



LES RENCONTRES SCIENTIFIQUES
— COLAS —

Les Rencontres Scientifiques Colas

« Le Soleil et ITER »

17 avril 2007

avec **Sylvaine TURCK-CHIEZE**,
*Laboratoire Astrophysique Nucléaire
et Plasmas stellaires (CEA)*

et **Philippe GHENDRIH**,
Département de Recherche sur la fusion contrôlée (CEA)

*Conférence-débat animée par **Mathieu NOWAK**
Journaliste à La Recherche*

Notre étoile est une fabuleuse machine nucléaire qui en transformant son hydrogène en hélium nous fournit lumière, chaleur et énergie. Depuis longtemps les chercheurs essayent de reproduire et de contrôler sur Terre des réactions comparables à celles qui ont lieu au centre du Soleil. C'est aujourd'hui l'ambition du projet ITER.

Quels enseignements nous apportent les recherches en astrophysique ? Comment se comparent ces deux types de fusion nucléaire et quelles sont les questions d'actualité dans ces deux domaines ? Ces questions seront le point de départ de cette rencontre.

Intervention de Madame Sylvaine TURCK-CHIEZE

Pratiquement toute la matière des étoiles est sous forme de plasma, c'est-à-dire sous forme d'atomes partiellement ou complètement dépouillés de leurs électrons périphériques. Cet état de la matière a été particulièrement étudié ces dernières années grâce à notre capacité de sonder le Soleil. Nous étudions pour cela les neutrinos solaires émis par certaines réactions nucléaires et les oscillations acoustiques ou de gravité. Ces dernières qui se propagent jusqu'au cœur du Soleil sont détectées aujourd'hui par le satellite SOHO¹ et sont générées dans les zones turbulentes externes.

Le Soleil est aujourd'hui l'unique plasma dense et chaud accessible à l'observation. Ces dernières années, il a été possible d'extraire de ces études une bonne connaissance de la physique subatomique qui gère la vie des étoiles : leur production d'énergie et leur longévité. Nous avons ainsi confirmé que le Soleil brûlait son combustible principalement par interaction faible avec production de neutrinos qui changent de « saveur » au cours de leur voyage dans la matière solaire. Le plasma solaire est donc un prototype des plasmas stellaires, mais aussi de certains plasmas de fusion qui seront accessibles en laboratoire avec des lasers de puissance. Les conditions de production d'énergie correspondent à des températures de dizaines de millions de degrés pour des densités de centaines de grammes par centimètre cube bien différentes de celles envisagées pour le projet ITER. Toutefois, certains processus microscopiques sont étudiés dans ce type de plasmas, comme l'accélération des interactions nucléaires par effet coulombien des réactants (présence d'électrons libres autour des ions positifs qui doivent interagir) ou celui du transport d'énergie par l'interaction des photons avec la matière traversée.

Aujourd'hui, notre vision des étoiles évolue très fortement et de nouveaux questionnements apparaissent, liés à l'activité magnétique du Soleil et son interaction avec l'environnement terrestre. L'astrophysique et l'étude des plasmas stellaires partagent avec le projet ITER un certain nombre de problèmes liés aux instabilités de cisaillement, à la génération et au maintien de champs magnétiques intenses. Ces nouvelles études contribuent au développement de simulations numériques pour mieux comprendre le comportement et l'évolution dynamique de tels plasmas.

¹ La mission SOHO a pour objectif d'étudier la structure interne du Soleil, la chaleur de son atmosphère, les origines du Vent solaire. La sonde spatiale SOHO est le fruit d'une collaboration entre la NASA et l'ESA. Elle a été lancée le 2 décembre 1995 de la base de Cap Canaveral (Etats-Unis) par une fusée Atlas II.

Intervention de Monsieur Philippe GHENDRIH

La production d'énergie dans le soleil ou dans le tokamak² ITER repose sur le même principe de fusion. Cependant, pour que le tokamak permette de produire de l'énergie avec des dispositifs de taille raisonnable, les physiciens de la fusion magnétique utilisent une réaction de fusion nucléaire beaucoup plus efficace que la réaction de fusion proton-proton qui est à la source de la fusion solaire. Grâce à ce choix, la durée de vie du combustible passe de 9 milliards d'années dans le soleil à une dizaine de secondes dans les tokamaks comme ITER. Cette différence fondamentale modifie considérablement les paramètres des plasmas dans les deux dispositifs. Contrairement à ce que l'on pouvait donc attendre, les points de convergence entre la physique du soleil et celle d'ITER ne se trouvent donc pas dans les réactions de fusion thermonucléaires mais dans différents aspects d'auto-organisation du plasma.

En effet, les plasmas de tokamak et de la couche convective du soleil sont soumis à une turbulence qui semble être à l'origine de plusieurs propriétés remarquables de ces systèmes. Un des premiers points de comparaison est l'existence de zones de cisaillement de vitesse du plasma, qui localise les domaines de turbulence. L'extension de la région convective du soleil et l'extension des barrières de transport dans les tokamaks sont les conséquences de cette physique.

La turbulence, qui se caractérise par des structures à petites échelles, semble aussi être à la source de champs qui se développent à grandes échelles. Le travail de recherche se focalise sur la génération du champ magnétique solaire par effet dynamo et l'apparition cruciale d'un champ de vitesse cisailé du plasma dans les tokamaks.

Enfin, l'existence de phénomènes de relaxation brutale se retrouve dans la dynamique solaire avec le phénomène des éruptions solaires, ainsi que dans la dynamique du plasma de tokamak avec les brusques pertes de confinement à la périphérie du plasma appelées ELM.

Au-delà de l'activité de recherche qui intéresse les deux disciplines, physique solaire et physique d'ITER, le projet ITER aborde deux aspects spécifiques avec d'une part la physique de l'interaction plasma-paroi, et en particulier le contrôle de cette interaction, et d'autre part la mise en œuvre internationale d'un grand projet de technologie. Le projet ITER fédère ainsi une activité de recherche fondamentale sur la physique des plasmas pour le développement d'une nouvelle source d'énergie.

² Le tokamak est une chambre de confinement magnétique destinée à contrôler un plasma nécessaire à la production d'énergie par fusion nucléaire.