



Conseil national
de recherches Canada

National Research
Council Canada

CNRC-Institut des étalons nationaux de mesure

Rapport des activités 2003-2004

CNRC-NRC



Pour recevoir des exemplaires supplémentaires de ce rapport et d'autres publications de l'Institut des étalons nationaux de mesure, veuillez communiquer avec :

*Agent de communications
Conseil national de recherches Canada
Institut des étalons nationaux de mesure
1200, chemin Montréal, Édifice M-36
Ottawa, Canada
K1A 0R6*

© Conseil national de recherches Canada, 2004
Il est permis de reproduire ce rapport intégralement ou en partie, à condition que la source soit indiquée entièrement.

ISSN 1481-5079
CNRC 46684

CNRC-NRC

CNRC-Institut des étalons nationaux de mesure

<i>Mission et rôle de l'Institut</i>	ii
<i>Avant-propos du directeur général</i>	iii
<i>L'ÉNM et la coopération internationale</i>	v
<i>Système de qualité de l'ÉNM</i>	vii
<i>L'ÉNM et les services à l'industrie canadienne</i>	viii
<i>L'ÉNM et le transfert de technologies</i>	x
<i>Étalons électromagnétiques et de température</i>	
Mesures de puissance électrique	1
Étalons d'électricité	13
Thermométrie	21
<i>Étalons chimiques et mécaniques</i>	
Métrologie chimique	31
Étalons de fréquence et de temps	45
Métrologie mécanique	56
<i>Étalons de rayonnements et d'optiques</i>	
Étalons de rayonnements ionisants	76
Optique	87
Photométrie et radiométrie	96
Systèmes photonique	115

Mission et rôle de l'Institut

En tant qu'institut national de métrologie du Canada, l'ÉNM assure les fondements techniques et infrastructures du système nationale de mesure et renforce ainsi l'innovation et la compétitivité du Canada, soutient le commerce international, et favorise le bien-être social des Canadiens et Canadiennes.

Les programmes de métrologie physique réalisent, maintiennent, améliorent et disséminent les étalons pour les quantités fondamentales de masse, de longueur, de temps, d'électricité, de température et d'intensité lumineuse ainsi qu'un certain nombre d'étalons de mesure dérivés. Le programme de métrologie chimique développe et maintient des capacités de niveau international dans des domaines choisis de l'analyse des traces organiques et inorganiques et fournit des matériaux de référence certifiés.

Au Canada, la possibilité de rattacher toutes les mesures à ces étalons donne les bases d'un commerce loyal, de développements en sciences et en technologie, de l'obtention réussie de la qualité des produits et la démonstration de la conformité aux normes de qualité internationales.

L'ÉNM soutient également l'acquisition de compétences et le développement de technologies dans certains secteurs des sciences, technologies et mesures optiques, ainsi que dans certains secteurs de la technologie de la photonique ayant trait aux ordinateurs haute performance.

Les incertitudes du CNRC

(niveau de confiance de 95%)

dose absorbée	0.010
pression acoustique	5×10^{-5} db
fréquence	1×10^{-13}
longueur	5×10^{-11}
intensité lumineuse	0.01
masse	4×10^{-8}
résistance	4×10^{-8}
température	0.2 mK
force électromotrice	4×10^{-10}

Avant-propos du directeur général

Je suis heureux de présenter ce rapport sur les activités de l'Institut des étalons nationaux de mesure du CNRC pour la période d'avril 2003 à mars 2004. Malgré certains changements, le fort calibre des employés de l'Institut a permis de maintenir un niveau élevé d'excellence et de reconnaissance, qui est clairement évident dans les pages suivantes.

En plus des activités dans les domaines « de base » traditionnels de la métrologie, le plan stratégique de l'IE NM approuvé par le Conseil du CNRC en juin 2002 prévoyait des initiatives dans quatre nouveaux domaines de métrologie : la biotechnologie, les produits de santé naturels, la mesure de la puissance électrique et la nanotechnologie. Le projet en « nouvelles technologies » ayant connu le plus grand succès jusqu'à présent est celui des produits de santé naturels (NHP) du Groupe de la métrologie chimique. On a mis en service du nouveau matériel d'une valeur de 1,65 M \$ et formé une forte équipe qui ont permis à l'IE NM de faire une contribution techniques très considérable aux premiers matériaux de référence certifiés au monde pour l'éphédra. L'équipe a maintenant commencé à produire des matériaux de référence pour le ginseng.

La synergie et la collaboration entre l'IE NM et l'Institut des sciences des microstructures du CNRC demeurent fortes. Ces instituts ont fait d'importantes poussées dans le développement d'un laser femtoseconde à Cr⁴⁺:YAG à verrouillage de modes, dans le cadre d'un projet de mesure de fréquences optiques absolues dans le spectre des télécommunications optiques. Dans le domaine de la photométrie et de la radiométrie, des recherches conjointes ont montré que la réflectance régulière polarisée infrarouge lointain à incidence oblique est une méthode puissante pour l'étude des phonons et d'autres phénomènes dans les couches minces. Treize des 108 articles publiés par l'IE NM dans des revues examinées par un comité de lecture et dans des actes de colloque en 2003 portaient sur ces derniers travaux.

En tant que signataire de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM, l'IE NM s'est engagé à établir un système qualité conforme à la norme de qualité internationale ISO/CEI 17025, s'appliquant aux laboratoires d'étalonnage et d'essais. Pendant la période visée par le rapport, deux groupes de l'IE NM ont fait l'objet de vérifications externes menant à une accréditation formelle; trois autres groupes feront l'objet de vérifications en 2004-2005, et les autres groupes en 2005-2006. Pendant qu'un grand nombre d'employés de l'IE NM étaient très occupés à préparer la documentation du système qualité, plusieurs d'entre eux ont également servi d'évaluateurs techniques aux INM du Brésil, de la France, du Japon, de la Corée, du Mexique et de l'Afrique du Sud.

L'IE NM est toujours très engagé envers le service à la clientèle, la diffusion de renseignements sur la métrologie et la formation. Neuf cent soixante-deux rapports d'étalonnage ont été préparés pour 327 clients, deux cent quatre-vingt-dix clients ont acheté 1490 unités de matériaux de référence certifiés, et on a analysé 2098 échantillons par spectrométrie de masse à décharge lumineuse pour quarante-deux clients. On a présenté des cours très appréciés en métrologie massique, en métrologie dimensionnelle, en métrologie des coordonnées et en étalons de rayonnements ionisants au cours de l'année.

La diversité de nos activités démontre non seulement l'expertise des métrologistes de l'IE NM, mais également leur dévouement à la diffusion de connaissances et de technologies à l'industrie et aux personnes individuelles



James McLaren
Director General (acting)

DIRECTEUR GÉNÉRAL

*M. James W. McLaren, Ph.D.
(intérim)*

DIRECTEURS

*M. Chander Grover, Ph.D.
Étalons de rayonnements
ionisants
Optique
Photométrie et Radiométrie
Systèmes photonique*

*M. James McLaren, Ph.D.
Métrologie chimique
Étalons de fréquence et de
temps
Métrologie mécanique*

*M. Eddy So, Ph.D.
Mesures de puissance
électrique
Étalons d'électricité
Thermométrie*

*M. Jean Lafortune (intérim)
Services à la clientèle
CLAS
Système de qualité*

Bureau du Directeur général

Adjoint administratif	Margaret Lepage	993-7666
Conseiller principal	Bryan Murphy	991-2400
Conseiller principal	Alan Robertson	993-9347
Communications	Alexandra Shaw	998-7128

Administration et Finance

Gestionnaire	Jo-Anne Zahab	990-2046
Adjoint administratif	Gail Richardson	993-7429
Coordonnateur des édifices	Geoff Seguin	990-4461
Agente de planification	Sherry Sharpe	993-0515

Bureaux des Directeurs*Étalons chimiques et mécaniques*

Directeur	M. Jim McLaren, Ph.D.	993-7319
Adjoint administratif	Debbie Black	990-2999

Étalons électromagnétiques et de température

Directeur	M. Eddy So, Ph.D.	990-5806
Adjoint administratif	Jacque Rail	993-2660

Étalons de rayonnements et d'optiques

Directeur	M. Chander Grover, Ph.D.	993-2098
-----------	--------------------------	----------

CLAS / Services à la clientèle

Directeur (intérim)	Jean Lafortune	998-5567
Adjoint administratif	Elizabeth Lambe	993-5976
Système de qualité de l'ÉNM	Christine de Groot	998-7178
	Carlos Maggi	991-4059
Évaluateur technique accrédité	Frank Doucet	993-0159
Évaluateur technique accrédité	Mike Ouellette	993-9619
Évaluateur technique accrédité	Mike Portugais	990-5968

Ressources Humaines

Généraliste	Lorna Jacobs	993-3543
Coordonnatrice de systèmes	Betty Rodriguez	993-3918

L'IÉNM et la coopération internationale

Réduction des obstacles techniques au commerce

Comme les accords de commerce international exigent maintenant une équivalence prouvée entre les étalons de mesure et les systèmes d'accréditation des pays acheteurs et vendeurs, la métrologie est devenue un élément d'importance cruciale pour la réglementation du commerce et pour la résolution des disputes commerciales. Cette situation a mené à la création de coopérations en matière de métrologie à l'appui des accords de commerce régionaux et internationaux, y compris :

- Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation (APLAC), à l'appui de l'APEC
- Asia Pacific Metrology Programme (APMP), à l'appui de l'APEC
- Système de métrologie interaméricain (SIM), à l'appui de la ZLEA
- International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), à l'appui de l'OMC
- Coopération nord-américaine en métrologie (NORAMET), à l'appui de l'ALENA
- Coopération nord-américaine d'étalonnage (CNAE), à l'appui de l'ALENA

L'IÉNM fait partie du SIM, de la NORAMET et de la CNAE, et est membre associé de l'APMP. Il joue également un rôle essentiel pour la participation du Conseil canadien des normes (CCN) à l'APLAC et à l'ILAC. L'IÉNM participe à ces organismes ainsi qu'à environ 150 comités internationaux sous les auspices d'organismes mondiaux comme le Comité international des poids et mesures (CIPM). La comparaison à l'échelle internationale des étalons de mesure est des services d'étalonnage est l'un des principaux éléments de ces activités.

Comparaisons internationales

La fiabilité du système de mesure international dépend des efforts soutenus de chaque institut national de métrologie (INM) pour baser ses mesures et incertitudes de mesure sur des unités acceptées universellement, qui sont ordinairement celles du SI, et pour comparer ses mesures avec celle d'autres INM afin d'établir leur équivalence mutuelle. L'IÉNM, en tant qu'INM du Canada, participe régulièrement à des comparaisons de mesures avec d'autres INM. Dans de nombreux cas, il s'agit de comparaisons multilatérales coordonnées par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) et d'autres organismes comme le SIM et la NORAMET, mais les comparaisons bilatérales sont aussi possibles.

Ces comparaisons ont pour but de s'assurer que les réalisations des unités du SI faites par les INM participants sont équivalentes dans des limites d'incertitude connues, créant ainsi un système de métrologie mondial uniforme. La participation de l'IÉNM permet d'augmenter la compétitivité des industries canadiennes dans le marché mondial.

Afin d'élargir et de documenter la pratique des comparaisons et déclarations d'équivalence, les INM partout dans le monde ont signé un Accord de reconnaissance mutuelle (ARM) sous les auspices du CIPM. L'ARM prévoit la reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des capacités d'étalonnage nationales, y compris les capacités de mesure liées aux matériaux de référence certifiés. On s'attend à ce que cet accord devienne le modèle pour des accords de plus grande envergure concernant le commerce signés par les autorités compétentes de chaque pays ou région. L'ARM a été signé en octobre 1999 par le directeur général de l'IÉNM ainsi que par les directeurs d'INM de 37 autres pays. L'accord compte actuellement comme signataires 49 INM et 2 organisations internationales.

En vertu de l'ARM, les chercheurs de l'IÉNM participent à un plus grand nombre de comparaisons de mesure avec d'autres INM. La planification, la mise en oeuvre, la documentation et l'établissement de l'équivalence entre les INM prennent plusieurs années.

L'ÉNM a participé à la planification ou la mise en oeuvre de quelque 37 comparaisons de ce genre dans ses efforts pour atteindre les buts de l'ARM pendant 2003-2004. De plus, l'ÉNM a participé à la planification ou à la mise en oeuvre de 8 comparaisons effectuées sous les auspices du SIM. L'ÉNM a aussi pris part à la vaste procédure d'examen internationale continue, qui a lieu après les comparaisons, afin de déterminer quelles capacités d'étalonnage et de mesure peuvent être ajoutées à l'annexe C de la base de données des comparaisons clés du BIPM (KCDB), et à la base de données parallèle du SIM, connue sous le nom d'ICDB. La procédure d'examen tient compte des résultats des comparaisons, des systèmes qualité et d'autres preuves pertinentes. L'examen des systèmes qualité comprend l'évaluation par les pairs d'autres INM. Il y a une forte demande pour les chercheurs de l'ÉNM partout dans le monde. Ces derniers ont visité l'Australie, le Japon, la Corée du Sud, l'Afrique du Sud, les États-Unis, le Brésil, la France, le Mexique et la Nouvelle-Zélande pendant la période de référence de l'examen.

En plus de participer à ces activités, l'ÉNM fournit le représentant de la NORAMET auprès du comité technique du SIM et participe à tous les comités consultatifs pertinents du CIPM. Ces activités, qui mènent à une participation directe au plus haut niveau, nous ont permis de protéger et d'améliorer les intérêts du Canada. Cet avantage a des répercussions sur pratiquement toutes les industries canadiennes qui exportent des produits aux pays avec lesquels nous avons conclu un accord, ainsi que sur les acheteurs de produits importés de ces pays.

Systèmes d'accréditation

Le Canada a signé deux ARM internationaux importants se rapportant à l'accréditation des laboratoires, c'est-à-dire ceux de l'APLAC et de l'ILAC. Grâce à ces arrangements, tous les pays signataires reconnaissent maintenant les certificats d'étalonnage émis par les laboratoires évalués par le CLAS et accrédités par le CCN. De la même façon, le CLAS et le CCN reconnaissent les laboratoires accrédités par les autres pays signataires de l'ARM. La participation du Canada dans ces arrangements internationaux et régionaux fournit l'infrastructure nécessaire pour permettre aux produits et services des industries canadiennes d'être acceptés dans un pays client sans avoir à être étalonnés de nouveau.

