

# L'hierarchie des modèles de Maxwell-Vlasov non-linéaires pour la verification des codes gyrocinétiques.

Natalia Tronko<sup>1</sup>, Alberto Bottino<sup>2</sup>, Tobias Goerler<sup>2</sup> & Eric Sonnendruecker<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Numerische Methoden der Plasmaphysik, Max Planck Institut fur Plasmaphysik, D-85748 Garching, Deutschland

<sup>2</sup> TOK, Max Planck Institut fur Plasmaphysik, D-85748 Garching, Deutschland  
nataliat@ipp.mpg.de

La présence d'un fort champs magnétique qui caractérise les plasmas de fusion introduit la séparation des échelles de mouvement et permet de réaliser la réduction dynamique d'une manière systématique. Cette dernière portant le nom de la réduction gyrocinétique, est indispensable pour diminuer le temps de calcul dans les simulations numériques.

Afin de pouvoir prédire le comportement réel d'un plasma de fusion, l'interaction entre les modes MHD, la turbulence et les particules énergétiques doit être pris en compte. Ceci représente un défi numérique important, vu que les phénomènes aux grandes et aux petites échelles doivent être mis ensemble dans les simulations. Les capacités de la prédiction de comportement des plasmas de fusion dépendent de la validité des outils numériques qui sont utilisés pour la modélisation. A l'heure actuelle, la vérification des codes dans les régimes de paramètres qui correspondent aux scénarios avancés des réacteurs de fusions tels que ITER, a été faite d'une manière partielle uniquement.

Dans ce travail on présente la nouvelle procédure de vérification des codes gyrocinétiques qui prend en considération à la fois les modèles analytiques et les simulations spécifiques qui permettent de vérifier les schémas numériques, et par conséquent d'identifier la validité de domaine d'application d'un code.

La nouveauté principale de notre procédure de vérification au niveau analytique consiste en utilisation des méthodes variationnelles pour la dérivation des équations de codes. En plus, dans le premier temps, la vérification indirecte des schémas numériques est proposée à travers le Benchmark.

Un des plus grands avantages d'utilisation des méthodes variationnelles pour la dérivation de hiérarchie commune pour les modèles des codes, c'est qu'elle permet de dériver d'une manière systématique les lois des conservations exactes par la méthode de Noether [1] [2]. A son tour la connaissance des lois de conservation exactes puisse être utilisée pour la dérivation des diagnostics de code qui permettent de suivre la qualité des simulations, i.e. dans le cas de conservation de l'énergie.

Dans ce travail on considère deux codes électromagnétiques : ORB5 (PIC) [3], et GENE (Eulerien)[4]. On présente la hiérarchie des équations de Maxwell-Vlasov gyrocinétiques non-linéaires dérivées à partir de la principe variationnelle. On inclut les modèles de ORB5 et de GENE à l'intérieur de cette hiérarchie.

Au niveau des simulations numériques, la vérification détaillée des simulations électromagnétiques globales, basée sur les paramètres qui correspondent au cas de CYCLONE est réalisée. Ceci étant inclus : le  $\beta$ -scan paramétrique qui permet de visualiser la transition entre l'instabilité due au gradient de la température ionique (ITG) et les modes de ballooning cinétiques (KBM). On considère aussi les propriétés spécifiques des simulations pour le  $\beta$  qui correspond à la transition entre ces deux types d'instabilités.

## Références

1. B.D.Scott and J.Smirnov, Phys. Plasma 17,112302, (2010).
2. A.J.Brizard and N.Tronko, Phys.Plasma 18,082307, (2011).
3. S.Jolliet, A.Bottino, P.Angelino et al. Comp.Phys.Comm. 177, (2007).
4. T.Görler, X.Lapillonne, S.Brunner et al., J. Comp.Phys. 230, 7053 (2011).