

# FusionCanada

Bulletin of the National Fusion Program

Issue 24, April 1994

## In this issue

INIS-mf--14889

- Garching ITER EDA Site: Official Opening
- Plasma Current Radial Profile Measurement on TdeV
- 5th International Tritium Technology Conference
- CCFM/TdeV Update
- Tritium release field test
- 1994 Basic Tritium Course
- New Power Supplies for TdeV Poloidal Coils

## ITER

### Europe's ITER Site

#### Garching ITER Joint Work Site - Official Opening

Symbolizing Canada's continuing involvement in the ITER Engineering Design Activities (EDA), Canada was represented at the official opening of the Europe's ITER EDA Joint Work Site in Garching Germany, on January 28. At the invitation of Prof. Antonio Ruberti, European Commissioner for Research and Education, Canada's Ambassador to the European Union, Mr. Gordon Smith, represented Canada at the opening ceremony for the Garching ITER EDA Joint Work Site.

Canada wishes to continue contributing to the ITER EDA through the European Union, maintaining the Canada-Europe association on ITER that began in October

1988. Through Europe, Canada contributed R&D and technical personnel throughout the term of the ITER Conceptual Design Activities (1988-1991), and is contributing through Europe to the ongoing ITER EDA.

The Garching Joint Work Site is responsible for the design of the ITER reactor's vacuum vessel and blanket, its interior plasma interface, and ITER in-vessel components and ancillaries.

The Site is located at the Max Planck Institute for Plasma Physics near Munich. The ITER EDA, culminating in a buildable design for ITER, a power-producing fusion reactor, is scheduled to be complete in 1998. Protocol 2 of the ITER EDA agreement, formally committing all parties to continue the ITER EDA through to 1998, was signed March 21, 1994 in Vienna.



Canada's Ambassador to the EU, Gordon Smith (at right) and Prof. Antonio Ruberti of Europe, flanking the Garching ITER EDA Joint Work Site commemorative plaque dedicated by Prof. Ruberti at the Site's January 28 official opening.

## CCFM - Centre canadien de fusion magnétique

### CCFM/TdeV Update

#### New operating régime explored: Single null divertor with radiofrequency lower hybrid injection

Between Christmas and the end of March, CCFM aggressively explored a new operating régime on the TdeV tokamak. During this three-month experimental campaign, TdeV was operated mostly in the pure single null divertor mode, with the plasma attached only to the upper divertor. In most experiments, the new 1.2 MW (max.), 3.7 GHz radiofrequency lower hybrid current drive (LHCD) and plasma heating system was used. The LHCD system was installed last year and brought into operation in late December. Maximum lower hybrid (LH) radiofrequency power injected was about 700 kW. Compared with basic TdeV operation using only the ohmic transformer, injection of this much LH power tripled the TdeV plasma power density to about 1 MW/m<sup>3</sup>. Volume of the TdeV plasma is near 1 m<sup>3</sup>, and normal power in the plasma, under ohmic drive only, is about 350 kW. The large increase in power density produced interesting results but also reduced general plasma stability.

TdeV was shut down March 31 for maintenance, modifications and diagnostics installations. TdeV experiments should resume near the middle of May.

*continued inside*



## ELECTRONIC MAIL

### Canadian Fusion Centres e-mail Addresses

All staff at Canada's two main fusion centres can be reached by e-mail. Address formats are listed below.

**CAUTION:** Not all people check e-mail daily. Before launching e-mail dialogues, please obtain agreement, by FAX or phone, for initiating e-mail exchanges.

#### **CFFTP - Canadian Fusion Fuels Technology Project**

General e-mail address format = [firstname].[lastname]@hydro.on.ca

Use full lastname. Firstname may be full or shortened, at choice of addressee.

#### **Key CFFTP staff:**

Donald Dautovich - CFFTP Manager: don.dautovich@hydro.on.ca

Paul Gierszewski - Fuel Systems: paul.gierszewski@hydro.on.ca

Ronald Matsugu - Tritium Systems: ron.matsugu@hydro.on.ca

John Blevins - Remote Handling: john.blevins@hydro.on.ca

#### **CCFM - Centre canadien de fusion magnétique**

General e-mail address format = [lastname]@toka.ireq-ccfm.hydro.qc.ca

No firstname needed. Use full lastname. Convert all French lastname spellings to simple roman letters, e.g. Décoste = decoste

#### **Key CCFM staff:**

Richard Bolton - Director General: bolton@toka.ireq-ccfm.hydro.qc.ca

Brian Gregory - Scientific Director: gregory@toka.ireq-ccfm.hydro.qc.ca

Réal Décoste - Operations Director: decoste@toka.ireq-ccfm.hydro.qc.ca

## CFFTP - Canadian Fusion Fuels Technology Project

### Basic Tritium Safe Handling Course - October 1994

#### **Hands-on tritium laboratory training**

For the eleventh year, CFFTP is offering its Basic Tritium Safe Handling Course. This year's Course is scheduled for October 17-21. The course is held at AECL Research Chalk River Laboratories. It consists of lecture topics followed by hands-on laboratory sessions with tritium, and facility tours to reinforce the lecture materials.

The course introduces topics relevant to safe handling of tritium,

including tritium processing techniques, tritium-materials interaction, waste management and tritium-related radiation safety in theory and practice.

The 1994 Advanced Tritium Safe Handling Course is taking place May 9-13 at Ontario Hydro Technologies in Toronto.

*For a Course registration package contact Maryann Zito at CFFTP, (905) 855-4701, For technical enquiries about the Course, contact Ron Matsugu (905) 855-4727. Faxes to either person: (905) 823-8020.*

## TRITIUM IN THE ENVIRONMENT

### Tritium Release Field Test in Canada

#### **Canada-Japan joint experiment**

In a free atmosphere tritium field test due for Summer 1994, Canadian and Japanese scientists will release a small amount (700 Curies) of tritium gas steadily over a two week period across an open test 'garden' of established vegetation. The objective of the tests is to measure steady state relationships between tritium gas (HT) concentrations in air, and the consequent equilibrium concentrations of tritiated water (HTO) in the air, soil and vegetation exposed to the tritium release. The test area, at AECL Chalk River, is uncontaminated ground, so that any HTO appearing will be a result of the metered HT releases. Phil Davis of AECL is coordinating the field tests in Canada. The Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) is an equal partner in this field test program, under the auspices of the International Energy Agency (IEA, Paris). Hikaru Amano and Hiroshi Noguchi of JAERI are coordinating Japan's participation in the field test.

The tests are part of the work of a four-party IEA program (Canada, Japan, Europe and the USA), studying the Environmental, Safety and Economic Aspects of Fusion Power (ESE). In this eight-task program, Canada is leader of the Tritium Safety and Environmental Effects task. Tony Natalizio of CFFTP coordinates joint work in this task, replacing Gary Vivian who has retired. Plans for the tritium field test were formally presented last year in San Diego at the November 1993 meeting of the IEA Executive Committee governing the ESE work.

