

INRS
ÉNERGIE ET MATÉRIAUX

RAPPORT ANNUEL 1997-1998



INRS-Énergie et Matériaux

Rapport annuel 1er juin 1997 au 31 mai 1998

INRS
Eau, Terre et Environnement
SEIS

1650, boulevard Lionel-Boulet
Varenes, Québec
J3X 1S2

Téléphone: (450) 929-8100
Télécopieur: (450) 929-8102 ou 8198
Internet: <http://www.inrs-ener.uquebec.ca>

Table des matières

Avant-propos		
1.0	INRS-Énergie et Matériaux	1
1.1	Position et mandat	1
1.2	Ressources humaines	1
2.0	Activités de recherche	5
2.1	Activités « Énergie »	5
2.1.1	Fusion	5
2.1.2	Pompes à chaleur chimiques	7
2.1.2.1	Réacteur à lit fixe à base de fibres de carbone	7
2.1.2.2	Développement et caractérisation de matériaux adsorbants avancés pour les applications de pompes à chaleur à adsorption à l'ammoniac	8
2.1.3	Modélisation et analyse énergétiques	8
2.2	Activités « Matériaux »	13
2.2.1	Matériaux énergétiques	13
2.2.1.1	Les catalyseurs pour pile à combustible à électrolyte polymère (PEFCs)	13
2.2.1.2	Nouveaux matériaux pour la synthèse du chlorate de sodium	16
2.2.1.3	Nouveaux matériaux de stockage de l'hydrogène	17
2.2.1.4	Nouveaux matériaux moléculaires poreux	17
2.2.2	Polymères conducteurs et électroactifs	20
2.2.2.1	Développement de conducteurs à base de plastiques recyclés	20
2.2.2.2	Modification chimique de surface des textiles par un polymère conducteur pour des applications biomédicales	21
2.2.2.3	Polymérisation par plasma de polymères conducteurs sur des textiles pour des applications biomédicales	22
2.2.2.4	Développement de nouveaux matériaux électroactifs pour des applications dans les accumulateurs et les supercondensateurs	22
2.2.3	Nouveaux matériaux pour les applications photoniques et de capteurs	23
2.2.3.1	Les propriétés photoélectriques de semiconducteurs organiques	23
2.2.3.2	Le développement de nouveaux matériaux pour les systèmes d'affichage	24
2.2.3.3	Les diodes organiques électroluminescentes	24
2.2.3.4	L'étude d'oxydes nanocristallins utilisés comme détecteurs ou senseurs	26

2.2.4	Mise en oeuvre de matériaux avancés sous microgravité	26
2.2.4.1	<i>Développement de matériaux d'optique nonlinéaire</i>	27
2.2.4.2	<i>Étude de la cristallisation des protéines et des cristaux organiques sous microgravité par turbidité</i>	27
2.2.5	Nouveaux procédés par plasmas	28
2.2.5.1	<i>Modification de surface par plasma</i>	28
2.2.5.2	<i>L'ablation laser pour la déposition de couches minces</i>	29
2.2.5.3	<i>Étude d'un magnétoplasma et application à la gravure sous-micrométrique</i>	30
2.2.6	Implantation ionique	31
2.2.6.1	<i>Implantation par faisceaux d'ions</i>	31
2.2.6.2	<i>Implantation par immersion dans un plasma</i>	32
2.2.7	Chimie des solutions et des colloïdes	33
2.3	Activités « Interaction laser-matière »	37
2.3.1	Travaux théoriques	37
2.3.1.1	<i>Simulations «PIC» d'interaction laser-matière avec impulsions ultracourtes</i>	37
2.3.1.2	<i>Simulations cinétiques liées à la fusion par laser</i>	37
2.3.2	La matière sous haute densité d'énergie	38
2.3.3	La femtovision X	39
2.3.4	Les sources X laser pour la radiologie	39
2.3.5	La foudre déclenchée par laser	40
2.4	Développements technologiques	43
2.4.1	Développement d'instruments X ultrarapides	43
2.4.2	Étude et développement de micro-électrodes pour la fabrication de détecteurs électrochimiques	44
3.0	Faits saillants pour 1997-1998	47
3.1	Collaborations et partenariats	47
3.2	Résultats scientifiques	49
3.2.1	Transferts technologiques	49
3.3	Encadrement et enseignement	50
3.4	Revenus	50
 Annexes		
	Ressources humaines	55
	Personnel en formation	59
	Publications et Communications	68
	Séminaires	79
	Associations et comités externes	82
	Comités internes	84

Avant-propos

Le but de ce document est de présenter l'INRS-Énergie et Matériaux. La première partie rappelle son mandat, présente les ressources humaines qui y oeuvrent et décrit les activités de recherche qui y sont réalisées. La deuxième partie fait le bilan de l'année 1997-1998 en fonction de certains indicateurs de performance tels les résultats scientifiques, les collaborations et partenariats, l'encadrement et l'enseignement de même que les revenus.

Traditionnellement, la fusion contrôlée occupait une place importante dans la programmation du Centre. Suite à l'intention manifestée par Hydro-Québec, partenaire de l'INRS, de se retirer de ce domaine, le Centre a poursuivi sa réflexion sur le renouveau de sa programmation scientifique. Après analyse de la situation, un comité d'orientation du conseil d'administration a recommandé de renforcer les domaines de la microfabrication, des matériaux fonctionnels avancés et de l'interaction laser-matière avec des impulsions brèves.

Durant l'année, quatre (4) de nos professeurs ont quitté l'INRS-Énergie et Matériaux. Suite à ces départs, le Centre a embauché un nouveau professeur régulier et a entrepris une campagne de recrutement de trois (3) nouveaux professeurs dans les axes recommandés. La programmation présentée dans ce document doit donc être perçue comme une programmation de transition.

Le bilan de l'année indique, malgré l'incertitude créée par le dossier « fusion » et des restrictions budgétaires de plus en plus sévères, un excellent rendement scientifique et une adéquation de plus en plus marquée des activités scientifiques avec les opportunités d'affaire.

Pierre Lavigne
Directeur
INRS-Énergie et Matériaux

1.0

INRS-Énergie et Matériaux

1.1 Position et mandat

L'INRS-Énergie et Matériaux est un des huit centres de recherche universitaire de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), constituante du réseau de l'Université du Québec. L'INRS occupe une place unique dans le monde universitaire québécois. Institution vouée essentiellement à la recherche orientée, fondamentale et appliquée et à la formation de chercheurs, l'INRS forme un réseau de huit centres de recherche thématique dont les préoccupations correspondent aux problématiques les plus déterminantes pour l'avenir socio-économique et culturel du Québec.

À l'INRS, la recherche se veut stratégiquement axée vers la mise en application des résultats et la solution concrète des problèmes auxquels la société contemporaine est confrontée. La recherche s'y distingue par l'importance accordée aux partenariats et aux alliances, par la multidisciplinarité des équipes et des approches scientifiques, par les activités de transfert technologique et de service à la collectivité. L'Institut offre des programmes d'études thématiques en prolongement de ses activités de recherche.

À l'INRS-Énergie et Matériaux, les thématiques sont, comme le nom l'indique, l'Énergie et les Matériaux. Au fil des ans, l'interaction laser-matière que l'on peut associer à la fois à l'énergie et aux matériaux a développé sa propre identité et s'est ajoutée aux thèmes du Centre.

Les principaux partenaires du centre INRS-Énergie et Matériaux sont l'Institut de recherche en électricité du Québec (IREQ) et l'Hydro-Québec, l'Institut des matériaux industriels (IMI) du Conseil national de recherche du Canada et, le Laboratoire de recherche en diversification énergétique (LRDE) du ministère des Ressources naturelles du Canada.

Le Centre est un des deux associés du Centre canadien de fusion magnétique (CCFM) dont le mandat est sous révision et participe au réseau canadien des Centre d'excellence en micro-électronique (MICRONET).

Dans ce document, nous décrivons les activités de recherche effectuées du Centre et nous présentons les faits saillants qui ont marqué l'année 1997-1998.

1.2 Ressources humaines

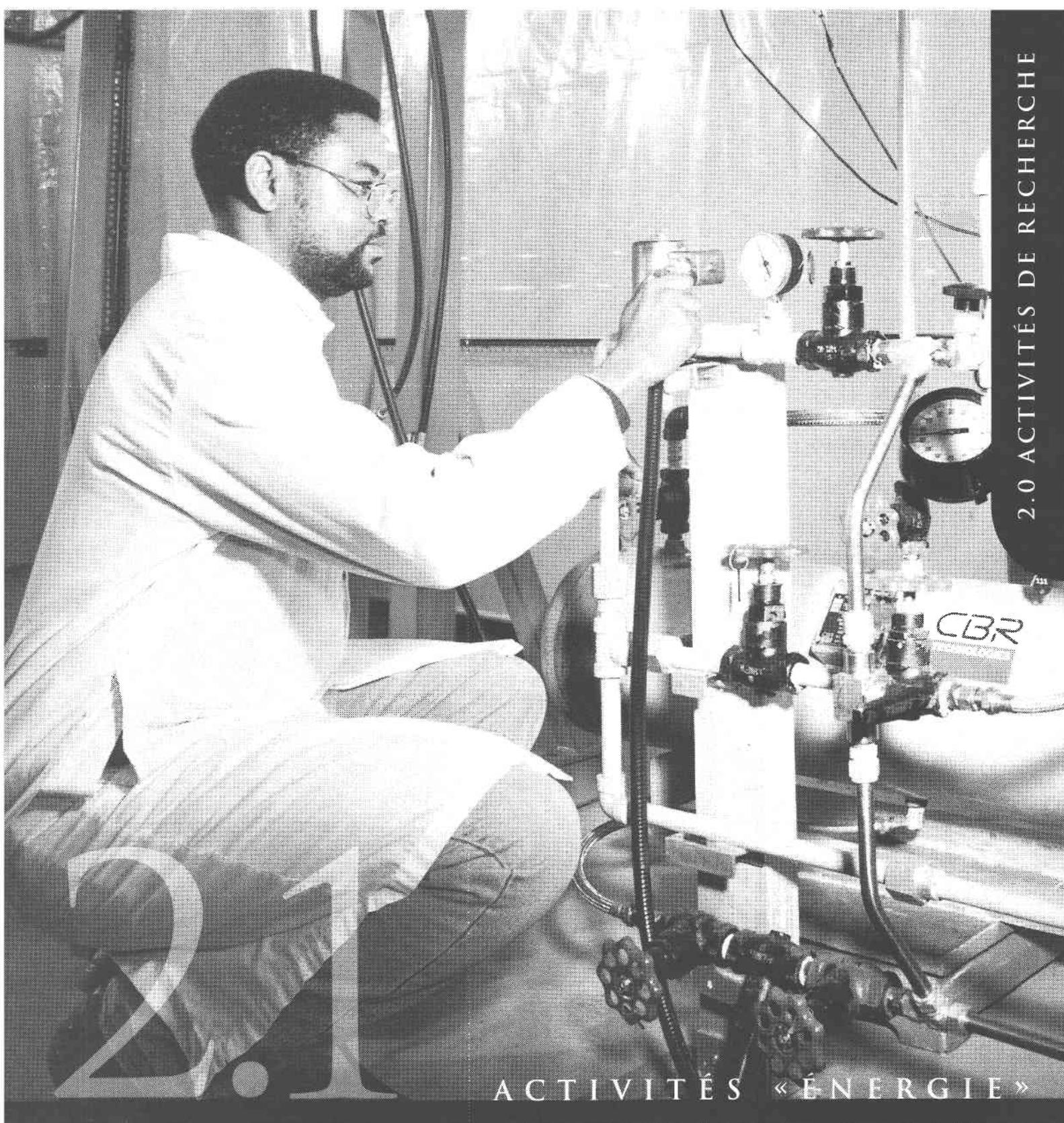
Les ressources humaines constituent les assises d'un centre de recherche. À l'INRS-Énergie et Matériaux, le noyau des compétences scientifiques est actuellement formé de seize (16) professeurs réguliers, deux (2) professeurs sous-octroi et un professeur honoraire. Au cours de l'année, trois (3) des membres de l'assemblée des professeurs soit le Dr. Kenneth Dimoff, Kanwal Parbhakar et Robert Saint-Jacques ont pris leur retraite et un quatrième, le Dr. Yves Beaudoin a quitté le Centre. Le Dr. Daniel Guay a joint l'équipe de professeur régulier au début de l'année.

Ce noyau de professeur est secondé par une équipe de cinq (5) techniciens, huit

(8) agents technique, six (6) agents de recherche, cinq (5) assistants de recherche, cinq (5) associés de recherche et sept (7) personnes assurant le soutien administratif. Vingt et un (21) professeurs invités et vingt-quatre (24) professeurs associés participent à nos activités de recherche et à l'encadrement de nos quarante (40) étudiants à la maîtrise et au doctorat.

L'annexe I donne la liste des ressources humaines de l'INRS-Énergie et Matériaux alors que l'annexe II donne celle du personnel en formation.

En cours d'année, le Centre INRS-Énergie et Matériaux a aussi entrepris une campagne de recrutement pour combler trois des postes laissés vacants suite aux prises de retraite et aux départs. Les domaines que le Centre désire renforcer via la venue de ces nouveaux professeurs sont: l'interaction laser-matière, la microfabrication et les matériaux énergétiques. Ces domaines ont été choisis suite aux recommandations d'un comité d'orientation mis sur pied par le Conseil d'administration de l'INRS.



ACTIVITÉS « ÉNERGIE »



Mise au point d'une pompe à chaleur chimique pour la gestion efficace de l'énergie thermique.

2.0

Activités de recherche

L'INRS-Énergie et Matériaux oeuvre dans deux thèmes traditionnellement importants pour le Québec, soit l'énergie, les matériaux dans un thème en émergence et l'interaction laser-matière. Ces trois thèmes sont étroitement liés. Pour favoriser le transfert de son savoir-faire, le Centre a aussi initié, en collaboration avec des partenaires, certaines activités de développement technologique. Nous présentons maintenant la programmation de recherche du Centre.

2.1 Activités «Énergie»

Les activités « énergie » se divisent en trois grandes catégories, la fusion, les pompes à chaleur chimique et l'analyse énergétique.

2.1.1 Fusion

(G. Abel, D. Bourgoïn, C. Boucher, E. Charette, M. Chartré, D. Desroches, K. Dimoff, M. Ennaceur, B.C. Gregory, C. Guay, J.-M. Guay, J. Gunn, I. Condrea, P. Jacquet, C. Khodr, J.-M. Larsen, G. Lebrun, H.H. Mai, J. Mailloux, R. Marchand, F. Martin, F. Meo, H.D. Pacher, R. Paynter, L. Pelletier, D. Pinsonneault, D. Poirier, G. Ross, A. Sarkissian, M. Simard, B.L. Stansfield, J.-P. St-Germain, R.G. Saint-Jacques, B. Terreault, S. Turgeon, M. Urquiga-Valdes.)

L'INRS-Énergie et Matériaux a été un pionnier et un chef de file dans l'établissement des activités de recherche en fusion nucléaire au Québec et au Canada. Plus du tiers des effectifs du Centre sont impliqués dans le TdeV qui est le plus grand projet scientifique jamais réalisé au Québec. Les activités du Centre canadien de fusion magnétique (CCFM), conduites en partenariat avec l'IREQ, ont pour objectif de développer les concepts de physique requis au contrôle de la fusion et la technologie associée afin de positionner le Québec dans l'industrie énergétique du futur. Ces objectifs s'inscrivent dans le cadre des activités internationales visant à contrôler la fusion pour produire de l'énergie propre en quantité pratiquement illimitée. Les chercheurs impliqués au CCFM étudient plus spécifiquement les phénomènes que régissent le comportement du plasma à sa frontière, l'interaction du plasma avec les parois, les mécanismes de déflexion et de pompage des impuretés produites par la réaction nucléaire, le chauffage par onde HF et l'injection de combustible.

L'année 1997-1998 fut cruciale pour les activités du Centre en fusion. Suite au retrait du gouvernement fédéral du partenariat l'an dernier, Hydro-Québec annonçait dans son plan directeur recherche et développement publié au printemps 1998 qu'elle se donnait trois ans pour réorienter le patrimoine scientifique acquis lors des activités du Tokamak de Varennes vers des applications à retombées à plus court terme. Les partenaires restants, l'Hydro-Québec et l'INRS sont donc à chercher une

nouvelle vocation pour un nouveau partenariat. Il s'agit là de la continuation de l'exercice qui a été débuté l'an dernier.

L'année a malgré tout été marquée par des réalisations importantes. Suite à l'installation du système de chauffage par résonance cyclotron électronique (ECRH), l'équipe du TdeV a obtenu le mode H, mode de confinement amélioré. Cette réalisation a permis de reprendre plusieurs thèmes de recherches, dont le détachement, la polarisation et le pompage de l'hélium en présence de mode H, mode de fonctionnement plus pertinent à la recherche en fusion.

Les études d'alimentation en combustible par l'injection de tores compacts (TC) ont aussi été poursuivies avec un système d'injection amélioré (CTFII). Les résultats obtenus avec cet injecteur sur TdeV démontrent que le plasma se comporte d'une manière « classique », c'est-à-dire en accord avec le modèle théorique, lors de l'injection dans un champ toroïdal. Par contre, lors de l'injection dans un tokamak, une bonne partie du plasma TC ne pénètre pas le plasma mais l'alimente par diffusion à partir du bord. L'injecteur TC a été démantelé au début de 1998. Ce type d'expérience sur TdeV est maintenant terminé.

Ces activités sur TdeV se sont poursuivies en étroite collaboration avec des laboratoires canadiens, entre autres l'Université de la Saskatchewan et le Canadian Fusion Fuels Technology Project (CFFTP) avant sa fermeture en décembre 1997. Les travaux du CCFM ont aussi bénéficié de collaborations internationales avec des laboratoires tels l'École militaire royale de Bruxelles, l'Institut royal de technologie de Stockholm, l'Institut de physique des plasmas de Juelich et de Garching en Allemagne, le Princeton Plasma Physics, le PFC de MIT, General Atomics de San Diego et le CEA de Cadarache en France, par exemple. Le Centre a maintenu sa participation à l'équipe nationale Next European Torus-International Thermonuclear Experimental Reactor (NET-ITER) qui est la manifestation d'une collaboration internationale visant le développement d'un réacteur à fusion.

Mentionnons aussi qu'au printemps 1998, le CCFM s'est vu décerné le prix d'Excellence de l'Association nucléaire canadienne pour ses réalisations scientifiques et technologiques des dix dernières années.

En plus des activités réalisées sur TdeV, des membres de l'équipe de l'INRS impliqués dans la recherche en fusion ont effectué des collaborations dans d'autres laboratoires internationaux.

Par exemple, les liens avec l'Institut de physique des plasmas de Juelich ont pris de l'ampleur par le biais d'une collaboration avec des chercheurs de l'École militaire royale de Bruxelles, membre du Trilateral Eurogio Cluster (TEC). Ce groupe comprend des chercheurs de Belgique, d'Allemagne et des Pays-Bas. Le professeur Boucher a participé à la mesure de la vitesse d'écoulement sur le tokamak TEXTOR durant des expériences de polarisation menée dans le cadre d'une thèse de doctorat d'un candidat de l'Université de Gand. Le support financier des visites du professeur Boucher a été assuré par l'Université de Gand et le programme de subvention Québec-Flandres du ministère de l'Éducation du Québec en plus du CCFM.

Ensuite, à partir du début septembre 1997, le professeur Gregory a collaboré avec l'équipe du tokamak FTU à Frascati en Italie, et en particulier avec Danilo Pacella. Avec d'autres collaborateurs américains

(Livermore et John Hopkins University), il a participé à une expérience qui visait à injecter de faibles quantités de krypton et d'argon dans le plasma principal de FTU, et à étudier la puissance rayonnée, le transport de ces impuretés et leurs effets sur la décharge. Ce travail est important pour l'élaboration des nouveaux concepts de manteau radiatif susceptible de réduire la charge thermique sur les limiteurs et les déflecteurs des tokamaks. Une demi douzaine d'articles pour des conférences internationales en sont sortis et une publication est en préparation.

2.1.2 Pompes à chaleur chimiques

Au Canada, l'énergie thermique, c'est-à-dire l'ensemble de la chaleur et du froid consommé par les différents secteurs, représente une part importante de la consommation totale d'énergie du pays. Ainsi, en 1994, elle s'élevait à 4 010 PJ soit 55% de la consommation totale d'énergie (7 314 PJ). L'ensemble des bâtiments consommait 1 461 PJ pour le chauffage et la climatisation, soit 20% de la consommation totale d'énergie du pays, en raison principalement des conditions climatiques extrêmes en hiver et en été. Le secteur industriel consommait quant-à-lui 2 130 PJ pour l'énergie thermique, soit 29% de la consommation totale. Dans ce contexte, la gestion de l'énergie thermique représente une activité clef pour rationaliser la consommation totale d'énergie au Canada et introduire de nouvelles technologies compatibles avec ces préoccupations.

Ce problème prend une dimension particulière suite aux accords de Kyoto qui prévoit une diminution de gaz à effets de serre et par conséquent, une utilisation plus efficace de l'énergie. C'est dans ce contexte que le Centre a entrepris des travaux dans le domaine des réacteurs à lit fixe et en particulier des pompes à chaleur chimique. Deux projets ont été entrepris en cours d'année sur le sujet.

2.1.2.1 Réacteur à lit fixe à base de fibres de carbone

(V. Valkov, R. Côté, G. Perron)

Ce projet a pour objectif la mise au point d'un nouveau type de réacteur à lit fixe plus performant basé sur l'utilisation de fibres de carbone et de sels appropriés. L'amélioration des performances des réacteurs à lit fixe est un pré-requis à leur commercialisation. La mise au point d'un nouveau matériau avec une conductivité thermique élevée, une bonne stabilité au cyclage et une perméabilité adéquate pour un bon transfert de masse permettrait de réaliser des réacteurs à lit fixe adaptés aux applications thermiques. Ce projet vise à solutionner ce problème en utilisant les fibres de carbone comme liant. Des travaux préliminaires supportés par le ministère des Ressources naturelles du Québec ont été entrepris sur les différents procédés de fabrication de ce nouveau matériau.

2.1.2.2 Développement et caractérisation de matériaux adsorbants avancés pour les applications de pompe à chaleur à adsorption à l'ammoniac. (O. Smiljanic, J.-P. Dodelet, S. Hosatte, en coll. avec l'Institut de l'hydrogène de Trois-Rivières)

Ce projet vise à améliorer les connaissances fondamentales des mécanismes d'adsorption de l'ammoniac et à mettre au point des adsorbants performants pour les pompes à chaleur à sorption solide. Deux avenues principales sont explorées, la première consiste à modifier, par des traitements de surface chimiques ou physiques, des charbons activés actuellement développés et mis au point par l'Institut de recherche sur l'hydrogène (IRH) à Trois-Rivières pour d'autres applications. La deuxième consiste à synthétiser des nanotubes et nanofibres de carbone selon différentes techniques puis à étudier l'effet de leur structure et de leur composition sur l'adsorption d'ammoniac.

Ce projet est fait en collaboration avec le laboratoire de diversification énergétique (LRDE) du ministère des Ressources naturelles du Canada et l'Institut de l'hydrogène de Trois-Rivières.

2.1.3 Modélisation et Analyses énergétiques

(E. Bertho, C. Boucher, E. Brouillard, J. Genois, C. Jacques, G. Lafrance, G. Ross)

Le groupe d'analyse et de modélisation énergétique (GAME) a pour but de développer des outils d'aide à la décision pour les intervenants du domaine énergétique. Concrètement, quatre activités majeures sont menées en parallèle: 1) le développement de logiciels de prévision de la demande d'énergie, 2) l'analyse du comportement des consommateurs, 3) l'élaboration de modèles de simulation technique et 4) la construction de banques de données détaillées sur les usages et les technologies de l'énergie. À l'aide de ces outils, le GAME peut remplir plusieurs fonctions complémentaires dont l'analyse d'impact de nouvelles technologies et l'évaluation des politiques énergétiques.