Traçabilité

La notion de la traçabilité est d'une importance fondamentale pour tout système unifié de métrologie. La traçabilité est définie comme étant la propriété du résultat d'une mesure ou la valeur d'un étalon par lequel il peut être lié à des références précisées (ordinairement des étalons nationaux ou internationaux), par une chaîne continue de comparaisons ayant toutes des incertitudes précisées. Dans la plupart des cas, la référence ultime du résultat d'une mesure est la définition de l'unité appropriée du Système international d'unités (SI). Toutefois, la référence mentionnée est ordinairement un INM, comme le CNRC ou le NIST, ou, plus précisément, un étalon national maintenu par un INM. Il s'agit d'une façon appropriée et pratique d'indiquer la traçabilité, et reflète la chaîne habituelle de comparaisons de mesures (étalonnages) qui existent dans un pays.

Par conséquent, les expressions « traçable au CNRC » ou « traçable au NIST » sont fréquemment utilisées dans les prescriptions réglementaires, dans les contrats, et même dans la publicité. Ces expressions signifient qu'une mesure est liée à une réalisation primaire particulière d'une définition du SI. Le but du SI est toutefois d'offrir un système pratique d'unités pouvant être adopté par tous les pays, qui est fiable et constant à long terme et qui mène à des mesures pouvant être comparées partout dans le monde. L'expression « traçabilité à un INM » est donc en réalité une façon raccourcie de dire la traçabilité au

SI par l'entremise d'un INM. Bien que plusieurs INM aient leurs propres réalisations des unités du SI, le but est toujours le même – de réaliser la définition du SI (ou, dans certains cas, une représentation acceptée comme le volt Josephson). L'incertitude de réalisation de la définition fait partie de l'incertitude d'un étalonnage effectué par un INM et, par conséquent, les mesures prises par différents INM devraient toutes être compatibles les unes avec les autres dans la limite de leurs incertitudes précisées. Cette notion devient de plus en plus importante à mesure que se développent les marchés mondiaux, et remplace graduellement la notion que l'on doit considérer les étalons primaires des pays individuels comme étant des sources de traçabilité indépendantes et distinctes. C'est pourquoi les documents et rapports d'étalonnage de l'IÉNM portent maintenant la mention « traçable au SI par l'entremise du CNRC » plutôt que « traçable au CNRC. »

Systeme de qualite de l'IENM

En tant que signataire de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM, l'IÉNM a pris l'engagement d'établir un système qualité conforme à la norme de qualité internationale ISO/CEI 17025, portant sur les laboratoires d'étalonnages et d'essais. L'ARM prévoyait une période de transition, dont la date limite est du 31 décembre 2003, pour permettre aux INM de se conformer à l'exigence que toutes les capacités en matière d'étalonnage et de mesures (CEM) publiées dans la base de données du BIPM soient appuyées par un système qualité.

Selon les règles de l'ARM, les systèmes qualité doivent faire l'objet d'un examen par l'organisation régionale de métrologie compétente. Dans le cas de l'IÉNM, cette organisation est le SIM, qui a créé un groupe de travail en octobre pour examiner la mise en œuvre des systèmes qualité. Le groupe de travail remet ses conclusions au Conseil du SIM et ce dernier transmet cette information au Comité mixte des organisations régionales de métrologie et au BIPM (JCRB). Le groupe de travail a tenu sa première réunion en juillet 2003 et a établi les procédures du SIM pour approuver la mise en œuvre des systèmes qualité dans les INM. Plusieurs INM du SIM ont soumis leur système qualité pour être approuvé lors de la réunion de février 2004.

En mai 2003, l'IÉNM avait approuvé un plan d'action pour l'accréditation de son système qualité selon la norme ISO/CEI 17025, appuyant toutes ses capacités en matière d'étalonnages et de mesures (CEM). Le plan prévoit trois phases de mise en œuvre menant à la conformité intégrale d'ici le dernier trimestre de 2005.

En 2003-2004, le groupe Photométrie et radiométrie de l'IÉNM et le Programme d'étalons acoustiques ont mis en œuvre leurs parties du système; la documentation écrite a été acceptée et les vérifications internes ont été faites. Le Conseil canadien des normes a commencé l'évaluation en vue de l'accréditation de ces deux groupes. Mary Ryan de *National Accreditation Testing Authorities* (NATA), en Australie, était chef du groupe, qui comprenait des experts techniques de la France, des États-Unis, de l'Allemagne et de l'Australie.

Les autres activités liées aux systèmes qualité comprenaient la formation continue en techniques de vérification interne de la conformité à la norme ISO/CEI 17025. De plus, de nombreuses améliorations ont été apportées. Ces dernières sont basées sur les vérifications internes, des évaluations d'accréditation sur les lieux, et le travail du Comité directeur des systèmes qualité.

Les méthodes suivantes ont été élaborées :

- INMS-105 : *Maintenance and Updating of the Controlled Electronic Version of the INMS Quality System* (approuvé)
- INMS-114 : *Requirements for the Protection of the Integrity and Confidentiality of Calibration Reports and Associated Data in Electronic Transmissions* (approuvé)
- INMS-117 : *Review of Requests, Tenders and Contracts* (version préliminaire)
- INMS-118 : *Collection and Maintenance of Technical Records* (version préliminaire).

En juillet/août 2003, l'Institut avait organisé un atelier sur la mise en œuvre de systèmes qualité dans les INM, dans le cadre d'un projet mixte du SIM-APMP visant à rédiger des méthodes d'essai en employant des termes généraux, afin d'aider la mise en œuvre de systèmes qualité, spécialement dans les INM en voie de développement. Dans ce projet, on identifiera les méthodes techniques devant être rédigées, précisera les voies de traçabilité et les évaluations de l'incertitude convenables, et identifiera les procédures de validation de méthodes appropriées.

L'ÉNM et les services à industrie canadienne

L'industrie a accès aux installations et l'expertise de pointe de l'ÉNM par l'entremise de services d'étalonnage et de matériaux de référence certifiés, de services d'experts-conseils, de recherches de collaboration, et du transfert de technologies. L'Institut organise en plus des cours et ateliers de métrologie, fait des présentations à des conférences et offre de l'orientation aux associations techniques professionnelles.

Services d'étalonnage

Le maintien d'une précision de mesure élevée exige des étalonnages réguliers de dispositifs de mesure industriels par rapport à des étalons de référence physiques comme des étalons à bouts plats et des résistances étalons. Il existe deux moyens pour atteindre ces buts : Les spécialistes du CNRC peuvent étalonner des étalons de référence en fonction des étalons primaires du Canada conservés à l'ÉNM, ou les étalons de référence peuvent être étalonnés à l'un des trente-deux laboratoires certifiés par le CLAS (Service d'évaluation des laboratoires d'étalonnage) et accrédités par le CCN (Conseil canadien des normes) dans l'ensemble du Canada (962 rapports d'étalonnage ont été remis à 327 clients en 2003-2004).

Matériaux de référence certifiés

Les ventes totales de matériaux de référence certifiés ont diminué un peu pendant l'année de référence, peut-être en raison d'une plus forte concurrence d'autres producteurs à l'échelle mondiale, ou d'une diminution du marché. Au total, 1490 unités ont été distribuées en 2003-2004, ce qui représente une diminution d'environ 12 % par rapport à l'année précédente. Les ventes totales de MRC pour l'analyse d'oligo-éléments dans les tissus biologiques étaient de 471 unités en 2003-2004, ce qui représente une augmentation d'environ 3 % par rapport à l'année précédente. Les ventes totales de nos quatre MRC pour l'analyse de sédiments étaient de 224 bouteilles, environ égales à celles de l'année précédente. Presque 23 000 unités ont été distribuées depuis 1981 et nos six MRC pour l'eau naturelle représentent plus de la moitié de ce total.

Spectrométrie de masse à décharge lumineuse

Les installations de spectrométrie de masse à décharge lumineuse (GDMS), uniques au Canada, ont permis de faire l'analyse élémentaire d'approximativement 2100 échantillons de matériaux conducteurs et semi-conducteurs de haute pureté (p. ex., le gallium, le cadmium, le tellure, l'arséniure de gallium, le séléniure de cadmium, le tellure de cadmium et de zinc) pour un groupe d'environ 42 clients, principalement de l'industrie de l'électronique. Le Conseil canadien des normes a accrédité intégralement le laboratoire selon la norme ISO/CEI 17025.

Service d'évaluation des laboratoires d'étalonnage

Les systèmes nationaux d'accréditation de laboratoires d'étalonnage fournissent des sources infrastructurelles de services d'étalonnage ayant des capacités de mesure vérifiées. Ils garantissent d'ailleurs la traçabilité à des étalons de mesure nationaux et internationaux. Le programme d'accréditation des laboratoires d'étalonnage du Canada est géré et facilité sous forme de partenariat entre le Programme d'accréditation des laboratoires-Canada (PALCAN) du CCN et le Service d'évaluation des laboratoires d'étalonnage (CLAS) du CNRC.

Le CLAS évalue les systèmes qualité et les capacités de mesure des laboratoires d'étalonnage cherchant à être accrédités par le CCN. Le CLAS détermine si le laboratoire demandeur est en mesure de prendre les mesures pour lesquelles il cherche à être accrédité au moyen d'une combinaison d'essais de compétences basés sur la traçabilité et l'échange d'objets à mesurer. Le laboratoire devient admissible à la certification par le CLAS et

l'accréditation selon la norme ISO/CEI 17025 par le CCN une fois que son système qualité est en place et que ses capacités de mesure ont été vérifiées avec l'aide des experts en métrologie de l'ÉNM.

La mise en œuvre du CLAS à L'ÉNM a été une étape importante de l'établissement d'un réseau de laboratoires d'étalonnage canadiens assurant un accès plus facile aux services d'étalonnage traçables au Système international d'unités (SI). Cette traçabilité est le fondement des pratiques commerciales loyales, de l'augmentation de l'acceptation des rapports d'essai et des produits dans les marchés mondiaux, d'une meilleure qualité de produits, et de la démonstration de la conformité à des normes de qualité internationales comme la série de normes ISO 9000. Six nouveaux laboratoires d'étalonnage canadiens ont été certifiés par le CLAS et accrédités par le PALCAN/CCN en 2003-2004. De plus, dix laboratoires sont à différentes étapes d'évaluation. Le Canada compte actuellement 32 laboratoires certifiés par le CLAS et accrédités par le CCN.

Le CLAS a un système qualité depuis 1999. Des examens de gestion ont lieu de façon continue et ces examens mènent à des améliorations au système comme la mise en œuvre d'une base de données de systèmes d'information de gestion en 2003, qui permet de contrôler les activités du programme. Le CCN a procédé à une vérification du CLAS en 2003 qui a confirmé que ce service était toujours conforme au Guide 58 de l'ISO.



AceTRONIC Industrial Controls, Inc. Mississauga, ON	Certification and Engineering Bureau Ottawa, ON	Mississauga, ON Pylon Electronics Inc. Ottawa, ON
Alcan International Ltd. - Kingston Research & Development Centre Kingston, ON	Instruments Canada Company Ltd. Mississauga, ON	Rohde & Schwarz Canada Inc. Kanata, ON
CCR – MKS Process Products Group Nepean, ON	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) Montréal, QC	Staveley Services Canada Inc. (CONAM-Quantum Inspection and Testing) Burlington, ON
Environment Canada (NWRI) Burlington, ON	IREQ Institut de recherche d'Hydro-Québec Varenes, QC	Staveley Services Montreal (CONAM-Quantum Inspection and Testing) Dollard-Des-Ormeaux, QC
Fisher Scientific Company, Montreal Region St-Laurent, QC	ISOLAB Inc. Windsor, ON	Stephens Analytical Inc. St-Laurent, QC
Fisher Scientific Company, Toronto Region Markham, ON	Labcor Technical Sales Inc. Anjou, QC	Stephens Analytical Inc. (U.S.) Newtown Square, PA
Fisher Scientific Company, Edmonton Region Edmonton, AB	Measurement International Prescott, ON	Technisol Inc. Québec, QC
Fisher Scientific Metrology Nepean, ON	Miller Instruments Ltd. Burnaby, BC	Ulrich Metrology Inc. Lachine, QC
Fluke Electronics Canada Inc. Mississauga, ON	Mitutoyo Canada Inc. Calibration Laboratory Mississauga, ON	VACS Ltd. Brampton, ON
Gavtt Precision Balances Limited Mississauga, ON	Primo Instrument Inc. Montréal, QC	
Industrial Technology Centre Winnipeg, MN	Pylon Atlantic - A Division of Pylon Electronics Inc. Dartmouth, NS	
Industry Canada	Pylon Electronics Inc.	

Pour plus d'information sur les laboratoires d'étalonnage accrédités par le CCN et certifiés par le CLAS, veuillez visiter le site web à http://infoex.nrc.cnrc.gc.ca/inms/search_clas_f.html

L'ÉNM et le transfert de technologies

Licences existantes

ÉTALONS ÉLECTROMAGNETIQUES ET DE TEMPÉRATURE

Replicator Circuit
Digital to Analog Converter

Electronically Aided Current

High Voltage Capacitance Bridge
Time Division Multiplier Wattmeter
AC/DC Transformer
Transimpedance Circuit
Automated Resistance Bridge
AC Source
Power Comparator
One Ohm Standard
Quantum Hall Resistor System

ÉTALONS CHIMIQUES ET MÉCANIQUES

Acoustical Isolation Cap for Sound Level Meters
FAIMS Technology (13 patents)

ÉTALONS DE RAYONNEMENTS ET D'OPTIQUES

Beam Version x.x.
Beam 00 (or Beam NRC)

Source Code for Monte Carlo Electron Beam Dose Calculations
Source Code for Monte Carlo Photon Beam Dose Calculations

Infrared Spectrophotometer Detector
Silicon Coated Mylar Beam Splitter
Laser Prism

Laser Beam Cross Lens
Single Element Laser Beam D Shape Projectors

Demandes et dépôts de brevets/2003-2004

Compact hybrid integrated polarization insensitive optical dynamic channel gain equalizer

Light Induced Generation of Volatile/Alkylated Metals and Semi-Metal

Multilabeling Biomolecules with Dendritic Labelling Reagents with Multiple Ruthenium Bipyridine Moieties for Bionalysis

Novel Technology for Full-Field Optical Coherence Tomography and Its Application to Multiple-Layer Information Decoding

Spectral Coding by Fluorescent Semiconductor Nanocrystals for Document Identification and Security Applications

High Performance Optical Tracking System Based on a Quartic Phase Plate

Object Identification Using Quantum Dots Fluorescence Allocated on Fraunhofer Solar Spectral Lines

Apparatus and Method for Atmospheric Pressure 3-Dimensional Ion Trapping *

TANDEM FAIMS/Ion-Trapping Apparatus and Method*

Titulaire de licence

Measurements International Ltd.
Measurements International Ltd.
Guildline
Guildline
Pacific Magnetics
Measurements International Ltd.
Measurements International Ltd.
Guildline
Measurements International Ltd.
Measurements International Ltd.

ACO Pacific Ltd.
Ionalytics Corp.

