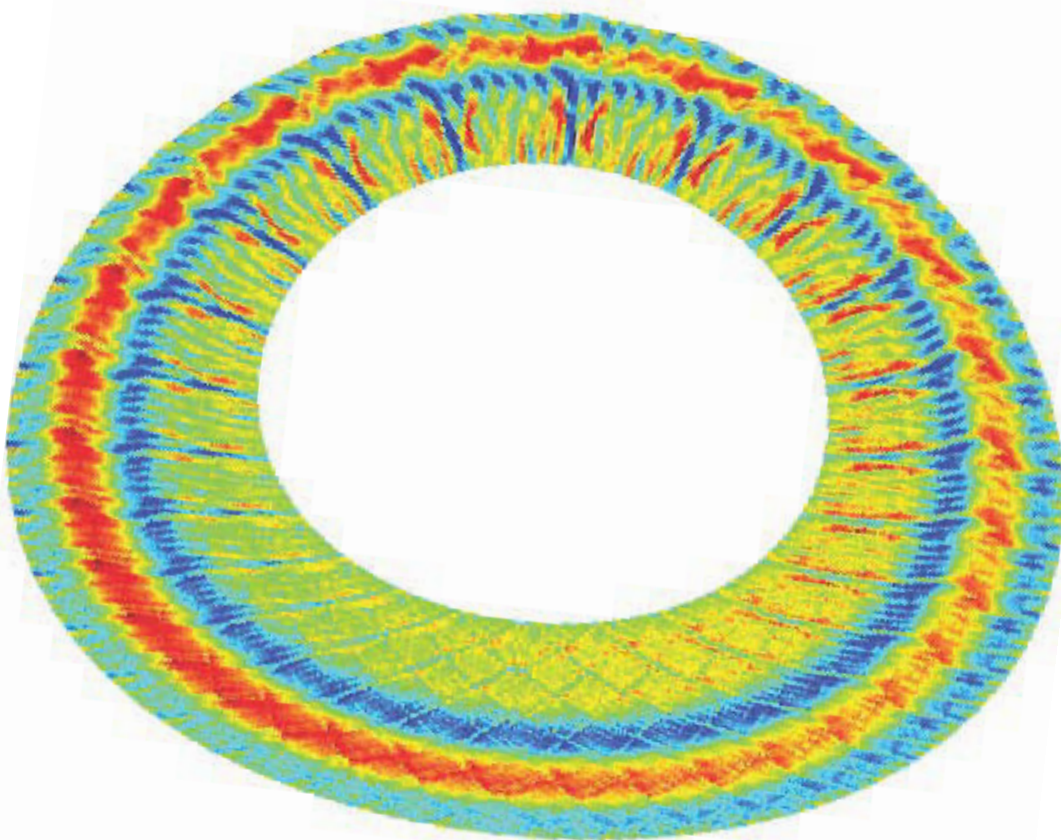


Rapport de synthèse 2010

Programme de recherche Fusion thermonucléaire contrôlée



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Page de couverture :

Vue instantanée de la turbulence dans un tokamak, obtenue par la simulation numérique

Programme de recherche de l'OFEN Fusion thermonucléaire contrôlée

Rapport de synthèse 2010

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne

Chef de programme (auteur) :

C. Vaucher (Coordinateur), Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche (claude.vaucher@sbf.admin.ch)
Dr. M. Q. Tran et Dr. L. Villard (EPFL), Dr. L. Marot (Uni Bâle)

Responsable de domaine de l'OFEN :

Dr. Christophe de Reyff (Christophe.deReyff@bfe.admin.ch)

<http://crppwww.epfl.ch/>

Les auteurs de ce rapport portent seuls la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Introduction

Il n'existe pas à proprement parler de programme fusion thermonucléaire en Suisse. Depuis 1978, les activités de fusion sont fortement liées au programme de recherche européen Euratom (Communauté européenne de l'énergie atomique), notamment sa partie concernant la fusion thermonucléaire. La Suisse participe à ces efforts et développe des connaissances dans la physique des plasmas et les technologies de fusion pour obtenir une source d'énergie pratiquement sans limite.

La fusion devrait ainsi produire une énorme quantité d'énergie presque sans production de CO₂. Le combustible est disponible en grande quantité et bien réparti sur terre. Un réacteur de fusion est intrinsèquement sûr et sa puissance peut être transformée en chaleur, électricité ou utilisée pour la production d'hydrogène. Une centaine d'années après son déclassement, le matériel activé devrait être entièrement recyclé et non radioactif.

Tous ces avantages doivent être mis en regard d'une difficulté majeure: la fusion nucléaire nécessite des conditions extrêmes pour sa mise en service. Le défi est autant physique que technologique. Le programme européen de

recherche sur la fusion s'est concentré dès son début sur le développement de l'électricité. Depuis près de 40 ans, cette stratégie a été suivie avec ténacité par Euratom.

L'Europe dans son ensemble se trouve à la pointe de la connaissance dans l'énergie de fusion. Avec la construction du Tore européen commun (Joint European Torus, JET), auquel la Suisse a également participé comme partenaire à part entière, l'Europe était bien préparée pour la prochaine génération de réacteur expérimental de Fusion ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Cet immense projet est la seule étape restante entre les expériences d'aujourd'hui et DEMO, un projet d'usine de démonstration. Ce dernier devrait être le premier réacteur à fusion produisant de l'électricité et prouver la viabilité économique de l'énergie de fusion.