*Information on Tritium Field Test: Phil Davis, AECL Chalk River (613) 584-3311 ext. 3294, Fax (613) 584-1221.*

## Measuring Radial Profile of Plasma Current Density on TdeV

CCFM now has the capability to measure the radial profile of plasma current density on the TdeV tokamak. Jean-Louis Lachambre of CCFM designed the instrumentation, a laser polarimeter, and he supervised its commissioning. The polarimeter measures Faraday rotation of the plane of polarization in seven beams from a formic acid laser, which pass through the TdeV plasma on different chords. The same seven laser beams measure plasma density radial profiles by interferometry. Measuring plasma current density profiles by Faraday rotation is an extremely difficult measurement, since the polari-

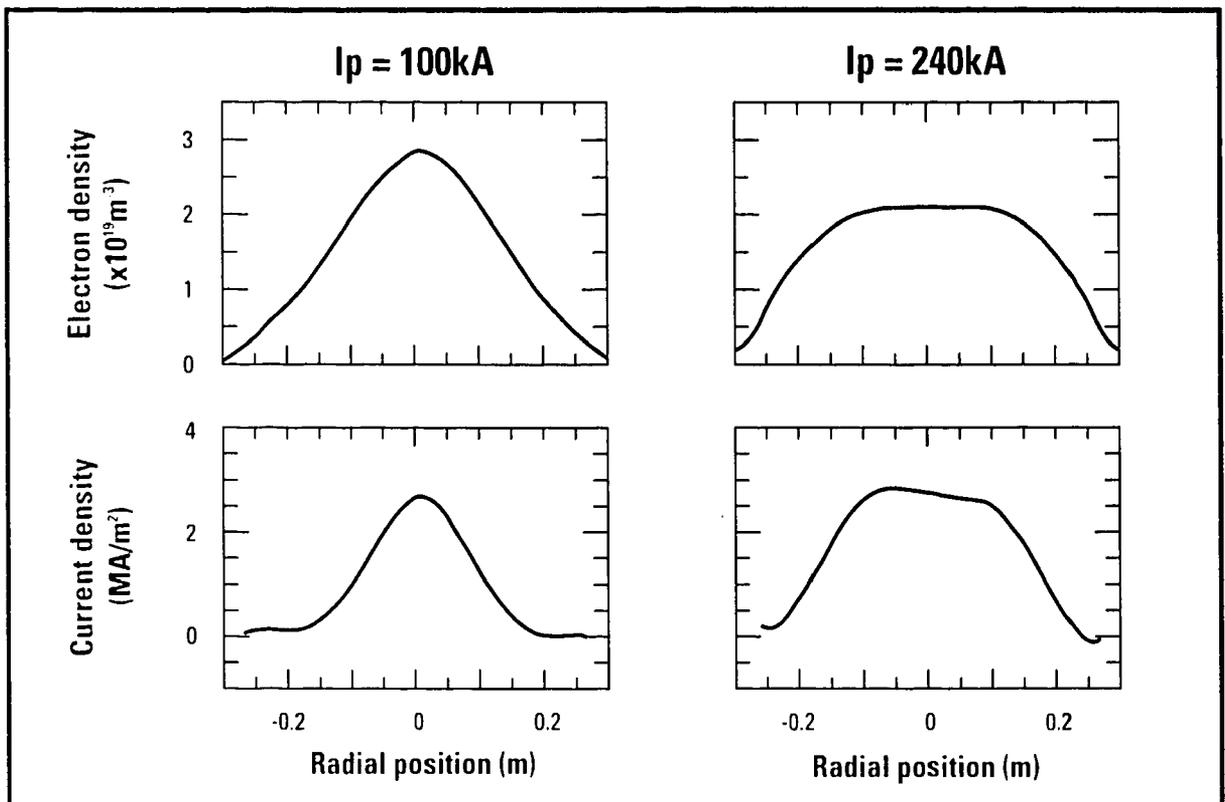
meter must measure polarization plane rotations of one degree or less. The seven beam rotation measurements are then processed to extract the current density profile information. The system will be invaluable for measuring changes in current density profile caused by lower hybrid power injection.

The system will allow accurate observation of the evolution of current density profiles during a tokamak shot, since complete current density profiles can be obtained at 1 millisecond intervals. Plasma density profiles can be obtained much faster, at 5 microsecond intervals.

Signals from the laser polarimeter are processed rapidly by the TdeV data acquisition computers and analysis codes. After a TdeV plasma shot, current and density profiles for that shot

can be obtained within one minute. This rapid turnaround provides the TdeV team with a very useful tool for its lower hybrid current drive experiments. For example, the effects on the plasma current density profile produced by incremental changes in LHCD power or lower hybrid wave launch spectra can be evaluated between shots, and the results used to verify or determine appropriate LH power injection changes for the next TdeV plasma shot in the series. An important part of TdeV's next phase of LHCD work will aimed at evaluating ("benchmarking") computer codes predicting LH coupling, power deposition and LH-driven current in the plasma.

*More information from Jean-Louis Lachambre, CCFM, (514) 652-8722, or Fax via CCFM.*



TdeV radial profiles of plasma current density (bottom graphs) and plasma electron density (top graphs) for two separate plasma currents of 100 kA (left side) and 240 kA (right side). Both shots had same integrated line average density. As expected, current profile is wider at larger currents.

of the radial current profile on TdeV has recently begun with a laser polarimeter (*see separate article*) developed at CCFM.

### TdeV Boron Coating (Boronization)

To improve plasma purity, an improved and automated methodology was installed for boron-coating (or *boronizing*) the TdeV plasma chamber interior. The cleaner plasma obtainable as a result has helped TdeV achieve a new plasma density limit of  $7 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$  under the ohmic régime. Deuterated diborane gas is now used to boronize the TdeV plasma chamber in glow discharges, instead of the hydrogen-bearing trimethyl boron gas used in the earlier method. The new boronization system uses automatic programming to control the entire boronization sequence, including the diborane gas admission system, discharge electrode deployment, glow discharge time, and return to normal tokamak operation. CCFM is also preparing to test the effects of internal siliconization on plasma purity, by coating TdeV internally with silicon through use of deuterated

silane gas in the new system.

Along with an improved gas discharge electrode geometry, use of deuterated diborane is credited with providing cleaner TdeV plasmas. For example, loop voltage  $V_L$  (an indicator of plasma purity) was reduced to ~0.9 volts, compared with a loop voltage without boronization of ~1.8 volts. The lower loop voltage indicates that oxygen is being retained better on plasma chamber walls. Plasma density control is also much improved, since deuterium fuel recycling from the plasma chamber walls is reduced.

