



HAL
open science

Simulations semi-lagrangiennes et multi-échelles de l'équation de Vlasov pour la modélisation des plasmas chauds

Daniele Del Sarto, Erwan Deriaz, Etienne Gravier, Maxime Lesur, Thierry Réveillé, A. Ghizzo

► To cite this version:

Daniele Del Sarto, Erwan Deriaz, Etienne Gravier, Maxime Lesur, Thierry Réveillé, et al.. Simulations semi-lagrangiennes et multi-échelles de l'équation de Vlasov pour la modélisation des plasmas chauds. 2022. hal-04242509

HAL Id: hal-04242509

<https://hal.science/hal-04242509>

Submitted on 15 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DANIELE DEL SARTO,
MAÎTRE DE CONFÉRENCES, INSTITUT JEAN LAMOUR, UMR 7198,
UNIVERSITÉ DE LORRAINE

ERWAN DERIAZ,
CHARGÉ DE RECHERCHES, INSTITUT JEAN LAMOUR UMR 7198,
CNRS

ETIENNE GRAVIER,
PROFESSEUR, INSTITUT JEAN LAMOUR UMR 7198,
UNIVERSITÉ DE LORRAINE

MAXIME LESUR,
MAÎTRE DE CONFÉRENCES, INSTITUT JEAN LAMOUR, UMR 7198,
UNIVERSITÉ DE LORRAINE

THIERRY RÉVEILLÉ,
MAÎTRE DE CONFÉRENCES, INSTITUT JEAN LAMOUR, UMR 7198,
UNIVERSITÉ DE LORRAINE

ALAIN GHIZZO,
PROFESSEUR, INSTITUT JEAN LAMOUR UMR 7198,
UNIVERSITÉ DE LORRAINE

PHYSIQUE THÉORIQUE

Simulations semi-lagrangiennes et multi-échelles de l'équation de Vlasov pour la modélisation des plasmas chauds

Le thème central de l'équipe est la modélisation et l'expérimentation numérique en physique des plasmas où les effets cinétiques et microscopiques sont dominants, en particulier dans la génération de champ magnétique due à une anisotropie des fonctions de distribution en vitesse (instabilité Weibel), dans leur dissipation due à la reconnexion magnétique, ou encore au transport des impuretés dans les plasmas de tokamak et dans la fusion à confinement magnétique.

Ce premier exemple concerne la génération d'un champ magnétique à partir d'une instabilité de type Weibel. Une simulation numérique de l'interaction faisceau-plasma en régime relativiste est réalisée sur Jean Zay à l'aide de 2048 cœurs (allocation de 2Mh), en considérant une configuration de deux faisceaux d'électrons se propageant dans des directions opposées. Une telle configuration, rencontrée en astrophysique et dans l'interaction laser-plasma, est instable et conduit à la génération et à l'amplification d'un champ magnétique intense. En utilisant le code semi-lagrangien VLEM (VLasov ElectroMagnetic solver [1, 2]), nous avons montré une corrélation entre la violation de l'entropie et le transfert d'énergie (cinétique vers l'énergie magnétique), induit par les fluctuations microscopiques de la fonction de distribution. Nous observons sur la Fig. 1 une évolution temporelle réversible de la

topologie du champ magnétique. Nous avons ainsi pu mettre en évidence le caractère réversible de ce transfert d'énergie [3] en accord avec la théorie de l'information et un nouveau processus de chauffage. Ce type de problème concerne également la reconnexion magnétique où le caractère multi-échelle devient primordial. Un code MHD AMR a été développé pour traiter l'aspect multi-échelle, dans le cadre d'un projet GENCI-DARI "Nonlinear dynamics of current sheets in magnetic reconnection" [10-11]. Cette technique AMR pourrait être adaptée pour la résolution du système Vlasov-Maxwell.