En fin de compte, ITER prouvera la faisabilité technique de la fusion en répondant à la question : est-ce vraiment possible de créer l'énergie du soleil sur terre ? De son côté, DEMO prouvera sa faisabilité économique en fournissant une réponse à cette interrogation : la fusion thermonucléaire est-elle rentable ?

Centres de gravité du programme

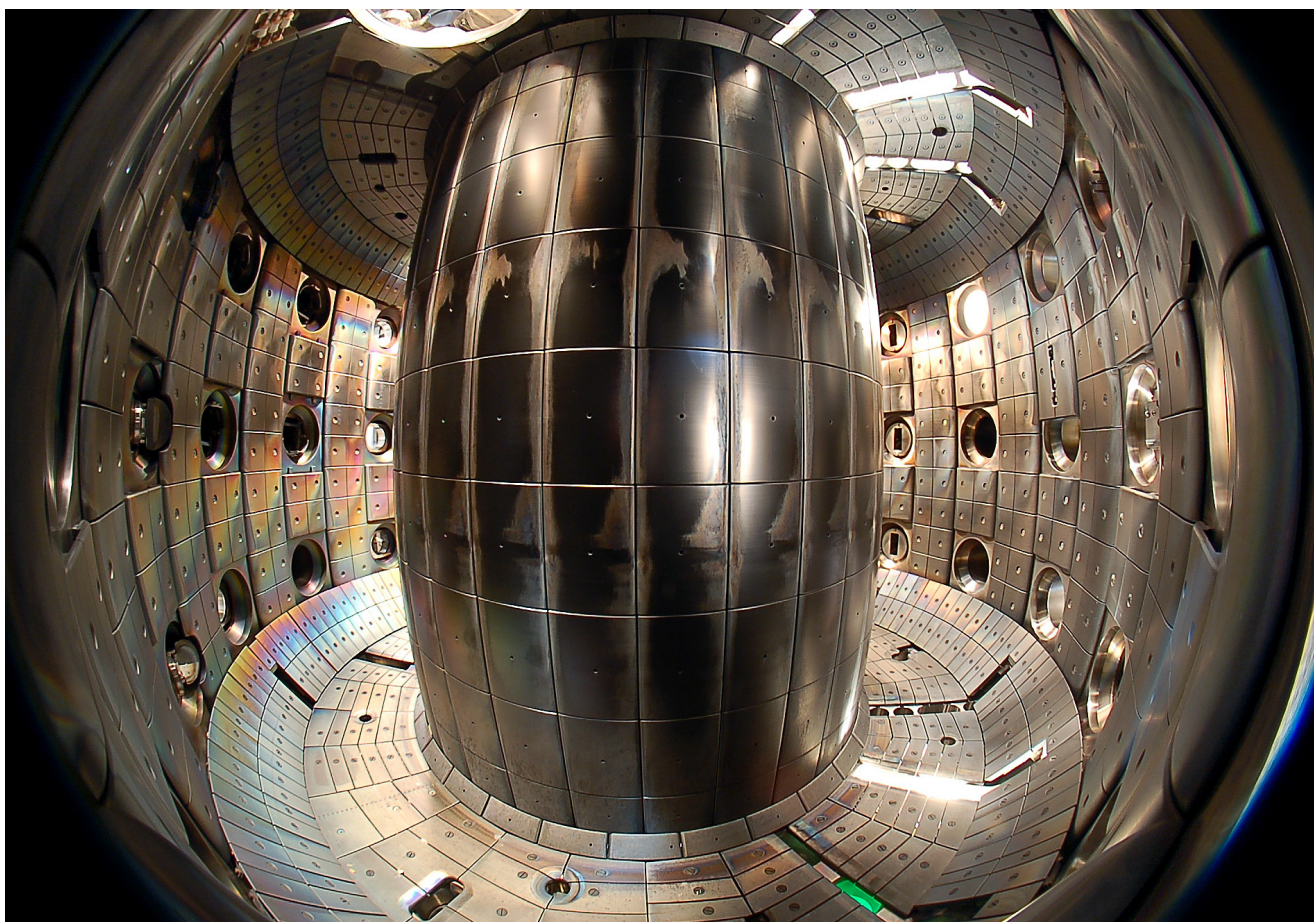
2010 fut une année importante pour le projet ITER. Le Conseil d'ITER, qui rassemble les représentants des sept partenaires du projet (Union Européenne + Suisse, Chine, Corée, Inde, Japon, Russie, USA) a approuvé ce qui est appelé « ITER Baseline ». L'ITER Baseline comprend les objectifs du projet, sa planification et le budget. Le premier plasma est prévu en 2019. L'opération scientifique est prévue avec des phases qui correspondent à l'installation échelonnée des composants de la machine, une phase avec un plasma d'hydrogène, puis de deutérium-deutérium et finalement de deutérium-tritium. Cette dernière phase sera celle où les réactions de fusion auront lieu pour produire 500 MW thermique pendant 500 s. Elle est prévue pour 2026.