### Compact Toroid Fuel Injection

Trials of the compact toroid (CT) fueller device were limited, but met modest success. Non-disruptive centre fuelling of TdeV by CT injection was accomplished at toroidal fields up to 1 Tesla. Results are considered encouraging. The CT fueller injects fuel masses of about 10 micrograms at velocities up to  $250 \text{ km.s}^{-1}$ .

*More information from Brian Gregory or Réal Décoste at CCFM (See Contact Data).*

**CCFM - Centre canadien de fusion magnétique**

## New Power Supplies for TdeV

### AECL Research donates High Power Thyristor Equipment

CCFM is acquiring two additional 6 MW DC power supplies, each intended to supply up to 37.5 kA current for different poloidal field coils on the TdeV tokamak. These power supplies will help TdeV operators achieve finer control of TdeV plasma and separatrix position, as well as providing more flexibility in controlling plasma shape.

AECL Research has contributed the high power thyristor banks for these power supplies, from power supplies that were used at AECL's Chalk River Laboratories to provide finely-controlled electric power for critical heat flux measurements on simulated fission reactor fuel assemblies. Using the AECL thyristor equipment in the new power supplies has saved about half the cost, compared with buying completely new power supplies.

At present, all four of TdeV's main equilibrium field (EF) coils are fed in series from a single power supply. One of the new power supplies will allow two of the EF coils to be fed independently, permitting more rigid control of plasma separatrix position, which is most important in the TdeV single-null plasma configuration for testing various plasma biasing schemes.

The power supplies will take on new roles when TdeV achieves its planned upgrade configuration, known as TdeV-M, towards the end of the decade. TdeV-M is to be a 2 Tesla machine requiring about twice the number of power supplies needed for the present TdeV configuration.

**CCFM - Centre canadien de fusion magnétique**

## New CCFM Board Member Brings Utility Experience

Louis Masson, a Vice President of Hydro-Québec, has been appointed a member of CCFM's Board of Directors. Mr. Masson is now Hydro Québec's Vice President, Technologie et IREQ. CCFM is located at IREQ, the principal Hydro-Québec R&D laboratory site. Mr. Masson took over the Vice President's position, and the seat on the CCFM Board, from Mr. Alain Brosseau.

Mr. Masson has 25 years experience of electrical utility operations, planning and technology research with Hydro-Québec, which is Québec's provincial electrical utility with an available

generation capacity near 35,000 megawatts. Mr. Masson's utility experience will be a valuable asset to CCFM.

Mr. Brosseau was one of CCFM's founder Board members, having served on the Board since its creation. He has been instrumental in helping CCFM chart its successful course to date, contributing from experience of managing large organizations using complex technology. Mr. Brosseau held executive positions in the telecommunications industry before joining Hydro-Québec in 1987.

## CCFM/TdeV Update

*continued*

### Exploring the new TdeV operating régime

TdeV was in effect used in an entirely new operating régime throughout the three months. In addition to single null divertor operation with LH radiofrequency injection, fuelling was with deuterium only and there was the added novelty of having the mouth of the relatively large LHCD multijunction antenna very near the plasma edge; multijunction antennas must be near the edge to effectively couple the LH radiofrequency power into the plasma. Also, a new method of coating the machine internally with boron was put in service, to improve plasma purity.

There were three main experimental themes during the three months:

- Gain experience with the LHCD system.
- Achieve stable, denser plasmas with increasing pulse length and plasma energy densities augmented by LH injection.
- Explore plasma biasing and divertor operation with the new higher power operating régime.

With the range of new operating parameters, a certain amount of exploration of operating conditions was required to make progress in this extended operational régime. Progress was considered satisfactory. At one point, a new plasma density limit,  $7 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ , was reached in the ohmic régime with the standard TdeV toroidal magnetic field of 1.5 Tesla. As expected, plasma temperatures of about 1.4 keV were reached with 700 kW LH power. With no LH power injection, TdeV plasma temperature was usually about 0.8 - 1.0 keV. Another observation with LHCD was that the

plasma itself is capable of driving the voltage in TdeV's electrically isolated divertor plates to very large negative voltages, perhaps -200 volts, with no externally applied bias voltage. This phenomenon is not yet completely understood, but is probably linked to LHCD-produced suprathermal electrons. These plasma-produced plate voltages might cause electrical insulator breakdown problems inside the tokamak if they appear when bias voltages are also being applied to the plates.

### Driving full plasma current with LHCD

In basic tokamak operation, with no supplementary plasma current drive, a tokamak's plasma current is driven through induction by the tokamak's ohmic transformer. Using only the LHCD system, TdeV operators have been able to drive the full TdeV plasma current of 210 kA, with no assistance from the ohmic transformer. This achievement was one of the experimental targets of the campaign, and is an indicator that the LHCD system and its multijunction antenna are performing as expected. Driving full plasma current via LHCD means that all plasma current is being driven through acceleration of the plasma electrons via the 3.7 GHz lower hybrid plasma waves. With all plasma current being driven by LHCD, the net DC voltage, the *loop voltage*, or  $V_L$ , around the torus was zero.

### Tokamak operation progress

During the three months, stable plasmas of increasing pulse length at high power density were gradually achieved, as TdeV operators learned to manage the interdependences between plasma parameters and the new operating conditions. At first, plasma stability was unpredictable, but became more predictable with accrued experience. Difficulty with carbon poisoning was experienced, as increased

power loads on the graphite divertor plates caused carbon erosion, and occasional *carbon blooming*, which tend to poison the plasma and indirectly cause plasma disruptions. With the help of TdeV's new divertor plate viewing cameras (including visible and infra-red imaging), divertor plate power deposition was managed to distribute divertor plate power deposition and minimise carbon erosion.

The high confinement H-mode has not yet manifested itself on TdeV, although scaling laws from other machines indicate that H-mode could be attainable with the LHCD system operating.

As yet, high power LH injection is limited to plasma densities of about  $3 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ . This is partly because penetration of LHCD power into the plasma is limited at the present TdeV toroidal magnetic field,  $B_T$ , of 1.5 Tesla. CCFM has plans to increase  $B_T$  to 2 Tesla, within a few months. This should permit more of the LHCD-driven plasma current to be driven near the plasma centre. Increasing  $B_T$  to 2 Tesla should also increase the attainable density limit.

Injection of LH power was found to readily stabilize the so-called 'sawtooth' oscillation modes (common to nearly all tokamaks) on TdeV. This is an indicator that the radial profile of the plasma current density was broadened by the added plasma current produced by the injected LHCD radiofrequency power. Plasma sawtooth oscillations occur where a central (on axis) peak in the radial current profile of the plasma exceeds certain well-defined criteria, dependent on toroidal magnetic field strength. Since the LHCD system should under present operating conditions be driving plasma current mainly near the plasma edge (and thereby broadening the plasma current profile), this is another indicator that LHCD performance is in line with expectations. Actual measurement



## INTERNATIONAL

### 1995 Tritium Technology Meeting - Ispra, Italy

First Announcement Issued - 5th Topical Meeting on Tritium  
Technology in Fission, Fusion and Isotopic Applications

This Meeting is hosted by Euratom's Joint Research Centre - Ispra. It will be held May 28 - June 03, 1995 in Belgirate, on Lake Maggiore, nearby the JRC Ispra site.

