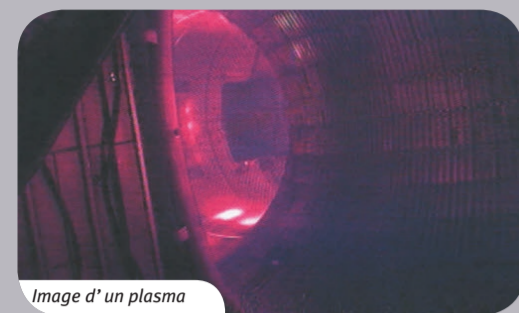
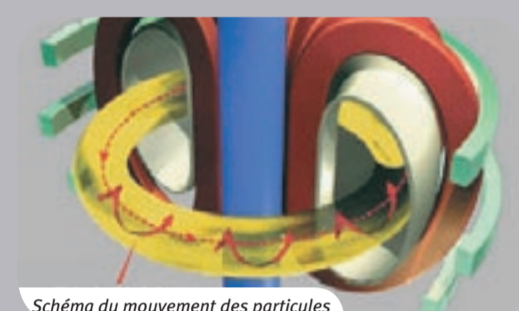


Chaud le cœur



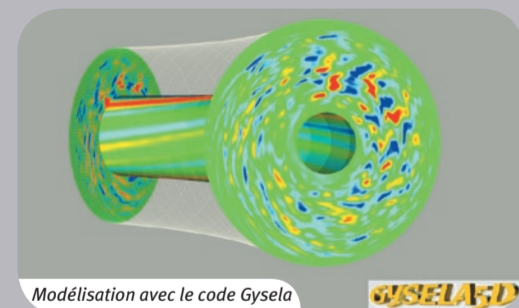
Le plasma au cœur d'ITER sera plus d'un million de fois plus chaud que la température ambiante. Sa densité sera plusieurs centaines de milliers de fois plus faible que l'air. Les champs magnétiques auront une puissance de 5,3 teslas (soit 100 000 fois le champ magnétique terrestre) et le courant au sein du plasma atteindra 15 millions d'ampères.

A très grandes vitesses



La vitesse de la réaction de fusion de deutérium et du tritium [combustible utilisé aujourd'hui dans l'installation de recherche JET en Angleterre et au sein d'ITER demain] est maximale lorsque la température atteint plus de 100 millions de degrés. A ce niveau de température, toute matière est à l'état de plasma : l'énergie cinétique (énergie d'un corps en mouvement) des particules est suffisante pour arracher les électrons aux noyaux. Les ions chargés positivement et les électrons chargés négativement ne sont plus liés les uns aux autres. Placée dans un champ magnétique, toute particule chargée effectue un mouvement en hélice s'enroulant autour des lignes de champ. Dans ITER, le rayon de giration sera de l'ordre de quelques millimètres pour un ion d'hydrogène et d'une fraction de millimètre pour un électron.

La turbulence



La turbulence désigne l'état d'un fluide, liquide ou gaz, dans lequel se développent des tourbillons dont la taille, la localisation et l'orientation varient constamment. Les turbulences se caractérisent par un comportement difficilement prévisible. Les mécanismes d'instabilités en physique des plasmas sont innombrables. Certaines instabilités présentent des similitudes avec des exemples observés en mécanique des fluides. Imaginez par exemple un récipient dans lequel vous versez de l'eau puis, avec précaution, de l'huile par dessus. Le système est alors dans un équilibre métastable. La moindre pichenette va entraîner un retournement de situation faisant passer le fluide le plus lourd sous le fluide le plus léger. D'autres instabilités sont les instabilités de torsion qui apparaissent lorsqu'un courant parallèle au champ magnétique introduit une torsion des lignes de champ, rappelant l'effet qu'on obtient quand une corde est tordue trop fortement : elle se tortille et fait des coques. Extrait du site www.fusion-magnétique cea.fr



Mesures et modélisations de l'extrême

LE COMPORTEMENT D'UN PLASMA AU CŒUR D'UN TOKAMAK EST RÉGI PAR DES PHÉNOMÈNES COMPLEXES QUE LES PHYSICIENS CHERCHENT À COMPRENDRE DANS LES MOINDRES DÉTAILS. PLONGEON DANS LE MONDE DES MESURES DE L'EXTRÊME ET DE LA MODÉLISATION.