NOMOS Corp.
Varian Medical Systems Int'l.
ADAC Lab.
Elekta Oncology Sys.
Nucletron Operations BV
Nucletron Operations BV
Varian Medical Systems Int'l.
Mono Instrument Services Ltd.
YueWang Tech Trading
Cemar Electronic
StockerYale Inc.
StockerYale Inc.
StockerYale Inc.

Inventeur

G. Xiao, Z. Zhang, Z. Lu, J. Liu, C. Grover

X. Guo, R. Sturgeon, Z. Mester
M. Zhou, C. Roovers, C. Grover

S. Chang, X. Liu, C. Grover

S. Chang, M. Zhou, C. Grover

X. Cai, X. Liu, C. Grover

S. Chang, M. Zhou, C. Grover

R. Guevremont

D. Bennett, R. Purves,
R. Guevremont

Le rôle principal de l'ÉNM, en tant qu'Institut national de métrologie du Canada, est de soutenir l'innovation. Cependant, il arrive souvent que de nouvelles techniques et technologies ayant des usages commerciaux soient développées au cours de ces activités de base.

Trente-cinq ententes de cession de licences étaient en vigueur à la fin de la période de référence, et six nouveaux brevets avaient été déposés ou délivrés.

FAIMS Apparatus and Method with Laser-Based Ionization Source*

D. Bennett, R. Purves,
R. Guevremont

Highly Accurate Multistage Clamp-on Current Transformer*

E. So, D. Bennett

Acoustical Isolation Cap for Sound Level Meters*

G.S.K. Wong, N. Lewis

Atmospheric Pressure Ion Storage and Focusing Device*

R. Guevremont, R. Purves

* patents issued

L'ÉNM et la diffusion de connaissances

Information dissemination ensures that the results of our work are available to our scientific colleagues, and to the technical and business communities likely to benefit most.

Publications et présentations

L'excellence des recherches effectuées par l'ÉNM est ce qui représente la plus grande partie de sa valeur pour ses partenaires. En 2003, 108 articles ont été publiés par les chercheurs de l'ÉNM dans des revues examinées par un comité de lecture et des travaux de congrès. En plus, 718 rapports techniques ont été rédigés dans la période de référence. Les invitations à faire des présentations à des conférences et le nombre de postes de professeur adjoints tenus font preuve de l'excellence de notre personnel. Le rapport de chacun des groupes fonctionnels contenu dans cet examen annuel des activités contient un résumé de ces accomplissements.

Cours et associations techniques

L'Institut des étalons nationaux de mesure organise des cours sur la mesure des quantités physiques fondamentales. Ces cours sont offerts à des petits groupes et portent non seulement sur les différents étalons de quantités primaires et dérivées, mais aussi sur les principes fondamentaux et techniques de métrologie connexes, mettant l'accent sur l'exactitude.

Cinq cours ont été organisés en 2003-2004 :

- Cours de métrologie des masses
- Cours de métrologie dimensionnelle
- Atelier sur les machines de mesure des coordonnées
- Calculs du transport de rayonnement à l'aide du système Monte Carlo EGSnrc
- National Conference of Standards Laboratories International

139 personnes de six pays ont participé aux cours de l'ÉNM, dont 81 de l'industrie, 10 des universités et 48 du gouvernement.

En plus des cours organisés et présentés par l'ÉNM, des employés de l'Institut jouent un rôle clé dans l'Association canadienne de la métrologie des coordonnées. Ce club d'utilisateurs spécialisé attire des participants principalement des secteurs de l'automobile, de l'aérospatiale et des outils et matrices. Les machines à mesurer les coordonnées (MMC) font partie intégrante des inspections dans pratiquement toutes les activités de production exigeant le contrôle des dimensions. De plus, l'étalonnage des MMC fait partie intégrante du programme d'assurance de la qualité QS-9000 des fournisseurs des trois plus grands manufacturiers d'automobiles. Les utilisateurs des MMC se réunissent une fois par année pour discuter des questions techniques touchant la métrologie avec les experts de l'ÉNM et des instituts analogues dans d'autres pays, les universités et collèges canadiens, et l'industrie.



Le groupe Mesures de puissance électrique a mis au point un système pour détecter l'émission de la lumière aux points de rehaussement du stress électrique, c'est-à-dire l'électroluminescence. L'électroluminescence indique le début du vieillissement électrique dans les diélectriques soumis à de hautes tensions et, par conséquent, on pourrait se servir de mesures d'électroluminescence pour sélectionner les matériaux pour les applications de haute tension. La figure illustre des miroirs paraboliques spéciaux utilisés pour améliorer la détection d'électroluminescence très faible.

Le groupe *Mesures de puissance électrique* maintient les étalons, fournit des services d'étalonnage, développe des instruments et des méthodes d'essai, et étudie les nouvelles technologies dans le domaine des mesures de la puissance électrique. Ce groupe est voué à répondre aux besoins actuels et futurs de l'industrie canadienne d'énergie électrique en mesures précises et, en particulier, à mettre au point de nouveaux instruments et méthodes de mesure à la fine pointe de la technologie, incluant :

- des compteurs de revenus spéciaux pour les services d'électricité;
- des installations d'étalonnage pour les transformateurs d'instruments, les compteurs de puissance et d'énergie active/réactive dans des conditions d'ondes sinusoïdales et non sinusoïdales, les capaciteurs haute tension, les résistances et shunts pour courants élevés (c.a. et c.c.), et les systèmes de mesure des pertes pour les transformateurs et les bobines de réactance inductives de haute tension;
- des méthodes et instruments de diagnostic servant à évaluer les conditions d'utilisation des appareils haute puissance en marche.

Le groupe fournit également des renseignements de base sur les étalons de mesure de puissance électrique nationaux et internationaux et sur les techniques de diagnostic et d'entretien des appareils haute puissance.

Électrométrie

D. Angelo,
R.J. Arseneau,
B. Djokic, M. Frigault,
E. So, J. Zelle

Ce projet a pour but de mettre au point des méthodes et instruments de mesure uniques et plus précis, afin de mesurer les quantités électriques d'intérêt pour l'industrie des services d'électricité (p. ex., la tension, le courant et la puissance et l'énergie active/réactive). Les méthodes comprennent les systèmes automatiques utilisés pour étalonner les compteurs dans des conditions d'ondes sinusoïdales et non sinusoïdales et les instruments servant à étalonner les systèmes et instruments utilisés pour analyser la qualité de l'onde.

Nous avons utilisé le système d'étalonnage non sinusoïdal triphasé pour étalonner et analyser des appareils pour des clients de l'extérieur à 25 Hz et à 50 Hz. On s'est servi du système pour mener une étude des répercussions possibles de l'application de la norme 1459-2000 de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) sur les frais de comptage; les résultats de cette étude ont été présentés à la réunion d'été de 2003 de la *Power Engineering Society (PES)* de l'IEEE, à Toronto. On a étudié une charge productrice d'harmoniques en collaboration avec *BC Hydro*. Les formes d'ondes mesurées ont été reproduites à l'aide du système d'étalonnage afin de choisir l'équipement de mesure approprié pour le site. Ces activités permettent de faire des mesures précises et traçables dans le secteur du commerce de l'électricité au Canada.

Étalon itinérant du CNRC

R. Arseneau,
M. Frigault, J. Zelle

Nous avons terminé l'automatisation de la méthode d'essai et de l'analyse des données sur les lieux, ainsi qu'un nouvel appareil de transfert de haute précision pour le Programme d'étalons itinérants. Le nouvel instrument est basé sur deux voltmètres d'échantillonnage, des circuits d'entrée de tension et de courant construits sur mesure, et un ordinateur. L'équipement a été utilisé pour faire des essais sur les lieux à des laboratoires de comptage de services d'électricité au Manitoba et au Québec. Notre article décrivant ce nouvel appareil de transfert a été publié en avril 2003 dans *Transactions on Instrumentation and Measurements*, de l'IEEE.

Le système d'échantillonnage sera appliquée à d'autres mesures sur les lieux, en particulier aux analyses liées aux pertes dans les transformateurs de puissance. Le but est de faire des mesures précises en moins de temps, afin de réduire au minimum les perturbations des calendriers de production des clients des secteurs des services d'électricité et des transformateurs de puissance.

Mesure et correction des pertes à vide des transformateurs de puissance

R. Arseneau,
M. Frigault, E. Hanique
(SMIT Transformers),
E. So

Les pertes à vide des transformateurs de puissance sont un important coût d'exploitation pour les services d'électricité. Les services d'électricité comptent sur des mesures exactes de ces pertes pour prendre des décisions informées concernant le choix de fabricants de transformateurs. Ce projet a été entrepris avec

la coopération d'un client néerlandais du CNRC qui vend des transformateurs sur le marché nord-américain. On a utilisé un système d'échantillonnage numérique comme valeur de référence pour déterminer la stratégie et l'équipement les plus appropriés pour mesurer les pertes à vide. Notre article décrivant ce travail a été publié en avril 2003 dans *Transactions on Instrumentation and Measurements*, de l'IEEE.

D'autres analyses seront effectuées en 2004 afin de déterminer l'influence des connexions du transformateur sur la détermination des pertes. Un article sera présenté en juin 2004 à la conférence CPEM 2004 (Londres, Royaume-Uni). Nous croyons que ce projet permettra de mettre au point des méthodes plus précises pour mesurer les pertes à vide.

Mesures de haute tension en courant continu

T. McComb

L'IEÉM doit améliorer l'incertitude de ces mesures de haute tension c.c. afin de répondre à la demande grandissante des clients pour des étalonnages c.c. de plus grande exactitude. Par exemple, le Canada et les États-Unis ont plusieurs lignes de transmission haute tension c.c. pour lesquelles l'incertitude des mesures de puissance devient problématique. Les systèmes de mesure de haute tension c.c. utilisés actuellement à l'IEÉM sont basés sur des résistances haute tension blindées montées en spirale, chacune étant raccordée en série à la terre par l'entremise d'une résistance basse tension (diviseurs Park). Les résistances haute tension sont pourvues d'un isolement continu et il n'y a donc pas de points de connexion intermédiaires permettant de contrôler le comportement des différentes parties de la résistance. L'autochauffage est le plus important facteur dans l'incertitude de ces diviseurs. L'ampleur de cette incertitude avait par le passé été évaluée à partir des caractéristiques générales des résistances constituantes. Nous avons mis au point au cours de la dernière année un essai permettant d'évaluer cette contribution à l'incertitude en appliquant une tension élevée pendant une période déterminée et ensuite, en mesurant le rapport pendant que le diviseur refroidit. Cette méthode permet d'obtenir des facteurs de correction suffisamment précis pour diminuer l'incertitude globale de la mesure de haute tension.

Nous avons mis au point un nouveau diviseur de tension d'une capacité de 10kV fabriqué à partir de résistances de précision. La construction est ouverte afin de permettre des raccords à n'importe quel point dans la chaîne de résistances. La stabilité et la linéarité de chaque section de 1 kV seront évaluées à l'aide d'une source étalonnée de 1 kV pouvant être réglée à des valeurs intermédiaires. De plus, la section supérieure sera évaluée pendant que les autres sections sont sous une tension de 1 kV afin d'estimer les effets cumulatifs du chauffage des sections inférieures. Ce diviseur sera utilisé pour agrandir l'étalonnage de base des unités de tension plus élevée jusqu'à 10 kV. Deux améliorations à ce système sont envisagées, notamment la construction d'unités empilables additionnelles du diviseur de 10 kV pour obtenir un meilleur diviseur de tension, et/ou la création de points d'accès dans les diviseurs existants afin de permettre leur étalonnage en sections de 10 kV.

Les mesures de comparaison avec d'autres instituts nationaux de métrologie (INMs) sont un élément important de la vérification des capacités de ces instituts. L'IE NM participe à des mesures de comparaison avec le NIST (États-Unis) et on prévoit que ces mesures seront complétées cette année.

Système d'étalonnage de transformateurs pour instruments optiques avec sortie numérique

B. Djokic, E. So

Ce projet a pour but de développer un nouveau système d'étalonnage pour les transformateurs optiques non conventionnels doté d'une sortie numérique. Les transformateurs optiques deviennent intéressants comme alternatives aux transformateurs conventionnels parce que leurs coûts (spécialement leurs coûts d'installation) sont moins élevés. On prévoit qu'ils s'empareront d'une part considérable des futures installations de mesure de haute tension dans le monde entier.

On a construit un prototype d'un nouveau système d'étalonnage de haute précision basé sur les normes 61850, 60044-8 et 60044-7 du Commission electrotechnique internationale (CEI) et on a évalué son rendement. Cependant, les futurs progrès dépendront de la disponibilité d'information technique pertinente des différents fabricants, qui semble dans plusieurs cas être exclusive. Les résultats de ces travaux seront présentés en juin 2004 à la conférence CPEM 2004 (Londres, Royaume-Uni).

Système de mesure du courant alimenté optiquement pour usage à haute tension

B. Djokic, E. So

Ce projet a pour but de simplifier les étalonnages à l'aide de capteurs de grands courants non conventionnels fonctionnant à haute tension qui ont le potentiel d'être utilisés de façon répandue par les services d'électricité.

Il s'agit d'une étape clé dans le développement d'un système d'étalonnage et de mesure du courant alimenté optiquement pour usage à haute tension. Les éléments électroniques comme les convertisseurs analogique-numérique et les références de tension adéquats pour la mesure de micropuissances ont été choisis et testés. Les circuits de transmission de puissance optique, incluant les lasers, les convertisseurs de puissance photovoltaïques et les régulateurs de faible chute de tension ont été testés. Les circuits de transmission de données ont été mis au point et testés. Un prototype entièrement fonctionnel muni d'un système de commande par micro-ordinateur sera développé prochainement.

Système d'échantillonnage numérique pour les mesures de facteur de puissance faible des bobines de réactance capacitives/inductives haute tension

B. Djokic, E. So

Ce projet a pour but d'améliorer et de rehausser les capacités de mesure de puissance de bobines de réactance haute tension à l'interne et sur le terrain.

Nous avons mis au point un système d'échantillonnage numérique servant aux mesures de facteurs de puissance de haute tension et de fort courant. On a ajouté au système une fonction de mesure du déphasage dans des conditions d'ondes déformées basé sur le traitement de signaux numériques. Cette fonction permet d'utiliser le système comme un pont d'échantillonnage numérique de magnitude et de déphasage haute tension et de fort courant. Le fonctionnement du système a été automatisé afin d'accélérer et de simplifier les étalonnages par comparaison avec les ponts à comparateur de courants. L'incertitude estimée dans des conditions de haute tension est moins 50 parties par million.

On a utilisé le nouveau système pour étalonner un transformateur de tension de l'Institut de recherche coréen pour les étalons et la science (KRISS) qui sera utilisé comme étalon de transfert pour les services d'électricité coréens. On a prévu un essai sur le terrain pour déterminer si le nouveau système est adéquat pour les milieux industriels. Les résultats de ces travaux seront présentés en juin 2004 à la conférence CPEM 2004 (Londres, Royaume-Uni).

