

Diffusion Brillouin stimulée et autofocalisation dans des plasmas en détente

S. HÜLLER - D. PESME / Centre de Physique Théorique, CNRS, École Polytechnique, Palaiseau
 P.-E. MASSON-LABORDE - S. DEPIERREUX - P. LOISEAU / CEA – DAM Île-de-France
 C. LABAUNE / Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses (LULI), UMR 7605 CNRS – CEA – École Polytechnique – Université Pierre et Marie Curie, Palaiseau
 H. BANDULET / Institut National de la Recherche Scientifique, Varennes, Québec, Canada

La compréhension des processus de diffusion Brillouin stimulée (DBS) et d'autofocalisation est cruciale pour la réussite des schémas de fusion par laser. Ces deux instabilités pouvant se développer en même temps, il est très important d'étudier la croissance de la DBS dans le plasma modifié par l'autofocalisation du faisceau laser. Un nouveau modèle théorique décrivant l'autofocalisation d'un faisceau laser dans un plasma en expansion est proposé, qui permet de reproduire et d'expliquer le comportement des instabilités paramétriques dans des expériences menées au laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses (LULI).

Les récents résultats du National Ignition Facility montrent la nécessité de comprendre les mécanismes de l'interaction laser-plasma et en particulier les instabilités de diffusion telles que l'instabilité de diffusion Brillouin stimulée (DBS) mettant en jeu le couplage entre l'onde laser et les ondes sonores du plasma. Un faisceau laser peut aussi provoquer localement des modifications des profils de densité et de vitesse du plasma lorsque sa puissance devient supérieure à la puissance dite « puissance critique d'autofocalisation ». Ce phénomène se produit très facilement pour des faisceaux dits « monospeckle » dont le profil transverse en intensité est très proche d'une fonction gaussienne, mais aussi dans les points chauds (ou speckles) d'un faisceau laser lissé par lames de phases, ce qui affecte sa propagation dans le plasma.

Un modèle dit de « décomposition en harmoniques » a été développé, qui permet de modéliser en plusieurs dimensions l'interaction laser-plasma dans des plasmas en expansion en séparant les échelles spatiales et temporelles des processus hydrodynamiques, de diffusion et de filamentation laser. Cette approche implémentée dans les codes du Centre de Physique Théorique de l'École Polytechnique, le code HARMONY, et le code HERA du CEA, a permis de faire avancer notre capacité à modéliser les expériences actuelles. En utilisant ces simulations à l'échelle millimétrique et en trois dimensions (3D) avec le code HERA, nous avons pu identifier le scénario qui explique les taux de rétrodiffusion Brillouin observés dans des expé-

riences faites au LULI avec un unique point chaud et correctement reproduits dans les simulations. Un élément important de ce scénario est la déter-

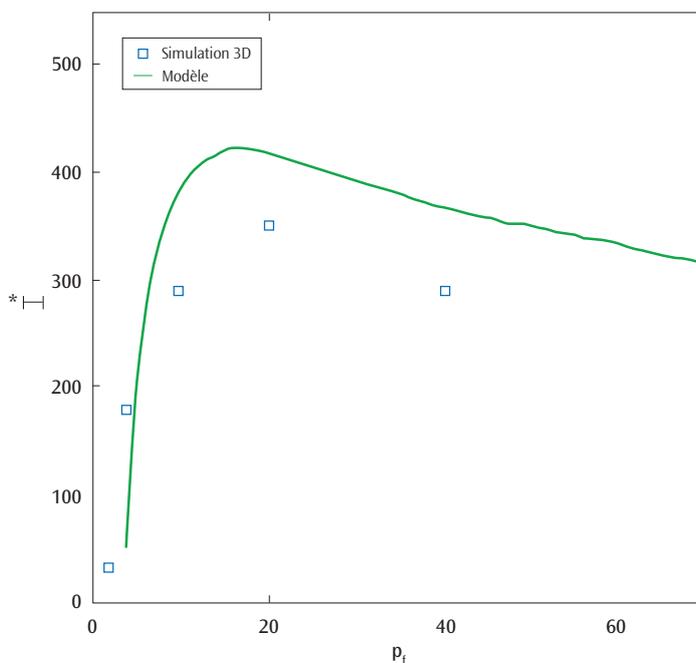


Figure 1. Évolution de la surintensité (I^*/I_0) du faisceau laser autofocalisant, en fonction de la puissance du faisceau par rapport à la puissance critique d'autofocalisation ($p_1=P/P_0$). Courbe verte : calcul avec le système d'équation déterminé à partir du Lagrangien. Carrés bleus : résultats des simulations HERA 3D.