La direction du projet ITER a également été remaniée. Un nouveau directeur général (DG) a été nommé en la personne du Prof. Osamu Motojima, qui fut l'ancien directeur du grand projet stellarator japonais Large Helical Device. Le Deputy Director General pour

la construction d'ITER est M. Remmelt Haange, un des responsables du projet européen Wendelstein Stellarator (W7-X) à l'IPP (Institut für Plasmaphysik) de Greifswald (Allemagne).

Le Conseil d'ITER a demandé au nouveau DG un important effort pour diminuer les coûts du projet à travers un réexamen des options techniques ainsi que dans le domaine de la gestion du projet.

L'Agence domestique européenne Fusion for Energy (F4E) a également été restructurée en 2010. Un nouveau directeur, M. Frank Briscoe, a été nommé. L'organisation de F4E a été remodelée et l'organigramme final a été publié au début de 2011. Le budget de F4E pour la phase de construction d'ITER a été augmenté à 6,6 milliards d'Euros. Pour les deux dernières années (2012 et 2013) du 7^e Programme Cadre, la somme prévue est de 1,4 milliards d'€. Le financement de ce supplément est encore en discussion au niveau européen (Commission, Conseil et Parlement).



Points forts 2010

Le CRPP : l'Association Suisse/EURATOM et ITER

En 2010, le Centre de Recherche en Physique des Plasmas (CRPP) de l'EPFL a continué à participer aux activités scientifiques et technologiques du programme EURATOM. Ses recherches en matière de fusion thermonucléaire contrôlée sont effectuées sur deux sites : à l'EPFL, les activités portent sur la physique du confinement magnétique, en particulier le tokamak TCV, l'expérience de base TORPEX, la théorie et la simulation numérique, la technologie de la fusion liée au chauffage du plasma et la génération de courant par ondes hyper-fréquences ; au PSI, les activités sont consacrées à la supraconductivité et aux matériaux.

Le TCV (Tokamak à configuration variable) est la plus grande installation expérimentale exploitée sur le site de l'EPFL. Elle présente deux propriétés uniques au monde : d'une part, la grande flexibilité de sa conception et de son mode d'opération permet la création et le contrôle de plasmas de formes très différentes, ce qui s'avère essentiel pour vérifier les simulations numériques et planifier la géométrie optimale du cœur des futurs réacteurs de fusion ; d'autre part, le système d'injection d'ondes millimétriques, afin de chauffer le plasma et générer du

courant, est caractérisé par une grande souplesse et permet d'orienter la puissance injectée selon des profils spécifiques. C'est en utilisant ces caractéristiques uniques que les recherches sur le TCV se poursuivent. La campagne expérimentale 2010 a été particulièrement intense, interrompue seulement pour de brèves périodes pour des interventions techniques.

Parmi les nombreux résultats obtenus sur TCV, mentionnons en particulier :

- La flexibilité du système de contrôle de la forme du plasma a permis d'obtenir et de contrôler, pour la première fois, des configurations dites « snowflake » et d'étudier en détail ses propriétés, en présence de chauffage micro-ondes et en régime de confinement amélioré (figure 1). Des comparaisons avec des configurations traditionnelles « single null » ont été faites et démontrent le potentiel des configurations « snowflakes » pour résoudre les problèmes de déposition de puissance et de relaxation du bord du plasma.
- Le système micro-ondes de haute puissance de TCV a aussi été utilisé pour la génération de courant dans le plasma. Des expériences de modulation de puissance ont permis d'étudier la relation entre le profil de courant et le transport turbulent de chaleur. Des simulations numériques ont été faites et confirment avec une bonne robustesse les résultats expérimentaux.
- Les phénomènes de relaxation cyclique du bord du plasma posent des problèmes de première importance pour l'opération d'un réacteur de fusion, car ils peuvent conduire à des densités de puissance instantanée atteignant la paroi qui risqueraient d'endommager celle-ci. Sur le TCV, nous avons pu établir l'influence cruciale de la forme du plasma sur le comportement de ces relaxations. En particulier, un changement de la forme du plasma d'une triangularité positive à négative conduit à des relaxations de plus faible amplitude, ce qui est favorable (figure 2).

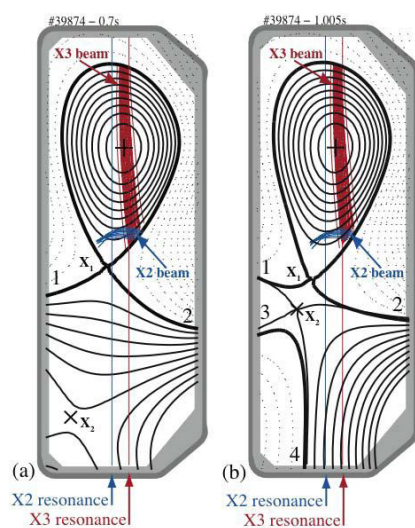


Figure 1 : une configuration « traditionnelle » (à gauche), comparée à une configuration « snowflake » (à droite), dans le tokamak TCV. La position des faisceaux micro-ondes est indiquée (X2 et X3).

de la forme du plasma conduit à des profils de vitesse de rotation différents (figure 3). Les mesures sont en accord avec les prédictions théoriques basées sur l'étude de la turbulence.