Un comparateur de courants hybride à couplage électronique

L'IE NM a mis au point un comparateur de courants à couplage électronique polyvalent que l'on peut utiliser pour un vaste éventail de mesures. Il est considérablement moins complexe et coûteux que les comparateurs de courants conventionnels mais est néanmoins très précis. Un prototype de l'appareil, comprenant un comparateur de courants simplifié, des convertisseurs numérique-analogique multiplicateurs de haute résolution et des circuits de commande, a été construit. Sa résolution efficace, sa linéarité, sa réponse en fréquence et sa précision générale ont été analysées. Sa résolution est d'une partie par million (1ppm) et son incertitude est de l'ordre de 10^{-5} . Les résultats de ces travaux seront présentés en juin 2004 à la conférence CPEM 2004 (Londres, Royaume-Uni).

B. Djokic, E. So

Techniques et instruments de mesure diagnostiques

Ce projet comprend la R-D de différentes techniques et différents instruments de diagnostic servant à évaluer les conditions d'exploitation d'appareils haute tension en marche, et à prédire leur durée de vie restante.

Mesures d'électroluminescence

On a utilisé l'électroluminescence qui est une technique de détection de la lumière émise par les matériaux diélectriques soumis à des contraintes électriques élevées. Cette émission optique caractérise les premiers signes de la dégradation du système d'isolation des appareils haute tension. La détermination de la tension de seuil de l'électroluminescence est le paramètre qui, au delà duquel commencera la détérioration du polymère .

L'IE NM et le Laboratoire de génie électrique de Toulouse (LGET) du Centre national de la recherche scientifique (CNRS), en France, sont les deux plus

*M. Abou-Dakka,
S. Bamji, D. Bennett,
A. Bulinski, Y. Chen,
L. Cisse, D. McIntyre,
E. So, D. St-Jean*

importants centres de recherche sur l'électroluminescence dans les isolants polymères. Une proposition de recherche conjointe Canada-France, « Détermination des contraintes seuils de vieillissement électrique de certains matériaux diélectriques solides utilisés dans les industries de l'électricité et de l'électronique » a été subventionnée par le Programme de recherche sur les relations internationales. Le coût total du projet de deux ans du CNRC et du CNRS est de 1,35 million \$. Ce projet de collaboration mis sur pied en avril 2003 vise à étudier les propriétés électriques de polymères et vient en appont aux premiers travaux de R-D sur l'électroluminescence poursuivis par chacun des différents laboratoires. Les deux centres utiliseront également la méthode de l'onde thermique et la technique des impulsions électro-acoustique pour effectuer des mesures de charge d'espace dans les couches minces isolantes utilisées dans l'industrie de l'électronique.

Le projet fournira 1) des données techniques d'une grande valeur pour les concepteurs voulant développer des systèmes d'isolation optimaux et fiables, et 2) un nouvel outil d'évaluation des matériaux qui permettra de réduire les coûts d'évaluation du rendement des nouveaux matériaux soumis à différentes contraintes, y compris la nouvelle génération de matériaux nanodiélectriques.

Avantages mutuels du projet conjoint :

- approfondissement des connaissances actuelles sur les procédés de vieillissement dans les matériaux diélectriques solides
- formation de nouveaux diplômés sur les techniques de pointe dans le domaine de la recherche
- publications dans des revues d'archives
- brevets et possibilité de cession de licences pour la nouvelle technologie aux industries canadiennes et françaises
- création de partenariats industriels pour les deux centres.

Le CNRC et le CNRS se sont penchés sur l'étude des films de faibles épaisseurs du polyéthylène basse densité (PEFD) exposés à des champs électriques uniformes allant jusqu'à 30 kV/mm à différentes fréquences de tension c.a. L'intensité de l'électroluminescence a été détectée au moyen d'une cellule d'essai munie d'un système optique spécialisé, d'un tube photomultiplicateur et d'une caméra CCD. Les harmoniques du courant de perte de l'isolant ont également été mesurées.

Les analyses ont révélé que le maximum de l'intensité de l'électroluminescence ne coïncide jamais avec le maximum de la tension c.a appliquée. Mais l'électroluminescence atteint son intensité maximale avant celle de la tension. Ce résultat est attribuable à la charge d'espace où le champ local dû à la charge d'espace dans le matériau diélectrique est en avance sur le champ appliqué. Les analyses ont par ailleurs révélé que l'intensité lumineuse émise pendant l'alternance négative est toujours environ deux fois plus élevée que pendant l'alternance positive, parce que l'efficacité d'injection des électrons dans le PEFD est plus grande que celle des trous à toutes les fréquences de la tension c.a.

La figure contient une photo typique obtenue à l'aide de la caméra CCD du film de PEFD soumis à un champ électrique de 29 kV/mm. L'intensité de la lumière émise n'est pas uniforme sur tout l'échantillon mais présente plusieurs points brillants qui

pourraient être causés par le manque d'uniformité de l'épaisseur du spécimen ou des défauts dans le polymère. L'intensité de ces points brillants est dix fois celle de la région environnante.

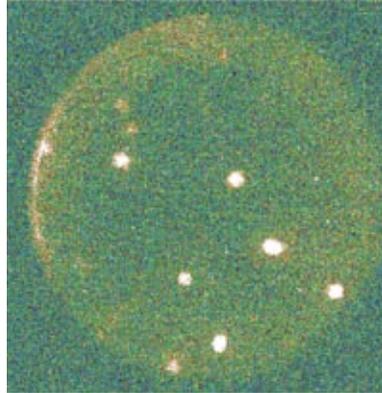


Figure 1. Répartition spatiale de l'électroluminescence dans le PEFD exposé à un champ c.a. de 29 kV/mm, détectée par une caméra CCD.

Des mesures à long terme de la charge d'espace ont révélé que la quantité de charge dans le polymère augmente avec le vieillissement, et que la charge d'espace se déplace des électrodes dans le matériau de façon sporadique et aléatoire, créant ainsi des régions de plus grande concentration de champ électrique interne.

Les résultats de ces travaux seront présentés en juillet 2004 à la Conférence internationale sur les matériaux diélectriques solides de l'IEEE (Toulouse, France).

Mesures du courant de polarisation

Plusieurs laboratoires de recherche se sont concentrés à développer des essais de diagnostic fiables des polymères isolants pour câbles, et ont proposé une multitude de techniques. Quelques unes de ces techniques ont déjà été essayées et utilisées sur le terrain, tandis que d'autres sont toujours au stade de développement. De nombreux services d'électricité apprécient l'importance pratique d'essais diagnostiques pour l'industrie de la production d'électricité, car leur utilisation pourrait réduire les pannes de courant imprévues, améliorer la planification de l'entretien et augmenter la fiabilité des systèmes électriques.

Un des principes généraux du développement de techniques diagnostiques est que les changements physico-chimiques causés par le vieillissement électrique doivent produire un changement quantifiable dans les propriétés diélectriques du matériau isolant. La technique analysée au CNRC est basée sur une relation entre les caractéristiques du courant obtenu facilement dans des champs c.c. et les caractéristiques de défaillance c.a. du matériau.

Des courants de polarisation ont été produits dans un champ c.c. faible pour deux marques différentes de polyéthylène réticulé (XLPE) et de caoutchouc éthylène-propylène (EPR) utilisés comme isolants dans les câbles d'alimentation haute tension. Les matériaux ont été soumis à un champ électrique c.a. en présence d'une solution ionique, qui a induit la croissance d'impuretés aqueuses et ioniques contenant des structures nuisibles aux propriétés diélectriques du matériau. Les paramètres des courants de polarisation ont été corrélés avec le moment de l'apparition des caractéristiques de rupture.

Deux paramètres du courant de polarisation, la constante de temps RC et l'aire sous la courbe de courant de polarisation, augmentent de façon constante avec le vieillissement de l'isolant. Cependant, la corrélation entre ces deux paramètres du courant de polarisation et la probabilité de rupture diélectrique de l'isolant dépend du matériau. Dans l'EPR, les caractéristiques du courant de polarisation ne changent de façon quantifiable qu'immédiatement avant la rupture de l'isolant. Les mesures du courant de polarisation ne sont donc pas un bon outil de diagnostic pour cet isolant. Même si cette technique offre des possibilités pour le XLPE, d'autres essais avec des câbles en grandeur nature devront être effectués pour confirmer les résultats obtenus avec les échantillons de laboratoire. Hydro Ottawa prévoit faire de tels essais vers la fin de l'été 2004.

Mesures de charge d'espace dans les matériaux diélectriques solides

La corrélation entre l'accumulation de charge d'espace et la rupture du matériau diélectrique a été étudiée pour quatre matériaux polymères soumis à un champ c.c. de 50 kV/mm. Deux des matériaux contenaient des additifs retardant les arborescences d'eau et les quatre matériaux ont tous été vieillis pendant de longues périodes allant jusqu'à 26 000 heures. Les spécimens ont été retirés périodiquement du champ électrique externe et la densité de la charge d'espace a été mesurée dans des conditions de tension nulle à l'aide de la technique de l'onde thermique mise au point au CNRC. Les mesures de charge d'espace n'ont révélé aucun paramètre ayant une corrélation constante avec la durée de fonctionnement avant la rupture diélectrique. Ces mesures ont toutefois permis de mieux comprendre le lien possible entre la dynamique du développement de charge d'espace et le vieillissement c.c. En particulier, on a observé une poussée constante de la charge d'espace accumulée peu de temps avant la rupture diélectrique de l'isolant dans pratiquement tous les échantillons. On a aussi observé une relation consistante entre la durée de fonctionnement avant la rupture et la position des maxima de densité de la charge d'espace interne dans les échantillons. Les échantillons dans lesquels les maxima de densité de la charge d'espace étaient plus espacés ont survécu de façon consistante plus de temps que ceux dont les maxima étaient plus rapprochés. Ces phénomènes, s'ils sont confirmés, pourraient être utilisés pour sélectionner les nouveaux matériaux pour des conditions de tension c.c. L'effet de l'inversion de la polarité de la tension après une longue période d'application de tension de polarité unique était considérablement moins nuisible. La durée des essais de vieillissement typiques effectués dans l'industrie ne dépasse pas quelques milliers d'heures et ces essais ne révèlent pas les effets qui prennent plus de temps à se développer.

La transmission souterraine d'énergie électrique offre des avantages considérables par rapport à la transmission c.a., spécialement sur de grandes distances, et a fait l'objet d'études par des services électriques partout dans le monde, notamment en Suède et en Australie. La transmission d'énergie sur de longues distances est répandue dans plusieurs parties du Canada. Ce projet vise à mettre au point des mesures et méthodes d'analyse de la charge d'espace afin de déterminer les effets de celle-ci sur les matériaux diélectriques.

Comparaisons internationales

En 2000, l'IEÉM avait mené une comparaison des systèmes d'étalonnage non sinusoïdaux avec le laboratoire national de métrologie de la Suède, *SP Swedish National Testing and Research Institute*. Cette comparaison faisait appel à une source stable, développée au CNRC, comme étalon de transfert. Sous le parrainage du Groupe de travail sur les comparaisons clés du Comité consultatif d'électricité et de magnétisme du CIPM, ce projet a été élargi pour comprendre quatre autres instituts nationaux de mesure. L'IEÉM a été choisi comme laboratoire pilote responsable pour l'étalon de transfert et l'analyse des données. Des essais ont eu lieu à l'IEÉM et au PTB, en Allemagne. Les prochains essais sont prévus pour le NPL (Royaume-Uni) et le NIST (États-Unis). Les résultats définitifs sont prévus pour la conférence CPEM 2006.

R. Arseneau,
M. Frigault, E. So,
J. Zelle

Étalonnages et essais

Ce projet a pour objectif de fournir des services d'étalonnages et d'essais à l'industrie de l'énergie électrique. Ces étalonnages comprennent différents types d'équipements de mesure comme les ponts, les transformateurs pour instruments, les compteurs de puissance et d'énergie actifs et réactifs dans des conditions d'ondes sinusoïdales et non sinusoïdales, les voltmètres électrostatiques, les capacitanceurs haute tension, les résistances c.a./c.c. pour forts courants, et les shunts. Aussi sont inclus aussi les mesures de différentes quantités électriques comme le champ électromagnétique, les grands transformateurs de puissance et les pertes de bobines de réactance inductives, et l'étalonnage de systèmes de mesure industriels (c.a., c.c. et à impulsions) à l'interne et sur le terrain. Le groupe peut également analyser les matériaux diélectriques et les décharges partielles dans les matériaux isolants des systèmes haute tension.