Pendant l'année 1997-1998, le groupe n'a pas dérogé à ses objectifs. D'abord, des commandites d'Hydro-Québec ont permis de continuer le développement des modèles de prévision de la demande dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel. En particulier, une recherche est en cours pour construire un modèle de répartition de la demande pour le compte d'Hydro-Québec.

Avec la firme Soprin-ADS, le GAME a obtenu un contrat de la Banque Mondiale pour estimer le potentiel d'économie d'énergie au Mali. La méthode d'analyse conditionnelle déjà appliquée pour Hydro-Québec et Ressources naturelles du Canada a été utilisée avec succès. Le groupe est également impliqué avec la firme ARC de Toronto, dans le design d'une première enquête nationale dans le secteur commercial. Ce travail est subventionné par RNCAN. Un projet de gestion de réservoirs en tenant compte de l'apport d'une filière éolienne se poursuit toujours en collaboration avec L'IREQ.

Une analyse de la place des filières alternatives de production électrique dans le monde de demain a également été entreprise avec plusieurs collaborateurs nationaux et internationaux, dont les professeurs Michel Trépanier de l'INRS-Urbanisation et Claude Boucher de notre Centre. Une collaboration inter-INRS a été initiée avec la professeure Monique Bernier de l'INRS-Eau dans le cadre d'un projet intitulé « Modélisation énergétique à partir des données satellites ». Les professeurs Claude Boucher et Guy Ross du Centre sont aussi impliqués dans ce projet.

Les membres du groupe sont souvent invités à représenter le centre sur divers comités et tribunes. La nomination la plus importante est celle de Gaëtan Lafrance sur la Table nationale de l'électricité. D'ici le mois de mai 1999, ce comité est chargé de donner des recommandations au gouvernement fédéral pour respecter le protocole de Kyoto.



2.2

ACTIVITÉS « MATÉRIAUX »



Utilisation d'un réacteur à plasma pour le développement de couches minces.

2.2 Activités «Matériaux»

Un des volets des activités du centre INRS-Énergie et Matériaux concerne les matériaux, plus précisément la synthèse et la caractérisation de nouveaux matériaux et la mise au point de procédés novateurs. Dans le domaine des matériaux, le Centre s'intéresse aux nouveaux matériaux avancés et plus spécifiquement aux matériaux fonctionnels. Des phénomènes en jeu et des activités stratégiques avec des objectifs à plus court terme.

Les matériaux fonctionnels avancés sont en demande pour répondre aux exigences des fonctions électronique, magnétique, optique, etc. d'une panoplie de nouveaux produits. Un fort taux de croissance de la demande pour ce type de matériaux est prévue pour les prochaines années.

Les matériaux énergétiques, les polymères conducteurs électroactifs et les nouveaux matériaux pour les applications photoniques et les capteurs retiennent particulièrement l'attention des chercheurs du Centre. Ceux-ci participent aussi au programme canadien d'études sous microgravité.

Dans le domaine des procédés, le Centre met ses efforts, plus particulièrement, sur le développement des nouveaux procédés par plasma, l'implantation ionique et la chimie des solutions et des colloïdes. Nous passons maintenant en revue chacun de ces secteurs d'activités.

2.2.1 Matériaux énergétiques

En parallèle avec ces activités purement « énergie », le Centre effectue de la R&D sur les matériaux énergétiques. Ces travaux portent en particulier sur

- i) les catalyseurs pour pile à combustible à électrolyte polymère,
- ii) les nouveaux matériaux pour la synthèse du chlorate de sodium,
- iii) les nouveaux matériaux de stockage de l'hydrogène et
- iv) les nouveaux matériaux moléculaire poreux qui trouvent leurs applications aussi bien dans les piles à combustible, les super-condensateurs que les fenêtres super-isolantes.

2.2.1.1 Les catalyseurs pour pile à combustible à électrolyte polymère (PEFCs) *(J.P. Dodelet, D. Guay, R. Côté, M.-C. Denis, G. Faubert, P. He, B. Baradie, H. Wang avec la collaboration de P. Bertrand - Université catholique de Louvain, G. Dénès - Université Concordia, C. Poleunis - UCL, R. Schulz, G. Lalande-IREQ)*

Les piles à combustible permettent de produire directement de l'électricité à partir de l'hydrogène et d'autres combustibles. À mesure que les coûts diminuent, ces dispositifs deviennent de plus en plus intéressants pour les applications du transport et la génération d'électricité hors réseau. La recherche à l'INRS-Énergie et Matériaux porte sur tous les aspects des catalyseurs pour les piles à combustible à électrolyte polymère (PEFCs). Elle est financée par une subvention stratégique du CRSNG, une subvention université-industrie (CRSNG-Hydro-Québec), un FODAR avec l'UQTR, un FCAR-Équipe et la subvention individuelle du professeur

Dodelet.

► **À la cathode**, nous avons poursuivi deux démarches: (i) celle de remplacer le Pt par un métal commun; (ii) celle de diminuer la quantité de Pt utilisé à cette électrode pour la réaction de réduction électrochimique de l'oxygène.

• **Le remplacement du Pt par un métal commun** tel que le Fe fait suite à nos travaux précédents qui utilisaient comme précurseurs des molécules de phtalocyanines de Fe ou de porphyrines de Fe, adsorbées sur du noir de carbone et pyrolysées à diverses températures. Ces molécules contiennent l'ion Fe^{2+} coordonné au macrocycle par quatre atomes d'azote. Il était donc impossible dans ces conditions de séparer l'effet du métal et celui de l'azote. Nous avons pu réaliser cette séparation en changeant notre méthode de préparation des catalyseurs, soit en adsorbant un hydroxyde métallique sur noir de carbone et en utilisant une source d'azote indépendante du précurseur métallique. En procédant de la sorte, nous avons pu mettre en évidence les ingrédients nécessaires à la production d'un catalyseur pour la réduction de l'oxygène en PEFCs. Ces ingrédients sont :

- un métal de transition. Il faut toutefois remarquer que seuls Cr, Fe et Co fonctionnent.
- une source d'azote. Celle-ci peut être: (i) un précurseur contenant de l'azote qui est co-adsorbé sur le support de carbone avec le précurseur métallique; (ii) des fonctions azotées ajoutées préalablement par la modification du support de carbone; (iii) un gaz contenant de l'azote qui est introduit dans le réacteur au moment de la pyrolyse.
- une source de carbone. Celle-ci peut provenir de la pyrolyse des précurseurs moléculaires adsorbés ou du support de carbone lui-même.
- un traitement thermique. On n'obtient d'effet catalytique stable qu'à partir d'une pyrolyse des ingrédients à 800° C.

Récemment, nous avons aussi mis au point une nouvelle façon de produire des catalyseurs supportés sur des fibres de carbone qui sont obtenues par la pyrolyse d'un précurseur organique. Dans ce cas, le précurseur métallique peut-être adsorbé sur le précurseur organique et le tout peut être pyrolysé en présence d'un précurseur d'azote. Les catalyseurs obtenus sont les plus performants à date puisqu'ils permettent d'obtenir sous 0.5 V et à 50°C un courant de 0.25 A/cm² en pile à combustible.

La recherche se poursuit pour essayer de déterminer la structure du site catalytique et d'augmenter les performances des catalyseurs.

• **La diminution de la quantité de Pt à la cathode**. Nous avons mis au point une méthode de synthèse de catalyseurs dont le résultat est l'insertion de particules nanométriques de Pt dans des graphites de grande surface spécifique et même dans des noirs de carbone. La quantité maximum de Pt qui peut ainsi être insérée est de l'ordre de 10% Pt en poids dans les graphites et de 5% Pt en poids dans les noirs de carbone. Lorsqu'on les compare à des catalyseurs commerciaux de même teneur en Pt, les catalyseurs d'insertion sont plus performants.

Malheureusement, les catalyseurs d'insertion sont limités par leur teneur en Pt alors que les catalyseurs supportés (commerciaux) peuvent contenir jusqu'à 30% en poids de Pt, ce qui les rend plus performants.

- **À l'anode.** Dans le cadre d'une collaboration avec Hydro-Québec (G. Lalande, R. Schulz), nous avons entrepris la production de catalyseurs de Pt et d'alliages de Pt par la méthode de broyage mécanique à haute énergie. Le but de cette étude est de déterminer si la technique de broyage, qui peut produire des phases hors d'équilibre thermodynamique, peut aussi générer des catalyseurs intéressants pour l'anode des PEMFCs, en particulier si les catalyseurs obtenus peuvent être plus tolérants à l'empoisonnement par le CO que les alliages de Pt commerciaux, en particulier l'alliage de Pt-Ru. Le CO apparaît dans l'alimentation en hydrogène si ce gaz est produit par le reformage d'hydrocarbures ou d'alcools. Les PEMFCs sont très sensibles à sa présence à des taux supérieurs à 10 ppm.

Dès les premiers broyages effectués par le Pt seul et sur des alliages de Pt-Ru, nous avons réalisé que les nanoparticules formées par le broyage s'aggloméraient et que les catalyseurs ainsi préparés manquaient de surface spécifique. Nous sommes parvenus à résoudre ce problème en dispersant le métaux d'intérêt comme le Pt et le Ru avec un métal facilement oxydable, comme Mg ou Al. Ces derniers métaux sont ensuite enlevés par oxydation. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le système Pt, Ru, Al. Après oxydation de l'aluminium, ce catalyseur possède une surface spécifique de 38 m²/g (de même ordre de grandeur que celle des catalyseurs commerciaux). Il est aussi tolérant au CO que le meilleur des catalyseurs commerciaux. Après caractérisation, nous avons constaté que ce catalyseur était en fait un composite de cristallites de Ru et de cristallites plus petits de Pt dans les quels on trouve de 1 à 3% en poids d'aluminium ainsi qu'une faible concentration en Ru. La recherche continue pour trouver un agent anticollant qui faciliterait la récupération de la poudre de catalyseur après broyage. D'autres alliages sont également à l'essai.

Finalement, en plus du volet catalyseur, nous avons débuté au cours de 1997-1998 une recherche sur un autre aspect des piles à combustible à électrolyte polymère, à savoir, la membrane. Nos premiers essais ont porté sur la sulfonation d'un polymère commercial, le Radel. Ce polymère est un polysulfone. Les essais réalisés jusqu'à présent ont permis d'atteindre un degré de sulfonation de 1.8 mole de protons par Kg de polymère, ce qui est plus élevé que le Nafion. Toutefois, des essais en pile à combustible ont démontré que ce polymère ne parvenait pas à atteindre les mêmes puissances électriques que le Nafion (moins de la moitié de la puissance seulement a été obtenue). De plus, la membrane a donné des signes d'oxydation. Des polymères non commerciaux sont maintenant à l'essai (ce projet se développe avec la collaboration du professeur A.S. Hay de McGill).

2.2.1.2 Nouveaux matériaux pour la synthèse du chlorate de sodium (*D. Guay, M. Blouin, E. Irissou, A. Bercier, M. Bonneau, F. Gaudet, L. Roué, H. Razafitrimo, S.H. Yip avec la collaboration de S. Boily, J. Huot, R. Schulz de l'IREQ*)

Ce projet de recherche vise à développer de nouveaux matériaux d'électrode pour la synthèse du chlorate de sodium.

Le chlorate de sodium (NaClO_3) est principalement utilisé comme agent de blanchiment de la pâte à papier (95% de la production totale). Le Québec à lui seul est responsable de 42% de la production canadienne totale. Le chlorate de sodium est obtenu par électrolyse d'une solution de NaCl . C'est un procédé très énergivore et, une réduction de 250 mV de la surtension cathodique entraînerait des économies de 10% au niveau de la puissance requise et donc des coûts de fabrication. De concert avec des partenaires industriels (CHEMETICS, IREQ, PERMA et SURFACE CANADA) et grâce à l'appui financier du CRSNG (programme de recherche collaboratif Université-Industrie), nous nous sommes fixés comme objectif de mettre au point un nouveau matériau d'électrode qui puisse améliorer significativement l'efficacité énergétique du procédé et d'identifier une technique de mise en forme qui puisse être s'adapter à un processus de transfert industriel.

Au cours des dernières années, nous sommes parvenus à identifier les conditions de fabrication de l'alliage nanocristallin de Ti-Ru-Fe-O qui favorisent la stabilité à long terme du matériau. Nous avons montré que l'oxygène était absolument indispensable à la stabilité à long terme de l'alliage. Dans le cas des alliages nanocristallins de Ti-Ru-Fe-O contenant une concentration optimale d'oxygène, des tests d'électrolyse prolongée ont montré que l'activité de ces électrodes demeurait stable sur plus de 1000 heures. En absence d'oxygène cependant, les électrodes se désintègrent après moins de 100 heures. Nous avons pu montrer que ce comportement était relié à la capacité des alliages de Ti-Ru-Fe d'absorber l'hydrogène et de former des hydrides. En revanche, l'ajout d'oxygène lors de la fabrication de l'alliage nanocristallin empêche ou réduit l'absorption d'hydrogène.

Au cours de 1997-1998, les diverses analyses que nous avons faites tant par diffraction des rayons X que par diffraction des neutrons, nous ont permis de montrer que l'ajout d'oxygène conduit à la formation d'une phase cubique simple appauvrie en $\text{Ti}(\text{Ti}_{2-x}\text{Ru}_{1+x/2}\text{Fe}_{1+x/2})$. Des expériences complémentaires nous ont permis de montrer que cette phase a une excellente tenue mécanique lors des cycles d'absorption et de désorption d'hydrogène.

De concert avec nos partenaires industriels, des revêtements ont été obtenus par projection par plasma et pulvérisation réactive. L'évaluation de ces techniques de déposition et leurs mérites respectifs seront évalués au cours de l'année à venir.

2.2.1.3 Nouveaux matériaux de stockage de l'hydrogène

(D. Guay, J.P. Dodelet, S. Bouaricha avec la collaboration de S. Boily, J. Huot et R. Schulz de L'IREQ)

Dans le contexte des énergies nouvelles, l'hydrogène offre des possibilités intéressantes car il permet de produire de l'électricité directement dans les piles à combustible pour, entre autres, les applications de transport et de génération distribuée d'électricité. Le stockage de l'hydrogène et son transport posent toutefois des problèmes particuliers qu'il faut solutionner avant l'utilisation à grande échelle de ces technologies.

L'INRS-Énergie et Matériaux a été admis comme membre à part entière dans le consortium sur le développement et les applications des matériaux nanocristallins pour le stockage de l'hydrogène. Les autres participants à ce consortium sont Hydro-Québec, l'Université Laval et l'Institut de Recherche sur l'Hydrogène (UQTR). De plus, un partenariat de R&D a été conclu entre le consortium et le groupe allemand GfE/GKSS.

Nos travaux de recherche se concentrent surtout sur le développement d'une méthode pour accroître la surface spécifique des alliages préparés par broyage mécanique. L'approche retenue consiste à introduire un élément ou un composé qui, suite à son retrait entraînera la création d'une surface poreuse. Trois avenues sont présentement envisagées pour ce faire soit la lixiviation en phase aqueuse, gazeuse et organique. Les avantages et inconvénients de chacune, notamment leurs effets sur la capacité et les cinétiques d'absorption de l'hydrogène seront évalués.

2.2.1.4 Nouveaux matériaux moléculaires poreux

Plusieurs technologies de pointe dépendent du développement des nouveaux matériaux moléculaires poreux. Par exemple, les membranes à pores contrôlées sont à la base de systèmes de séparation dans les industries chimique, biotechnologique et pharmaceutique et elles servent de matériaux de filtration dans plusieurs technologies écologiques de nettoyage de l'environnement comme les filtrations des effluents gazeux des industries énergétiques. Avec l'interdiction des gaz CFC et HCF, le développement de nouveaux matériaux poreux bon marché à des fins énergétiques a aussi pris de l'importance. Ils servent, par exemple, pour l'isolation thermique des maisons et des appareils électroménagers (frigo). Une réduction de 25% du poids d'une automobile par l'utilisation de matériaux poreux d'ingénierie permettrait une économie de 11% d'essence et la réduction de 500 millions de tonne de gaz carbonique. Le développement d'un matériau poreux approprié au stockage de l'hydrogène couplé à l'amélioration de l'efficacité des piles à combustible permettraient d'envisager la viabilité d'une industrie du transport basée sur l'hydrogène. Finalement, de nouveaux matériaux d'électrode poreux pour les batteries et super-condensateurs pourraient rendre la voiture électrique compétitive.

Au cours des dernières années, nous avons développé plusieurs familles de matériaux moléculaires poreux et étudié les effets des paramètres de

formation (ex.: séparation de phase) sur leur structure et leur morphologie de même que sur leurs propriétés optiques, thermiques, électriques et mécaniques. Des outils avancés comme la modélisation (Monte Carlo) et la microgravité ont été utilisés pour comprendre les mécanismes de séparation de phase et de croissance des particules et des pores. L'objectif est d'optimiser les propriétés spécifiques en vue de leur utilisation dans des applications industrielles. Durant l'année qui se termine, ces matériaux ont été testés dans les piles à combustible à électrolyte polymère, les super-condensateurs et les super-fenêtres. Nous passons en revue les trois différents projets reliés aux nouveaux matériaux moléculaires poreux.

1) Développement de nouveaux électrocatalyseurs superformants à base de aérogels carbonisés pour les piles à combustibles à électrolyte polymère (*L.H. Dao, W. Wang, S. Ye, A.J. Vijn de L'IREQ et C. Oh*)

Les aérogels présentent des possibilités intéressantes pour l'électrocatalyse à cause de leur porosité élevée et de leur grande surface spécifique. Dans le cadre d'une collaboration avec l'IREQ et Korean Institute of Science and Technology (KIST), nous avons préparé de nouveaux matériaux électrocatalytiques formés d'un nanocomposite moléculaire homogène de platine et d'aérogel (mousse microcellulaire de polyacrylonitrile carbonisé hautement poreux) pour servir comme électrocatalyseurs dans les piles à combustible à électrolyte polymère. Nous avons obtenu une activité électrocatalytique comparable à celle d'une électrode pleine de platine pour la réduction de l'oxygène avec une très faible charge de platine ($< 10 \mu\text{g cm}$). Cette extraordinaire activité électrocatalytique découle de la nanodispersion des particules de platine dans le nanocomposite. Les composants du mélange se répartissent à l'échelle microscopique en des combinaisons très homogènes. Celles-ci originaires d'interactions chimiques qui se produisent à l'échelle moléculaire dans la phase liquide et peuvent être considérées comme «gelées» dans l'état solide suite au séchage supercritique. Les images obtenues par microscopie électronique en transmission montrent clairement que les particules de platine, d'une grosseur de l'ordre de nanomètre, sont distribuées de façon homogène et qu'elles font partie de l'architecture moléculaire du composite. Une étude par spectroscopie photoélectronique des rayons X (XPS) indique qu'il existe une interaction spéciale entre le platine et le support dans un électrocatalyseur de polyacrylonitrile-platine.

2) Développement d'électrodes de carbones poreux pour des supercondensateurs (*L.H. Dao, S. Calas, F. Tran-Van, M.H. Nguyen, K.H. Lee*)

Les supercondensateurs ont plusieurs avantages dans les applications de traction électrique. Leur utilisation comme système de puissance secondaire permet de fournir une source d'énergie rapidement disponible lors des accélérations ou sur des routes de montagne. En effet, la constante de temps des condensateurs est plus faible que celle des générateurs électrochimiques classiques (décharge possible en quelques secondes) et les supercondensateurs sont capables de fournir une quantité d'énergie importante en un

minimum de temps. De plus, l'utilisation d'un super-condensateur parallèlement à une batterie, permet d'augmenter la durée de vie de cette dernière en évitant les décharges profondes lors d'appel de puissance. Finalement, ce genre de dispositifs possède une bonne cyclabilité et une bonne stabilité du fait de l'absence de réactions électrochimiques aux électrodes.

Deux types de supercondensateurs sont actuellement étudiés pour les véhicules électriques: les condensateurs à double couche électrochimique, utilisant des carbone de hautes surfaces spécifiques et les condensateurs rédox utilisant des polymères électriquement conducteurs. Les condensateurs de type double couche à base de carbone sont particulièrement intéressants car, en plus d'une haute densité d'énergie et de puissance, leur synthèse est facile, leur coût de fabrication est faible et leur stabilité excellente. Différentes formes de carbone sont possibles (fibre de carbone, carbone vitreux, graphite, carbone aérogel, etc.). Nos efforts sont axés sur les carbones aérogels à base de polyacrylonitrile (matériaux développés depuis plusieurs années dans notre laboratoire) tandis que nos collègues de POSTECH Corée (K.H. Lee) étudient les fibres de carbone activé. Ces travaux se font dans le cadre d'une collaboration INRS-POSTECH supportée par une subvention stratégique CRSNG et un contrat avec LGChem. La porosité et la surface spécifique des carbones aérogels peuvent être contrôlées sur une large gamme alors que la taille des pores et des particules peut être adaptée à l'échelle nanométrique. Puisque ces matériaux sont relativement nouveaux, la structure optimale pour leur application dans les superconducteurs n'est pas encore déterminée et nos travaux visent à déterminer les effets des facteurs physiques et chimiques sur la constante diélectrique des carbones à base de polyacrylonitrile. Les facteurs physiques incluent la surface spécifique, la distribution de la taille des pores, la forme des pores, etc. Le facteur chimique principal est la fonctionnalité des différents groupes de surface. Les études électrochimiques préliminaires de ces matériaux donnent des capacitances spécifiques de 176 F/g en milieu KOH 5M.

3) Développement d'aérogel monolithe transparent pour des applications de superfenêtres (*L.H. Dao, M.H. Nguyen*)

Les aérogels mélamine-formaldéhyde (MF) forment une classe spéciale de mousse à cellules ouvertes. Ces matériaux sont obtenus par séchage supercritique de gels organiques de MF hautement ramifiés avec du gaz carbonique. Ils possèdent des propriétés optiques et thermiques uniques et sont très prometteurs pour la réalisation de superfenêtres. Avant d'envisager leur utilisation dans les applications de fenêtres superisolantes, il faut cependant solutionner deux problèmes, i.e.: (i) la fabrication de grands blocs monolithiques d'aérogel MF à un coût acceptable et (ii) l'amélioration de la transparence. Le premier problème est d'ordre d'ingénierie et le deuxième d'ordre scientifique. Plusieurs travaux ont déjà été accomplis pour résoudre le premier problème dans le cadre d'un contrat avec Ressources naturelles Canada. Cependant, le contrôle de la formation de gels transparents reste un problème à résoudre.

Nous avons, récemment, développé des techniques d'analyse in situ qui nous permette d'étudier la formation des gels et des aérogels et

d'optimiser les paramètres de façon à obtenir des blocs monolithiques transparents. Nous avons, d'abord, étudié en temps réel la formation des gels de mélamine-formaldéhyde à partir de solutions aqueuses de MF avec des concentrations de 10% à de 12% à différentes valeurs de pH. Cette étude nous a permis d'estimer 1) la croissance de la taille des agrégats dans un milieu polydispersé et 2) le point de gélification et la vitesse de gélification avec l'aide de modèles théoriques tels les théories de Mie et de Rayleigh ou encore la combinaison de la théorie de Rayleigh avec celle de la croissance exponentielle. Ensuite dans le but d'améliorer la précision de la mesure de la taille des particules à partir de la théorie de Mie, nous avons mis au point une nouvelle technique de mesure de l'indice de réfraction de petites particules qui ne nécessite aucune information complémentaire. Nous avons aussi étudié les propriétés optiques, structurales et thermiques des aérogels de MF par la mesure du spectre de transmission. En combinant le modèle à deux phases avec le modèle de Rayleigh, nous avons estimé la longueur de corrélation des pores et la taille moyenne des particules en fonction des paramètres de préparation. Nous avons ainsi déterminé la conductivité thermique totale. Cette étude montre que la concentration a plus d'influence sur les propriétés mentionnées ci-dessus que le Ph.