- Des mesures de fluctuations de température électronique au cœur du plasma ont été prises dans le TCV. Elles confirment l'effet de la forme du plasma sur la qualité du transport : passer d'une triangularité positive à négative réduit l'amplitude et la longueur de corrélation de la turbulence et conduit à un transport de chaleur plus faible, et donc à un confinement amélioré.
- De multiples applications des capacités améliorées du nouveau système de contrôle digital ont été faites, par exemple le contrôle de la période de relaxation interne et de l'amplitude de certains modes saturés dans le plasma.
- Le tokamak TCV est le seul au monde qui a pu obtenir un plasma stable dans lequel le courant plasma est entièrement généré de façon interne par le phénomène dit de « bootstrap ». Il a même été possible de générer plus de courant « bootstrap » que nécessaire et ainsi de recharger le transformateur central.

Les activités du groupe de théorie et simulation numérique portent sur les domaines suivants : la turbulence et le transport de chaleur et de particules dans les tokamaks, l'analyse de l'équilibre et de la stabilité MHD (magnétohydrodynamique) des tokamaks et stellarators, l'application d'ondes radiofréquence et la prospection et l'optimisation de nouvelles configurations de confinement magnétique. Pour l'étude de la turbulence, les codes de calcul numérique développés au CRPP ont permis de résoudre une controverse concernant l'effet de la taille du plasma sur le transport de chaleur. Pour la première fois, les incertitudes liées au caractère chaotique de la turbulence ont pu être quantifiées de façon précise. Ces codes sont continuellement améliorés pour leur utilisation sur les superordinateurs à haute performance comportant jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de processeurs. Dans le domaine de la MHD, des études ont montré un phénomène

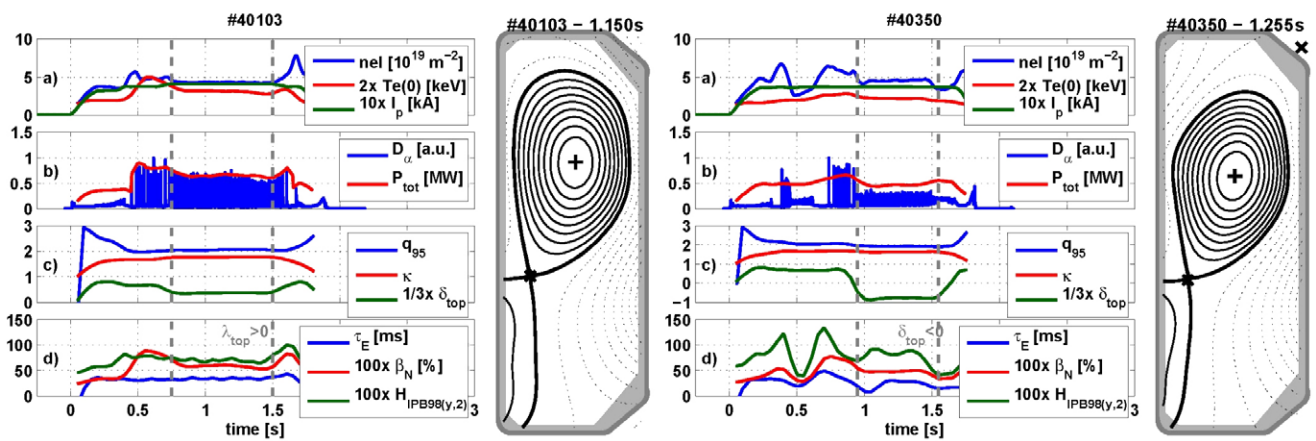


Figure 2 : un changement de la forme du plasma d'une triangularité positive (à gauche) à une triangularité négative (à droite) conduit à une réduction de l'amplitude des relaxations au bord du plasma (D_α).

de brisure spontanée de symétrie de l'équilibre : dans certaines conditions, le cœur du plasma exhibe une configuration hélicoïdale alors que l'extérieur du plasma conserve sa symétrie axiale (figure 4).

Pour la modélisation du chauffage radiofréquence, la propagation et l'absorption des ondes, leur effet sur la distribution en vitesse des particules et sur l'équilibre ont été calculés de façon consistante, en couplant trois codes de calcul numérique. Un autre résultat important a porté sur l'effet du chauffage radiofréquence sur les phénomènes de relaxation du cœur du tokamak, et une nouvelle série d'expériences dédiées sur le tokamak JET a été conduite : les résultats ont permis de valider la nouvelle théorie au détriment des théories précédentes.

Le programme de recherches conduit sur la machine TORPEX est motivé par l'étude de la turbulence telle qu'elle a lieu dans le bord du plasma du tokamak, dans un environnement similaire, mais dont la relative simplicité, par rapport au tokamak, a l'avantage de permettre des mesures *in situ* à haute résolution spatio-temporelle. Parmi les résultats obtenus en 2010, mentionnons l'étude de la génération et de la propagation de filaments de plasmas (ou « blobs »), la quantification de l'effet de la turbulence et des structures observées sur le transport de particules et de chaleur grâce à des diagnostics nouvellement développés, et de la dynamique des ions suprathérmiqes (figure 5). Des développements spécifiques ont été entrepris pour l'imagerie de l'évolution du plasma de façon non invasive et avec une résolution spatio-temporelle améliorée. Le niveau de dé-

tail et la gamme étendue de conditions obtenues lors de telles investigations fournissent un banc d'essai exceptionnel pour des évaluations quantitatives et contribuent ainsi à la validation de différents aspects de la théorie et des codes de calcul numérique qui sont utilisés pour prédire le comportement expérimental.