D.J. Angelo,
R. Arseneau,
D.A. Bennett,
A.T. Bulinski,
M. Frigault, T. McComb,
E. So, D. St-Jean,
G. Williscroft, N. Wise,
J. Zelle

Comités et charges

Échelle internationale

Comité International des Poids et Mesures (CIPM)

Comité Consultatif d'Électricité et Magnétisme (CCEM)

E. So, membre

Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)

E. So, président, CPEM Comité de direction

T.R. McComb, secrétaire, CPEM Comité de direction

Commission électrotechnique internationale (CEI)

CE 42 : Techniques d'essai à haute tension

T.R. McComb, membre ex officio : président du SC (Canada) CE 42

CE 68 : Alliages et acier magnétiques

E. So, membre

Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (CIGRE)

WG 12.16 : Transformateurs d'instruments

A.T. Bulinski, membre

WGD 1.33 : Techniques de mesure à haute tension

T.R. McComb, membre

Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE)

Power Engineering Society (PES)

PES Comité sur les instruments et mesures des systèmes électriques (PES PSIM)

E. So, Ex-président et agent de liaison du Comité sur les transformateurs et de la Instrumentation and Measurements Society

R. Arseneau, secrétaire

T.R. McComb, membre

PES/PSIM Sous-comité des techniques de mesures électriques numériques
T.R. McComb, membre
E. So, membre et agent de liaison du Comité sur les transformateurs

PES/PSIM Sous-comité des essais en haute tension
T.R. McComb, membre
E. So, membre

PES/PSIM Sous-comité de métrologie électrique
E. So, président
R. Arseneau, membre
T.R. McComb, membre

PES/PSIM WG Situations non-sinusoidales
R. Arseneau, membre
T.R. McComb, membre

PES/PSIM WG Instrumentation pour les situations non-sinusoidales
R. Arseneau, président

PES/PSIM WG Essais diagnostiques sur le terrain des appareils électriques
E. So, membre et agent de liaison du Comité sur les transformateurs

PES/PSIM WG Mesures de puissance à haute tension et faible facteur de puissance
E. So, président

PES/PSIM WG Transformateurs optiques
E. So, membre

PES/PSIM Comité de remise de Prix
T.R. McComb, Coordinator

PES Comité sur les transformateurs - Sous-comité des transformateurs d'instruments
E. So, membre

PES Comité sur les transformateurs - Sous-comité des caractéristiques de fonctionnement
E. So, membre

PES Comité sur les transformateurs - WG Tolérances et mesure de perte
E. So, membre

Instrumentation and Measurements Society

TC10 Mesure et analyse des formes d'ondes
T.R. McComb, Agent de liaison

Dielectrics and Electrical Insulation Society (DEIS)

Comité administratif
S.S. Bamji, président

Comité des réunions
A.T. Bulinski, président

Comité de formation
A.T. Bulinski, membre

Comité technique des statistiques
A.T. Bulinski, membre

Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena

S.S. Bamji, membre, Comité exécutif
A.T. Bulinski, membre, Comité exécutif

IEEE International Conference on Solid Dielectrics
A.T. Bulinski, membre, Comité international consultatif (IAC)

IEEE International Symposium on Electrical Insulation
A.T. Bulinski, membre, IAC

IEEE International Symposium on Electrets
A.T. Bulinski, membre, IAC

IEEE International Conference on Liquid Dielectrics
A.T. Bulinski, membre, IAC

IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials
A.T. Bulinski, membre, IAC

International Conference on Electrical Insulating Materials (Japan)
A.T. Bulinski, président, IAC

International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum
A.T. Bulinski, membre, IAC

2003 Symposium on High Voltage Engineering, Delft, The Netherlands

A.T. Bulinski, membre du Comité international d'organisation

2004 International Symposium on Gaseous Dielectrics, Athens, Greece

A.T. Bulinski, membre du Comité international d'organisation

Échelle nationale

Association canadienne de normalisation (CSA)

Technical Committee on Performance of Electric Motors

E. So, membre
R. Arseneau, substitut

Technical Committee on Instrument Transformers
R. Arseneau, membre
E. So, membre

Conseil canadien des normes (CCN)

Groupe technique consultatif du CEI CE 42 :
Techniques d'essai à haute tension
T.R. McComb, président, CSC CE 42

Institute for Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) - Section Ottawa

IEEE Ottawa Section Conferences, Inc.
R. Arseneau, secrétaire et trésorier

Sudbury Neutrino Observatory (SNO)

Advisory Committee on High Voltage Connectors
A.T. Bulinski, membre

Comités de rédaction

IEEE Electrical Insulation Magazine
A.T. Bulinski, Rédacteur

Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering

A.T. Bulinski, membre du Comité consultatif de la rédaction

Materials Science – an Interdisciplinary Journal of Physics, Chemistry and Technology of Materials

A.T. Bulinski, membre du Comité consultatif de la rédaction

Instrumentation and Measurements Society

T.R. McComb, Comité de révision de la rédaction
E. So, Comité de révision de la rédaction

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'ÉNEM à l'adresse suivante : inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/

Articles dans des publications revues

Arseneau, R., M. Sutherland and **J. Zelle**. "A New Transfer Device for the NRC Travelling Standard Program", IEEE Trans. Instrumentation and Measurements, **52.2**, 411-414 (April 2003).

Cisse, L., **S.S. Bamji** and **A.T. Bulinski**. "Electric field calculations for needle-plane geometry and space charge in polyethylene", IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul., **10.1**, 176-180 (February 2003).

R.C. Hughes, H.A. Lightfoot and **McComb, T.R.** "Assuring the Quality of Impulse Voltage Calibration Results issued by a Calibration Laboratory. IEEE Trans. Power Delivery, **18.3**, 701-704 (July 2003).

Y. Li, J. Rungis and **McComb, T.R.** "Comparative Impulse Voltage Measurements at the National Measurement Laboratory (NML), CSIRO, Australia, and the Institute for National Measurement Standards (INMS), NRC, Canada", IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, **52.2**, 404-407 (April 2003).

So, E., **R. Arseneau** and E. Hanique. "No-Load Loss Measurements of Power Transformers under Distorted Supply Voltage Waveform Conditions", IEEE Trans. Instrumentation and Measurements, **52.2**, 429-432 (April 2003).

So, E., **R. Arseneau**, **D. Bennet**, T.L. Nelson and B.C. Waltrip. "NRC-NIST Intercomparison of Calibration Systems for Current Transducers with Voltage Output at Power Frequencies", IEEE Trans. Instrumentation and Measurements, **52.2**, 424-428 (April 2003).

Articles dans des comptes rendus de conférence

Abou Dakka, M., **S.S. Bamji** and **A.T. Bulinski**. "DC Polarization Characteristics of XLPE and EPR Insulation Subjected to Water Treeing", Proc. 2003 CEIDP, Albuquerque, New Mexico, USA., 181-184 (October 2003).

Arseneau, R. "Application of IEEE Standard 1459-2000 for Revenue Meters". IEEE PES Summer Conference, Toronto, Ontario, Canada (July 2003).

K. Tohyama, **Bamji, S.S.** and **A.T. Bulinski**. "Simultaneous Measurement of Electroluminescence and Dissipation Current in Cable Insulation", Proc. 2003 IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM 2003), Nagoya, Japan, Paper S16-4 (June 2003).

So, E. "Harmonic Measurements: Current and Voltage Transducers", IEEE PES Summer Conference, Toronto, Ontario, Canada (July 2003).

Présentations orales invitées

Abou Dakka, M., **S.S. Bamji** and **A.T. Bulinski**. "Polarization/Depolarization Current Measurements – a Diagnostic Tool for High Voltage Cable Insulation Subjected to Water Treeing", Hydro Quebec Research Institute (IREQ), Varennes, Quebec (January 2003),

So, E. "Harmonic Measurements: Current and Voltage Transducers", IEEE Summer Meeting 2003 Panel Session on "Practical Measurement Issues Related to Power Quality and IEEE Std. 1459-2000, Toronto, Ontario (July 2003).

So, E. "INMS/EPMG, On-site Calibrations of Instrument Transformers and High Voltage Power Measurements Systems", Alstom Power, Richmond, VA, USA (March 2003).

So, E. "INMS/EPMG, On-site Calibrations of Instrument Transformers and High Voltage Power Measurements Systems", Trench Electric Ltd, Toronto, Ontario (September 2003).

So, E. "Overview of NRC/INMS/EPMG", NxtPhase, Vancouver, British Columbia (February 2003).

So, E. "The Need for a Measurement Assurance Program for Electric Power/Energy and its Economic Impact", APMP General Assembly, TCEM, Singapore (December 2003).

So, E. "Traceability of High Voltage Power Measurements", Hyosung Power Transformers Manufacturer", ChangWon, South Korea (November 2003).

So, E. "Traceability of High Voltage Power Measurements", General Electric, Peterborough, Ontario, September (2003).

Rapports et documents techniques

Bulinski, A.T. "Diagnostic Tests on Specimens of the Hydro Ottawa Cable that Failed in Service in September 2002", Report prepared for Ottawa Hydro, Ottawa, Ontario (May 2003).

Distinctions

Dr. Soli Bamji. ré-élu président du *IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society*.

Brevets

So, E. et B. Djokic. "A Computer Controlled Four Terminal AC Resistance Bridge" Brevet É.-U. 10/096,859, octobre 2003, Brevet (Canada) 2,376,732.

Personnel

Alexander Bulinski, Chef de groupe

Téléphone : (613) 990-4022

Télécopieur : (613) 952-9366

Courriel : alexander.bulinski@nrc-cnrc.gc.ca

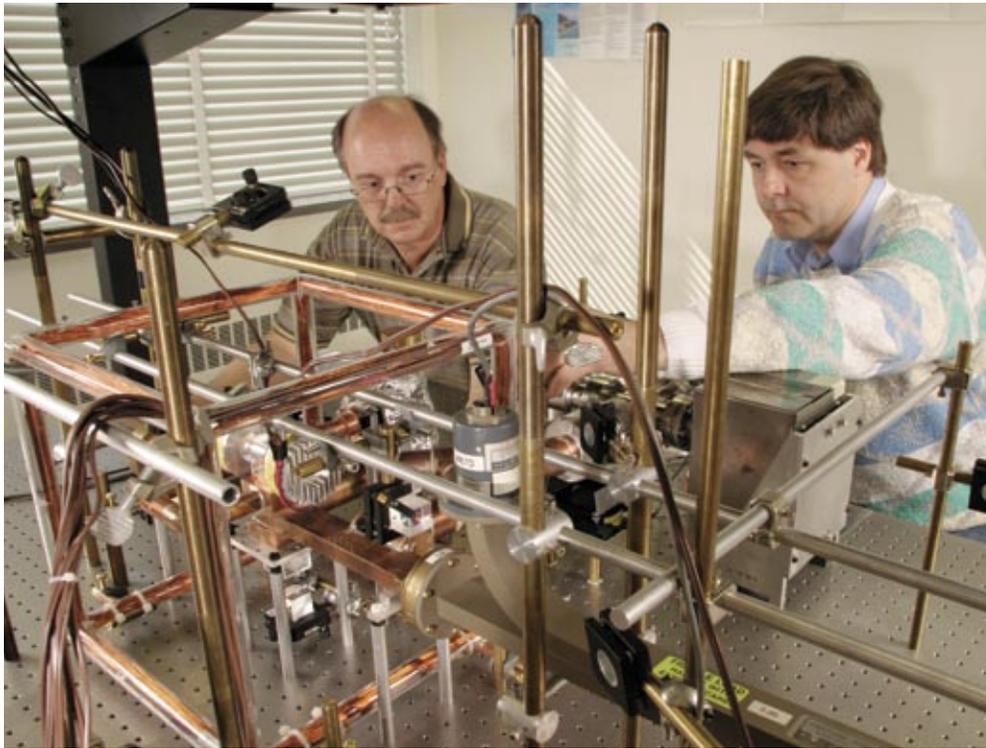
Mahmoud Abou-Dakka	990-3619
David Angelo	993-7301
Réjean Arseneau	990-5873
Soli Bamji	990-4021
David Bennett	990-6347
Yaoren Chen	990-4020
Branislav Djokic	990-5371
Michelle Frigault	990-7902
Terence McComb	990-5826
Douglas McIntyre	990-9120
Daniel St-Jean	990-5595
Yuk Tam	990-6937

Gordon Williscroft	990-6977
Nicholas Wise	990-3620
Johannes Zelle	990-5873

Eddy So, Chef de section 990-5806
Étalons électromagnétique et de température

Travailleurs invités

Ladji Cisse	990-3619
Jun Kawagoe	
William Moore	
Yang Sup Song	990-5826



Les chercheurs du groupe Étalons d'électricité se servent de la technique du refroidissement d'atomes par laser pour mettre au point un nouveau genre d'étalon de puissance micro-ondes. Les chercheurs ont construit un appareil expérimental dans lequel des atomes de rubidium sont refroidis par laser dans un piège optique, puis tombent par une ouverture dans un guide d'ondes. Le rayonnement micro-ondes dans le guide d'ondes fait osciller les atomes, qui sont analysés à leur sortie de la paroi inférieure du guide. On peut déterminer la puissance du rayonnement micro-ondes incident en mesurant la fréquence de l'oscillation induite. Cette nouvelle technique tire profit de méthodes modernes de refroidissement par laser pour produire un étalon de puissance micro-ondes plus précis.

Le groupe Étalons d'électricité maintient des étalons primaires, effectue des étalonnages, fournit des services d'experts-conseils techniques, et assure l'entretien et la rénovation de ses installations d'étalonnage.

Le programme comprend les étalons (électriques) de tension, de résistance, de capacité, d'inductance, de rapport de tension c.c., de rapport de tension c.a. de basse fréquence, de différence c.a./c.c., de résistance c.a.; et de tension, d'impédance, d'affaiblissement, de puissance et de bruit à des fréquences RF et micro-ondes jusqu'à 110 GHz.

Les valeurs de ces étalons sont diffusées au moyen d'un service complet d'étalonnage, et le programme assure le soutien technique du Service d'évaluation des laboratoires d'étalonnage (CLAS). Le programme maintient une liste de plus de 120 clients et ses activités ont des répercussions sur la plupart des secteurs techniques, manufacturiers et militaires, ainsi que sur les secteurs des transports et des services publics.

Basses fréquences

*P. Filipski, M. Boecker,
K. Kochav, B. Wood,
M. Côté*

Ce projet comprend les étalons de basse fréquence (fréquences inférieures à 1 MHz) de capacité, d'inductance, de transfert c.a./c.c., de tension c.a. et de rapport de tension c.a. Il comprend également les étalons de rapport de tension c.c.

Les étalonnages de condensateurs et bobines d'inductance sont automatisés dans les plages les plus utilisées : De 1 pF à 1 μ F (à 1 kHz) dans le cas des condensateurs, et de 1mH à 10 H (à 1 kHz) dans le cas des bobines d'inductance. La comparaison corrélatrice des étalons primaires se poursuit.

L'étalon primaire de capacité est un réseau de condensateurs de 10 pF qui sont comparés rarement à des condensateurs calculables dans d'autres instituts nationaux de mesure (INM), et indirectement à la QRH c.c. Le développement d'une méthode pour lier l'unité de capacité du CNRC au ohm (Ω) se poursuit. Ces travaux élimineront à l'avenir la dépendance sur la communauté internationale pour la détermination de l'unité canadienne de capacité, et de l'échelle d'impédance en général. Nous étudions également la possibilité de développer un condensateur calculable Thompson-Lampard à l'IÉNM.

Une panne d'électricité majeure en Ontario (Canada) à l'été de 2003 avait mené à la perte du contrôle thermique dans le laboratoire de capacité, et, par conséquent, causé un changement en forme d'échelon de la valeur de l'étalon primaire. Heureusement, nous avons des étalons de vérification qui nous ont permis de déterminer de façon précise le changement de cette valeur. Un système de climatisation indépendant sera installé dans le laboratoire au cours de la prochaine année pour empêcher que ce problème se présente de nouveau.

Une comparaison multifréquences de condensateurs de 10 pF et de 100 pF a échoué quand un des condensateurs a été endommagé et l'autre a été victime des problèmes environnementaux mentionnés ci-dessus. Des condensateurs Andeen-Hagerling additionnels ont été achetés pour augmenter la surabondance et l'indépendance des condensateurs étalons.

Un nouveau système de comparaison de tensions c.a. basé sur la méthode de comparaison de tensions coaxiales c.a. de Thompson a été étudié.

Les travaux dans le domaine du transfert c.a./c.c. se poursuivent. Dans ce projet, nous développons et maintenons des étalons primaires de différence de tension et de courant c.a. et c.c., effectuons l'étalonnage d'étalons de transfert c.a./c.c., de condensateurs de dérivation c.a. et de voltmètres aux niveaux de précision les plus élevés, et fournissons des services d'experts-conseils techniques.

