

Habilitation à Diriger des Recherches :

Mesure et contrôle du flux de chaleur dans les tokamaks

Y. Corre

Un des enjeux soulevé par la fusion par confinement magnétique concerne la conception et l'exploitation des composants de paroi capables de supporter des hauts flux de chaleur, jusqu'à 10 MW.m⁻² en régime stationnaire et plus lors d'événements transitoires. Le projet ITER, fondé sur l'opération simultanée d'une paroi métallique de grande dimension avec un plasma de cœur en combustion, est une étape décisive pour évaluer les performances des composants (fiabilité et durabilité). Le fil conducteur de cette HDR est l'exploitation des composants face au plasma dans les tokamaks Tore Supra, JET et COMPASS.

Pour garantir l'exploitation et protéger les composants lors des expériences plasma, il est nécessaire d'évaluer deux grandeurs physiques: la température du composant d'une part, et la densité de flux de chaleur déposée par le plasma d'autre part. La température à la surface des composants est déterminée expérimentalement par un système de thermographie infrarouge (IR). En raison des potentielles incertitudes liées à l'état de surface (émissivité du matériau ou présence de couches co-déposées), il est possible de compléter le système de thermographie IR par des mesures intrusives (capteurs de température enfouis dans le composant). La connaissance de la température permet ensuite de déterminer la densité de flux de chaleur absorbée par le composant. En fonction de la géométrie et des caractéristiques du composant, de l'instrumentation et du scénario plasma, plusieurs méthodes et outils numériques ont été développés. Les limitations opérationnelles associées au flux de chaleur et les risques d'endommagements des composants sont discutés.

La compréhension des mécanismes à l'origine du flux de chaleur est fondamentale pour assurer la protection des composants et, lorsque c'est nécessaire, envisager un contrôle du flux sur les cibles. Trois problématiques associées à la physique du transport et du dépôt du flux de chaleur sont décrites et caractérisées expérimentalement : (i) la décroissance du flux de chaleur (configuration « Limiteur Pompé Toroïdal » avec un plasma en régime stationnaire et une puissance injectée élevée), (ii) le flux de chaleur perpendiculaire sur un bord d'attaque (aiguille désalignée dans Tore Supra, limiteur rainuré dans COMPASS et lamelle en tungstène désalignée dans le JET) et (iii) la modification du flux de chaleur générée par les antennes de chauffage (antennes ICRH et LHCD de Tore Supra).

Le contrôle du flux de chaleur est illustré de façon pratique par deux expériences avec « rétroaction » sur les grandeurs plasma mesurées afin d'atteindre des niveaux de performance plus élevés. La première est réalisée au JET et repose sur un scénario avec un confinement amélioré « hybride » et injection d'impuretés azote pour refroidir le plasma de bord. La seconde est réalisé dans Tore Supra et concerne un scénario « forte puissance - temps longs ». En conclusion nous ferons une synthèse des principaux résultats et nous identifierons les axes de recherche à approfondir dans le cadre du projet WEST et de la préparation à l'exploitation du projet ITER.