Le groupe Fusion Technology Materials, au PSI, a pour objectif principal l'étude des effets des dégâts provoqués par l'irradiation des matériaux structuraux entourant les futurs réacteurs de fusion. Dans ces machines, les neutrons de fusion à haute énergie produiront des cascades de déplacements et des transmutations nucléaires. Les activités de Recherche et Développement (R&D) se sont portées sur

- Le développement de matériaux métalliques avancés pour la première paroi et les composantes du manteau de surgénération des futurs réacteurs de fusion, en particulier des aciers à activation réduite et des matériaux à base de tungstène.
- La modélisation numérique des dommages dus à la radiation.
- Le développement de la technologie de petits spécimens destinée à la future installation IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility).
- La qualification des matériaux métalliques pour ITER.

Les expériences d'irradiation ont été effectuées avec des protons et des neutrons sur le Swiss Spallation Neu-

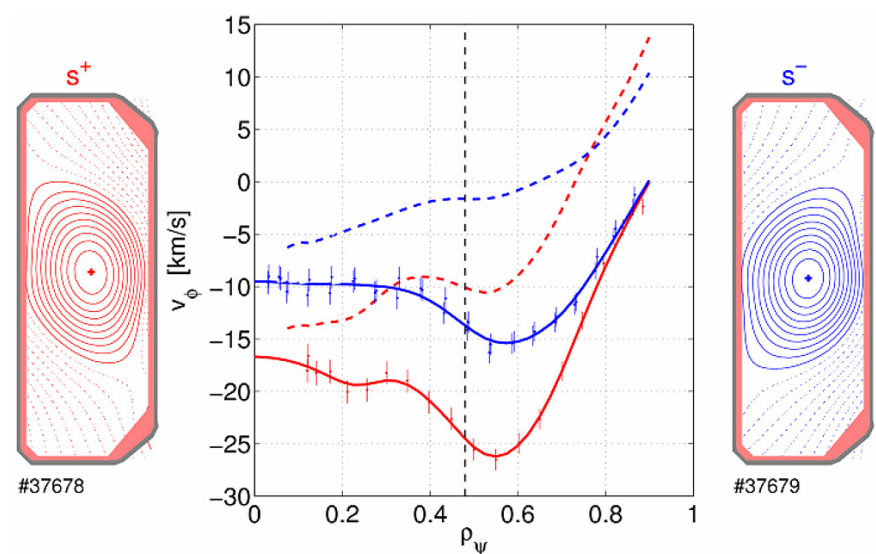


Figure 3 : un changement de la forme du plasma (ρ_ψ : coordonnée réduite) dans des configurations asymétriques conduit à des profils de vitesse de rotation différents : en rouge, forme de gauche ; en bleu, forme de droite.

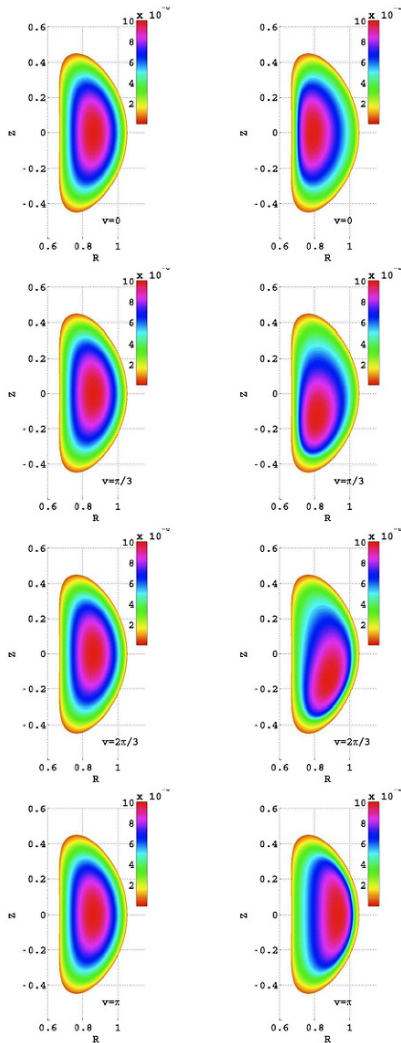


Figure 4 : bifurcation de l'équilibre MHD pour une configuration compatible avec le tokamak TCV : à gauche, l'équilibre conserve la symétrie axiale ; à droite, le cœur du plasma exhibe une structure hélicoïdale.

tron Source (SINQ) au PSI, avec des ions sur l'installation Joint Accelerators for Nanoscience and Nuclear Simulations (JANNuS) à Orsay-Saclay en France, et avec des neutrons de fission dans des réacteurs en Belgique, en Hongrie et aux Pays-Bas. Le volet modélisation s'est notamment porté sur des simulations numériques de dynamique moléculaire pour l'étude de la plasticité et de la fracture, le durcissement dû aux défauts induits par les radiations, la mobilité des dislocations en présence d'obstacles nanométriques et le comportement de bulles d'hélium (figure 6).

