

Résumé / Summary

La Fusion par Confinement Inertiel (FCI) est l'une des voies qui permettrait de réaliser la fusion thermonucléaire de noyaux légers en laboratoire. Les réactions nucléaires sont amorcées en utilisant des lasers intenses de type « mégajoule », par des schémas d'attaque directe ou indirecte. Dans le cas de l'attaque indirecte, approche retenue sur l'installation Laser Méga Joule qui est un projet majeur de la Direction des Applications Militaires du CEA, les lasers traversent un plasma chaud et sous-dense propice au développement d'instabilités générées par l'interaction laser-plasma. Ces instabilités peuvent conduire à des pertes importantes de l'énergie laser incidente. Plus particulièrement, la diffusion Raman stimulée (DRS), où le rayonnement laser diffuse sur les ondes plasma électroniques, peut renvoyer une partie importante de l'énergie laser (jusqu'à 50%), ce qui réduit inévitablement le dépôt d'énergie nécessaire pour réaliser la compression du milieu fusible par réaction d'inertie. Cette instabilité, bien qu'étudiée depuis de nombreuses années, reste difficile à modéliser sur des temps longs (nanoseconde) pour des plasmas millimétriques et, qui plus est, inhomogènes. En effet, l'instabilité évolue rapidement vers des régimes non linéaires, associés à une déformation importante de la fonction de distribution électronique. L'objectif ambitieux de ce travail est de modéliser de manière réaliste la diffusion Raman dans les plasmas relatifs à la FCI, sur des temps longs et en tenant compte des effets non linéaires associés aux ondes plasma électroniques. Dans ce but, un modèle original de couplage d'ondes prenant en compte la déformation de la fonction de distribution électronique a été développé. Ce modèle, mis en œuvre dans un code 2D/3D est comparé avec succès à des simulations cinétiques de références, issues d'un code PIC. Finalement, le modèle obtenu est appliqué à des situations expérimentales récentes et permet d'apporter, aux observations faites dans ce cadre, une interprétation originale et pertinente.

Mots clefs : interaction laser plasma, fusion thermonucléaire par confinement inertiel, instabilité paramétrique, diffusion Raman stimulée, non-linéaire, cinétique, piégeage, mégajoule, modélisation, simulation

Inertial Confinement Fusion is one of the two major ways to achieve thermonuclear fusion of light nuclei in laboratory. The thermonuclear reactions are initiated with megajoule-class lasers, using the direct or the indirect drive scheme. Our main concern is the indirect drive scheme, where laser beams propagate through a hot and under-dense plasma in which they undergo substantial losses, because of laser-plasma instabilities. These losses are highly detrimental in the sense that they reduce the laser energy deposition needed to eventually compress the fuel via inertial confinement. More precisely, the incident laser light can be reflected in scattering processes, one of which is the Stimulated Raman Scattering (SRS) off electron plasma waves, leading to substantial energy losses (up to 50%). Although this instability has been investigated for many years, its modeling remains difficult particularly for millimeter-size and inhomogenous plasmas in long time scales (nanosecond). One major difficulty is the quick evolution toward non linear regimes related to the important modification of the electron distribution function. The challenging goal of this work is to develop a realistic model for SRS in ICF relevant plasmas, on long time scale, taking into consideration the different non linear effects associated with electron plasma waves. A new wave coupling approach, implemented in a 2D/3D code, was elaborated and successfully confronted with reference kinetic simulations from a PIC code. Ultimately, the developed model is applied to recent experimental contexts and allows a novel and relevant interpretation of some measurements.

Key words : laser plasma interaction, thermonuclear inertial confinement fusion, parametric instability, stimulated Raman scattering, non-linear, kinetic, trapping, megajoule, modeling, simulation