2.2.2 Polymères conducteurs et électroactifs

En général les polymères sont d'excellents isolants. Cependant depuis une dizaine d'années, une nouvelle classe de matériaux appelés polymères conducteurs a été développée dans nos laboratoires. Ces polymères ont une structure chimique particulière (doubles liaisons conjuguées) qui permettent par dopage redox d'obtenir des matériaux ayant une conductivité électrique variable et des propriétés uniques. Ainsi, en variant le niveau de dopage, on peut faire passer le matériau de l'état isolant à l'état semi-conducteur puis conducteur et changer en même temps ses propriétés. Nos travaux sont axés surtout sur la synthèse de nouveaux polymères conducteurs, l'étude de la relation entre leur structure et leurs propriétés, l'amélioration de leur stabilité et la mise au point de méthode de mise en oeuvre en vue des applications industrielles. Plusieurs applications ont été explorées comme par exemple les fenêtres électrochromiques intelligentes, les accumulateurs organiques, les super-capaciteurs, les absorbants micro-ondes, la protection EMI, les fils électriques moléculaires, les biomatériaux, etc.

2.2.2.1 Développement de conducteurs à base de plastiques recyclés (L.H.Dao, R. Patil, Y. Sun, F. Tran-Van, W. Wang, D. Tessier, F. Tofia)

Dans le cadre d'une subvention CRSNG industrie-université supportée par Le Groupe Lavergne Inc. (F. Tofian), la plus grande entreprise de recyclage des plastiques du Québec, nous sommes en train de développer des

mélanges et des composites de polymères conducteurs à partir de plusieurs plastiques industriels (recyclés) pouvant être mis en oeuvre thermiquement par extrusion. Ces matériaux sont utilisés surtout comme antistatiques permanents et aussi comme blindage contre les ondes électromagnétiques. Nos efforts portent sur le développement de nouveaux polymères conducteurs thermiquement stables pouvant supporter des températures de mise en oeuvre supérieures à 200 °C et sur la diminution du seuil de percolation afin d'abaisser le coût de production et d'améliorer les propriétés optiques (transparence). Ainsi, en ajoutant un polymère conducteur au plastique de recyclage, nous avons pu produire plusieurs plastiques conducteurs par extrusion jusqu'à des températures de 250 °C. Des travaux de modélisation et de caractérisation avancée (microscopie électronique à transmission, spectroscopie aux rayons X et spectroscopie d'impédance à large bande ont été aussi réalisés afin de comprendre pourquoi ces matériaux deviennent conducteurs avec un ajout de moins de 1% de polymère alors que la théorie de percolation prédit qu'il en faudrait environ 18%.

2.2.2.2 Modification chimique de surface des textiles par un polymère conducteur pour des applications biomédicales
(*L.H. Dao, D. Tessier, Z. Zhang, R. Guidon*)

La modification de surface de polymères synthétiques permet d'obtenir de nouveaux biomatériaux présentant des propriétés de surface spécifiques tout en conservant leurs caractéristiques internes. La déposition de polymères à la surface de matériaux par différentes techniques permet par exemple, de modifier l'adhésion des constituants sanguins: protéines, plaquettes, cellules, etc. Les polymères conducteurs présentent donc de très bonnes opportunités d'applications biomédicales, par exemple: i) les prothèses entre autres, les prothèses vasculaires, ii) les substrats pour la culture de cellules et iii) le système de purification du sang. Dans le cadre d'une collaboration avec l'Institut des biomatériaux du Québec (IBQ) supportée par la Fondation WhiteTaker, nous sommes en train de développer de nouveaux textiles (polyester) en recouvrant la surface avec un polymère conducteur. Deux techniques de revêtement ont été utilisées. Dans un premier temps, les propriétés de mouillage de la surface du tissu ont été modifiées par sulfonation et les propriétés électriques améliorées par la polymérisation chimique d'une mince couche de polypyrrole (polymère conducteur). Dans une autre approche, les propriétés d'adhésion d'un film de polymères conducteurs greffés sur la surface de polyester ont été améliorées par l'attachement direct sur la surface du tissu via des liaisons covalentes de phosphate, de polypyrroles modifiés. Des travaux sont en cours à IBQ pour tester la biocompatibilité et la biotoxicité de ces matériaux.

2.2.2.3 Polymérisation par plasma de polymères conducteurs sur des textiles pour des applications biomédicales

(L.H. Dao, D. Tessier, B. Stansfield, H.H. Mai, Z.Zhang, R. Guidon)

Bien que les films de PPy issus du procédé de phosphonylation performant mieux que ceux produits par sulfonation dans les applications biomédicales, il demeure un risque que le lien phosphate puisse subir une attaque chimique ou biochimique susceptible d'entraîner la libération du copolymère de PPy. Pour cette raison, il est opportun de considérer de nouvelles méthodes de modification de surface pour cette classe d'application. La polymérisation du pyrrole par procédé plasma s'avère par exemple, particulièrement intéressante.

Le procédé de polymérisation par plasma froid (plasma à décharges lumineuses) offre la possibilité de greffer un polymère conducteur (PPy) à la surface d'un tissu synthétique afin d'obtenir une prothèse à surface conductrice. Les conditions de déposition peuvent être optimisées de façon à ce que le dépôt soit greffé physiquement au polymère de support (microfibre) et la réticulation suffisante pour rendre le dépôt très tenace et insoluble. Cette voie de synthèse physique constitue une voie très intéressante. En effet, la polymérisation par plasma a le principal avantage d'être une technique de déposition rapide, propre (aucun solvant organique n'est nécessaire et les quantités de réactifs utilisés sont très faibles) et sans effet sur les propriétés volumiques du polymère. Cette technique peut-être utilisée dans le traitement de surface des biomatériaux à plusieurs fins: former un film barrière, fournir des sites réactifs et modifier les interactions des protéines et des cellules. L'adhésion des cellules et des protéines peut aussi être améliorée avec la déposition d'un polymère par polymérisation par plasma. Cette technique offre donc à la fois l'opportunité de déposer un polymère conducteur à la surface des fibres d'un tissu et aussi celle d'améliorer simultanément les caractéristiques de mouillage « in situ ». De bonnes propriétés de mouillages sont en effet souhaitables pour les biomatériaux en contact avec des fluides biologiques.

Dans le cadre d'une collaboration avec le professeur B.L. Stansfield et monsieur H.H. Mai, nous sommes en train de développer un réacteur à plasma micro-onde et d'effectuer des dépôts de PPy ayant différentes structures (compositions et morphologies) sur différents substrats polymériques (ex.: tissus polyesters). Les facteurs influençant la qualité du polymère conducteur sont actuellement évalués et les conditions de déposition sont en cours d'optimisation. L'objectif est de moduler les caractéristiques de surface du matériau pour qu'il présente les propriétés recherchées déjà mentionnées. Les tests de biocompatibilité, de biostabilité et de biotoxicité seront accomplis à l'IBQ.

2.2.2.4 Développement de nouveaux matériaux électroactifs pour des applications dans les accumulateurs et les super-condensateurs

(L.H. Dao, S. Hubert, F. Tran-Van, M.C. Pham)

Les systèmes d'emmagasiner d'énergie électrochimique (accumulateurs, supercondensateurs) ont un rôle stratégique dans plusieurs applications technologiques. Ils sont utilisés dans les ordinateurs, les dispositifs de communication et de contrôle industriel, les voitures électriques, les

équipements de laboratoire, les stations orbitales, etc. Les polymères organiques électroactifs sont des candidats très intéressants pour cette famille d'applications à cause de leur faible poids, leur charge spécifique et leur résistance dans des milieux chimiques rudes (solvant organique, acide et alcalin).

Dans le cadre d'une collaboration et de cotutelles d'étudiants gradués avec l'ITODYS, Université Paris-7, plusieurs nouveaux polymères électroactifs sont développés en vue de leurs utilisations dans les accumulateurs au lithium et les super-condensateurs. Nos efforts sont principalement axés sur le développement de dérivés du poly(5-aminonaphtoquinone). Ces polymères conducteurs ayant des groupes électroactifs présentent des charges spécifiques, des densités d'énergie, des puissances, des voltages en circuit ouvert et des efficacités coulombiennes lors du cyclage très intéressants.

2.2.3 Nouveaux matériaux pour les applications photoniques et les capteurs

Une partie des activités de recherche du centre INRS-Énergie et Matériaux porte sur les nouveaux matériaux pour les applications photoniques et de capteurs. Avec un taux de croissance prévu de 27% par année, ce secteur économique est en pleine croissance et la mise au point de nouveaux matériaux est à la base même de cette croissance. Les activités de l'INRS-Énergie et Matériaux dans ce domaine incluent: i) l'analyse des propriétés photoélectriques des semiconducteurs organiques, ii) le développement de nouveaux matériaux pour les systèmes d'affichage, iii) l'étude des nanocristallins utilisés comme détecteurs ou senseurs.

2.2.3.1 Les propriétés photoélectriques de semiconducteurs organiques *(J.P. Dodelet, A. Ioannidis)*

Cette recherche a été financée par une subvention individuelle du CRSNG. Elle concerne la mesure de la mobilité des porteurs de charge (habituellement les trous) dans les films de phtalocyanine de chloro aluminium, de chloro gallium et de chloro indium. Ces matériaux sont utilisés en xérocopie et pour l'impression laser où ils sont responsable de la photoinjection des charges. La mobilité des charges dans ces matériaux est donc un paramètre important. Elle a été mesurée par la technique du temps de vol entre deux électrodes. Les variables du système sont la température du substrat sur lequel les films sont sublimés (elle affecte le degré de cristallisation du film), la température et le champ électrique utilisés pour la mesure des mobilités. Les mesures se font sous vide primaire.

L'ensemble de ce travail a constitué la thèse de A. Ioannidis qui a été défendue en août 1997. Les points saillants de cette thèse sont:

- La mise en évidence d'un phénomène étrange: une remontée des mobilités avec l'abaissement de la température de mesure (on s'attend au phénomène inverse lorsque le transport des charges est activé thermiquement)
- La mise en évidence du transport de charges par les électrons dans des conditions spéciales de cristallinité des films de phtalocyanines qui habituellement sont amorphes.

2.2.3.2 Le développement de nouveaux matériaux pour les systèmes d'affichage

On prévoit que parmi les applications de la photonique les nouveaux systèmes d'affichage plats à faible consommation d'énergie possèdent le le potentiel de croissance de marché le plus important. Cette croissance est étroitement liée aux développements des technologies de l'information. Une partie des activités du Centre portent donc sur des recherches visant à mettre au point de nouveaux matériaux pour les nouvelles générations de système d'affichage.

2.2.3.3 Les diodes organiques électroluminescentes

(J.P. Dodelet, F. Santerre, S. Gauvin, M.A. ElKhakani, M. Chaker)

Cette recherche est financée par un octroi du CRSNG obtenu dans le cadre des programmes de Partenariat du CNR (en l'occurrence, avec l'Institut des Microstructures à Ottawa). Le professeur A.S. Hay de McGill et le Dr. M. D'Iorio participent à cette recherche qui a officiellement débuté en novembre 1997. Les activités ont progressé sur plusieurs fronts:

- 1) La production des cathodes de TiC.** Un des grands problèmes des diodes organiques électroluminescentes (OLEDs) est la corrosion de la cathode qui, pour des fins d'injection d'électrons, doit être en matériaux de faible fonction de travail (Ca, Mg, Al). Ces métaux corrodent facilement et cessent alors de remplir leur rôle d'électrode. Nous travaillons à leur remplacement par un semi-métal très résistant à la corrosion, le TiC, qui, dans notre cas, est déposé par plasma (en collaboration avec A. El Khakani et M. Chaker)

Des films de TiC ont été obtenus sur des substrats de Si (111), de silice fondue et de verre en utilisant la radiation laser du KrF à 248 nm sous un vide de 10^{-5} torr et à des températures allant de 25 à 600°C. La morphologie de ces films a été analysée par microscopie optique et à force atomique. Les films montrent une adhérence sur les différents substrats. L'analyse XRD confirme que la structure du TiC a été obtenue. Le XPS révèle que les films ont une composition de surface proche de la stoechiométrie 1: 1 attendue. La résistivité des films de TiC a été mesurée par la technique 4 points. Elle varie de 140 à 80 $\mu\Omega$.cm lorsque la température du substrat change de 24 à 600°C. A fins de comparaison, les résistivités de Mg et de Ca sont respectivement de 4.38 et 3.43 $\mu\Omega$.cm. La fonction de travail du TiC

a été déterminée par UPS. Elle est de 3.74 eV, une valeur qui se compare bien avec la fonction de travail du Mg (3.6-3.9 eV) qui pourrait donc être remplacé par TiC. La fonction de travail de Ca est de 2.7-3.0 eV.

Des électrodes de TiC ont été déposées sur des dispositifs organiques dont la séquence était ITO/PVK/Alq₃/TiC où ITO est un verre recouvert d'une couche d'oxyde conducteur, PVK st un porteur de trous, Alq₃ est un film moléculaire porteur électronique et aussi électroluminescent. Ces dispositifs n'ont montré aucune luminescence, alors que des dispositifs témoins utilisant Mg comme dernière électrode éclairaient abondamment. Nous pensons que la raison du manque de luminescence vient de la trop grande force avec laquelle l'ablation laser projette le TiC sur le dispositif. Le TiC aurait simplement traversé la couche organique. Il se peut aussi que la couche organique ait été endommagée par le rayonnement à 248 nm. Une manière de résoudre ce problème serait d'utiliser un dispositif de structure inverse bâti sur l'électrode de TiC.

- 2) **L'isoindole comme matériau de OLDE.** Un isoindole hautement substitué a été synthétisé par nos collaborateurs à McGill. La position des niveaux d'énergie (HOMO et LUMO) de cette molécule a été déterminée par des mesures électrochimiques effectuées en solution non-aqueuse. Les niveaux HOMO et LUMO de l'isoindole ont été estimés à 5.49 et 2.29 eV par rapport au vide. Le spectre de fluorescence d'un film mince d'isoindole a un maximum dans le bleu à 447 nm.

Des dispositifs électroluminescents utilisant l'isoindole comme transporteur de trous mais aussi comme transporteur d'électrons ont été réalisés et comparés avec des dispositifs de référence. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les dispositifs dans lesquels l'isoindole agit comme transporteur de trous. Le dispositif dont la séquence est: ITO/Isoindole/Alq₃/Mg a fourni 6200 cd/m² et un rendement de 1.2 photon pour 100 électrons injectés dans le dispositif. Le seuil de luminescence fut obtenu sous 4V. Ces caractéristiques se comparent bien à celles des dispositifs performants. Le spectre de luminescence de ce dispositif indique que toute la luminescence provient de Alq₃, ce qui nous fait dire que dans ces dispositifs, l'isoindole agit exclusivement comme transporteur de trous.

- 3) **Les triarylamines comme matériaux de OLED.** Ce travail a été réalisé à l'Université d'Arizona durant le stage sabbatique du professeur Dodelet. Il a consisté à étudier l'électrochimie et la spectro-électrochimie de plusieurs triarylamines, des molécules connues comme matériaux transportant les trous. Le but était de déterminer quelle était l'influence de la substitution de ces molécules (ajout de substituants électro-donneurs ou électro-attracteurs) sur la position de niveaux d'énergie (HOMO et LUMO) de ces molécules ainsi que sur le temps de vie de leurs radicaux cations produits par l'oxydation électrochimique de ces molécules en milieu non-aqueux. Ces informations sont importantes parce qu'elles ont des implications dans les dispositifs. Les niveaux d'énergie donnent accès aux barrières énergétiques existant aux interfaces entre le film organique et l'électrode ou entre deux films organiques. La longévité des radicaux cations peut-être reliée à la stabilité de l'électroluminescence des dispositifs. Dans les OLEDs à base de films moléculaires, ce sont

en effet les radicaux cations qui acheminent les trous dans le dispositif.

2.2.3.4 L'étude d'oxydes nanocristallin utilisés comme détecteurs ou senseurs (*R.G. Saint-Jacques, A.M. Serventi, M.A. ElKhakani, en collaboration avec D. Rickerby et M.C. Horillo*)

Dans le but de contribuer à l'amélioration de l'efficacité des senseurs et des détecteurs utilisant des films d'oxydes nanocristallins, l'étude de la relation entre la nanostructure et les propriétés de deux oxydes de structure (cubique) où le SnO₂ et l'In₂O₃ a été entreprise. L'étude est principalement réalisée à l'aide de la microscopie électronique par transmission (TEM).

Le SnO₂ est utilisé comme senseur pour surveiller les niveaux du bioxyde d'azote et du monoxyde de carbone présents dans l'atmosphère. La performance d'un matériau senseur dépend des caractéristiques nanostructurées (taille des grains, morphologie superficielle et porosité interne). On vise à améliorer la sensibilité et la sélectivité en variant la pression partielle d'oxygène durant la déposition et la température du substrat ainsi que par traitements thermiques. Le SnO₂ est déposé par pulvérisation réactive magnétron au Centro de Tecnologías Físicas à Madrid et éventuellement par ablation laser à l'INRS.

L'In₂O₃ sert comme senseur pH et est déposé à l'INRS par ablation à l'aide d'un laser excimer pulsé. Les deux oxydes ont la même structure et une morphologie semblable bien que déposé par deux techniques différentes.

2.2.4 Mise en oeuvre de matériaux avancés sous microgravité

Les matériaux avancés jouent un rôle clé dans tous les aspects des domaines économiques d'importance nationale. Quoique la capacité de mettre en oeuvre les matériaux est clairement bénéfique à une foule de secteurs d'activité, plusieurs domaines ne sont pas encore bien compris. Nous utilisons depuis quelques années la microgravité comme un outil important dans l'établissement des relations quantitatives et prédictives cause-effet entre la structure, la mise en oeuvre et les propriétés des matériaux. En effet, plusieurs techniques utilisées pour mettre en oeuvre les matériaux sont fortement influencées par la présence du champs gravitationnel. Ainsi, les expériences réalisées sous microgravité permettent d'étudier rigoureusement des phénomènes qui sont généralement masqués par la présence de la gravité. Utilisant cette approche, plusieurs systèmes de matériaux ont été étudiés incluant les matériaux électroniques et photoniques, les liquides cristaux dispersés dans un polymère, les matériaux poreux d'ingénierie, les cristaux organiques, les matériaux biologiques et les matériaux d'optique nonlinéaire.

2.2.4.1 Développement de matériaux d'optique nonlinéaire

(L.H. Dao, K.J. Parbhakar, M.H. Nguyen, Y. Sun, J.M. Jin, Y. Beaudoin, H. Dittus)

Dans les domaines des ordinateurs, des télécommunications, des senseurs et du stockage de l'information, le besoin d'une plus grande vitesse, d'une plus grande connectivité et d'une meilleure immunité aux interférences électromagnétiques demandera bientôt l'hybridisation (électronique/optique) ou le remplacement des composants électroniques actuels par des composants optiques. Les mérites relatifs des matériaux organiques d'optique nonlinéaire (NLO) comme par exemple leur temps de réponse rapide (femtosecondes), leur grande polarisabilité, la facilité de leur mise en forme et leur coût de revient peu élevé, les rendent très attrayants pour le développement de dispositifs optoélectroniques susceptibles de révolutionner les technologies de communication et de calcul. Quoiqu'il existe plusieurs méthodes pour préparer les matériaux NLO, la possibilité de les façonner en fonction d'applications spécifiques reste primitive car on manque de données structurales et de modèles adéquats permettant de comprendre les mécanismes en jeu comme le processus de « poling » et la relaxation dipolaire, la relation entre le chromophore, le mouvement brownien (réorientation), la mobilité des chaînes de polymères et le volume libre local au voisinage des chromophores. Des travaux de simulation et de la mise en forme de système de matériaux NLO (e.g., polymères) ont été entrepris au cours de l'année avec le support financier de l'Agence spatiale canadienne et du CRSNG. Ces travaux visaient à déterminer les effets de la structure et de la mise en oeuvre sur la stabilité de l'ordre de polarisation et à identifier les mécanismes de relaxation menant à la perte de la nonlinéarité de deuxième ordre. La mise en oeuvre de ces matériaux dans un environnement de microgravité a été aussi réalisée lors de la dernière campagne à Zarm, Brême, Allemagne en juillet 1997 dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire de Zarm. Habituellement la mesure des coefficients de Pockels v_{ij} permet de caractériser les matériaux opto-électroniques. Cependant comme la mesure du coefficient v_{ij} n'est pas suffisamment sensible pour permettre l'analyse des effets de la microgravité, nous avons opté pour la mesure de la relaxation du signal de second harmonique (SH). Les premiers résultats semblent indiquer un effet important de la microgravité sur les propriétés opto-électroniques de ces matériaux.

2.2.4.2 Étude de la cristallisation des protéines et des cristaux organiques sous microgravité par turbidité

(L.H. Dao, M.H. Nguyen, H.H. Mai)

La croissance de cristaux de qualité appropriées aux applications dans des dispositifs est encore plus un art qu'une science. Il est cependant reconnu qu'une meilleure connaissance des premières étapes de la nucléation et de la croissance, nous permettrait d'avoir une meilleure connaissance du processus de cristallisation dans son entier. C'est pourquoi nos études récentes ont porté essentiellement sur les données

physicochimiques qui donnent des informations sur l'origine du cristal comme par exemple les courbes de solubilité et le diagramme de phase. Pour effectuer ces études, nous avons fait appel aux techniques de diffusion de la lumière et, récemment, des neutrons et des rayons X. Les mesures de dispersion statique et dynamique de la lumière permettent, en effet, de déduire les variations de la taille des particules en solution et les interactions entre les molécules. Ces techniques sont cependant limitées aux solutions diluées et requièrent des équipements et des procédures difficilement réalisables dans l'espace. Comme la microgravité offre des possibilités uniques d'exploration de la croissance des cristaux en permettant l'élimination de la sédimentation et des mélanges par convection, il est primordial de développer des techniques in-situ appropriées. C'est pourquoi, récemment, nous avons utilisé une technique de turbidité pour l'étude de la croissance et la formation des aérogels. Cette technique de diffusion est insensible aux diffusions multiples qui se produisent dans les solutions concentrées. Nous l'avons donc étendue à l'étude de la cristallisation sous microgravité des protéines et des cristaux organiques d'optique nonlinéaire. Avec le support financier de l'Agence spatiale canadienne, nous construisons actuellement un système miniature de turbidité composé d'une cellule de mesure de 0.1 mm, de sources de lumière, de spectromètres miniatures et de fibres optiques pour propager la lumière. Nous développons aussi les logiciels de traitement requis à l'étude de la cristallisation des protéines et des cristaux organiques d'optique nonlinéaire.

2.2.5 Nouveaux procédés par plasmas

La synthèse des matériaux avancés nécessite de nouveaux procédés. A l'INRS-Énergie et Matériaux, nous nous intéressons principalement à l'utilisation des procédés plasmas et à l'implantation ionique pour réaliser de nouveaux revêtements, modifier les surfaces ainsi que développer des nanodispositifs.

Les activités « énergie » de l'INRS-Énergie et Matériaux nous ont amené à développer une expertise unique dans le domaine des plasmas. Les activités de recherche concernant les procédés par plasma visent de façon générale l'étude, la maîtrise et les applications de différents types de plasma en vue de leur utilisation dans le traitement, le recouvrement et la modification des propriétés de surface des matériaux à valeur ajoutée et la réalisation de nano-dispositifs. Plus spécifiquement, nos travaux portent sur les modifications de surfaces par plasma, l'ablation laser et l'étude des magnétoplasmas.

2.2.5.1 Modification de surface par plasma

(R. Paynter.)

Il est possible de modifier la surface polymérique par plasma et d'en modifier certaines propriétés. En 1996-1997, nous avons entrepris un nouveau projet afin d'investiguer cette technique. Nous avons effectué l'étude par spectroscopie photoélectronique X de la modification des

surfaces polymérique (polystyrène et polyéthylèneterephthalate) par plasmas froids contenant de l'oxygène ou de l'azote et mesuré l'angle de contact afin de déterminer les changements de mouillabilité. Cette étude avait démontré que la mouillabilité est déterminée par la concentration de groupements polaires à la surface et mis en évidence une tendance à la formation de groupes amides quand un traitement à l'oxygène est combiné à un traitement d'azote.

