'interaction onde-faisceau, dont l'amplification d'impulsions courtes [2], l'effet des réflexions dans les TOPs, l'accélération d'ions via une impulsion laser, ainsi que l'instabilité faisceau-plasma avec des TOPs de grande taille [3].

[1] D. F. G. Minenna *et al.*, Phys. Plasmas **28**, 092110 (2021).

[2] Kh. Aliane *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices **68**, 6476 (2021).

[3] M. C. de Sousa *et al.*, Phys. Plasmas **27**, 093108 (2020).