The first call for papers for this international meeting is scheduled for June 01, 1994. The Meeting's Technical Program Committee will select papers for presentation from the Extended Summaries submitted; the Committee is chaired by Gary Vassallo of JRC Ispra. The three Canadians on the 14-member Committee are: Joan Miller (AECL Research - Chalk River Laboratories, Tritium Group); John Quelch

(Ontario Hydro - Darlington Tritium Removal Facility); and Dave Murdoch - CFFTP, attached at NET/ITER in Garching, Germany.

Extended Summaries of proposed papers are required in Ispra before October 01, 1994.

All enquiries and correspondence to:

*Ms. G Siluri*  
Safety Technology Institute  
(TP800)  
Joint Research Centre  
I-21020 ISPRA (VA), Italy  
Tel: 39-332-789615  
Fax: 39-332-789165  
e-mail = G\_Siluri@cen.jrc.it

## National Fusion Program

Director, *Dr. David P. Jackson*

The National Fusion Program (NFP) coordinates and supports fusion development in Canada. NFP was established to develop Canadian fusion capability, in industry and in research and development centres. NFP develops international collaboration agreements, and assists Canadian fusion centres to participate in foreign and international projects.

NFP is managed for Canada by Atomic Energy of Canada Limited. Federal funding is provided by Natural Resources Canada through the Panel on Energy Research and Development.

### 'FusionCanada' Bulletin

'FusionCanada' is available free to interested persons. It is published four times each year, in French and English editions. Write to NFP Office, 'Bulletin Subscriptions' (see Contact Data). Please specify French or English edition, (or both if desired), and number of copies if several are required.

Editors are invited to freely use or reprint items from 'FusionCanada'. Please credit 'FusionCanada' and National Fusion Program of Canada. Please also send to the NFP office a copy of the publication, or a proof or copy of the printed piece.

## Contact Data

### National Fusion Program

National Fusion Program  
AECL Research  
Chalk River Laboratories, Keys Centre  
Chalk River, Ontario  
Canada K0J 1J0

Program Office: (613) 584-8036  
Fax: (613) 584-4243

Dr. David Jackson  
Director - National Fusion Program  
(613) 584-8035

Dr. Charles Daughney  
Manager - Magnetic Confinement  
(613) 584-8037

Dr. Gilbert Phillips  
Manager - Fusion Fuels  
(613) 584-8038

Dr. William Holtslander  
Manager - International Program  
(613) 584-8039

CCFM  
Centre canadien de fusion magnetique

CCFM  
1804, montée Ste-Julie  
Varenes, Québec  
Canada J3X 1S1

Dr. Richard Bolton  
CCFM Director-General  
(514) 652-8701

Dr. Réal Décoste  
CCFM Director-Operations  
(514) 652-8715

Dr. Brian Gregory  
CCFM Director-Research  
(514) 652-8729

Secretariat: (514) 652-8702  
Fax: (514) 652-8625

CFFTP  
Canadian Fusion Fuels Technology Project

CFFTP  
2700 Lakeshore Road West  
Mississauga, Ontario  
Canada L5J 1K3

CFFTP Program Manager  
Dr. Donald Dautovich  
(905) 855-4700

Enquiries: (905) 855-4701  
Fax: (905) 823-8020

### FusionCanada Office

Macphee Technical Corp.  
80 Richmond Street West  
Suite 1901  
Toronto, Ontario  
Canada M5H 2A4

Telephone: (416) 777-1869  
Fax: (416) 777-9804



Ce Bulletin est aussi  
disponible en français



Printed in Canada  
on recycled paper

# FusionCanada

Bulletin du Programme national de fusion

Numéro 24, avril 1994

Dans ce numéro

- Site ITER de Garching - Inauguration officielle
- Profil radial de la densité de courant plasma sur TdeV
- 5<sup>e</sup> Conférence sur la technologie du tritium
- Mise à jour - CCFM/TdeV
- Libération de tritium dans l'air
- Cours de base sur le tritium en 1994
- Nouvelles alimentations pour les bobines poloidales de TdeV

## ITER

### Site ITER de l'Europe

#### Inauguration officielle du site ITER de Garching

La présence du Canada à l'inauguration officielle du site ITER de l'Europe, à Garching (Allemagne), le 28 janvier, symbolisait la continuité de sa participation aux études EDA d'ITER. L'ambassadeur du Canada auprès de l'Union européenne, M. Gordon Smith, représentait le Canada, à l'invitation du professeur Antonio Ruberti, Commissaire européen à la recherche et à l'enseignement.

Le Canada désire maintenir sa participation aux études EDA d'ITER sous l'égide de l'Union européenne et poursuivre l'association Canada-Europe commencée en octobre 1988. Il a collaboré aux études de R-D de la phase conceptuelle (CDA)

d'ITER, de 1988 à 1991, et participe maintenant à la phase technique (EDA) d'ITER aux côtés de l'Europe.

Le site de Garching est chargé de la conception de la chambre à vide et de la couche fertile du réacteur ITER, de l'interface plasma-surfaces intérieures et des composants et accessoires internes du réacteur.

Le site se trouve à l'Institut de physique du plasma Max Planck, près du Munich. L'objectif des études EDA d'ITER, qui doivent se terminer en 1998, est l'élaboration d'un réacteur de fusion producteur d'énergie, réalisable pratiquement. Le deuxième protocole d'entente sur les études EDA d'ITER, signé le 21 mars 1994 à Vienne, marque l'engagement de toutes les parties à poursuivre les travaux jusqu'en 1998.

## CCFM - Centre canadien de fusion magnétique

### Mise à jour - CCFM/TdeV

#### Étude d'un nouveau régime de fonctionnement : défecteur à simple nul avec injection HF à l'hybride inférieure

Entre Noël et la fin de mars, le CCFM a étudié un nouveau régime de fonctionnement du tokamak TdeV. Au cours de cette campagne expérimentale de trois mois, TdeV a fonctionné essentiellement en mode défecteur à simple nul, avec le plasma attaché uniquement au défecteur supérieur. La plupart des expériences utilisaient le nouveau système de chauffage du plasma et d'entraînement de courant à l'hybride inférieure (ECHI) de 3,7 GHz, d'une puissance maximale de 1,2 MW. Le système ECHI a été installé l'année dernière et est entré en service à la fin de décembre. La puissance HF maximale injectée, environ 700 kW, a fait passer la puissance volumique du plasma de TdeV à  $1 \text{ MW/m}^3$ , soit trois fois celle obtenue avec le transformateur ohmique seul. Le volume du plasma de TdeV est en effet voisin de  $1 \text{ m}^3$  et la puissance normale du plasma, c.-à-d. avec entraînement ohmique seul, est proche de 350 kW. Cette importante augmentation de la puissance volumique a donné des résultats intéressants, mais s'est traduite par une diminution de la stabilité générale du plasma.

