

CONTROLE DE PROFIL ET STABILITE EN FUSION THERMONUCLEAIRE: QUELQUES DEVELOPPEMENTS POUR ITER

Exposé invité de

Emmanuel Witrant

GIPSA-lab, UMR 5216, Grenoble

Sylvain Brémond

CEA, IRFM, F-13108 Saint-Paul-lez-Durance

Les recherches sur la fusion thermonucléaire contrôlée répondent à l'enjeu majeur du développement d'une source d'*énergie durable*, du fait d'un combustible très abondant et de l'absence d'émission de gaz à effet de serre. Aujourd'hui, le principal défi de la communauté fusion est le projet international ITER (*La voie* en Latin, acronyme de « International Thermonuclear Experimental Reactor ») qui vise à la démonstration de la faisabilité scientifique de la fusion thermonucléaire. Pour ce faire, la question du contrôle des différentes grandeurs physiques des plasmas de fusion prend une importance de plus en plus grande. Les problèmes de contrôle global du plasma confiné, contrôle de la position, de la forme, du courant électrique total et de la densité moyenne de particules ont été aujourd'hui pour l'essentiel résolus, à l'aide de méthodes semi-empiriques basées sur des modèles linéaires. Mais le contrôle optimal de la distribution spatiale (1D) des grandeurs physiques internes du plasma, notamment le profil de courant et de pression, par les actionneurs que constituent les systèmes externes d'injection de puissance et de flux magnétique, apparaît aujourd'hui crucial pour l'entretien de régimes à la fois performants et stables.

Après une présentation générale de la fusion et de ses principaux enjeux du point de vue du contrôle, nous détaillerons dans une première partie certaines avancées récentes sur le *contrôle du profil* de courant. L'évolution dynamique de ce profil est gouvernée par une équation de diffusion du flux magnétique dont le terme source est constitué par les sources internes de courant non inductif provenant de différents actionneurs (injection directionnelle d'ondes ou de particules neutres rapides). Une approche nouvelle, fondée sur un modèle de commande à base d'équations aux dérivées partielles, est présentée afin de lever les limitations généralement observées des approches linéaires en dimension finie, avec application au contrôle du profil de courant sur le tokamak Tore Supra (CEA Cadarache, France).

Nous verrons ensuite un autre type de problématique avancée pour la commande : la stabilisation des modes magnétohydrodynamiques (MHD). Nous nous intéressons ici aux *modes instables* du plasma dus aux phénomènes MHD, étudiés sur le *Reversed Field Pinch* EXTRAP-T2 (Alfvén lab, KTH, Suède). Ces modes sont d'une importance capitale pour les réacteurs à fusion, leur non maîtrise conduisant à une perte du confinement (indispensable aux réactions de fusion). Leur constante de temps est typiquement de l'ordre de quelques millisecondes, avec un cycle de commande de 100 μ s. La *complexité des dynamiques* mises en jeu ainsi que les *contraintes du temps-réel* motivent la recherche de nouvelles approches de modélisation et de commande, telles que celle présentée dans cet exposé et basée sur les systèmes à retards.