Le groupe Superconductivity, au PSI, a été actif principalement pour le test des supraconducteurs pour ITER sur l'installation SULTAN, pour la préparation d'une nouvelle installation de

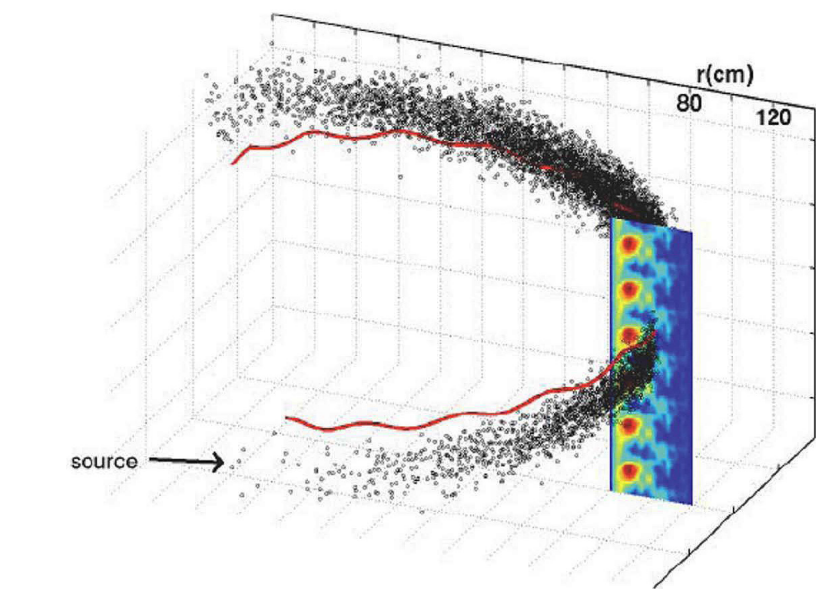


Figure 5 : simulation d'une population d'ions rapides injectés dans TORPEX et montrant leur dispersion due à la turbulence. Les marqueurs noirs représentent leur position peu de temps après l'injection. La courbe rouge montre une des trajectoires.

test (EDIPO) impliquant des activités de R&D portant sur les supraconducteurs à haute température. L'opération de SULTAN a dû être interrompue pendant trois mois à cause d'un court-circuit dans le moteur du compresseur. Néanmoins, huit échantillons, délivrés par différents partenaires d'ITER, ont pu être testés. Cette interruption a eu comme conséquence bénéfique une intensification des travaux d'assemblage pour EDIPO : installation et test de la chambre à vide, des pompes et des écrans thermiques, assemblage des amenées de courant supraconducteurs à haute température (HTS), du transformateur et du porte-échantillon. Les amenées de courant HTS ont été testées à différentes valeurs du courant, jusqu'à 18 kA, et du débit de l'hélium à 75 K. Les résultats montrent que la marge de température est suffisante pour l'opération subséquente de l'installation EDIPO quand celle-ci sera en fonction.

Une part importante des travaux effectués au CRPP en 2010 est étroitement liée à ITER :

- Le développement de sources hyperfréquences (gyrotrons) pour ITER. La remise à neuf d'un premier prototype de gyrotron à 170 GHz / 2 MW, incluant une re-conception complète de certains de ses composants, a été poursuivie. Des tests entrepris sur une maquette ont été accomplis avec succès.

- L'installation d'un banc d'essai pour le test des gyrotrons d'ITER s'est poursuivie, avec des tests du générateur de haute puissance et haute tension et des améliorations de son installation.
- Le design du lanceur de micro-ondes d'ITER a reçu une évaluation très positive par un panel d'experts international, ce qui a abouti à l'acceptation formelle du système conçu par le CRPP.
- L'installation SULTAN a été utilisée pour le développement et le test des supraconducteurs d'ITER. L'installation SULTAN est unique au monde pour qualifier les supraconducteurs qui seront utilisés pour ITER. En 2010, huit échantillons destinés aux bobines de champ toroïdal et poloidal et du solénoïde central ont été testés pour leurs propriétés de courant critique et de pertes
- Le développement des diagnostics magnétiques sur ITER s'est poursuivi en 2010, avec le développement de prototypes et la calibration de senseurs destinés à être placés en dehors de la chambre à vide.
- Des activités de simulations numériques complètes du tokamak ITER ont été poursuivies, servant à la modélisation de scénarios expérimentaux et leur optimisation.

Le CRPP a activement participé à l'exploitation du tokamak Européen JET.

