

Modélisation de l'interaction plasma/paroi dans un tokamak par méthode de pénalisation

Guillaume CHIAVASSA, Ecole Centrale Marseille

Les travaux présentés dans cette communication sont issus d'une collaboration entre chercheurs du M2P2 et de l'Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique du Cea Cadarache (voir [1]). L'objectif est de développer des outils numériques performants permettant d'étudier l'évolution du plasma dans la zone comprise entre le coeur du tokamak, où les surfaces magnétiques sont toriques et fermées, et la paroi. Dans cette partie, les lignes de champ magnétique sont ouvertes et interceptent des obstacles matériels. La présence de ces obstacles brise la périodicité de la géométrie torique dans deux directions ce qui élimine a priori toute utilisation de méthodes spectrales simples et nécessite l'utilisation d'un maillage complexe. Une deuxième difficulté provient des conditions aux limites. En effet, les ions et les électrons se recombinaient dans l'obstacle pour former des espèces neutres et la paroi joue alors le rôle d'un puit parfait pour le plasma. La condition naturelle serait donc d'imposer que la densité ionique du plasma, N , soit nulle sur l'obstacle, condition ne pouvant être utilisée directement dans un code de calcul classique. Elle est habituellement remplacée en pratique par une condition moins générale, le critère de Bohm, qui stipule que la vitesse des ions doit être sonique à la paroi.

A partir d'une modélisation fluide simplifiée, ne tenant compte que de la conservation de la densité et de la quantité de mouvement ionique et conduisant à un système hyperbolique unidimensionnel, nous avons développé une méthode de pénalisation volumique originale. La condition aux limites naturelle $N = 0$ ainsi que la géométrie de l'obstacle sont imposées via l'ajout de termes supplémentaires dans le système d'équations initial. Dans un premier temps, ce système pénalisé est résolu numériquement à partir d'une méthode robuste de type ENO. La comparaison des résultats avec une solution exacte du système non pénalisé permet de valider de notre méthode. En particulier, on démontre que les conditions de Bohm sont retrouvées sur l'obstacle, bien qu'elles ne soit pas imposées explicitement dans notre modèle.

La méthode de pénalisation permettant de récupérer une géométrie périodique et de travailler sur un maillage Cartésien uniforme, nous avons également mis au point une méthode pseudo spectrale pour résoudre le système pénalisé. Celle-ci a été testée dans des configurations bidimensionnelles en présence de plusieurs obstacles et les résultats obtenus sont conformes aux prévisions théoriques.

Je présenterai également les avancées récentes de ces travaux qui concernent la prise en compte de l'évolution des températures ionique et électronique dans le modèle initial. Les conditions aux limites associées à ces quantités sont de type Neumann et leur forçage par une méthode de pénalisation est plus délicate.

Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'un Laboratoire de Recherche Conventionné (LRC DSM-07-36) et du contrat ANR *ESPOIR* (ANR-09-BLAN-0035-01).

Références

- [1] L. ISOARDI, G. CHIAVASSA, G. CIRAOLO, P. HALDENWANG, E. SERRE, PH. GHENDRIH, Y. SARAZIN, F. SCHWANDER, P. TAMAIN, *Penalization modeling of a limiter in the tokamak edge plasma*, J. Comp. Phys., Vol. 229, (doi:10.1016/j.jcp.2009.11.031), 2010.