Travail en visioconférence

Plusieurs phénomènes s'affrontent au cœur d'un plasma, système complexe où règne une très grande agitation : des températures s'élevant de 150 à 200 millions de degrés au cœur à quelques milliers au bord, la présence de puissants champs électromagnétiques et des densités de courant élevées.

Rendre visible l'invisible

Au cœur d'un plasma, les mouvements de particules chargées le constituant (électrons et ions) génèrent des fluctuations des champs électrique et magnétique qui, à leur tour, gouvernent la dynamique de l'ensemble des particules. A cette complexité intrinsèque s'ajoute une multiplicité de phénomènes : interactions entre des particules et la paroi intérieure de la machine, impact des noyaux d'hélium émis durant les

réactions de fusion et des systèmes de chauffage (ondes, faisceaux de particules rapides...)... Les physiciens disposent d'une large gamme d'instruments pour étudier ces phénomènes. L'installation Tore Supra en compte plus d'une quarantaine, ITER en disposera d'une cinquantaine environ. Les rayons X, mesurés par des caméras équipées de détecteurs spéciaux, permettent de recueillir des informations sur l'efficacité d'un mode de chauffage. Des spectromètres réalisent des mesures sur le rayonnement d'impuretés au sein d'un plasma et alertent ainsi sur une éventuelle surchauffe d'un composant métallique. Des caméras équipées de détecteurs spéciaux (charge coupled device), permettent d'obtenir des images du plasma, visible sous la forme d'un halo rose. Des fibres optiques

ou des endoscopes, quant à eux, sont installés sur les composants face au plasma pour obtenir des informations sur des interactions produites entre les éléments d'un plasma (deutérium, hélium) et les matériaux (carbone). Une autre technique consiste à injecter des ondes à l'intérieur du plasma. « A l'instar du mécanisme mis en œuvre avec un radar ou un sonar, cette technique permet de détecter la réponse du milieu traversé et ainsi déduire les paramètres du milieu » expliquent les physiciens. De nombreuses autres sondes installées sur les composants de la paroi intérieure permettent de mesurer le courant du plasma. Les informations ainsi recueillies permettent aux physiciens de déduire la densité et la température locale du plasma ainsi que leurs fluctuations.

Pour comprendre plus en détail les phénomènes qui sont ainsi mesurés, les physiciens utilisent des modélisations complexes. Dans le domaine de la physique des plasmas, les simulations permettent notamment de comprendre et de contrôler les instabilités qui se créent au cœur des plasmas. « La plupart des instabilités qui donnent lieu à une turbulence sont électrostatiques. Elles se développent jusqu'à former un état turbulent dont l'effet est de brasser les particules chaudes du centre du plasma (où règne une température de plus de 100 millions de degrés) avec les particules plus excentrées et donc plus froides. Ce flux de chaleur et des particules du cœur vers le bord ont un impact sur la qualité du confinement de l'énergie dans un tokamak » précise Gloria Falchetto, chercheur au sein du groupe « transport, turbulence et magnétohydrodynamique » de l'Institut de recherche sur la fusion magnétique (IRFM) à Cadarache.

1 million de milliards d'opérations

Les physiciens savent modéliser comment le flux de chaleur dû à une turbulence varie avec différents paramètres, dont la taille du plasma. De nombreuses ondes et instabilités peuvent modifier le comportement du plasma, comme les instabilités magnétohydrodynamiques. Pour les éviter, il faut limiter la pression et le courant au sein du tokamak. Là encore, les physiciens savent déterminer mathématiquement les limites à ne pas dépasser pour

Calculs à cinq dimensions

Un plasma comporte cent mille milliards de milliards de particules environ (10^{23}). Les physiciens ne disposent pas des moyens permettant de calculer le mouvement de chacune d'elles. Dans les modélisations, les particules individuelles sont remplacées par une fonction de distribution dont la valeur représente la densité de probabilité qu'une particule ait, une position et une vitesse données. Les fonctions de distribution sont définies dans un espace à six dimensions (trois valeurs pour la position et trois valeurs pour la vitesse). Or, la turbulence est due à des perturbations se produisant à des fréquences bien inférieures à la fréquence de giration des particules du plasma. Cela a conduit au développement de la théorie gyrocinétique dans laquelle est effectuée une moyenne temporelle sur le mouvement de giration. Il reste trois dimensions d'espace et deux dimensions de vitesses (parallèle et perpendiculaire au champ magnétique) et le temps. A chaque instant « t », la particule est représentée par un point dans un espace à cinq dimensions !