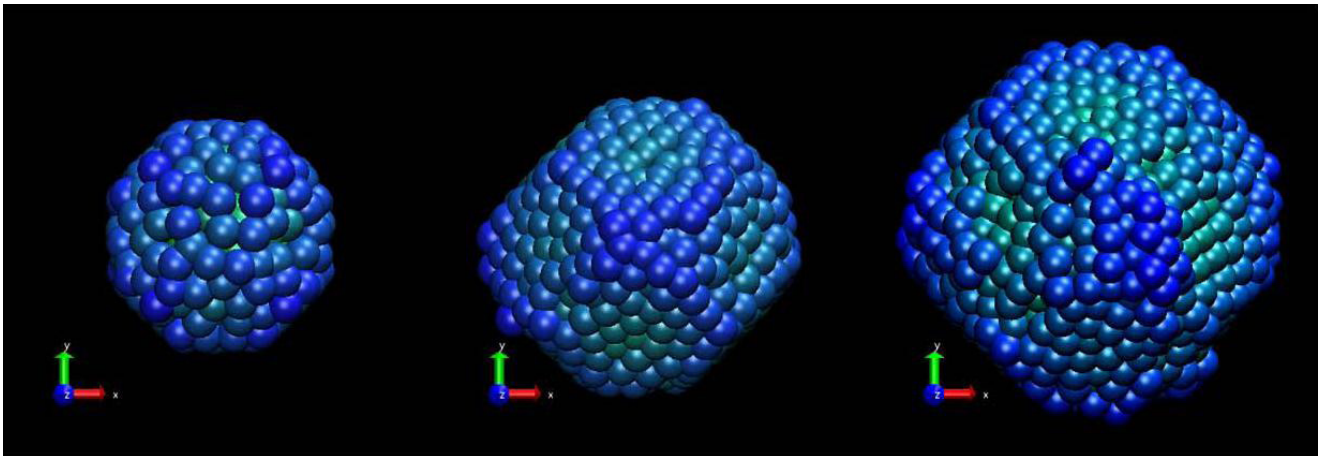


Figure 6 : simulation de dynamique moléculaire d'une bulle nanométrique d'hélium dans un réseau de fer contenant 1 (à gauche), 3 (au milieu) et 5 (à droite) atomes d'hélium par site.

De nouvelles expériences de contrôle des phénomènes de relaxation interne, appelés « dents-de-scie » et susceptibles de déclencher d'autres instabilités dégradant la qualité du confinement, ont été accomplies. Les ions rapides sont en effet susceptibles de créer des conditions dans lesquelles les « dents-de-scie » sont géantes, et il est important de pouvoir les éviter. Ceci a été fait avec succès par le CRPP sur JET en générant du courant à certains endroits bien spécifiques du plasma grâce à l'injection d'ondes radiofréquence. Ces résultats ouvrent la perspective de pouvoir contrôler ces phénomènes sur ITER. D'autres modes peuvent être déstabilisés par les ions rapides dans un réacteur de fusion ; c'est pourquoi la mesure de leur fréquence et de leur amortissement est essentielle. Grâce aux travaux du CRPP, ces modes peuvent être détectés de façon routinière sur JET et leur longueur d'onde automatiquement identifiée, ce qui a permis l'accumulation d'une riche base de données de résultats, y compris aux longueurs d'ondes potentiellement les plus dangereuses pour ITER.

Toutes ces activités de recherches ont abouti en 2010 à une centaine d'articles dans des revues scientifiques à comité de lecture et à une centaine de communications lors de congrès internationaux, dont plusieurs en tant que papiers invités.

L'excellence scientifique se manifeste aussi dans la formation : le CRPP a environ 40 doctorants sur un effectif total d'environ 160 personnes. Enfin, en 2010, le CRPP a maintenu ses tâches d'enseignement de base et ses nombreuses activités de relations publiques

visant à expliquer la physique des plasmas et la fusion contrôlée à des non-spécialistes.

Approche élargie

En 2010, la Suisse a annoncé un redimensionnement de ses activités dans le cadre de l'Approche Élargie (« Broader Approach »). Un « Agreement of Cooperation » a été signé avec F4E dans le domaine de l'étude mécanique des mini-échantillons, un des points inclus dans le cadre de l'Approche élargie.

Le CRPP a poursuivi les actions confiées par le SER/SBF dans les domaines suivants :

- Étude d'ingénierie pour des alimentations haute tension pour gyrotron (suivi d'un contrat industriel existant)

- La conception d'une cellule de test (« creep fatigue test cell ») pour IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility),
- La R&D en vue de la caractérisation des matériaux en utilisant des mini échantillons ou éprouvettes dans le cadre de DEMO.

En plus, le CRPP assure la tâche de promotion industrielle dans le domaine de la fusion et d'ITER. En particulier grâce à un financement spécial du Seco, une présence importante des industries suisses a été assurée lors du Symposium on Fusion Technology à Porto en 2010.



Figure 7 : maquette d'un miroir pour ITER : film de rhodium (5 μm) sur un substrat en acier inoxydable.

Collaboration nationale

Etudes concernant l'interaction plasma - paroi dans ITER (PWIS), Université de Bâle [2, 8] :

Pour le développement des miroirs qui feront face au plasma dans ITER, plusieurs dépôts de couches minces ont été entrepris. Ces miroirs ont été ensuite exposés dans le tokamak TEXTOR à Jülich, en Allemagne, et ont démontré des performances acceptables dans des conditions d'érosion relativement douces. Ces conditions correspondent à plus de 350 décharges d'ITER pour des miroirs placés aux ports équatoriaux et une dizaine de décharges pour des miroirs aux ports supérieurs. Dans une autre expérience où les conditions correspondaient à respectivement 850 et 25 décharges, les résultats mon-

trèrent que le miroir recouvert d'une couche de molybdène a conservé l'essentiel de ses propriétés optiques, alors que celui recouvert d'une couche de rhodium subissait une perte de réflectivité atteignant 25 % dans le domaine ultraviolet (figure 7).

Dans un autre projet, la faisabilité de la production de dépôt en couches minces des miroirs a été étudiée. Trois types de maquettes ont été conçues et fabriquées : un film de rhodium sur un substrat en acier inoxydable, du molybdène sur un substrat d'alliage molybdène - titane - zirconium, et un film de molybdène sur un substrat en acier inoxydable.