En 1997-1998, nous avons perfectionné notre capacité d'analyse par spectroscopie photo-électronique X à angle variable (XPS-AV) en mettant au point une méthode d'acquisition de données et un nouvel algorithme pour l'interprétation des résultats. Nous avons ensuite étudié l'évolution temporelle des surfaces traitées par plasmas. Nous avons déterminé que les caractéristiques de mouillabilité étaient affectées par une re-contamination des surfaces métalliques et céramiques et la diffusion des ions vers l'intérieur des polymères.

2.2.5.2 L'ablation laser pour la déposition de couches minces

(M. Chaker, Y. Beaudoin, M.A. Elkhakani, P.-P. Mercier, P. Mérel, S. Moisan, M. Tabbal)

Lors de l'interaction d'un champ laser de faible intensité (10^8 - 10^{12} W/cm²) avec une cible solide, le plasma créé subit une expansion dans la direction perpendiculaire à la surface de la cible. L'interaction de cette « plume » formée de différents types d'espèces (neutres et ions) avec la surface d'un substrat résulte alors en la nucléation et la croissance d'un film sur ce substrat. Cette technique de dépôt de couches minces est connue sous le nom d'ablation laser. Elle permet la réalisation d'une vaste gamme de matériaux (ferroélectriques, semiconducteurs, matériaux tribologiques ou biocompatibles, polymères, etc...) avec un bon contrôle de la composition et l'absence de contaminants. Ses propriétés intrinsèques font qu'en général la composition du film reproduit la stoechiométrie de la cible. Étant donné que l'énergie cinétique des espèces ablatées (neutres et ions) peut être variée sur une très grande gamme dynamique (soit de quelques eV à plusieurs dizaines d'eV) l'ablation laser offre la possibilité d'optimiser la microstructure d'un matériau donné et ainsi produire des matériaux avec des propriétés macroscopiques (optiques, mécaniques, ferroélectriques, etc...) uniques.

Nous avons d'abord développé cette technique de dépôt pour élaborer les couches minces de carbure de silicium nécessaires à la réalisation de masques d'excellente qualité pour la lithographie X. Plus récemment, dans le cadre d'une nouvelle subvention stratégique CRSNG, nous avons étendu, en collaboration avec le Professeur M. Moisan de l'Université de Montréal et le Dr. A. Picard de l'Université Paul Sabatier, les possibilités de la technique d'ablation laser en y adjoignant une source de plasma créé par une onde de surface. L'addition d'une telle source atomique (oxygène, azote et hydrogène) permet le parfait contrôle de la stoechiométrie de matériaux ayant une composition complexe tels que les oxydes et les nitrures.

Récemment, nous avons étudié le dépôt de plusieurs matériaux pour des applications diverses: (i) l'iridium et les carbures de silicium pour la

réalisation des détecteurs électrochimiques, (ii) les ferroélectriques tels que le PZT et les BST pour la réalisation de dispositifs ayant une constante diélectrique élevée, (iii) l'oxyde de l'iridium pour la fabrication d'électrodes et (iv) le carbone adamantin et le nitrure de carbone pour des applications tribologiques.

2.2.5.3 Étude d'un magnétoplasma et application à la gravure sous-micrométrique (A. Aliouchouche, D. Benhabib, M. Chaker, S. Delprat, T.W. Johnston, M. Tabbal, F. Vidal)

Dans le domaine de la microélectronique à ultragrande échelle d'intégration, les contraintes de plus en plus sévères reliées aux procédés de gravure sous-micrométrique ont nécessité récemment la conception de nouvelles sources de plasma dites magnétoplasmas. Ces sources ont généralement en commun un fonctionnement dans un régime très faiblement collisionnel (i.e. des pressions inférieures à 10 mtorr) et la présence d'un champ magnétique statique. Elles permettent de produire des plasmas ayant des degrés d'ionisation élevés (quelques pourcents) et de contrôler d'une manière indépendante le flux et l'énergie des ions arrivant sur les substrats.

Dans ce contexte, nous avons mis au point, en collaboration avec le groupe de Physique des Plasmas de l'Université de Montréal (J. Margot et M. Moisan) un nouveau type de magnétoplasma. Ce magnétoplasma est produit par une source de très grand diamètre (28 cm) qui est entretenue par une onde de surface et à laquelle on a adjoind un confinement magnétique. En utilisant du SF₆, nous avons réussi à graver des couches minces de tungstène de dimensions sous-micrométriques ($\leq 0.2 \mu\text{m}$) et ainsi réaliser des masques pour la lithographie à rayons X dans le cadre d'un projet du consortium canadien en microélectronique, MICRONET.

A la suite de ce projet de recherche, il est apparu clairement que de nombreux travaux restent à faire particulièrement en termes de modélisation du magnétoplasma et de l'interaction plasma-surface. C'est pour cette raison, que nous avons récemment entrepris, dans le cadre d'une nouvelle subvention concertée CRSNG (M. Chaker, J. Margot, J.P. Boeuf et T. Smy), un axe de recherche dont l'objectif ultime est de développer un modèle autocohérent qui permettrait de prédire le résultat de la gravure à partir des conditions d'opération du réacteur. Ce modèle comprend trois volets : la propagation et l'atténuation de l'onde de surface le long du réacteur, la physico-chimie du plasma réactif et l'interaction plasma-matériau durant la gravure.

Ces travaux progressent bien et nous avons pu, lors de la dernière année effectuer une caractérisation complète du plasma de chaleur (densité des espèces chargées, température électronique, concentration des atomes de chaleur, etc.). De plus, un nouveau code de simulation qui tient compte de la physico-chimie du plasma de chlore a été développé.

2.2.6 Implantation ionique

Dans un autre volet de ses activités, le Centre poursuit des recherches visant à modifier les propriétés physico-chimiques de surface de divers matériaux par implantation ionique à l'aide de deux techniques: le bombardement d'ions à l'aide d'un implanteur et l'immersion dans un plasma. Par ces techniques, il est possible d'altérer la topographie et la microstructure des surfaces de façon à en modifier la dureté, la friction, le mouillage, l'adhésion, la biocompatibilité, les propriétés électriques, etc., à créer des barrières thermiques ou de diffusion et à les doper avec des traceurs.

2.2.6.1 Implantation par faisceaux d'ions

(D. Bourgoïn, N. Boussaa, M. Chartré, M. Chassé, E. Jean, J. Pelletier, A. Poirier, C. Quian, G.G. Ross, B. Terreault),

Les procédés assistés par faisceau d'ions sont une façon reconnue de modifier les propriétés de surface des matériaux. Nos chercheurs se sont concentrés sur l'irradiation de matériaux isolants par des faisceaux d'ions de faible énergie. Les travaux précédents sur le désorption de gaz par faisceau d'ions ont été utilisés afin de jeter les bases d'une nouvelle activité concernant la caractérisation des polymères par microanalyse nucléaire. Cette caractérisation est particulièrement difficile à cause de la fragilité des polymères. Quatre projets distincts ont été poursuivis en 1997-1998.

- 1) **L'élaboration de nouveaux revêtements:** L'implantation d'azote a été utilisée pour améliorer les propriétés de revêtement de carbone. Ces nouveaux revêtements sont plus résistants à l'irradiation par l'hydrogène ainsi qu'aux températures élevées. Les nouvelles propriétés observées s'expliqueraient par la mise en évidence de liaisons CN. De plus, certains indices laissent présager la formation de liaisons C_3N_4 dans ces revêtements.
- 2) **Microanalyse nucléaire de la surface des polymères:** La microanalyse nucléaire offre l'avantage unique de pouvoir obtenir les distributions en profondeur des éléments constituant les polymères, y compris l'hydrogène. Cependant, l'utilisation de faisceaux d'ions crée des dommages dans les polymères lors de l'analyse. En utilisant l'expertise acquise sur l'étude de la désorption de gaz induite par faisceau d'ions, nous avons mis au point une procédure permettant de remonter à la composition du polymère telle qu'elle était avant les dommages induits par les ions lors de l'analyse.
- 3) **L'effet de l'accumulation de charges électriques en surface lors de l'irradiation d'isolants:** Ce projet n'en est qu'à ses premiers balbutiements. Cependant, nous avons démontré l'influence de la charge accumulée sur le spectre en énergie obtenu par microanalyse nucléaire. De même nous avons des indications que la quantité d'ions implantés est fortement influencée par les charges électriques déposées à la surface des isolants lors de

l'implantation d'ions. D'autre part, la modification des propriétés des surfaces semble plus reliée à la quantité d'ions qu'au nombre d'ions implantés. Nos travaux visent à élucider les mécanismes mise en cause.

- 4) **L'étude de la modification des propriétés de mouillage:** La combinaison de l'implantation basse énergie (~ 3 keV) sous pression partielle (O₂N₂, air, O₂, SF₆, fréon) est un outil de choix pour modifier la mouillabilité des matériaux. Nous avons ainsi pu obtenir des surfaces de polymère très hydrophiles (angles de contact de 0°) ainsi que des surfaces de porcelaine légèrement hydrophobe (> 90°). Dans le dernier cas, il est à noter que les angles de contact ont plus que doublé. Une caractérisation minutieuse des surfaces traitées nous a permis de lever le voile sur les mécanismes responsables de ces modifications. En bref, l'hydrophilicité serait due à l'augmentation du nombre de liens OH alors que l'hydrophobicité serait le fruit d'une désorption de l'oxygène présent en surface suivie d'un étalement d'une couche hydrophobe CH résultante, présente sous forme d'îlots.

2.2.6.2 **Implantation par immersion dans un plasma**

(D. Lafrance, D. Popovici, A. Sarkissian, B. Stansfield, B. Terreault)

L'implantation à l'aide d'un faisceau d'ions se prête mal aux exigences de la production industrielle à grand débit. C'est pourquoi le Centre s'intéresse aussi à l'implantation par immersion, technique émergente mieux adaptée à la production de masse. Afin d'évaluer cette technique, nous avons donc développé durant la dernière année, un prototype de système d'implantation par immersion capable d'implanter des ions produits par des sources gazeuses et solides.

Le nouvel appareil permet de traiter des objets aussi volumineux que 1000 cm³ de façon pratique et rapide, soit moins d'une heure.

Trois projets ont aussi été amorcés afin de déterminer le potentiel de cette technologie. Ces projets incluent:

- 1) **L'essai de la production de diamant sur substrat de cuivre par implantation plasma** (S. Chiu, B. Terreault, A.H. Sarkissian, R.W. Paynter, S. Turgeon)

La fabrication de couches minces de diamant cristallin ouvrirait la voie à une technologie de semiconducteurs à haute température et à haute vitesse. Des indications nous permettent de croire que la «subplantation» par plasma nous permettrait d'atteindre cet objectif. On a obtenu et caractérisé des couches minces de matériau amorphe simili-diamant qui ont des applications intéressantes. Nous n'avons toutefois pas réussi à produire du diamant cristallin.

- 2) **La nanostructuration du silicium par implantation d'hydrogène et/ou d'hélium** (C. Qian, B. Terreault)

On étudie la possibilité de nanostructurer de façon contrôlée la

topographie de surface et les réseaux de cavités dans le silicium. On envisage des applications optiques, microélectroniques (fabrication de substrats (Silicon-On-Insulator), nanomécaniques et chimiques. Une collaboration avec Lucent Technologies a été amorcée. Les expériences de développement d'un procédé à basse température sont terminées et les résultats sont en cours d'analyse. Le recuit à haute température d'échantillons implantés à l'INRS est en cours à Lucent Technologies.

3) Traitement par plasma de surface de l'Al (D. Popovici, M. Bolduc, B. Terreault et coll.)

Certains alliages d'aluminium ont d'excellentes propriétés mécaniques en regard de leur poids, mais une dureté de surface et un coefficient de friction médiocres. On étudie et on compare trois procédés plasma, potentiellement économiques, pour améliorer ces propriétés par implantation d'azote, d'oxygène ou de carbone. Outre les applications mécaniques évidentes, on entrevoit aussi des améliorations aux disques rigides et aux interconnexions microélectroniques. On a obtenu des résultats préliminaires avec l'azote et commencé les implantations d'oxygène.

2.2.7 Chimie des solutions et des colloïdes

La science des colloïdes étudie les milieux composés de particules très fines en suspension dans un liquide, un solide ou un gaz avec un rapport surface/volume très grand. Ces systèmes sont souvent à la base de nombreux nouveaux matériaux. En 1997-98, nos travaux en chimie des solutions et des colloïdes ont porté sur les quatre projets qui suivent.

1) les électrolytes en milieu aprotique (D. Brouillette, J.-F. Côté, J.E. Desnoyers, G. Perron)

Les piles à haute densité d'énergie à base de lithium présentent un grand intérêt industriel à cause de leur forte capacité énergétique. Une des principales applications envisagées est la voiture électrique. Comme le lithium est très réactif, il est nécessaire d'utiliser les solvants aprotiques appropriés dans la préparation du milieu électrolytique de ces piles. Nos travaux ont porté sur la caractérisation de nouveaux solvants aprotiques, sur le développement d'une nouvelle théorie basée sur le modèle de Bjerrum pour les solutions électrolytiques associées et sur la compréhension de la conductivité des électrolytes en milieu aprotique concentré. Ces travaux qui avaient été initiés suite à une subvention du CRSNG se sont poursuivis sous contrat de ACEP Inc.

2) Réactivité des piles au lithium (L. Pelletier, G. Perron)

La sécurité des piles au lithium est l'un des aspects les plus importants à considérer pour leur mise en marché. Nos travaux consistent à analyser la stabilité thermique de toutes les

composantes de l'Accumulateur Electrolyte-Polymère (ACEP) mis au point par Hydro-Québec. Nous utilisons à cet effet un calorimètre adiabatique de Columbia Scientific. Ces travaux sont financés par Hydro-Québec.

3) Perméabilité aux solvants des revêtements protecteurs

(C. L'Archevêque, J.E. Desnoyers, G. Nadeau, L. Pelletier, G. Perron)

Plusieurs vêtements, en particulier des gants, sont utilisés dans l'industrie pour protéger les travailleurs de l'agressivité des solvants organiques. Ces matériaux sont rarement complètement imperméables et ceci est particulièrement vrai lorsqu'on manipule des mélanges de solvants. Ce projet vise à améliorer les techniques de mesure de la perméabilité des matériaux et à développer des modèles pour la prédiction de la perméabilité aux mélanges de solvants. Ces travaux sont subventionnés par l'IRSST.

4) Déposition électrophorétique de polymères sur des métaux

(J.E. Desnoyers, G.Perron, E. Vignola)

Les dispersions colloïdales de polymères se déplacent vers les électrodes en présence d'un champ électrique élevé. Près de l'électrode, il y a floculation de la dispersion et on peut ainsi déposer une couche mince et uniforme de polymère sur l'électrode métallique. Ces recouvrements intéressent l'industrie qui les utilise comme protection contre la corrosion et comme isolant électrique.

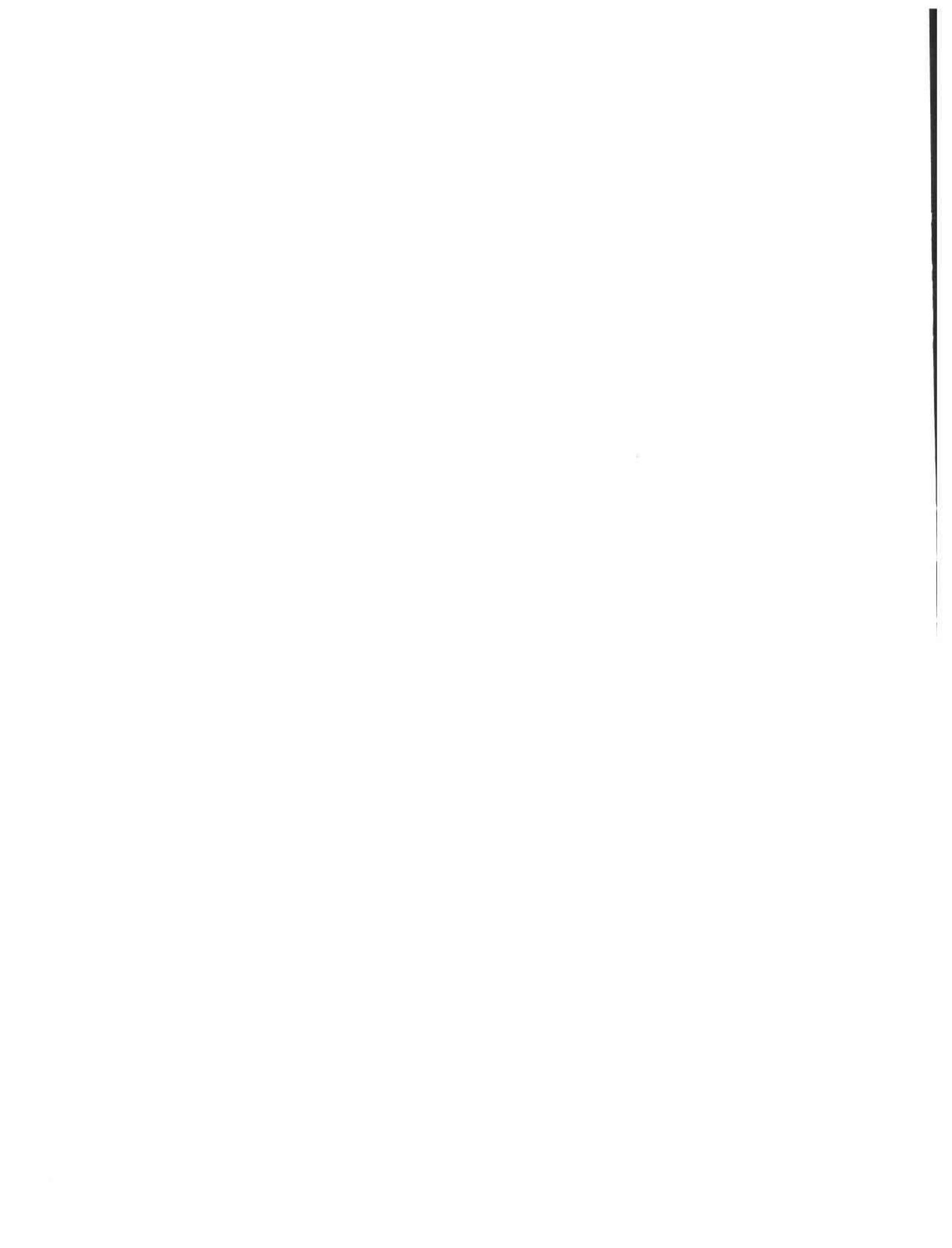
ACTIVITÉS

« INTERACTION
LASER-MATIÈRE »

2.3



Le laser pourrait permettre de créer un canal qui attirerait la foudre et prédéterminerait le chemin de l'arc électrique.



2.3 Activités «interaction laser- matière»

Le centre INRS-Énergie et Matériaux a une longue tradition dans l'interaction laser-matière et plus spécifiquement dans la génération de plasma extrêmement chaud. Les activités comprennent à la fois des études fondamentales, théoriques et expérimentales, et des recherches appliquées. Nous passons maintenant en revue les activités de cet axe de recherche.

2.3.1 Travaux théoriques

2.3.1.1 Simulation «PIC» d'interaction laser-matière avec impulsions ultracourtes (D. Fréchette, J.P. Matte, J.C. Kieffer)

L'interaction d'une impulsion ultrabrève (100 fsec et moins) et très intense (10^{18} - 10^{20} W/cm²) avec une cible mince (15-240 nm) est une source prometteuse de rayons X durs, de durée très brève. Cette interaction est si violente que, pour la simuler, il faut recourir à une description cinétique relativiste où l'anisotropie due au champ est pleinement prise en compte. Un code à particules (dit code « PIC ») permet cette simulation. A l'aide d'un tel code, nous avons calculé l'émission de rayons X qui résulterait d'un tel plasma produit par une impulsion laser ultrabrève de très haute intensité, en tenant compte du Bremsstrahlung (rayonnement de freinage) et de la recombinaison radiative. Les calculs montrent que l'absorption du flux laser est appréciable (environ 10%) et résulte d'un effet de peau anormal qui transfère l'énergie à une minorité d'électrons. Ceux-ci sont fortement accélérés par le champ électromagnétique. La température de la cible atteint 10 keV. Une population minoritaire d'électrons avec une distribution de vitesses très anisotrope atteint des températures encore plus élevées. C'est pourquoi l'émission des X les plus durs (100 keV et plus) est aussi très anisotrope. Nous avons démontré un autre aspect important pour les applications: comme la cible mince se détend très rapidement, la durée de l'émission est extrêmement brève, voire plus courte que celle de l'impulsion laser.

2.3.1.2 Simulations cinétiques liées à la fusion par laser (J.P. Matte et ses collaborateurs)

- 1) **Effets des fonctions de distribution électroniques non-maxwelliennes sur les instabilités paramétriques** (B.A. Afeyan, Polymath Ass, Livermore, Californie; W.L. Kruer, A. Chou, LLNL; R.P. J. Town, Univ. of Rochester; A. Schmitt, Naval Research Laboratory)

Comme l'effort mondial en fusion par laser est très important (deux installations plus d'un milliard de dollars sont en cours de réalisation au U.S.A. et en France) et que L'INRS a des compétences

dans la simulation des phénomènes en jeu, il est opportun pour l'INRS-Energie et Matériaux de participer à ces recherches.

En fusion par laser, la diffusion stimulée du rayonnement laser par les instabilités Brillouin et Raman est un grave souci. Etant donné que les durées d'impulsions sont plus longues (des nanosecondes) et les intensités moindres (environ 10^{15} W/cm²) que dans le cas précédent, un traitement de perturbation de l'effet du champ suffit. Le chauffage collisionnel étant quand même plus rapide que la relaxation par collisions électrons-électrons, il en résulte des fonctions de distribution électronique nettement non-maxwelliennes. Grâce à notre code cinétique électronique « FPI » nous avons simulé ces effets en supposant un faisceau laser comportant de fortes inhomogénéités. Nous avons mis en évidence des distributions non-maxwelliennes dues au chauffage collisionnel et aux effets de transport entre les zones plus ou moins éclairées. Par une analyse en différé « post-processing », nous avons montré que ces fonctions de distribution non-maxwelliennes modifient fortement les propriétés des ondes acoustiques-ioniques et électroniques. La diffusion stimulée de Brillouin est moindre et celle de Raman plus forte que celle produite par un plasma maxwellien de même densité et de même température. Ceci représente un important changement de perspective par rapport aux très nombreux travaux antérieurs qui supposaient presque tous que le plasma était maxwellien.

2) **Simulations de décharges capillaires pour l'analyse chimique**

(G. Petrov, J.P. Matte (INRS), J. Margot, J. Hubert (UdeM), C.M. Ferreira, L. Alves, J. Loureiro (Int. Sup. Technico, Portugal)

Ces calculs se font dans le cadre d'une subvention collaborative portant sur l'analyse chimique dans des décharges capillaires micro-ondes à ondes de surface. Des expériences antérieures avaient montré que l'ajout de petites quantités d'azote dans des décharges capillaires d'hélium à pression atmosphérique augmente l'émission de raies des traces de brome introduites dans la décharge. Pour comprendre ce phénomène, nous avons entrepris des simulations collisionnelles-radiatives de décharges mixtes hélium-azote. Le modèle que nous avons élaboré rend compte de l'interaction hélium-azote. En particulier, il reproduit bien la diminution de la population des atomes métastables d'hélium qui a été observé lorsque l'on introduit de l'azote. Les effets sur le brome seront étudiés dans un deuxième temps.

2.3.2 La matière sous haute densité d'énergie

(P. Gallant, Z. Jiang, J.C. Kieffer, H. Pépin, F. Poitras, C. Sirois)

Le laser unique de l'INRS (laser de puissance 2TW à impulsion courte (500 fs)) permet d'amener la matière dans des conditions extrêmes de température et de pression qui jusqu'ici étaient inaccessibles en laboratoire et de faire des études fondamentales de l'état de la matière. Nous poursuivons donc des travaux fondamentaux autour du concept de

plasmas confinés par le rayonnement que nous avons introduit récemment. Ce concept nous permet d'amener la matière à de très hautes densités d'énergie (1000 MJ/g) et rend possible la mesure, avec une précision extrême, de l'équation d'état d'un matériau très chaud et ayant la densité solide. Ces travaux sont réalisés en collaboration avec l'École Polytechnique de Paris et le Commissariat à l'énergie atomique (France).