Nous pouvons étalonner la différence de tension c.a./c.c. sur la plage de 2 mV à 1000 V dans la plage de fréquences 10 Hz à 1 MHz, et jusqu'à 30 V dans la plage de fréquences 1 MHz à 100 MHz. À présent, nous offrons l'étalonnage de courant/condensateur de dérivation c.a. pour les niveaux de 5 mA à 20 A, dans la plage de fréquences 10 Hz à 20 kHz (30 kHz aux courants moins élevés).

Au cours de la dernière année, nous nous sommes concentrés à améliorer nos capacités en étalonnage de condensateurs de dérivation c.a., en fonction des exigences de notre clientèle d'élargir notre plage de fréquences jusqu'à 100 kHz. Trois séries de condensateurs de dérivation coaxiaux haute fréquence, dans la plage de courant 10 mA à 10 A, ont été construits, et les étalons de travail choisis sont aux dernières étapes de caractérisation. Nous serons en mesure d'offrir cette capacité élargie à nos clients à la prochaine période d'étalonnage. Ces travaux se poursuivront dans l'année à venir et la plage de courant sera élargie jusqu'à 100 A à 100 kHz.

Les travaux visant à améliorer les capacités en transfert c.a./c.c. de tension RF sont toujours en cours. Nous prévoyons rénover et moderniser les installations d'étalonnage afin d'élargir la plage d'essai de tension RF jusqu'à 50 V.

Effet Josephson et résistance de Hall quantique

Ce projet comprend la recherche, le développement et l'entretien d'étalons de tension basés sur l'effet Josephson, et d'étalons de résistance basés sur la résistance de Hall quantique (QHR). Il comprend le développement de comparateurs de courants cryogéniques, de résistances étalons, de ponts de résistance et d'applications de réseaux Josephson.

*B. Wood, D. Inglis,
B. Young, K. Kochav,
M. Côté*

L'effet Josephson est un phénomène de mécanique quantique qui se produit quand deux supraconducteurs sont reliés faiblement pour former une jonction de Josephson. Lorsqu'une jonction de ce genre est refroidie à environ 4 K et exposée à un rayonnement électromagnétique de haute fréquence, elle se comporte en excellent transducteur de fréquence à tension. Lorsqu'il est alimenté d'une fréquence d'entrée f , le dispositif produit une tension V , qui est reliée linéairement et précisément à la fréquence f selon le rapport $2e/h$, où e est la charge d'un électron et h est la constante de Planck. Des réseaux série de plusieurs milliers de jonctions de Josephson ont été fabriqués pour créer une ligne de transmission de micro-ondes. Ces réseaux sont utilisés dans l'étalon de tension du CNRC. Cette structure peut produire des potentiels jusqu'à 10 V et sa précision est de quelques parties par 10⁹ ou mieux. On s'en sert couramment pour déterminer la valeur de différentes piles étalons et références à Zener. Dans une comparaison directe des tensions produites par les systèmes à réseaux de jonctions de Josephson du CNRC et du BIPM, l'écart relatif entre les valeurs était de moins de 2×10^{-10} .

La puce de 10 V a fait défaut et a été remplacée par une puce qui était beaucoup plus sensible à l'interférence de radiofréquences. On a apporté des améliorations au filtrage, au blindage et à l'électronique de polarisation pour résoudre ce problème. Un synthétiseur de micro-ondes à fréquences multiples fourni par PTB (Allemagne) a été utilisé pour étalonner les compteurs de fréquence JAVS à des centaines de fréquences dans la bande d'intérêt (près de 75 GHz). Les résultats montrent des différences entre nos deux compteurs de fréquence, et que l'un d'eux est exact à 2×10^{-11} près.

Dans le Système international d'unités, l'ohm est dérivé du volt et de l'ampère. En pratique, les laboratoires nationaux d'étalons utilisent des résistances de Hall quantiques (QHR) pour représenter la résistance depuis 1990. Ces résistances sont des dispositifs à semi-conducteurs qui donnent des valeurs de résistance qui sont essentiellement invariantes, et que l'on croit être des multiples de constantes fondamentales, lorsqu'elles sont refroidies à environ 1 K et exposées à un champ magnétique de quelques teslas. Selon une entente internationale, le premier multiple est équivalent à $25\,812,807\ \Omega$.

On emploie un pont comparateur de courants cryogénique (CCC) pour transférer des valeurs de la QHR à des résistances à enroulement de $100\ \Omega$, $1\ \Omega$, et $10\ \text{k}\Omega$, qui, à leur tour, sont utilisées pour transférer les valeurs aux étalons de travail utilisés pour étalonner les résistances des clients. La reproductibilité du CCC est de 5 parties par 109 pour le transfert de la QRH à la résistance de $100\ \Omega$.

À l'automne de 2003, la firme Measurements International Ltd. (MIL) avait livré et installé la première résistance d'étalon primaire « Quantohm » commerciale au Laboratoire physique national, en Inde. L'appareil est un étalon primaire à QRH portatif et relativement économique, conçu pour les laboratoires de métrologie nationaux, ainsi que pour les laboratoires industriels. Le Quantohm avait été conçu par le groupe Étalons d'électricité et mis au point en collaboration avec MIL, qui construit et commercialise l'étalon sous licence de l'IE NM-CNRC. Un dispositif à QRH mis au point au CNRC et refroidi au ^4He liquide jusqu'à une température de $1,2\ \text{K}$ dans des champs allant jusqu'à $8\ \text{T}$. Le réfrigérateur et l'aimant ont été conçus pour être insérés dans un vase Dewar de transport d'hélium. On emploie un pont comparateur de courants disponible dans le commerce pour obtenir des incertitudes relatives inférieures à 2×10^{-8} lors du transfert des valeurs de la QRH à une résistance à fil de $1000\ \Omega$. L'installation et les essais du système du NPL (Inde) ont été complétés en deux jours. Measurements International a par la suite reçu plusieurs demandes de renseignements sur leur système.

Depuis 2002, nous avons participé à un projet de collaboration intensif avec METAS et PTB, les INM de la Suisse et de l'Allemagne, dans le but de mieux comprendre quelques-uns des problèmes liés à l'utilisation de dispositifs à QRH aux fréquences allant jusqu'à $10\ \text{kHz}$. Au moyen d'une série de visites entre laboratoires, nous avons comparé des systèmes cryogéniques, des ponts et techniques de mesure, et des dispositifs à QRH de différentes sources. Les résultats comprennent : Une meilleure compréhension des ponts à rapport et à quadrature, et spécialement du rôle des égalisateurs de courants actifs et passifs dans ces ponts; la conclusion que toute dépendance sur la fréquence de la QRH est limitée à 0,02 parties par million à ces fréquences; la découverte que quelques-unes des résistances du type Gibrings fabriquées récemment montrent une dépendance linéaire de la fréquence que l'on ne comprend pas; et le résultat que les « plateaux courbés » qui n'existent que pour les dispositifs à QRH du PTB sont en effet liés aux dispositifs et ne sont pas un effet de la méthode de fixation des dispositifs, ni du système de mesure utilisé. Les travaux visant à résoudre ce dernier problème sont toujours en cours. En attendant, une série de trois articles décrivant l'état d'avancement de ce projet de collaboration sera présentée à la conférence CPEM 2004, à Londres.

Également en 2002, à la demande de la communauté internationale, nous avons entrepris un projet visant à produire un lot de quelques centaines de QRH destinées aux INM. Nous avons acheté deux plaquettes de GaAs/AlGaAs de l'Institut des sciences des microstructures du CNRC et avons analysé les propriétés d'une douzaine de dispositifs de ces plaquettes. Les hétérostructures sont bonnes, produisant des dispositifs fonctionnant à des champs magnétiques légèrement inférieurs à 10 teslas. Les travaux pour optimiser les contacts de ces dispositifs se poursuivent, et on compte terminer ce travail et distribuer les premiers dispositifs aux INM vers la fin de 2004.

Mesures de radiofréquences et de micro-ondes

Ce projet porte sur les étalons RF et micro-ondes de tension, d'affaiblissement, d'impédance, de puissance et de bruit dans la plage de fréquences 0,1 MHz à 110 GHz, et comprend les étalonnages courants pour les clients, les étalonnages spéciaux et la recherche.

A. Michaud,
D. Paulusse,
R.F. Clark

La plupart des étalonnages de puissance sont effectués avec un système automatisé qui est entretenu et mis à niveau de façon constante. La plage de ce système a été élargie au cours de la dernière année : Un nouvel étalon de transfert a été développé pour mesurer directement les thermistors à guide d'onde de bande Q (WR-22, 33-50 GHz). Nous avons aussi caractérisé une série d'adaptateurs et d'affaiblisseurs non symétriques, incluant ceux qui sont compatibles avec les connecteurs de 2,4 mm. Nous sommes maintenant en mesure d'étalonner couramment les détecteurs de puissance jusqu'à 50 GHz (2,4 mm).

Nous avons mis au point des étalons de transfert à guides d'ondes pour les bandes P et R au cours de la dernière année (WR-62, 12-18 GHz et WR-28, 26-40 GHz respectivement). Ces étalons sont maintenant utilisés couramment avec le système automatisé, ce qui permet de faire les étalonnages plus rapidement pour les clients. Les détecteurs de puissance sont analysés par comparaison directe avec des étalons de travail, qui sont liés au calorimètre de haute précision.

Des services d'étalonnage précis d'étalons de transfert d'affaiblissement sont disponibles, pour certaines fréquences, pour les dispositifs coaxiaux sur la plage de fréquences 1 MHz à 18 GHz et pour les dispositifs à guides d'ondes dans la plage de fréquences 2,6 GHz à 36 GHz.

Afin de prendre des mesures d'une précision raisonnable des paramètres « S » à haute vitesse, on emploie des analyseurs de réseaux de vecteurs pour couvrir la gamme de fréquences coaxiales 5 Hz à 50 GHz et couvrir les guides d'ondes jusqu'à 110 GHz.

Nous avons poursuivi le développement d'un nouveau genre d'étalon de puissance micro-ondes basé sur les interactions d'atomes refroidis au laser avec un champ de micro-ondes. On laisse tomber un échantillon atomique refroidi par laser (dans ce cas, la vapeur de rubidium) dans le champ de micro-ondes dans un guide d'ondes.

L'échantillon est analysé avec un deuxième laser lorsqu'il émerge du côté inférieur du guide d'ondes, afin de déterminer la puissance du rayonnement micro-ondes rencontré en traversant le guide d'ondes. Ce principe avait été démontré à la conférence CPEM 2002 à Ottawa, et avait été bien reçu. L'ajout d'une nouvelle chambre à vide comprenant une section fermée du guide d'ondes nous a permis d'évaluer l'exactitude de la méthode. Les calculs concordent avec les derniers résultats expérimentaux à 1,3 % près, avec une incertitude de 5 %. Ces résultats seront publiés dans un article qui a été accepté pour la conférence CPEM 2004.

Nous avons participé activement à un total de six comparaisons internationales de radiofréquences/micro-ondes au cours de l'année faisant l'objet du rapport. Dans le domaine des micro-ondes, comme pour les mesures de c.a./c.c., cette activité représente une part grandissante de notre charge de travail.

Richard Clark, travailleur invité dans le groupe Étalons d'électricité, a agi à titre d'évaluateur externe pour l'accréditation du laboratoire de métrologie RF du CSIR (Afrique du Sud) selon la norme ISO 17025 par le SANAS, l'organisme d'accréditation sud-africain.

Services à la clientèle

- Services d'étalonnage dans les domaines de la tension, la résistance, la capacité et l'inductance c.c. et de basses fréquences; et de l'affaiblissement, la tension, l'impédance et la puissance aux radiofréquences et aux fréquences micro-ondes. De plus, nous avons étalonné plusieurs ponts comparateurs de courants au niveau de précision le plus élevé pour des fabricants canadiens
- Fourniture d'information technique à un grand éventail d'intérêts canadiens et américains se rapportant à des sujets comme la disponibilité de services d'étalonnage, la traçabilité des mesures, les normes documentaires internationales, et les exigences canadiennes dans le domaine de la métrologie
- Fourniture d'expertise technique et d'examen sur les lieux des installations d'étalonnage des clients au Service d'évaluation des laboratoires d'étalonnage (CLAS) pour l'évaluation de deux laboratoires d'étalonnage commerciaux cherchant à être accrédités par le CCN ou à renouveler leur accréditation par le CCN selon la norme ISO 17025.

Comparaisons internationales

Comparaisons dans le cadre de l'ARM du CIPM pour lequel on a rédigé des rapports :

- CCEM-EM K6c : Différence de transfert c.a./c.c. RF
- CCEM-EM K8 : Rapport de tension c.c.
- CCEM-EM K9 : Différence de transfert c.a./c.c. haute tension

Comparaisons en cours dans le cadre de l'ARM du CIPM :

- CCEM-EM K7 : Rapport de tension c.a. Mesures complétées.
- CCEM-EM K10 : QHR via résistances de 100Ω Mesures complétées.
- CCEM-EM K11 : Basse tension c.a./c.c. Mesures complétées.
- CCEM-EM K12 : Transfert de courant c.a./c.c. Préparation en cours.
- CCEM-RF K10.CL : Puissance à 26 GHz Projet de rapport publié.
- CCEM-RF K19.CL : Affaiblissement, 60 MHz et 5 GHz, affaiblisseur en échelons de type « N » Mesures complétées.
- CCEM-RF S1.CL : Puissance à 50 GHz Mesures complétées.

Autres comparaisons :

- EUROMET 555 : paramètres « S » pour connecteurs de 2,4 mm Projet de rapport publié.
- EUROMET 633 : Puissance pour les connecteurs de type N et de 3,5 mm, 50 MHz à 18GHz Projet de rapport publié.
- APLAC : 1MΩ et 10 MΩ En cours, référence au laboratoire ES coordonnée par le CLAS.
- NACC : 1 Ω En cours, référence au laboratoire ES coordonnée par le CLAS.
- ILC 2002 : Comparaison de 10 V, par Zeners itinérantes Mesures complétées, rapport en attente de publication.

Comités et charges

Échelle internationale

CODATA

Task Group on Fundamental Constants
B.M. Wood, membre

National Institute of Science and Technology (NIST)

Review Panel for Electronics and Electrical Engineering
B.M. Wood, membre

Comité International des Poids et Mesures

Comité consultatif d'électricité et magnétisme
A.D. Inglis, membre

CCEM Working Group on Low Frequency Quantities
A.D. Inglis, membre

CCEM Working Group on Radio Frequency Quantities
A.D. Inglis, rapporteur

CCEM Working Group on ACQHR
A.D. Inglis, membre
B.M. Wood, membre

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC'05
P. Filipski, coprésident, comité organisateur

Power Engineering Society (PES)

PES/PSIM WG Practical Definitions of Powers in Nonsinusoidal Situations
P. Filipski, membre

Comités de rédaction

IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements
P. Filipski, Comité de rédaction

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'ÉNM à l'adresse suivante : inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/

Articles dans des publications revues

Filipski, P.S. and **M. Boecker**. "Experience with High-Output-Resistance MJTC AC-DC Transfer Standards," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **52**, 1314-1319 (August 2003).