Extrait de l'article « la turbulence dans les plasmas », Laurent Villard, enseignant-chercheur.

contrôler ce type d'instabilités pouvant conduire à la perte totale d'un plasma. Tout comme ils sont en mesure de calculer le mouvement de giration des particules autour d'une ligne de champ magnétique d'une fréquence de 100 à 200 GHz (fréquence cyclotronique). Mais les simulations ne sont pas parfaites. Les lois physiques qui régissent le comportement d'un plasma doivent être simplifiées pour pouvoir être résolues par un ordinateur. Aujourd'hui, les machines les plus puissantes parviennent à réaliser un million de milliards d'opérations à la seconde. La très large gamme d'échelles spatiales et temporelles

mises en jeu dans la description d'un plasma engendre une grande complexité de modélisation et des temps de calcul élevés. Les échelles spatiales vont de quelques micromètres à plusieurs mètres et diffèrent pour les ions et les électrons. « Pour aller plus loin dans le calcul détaillé des processus de turbulence, nous avons besoin d'outils dont la puissance de calculs devra être multipliée par 1000 » commente Frédéric Imbeaux de l'IRFM. Une dynamique a été mise en place pour rassembler les compétences européennes en vue de développer des codes de calculs intégrés et toujours plus performants. Les machines de demain disposeront d'une capacité en mémoire de plusieurs milliers de giga-octets alors qu'aujourd'hui, elle n'est que de quelques centaines de giga-octets. Pour relever ces défis, les scientifiques disposent d'un atout solide : la puissance des ordinateurs, tout comme la progression des méthodes numériques, double tous les dix-huit mois... ●



Vue d'un plasma sur écran (Tore Supra)

Agenda

29 juin 2009

COMITÉ DES FINANCEURS

Les membres du comité des financeurs composé des huit collectivités⁽¹⁾ qui participent au financement de la construction d'ITER ont été réunis par le préfet de région le 29 juin 2009. A cette occasion, ils ont pu notamment constater qu'une part significative des contrats passés par les différents donneurs d'ordre avait été injectée dans l'économie régionale et nationale. Le montant total des dépenses engagées est estimé à de plus de 352 millions d'euros de travaux et prestations liés aux contrats conclus par ITER Organization (93,9 M€), aux contrats de l'agence domestique européenne Fusion for Energy (4,5 M€), de l'Agence Iter France (100,8 M€), du conseil régional pour la construction de l'école internationale (42,5 M€) et aux travaux d'adaptation des routes co-financés par le Conseil général des Bouches-du-Rhône et l'Etat (110,8 M€).

⁽¹⁾ Conseil régional PACA, conseils généraux (Alpes Maritimes, Alpes de Haute-Provence, Bouches-du-Rhône, Hautes Alpes, du Var, du Vaucluse), Communauté du Pays d'Aix.

ITER à la foire de Marseille

25 SEPTEMBRE - 5 OCTOBRE 2009

Pour la quatrième année consécutive, ITER sera au rendez-vous de la foire internationale qui se tient du 25 septembre au 5 octobre prochain. Durant une dizaine de jours, c'est l'occasion de faire le point sur toutes les facettes du projet avec le public : sur l'avancement des travaux de l'itinéraire entre Fos et Cadarache pour l'acheminement des composants exceptionnels avec les représentants de la mission ITER ; sur l'accueil de l'équipe internationale et leur famille et les travaux de viabilisation du site où sera construite l'installation de recherche avec l'équipe de Agence Iter France ; et sur le projet lui-même avec ITER Organization. Parc Chanot - Hall 1 www.itercadarache.org

Iter