2.3.3 La femtovision X

(*M. Chaker, C.Y. Côté, Z. Jiang, P. Gallant, J.C. Kieffer, J.P. Matte, D. Fréchette, J.F. Pelletier, H. Pépin, F. Poitras, C. Sirois*)

INRS a développé la source de rayonnement la plus courte et la plus intense dans la gamme des très courtes longueurs d'onde (rayonnement X). Cette activité est la suite naturelle des travaux antérieurs du groupe en interaction laser-matière et cette nouvelle application est le fruit de l'investissement des dernières années en recherche fondamentale. Ces travaux sont aussi supportés par des simulations numériques. La source INRS permet de tester des méthodologies de mesure d'impulsions X femtoseconde et d'aborder les problèmes de dynamique des systèmes complexes (systèmes moléculaires, milieux ionisés) qui mettent en jeu des échelles de temps de l'ordre de grandeur de la femtoseconde (10^{-15} sec) des échelles spatiales de l'ordre de l'Angstrom (10^{-10} m).

2.3.4 Les sources X laser pour la radiologie

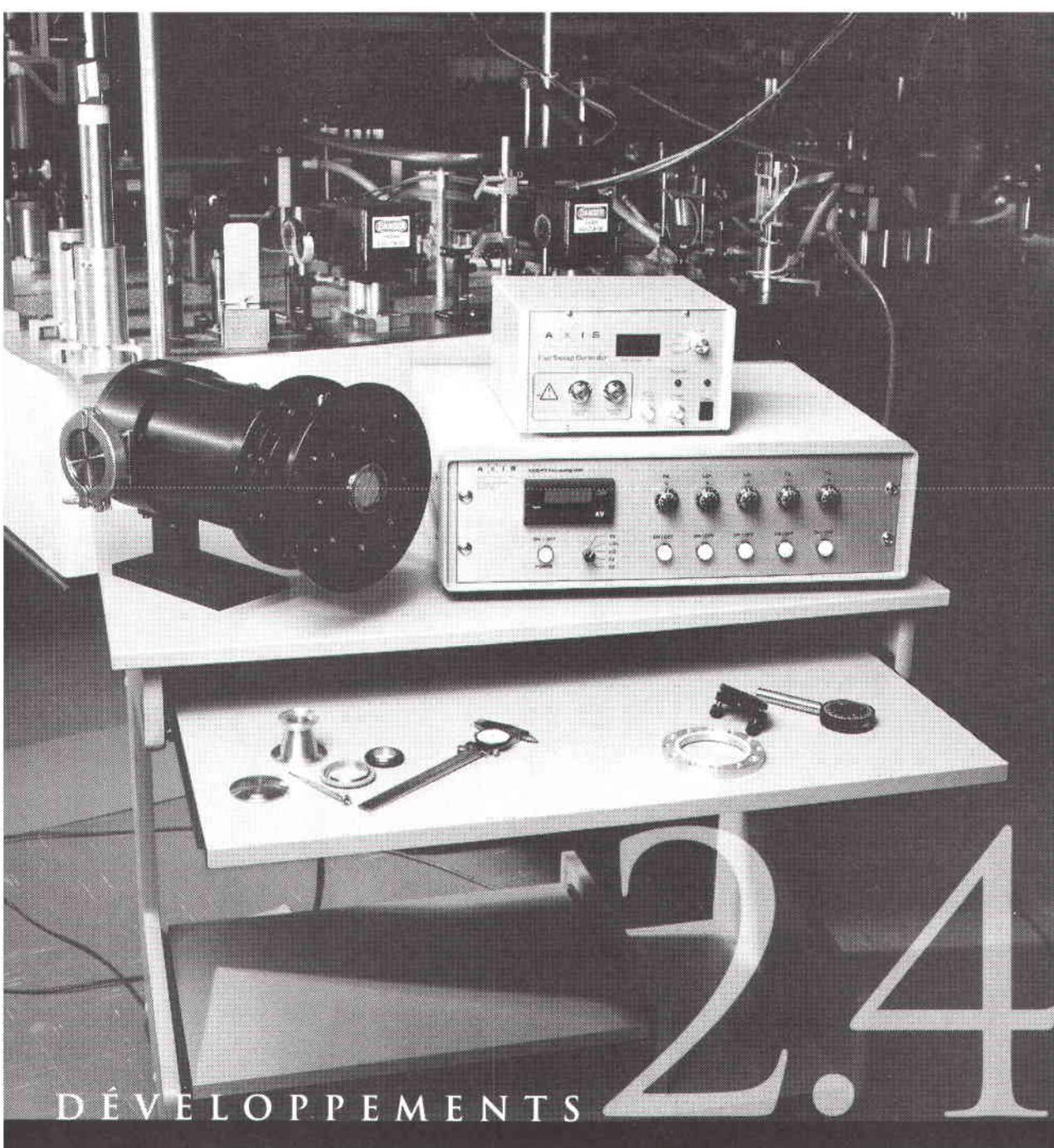
(*J. Yu, Z. Jiang, J.C. Kieffer, F. Poitras, C. Sirois*)

L'avantage des lasers à impulsions courtes est de chauffer la matière avant qu'elle n'ait le temps de bouger. Cette propriété unique est mise à profit pour créer des sources X joint, ayant des diamètres de 10 μm à 20 keV et 35 keV. La dimension de ces sources est 10 fois plus petite que les sources habituellement utilisées en milieu chimique, ce qui permet de réaliser des images X à très haut contraste, de structures complexes (tissus, microcalcifications) avec des résolutions spatiales impossible à atteindre avec toute autre technique. Les applications à la mammographie et l'angiographie cardiaque sont actuellement en cours de développement. Ces travaux sont réalisés en collaboration avec l'Hôpital universitaire de l'Université de New York à Syracuse et avec l'Hôtel-Dieu de Montréal.

2.3.5 La foudre déclenchée par laser

(*T.W. Johnston, B. Lafontaine, J.C. Kieffer, H. Pépin, D. Comtois, A. Deparois, G. Abinader, F. Vidal*)

Le projet de déclenchement contrôlé de la foudre par laser, mené en collaboration avec l'IREQ, consiste, quant à lui, à utiliser une méthode innovatrice pour déclencher de manière contrôlée la foudre afin de tester les équipements et le réseau de transport électrique dans des conditions sévères de foudre et protéger à plus long terme les installations électriques. La méthode consiste à créer en altitude, par laser, un long canal conducteur aux extrémités duquel sont générés de forts champs électriques qui permettent d'amorcer une décharge entre le nuage orageux et le sol dans des conditions précédant la foudre naturelle. Des expériences de guidage de décharges ont été réalisées avec succès à petite échelle. Un nouveau système laser qui représente un investissement majeur pour l'INRS est en cours de construction pour des travaux à plus grande échelle et sera de plus utilisable pour d'autres études telles que l'ablation laser, les études de physico-chimie, la caractérisation de surface et les sources X.



DÉVELOPPEMENTS

2.4

TECHNOLOGIQUES

Les performances de la caméra AXIS-PX retiennent l'attention de plusieurs laboratoires dans le monde.



2.4 Développements technologiques

Dans le cadre de ses préoccupations qui sont d'assurer un impact économique à moyen terme de ses activités, le Centre a entrepris, en collaboration avec des partenaires un certain nombre de développements technologiques. Ces activités s'ajoutent aux contrats d'expertises et au partenariat universités-industries comme moyen de transfert technologique. Elles ont pour but la réalisation de prototypes afin de confirmer le potentiel de certaines découvertes effectuées dans le cadre d'études plus fondamentales. Ce type d'interaction est particulièrement important pour interagir avec les PME qui n'ont pas l'infrastructure requise à la poursuite des développements de haute technologie tout en étant le véhicule privilégié par lequel l'innovation technologique est transférée dans le domaine commercial. Les activités de développements technologiques amorcées en 1996-1997 et sont poursuivies en 1997-1998.

2.4.1 Développement d'instruments X ultrarapides

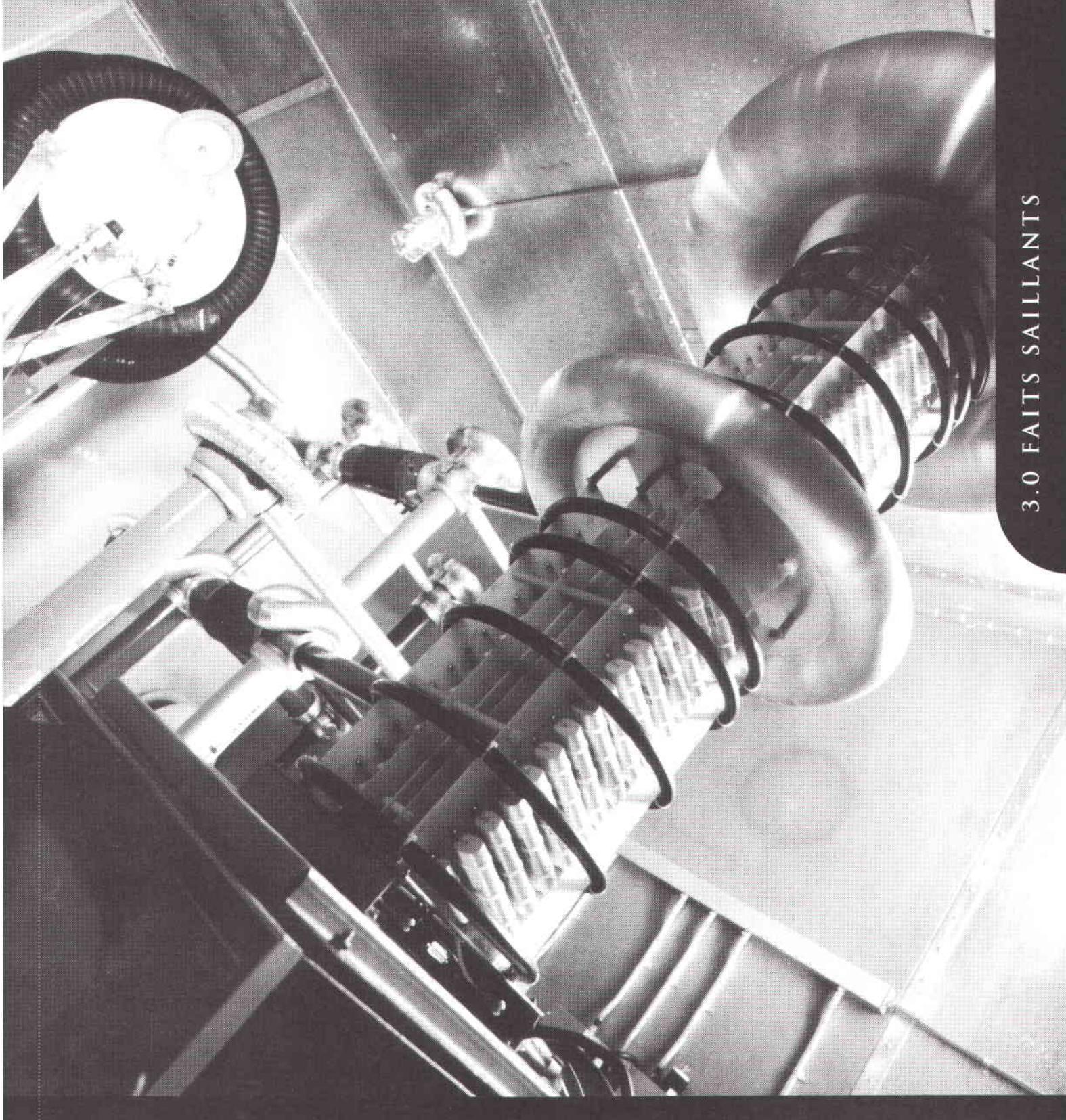
*(C.-Y. Côté, P. Gallant,
J.C. Kieffer, C. Sirois)*

La compréhension des mécanismes physiques en jeu lors de la production d'impulsions X dans la gamme femtoseconde requiert une instrumentation ayant une très grande résolution temporelle. Les techniques nonlinéaires du type autocorrélation sont les mieux adaptées pour atteindre des résolutions femtosecondes. Nous avons récemment développé et utilisé une telle méthode de mesures de la durée d'impulsions des rayons X dans la gamme des keV avec une résolution temporelle de 100 femtosecondes en utilisant un faisceau auxiliaire pour sonder l'absorption lors de la dissociation d'une molécule. Ces méthodes, tout aussi performantes qu'elles soient, ne permettent cependant pas d'obtenir à la fois une résolution temporelle et spectrale. Ce type d'information est toutefois nécessaire pour réaliser la spectroscopie résolue dans le temps aussi bien pour l'analyse des processus physiques gérant la source que pour son utilisation dans les applications de diagnostic X de la structure interne de la matière (EXAFS) et de diffraction X, etc. C'est pourquoi nous avons entrepris de développer une nouvelle génération de caméras à balayage de fente afin de pouvoir l'utiliser pour réaliser la spectroscopie X résolue dans le temps avec une résolution temporelle subpicoseconde et une excellente résolution spatiale. Un premier prototype a été testé avec succès et nous a permis de mesurer pour la première fois des impulsions X de 800 fs. Cette technique a donné lieu à un transfert du laboratoire vers le milieu industriel et la caméra développée à l'INRS est désormais commercialement disponible. Les travaux se poursuivent à l'INRS pour atteindre une résolution temporelle de 400 fs avec des caméras X à balayage.

2.4.2 Étude et développement de micro-électrodes pour la fabrication de détecteurs électrochimiques

*(M. Chaker, M.A.
Elkhakani, B.
Ledrogoff, P.R.M.
Silva)*

Une nouvelle approche a été proposée récemment dans le domaine de l'électroanalyse pour la détection des métaux lourds présents à l'état de trace autant dans les milieux naturels tels que l'eau que dans les matrices biologiques tels que le sang, l'urine ou la chair de poisson. Elle consiste en l'utilisation, comme électrode de travail dans un nouvel instrument d'électroanalyse, récemment mis au point par des chercheurs de l'IREQ-Hydro-Québec, de films de mercure électro-déposés sur des microélectrodes dont les dimensions sont micrométriques. L'objectif du projet de recherche que nous venons d'entreprendre dans le cadre d'une subvention CRSNG Université-industrie, est de développer un nouveau détecteur basé sur cette approche. Le résultat final serait un système de mesures électroanalytiques de très haute performance permettant non seulement d'atteindre un seuil de détection inférieur ou égal au ppt mais aussi fiable, simple d'utilisation, portable et relativement peu onéreux. Lors de l'année 1997-98, les procédés de fabrication de ces microélectrodes ont été mis au point. De nombreux détecteurs ont ainsi pu être produits et ont subi avec succès les tests électrochimiques.



3.0 FAITS SAILLANTS

Laboratoire d'essai du déclenchement contrôlé de la foudre.



3.0

Faits saillants pour 1997-1998

La productivité d'un centre de recherche universitaire est souvent difficile à évaluer; le fruit de ses activités allant de la publication de résultats à la formation d'étudiants en passant par le transfert technologique. Certains indicateurs tels que les collaborations, le financement externe, les publications, le nombre d'étudiants formés témoignent cependant de la qualité et de la pertinence des travaux. Nous présentons ici certains de ces indicateurs qui rendent compte de nos activités en 1997-1998.

3.1 Collaborations et partenariats

L'année 1997-1998 a surtout été marquée par la consolidation de collaborations existantes.

D'abord, le Centre a poursuivi sa participation active au Consortium Canadien Micronet qui travaille à la mise au point de nouvelles technologies en microélectronique. Des discussions avec deux membres industriels de Micronet, soit Gennum et Microtel, ont permis de définir la participation de l'INRS-Énergie et Matériaux en fonction des besoins de l'industrie. Ensuite, en réponse à l'intention confirmée d'Hydro-Québec d'abandonner le domaine de la fusion contrôlée l'INRS-Énergie et Matériaux à un groupe de travail qui avait comme mandat de définir avec l'équipe de TdeV de nouveaux axes d'activités avec des retombées économiques à court et moyen terme. La décision de maintenir ou non un groupe de R-D indépendant dans le cadre d'un nouveau partenariat avec Hydro-Québec sera prise en 1998-1999.

Les partenariats avec: (i) le State University of New York (SUNY) sur la mise au point d'une nouvelle classe de sources X pour les applications médicales, (ii) le consortium Québécois de l'hydrogène qui développe un nouveau type de réservoir pour le transport de l'hydrogène et (iii) l'Hydro-Québec sur le déclenchement contrôlé de la foudre se sont poursuivis selon les échéanciers prévus. Ce dernier partenariat est co-financé par le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) via une subvention importante de 3 M\$ pour trois ans.

En parallèle avec ces partenariats formels, l'INRS-Énergie et Matériaux a collaboré avec plusieurs établissements canadiens et étrangers. Le Tableau 1 donne la liste de ces collaborations.

Durant l'année deux de nos professeurs ont effectué des séjours dans des laboratoires étrangers dans le cadre de congés sabbatiques. Le professeur Jean-Pol Dodelet a travaillé six (6) mois dans le laboratoire du professeur Neal R. Armstrong du département de chimie de l'Université de l'Arizona à Tucson, États-Unis. Le séjour du professeur Dodelet s'inscrivait dans

le cadre des travaux qu'il a récemment entrepris dans le domaine des diodes organiques électroluminescentes et visant à collaborer avec le professeur Armstrong dans un domaine où l'INRS entreprend des

nouveaux travaux.

Le professeur Gregory, quant-à-lui, a passé neuf (9) mois dans le laboratoire de spectroscopie du tokamak FTU (Frascati Tokamak Upgrade) du centre « Centro Ricerche Frascati » de Frascati, Italie. Il a travaillé avec le professeur Danilo Pacella en collaboration avec les équipes de physique atomique du Lawrence Livermore Laboratory et de l'Université John Hopkins sur l'étude du comportement des impuretés dans les plasmas des tokamaks. Ces travaux s'inscrivaient dans la suite des travaux de fusion magnétique contrôlée.

Les deux séjours se sont avérés très fructueux.

Tableau 1

Collaboration nationale	Collaboration internationale
<ul style="list-style-type: none"> ■ Agence spatiale canadienne ■ Hôpital Hôtel Dieu de Montréal ■ Institut de recherche en électricité du Québec (IREQ) ■ Institut des matériaux industriel (IMI) du CNRC ■ Institut des microstructures (IMS) du CNRC ■ Institut Steacie des sciences moléculaire du CNRC ■ Laboratoire de recherche en diversification énergétique (LRDE) de CANMET ■ Université Laval (Institut des biomatériaux) ■ Université Acadia ■ Université d'Alberta ■ Université de Montréal ■ Université du Québec à Trois-Rivières ■ Université du Québec à Montréal ■ Université de Saskatchewan ■ Université de Toronto ■ Université d'Ottawa ■ Université de Sherbrooke 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CEA-Limeil, France ■ Centre national de sciences naturelles et de la technologie, Vietnam ■ Center for Ultrafast Optical Science (CUOS) de l'Université du Michigan, Etats-Unis ■ Centro Ricerche Frascati, Italie ■ Centre Européen de recherche d'Ispra, Italie ■ CNRS - Orsay, France ■ Ecole militaire Royale de Bruxelles, Belgique ■ Ecole Polytechnique de Palaiseau, France ■ Equipe NET-ITER à Garching, Allemagne ■ IBM, Almaden, Etats-Unis ■ Institut Royal de technologie de Stockholm, Suède ■ Institut de physique des plasmas de Jülich, Allemagne ■ Lawrence Livermore National Laboratory, Etats-Unis ■ Laboratory for Laser Energetic, University of Rochester, New York ■ Laboratoire Lebedev à Moscou, Russie ■ Naval Research Laboratory, Washington, DC, États-Unis ■ Polymath Associates, Pleasanton, California ■ Princeton Plasma Physics Laboratory, Etats-Unis ■ University of California, San Diego et Los Angeles, Etats-Unis ■ SUNY State University of New York, Etats-Unis ■ Synchrotron Radiation Center, Madison, Etats-Unis ■ Université de Nancy, France ■ Université Jussieu, France ■ Université Pierre et Marie Curie, France ■ Université Catholique de Louvain, Belgique ■ Postech (Corée): visite du professeur K.H. Lee ■ Université Claude Bernard de Lyon, France

3.2 Résultats scientifiques

La diffusion des connaissances constitue une partie essentielle de la mission d'un institut de recherche. Malgré un contexte difficile, les chercheurs de l'INRS-Énergie et Matériaux ont maintenu en 1997-1998 un niveau élevé de productivité scientifique en publiant 96 articles dans des revues et comptes rendus avec jurys et en présentant 24 communications dans des conférences. L'annexe III donne une liste de ces publications et communications.

En plus, les chercheurs de l'INRS-Énergie et Matériaux ont été impliqués dans deux demandes de brevets qui visent à protéger la propriété intellectuelle des travaux qu'ils ont réalisés sous commandite.

3.2.1 Transferts technologiques

Le transfert technologique fait aussi parti de la mission de l'INRS. Ce transfert peut se faire via l'octroi de licences d'exploitation de la propriété intellectuelle ou du savoir-faire du Centre à des partenaires industriels, via la réalisation de contrats de consultation ou de développements visant à exploiter les nouvelles connaissances acquises dans le cadre d'activités prospectives ou encore, via la formation de scientifiques compétents aptes à jouer un rôle dans l'innovation scientifique et technologique.

En 1997-1998, des travaux réalisés à l'INRS-Énergie et Matériaux sous contrats avec le Laboratoire de diversification énergétique (LRDE) du ministère des Ressources naturelles du Canada ont mené à la création d'une nouvelle compagnie, Spinchem inc., qui assure la production d'un nouveau matériau pour un fabricant québécois d'appareils.

Les compagnies en démarrage qui avaient bénéficié d'un accord de transferts technologiques en 1996-1997, soit Axis Photonique inc. et Qinc ont poursuivi leur développement en 1997-1998 et progressent au rythme prévu dans leur plan d'affaires.

Cette année encore, nos chercheurs ont obtenu un certain nombre de contrats industriels. Les travaux dans le domaine des matériaux énergétiques visant à mettre au point de nouvelles électrodes pour la production industrielle de chlorates et ceux dans le domaine de la chimie des colloïdes qui avaient pour objectif de développer une méthode de caractérisation de composants d'une nouvelle génération de piles se poursuivent selon l'échéancier. De nouveaux contrats ont été obtenus pour mettre au point des façons de rendre conducteurs des plastiques de recyclage, des moyens de déposer des matériaux à haute constante diélectrique par la microélectronique et enfin de réaliser, à des coûts abordables, des revêtements capables de résister aux hautes températures.

L'obtention de ces commandites confirme la préoccupation grandissante des chercheurs de l'INRS-Énergie et Matériaux d'assurer un impact économique aux connaissances acquises par le biais de leurs travaux de recherche.

3.3 Encadrement et enseignement

L'enseignement, la formation et l'encadrement constituent une partie essentielle des activités des professeurs. En cours d'année, les professeurs de l'INRS-Énergie et Matériaux ont encadré 14 étudiants à la maîtrise, 27 étudiants au doctorat et 16 chercheurs postdoctoraux. Onze nouveaux étudiants se sont inscrits aux trimestres été, automne et hiver 1997-1998 soit 5 à la maîtrise et 6 au doctorat. Le nombre représente une diminution de une inscription par rapport à l'an dernier. Tenant compte des tendances actuelles dans l'ensemble des universités, du départ de 4 professeurs et de la fermeture annoncée du CCFM, le nombre de nouvelles inscriptions paraît acceptable même si un plus grand nombre serait souhaitable.

En 1997-1998, 5 étudiants ont déposé leur mémoire de maîtrise, 1 a effectué un passage direct au doctorat alors que 7 autres ont fait le dépôt final de leur thèse de doctorat.