Collaboration internationale

Euratom et la Suisse

L'accord de coopération entre la Confédération Suisse et Euratom dans le domaine de la fusion, conclu le 14 septembre 1978, est un accord-cadre de durée illimitée. Trois accords généraux d'exécution fixent les modalités d'exécution avec Euratom : l'Accord sur la Mobilité qui encourage et facilite les échanges de personnel dans le cadre de la fusion, le Contrat d'Association et l'European Fusion Development Agreement (EFDA). Ces deux derniers accords règlent les modalités de collaboration entre les laboratoires suisses associés au programme Fusion d'une part, et Euratom et les autres laboratoires européens d'autre part. De plus EFDA, à travers des « Implementing Agreements », permet à la Suisse de participer à l'exploitation de grandes infrastructures communes. En 2009 deux Implementing Agreements sont en force : le JET Implementing Agreement qui règle l'utilisation du tokamak européen JET et le High Performance Computer Implementing Agreement (HPC-IA). Le HPC-IA a été mis en œuvre en 2009 et permet aux laboratoires européens de fusion d'exploiter un ordinateur européen extrêmement performant dédié seulement à la R&D en fusion. La Suisse a signé le HPC-IA en 2010.

Coopération européenne dans le cadre d'Euratom

L'année 2010 a été consacrée à l'installation des upgrades du tokamak européen JET. L'opération recommencera en 2011. Le financement des années 2012 et 2013 du programme Fusion n'est pas encore décidé. Il le sera en 2011 et devra couvrir tous les éléments du programme : programme des Associations, programme de l'European Fusion Development Agreement (EFDA). Le programme de l'EFDA inclut l'exploitation de JET et des

activités en vue des réacteurs de démonstration DEMO. Le budget européen pour les Associations est en baisse continue depuis 2008. L'Euratom s'attend à ce que les pays contribuent davantage à leurs programmes nationaux, pour lui permettre de concentrer ses ressources financières sur le projet ITER. Il en résulte que la contribution européenne aux activités des laboratoires nationaux est elle aussi en baisse d'une manière significative. Par exemple, pour la Suisse, la contribution européenne a passé à 65 % de sa valeur de 2008.

Collaboration dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) [9]

Le programme de l'AIE en fusion nucléaire est étroitement coordonné avec les programmes de recherche nationaux et avec d'autres programmes internationaux, y compris le programme EURATOM. Les Implementing Agreements (IA) de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) permettent de réaliser des activités de R&D en exploitant efficacement le savoir combiné d'experts et en évitant des duplications inutiles. Neuf IA sont actuellement en cours d'exécution. Ils couvrent des thèmes divers liés à la physique des plasmas, aux matériaux et aux aspects socio-économiques de la fusion. EURATOM participe à tous ces IA, et les chercheurs suisses sont directement impliqués dans deux de ces IA, l'un concernant la recherche sur les matériaux (CRPP), l'autre étudiant les interactions plasma-paroi du réacteur (Université de Bâle).

A travers l'Euratom, le CRPP poursuit des collaborations avec les laboratoires de fusion du monde entier.

Références

[1] Site internet CRPP : <http://crppwww.epfl.ch>

[2] Site internet Universität Basel: <http://nanolino.unibas.ch/pages/research.htm>

[3] Site internet Joint Undertaking F4E : http://fusionforenergy.europa.eu/index_en.htm, Informations sur le Joint Undertaking « Fusion For Energy » et ses activités, incluant des appels d'offres ou des offres d'emplois

[4] Site internet ITER-industry : <http://www.iter-industry.ch> Informations sur les offres d'emplois et sur les appels d'offres en relation avec le projet ITER ou sur la recherche européen dans le domaine de la fusion

[5] Site internet EFDA : <http://www.efda.org>, Informations sur la recherche européenne dans le domaine de la fusion

[6] Site internet ITER : <http://www.iter.org>, Informations sur le projet ITER

[7] Site internet JET : <http://www.jet.efda.org>, Informations sur le Joint European Torus JET

[8] L. Marot, E. Meyer, Universität Basel : Studies related to plasma-wall interaction in ITER (RAIJB) <http://nanolino.unibas.ch/pages/research/fusion.htm>

[9] Site internet des Accords d'exécution en fusion nucléaire de l'AIE : <http://www.iea.org/Textbase/techno/technologies/fusion.asp>

Projets en cours et terminés dans l'année de référence

(* Classification de l'AIE)

● PARTICIPATION SUISSE AU HIGH PERFORMANCE COMPUTING FOR FUSION APPLICATIONS R+D 4.2*

Lead:	SBF	Funding:	SBF
Contact:	Werthmüller Andreas andreas.werthmueller@sbf.admin.ch	Period:	2008–2008
Abstract:	Le HPC (High Performance Computing) est le portail des ressources de calcul à haute performance et à haute productivité du DIT (Domaine IT) de l'EPFL à Lausanne.		

● PLASMA-WALL INTERACTION STUDIES RELATED TO FUSION REACTOR MATERIALS R+D 4.2

Lead:	Universität Basel	Funding:	BFE
Contact:	Marot Laurent laurent.marot@unibas.ch	Period:	2006–2012
Abstract:	Amongst the various problems still to be solved before being able to use fusion reaction as a reliable energy source, the plasma-wall interactions and their consequences for the lifetime of the plasma facing components is of highest importance. One of these plasma facing components is the reactor wall itself which is foreseen to be in tungsten for the next fusion device.		