TdeV a été arrêté le 31 mars pour des travaux d'entretien et des modifications et pour l'installation de diagnostics. Les expériences reprendront vers la mi-mai.

*suite à l'intérieur*



M. Gordon Smith, ambassadeur du Canada auprès de l'UE (à droite) et le professeur Antonio Ruberti, représentant de l'Europe, à côté de la plaque commémorative officiellement dévoilée par le professeur Ruberti lors de l'inauguration du site ITER de Garching, le 28 janvier.



## COURRIER ÉLECTRONIQUE

### Centres de fusion canadiens Adresses électroniques

Tous les membres du personnel des deux principaux centres de fusion du Canada peuvent être atteints par courrier électronique. Les diverses formes des adresses sont indiquées ci-dessous.

**ATTENTION :** Tout le monde ne vérifie pas chaque jour son courrier électronique. Avant de lancer un dialogue par courrier électronique, mettez-vous d'accord avec votre correspondant, par télécopieur ou par téléphone.

#### CFFTP - Projet canadien sur la technologie des combustibles thermonucléaires

Forme générale des adresses électroniques =  
[prénom][nom de famille]@hydro.on.ca

Utiliser le nom de famille complet. Le prénom peut être complet ou raccourci, au choix du destinataire.

#### Personnel clé du CFFTP

Donald Dautovich - Directeur du CFFTP :	don.dautovich@hydro.on.ca
Paul Gierszewski - Systèmes de combustible :	paul.gierszewski@hydro.on.ca
Ronald Matsugu - Systèmes de tritium :	ron.matsugu@hydro.on.ca
John Blevins - Télémnipulation :	john.blevins@hydro.on.ca

#### CCFM - Centre canadien de fusion magnétique

Forme générale des adresses électroniques =  
[nom de famille]@toka.ireq-ccfm.hydro.qc.ca

Aucun prénom n'est requis. Utilisez le nom de famille complet. Convertissez tous les noms de famille français en minuscules romaines, sans accent. Exemple : Décoste = decoste

#### Personnel clé du CCFM :

Richard Bolton - Directeur général :	bolton@toka.ireq-ccfm.hydro.qc.ca
Brian Gregory - Directeur scientifique :	gregory@toka.ireq-ccfm.hydro.qc.ca
Réal Décoste - Directeur de l'exploitation :	decoste@toka.ireq-ccfm.hydro.qc.ca

## CFFTP - Projet canadien pour la technologie des combustibles thermonucléaires

### Cours de base de manipulation sans risque du tritium - Octobre 1994

#### Travaux pratiques en laboratoire de tritium

Le CFFTP offre son cours de base de manipulation sans risque du tritium pour la onzième année. Le cours aura lieu cette année du 17 au 21 octobre aux laboratoires de Chalk River de EAACL Recherche. La présentation des sujets de cours sera suivie de travaux pratiques au laboratoire. Une visite des installations viendra renforcer la matière présentée durant le cours.

Le cours présente les sujets relatifs à la manipulation sans risque du tritium, en particulier les techniques de traitement du tritium, l'inter-

action tritium-matière, la gestion des déchets et la radioprotection théorique et pratique.

En 1994, le cours avancé de manipulation sans risque du tritium sera offert du 9 au 13 mai, aux installations d'Ontario Hydro Technologies, à Toronto.

*Pour obtenir la trousse d'inscription au cours, communiquer avec Maryann Zito, CFFTP, (905) 855-4701. Pour les questions techniques concernant le cours, communiquer avec Ron Matsugu, (905) 855-4727. Pour communiquer par télécopieur avec ces personnes, utiliser le numéro (905) 823-8020.*

## TRITIUM DANS L'ENVIRONNEMENT

### Libération de tritium dans l'air au Canada

#### Expérience Canada-Japon

Durant l'été de 1994, les chercheurs canadiens et japonais libéreront au cours d'une période de deux semaines une petite quantité (700 Curies) de tritium gazeux dans l'air d'un «jardin» extérieur couvert d'une végétation établie. L'objectif de ce type d'essai est d'établir les relations qui existent en régime permanent entre la concentration de tritium (HT) dans l'air et les concentrations à l'équilibre d'eau tritiée (HTO) dans l'air, le sol et la végétation exposés au tritium. L'essai aura lieu à Chalk River, sur un terrain non contaminé de l'EACL, de façon que toute présence de HTO soit le résultat de la libération mesurée de HT. Phil Davis, de l'EACL, coordonne les essais sur le terrain au Canada. Le JAERI (Institut de recherches sur l'énergie atomique du Japon) est associé à part entière à ce programme d'essai, qui a lieu sous les auspices de l'Agence internationale de l'énergie (AIE, Paris). Hikaru Amano et Hiroshi Noguchi, du JAERI, coordonnent la participation du Japon.

Les essais de ce genre font partie d'un programme de l'AIE réunissant quatre participants (Canada, Japon, Europe et États-Unis) qui étudient les aspects «environnement, sécurité et économie» (ESE) de l'énergie de fusion. Dans ce programme de huit tâches, le Canada est responsable de la tâche **Sécurité du tritium et effets environnementaux**. Tony Natalizio, du CFFTP, coordonne les travaux communs de cette tâche, à la place de Gary Vivian qui a pris récemment sa retraite. Les plans de l'essai de libération du tritium dans l'air ont été présentés au comité exécutif de l'AIE chargé des travaux ESE lors de la réunion de novembre 1993 à San Diego.