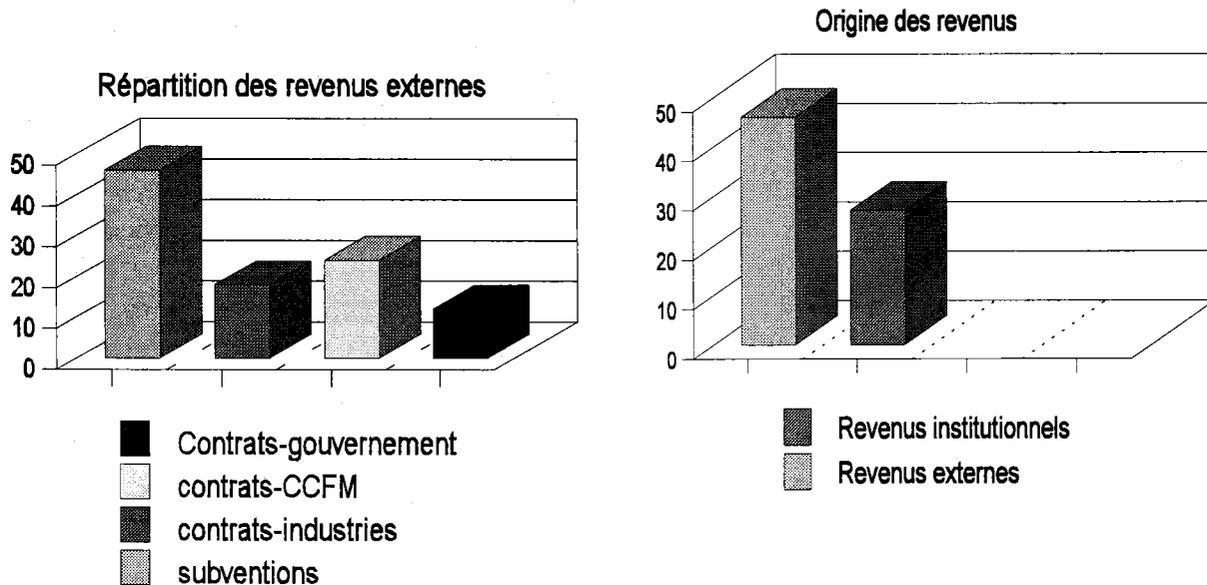
D'après ces statistiques, on constate que l'INRS-Énergie et Matériaux reçoit un nombre élevé de chercheurs postdoctoraux. En fait, 16 chercheurs postdoctoraux ont séjourné au Centre durant l'année. Quatre de ceux-ci ont quitté. L'encadrement de 15 stagiaires de 1er cycle complète la participation de l'équipe de l'INRS-Énergie et Matériaux à la formation de personnel spécialisé. L'encadrement d'un nombre important de chercheurs postdoctoraux et de stagiaires est une conséquence des nombreux partenariats et collaborations du Centre. L'annexe 2 donne la liste des étudiants avec le titre de leur mémoire ou thèse de même que les chercheurs postdoctoraux et les stagiaires.

En cours d'année, des discussions ont aussi été entreprises avec l'UQTR afin d'étendre le programme de maîtrise en sciences de l'énergie et des matériaux de l'INRS-Énergie et Matériaux en plus du programme de doctorat. Le Centre a aussi joué un rôle actif via un représentant, le professeur François Martin, auprès de la sous-commission mathématiques, informatique, physique (MIP) de la commission des universités sur les programmes (CUP) qui avait comme mandat de faire des recommandations visant à rationaliser l'enseignement de la physique au Québec.

3.4 Revenus

Les revenus externes provenant des organismes subventionnaires ou des partenaires dans le cadre de contrats sont des indicateurs de performance. En effet, ces revenus reflètent l'évaluation de l'excellence par les pairs dans le cas des subventions d'opération ou stratégique, et l'évaluation de la

Tableau 2

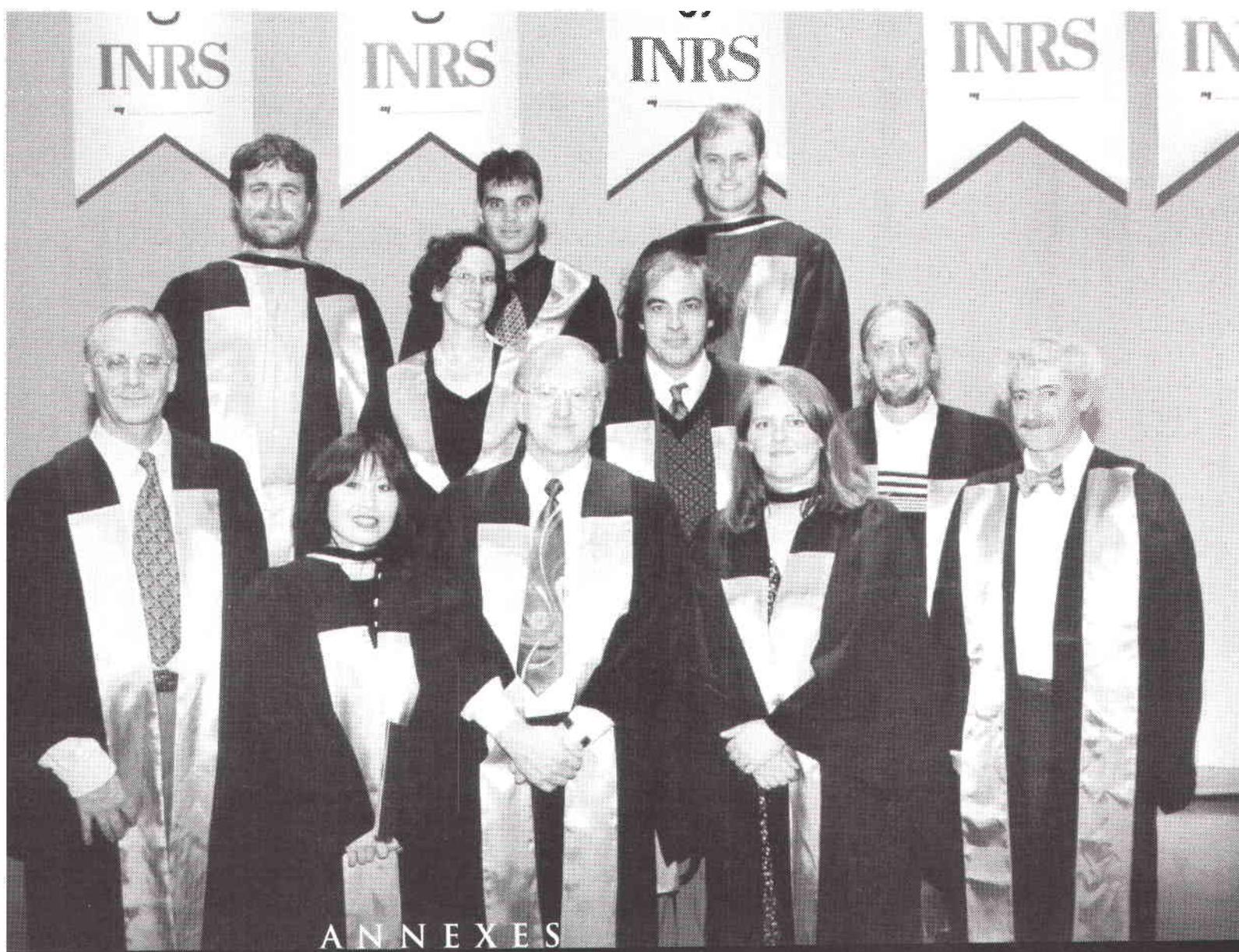


pertinence par les utilisateurs dans le cas des contrats ou des partenariats.

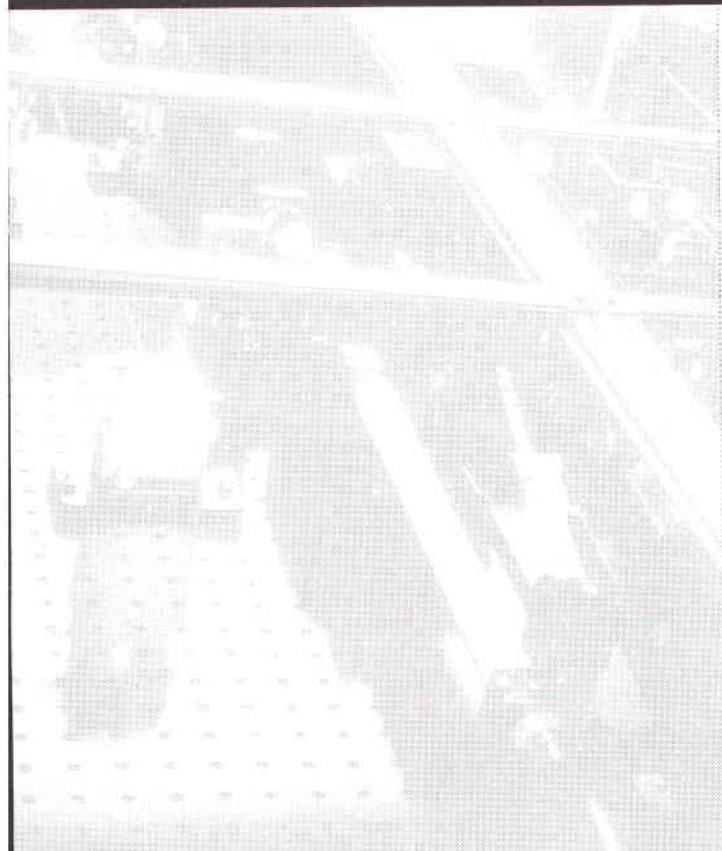
En 1997-1998, les chercheurs de l'INRS-Énergie et Matériaux ont reçu confirmation d'environ 2 100 000,00 \$ de subventions et de 2 500 000,00\$ de contrats pour un total de 4 600 000,00 \$. Les revenus institutionnels provenant du MEQ ont diminué à 2 700 000,00\$ suite aux coupures gouvernementales de sorte que maintenant les revenus externes représentent 63% de l'ensemble des fonds confirmés durant l'année.

De façon comparative, comme le montre le Tableau 2, les subventions représentent 46% du revenu externe alors que les contrats gouvernementaux et industriels représentent respectivement 12% et 18% de ces revenus. La part relative provenant du CCFM s'élève quant-à-elle à 24%.

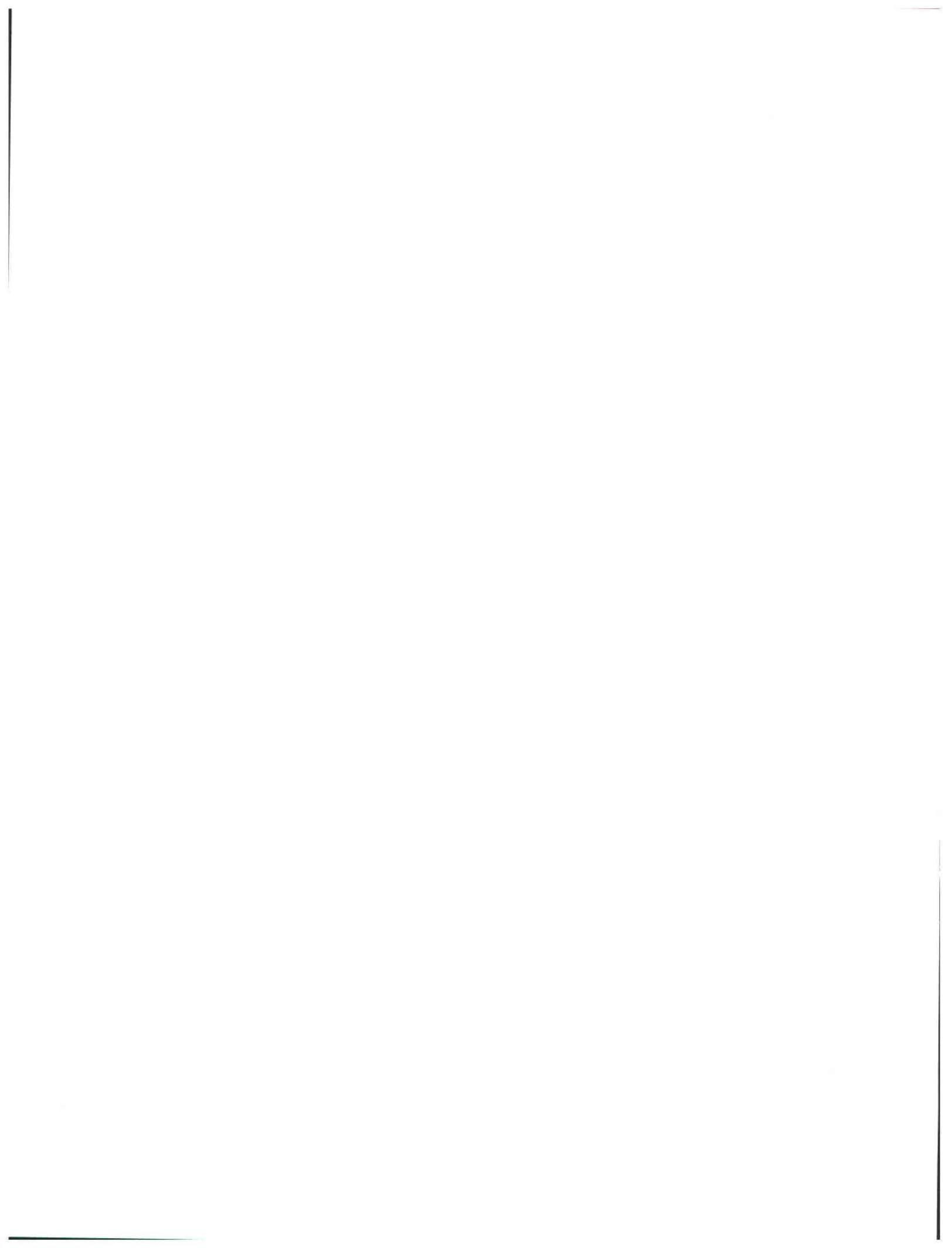
Ce taux d'autofinancement de 63% est particulièrement élevé pour un Centre de recherche et ne pourra probablement être maintenu à long terme sans mettre en péril la vocation universitaire de l'INRS-Énergie et Matériaux. On peut d'ailleurs déjà prévoir une diminution des revenus externes dès l'an prochain suite à la perte de revenus associée au CCFM et au départ de 6 professeurs en 1997-1998. L'arrivée de nouveaux professeurs n'aura un impact que dans quelques années, après que ces nouveaux arrivés se seront bien établis dans le réseau québécois et canadien de la recherche.



ANNEXES



Quelques-uns des diplômés en présence du directeur (au centre) et de professeurs de l'INRS-Energie et Matériaux lors de la Collation des grades 1996-1997 - 1997-1998.



Ressources humaines

Directeur

Monsieur Pierre Lavigne

Professeurs

Yves Beaudoin*
Claude Boucher
Mohamed Chaker
Lê H. Dao
Kenneth Dimoff**
Jean-Pol Dodelet
Brian C. Gregory
Daniel Guay
Tudor Wyatt Johnston
Jean-Claude Kieffer
Gaétan Lafrance
Jean-Marc Larsen
François Martin
Jean-Pierre Matte
Horst D. Pacher
Kanwal Parbhakar**
Royston Paynter
Henri Pépin
Guy Ross
Barry L. Stansfield
Bernard Terreault

Professeurs sous-octroi

Richard Marchand
Andranik Sarkissian

Professeur honoraire

Robert G. Saint-Jacques

* Ont quitté durant l'année

** Retraité

Professeurs invités

- ▶ **François Amiranoff**,
École Polytechnique de France
- ▶ **Daniel Bélanger**,
Université du Québec à Montréal
- ▶ **Pierre-Jean Charles Bertrand**
Université de Nancy-1
- ▶ **Patrick Bertrand**,
Université Catholique de Louvain
- ▶ **Ricardo Camerero**,
École Polytechnique de Montréal
- ▶ **Guido A. Capuano**,
Université du Québec à Montréal
- ▶ **Geneviève Delmas-Patterson**,
Université du Québec à Montréal
- ▶ **Jacques E. Desnoyers**
Québec
- ▶ **Rodney Herring**,
Agence spatiale canadienne
- ▶ **Benoît Jean**
Boucherville
- ▶ **Andrezej Krol**,
Sunny Health Center Syracuse
- ▶ **Kun-Long Lee**,
Pohang University of Science and Technology
- ▶ **Cyrus S. MacLachy**,
Université Acadia
- ▶ **Michel Moisan**,
Université de Montréal
- ▶ **Olivier Peyrusse**,
Centre d'Études de Limeil
- ▶ **François Quirion**,
Qinc
- ▶ **David G. Rickerby**,
Institut des matériaux avancés, Ispra, Italie
- ▶ **Farouk Rizk**
- ▶ **Bernard Spinner**,
CNRS-France
- ▶ **Malek Tabbal**,
Liban
- ▶ **Michael Tandler**,
Suède

Professeurs associés

- ▶ **Richard Bolton**,
Centre canadien de fusion magnétique
- ▶ **Tapan Bose**,
Université du Québec à Trois-Rivières
- ▶ **Richard Chahine**,
Université du Québec à Trois-Rivières
- ▶ **Gilles Champagne**,
Mpulse
- ▶ **Réal Décoste**,
Centre canadien de fusion magnétique
- ▶ **Yves Demers**,
MPB Technologies Inc.
- ▶ **Sophie Ducassy-Hosatte**,
LRDE-CANMET
- ▶ **Louis Gastonguay**,
IREQ
- ▶ **Jacques Goyette**,
Université du Québec à Trois-Rivières
- ▶ **Emile Haddad**,
MPB Technologies Inc.
- ▶ **Jacques Huot**,
IREQ
- ▶ **Jean-Louis Lachambre**,
IREQ
- ▶ **Michel Ladouceur**,
IREQ
- ▶ **Guy LeClair**,
Centre canadien de fusion magnétique
- ▶ **Hubert Mercure**,
IREQ
- ▶ **Christian Moreau**,
Institut des matériaux industriels
- ▶ **Gérard A. Mourou**,
University of Michigan
- ▶ **Jean-Marie St-Arnaud**,
Université du Québec à Trois-Rivières
- ▶ **Mohamed Sabsaby**,
Institut des matériaux industriels
- ▶ **Robert Schulz**,
IREQ
- ▶ **Marten Terman**,
Entreprise X Power du Canada Inc.
- ▶ **Lechoslaw Adam Utracki**,
Institut des matériaux industriels
- ▶ **Ashok K. Vijn**,
IREQ
- ▶ **Karim Zaghieb**,
IREQ

Consultants

Ping He
In Hwan Oh
François Vidal

**Associés de
recherche**

Zine Aidoun*
Ching-Yuan Chien
Roland Côté
Moulay Ali ElKhakani
Zhiming Jiang
Bruno La Fontaine
Denis Lafrance*
Valko Valkov

**Assistants de
recherche**

Eve-Lyne Brouillard
Marie-Chantal Denis
Christiane Jacques
Julien Genois
Minh-Ha Nguyen*
Diane Pinsonneault

**Agents de
recherche**

Gilles Abel
Jean-Claude Grenier
Guy Lebrun
Huu-Hung Mai
Gérard Perron
Georges Veilleux

Agents technique

Etienne Charette
Martin Chartré
Daniel Desroches
Jean-Marc Guay
Pierre-Paul Mercier
Jacques Pelletier*
Léonard Pelletier
François Poitras
Jean-Paul St-Germain

Techniciens

Jacques Bellemare
Claude Guay*
Louise Hudon
Claude Sirois

**Personnel de
soutien**

Danielle Bénard
Robert Dalpé
Alice Hébert
Aline Oleksy
Christiane Savaria
Ginette Vincent

Bâtiment

Sylvain Gingras
Gilles Hébert

- * Ont quitté durant l'année
- ** retraité

Personnel en formation

**Étudiants
inscrits
à la maîtrise**

George Abi-Nader*

Directeur : H. Pépin
Titre du mémoire : « Mesures de densité électronique dans un filament créé par laser »

Djemila Benhabib

Directeur : M. Chaker
Titre du mémoire : «Étude de la physico-chimie d'un magnétoplasma de chlore pertinent pour la gravure sous-micrométrique»

Emmanuelle Bertho

Directeur : G. Lafrance
Titre du mémoire : «Optimisation de la gestion des réservoirs hydroélectriques québécois avec un apport éolien»

Martin Bolduc

Directeur : B. Terreault
Titre du mémoire : «Études tribologiques de l'aluminium traité par plasma»

Daniel Comtois

Directeur : H. Pépin
Titre du mémoire : «Mesures optiques des décharges électriques stimulées par laser»

Sébastien Delprat

Directeur : M. Chaker
Titre du mémoire : «Étude de la gravure de couches minces de carbure de silicium amorphe (a-SiC:H) par des plasmas RF et des magnétoplasmas hautes fréquences»

Alain Desparois

Directeur : H. Pépin
Titre du mémoire : «Mesures électriques des décharges amorcées par laser»

Patrick Forget

Directeur : J.C. Kieffer
Titre du mémoire : «Instrumentation ultra-rapide»

Éric Irissou

Directeur : D. Guay
Titre du mémoire : «Déposition d'alliages nanocristallins par torche à plasma»

Boris LeDrogoff

Directeur : M. Chaker
Titre du mémoire : «Étude et caractérisation de couches minces métalliques pour la réalisation de détecteurs électroanalytiques»

Raafat Mawassi

Directeur : H. Pépin
Titre du mémoire : «Spectroscopie de décharge»

Éric Vachon

Directeur : F. Quirion
Titre du mémoire : «Impact des forces de mouillage sur la propagation des vagues en gravité réduite»

Éric Vignola

Directeur : J.E. Desnoyers
Titre du mémoire : «Étude et caractérisation de couches minces métalliques pour la réalisation de détecteurs électroanalytiques»

Jiangfang Yu

Directeur : J.C. Kieffer
Titre du mémoire : «Medical application of laser based hard X-ray sources»

**Étudiants
inscrits
au doctorat**

Salim Bouaricha

Directeur : D. Guay
Titre de la thèse : «Étude des propriétés de surface des matériaux pour le stockage de l'hydrogène»

Daniel Bourgoïn

Directeur : G. Ross
Titre de la thèse : «Élaboration et caractérisation de matériaux nouveaux pour le recouvrement des parois exposées au plasma dans les réacteurs à fusion»

Dany Brouillette

Directeur : J.E. Desnoyers
Titre de la thèse : «Optimisation des milieux électrolytiques aprotiques pour les piles au lithium»

Marta Cea-Guevara

Directeur : G. Champagne
Co-directeur : J.P. Dodelet
Titre de la thèse : «Évaluation directe et simultanée de contributions capacitive et faradique lors d'un dosage électroanalytique»

Irina Condrea

Directeur : B.C. Gregory
Titre de la thèse : «Étude du transport dans TdeV par une méthode spectroscopique»

Jean-François Côté

Directeur : J.E. Desnoyers
Co-directeur : J.P. Dodelet
Titre de la thèse : «Association d'électrolytes en milieu aprotique»

Nguyet Anh Dang

Directeur : G. Capuano
Co-directeur : D. Guay
Titre de la thèse : «Préparation d'un nouveau catalyseur par l'interdiffusion d'alliage d'aluminium sur le nickel et étude mécanistique du dégagement de l'hydrogène»

Mohamed M. Ennaceur

Directeur : B. Terreault
Titre de la thèse : «Mesures d'interactions plasma-surface dans TdeV»

Guy Faubert

Directeur : J.P. Dodelet
Titre de la thèse : «Catalyseurs pour les piles à combustibles à électrolyte polymère»

Florence Fusalba

Directeur : D. Bélanger
Co-directeur : D. Guay
Titre de la thèse : «Supercapacités électrochimiques à base de polymères conducteurs»

Pascal Gallant

Directeur : J.C. Kieffer
Titre de la thèse : «Développement d'une source X de 300 fs et de l'instrumentation appropriée»

Sylvain Hubert

Directeur : L.H. Dao
Titre de la thèse : «Développement des nouveaux matériaux d'électrodes pour les accumulateurs rechargeables»

Philippe Jacquet

Directeur : Y. Demers
Co-directeur : B.C. Gregory
Titre de la thèse : «Étude du couplage de l'onde hybride inférieure dans le Tokamak de Varennes au moyen d'une antenne à multijonctions»

Céline Khodr

Directeur : B.L. Stansfield
Titre de la thèse : «Structure de la pré-gaine magnétique»

Fernando Méo

Directeur : B.L. Stansfield
Titre de la thèse : «Imagerie spectroscopique dans le déflecteur de TdeV»