Inglis, A.D., B.M. Wood, M. Côté, R.B. Young and **M. Early**, "Direct Determination Of Capacitance Standards Using A Quadrature Bridge And A Pair Of QHR Resistors", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **52**, 559-562 (April 2003).

Inglis, A.D., B.M. Wood, M. Côté, R.B. Young and **M. D. Early**. "Plateau Flatness In The ACQHR: Do Gates Really Help?", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **52**, 569-573 (April 2003).

G. Marullo-Reedtz, R. Cerri, I. Blanc, O. Gunnarsson, J. Williams, F. Raso, K. Kim, R.B. Frenkel, Z. Xiuzeng, A. S. Katkov, R. Dziuba, M. Parker, **Wood, B. M.**, L.A. Christian, E. Tarnow, S.K. Mahajan, A. Singh and Y. Sakamoto, "Comparison CCEM-K8 of DC Voltage Ratio: Results", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **52**, 419-423 (April 2003).

Articles dans des comptes rendus de

conférence

C. Hamilton, S. Kupferman, M. Salazar, D. Deaver and **Wood, B.** "Josephson Volt Interlaboratory Comparison At 10 V DC", NCLSI Conference Proceedings 2003 (August 2003).

Présentations orales invités

Wood, B. "Electrical Metrology I", BIPM Metrology Summer School, Sèvres, France (July 2003).

Wood, B. "Electrical Metrology II", BIPM Metrology Summer School, Sèvres, France (July 2003).

Autres présentations orales

Inglis, A.D. "NRC QHR devices for NMIs", Euromet Experts Meeting QHE and JAVS, Bratislava, June 2003.

Inglis, A.D. "AC-QHE: Report of the co-operation NRC-METAS-PTB", Euromet Experts Meeting QHE and JAVS, Bratislava, June 2003.

Personnel

Dave Inglis, Chef de groupe

Téléphone : (613) 991-5650
Télécopieur : (613) 952-1394
Courriel : dave.inglis@nrc-cnrc.gc.ca

Peter Filipski	993-2313
Alain Michaud	998-6925
Michael Boecker	998-2599
Marcel Côté	993-2867
Ken Kochav	998-4277
Chantal Miller	
Michael Ouellette	993-9619
Dave Paulusse	993-5772
Brent Young	993-5771
Barry Wood	990-9225

Travailleurs invités

Richard Clark	998-6925
Murray Early	



Les installations d'étalonnage de thermomètres à rayonnement du groupe Thermométrie ont déjà attiré l'intérêt des milieux scientifique et commercial, même si certaines des sources de rayonnement de corps noir sont toujours en voie de développement. Les installations ont été subventionnées pendant une période de quelques années à partir des affectations financières annuelles du groupe en raison du besoin perçu par l'industrie de cette capacité. Une présentation décrivant ses capacités a été bien reçue par un groupe international d'experts en thermométrie et a attiré un niveau d'intérêt qui mènera sans doute à de futurs projets de collaboration dans le domaine de plus en plus important de la thermométrie sans contact. Les sources à corps noir couvrant la gamme de températures de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ offre aux clients l'accès à des étalonnages de catégorie mondiale, alors que les chercheurs et techniciens de l'IE NM continuent à faire des poussées dans cette science. La firme Thermo-Kinetics, un fabricant et distributeur canadien de capteurs et d'instruments de thermométrie, s'est servie du service d'étalonnage au lieu d'envoyer leurs instruments au Royaume-Uni pour être certifiée à nouveau. Cette solution « faite au Canada » est beaucoup plus pratique et permet à Thermo-Kinetics et à d'autres clients canadiens d'avoir un service beaucoup plus rapide. En fait, certaines entreprises américaines se sont montrées intéressées aux capacités qu'offrent les installations. MedicalCV Inc., un fabricant de valves cardiaques du Minnesota, a fait vérifier ses instruments (qui sont d'une importance cruciale pour leurs méthodes de fabrication à haute température) par les installations, et a mentionné que la rapidité du service était critique pour ses opérations. Nous n'avons fait aucune publicité pour les installations jusqu'à présent, mais le nombre de clients continue à s'accroître principalement par le bouche à oreille. La thermométrie sans contact est très prometteuse et son utilisation est en pleine croissance dans différents domaines, à partir de l'entreposage des aliments et l'entretien des routes, jusqu'au traitement métallurgique par la chaleur et la fabrication à haute température. Les organisations canadiennes n'auront pas seulement accès aux installations, mais – ce qui est d'une importance égale – recevront aussi des conseils d'experts des chercheurs et techniciens qui représentent le Canada sur le plan international et travaillent à repousser les frontières de la métrologie.

Les objectifs du programme sont de mener des travaux de R-D, maintenir les étalons primaires, fournir des services de consultation technique, effectuer des étalonnages et veiller à ce que les installations d'étalonnage répondent aux besoins en thermométrie de la science et l'industrie au Canada.

Le programme a pour mandat de mettre en oeuvre l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) sur sa plage de températures définie de 0,65 K à plus de 2000 °C. Les domaines étudiés comprennent : les perfectionnements et améliorations de l'EIT-90; la caractérisation de références de température à points fixes précis; la caractérisation et l'étalonnage de différents indicateurs de température, incluant les thermomètres à résistance de platine et les thermocouples; les références de température secondaires comme les points fixes eutectiques et les fours à pression de vapeur; et différents problèmes de flux thermique.

Les étalons de température sont diffusés au moyen d'un service complet d'étalonnage à plus de 300 clients et grâce au soutien des activités du Service d'évaluation des laboratoires d'étalonnage. Les activités du programme ont des répercussions sur plusieurs secteurs de technologie, de fabrication, de transports et de services publics, et comprennent fréquemment des interactions avec d'autres instituts nationaux de métrologie (INM), ainsi qu'avec le Bureau international des poids et mesures (BIPM).

Les membres du groupe participent activement au Comité consultatif de thermométrie (CCT), l'organisme international responsable de la définition et de la diffusion de l'EIT, à titre de membres de différents groupes de travail. En participant aux différentes comparaisons clés organisées par le CCT, ils étudient la compatibilité des étalonnages effectués par les plus importants INM du monde.

La responsabilité qu'a le groupe de maintenir les étalons de température primaires et secondaires définit l'orientation de ses programmes de recherche. Ces activités comprennent la réalisation des points fixes primaires, l'étude des facteurs qui limitent l'exactitude de ces réalisations et des instruments étalonnés, et la recherche visant à améliorer l'échelle elle-même (c.-à-d. les mesures précises de températures thermodynamiques, le développement de meilleurs points fixes et/ou de méthodes d'interpolation améliorées).

Points fixes

*J. Ancsin, K.D. Hill,
C.K. Ma, A.G. Steele,
D.J. Woods*

Au-delà de 5 K, l'EIT assigne des températures à seize points fixes. Les températures choisies sont les meilleures valeurs évaluées de la température thermodynamique des points fixes. Dans ce projet, on cherche à déterminer les caractéristiques de références de température à point fixe précises afin d'améliorer leur rendement et d'évaluer plus précisément leur incertitude. Ce travail comprend l'étude de points fixes eutectiques en plus de matières pures.

J. Ancsin a étudié l'effet de différentes impuretés sur le point de congélation de l'aluminium, un point fixe de 660,323 °C de l'EIT. Il a dopé des échantillons d'aluminium avec diverses impuretés et a déterminé les écarts de leurs courbes

de fusion à l'équilibre dans des conditions expérimentales adiabatiques statiques. L'écart des températures à laquelle la température de l'échantillon commence à augmenter rapidement du plateau de fusion a été déterminé comme suit (échantillons d'Al d'une pureté de 99,9999 % auxquels les impuretés ont été ajoutées) : Ag, -0,12; Zn, -0,16; Cu, -0,29; Fe, -0,35; In, -0,21; quartz, -0,33; Si, -0,66; Ti, +3,30; Mn, -0,063; Cd, -0,10; Sb, -0,19; Ca ?; Ni, -0,43 (en millikelvins par partie par million, par poids).

J. Ancsin a aussi étudié l'influence de différents gaz sur le point de congélation de l'aluminium. Les expériences ont montré certaines lacunes dans la définition actuelle du point d'aluminium. Il a surveillé la pression de cellules d'aluminium scellées faites de quartz, et a découvert que la pression augmentait de façon constante après le scellement de l'échantillon. Il a conclu que les points fixes d'aluminium dans les cellules de quartz scellées sont dans un état de dérive. De plus, la température initiale des points d'aluminium obtenue par l'utilisation de cellules ouvertes est plus élevée que la température réalisée subséquentement. Cinq gaz différents ont été utilisés pour appliquer la pression initiale d'une atmosphère au-dessus des échantillons d'aluminium (air, N₂, Ar, He et CO₂). Chacun de ces gaz semblait contaminer légèrement les échantillons d'aluminium, abaissant la valeur initiale du point d'aluminium de 1 ou 2 mK. Cependant, les cellules de point triple de quartz scellées sont demeurées stables indéfiniment à leur valeur initiale. Par conséquent, le point triple de l'aluminium est un point fixe plus fiable que le point de congélation d'aluminium de la définition même.

K.D. Hill a fait une présentation lors d'un atelier à Turin (Italie), la *6th International Conference on Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology*, dans laquelle il a discuté des effets possibles des isotopes sur les températures des points fixes. Dans l'atelier, on avait conclu que les effets isotopiques étaient clairement importants dans le cas des points triples de l'hydrogène et de l'eau. Cependant, de façon générale, l'influence sur les autres points fixes est toujours incertaine en raison du manque de données expérimentales.

K.D. Hill et A.G. Steele faisaient partie des auteurs de deux rapports au CCT sur l'influence du deutérium sur la température du point triple de l'hydrogène (13,8033 K). La définition actuelle du point triple de l'hydrogène est ambiguë parce que les variations dans la teneur en deutérium provoque des variations dans la température du point triple allant jusqu'à 0,5 mK. Le point fixe doit être redéfini en précisant la concentration de deutérium. On pourrait ensuite faire des corrections en fonction de cette concentration (par rapport à la concentration de la référence).

C.K. Ma a signalé des résultats se rapportant à la réalisation exacte du point de congélation du cuivre. Il a montré que l'on doit tenir compte de la chute de température dans la paroi de la cavité du corps noir du point de congélation du cuivre. Cette chute de température (~1 mK) est difficile à mesurer et est ordinairement évaluée par des calculs théoriques. Dans la première expérience, il a construit plusieurs cavités cylindriques, chacune d'elles ayant une base circulaire d'épaisseur non uniforme. Pendant la fusion ou la congélation, la répartition des températures de la base doit réfléchir la chute de température variable due à

l'épaisseur variable. Les résultats montraient que l'effet de la surface non uniforme dominait celle de l'épaisseur variable, cette dernière étant non détectable. Dans la deuxième expérience, il a construit quatre corps noirs de point de congélation du cuivre atypiques qui étaient pratiquement identiques, sauf que l'épaisseur de la paroi, quoique uniforme dans chacun, différait d'un corps noir à l'autre. Les points de fusion de ces corps noirs ont été comparés au point de fusion d'un corps noir de référence. Les résultats montraient que la chute de température augmentait avec l'épaisseur de la paroi. Ma a appliqué ce résultat à un corps noir de point de congélation du cuivre plus typique et a évalué la chute de température à $1,1 \pm 0,6$ mK (1σ) au centre de la base. Un résultat comparable pour une cavité semblable, basé sur les limites inférieure et supérieure calculées par l'équilibrage détaillée des flux de chaleur radiatif et conductif dans des conditions restrictives opposées, est de $1,2 \pm 0,5$ mK.

A.G. Steele a présenté les résultats de mesures effectuées récemment sur les cellules de point triple du deutérium à l'équilibre. Deux cellules e-D2 de nouvelle génération, construites en acier inoxydable VAR et remplies à IMGCC en employant du Gd_2O_3 comme catalyseur de conversion du spin, ont été analysées à l'aide de thermomètres faisant partie de la CCT-K2 : 213865 (NPL) et de la 1872174 (CNRC). L'accord entre les échelles de température était excellent (moins de 0,15 mK). Les données montrant la constante de temps d'équilibration du spin pour une cellule VAR, recueillies sur une période d'un mois, ont aussi été présentées. La température des nouvelles cellules, en comparaison avec la cellule EUROMET-1 bien connue, était de 1,5 mK de moins. La raison de cette diminution était probablement la contamination par des impuretés.

A.G. Steele était un des auteurs d'un article présentant un aperçu d'une comparaison corrélatrice vedette internationale de points fixes de basse température.

De 1997 à 2002, 52 cellules de point triple scellées (STPC) des treize laboratoires représentés par les auteurs ont été étudiées au PTB (Allemagne). Les STPC sont utilisées pour réaliser les points triples de l'hydrogène, du néon, de l'oxygène et de l'argon, respectivement, comme points fixes définissant l'Échelle internationale de température de 1990, EIT-90. Les courbes de fusion de toutes les STPC ont été mesurées avec le même matériel expérimental, suivant un seul programme de mesures. Ce protocole permet de séparer les facteurs ayant des répercussions sur les courbes et de comparer directement les comportements des STPC, qui sont très différentes sur les plans de la conception, de l'âge, de la source de gaz, et de la technologie de remplissage. L'article mettait l'accent sur les propriétés typiques des quatre substances à point fixe, et les écarts dans les paramètres des STPC. Il traitait également des liens entre la comparaison corrélatrice vedette et les activités internationales complétées et en cours, incluant les comparaisons clés du Comité international des poids et mesures (CIPM).

Thermomètres

*J. Ancsin, K.D. Hill,
L. Reesink, C.K.
Ma, A.G Steele,
D.J. Woods*

Entre les points fixes, les températures de l'EIT-90 sont obtenues par interpolation à l'aide d'instruments normalisés et de formules assignées. Ces instruments normalisés sont le thermomètre à l'hélium gazeux (3 K à 24,5561 K), le thermomètre à résistance de platine (13,8033 K à 961,78 °C), et le pyromètre optique (au-dessus de 961,78 °C). Ce projet vise à perfectionner et à améliorer l'EIT-90; caractériser les différents indicateurs de température, incluant les thermomètres à résistance de platine (TRP) et les thermocouples; et étudier différents problèmes de flux thermique.