*Pour plus de renseignements sur l'essai de rejet de tritium, s'adresser à Phil Davis, EAACL, Chalk River (613) 583-3311, poste 3294, fax : (613) 584-1221.*

## Mesure du profil radial de la densité de courant plasma sur TdeV

Grâce au nouveau polarimètre à laser, le CCFM peut maintenant mesurer le profil radial de la densité de courant plasma sur le tokamak TdeV. Cet instrument a été conçu par Jean-Louis Lachambre, du CCFM, qui en a également supervisé la mise en service. Le polarimètre mesure les rotations de plan de polarisation (effet Faraday) de sept faisceaux (produits par un laser à acide formique) traversant le plasma suivant différentes cordes. Ces mêmes faisceaux permettent de mesurer le profil radial de la densité électronique du plasma par interférométrie. La mesure du profil de la densité de courant plasma par effet Faraday est extrêmement difficile, car les angles de rotation des plans de polarisation sont inférieurs à un

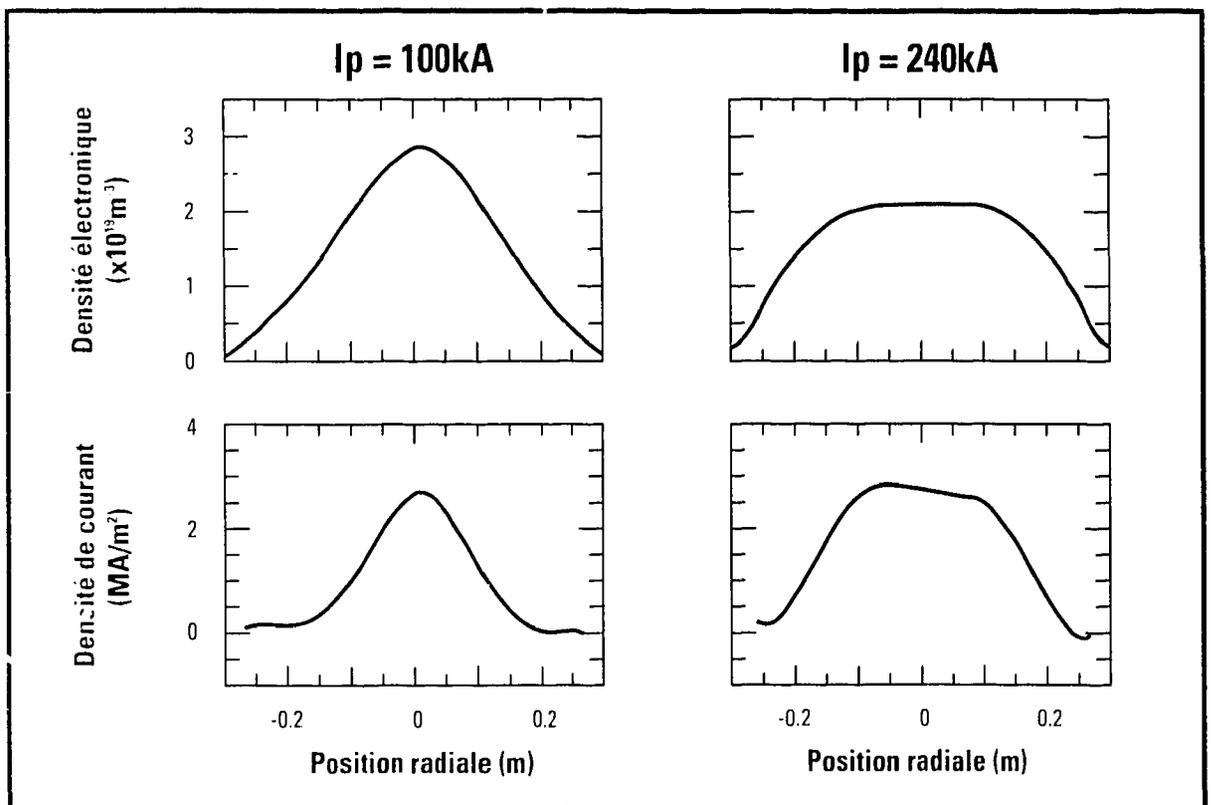
degré. Les sept angles mesurés sont ensuite traités pour établir le profil de la densité de courant plasma. Ce système sera extrêmement précieux pour mesurer l'effet de l'injection de puissance HF sur le profil de la densité de courant plasma.

Le système permettra d'observer l'évolution du profil de la densité de courant au cours d'un tir tokamak, car il établit un profil toutes les millisecondes. Les profils de la densité électronique du plasma s'obtiennent beaucoup plus rapidement, toutes les 5 microsecondes.

Les signaux provenant du polarimètre à laser sont traités par les ordinateurs d'acquisition de données et les programmes d'analyse de TdeV. Après un tir, on peut obtenir les profils de densité de courant et électronique en moins d'une minute. Cette rapidité sera extrêmement précieuse pour l'équipe de TdeV lors des expériences d'entraîne-

ment de courant à l'hybride inférieure. Par exemple, il lui sera possible d'évaluer entre deux tirs les effets des accroissements de puissance HF injectée sur le profil de la densité de courant plasma ou le spectre de l'onde lancée par le système ECHI et d'utiliser les résultats pour vérifier ou déterminer les changements à apporter à l'injection de puissance HF pour le tir plasma suivant. Une partie importante de la prochaine phase expérimentale avec le système ECHI visera à évaluer les programmes d'ordinateur prévoyant le couplage HF, la déposition de puissance et le courant entraîné par l'hybride inférieure dans le plasma.

*Pour plus de renseignements, s'adresser à Jean-Louis Lachambre, CCFM (514) 652-8722, ou par télécopieur, par l'intermédiaire de CCFM.*



Profils radiaux de la densité de courant plasma (courbes du bas) et de la densité électronique du plasma (courbes du haut) pour deux courants plasma distincts, l'un de 100 kA (à gauche) et l'autre de 240 kA (à droite). Les deux tirs présentent la même densité moyenne intégrée. Comme on pouvait s'y attendre, le profil de la densité de courant plasma est plus large avec le courant le plus important.

mément aux prévisions. Les mesures réelles de profil radial de courant de TdeV ont commencé récemment avec un polarimètre à laser (voir autre article dans ce numéro) mis au point au CCFM.

### Revêtement intérieur de bore (boration)

Pour accroître la pureté du plasma, on a installé un système automatique de boration de l'intérieur de la chambre à plasma de TdeV. Le plasma plus propre ainsi obtenu a permis d'atteindre une nouvelle limite de densité de plasma de  $7 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$  avec le régime ohmique. Le diborane «deutérié» gazeux est utilisé actuellement (à la place du borotriméthyle) pour borer la chambre de plasma de TdeV par décharge dans le gaz. Le nouveau système de boration est programmé pour exécuter toute l'opération automatiquement, c.-à-d. commander le système d'admission du diborane, mettre en place l'électrode de décharge, fixer la durée de la décharge et retourner le TdeV au fonctionnement tokamak normal. Le CCFM s'apprête à tester les effets d'une siliciuration de l'intérieur de la chambre à plasma sur la pureté du plasma. Le revêtement de silicium est déposé par décharge dans du silane «deutérié» gazeux.

L'amélioration de la géométrie des électrodes de décharge et l'utilisation du diborane pour la boration permettent d'obtenir des plasmas plus propres. Ainsi, la tension de boucle  $V_L$  (indicateur de la pureté du plasma) est tombée de 1,8 volt, sans boration, à 0,9 volt environ. Cette chute de la tension de boucle indique une meilleure rétention de l'oxygène sur les parois de la chambre à plasma. La densité de plasma est également beaucoup mieux contrôlable du fait de la réduction du recyclage du deutérium des parois de la chambre à plasma.