- Philippe Mérel**
 Directeur : M. Chaker
 Titre de la thèse : «Étude d'un système hybride LAD-SWD pour le dépôt du nitrure de carbone»
- Minh-Ha Nguyen**
 Directeur : L.H. Dao
 Titre de la thèse : «Caractérisation des propriétés optique et thermique des aérogels organiques de mélamine formaldéhyde»
- Annick Poirier**
 Directeur : G. Ross
 Titre de la thèse : «Étude de l'effet d'irradiation de polymères par faisceau d'ions»
- Chian Qiao**
 Directeur : B. Terreaux
 Titre de la thèse : «Nanoperforation par implantation ionique»
- François Santerre**
 Directeur : J.P. Dodelet
 Titre de la thèse : «Dispositifs organiques électroluminescents»
- Alessandra Servanti**
 Directeur : R.G. St-Jacques
 Co-directeur : D. Rickerby
 Titre de la thèse : «Étude par TEM des films de structure rutile ayant une morphologie nanocristalline poreuse et en colonnes»
- Paulo Roque Martins Silva**
 Directeur : M. Chaker
 Co-directeur : A.K. Vijh
 Titre de la thèse : «Développement et caractérisation de microélectrodes d'iridium pour l'électroanalyse»
- Marc Simard**
 Directeur : R. Marchand
 Co-directeurs : R. Camarero et B.L. Stansfield
 Titre de la thèse : «Modélisation d'un plasma de tokamak par éléments finis sur une maille triangulaire non structurée»
- Olivier Smiljanic**
 Directeur : S. Hosatte
 Co-directeur : J.P. Dodelet
 Titre de la thèse : «Pompes à chaleur à absorption»
- Dominic Tessier**
 Directeur : L.H. Dao
 Titre de la thèse : «Développement de nouveaux textiles médicaux recouverts de polymères conducteurs pour des applications biomédicales»

**Mémoires
déposés**

Stéphane Turgeon

Directeur : R.W. Paynter
Titre de la thèse : «Étude comparative de l'influence du bombardement du carbone et du silicium amorphes hydrogénés par des ions d'hydrogène de faible énergie»

Dominique Villers

Directeur : D. Bélanger
Co-directeur : D. Guay
Titre de la thèse : «Évaluation de la polyaniline et de dérivés de polythiophènes comme matériau d'électrodes pour des supercapacités électrochimiques»

Marie-Chantal Denis

Directeur : J.P. Dodelet
Titre du mémoire : «Piles à combustible à électrolyte polymère: catalyseurs d'anode obtenus par broyage mécanique à haute énergie»
Février 1998

Dominique Fréchette

Directeur : J.P. Matte
Titre du mémoire : «Simulation numérique de l'interaction d'une impulsion laser courte et ultra-intense avec une cible mince»
Mai 1998

Pascal Gallant

Directeur : J.C. Kieffer
Titre du mémoire : «Spectroscopie keV de feuilles minces irradiées à ultra haute intensité avec des impulsions laser sub-ps»
Passage direct au doctorat : juin 1997

Philippe l'Homme

Directeur : F. Quirion
Titre du mémoire : «Propagation des vagues en gravité réduite»
Août 1997

Simona Moisa

Directeur : M. Chaker
Titre du mémoire : «Analyse de l'environnement chimique de couches minces de carbone (a-C) et de nitrure de carbone CN_x déposées par ablation laser»
Septembre 1997

Annick Poirier

Directeur : G. Ross
Titre du mémoire : «Modification des propriétés de mouillage du poly-carbonate par des procédés assistés par faisceaux d'ions»
Novembre 1997

**Dépôt final
de thèses**

Marco Blouin

Directeur : D. Guay
Co-directeur : J.C. Kieffer
Titre de la thèse : «Structure et propriétés des alliages nanocristallins de Ti-Ru-Fe-O»
Avril 1998

Julien Fuchs

Directeur : H. Pépin
Co-directeur : F. Amiranoff
Titre de la thèse : «Interaction laser-plasma en régime relativiste dans le contexte de l'allumeur rapide. Propagation dans les plasmas sous-critiques et sur-critiques»
Avril 1998

James Paul Gunn

Directeur : C. Boucher
Titre de la thèse : «Les sondes planes encastrées dans le déflecteur de TdeV»
Décembre 1997

Andronique Ioannidis

Directeur : J.P. Dodelet
Titre de la thèse : «Transport de charges dans des films minces de phtalocyanines contenant un métal trivalent»
Novembre 1997

Joëlle Mailloux

Directeur : B. Terreault
Titre de la thèse : «Étude de la dissipation de puissance micro-ondes dans le plasma de bord devant l'antenne hybride inférieure de TdeV»
Septembre 1997

Deborah Poirier

Directeur : C. Boucher
Titre de la thèse : Validation de la vitesse de l'écoulement d'un plasma à l'aide de sondes électrostatiques par la fluorescence induite par laser»
Avril 1998

François Schiettekatte

Directeur : G. Ross
Co-directeur : B. Terreault
Titre de la thèse : «Modification induite par laser et par faisceau d'ions de profils d'hydrogène, du deutérium et de l'hélium implanté dans les matériaux»
Juillet 1997

**Chercheurs
postdoctoraux**

Monsieur Ahcène Aliouchouche*

Programme Plasma-matériaux
En collaboration avec le professeur M. Chaker

Monsieur Bilal Baradie

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec les professeurs J.-P. Dodelet et D. Guay

Monsieur Nacer Boussaa

Programme Fusion
En collaboration avec le professeur G. Ross

Madame Sylvie Calas

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur L.H. Dao

Monsieur Serge Gauvin

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur J.-P. Dodelet

Monsieur Rahul Patil

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur L.H. Dao

Monsieur Rahul Petrov

Programme Plasma-matériaux
En collaboration avec le professeur Jean-Pierre Matte

Monsieur Dan Popovici

Programme Fusion
En collaboration avec le professeur B.L. Stansfield et co-direction avec le professeur B. Terreault

Monsieur Hajanirina Razafitrimo

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur D. Guay

Monsieur Lionel Roué

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur D. Guay

Monsieur Stéphane Simard

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur D. Guay

Monsieur Juan-José Sunol Martínez

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur D. Guay

Monsieur Maleck Tabbal*

Programme Plasma-matériaux
En collaboration avec le professeur M. Chaker

Monsieur François Tran-Van

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur L.H. Dao

Stagiaires

Monsieur Yann Von Kaenel

Programme Plasma-matériaux
En collaboration avec le professeur M. Chaker

Monsieur Hong Wang*

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur D. Guay

Mme Sun Yue*

Programme Matériaux et procédés énergétiques
En collaboration avec le professeur L.H. Dao

Madame Thanh Nha Banh

Programme Sciences des interfaces
Sous la direction de monsieur G. Perron

Madame Annie Bercier

Programme Matériaux et procédés énergétiques
Sous la direction du professeur D. Guay

Monsieur Martin Bolduc

Programme Fusion
Sous la supervision du professeur B. Terreault

Madame Marie-Ève Bonneau

Programme Matériaux et procédés énergétiques
Sous la direction du professeur D. Guay

Madame Milaine Chassé

Programme Fusion
Sous la direction du professeur G. Ross

Madame Patricia Déry

Programme Fusion
Sous la direction du professeur R.W. Paynter

Monsieur Martin Desroches

Programme Plasma-matériaux
Sous la direction du professeur (M. Chaker

Monsieur Éric Irissou

Programme Matériaux et procédés énergétiques
Sous la direction du professeur D. Guay

Monsieur Éric Jean

Programme Fusion
Sous la direction du professeur G. Ross

Madame Cindy L'Archevêque

Programme Sciences des interfaces
Sous la direction de monsieur G. Perron

Monsieur Javier Mansilla

Programme Matériaux et procédés énergétiques
Sous la direction du professeur G. Lafrance

Madame Tania Mouradian

Programme Sciences des interfaces
Sous la direction de monsieur G. Perron

Madame Gabrielle Nadeau

Programme Sciences des interfaces
Sous la direction de monsieur G. Perron

Monsieur Yvan Pelletier

Programme Fusion
Sous la direction du professeur A. Sarkissian

Monsieur Hani Saleh

Programme Plasma-matériaux
Sous la direction du professeur M. Chaker

Monsieur Richard Soucy

Programme Plasma-matériaux
Sous la direction du professeur M. Chaker

Publications et Communications

**Articles publiés
dans des
revues avec
jury**

Airoldi V.T., Borges C.F.M., Moisan M., Guay D., « High optical transparency and good adhesion of diamond films deposited on fused-silica windows with a surface-wave sustained plasma », *Appl. Opt.*, 36(19) (1997) 4400-4402.

Blouin M., Guay D., Huot J., Schulz R., « High energy ball-milled Ti_2RuFe electrocatalyst for hydrogen evolution in the chlorate industry », *J. Mater. Res.*, 12(6) (1997) 1492-1500.

Côté A., Michaud D., Caumartin J., Devillers P., Gauthier Y., Larsen J.M., « Soda - The reduced database for the TdeV tokamak », *Rev. Sci. Instr.*, 68(1) (1997) 955-958.

Côté C.Y., Kieffer J.C., Peyrusse O., « Picosecond time-resolved spectroscopy of a controlled preformed plasma heated by an intense sub-picosecond laser pulse », *Phys. Rev. E*, 56(1) (1997) 992-1000.

Décoste R., Terreault B. et al. (18 auteurs), « Divertor detachment and exhaust on the TdeV Tokamak », *Plasma Phys. Control. Fusion* 38, A121-133 (1997).

Desnoyers J.E., Perron G., « Thermodynamic properties of surfactants », in *Handbook of Surface and Colloid Chemistry*, K.S. Birdi, ed., CRC Press, Chap. 4 (1997)

Desnoyers J.E., Perron G., « Treatment of excess thermodynamic quantities for liquid-mixtures », *J. Sol. Chem.*, 26(8) (1997) 749-755.

ElKhakani M.A., Chaker M., O'Hern M.E., Oliver W.C., « Linear dependence of both the hardness and the elastic modulus of pulsed laser deposition a-SiC films upon their SiC bond density », *J. Appl. Phys.*, 82(9) (1997) 4310-4318.

Gunn J.P., Boucher C., Desroches D., Robert A., « Operation of flush-mounted probes in the TdeV tokamak », *Rev. Sci. Instr.*, 68(1) (1997) 404-407.

Ioannidis A., Dodelet J.P., « Hole and electron transport in chloroaluminum phthalocyanine thin films », *J. Phys. Chem. B*, 101, 5100-5107 (1997).

Ioannidis A., Dodelet, J.P., « Hole mobilities in trivalent metal phthalocyanine thin films:2. Anomalous Mobility tempera dependence in the low-temperature region 213-93K for chloroaluminium, chlorogallium and chloroindium phthalocyanine thin films », *J. Phys. Chem. B.*, 101, 901-907 (1997).

Ioannidis A., Dodelet J.P., « Hole mobilities in trivalent metal phthalocyanine thin films: 1. Activated charge transport in time-of-flight measurements between 333 and 213 K for chloroaluminum phthalocyanine films with various amounts fo disorder », *J. Phys. Chem. B.*, 101, 891-900 (1997).

- Jin S., Van Neste A., Ghali E., Guay D., Schulz R., « Electrocatalytic performance of nanocrystalline Ti-Ru-Fe-Cr-O cathodes in chlorate electrolyte », *Materials Science Forum*, 235-238 (1997) 923-928.
- Johnston T.W., Vidal F., Fréchette D., « Laser-plasma filamentation and the spatially periodic nonlinear Schrödinger equation approximation », *Phys. Plasmas*, 4(5) (1997) 1582-1588.
- Krol A., Ikhlef A., Kieffer J.C., Bassand D., Chamberlain C.C., Jiang Z., Pépin H., Prasad S.C., « Laser-based microfocused X-ray source for mammography: faisability study », *J. Med. Phys.*, 24 (1997) 725-732.
- Kukushkin A., Pacher H.D., Baelmans M., Coster D., Janeschitz G., Schneider R., « 2D modeling of radiating divertor regime for ITER », *J. Nucl. Mater.*, 241 (1997) 268-272.
- Kukushkin A., Pacher H.D., Coster D., Janeschitz G., Reiter D., Schneider R., « 2D modelling of the edge plasma in ITER », *Contrib. Plasma Physics*, accepté pour publication (1997)
- Lachambre J.L., Quirion B., Gunn J.P., Boucher C., Stansfield B.L., Gauvreau J.L., « A simple model for biased divertors », *Plasma Phys. Control. Fusion*, 39 (1997) 1997-2019.
- Lafrance D., Huang R., Stansfield B.L., Haddad E., Lachambre J.L., « Modification of the internal electric field by biasing of the divertor plates in the Tokamak de Varennes (TdeV) », *Phys. Plasmas*, 4(10) (1997) 3644-3654.
- Lafrance G., « L'autoroute énergétique en Amérique du nord: est-ce la panacée pour les Canadiens? », *La Revue de l'Énergie*, No. 490 (1997) 543-552.
- Lal A.K., Gordon D., Wharton K., Clayton C.E., Marsh K.A., Mori W.B., Joshi C., Everett M.J., Johnston T.W., « Spatio-temporal dynamics of the resonantly excited relativistic plasma wave driven by a CO₂ laser », *Phys. Plasmas*, 4(5) (1997) 1434-1447.
- Mailloux J., Demers Y., Fuchs V., Goniche M., Jacquet P., Boucher C., Côté C., Gunn J., Terreault B., Bibet P., Froissard P., Guilhem D., Rey G., Tareb M., « Strong toroidal asymmetries in power deposition on divertor and first wall components during LHCD on TdeV and Tore Supra », *J. Nucl. Mater.*, 241-243 (1997) 745-749.
- Maingi R., Terreault B., Haas G., Jackson G.L., Zuzak W., Mahdavi M.A., Wade M.R., Chiu S., Schaffer M.J., Hogan J.T., Klepper C.C., « Comparison of wall/divertor deuterium retention and plasma fueling requirements on the DIII-D, TdeV and ASDEX upgrade tokamaks », *J. Nucl. Mater.*, 241-243 (1997) 672-677.
- Malka G., Fuchs J., Amiranoff F., Baton S.D., Lours L., Miquel J.L., Pépin H., Rousseaux C., « Two hot electron populations generation and channel formation by an ultra relativistic laser pulse in an underdense preformed plasma », *Phys. Rev. Lett.*, 79(11) (1997) 2053-2056.
- Margot J., Chaker M., St-Onge L., Tabbal M., Aliouchouche A., Pauna O., Alinot C., Kliagine C., « High frequency magnetoplasmas in electronegative gases », *J. Physique IV*, 7 (1997) 295-305.

- Meo F., Stansfield B.L., Chartré M., de Villers P., Marchand R., Ratel G., « Spectroscopic imaging system for quantitative analysis of the divertor plasma of the Tokamak de Varennes », *Rev. Sci. Instrum.*, 68(9) (1997) 3426-3435.
- Merel P., Chaker M., Tabbal M., Moisan M., « The influence of atomic nitrogen flux on the composition of carbon nitride thin films », *Appl. Phys. Lett.*, 71(26) (1997) 3814-3816.
- Montcalm C., Sullivan B.T., Ranger M., Pépin H., « Ultrahigh vacuum deposition - reflectometer system for the in situ investigation of Y/Mo extreme-ultraviolet multilayer mirrors », *J. Vac. Sci. Technol. A*, 15(6) (1997) 3069-3081.
- Pacher H.D., Smid I., Federici G., Igitkhanov Y., Janeschitz G., Vieider G., « Erosion lifetime of ITER divertor plates », *J. Nucl. Mater.*, 241 (1997) 255-259.
- Parker R., Janeschitz G., Pacher H.D., Post D., Chiochio S., Ladd P., « Plasma-wall interactions in ITER », *J. Nucl. Mater.*, 241 (1997) 1-26.
- Perron G., Brouillette D., Desnoyers J.E., « Comparison of the thermodynamic and transport properties of lithium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide (LITFSI) with LiClO_4 and Bu_4Nbr in water at 25°C », *Can. J. Chem.*, 75 (1997) 1608-1614.
- Post D., Janeschitz G., Kukushkin A., Pacher H.D., Sugihara M., Mandrekas J., Stacey W., « Progress in resolving power and particle control issues for the International Thermonuclear Experimental Reactor », *Phys. Plasmas*, 4(5) (1997) 2023-2033.
- Post D., Janeschitz G., Kukushkin A., Pacher H.D., Sugihara M., Mandrekas J., Stacey W., « Progress in resolving power and particle control issues for the International Thermonuclear Experimental Reactor », *Phys. Plasmas*, 4(7) (1997) 2631-2641.
- Raffray A.R., Federici G., Barabash V., Pacher H.D., Bartels H.W., Cardella A., Jakeman R., Ioki K., Janeschitz G., Parker R., Tivey R., Wu C.H., « Beryllium application in ITER plasma facing components », *Fus. Eng. Design*, 37 (1997) 261-286.
- Raman R., Martin F., Haddad E., St-Onge M., Abel G., Côté C., Richard N., Mai H.H., Quirion B., Lachambre J.L., Gauvreau J.L., Pacher G.W., Gierszewski P.J., Hwang D.Q., Hirose A., Savoie S., Leblanc B.J., Xiao C., Stansfield B.L., Côté A., Michaud D., Chartré M., « Experimental demonstration of tokamak fueling by compact toroid injection », *Nucl. Fusion*, 37(7) (1997) 967-972.
- Richard N., Terreault B., Haddad E., Gunn J., Abel G., Chiu S., Mai H.H., Zuzak W.W., « Retention of Ne and N_2 in the closed and pumped TdeV divertor with attached and detached plasmas », *J. Nucl. Mater.*, 241-243 (1997) 760-764.
- Rozmus W., Kieffer J.C., « High energy density matter », *Comments on Plasma Phys. & Controlled Fusion*, 18 (1997) 63-70.
- Sarkissian A.H., Cliche L., Paradis E., Leblanc J.B., « Depth profilometry of sputtered Ni ions implanted in Ti using pulsed argon and nitrogen plasmas », *Surf. Coatings Technol.*, 93(2-3) (1997) 314-317.

Schiettekatte F., Ross G.G., Chevarier A., Chevarier N., Plantier A., « Ion beam induced depth profile modification of H, D and He implanted in Be, C and Si » Nucl. Instrum. Methods B, 132 (4) (1997) 607-619.

Stansfield B.L., Meo F., Abel G., Boucher C., Gauvreau J.L., Gunn J.P., Lachambre J.L., Mailloux J., Marchand R., Ratel G., Richard N., Terreault B., Beaudry S., Décoste R., Pacher G.W., Zuzak W., Elder J.D., Stangeby P.C., « Controlled detachment and particle-transport in the divertor plasma in TdeV », J. Nucl. Mater., 241-243 (1997) 739-744.

Terreault B., Richard N., Mailloux J., Abel G., Côté C., Haddad E., Zhang W., Boucher C., Chiu S., Gunn J., Mai H.H., Meo F., Stansfield B.L., Zuzak W.W., « Radiative plasmas in TdeV », J. Nucl. Mater., 241-243 (1997) 755-759.

Ye S.Y., Vijn A.K., Wang Z.Y., Dao L.H., « A new electrocatalyst consisting of a molecularly homogeneous platinum-aerogel nanocomposite », Can. J. Chem., 75(11) (1997) 1666-1673.

Ye S., Vijn A.K., Dao L.H., « A aerogel as a novel support for fuel cell electrocatalysts », Proc. Of Electrode Materials & Processes for Energy Conversion & Storage, Proc. 97-13 (1997) 106-118.

Zhang W., Fall T., Terreault B., Gunn J., Mailloux J., Sarkissian A., Richard N., « Study of power load on TdeV divertor plates with an infrared camera », J. Nucl. Mater., 244(1) (1997) 44-50.

Afeyan B.B., Chou A.E., Matte J.P., Town R.P.J., Kruer W.J., « Kinetic theory of electron-plasma and ion-acoustic waves in nonuniformly heated laser plasmas », Phys. Rev. Lett., 80(11) (1998) 2322-2325.

Bernard J.T., Bernard S., Lafrance G., « La prévision de la demande d'électricité par Hydro-Québec, une approche comparative », Energy Study Review, janvier 1998

Bourque G., Terreault B., « Low-energy random and channeled H ion ranges in Si: Measurements, simulations and interpretation » Nucl. Instrum. Meth. B140, 13-26 (1998).

Brouillette D., Perron G., Desnoyers J.E., « Apparent molar volume, heat capacity and conductance of lithium in glymes and other aprotic-solvents », J. Sol. Chem., 27(2) (1998) 151-182.

Côté R., Lalande G., Faubert G., Guay D., Dodelet J.P., Dénès G., « Non-noble metal-based catalysts for the reduction of oxygen in polymer electrolyte fuel cells », J. New Mater. Electrochem. Syst., 1 (1998) 7-16.

Côté R., Lalande G., Guay D., Dodelet J.P., Dénès G., « Influence of nitrogen containing precursors on the electrocatalytic activity of heat-treated $\text{Fe}(\text{OH})_2$ on carbon black for O_2 reduction », J. Electrochem. Soc., 145 (1998) 2411-2418.

ElKhakani M.A., Chaker M., Le Drogoff B., « Iridium thin films deposited by radio-frequency magnetron sputtering », J. Vac. Sci. Techn. A, 16(2) (1998) 885-888.

Faubert G., Côté R., Guay D., Dodelet J.P., Dénès G., Bertrand P., « Iron catalysts prepared by high-temperature pyrolysis of tetraphenylporphyrins adsorbed on carbon black for oxygen reduction in polymer electrolyte fuel

- cells », *Electrochim. Acta*, 43(3-4) (1998) 341-353.
- Faubert G., Côté R., Guay D., Dodelet J.P., Dénès G., Poleunis C., Bertrand P., « Activation and characterization of Fe-based catalysts for the reduction of oxygen in polymer electrolyte fuel cells », *Electrochim. Acta*, 43 (1998) 1969-1984.
- Fuchs J., Adam J.C., Amiranoff F., Baton S.D., Gallant P., Gremillet L., Héron A., Kieffer J.C., Laval G., Malka G., Miquel J.L., Mora P., Pépin H., Rousseaux C., « Transmission through high overdense plasma slabs with a subpicosecond relativistic laser pulse », *Phys. Rev. Lett.*, 80(11) (1998) 2326-2329.
- Fuchs J., Malka G., Adam J.C., Amiranoff F., Baton S.D., Blanchot N., Héron A., Laval G., Miquel J.L., Mora P., Pépin H., Rousseaux C., « Dynamics of subpicosecond relativistic laser pulse self-channeling in an underdense preformed plasma », *Phys. Rev. Lett.*, 80(8) (1998) 1658-1661.
- Huot J., Bouaricha S., Boily S., Dodelet J.P., Guay D., Schulz R., « Increase of specific surface area of metal hydrides by lixiviation », *J. Alloys Compounds*, 266(1-2) (1998) 307-310.
- Jakubiec B., Marois Y., Sigot-Luizard M.F., Roy R., Dugre F.J., King M.W., Dao L.H., Laroche G., Guidoin R., « In vitro Cellular Response to Polypyrrole-Coated Woven Polyesters Fabrics: Potential Benefits of Electrical Conductivity », *J. Biomedical Materials Research*, 41 (2), 1-8 (1998).
- Lafrance G., « La déréglementation du secteur électrique: Est-ce la fin du procès de l'hydroélectricité », Article invité pour un numéro spécial sur les nouveaux marchés de l'énergie, *Revue de la Chambre de commerce française au Canada*, septembre 1998.
- Lakhsasi A., Pépin H., Skorek A., « Transient thermal stability of the X-ray mask SiC-W under short pulse irradiation simulation », *Simulation Practice and Theory*, 5 (1998) 315-331.
- Marchand R., Simard M., Richard N., Mailloux J., Gauvreau J.L., Décoste R., « Finite-element modeling of impurity transport and radiation in TdeV », *Contributions Plasma Phys.*, 38(1-2) (1998) 248-253.
- Nguyen M.H., Dao L.H., « Effects of processing variable on melamine-formaldehyde aerogel formation », *J. Non-Crystalline Solids*, 225 (1998) 51-57.
- Parbhakar K., Dao L.H., « A fabrication and characterization of polymer dispersed liquid crystal thin films under microgravity environment », *Space Forum 1* (1998), 1-36.
- Roué L., Blouin M., Guay D., Schulz R., « Comparative study of the electrochemical behavior of polycrystalline and nanocrystalline Ru powder in NaOH solution », *J. Electrochem. Soc.*, 145(5) (1998) 1624-1631.
- Sarkissian A.H., Bourque-Viens A., Paynter R.W., Saint-Jacques R.G., Stansfield B.L., « Characterization of diffused ECR plasma-application to pulsed plasma ion implantation of N in Ti », *Surf. Coatings Technol.*, 98(1-3) (1998) 1336-1340.
- Sarkissian A.H., D-NBI Team, « Tokamak de Varenne's diagnostic neutral beam injector », *Rev. Sci. Instrum.*, 69(2) (1998) 923-925.