Le second exemple concerne le transport des impuretés dans les tokamaks. Le transport des impuretés est complexe et résulte de la turbulence (transport anormal) et des collisions (transport néoclassique). Il peut y avoir une synergie entre les deux canaux, comme récemment mis en évidence [4]. Le code est actuellement développé à l'IRFM-CEA et est nommé GYSELA-5D (GYrokinetic Semi-Lagrangian [6]). D'un point de vue théorique et à partir des résultats des simulations non linéaires, les différents termes impliqués dans le transport (diffusion, vitesses de pincement, contributions néoclassiques et turbulentes, etc.) ont été mis en évidence notamment grâce aux théories néoclassiques et quasi linéaires [7 -8] (voir fig. 2). De plus, une nouvelle source de vortécité

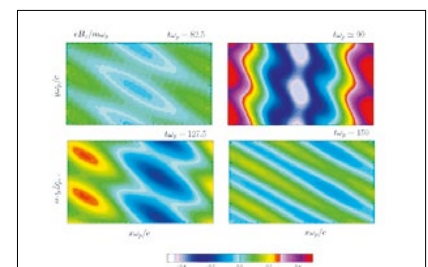


Fig. 1 : Contours de la composante Bz du champ magnétique normalisée à quatre instants différents pour une simulation réalisée à partir du code VLEM de l'excitation d'une large spectre pour un mode de filamentation oblique. Après saturation de l'instabilité (en haut à gauche), le transfert de l'énergie est inversé.

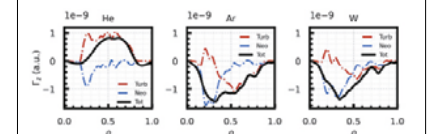


Fig. 2 : Flux de particules pour différentes impuretés (simulations numériques réalisées avec GYSELA). Le flux total d'impuretés (ligne continue noire) est divisé en une partie turbulente (ligne pointillée rouge) et une partie néoclassique (ligne pointillée bleue).

qui polarise le système permet de déclencher un cisaillement de vitesse ExB, une barrière de transport et un piédestal (mode à haut confinement, mode H). Pour des taux de cisaillement suffisamment importants, le transport turbulent est supprimé et une barrière de transport est créée. Ces résultats ont été comparés à ceux donnés sans barrière de transport [8], et la barrière de transport s'avère être efficace pour réduire l'amplitude de la turbulence [9].

Ces recherches correspondent aux programmes doctoraux de Kyungtak Lim et Guillaume Lo-Cascio, qui associent les équipes de l'Université de Lorraine et de l'IRFM-CEA. Des simulations TERESA [7] ont été réalisées sur Jean Zay-IDRIS pour un total de 5 millions d'heures-cœur. Des simulations GYSELA [8-9] ont été réalisées sur Joliot-Curie-TGCC pour un total de 22 millions d'heures-cœur. Ce travail fait partie d'un projet Eurofusion (TSVV#6).

[1] E. Somendrücker, J. R. Roche, P. Bertrand, A. Ghizzo, J. Comput. Physics 149, 201 (1999). [2] M. Sarrat, A. Ghizzo, D. Del Sarto, L. Serfat, Eur. Phys. J. D 71, 271 (2017). [3] A. Ghizzo and D. Del Sarto, Plasma Phys. Control. Fusion 63, 055007 (2021). [4] P. Donnel et al., Phys. Plasma Control. Fusion, 61, 044006 (2019). [5] T. Drouot et al., Phys. Plasmas 22, 082302 (2015). [6] V. Grandgirard et al., Comput. Phys. Communications, 207, 35 (2016). [7] K. Lim et al., Plasma Phys. Cont. Fusion 62, 095018 (2020). [8] K. Lim et al., Nucl. Fusion 61, 046037 (2021). [9] G. Lo-Cascio et al., in progress (2022). [10] D. Del Sarto, E. Deriaz, J. Comput. Phys. 351, 511 (2017). [11] H. Betar, D. Del Sarto, M. Ottaviani, A. Ghizzo, Phys. Plasmas, 27, 102106 (2020)