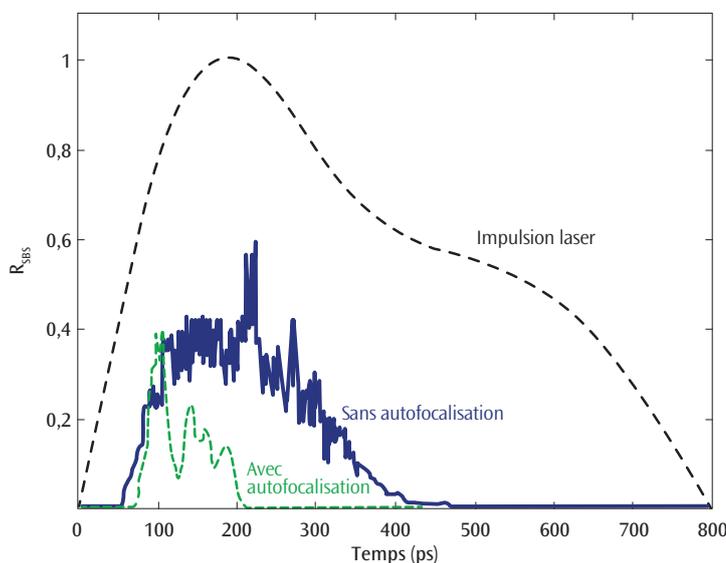


Figure 2. Réflectivités Brillouin issues de simulations 3D HERA sans (courbe bleue) et avec (courbe verte) prise en compte de l'effet d'autofocalisation pondéromotrice, et impulsion laser (courbe noire). Simulation d'un plasma de longueur 3 mm et de largeur 150 μm pendant une durée de 800 ps.

mination d'une densité lagrangienne du champ laser autofocalisant qui est une fonction mathématique permettant d'obtenir l'équation d'évolution du faisceau. Les modèles déjà existants sont basés sur un travail d'Anderson et Bonnedal [1] valable en plasma homogène et sans vitesse d'écoulement.

Lagrangien du champ laser autofocalisant dans un plasma en détente

À partir de la densité lagrangienne décrivant l'autofocalisation du laser dans un plasma ayant une vitesse d'expansion parallèle à la direction de propagation du laser, nous avons établi un système d'équations différentielles qui permet de traiter ce problème sans avoir recours aux simulations 3D. Ce modèle est comparé aux simulations HERA 3D (figure 1) en ce qui concerne les valeurs maximales des intensités crête du faisceau autofocalisé et montre un très bon accord [2].

Réduction du gain pour l'instabilité Brillouin

En utilisant les résultats du modèle, à savoir les valeurs de la surintensité du faisceau autofocalisant, et la densité du plasma où se produit ce pic d'intensité, nous avons obtenu un modèle de réduction du gain pour l'amplification de la DBS. Ce modèle est basé sur deux hypothèses vérifiées dans les simulations 3D: (i) l'activité Brillouin reste localisée dans un premier point chaud autofoca-

lisé situé à l'avant du plasma, (ii) la densité dans ce point chaud autofocalisé est réduite par la pression exercée par la force pondéromotrice, et ainsi le produit de l'intensité locale par la densité est faible.

L'évolution temporelle de l'activité Brillouin est considérablement modifiée par la prise en compte de l'autofocalisation (figure 2). Sans prise en compte de cette dernière, l'instabilité Brillouin suit temporellement l'impulsion laser. En revanche, lorsque l'autofocalisation est prise en compte, l'instabilité Brillouin est temporellement localisée et fortement réduite à des niveaux comparables à l'expérience.

En conclusion nous avons franchi une étape importante dans la compréhension et la modélisation des processus de diffusion Brillouin stimulée et d'autofocalisation dans les plasmas préformés. Nous avons reproduit quantitativement les résultats d'une expérience LULI en incluant toutes les caractéristiques lasers et plasmas, et nous avons pu trouver un modèle théorique expliquant et reproduisant les comportements de l'instabilité Brillouin observés dans l'expérience.

Références

- [1] D. ANDERSON, M. BONNEDAL, "Variational approach to nonlinear self-focusing of Gaussian laser beams", *Phys. Fluids*, **22**, 105 (1979).
- [2] P.-E. MASSON-LABORDE, S. HULLER, D. PESME *et al.*, "Stimulated Brillouin scattering reduction induced by self-focusing for a single laser speckle interacting with an expanding plasma", *Phys. Plasmas*, **21**, 032703 (2014).