Schiettekatte F., Ross G.G., Terreault B., « Detrapping and diffusion of H and D implanted in carbon studied by high temperature laser annealing and depth profiling », *Journal of Nuclear Materials* 256 (1998) 78-84.

Shoucri M., Shkarofsky I., Stansfield B.L., Boucher C., Pacher G., Batishchev O.V., Batishchev A.A., Krasheninnikov S.I., Sigmar D.J., « Fokker-Planck simulation of parallel electron-transport in the TdeV tokamak », *Contributions Plasma Phys.*, 38(1-2) (1998) 225-230.

St-Onge L., Margot J., Chaker M., « Characterization of the negative ion fraction in high-density SF₆ magnetoplasmas using ion acoustic waves », *Appl. Phys. Lett.*, 72(3) (1998) 290-292.

St-Onge L., Margot J., Chaker M., « Experimental investigation of a large volume SF₆ magnetoplasma source based on surface-wave propagation », *Plasma Sources Sci. Technol.*, 7 (1998) 154-161.

Tabbal M., Merel P., Moisa S., Chaker M., Gat E., Ricard A., Moisan M., Gujrathi S., « XPS and FTIR analysis of nitrogen incorporation in Cn_x thin films », *Surf. Coating Technol.*, 98(1-3) (1998) 1092-1096.

Tamizhmani G., Dodelet J.P., Guay D., Dignard-Bailey L., « A rapid half-cell technique for the pre-screening of polymer fuel cell catalysts », *J. Electroanal. Chem.*, 444 (1998) 121-125.

Ye S., Vijh A.K., Dao L.H., « Carbonized aerogels-platinum composites as fuel cell electrocatalysts », *J. New Materials for Electrochem. Systems*, 1 (1998) 17-24.

Yip S.H., Guay D., Jin S., Ghali E., Van Neste A., Schulz R., « Structural and electrochemical properties of Ti-Ru-Fe-O alloys prepared by high energy ball-milling », *J. Mater. Res.*, 13(5) (1998) 1171-1176.

**Articles publiés
dans des
comptes rendus
de conférences
avec jury**

Decoste R., Stansfield B.L., Raman, R. et al. (Including Marchand R.) « Divertor Detachment, He exhaust and Compact Toroid Injection on TdeV » 16th IAEA Fusion Energy Conference, Montréal, Canada, 7-11 October 1996. AEEA-CN64/02-1, Vol. 1, 129 (1997).

Denis M.C., Lalande G., Guay D., Dodelet J.P., Huot J., Schulz R., « Preparation of a nanocrystalline CO tolerant catalyst by high energy ball-milling », *Proc. Electrochem. Soc. (Electrode Materials and Processes for Energy Conversion and Storage IV)*, 97-13 (1997) 119-130.

ElKhakani M.A., Chaker M., « Highly conductive and optically transparent polycrystalline iridium oxide thin films grown by reactive pulsed laser deposition », *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, accepté pour publication (1998)

Fournier K.B., May M.J., Pacella D., Gregory B.C., Finkenthal M., Goldstein W.H., « Calculated Radiative Power Losses from Mid- and High-Z Impurities in Tokamak Plasmas » *Atomic Processes in Plasmas*, 11th Topical Conference, AIP Conference Proceedings F. Oks & M. Pindzola, editors, American Institute of Physics, Woodbury, NY., UCRL-JC-130183 (1998).

Fournier K.B., Pacella D., Gregory B.C., May M.J., Mazzitelli G., Gabellieri L., Leigh M., Finkenthal M., Stutman D., Soukanovskii V., Goldstein W.H., « Empirical Evaluation of the Radiative Cooling Coefficient for Krypton Gas in the FTU Plasma », American Physical Society, novembre 1997.

Gallant P., Jiang Z., Fuchs J., Kieffer J.C., Pépin H., Gontier D., Mens A., Blanchiot N., Miquel J.L., Sutton M., « Sub-ps time resolved X-ray spectroscopy of plasmas produced by high intensity ultrashort laser pulses », SPIE Proceedings, 3157 (1997) 10 pages.

Janeschitz G., Boucher D., Chiochio S., Coster D., Federici G., Igitkhanov Yu., Kukushkin A., Martin E., Pacher H.D., Post D., Rensink M., Reiter D., Tognien T., Schneider R., Sugihara M., Tivey R., « Recent Developments for the ITER Power and Particle Control System », Proc. 39th APS Conf. On Plasma Physics, Paper bMoAP31-1, Bull. Am. Phys. Soc. 42, 10 (1997).

Jin J.M., Parbhakar K.J., Dao L.H., « Thermally Induced Phase Separation of a Liquid Crystal in a Polymer under Microgravity Environment » Space Bound 1997 Proceeding of 9th International Symposium on Experimental Methods for Microgravity Materials Science, Montréal, p. 118-126 (1997).

Krol A., Kieffer J.C., Forster E., « Laser driven X-ray source for diagnostic radiology », SPIE Proceedings, 3157 (1997) 156-163.

Kukushkin A., Pacher H.D., Baelmans M., Coster D., Janeschitz G., Reiter D., Schneider R., « Erosion lifetime ITER divertor plates », Proc. 12th Int. Conf. On Plasma Surface Interactions in Contr. Fusion Devices, St. Raphael, J. Nucl. Mat. 241-243, p. 268 (1997)

Marchand R., Simard M. and Pacher G., « Finite element modelling of plasma and impurity transport in the TdeV divertor » 24th European Physical Society Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics (1997).

Parbhakar K., Dao L.H., Jin J.M., Sun Y., « A relaxation of NLO dyes in polymer under microgravity environment », Spacebound 97 Proceedings of 9th International Symposium on Experimental Methods for Microgravity Materials Science, Montréal (1997) p. 163-171.

Pacher G.W., Gauvreau J.L., Décoste R., Gunn J., Marchand R., Martin F., Shoucri M., and the TdeV team, « Effect of divertor geometry and plasma density on helium enrichment on TdeV-96 », in 24rd EPS Conference on Controlled Fusion & Plasma Physics, Berchtesgaden, Germany, 1997, Vol. 21 (1997)

Post D., Hubbard A., Igitkhanov Yu., Janeschitz G., Lingertat J., Loarte A., Pogutse O., Pacher G., Pacher H., Solano E., Sugihara M., Osborne T., Shimada M., Sugihara M., Suttrop W., « H-Mode and density limit operational space for ITER », Paper bMoAP31-2, Proc. 39th APS Conf. On Plasma Physics, Bull. Am. Phys. Soc. 42, No. 10, 1831 (1997).

Raman R., Martin F., Pacher G., Stansfield B.L., Michaud D., Gierszewski P., Pitcher C.S., Lachambre J.L., Côté C., Abel G., Xiao C., Hwang D., Hirose A., McLean H.S., Leblanc B.J., Gauvreau J.L., Richard N., Quirion B., St-Onge M., « CT Fuelling of TdeV », in 24rd EPS Conference on Controlled Fusion & Plasma Physics, Berchtesgaden, Germany, 1997, Vol. 21 (1997)

Rickerby D.G., Horrillo M.C., Serventi A.M., Saint-Jacques R.G., « TEM and HRSEM studies of RF sputtered tin oxide thin films » 21e Congrès de la société italienne en microscopie électronique, sous presse (1997).

Sugihara M., Amano T., Boucher D., Igitkhaniv Yu., Janeschitz G., Pacher H.D., Post D., Yushmanov P., « Erosion lifetime ITER divertor plates », Proc. 12th Int. Conf. On Plasma Surface Interactions in Contr. Fusion Devices, St. Raphael, J.Ncul. Mat. 241-243, p. 299 (1997).

Xiao C., Mitarai O., Hirose A., Zawalski W., White D., Furkal E., McColl D., Raman R., Décoste R., Gregory B.C., Martin F., « Tangential CT injection and 1.5 cycle AC operation experiments on STOR-M », in Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research (16th International Conference, Montreal, 7-12 octobre 1996), Vol. 1 (1997) p. 595.

Jiang Z., Gallant P., Kieffer J.C., Pépin H., Peyrusse O., Miquel J.C., « Isochoric heating of solid density matter with ultra-high intensity femtosecond laser », AIP Proceeding of the Int. Conf. On High Field, Physics, (1998) p. 118-126.

Lafrance G., « Relation entre consommation énergétique des municipalités et densité urbaine », Conférencier invité, Colloque Franco-Québécois sur l'aménagement, la planification et l'énergie, Ressources naturelles Québec, juin 1998.

Marchand R., Meo F. Simard M. et al. « Finite element modelling of D_{α} radiation and impurity transport in TdeV », 13th International Plasma Surface Interaction Conference, San Diego, California, May 18-22 (1998).

Marchand R., Simard N., Richard N., et al, « Finite element modelling of impurity transport and radiation in TdeV » Contribution Plasma Phys. 38, 248 (1998).

Poirier A., Ross G.G., Bertrand P., Wiertz, « Modification of wetting property of polycarbonate by means of ion beam implantation and storage in different gas environments » Atomistic Mechanisms in Beam Synthesis and Irradiation of materials, Mater. Res. Soc. Proc. Vol. 504, 1998.

Communications

Bernard S., Lafrance G., « Toward a deregulated market: Impacts on energy demand modelling and strategic planning for Quebec, IAEE, 13 au 16 mai 1998 (Québec).

Bouaricha S., Guay D., Dodelet J.P., Huot J., Schulz R., « High specific surface area nanocrystalline Mg alloys as hydrogen storage materials », Gordon Research Conference, Hydrogen Metal Systems, Henniker, New Hampshire, juillet 1997.

Bourgoin D., Ross G.G., Turgeon S., Paynter R., « Annealing studies of a-C:H and N implanted a-C:H used as PFCs in tokamaks » 39e congrès de la DPP de l'APS, Pittsburgh (É.-U.), novembre 1997.

Côté, J.-F., Perron G., Desnoyers J.E., Benson C., Lu C.-Y., « The Bjerrum Association Model Applied to the Thermodynamic Properties of Electrolyte Solutions », 25th International Conference on Solution Chemistry, Vichy, France,

septembre 1997.

Denis M.C., Lalande G., Guay D., Dodelet J.P., Huot J., Schulz R., « High energy ball-milling technique: a method to synthesize electrocatalysts for PEFCs », 191st Meeting of the Electrochemical Society, Montréal.

Desnoyers J.E. Choquette, Y., Brissard G., Parent M., Prud'Homme J., Labrèche C., Gravel D., Slougui N., Brouillette D., Perron G., « Nouvelles familles de solvants aprotiques pour les piles au lithium », Journée d'Électrochimie, Montréal, juillet 1997.

El Khakani M.A., Chaker M., Le Drogoff B., « Iridium thin films deposited by rf magnetron sputtering », Eighth Canadian Semiconductor Technology Conference, Ottawa, Ontario, août 1997.

Faubert G., Côté R., Guay D., Dodelet J.P., « Stable Fe-based catalysts for oxygen reduction in polymer electrolyte fuel cells », 191st Meeting of the Electrochemical Society, Montréal.

Janeschitz G., Hubbard A., Igitkhaniv Yu., Lingertat J., Osborne T., Pacher H.D., Pogutse O.P., Post D.E., Shimada M., Sugihara M., Suttrop W., « ITER operation space in terms of Te and ne at the plasma edge », Proc. 24th EPS Conf. On Contr. Fusion and Plasma Physics, Berchtesgaden (1977).

Janeschitz G., Boucher D., Burgess T., Ioki K., Pacher H.D., Parker R.R. Post D., Thome R., Walker C., « ITER physics Basis, machine design and diagnostic integration », Proc. Varenna Symposium on Diagnostics school on diagnostics, Varenna, Sept. 1997.

Kock de L., Janeschitz G., Kukushkin A., Pacher H.D., Ando T., Costley A., Ebisawa K., Sugihara M., Vayakis G., Walker C., « Diagnostic requirements for the ITER divertor », Proc. Varenna Symposium on Diagnostics school on diagnostics, Varenna, sept.. 1997.

Kukushkin A., Pacher H.D., Coster D., Janeschitz G., Reiter D., Schneider R., «Effect of light impurities on the divertor performance in ITER », Proc. 24th EPS Conf. On Contr. Fusion and Plasma Physics, Berchtesgaden (1997).

Lafrance G., « Il y a de l'eau dans le gaz: tant que l'hydroélectricité sera en procès, le gaz en tirera avantage », Journal le Devoir, 13 juin 1997, Article retenu sur la page Web, section Agora du journal Le Devoir dans la Section Énergie environnement, 1997.

Lafrance G., « La place des énergies renouvelables dans le cadre de la mondialisation », Conférence invitée, Colloque de la Chaire en environnement, avril 1998.

Lafrance G., (1997), « Relation entre consommation énergétiques des municipalités et densité urbaine », Conférencier invité, Colloque Franco-Québécois sur l'aménagement, la planification et l'énergie, 10-11 juin.

Lafrance G., (1997), « Peut-on se fier aux prévisions d'électricité? » Conférences du midi à l'IREQ, 4 juin 1997.

Lalande G., Denis M.C., Guay D., Dodelet J.P., Schulz R., « High energy ball milling (HEBM) technique for polymer electrolyte fuel cell applications », Fourth International Symposium on Electrochemical/Chemical Reactivity of

Amorphous and Nanocrystalline Alloys, Dresden, Germany, 8-10 octobre 1997.

Lotado A., Cardella A., Pacher H.D., Ioki K., Smid I., «Effects of the neutral beams shine-through on the first wall of the ITER thermo-nuclear fusion reactor », Proc. 15th UIT National Heat Transfer Conference, Torino, June 1997

Roth J., Pacher H.D., « Analytic equations for erosion of carbon under hydrogen bombardment », Appendix A of J. Roth, Chemical erosion of carbon based materials in fusion devices, Proc. 13th PSI Conference, San Diego, May 1998.

Saint-Jacques R., « Plasma-sprayed tungsten coatings for divertor components », Fusion Canada, Bulletin of the national Fusion Program, Issue 31.

Sarkissian A.H., Lafrance D., Stansfield B.L., Terreault B., « Plasma-based on ion implantation - an advanced surface engineering method for biomaterials » 1er symposium international de biomatériaux avancées (SIBA), 2 au 5 octobre 1997, Montréal.

Schulz R., Lalande G., Huot J., Boily S., Denis M.C., Bouarricha S., Guay D., Dodelet J.P., « Porous nanocrystalline alloys prepared by high energy ball milling » Ismanam 97, Barcelone, 31 août au 5 septembre 1997.

Sugihara M., Federici G., Grisolia C., Loarer Th. Nakamura H., Igitkhanov Yu., Jeneschitz G., Pacher G.W., Pacher H.D., Post D.E. «Modelling of wall pumping, fuelling and associated density behaviour in tokamaks », Proc. 24th EPS Conf. On Contr. Fusion and Plasma Physics, Berchtesgaden (1977).

**Rapports
internes**

Chaker M., Lacasse R., « Développement d'un procédé de fabrication "additif" pour la réalisation de détecteurs électrochimiques basés sur des réseaux de bandes micrométriques », NRG-EM97-649, septembre 1997.

Chaker M., Lacasse R., « Développement d'un procédé de fabrication "soustractif" pour la réalisation de détecteurs électrochimiques basés sur des réseaux de disques ou de bandes tronçonnées micrométriques » NRG-EM97-650, septembre 1997.

Fortier, A., « Traitement anti-buée de verres organiques par implantation ionique et rayonnement UV, NRG-EM97-652, octobre 1997.

Lagacé D., Davignon L., Godin B. (INRS-Urbanisation), « L'implantation ionique: utilisation industrielle et recherche », rapport de recherche présenté à M. Pierre Lavigne, directeur INRS-Énergie et Matériaux, NRG-EM97-656, octobre 1997.

Guay, D., « Study of oxide-based materials for the development of energy efficient cathodes », rapport d'avancement CRSNG-R&D, NRG-EM-653, Novembre 1997.

Pacher H.D. « Startup Power Loads on ITER optimised port limiters », NET Internal Note N/I/3340/4/A, November 1997 (1997).

Côté R., «Matériaux composites moléculaires: Développement de nouveaux matériaux composites de type carbure-nitruure », Laboratoire des technologies électrochimiques et des électrotechnologies d'Hydro-Québec, NRG-EM-655,

décembre 1997.

Pacher H.D., «Rough and preliminary estimate of limiter erosion by sputtering during startup and shutdown », NET Memorandum, Décembre 1997.

El Kahkani M.A., Le Drogoff B., Chaker M., « Description détaillée du procédé de fabrication de senseurs de traces de métaux de base de microélectrodes d'iridium (STM/MI) », NRG-EM98-647 (1998).

Brevets

Champagne G.Y., Ladouceur M., Chevalet J., Chaker M., El Khakani M.A., « Method for manufacturing an array of microelectrodes », Brevet no. PCT/CA 97/00236 (1997)

Schulz, R., Lalande G., Huot J., Denis M.C., Liang G., Van Neste A., Guay D., Dodelet J.P., « Leached nanocrystalline materials, process for manufacture of the same, and use thereof in the energetic field » Brevet déposé.

Séminaires

6 juin 1997

Monsieur Mikhail Sorin

Laboratoire de recherche en diversification énergétique - CANMET
« Analyses énergétiques des procédés industriels et machines thermiques »

28 août 1997

Monsieur E.J.M. van Heesch

Département de génie électrique
Eindhoven Technical University, Netherland
« Pulsed corona applications to treatment of toxic gases and water »

3 septembre 1997

Monsieur Marc Nantel

CUOS - Université du Michigan
« Interaction laser-matière à 100 fs: rayons X et ions rapides »

21 novembre 1997

Monsieur Julien Fuchs

Étudiant au doctorat
INRS-Énergie et Matériaux
« Contributions à la physique de l'allumeur rapide: interaction laser plasma à très haute intensité dans la matière très sur-critique »

28 novembre 1997

Monsieur Roger Bérubé

Directeur principal R&D et directeur IREQ
« Plan stratégique d'Hydro-Québec 1998-2002 »

20 février 1998

Monsieur Robert Beaudoin

Gendarmerie Royale du Canada
« Le blanchiment d'argent »

12 mars 1998

Monsieur Bedros Afeyan

Polymath Associates Livermore, California
Département de Physique
University of Nevada, Reno
« Kinetic Theory Imprints on the walls of Hohlräume and pinholes »

13 mars 1998

Monsieur Bedros Afeyan

Polymath Associates Livermore, California
Département de Physique

University of Nevada, Reno
« Harnessing fusion energy in the 21st Century: (mostly) classical physics is a good thing of the future »

17 avril 1998

Mme Nathalie McCarthy

Université Laval

« Réseaux apodisants pour le contrôle des modes de laser à semiconducteurs »

24 avril 1998

Monsieur Luc Bissonnette

Centre de recherches pour la défense Valcartier

« Télédiction LIDAR des paramètres atmosphériques »

1er mai 1998

Monsieur Ervin B. Podgorsak

Medical Physics

University McGill

« Medical physics : Science and practice »

5 mai 1998

Madame Djemila Benhabid

Étudiante à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Étude d'un magnétoplasma pour la gravure »

Monsieur Sébastien Delprat

Étudiant à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Gravure ionique de matériaux dans un magnétoplasma d'argon »

Monsieur Boris Le Droff

Étudiant à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Étude et caractérisation de couches minces métalliques pour la réalisation de détecteurs électroanalytiques »

Monsieur Éric Vignola

Étudiant à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Les latex »

Madame Emmanuelle Bertho

Étudiante à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Optimisation de la gestion des réservoirs hydroélectriques québécois avec un apport éolien »

Monsieur Éric Vachon

Étudiant à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Simulation de la réponse des liquides aux perturbations pulsées: gravité et mouillabilité »

Madame Jianfang Yu

Étudiante à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Laser-based hard X-ray source for the medical application »

Monsieur Daniel Comtois

Étudiant à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Étude de la dynamique des décharges électriques initiées par laser »

Monsieur Alain Desparois

Étudiant à la maîtrise

INRS-Énergie et Matériaux

« Étude paramétrique des décharges électriques initiées par laser à impulsions ultracourtes »

Associations et Comités externes

Claude Boucher

- Membre du comité d'évaluation des programmes de bourses du fonds FCAR
- Membre de la Commission de la recherche de l'INRS

Daniel Bourgoïn

- Membre de la Commission de la recherche de l'INRS
- Membre du Comité d'orientation du Conseil d'administration de l'INRS

Mohamed Chaker

- Membre du Comité FCAR-Équipe

Le H. Dao

- Membre du comité consultatif de l'Agence spatiale canadienne
- Membre du comité d'évaluation des demandes de subventions stratégiques du CRSNG

Jean-Claude Kieffer

- Président du comité de physique du CRSNG
- Organisation de l'atelier « International Workshop on measurements of the Ultrafast Dynamics of Complex Systems with Short Wavelength Radiation »

Gaétan Lafrance

- Membre du comité d'évaluation FCAR au programme des bourses graduées pour le secteur « Énergie » en janvier 1998
- Membre du comité organisateur pour la conférence internationale IAEE 1998 à Québec, Organisateur de session et participant au comité de finance, avril 1998
- Membre invité à participer à la Table nationale de l'électricité (après Kyoto) du gouvernement du Canada, mai 1998 à mai 1999.
- Membre invité à participer à l'études de l'après Kyoto du ministère de l'Environnement

Richard Marchand

- Vice-président division physique des plasmas de l'Association canadienne des physiciens

François Martin

- Membre de la sous-commission sur la physique, les mathématiques et l'informatique de la Commission des universités sur les programmes

Jean-Pierre Matte

- Président de la division plasma de l'Association canadienne des physiciens

Henri Pépin

- Membre du Conseil d'administration de MICRONET

Guy G. Ross

- Représentant canadien sur le comité international pour l'organisation des conférences ICACS (International Conference on Atomic Collisions in Solids)
- Membre du comité international pour les conférences « Ion Beam for Surface Application »

Bernard Terreault

- Membre du comité FCAR d'évaluation des bourses

Comités internes

Comité de programmes

François Martin, président
Lê H. Dao
Mohamed Chaker
Pascal Gallant
Jacques Goyette (représentant de l'UQTR)
Boris LeDrogoff
Aline Oleksy
Guy Ross

Comité de finances

Claude Boucher
Robert Dalpé
Daniel Guay
Pierre Lavigne
Gérald Perron

Comité de sécurité

Robert Dalpé
Pierre-Paul Mercier
Sylvain Gingras
Pierre Lavigne
Léonard Pelletier
Gérald Perron
François Poitras
Guy Ross
C. Sirois
Ginette Vincent
Georges Veilleux

Comité de diversification CCFM

Mohamed Chaker
Daniel Guay

CRIEM - Club de récréation de l'INRS-Énergie et Matériaux

Danielle Bénard, présidente
Louise Hudon, trésorière
Julien Genois, secrétaire

74 membres actifs



Université du Québec

Institut national de la recherche scientifique

INRS-ÉNERGIE ET MATÉRIAUX

1650, boulevard Lionel-Boulet
Case postale 1020
Varenes (Québec) J3X 1S2

Téléphone : (450) 929-8100
Télécopieur : (450) 929-8102
Internet : <http://www.inrs.ca>

INRS - SDIS



X0022858 5