### Alimentation par injection de toroïdes compacts

Les essais de l'injecteur de toroïdes compacts (TC) sont restés limités, avec cependant une réussite modeste. Les expérimentateurs ont pu injecter sans perturbation majeure des TC au centre du plasma de TdeV avec un champ toroïdal ne dépassant pas 1 tesla. Ce résultat est considéré comme encourageant. L'injecteur de TC projette des masses de combustible de 10 microgrammes environ à une vitesse maximale de  $250 \text{ km.s}^{-1}$ .

*Pour plus de renseignements, s'adresser à Brian Gregory ou à Réal Décoste au CCFM (Voir la liste des contacts).*

**CCFM - Centre canadien de fusion magnétique**

## Nouvelles alimentations pour TdeV

### EACL Recherche fait don de groupes de thyristors

Le CCFM acquiert actuellement deux alimentations continues supplémentaires de 6 MW pouvant fournir chacune un courant maximal de 37,5 kA aux différentes bobines de champ poloïdal du tokamak TdeV. Ces alimentations permettront d'ajuster plus finement la position du plasma et de la séparatrice de TdeV, tout en assurant une plus grande souplesse de contrôle de la forme du plasma.

Les groupes de thyristors de haute puissance destinés à ces alimentations ont été fournis par EACL Recherche. Ces groupes étaient utilisés aux laboratoires de Chalk River comme alimentations pour des mesures de flux thermique critique dans des assemblages combustibles simulés pour réacteur de fission. L'utilisation des groupes de thyristors d'EACL dans les nouvelles alimentations permet de réduire de moitié le coût de ces alimentations, en évitant d'avoir à acquérir des alimentations entièrement neuves.

À l'heure actuelle, les quatre bobines du champ d'équilibre principal de TdeV sont alimentées en série par une alimentation unique. L'une des nouvelles alimentations servira à alimenter indépendamment deux bobines CE, pour permettre un contrôle plus rigide de la position de la séparatrice du plasma, ce qui est extrêmement important avec la configuration à simple nul de TdeV pour tester différentes méthodes de polarisation du plasma.

Les alimentations rempliront d'autres rôles lorsque TdeV aura atteint sa nouvelle configuration TdeV-M, vers la fin de la décennie. TdeV-M, machine de 2 teslas, requerra environ deux fois plus d'alimentations que la configuration TdeV actuelle.

**CCFM - Centre canadien de fusion magnétique**

## Nouveau membre au Conseil du CCFM

M. Louis Masson, Vice-président, Technologie et IREQ chez Hydro-Québec, a été nommé membre du Conseil d'administration du CCFM. Le CCFM est situé dans les locaux de l'IREQ, principal centre de recherche et de développement d'Hydro-Québec. M. Masson succède à M. Alain Brosseau à la vice-présidence d'Hydro-Québec et au Conseil du CCFM.

M. Masson a acquis 25 ans d'expérience chez Hydro-Québec dans l'exploitation, la planification et la recherche technologique. Hydro-Québec, compagnie d'électricité provinciale, a une capacité de pro-

duction voisine de 35 000 MW. L'expérience de M. Masson sera extrêmement précieuse pour le CCFM.

Membre fondateur du CCFM, M. Brosseau siègeait au Conseil depuis sa création. Il a joué un rôle de premier plan dans l'orientation du CCFM jusqu'à présent, le faisant bénéficier de son expérience de gestionnaire d'un organisme d'envergure utilisant une technologie complexe. Avant d'entrer chez Hydro-Québec en 1987, M. Brosseau avait occupé divers postes de direction dans l'industrie des télécommunications.

## Mise à jour - CCFM/Tdév

*suite*

### Étude du nouveau régime de fonctionnement de Tdév

Pendant les trois mois de la campagne expérimentale, Tdév a fonctionné selon un régime entièrement nouveau, avec un déflecteur à simple nul, l'injection HF à l'hybride inférieure et l'alimentation avec du deutérium uniquement. La sortie de l'antenne multijonction ECHI, relativement importante, était placée très près du plasma de bord. Cette disposition est nécessaire avec ce type d'antenne pour assurer un couplage puissance HF/plasma efficace. Enfin, une nouvelle méthode de boration de l'intérieur de la machine a été mise en service pour accroître la pureté du plasma.

Cette campagne avait trois grands objectifs :

- Acquérir l'expérience du système ECHI.
- Obtenir des plasmas stables plus denses, avec une durée d'impulsion croissante et une augmentation de la densité d'énergie par injection HF.
- Étudier la polarisation du plasma et le fonctionnement des déflecteurs avec ce nouveau régime plus puissant.

Étant donné les nouveaux facteurs intervenant dans le fonctionnement, il a fallu tâtonner pour déterminer les conditions d'exploitation et optimiser le régime de fonctionnement prolongé. Les progrès réalisés sont considérés comme satisfaisants. Une nouvelle limite de densité de plasma de  $7 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$  a été atteinte en régime ohmique avec le champ magnétique toroïdal standard de 1,5 tesla. Comme prévu, une température de plasma de 1,4 keV a été atteinte avec une injection de puissance HF de 700 kW. La température du plasma de Tdév, sans injection HF, est comprise entre 0,8 et 1,0 keV. Autre résultat obtenu avec le système ECHI, le plasma lui-même est capable d'induire une importante différence

de potentiel négative entre les plaques de déflecteur électriquement isolées (par exemple -200 volts) en l'absence de toute tension de polarisation extérieure. Ce phénomène, qui est mal compris, est probablement lié à la production d'électrons suprathermiques par l'injection HF. Une telle différence de potentiel induite par le plasma pourrait détériorer les isolateurs électriques à l'intérieur du tokamak, si elle se produit alors qu'une tension de polarisation est appliquée aux plaques.

### Obtention du courant plasma maximal avec le système ECHI

En l'absence d'un entraînement de courant supplémentaire, le courant plasma du tokamak est entraîné par induction, au moyen du transformateur ohmique. Les expérimentateurs ont pu obtenir le courant plasma maximal de Tdév de 210 kA sans l'aide du transformateur, en utilisant le système ECHI seul. Ce résultat, l'un des objectifs expérimentaux de la campagne, indique que le système ECHI et l'antenne multijonction fonctionnent selon les prévisions et que l'entraînement de courant se fait par l'accélération des électrons du plasma par les ondes plasma à l'hybride inférieure de 3,7 GHz. Le fait que le courant plasma soit entraîné par le système ECHI seul montre que la chute de tension nette, ou *tension de boucle*  $V_L$ , le long du tore est nulle.

### Progrès du fonctionnement du tokamak

Durant les trois mois de la campagne, les expérimentateurs de Tdév ont obtenu progressivement des plasmas plus stables de durée d'impulsion croissante, avec une puissance volumique élevée, à mesure qu'ils apprenaient à tenir compte des interdépendances entre les paramètres du plasma et les nouvelles conditions de fonctionnement. La stabilité du plasma, d'abord imprévisible, est devenue plus prévisible avec l'expérience. L'empoisonnement par le carbone a créé des difficultés. L'érosion du graphite des plaques de déflecteur, due aux charges de puissance accrues,

avec un occasionnel emballement du carbone, tend à empoisonner le plasma et, indirectement, à le perturber fortement. L'utilisation des nouvelles caméras de visualisation des plaques de déflecteur de Tdév (dans le spectre visible et l'infrarouge) a permis de répartir la déposition de puissance sur les plaques de déflecteur de manière à minimiser l'érosion du graphite.

Le mode H de confinement élevé ne s'est pas encore manifesté sur Tdév, bien que l'extrapolation des conditions relatives à d'autres machines indique la possibilité d'atteindre le mode H avec le système ECHI.

Pour l'heure, l'injection HF de grande puissance ne permet pas de dépasser des densités de plasma de  $3 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$  environ. Cela est dû en partie au fait que la pénétration de la puissance ECHI dans le plasma est limitée par l'amplitude du champ magnétique toroïdal  $B_T$  de Tdév (1,5 tesla). Le CCFM va augmenter  $B_T$  à 2 teslas d'ici à quelques mois. Cela permettra de rapprocher l'entraînement de courant du centre du plasma et d'augmenter la densité qu'on peut y obtenir.

L'injection de puissance HF à l'hybride inférieure permet de stabiliser facilement les modes d'oscillation du plasma «en dents de scie» de Tdév, communs à presque tous les tokamaks. C'est une indication que le profil radial de la densité de courant plasma est élargi par le courant supplémentaire produit par l'injection de puissance HF du système ECHI. Les «dents de scie» se produisent lorsqu'un maximum au centre (maximum axial) du profil radial de courant du plasma dépasse certains critères bien définis dépendant de l'amplitude du champ magnétique toroïdal. Dans les conditions actuelles de fonctionnement, le système ECHI devrait entraîner le courant plasma essentiellement au voisinage du bord (ce qui élargit le profil du courant plasma) et c'est bien ce qu'on observe. Il s'agit là d'une autre indication que le système ECHI fonctionne confor-



## Conférence sur la technologie du tritium en 1995 - Ispra (Italie)

Première annonce - 5<sup>e</sup> Conférence sur la technologie du tritium dans les applications de fission, de fusion et isotopiques

Le Centre Commun de Recherches (CCR) d'Euratom à Ispra accueillera la conférence à Belgirate, sur le lac Maggiore, près d'Ispra, du 28 mai au 3 juin 1995.

La première demande de communications pour cette conférence internationale aura lieu le 1<sup>er</sup> juin 1994. Le comité du programme technique sélectionnera les communications à partir des condensés qui lui seront envoyés. Le comité est présidé par Garry Vassallo du CCR. Trois Canadiens font partie de ce comité de 14 membres : Joan Miller, EACL Recherche - Laboratoires de Chalk River, Groupe Tritium; John Quelch, Ontario Hydro -

Usine de détritiation de Darlington, et Dave Murdoch (CFFTP), attaché au NET/ITER à Garching (Allemagne).

Les condensés de communication doivent parvenir à Ispra avant le 1<sup>er</sup> octobre 1994.

Adresser toutes les demandes de renseignements et la correspondance à :

*Mme G. Siluri  
Institut technologique de radioprotection (TP800)  
Centre Commun de Recherches  
I-21020 ISPRA (VA), Italie  
Tél : 39-332-789615  
Fax : 39-332-789165  
e-mail=G\_Siluri@cen.jrc.it*

## Le Programme national de fusion

Directeur, *M. David P. Jackson*

Le programme national de fusion (PNF) coordonne et soutient le développement de la fusion au Canada. Le PNF a été créé afin de développer le potentiel canadien dans le domaine de la fusion, dans l'industrie et dans les centres de recherche et de développement. Il élabore des ententes de coopération internationales et aide les centres canadiens de fusion à participer à la réalisation de projets étrangers et internationaux.

Le PNF est administré pour le Canada par l'Énergie Atomique du Canada Limitée. Le financement fédéral est assuré par Ressources naturelles Canada, par l'entremise du Comité interministériel de la recherche et du développement énergétiques.

## Le Bulletin "FusionCanada"

'FusionCanada' est publié gratuitement chaque trimestre, en français et en anglais, à l'intention des personnes qui s'intéressent à la fusion. Pour l'obtenir, on est prié d'écrire au bureau du PNF, en indiquant sur l'enveloppe la mention "Abonnements au Bulletin" (voir liste des contacts) et en précisant dans quelle(s) langue(s) on désire le recevoir, de même que le nombre d'exemplaires souhaité.

Les rédacteurs sont invités à utiliser librement ou à reproduire des articles de "FusionCanada". Nous leur demandons, cependant, de mentionner le fait que ces articles proviennent de "FusionCanada" et du Programme national de fusion du Canada, ainsi que de transmettre au bureau du PNF un exemplaire, une épreuve ou une copie de leur publication.

## Liste des contacts

### Programme national de fusion

Programme national de fusion  
FACI - Recherche  
Laboratoires de Chalk River, Centre Keys  
Chalk River, Ontario  
Canada K0J 1J0

Bureau du Programme : (613) 584-8036  
Fax : (613) 584-4243

M. David Jackson  
Directeur - Programme national de fusion  
(613) 584-8035

M. Charles Daughney  
Directeur - Confinement magnétique  
(613) 584-8037

M. Gilbert Phillips  
Directeur - Combustibles thermonucléaires  
(613) 584-8038

M. William Holtslander  
Directeur - Programme international  
(613) 584-8039

### CCFM Centre canadien de fusion magnétique

CCFM  
1804, montée Ste-Julie  
Varenes, Québec  
Canada J3X 1S1

M. Richard Bolton  
Directeur général du CCFM  
(514) 652-8701

M. Réal Décoste  
Directeur de l'exploitation du CCFM  
(514) 652-8715

M. Brian Gregory  
Directeur de la recherche du CCFM  
(514) 652-8729

Secrétariat : (514) 652-8702  
Fax : (514) 652-8625

### CFFTP Projet canadien sur la technologie des combustibles thermonucléaires

CFFTP  
2700 Lakeshore Road West  
Mississauga, Ontario  
Canada L5J 1K3

Directeur du CFFTP  
M. Donald Dautovich  
(905) 855-4700

Téléphone : (905) 855-4701  
Fax : (905) 823-8020

### Rédacteur de "FusionCanada"

MACPHEE Technical Corp.  
80 Richmond Street West  
Suite 1901  
Toronto, Ontario  
Canada M5H 2A4

Téléphone : (416) 777-1869  
Fax : (416) 777-9804



This Bulletin is also available in English.



Imprimé au Canada sur papier recyclé