L'EIT-90

K.D. Hill et A.G. Steele ont signalé des évaluations du caractère non unique de l'EIT-90 basées sur des comparaisons de thermomètres de platine étalons de style capsule à plus de quatre-vingts températures de 13,8033 K à 273,16 K. En se servant des mesures signalées, ainsi que celles d'autres études, ils concluent que la variabilité est plus importante ($\pm 0,4$ mK) dans la gamme de température de 83,8058 K à 234,3156 K. On aurait pu prévoir ce résultat en raison du fait que la différence de température entre les points fixes d'argon et de mercure est de plus de 150 K, et qu'il n'y a pas de points d'étalonnage intermédiaires. Les discussions concernant les détails de l'échelle de température qui remplacera éventuellement l'EIT-90 doivent tenir compte de ce fait si l'on veut réduire la variabilité. Il n'existe toutefois à présent pas de points fixes candidats dans cette plage de température qui soient réalisables au niveau d'exactitude nécessaire pour qu'ils fassent partie d'une échelle internationale de température révisée.

Thermomètres à résistance de platine

J. Ancsin a signalé une étude dans laquelle il a immergé des TRP à différentes températures, et a observé les changements causés par l'oxydation et la dissociation subséquente de l'oxyde formé. L'immersion à une température inférieure à 400 °C donnait lieu à une oxydation dans certains TRP; par la suite, leur résistance augmentait progressivement avec la température jusqu'à environ 525 °C. La résistance des TRP demeurait stable lorsqu'elles étaient immergées à environ 525 °C. Cela indique que l'énergie thermique « kT » est égale à l'énergie de liaison de l'oxygène à la platine à la pression d'oxygène présente. L'oxyde formé se dissociait aux températures supérieures à 525 °C. Plus la température était élevée, plus l'énergie thermique était grande, et par conséquent, plus le taux de dissociation était élevé. Une heure d'immersion près du point de l'aluminium a donné lieu à de l'oxyde dissocié qui a mis des centaines d'heures pour accumuler. Trois des sept TRP analysés ne s'oxydaient pas malgré qu'elles aient été immergées depuis quelques mois. Cependant, l'oxydation s'est amorcée dans deux des trois TRP suite à une immersion supplémentaire.

Thermocouples

K. D. Hill et Y.-G. Kim (KRISS, Corée) ont comparé l'équivalence d'étalonnages de thermocouples effectués dans leurs installations respectives. Des thermocouples

de type S et de Pt/Pd, ayant une jonction commune soudée, ont été étalonnés aux points fixes métalliques de l'étain, du zinc, de l'aluminium et de l'argent pendant cinq cycles à chaque INM. Les propriétés d'immersion dans les cellules à point fixe ont aussi été étudiées. Dans le cas du thermocouple de type S, les différences étaient inférieures à l'équivalent de 0,15 °C à tous les points fixes. Dans le cas du thermocouple de Pt/Pd les différences de température équivalentes étaient de moins de 0,04 °C, du point de l'étain au point de l'aluminium, mais la différence était de 0,32 °C au point de l'argent. Cette différence peut être attribuée à la valeur de 12 µV pour l'inhomogénéité thermoélectrique du thermocouple de Pt/Pd révélée par les profils d'immersion. La comparaison a confirmé que les étalonnages de thermocouples à points fixes effectués par les deux INM concordent très bien l'un avec l'autre, mais les résultats semblent limités par l'inhomogénéité thermoélectrique imparfaite des thermocouples utilisés.

Thermométrie à rayonnement infrarouge à transformée de Fourier

L. Reesink et A.G. Steele ont présenté les résultats de mesures expérimentales de températures thermodynamiques par spectroscopie à transformée de Fourier de sources de rayonnement de corps noir. Ils ont comparé ces résultats à des simulations théoriques de spectres de corps noirs afin d'évaluer la faisabilité et l'exactitude de la méthode. Une grande partie de l'information sur la température thermodynamique contenue dans de telles séries de spectres est redondante. Leur présentation comprenait une méthode (basée sur la proposition originale de Gebbie et des travaux effectués récemment au CNRC) qui exploite cette redondance de façon simple pour obtenir les températures thermodynamiques de chacune des sources spectrales. Ils ont brièvement décrit le montage expérimental, ainsi que l'analyse des résultats expérimentaux les plus récents et une comparaison aux simulations.

Thermométrie à rayonnement (pyrométrie optique)

Les températures supérieures à 962 °C sur l'EIT-90 sont réalisées au moyen d'un pyromètre optique étalonné à l'un ou l'autre des points de congélation de l'argent, de l'or ou du cuivre, selon la loi de rayonnement de Planck. Le pyromètre doit être effectivement monochromatique et la source de référence doit être un simulateur de corps noir.

K.D. Hill et D.J. Woods ont signalé l'établissement d'un laboratoire d'étalonnage de thermomètres à rayonnement basé sur les corps noirs. Les thermomètres à rayonnement modernes ont fréquemment besoin d'une cible de dimensions plus grandes que celles du filament d'une lampe au tungstène. Bien que nous utilisions des lampes de ce genre depuis plusieurs années pour étalonner les pyromètres optiques à filament disparaissant, il est évident que nos installations d'étalonnage traditionnelles doivent être améliorées pour satisfaire les exigences des instruments modernes. À cette fin, nous avons établi plusieurs sources à corps noir, dont quelques-unes émettent à des points fixes de l'EIT-90, et quelques-unes peuvent être à température réglable. Nous avons établi des sources à corps noir aux points fixes de l'indium, de l'étain, du zinc, de l'aluminium et de l'argent. Trois bains de liquides (alcool, eau et huile), dotés de ports latéraux pour les cavités de corps noir, couvrent la gamme de température de 50 °C à 300 °C. Les corps noirs à caloduc

rempli de césium fonctionnent à une température allant de 300 °C à 660 °C; les corps noirs à caloduc rempli de sodium fonctionnent à une température de 660 °C à 1000 °C; et les corps noirs au graphite à chauffage direct fonctionnent de 800 °C à 2500 °C. Dans le cas des sources à corps noir à température variable autres que les fours au graphite à chauffage direct, nous avons établi la traçabilité à l'EIT-90 au moyen d'un thermomètre à résistance de platine étalon aux températures inférieures à 660 °C, et d'un thermocouple or-platine aux températures de 660 °C à 1000 °C. Un thermomètre à rayonnement bien caractérisé (LP3), étalonné au point de congélation de l'argent, assure la traçabilité à l'EIT-90 du corps noir au graphite.

Méthodes/analyses statistiques des comparaisons clés

K.D. Hill et A.G. Steele (en collaboration avec R.J. Douglas du groupe Étalons de fréquence et de temps) ont participé à l'analyse d'ensembles de données de comparaisons clés au moyen d'une présentation faite à la conférence internationale *Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology*. Les ensembles de données de comparaisons de mesures sont ordinairement résumés à l'aide d'une valeur de référence statistique simple calculée à partir de l'ensemble des résultats des participants. Cette valeur peut devenir le point de référence servant à évaluer le rendement des laboratoires participants. L'étude des ensembles de données de comparaison, surtout en ce qui a trait aux conséquences et aux conséquences de tels rassemblements de données, permet de prendre des décisions informées concernant l'opportunité de choisir une valeur de référence statistique simple. Les chercheurs ont étudié des résultats de comparaisons clés récentes tirés de la base de données du BIPM (Bureau international des poids et mesures) pour illustrer la nature du problème, et ont présenté une méthode simple pour créer des répartitions de données rassemblées. Ils recommandent l'utilisation appropriée d'analyses détaillées lorsqu'on parle en faveur d'une valeur de référence de comparaison clé (KCRV), ou lorsqu'on décide qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser une KCRV pour les ensembles de données particuliers obtenus expérimentalement.

K.D. Hill, A.G. Steele

Comparaisons internationales

- CCT-K1 « Réalisations de l'EIT-90 de 0,65 K à 24,5561 K à l'aide de thermomètres à résistance de rhodium-fer »
Le projet de rapport a été diffusé en janvier 2004, et on prévoit présenter un article sur les résultats à la conférence TEMPMEKO 2004. Le NPL (R-U) est le laboratoire pilote et les participants comprennent le NIST (États-Unis), le NMIJ (Japon), le CNRC, le NMi-VSL (Pays-Bas), le PTB (Allemagne), et le VNIIFTRI (Russie).
- CT-K5 « Comparaison de réalisations locales de l'EIT-90 de 962 °C à 1700 °C à l'aide de lampes à filament de tungstène sous vide utilisées comme étalons de transfert »
Le rapport est toujours en cours de préparation par le laboratoire pilote (NMi-VSL), même si le progrès est plutôt lent. Une version révisée est prévue d'ici la mi-2004.

- **CCT-K7 « Comparaison de cellules du point triple de l'eau »**
Les mesures ont été complétées et les cellules ont été retournées aux laboratoires participant à la comparaison. Le projet de rapport est en cours de préparation par le laboratoire pilote (BIPM) et le projet devrait se conclure en 2004.
- **CNRC-VNIIFTRI (Russie) « Comparaison de thermomètres à résistance de platine étalons de type capsule de 13,8 K à 273,16 K »**
Selon les résultats pour un des deux thermomètres, les échelles du CNRC et du VNIIFTRI concordent l'une avec l'autre dans les limites des incertitudes combinées élargies ($k = 2$). Cela n'est pas le cas pour les résultats pour le deuxième thermomètre, pour lequel les différences sont dans les limites des incertitudes combinées élargies pour seulement deux des huit températures de la comparaison. Une comparaison du cryostat à 273,16 K montre que la valeur pour le thermomètre 476 est clairement incompatible, indiquant soit une erreur dans l'étalonnage de départ, soit un changement dans le thermomètre depuis son étalonnage au VNIIFTRI. Nous concluons que les résultats pour le deuxième thermomètre ne sont pas représentatifs des capacités du VNIIFTRI. Un projet de rapport a été soumis au groupe de travail WG7 du CCT, quoique nous prévoyons que des révisions seront apportées au rapport avant qu'on approuve l'entrée des résultats dans la base de données du BIPM.
- **CNRC-KRISS (Corée) « Comparaison de thermocouples de type S et de Pt/Pd »**
Les différences de température équivalentes pour le thermocouple de Pt/Pd étaient à moins de 0,04 °C du point de l'étain au point de l'aluminium, mais on a obtenu une différence de 0,32 °C au point de l'Argent. Cette différence peut être attribuée à l'inhomogénéité thermoélectrique du thermocouple de Pt/Pd révélée par les profils d'immersion. Dans le cas du thermocouple de type S, les différences étaient inférieures à l'équivalent de 0,15 °C à tous les points fixes. La comparaison a confirmé que les étalonnages de thermocouples à points fixes effectués par les deux INM concordent l'un avec l'autre, même si les résultats étaient limités par l'inhomogénéité thermoélectrique imparfaite des thermocouples utilisés.
- **CNRC-NIST (États-Unis) « Comparaison des réalisations locales de l'EIT entre 962 °C et 1700 °C à l'aide de lampes à filament de tungstène sous vide utilisées comme étalons de transfert »**
Toutes les mesures ont été complétées et l'analyse est en cours.
- **CNRC-PTB (Allemagne) « Comparaison des réalisations locales de l'EIT-90 entre 962 °C et 1700 °C à l'aide de lampes à filament de tungstène sous vide utilisées comme étalons de transfert »**
La comparaison est maintenant terminée et les résultats seront présentés à la conférence TEMPMEKO 2004. De plus, un rapport détaillé sera soumis au groupe de travail WG7 du CCT responsable de surveiller les comparaisons clés. Le résultat global est très satisfaisant, étant bien à l'intérieur des limites des incertitudes combinées ($k = 1$).

Services à la clientèle

Le Groupe offre une gamme complète d'étalonnages de température pour les thermomètres de résistance, les thermomètres à liquide en verre, les thermistances, les thermocouples et les thermomètres à rayonnement. Le Groupe maintient également différents points fixes, fours, bains de circulation, lampes étalons et corps noirs nécessaires pour faire les étalonnages. Nous avons effectué l'étalonnage de 195 thermomètres individuels pour 82 clients au cours de la dernière année.

J. Ancsin, D. Gee,
K.D. Hill, D.J. Woods

Comités et charges

Échelle internationale

Comité International des Poids et Mesures

Comité consultatif de thermométrie
K.D. Hill, membre
A.G. Steele, rapporteur

CCT WG 1: Defining fixed points and interpolating instruments
K.D. Hill, membre

CCT WG 2: Secondary fixed points and techniques of approximation to the ITS-90
K.D. Hill, président

CCT WG 4: Thermodynamic temperature determinations and extension of the ITS-90 to lower temperatures
L. Reesink, membre

CCT WG 7: Key Comparisons
A.G. Steele, Chair

Inter-American Metrology System (SIM)

Technical Committee, Thermodynamic Group
K.D. Hill, membre

IMEKO

Technical Committee 12
A.G. Steele, membre

International Program Committee for TEMPMEKO 2004 (Dubrovnik, Croatia, June 2004)

J. Ancsin, membre
K.D. Hill, membre

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'ÉNEM à l'adresse suivante : <http://inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/>.

Articles dans des publications revues

Ancsin J. "Impurity dependence of the aluminium point", *Metrologia*, **40**, 36-41 (2003).

Ancsin J. "ITS-90: The instability of the Al point", *Metrologia*, **40**, 232-234 (2003).

Articles dans des comptes rendus de conférence

Ancsin, J. "Oxidation of platinum resistance thermometers", *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, **7**, 345-350 (2003).

Y.-G. Kim and **Hill, K.D.** "Bilateral Comparison of Type S and Pt/Pd Thermocouples Between KRISS

and NRC", *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, **7**, 915-920 (2003).

G.F. Strouse and **Hill, K.D.** "Performance Assessment of Resistance Ratio Bridges Used for the Calibration of SPRTs", *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, **7**, 327-332 (2003).

Hill, K.D. and **A.G. Steele.** "The Non-Uniqueness of the ITS-90: 13.8033 K to 273.16 K", *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, **7**, 53-58 (2003).

Hill, K.D. and **D.J. Woods.** "The NRC Blackbody-based Radiation Thermometer Calibration Facility", *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, **7**, 669-674 (2003).

Ma, C.K. "Experimental investigation of the temperature drop across the wall of a copper- freezing-point blackbody", *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, **7**, 651-656 (2003).

Reesink, L., N.L. Rowell and A.G. Steele. "Using Fourier-Transform Blackbody Spectra to Determine Thermodynamic Temperature in the 600 °C to 1000 °C Range", *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, **7**, 19-24 (2003).

B. Fellmuth, D. Berger, L. Wolber, M. de Groot, D. Head, Y. Hermier, Y.Z. Mao, T. Nakano, F. Pavese, V. Shkraba, **Steele, A.G.**, P.P.M. Steur, A. Szymrka-Grzebyk, W.L. Tew, L. Wang and D.R. White.

"An International Star Intercomparison Of Low-Temperature Fixed Points Using Sealed Triple-Point Cells", *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, **7**, 885-890 (2003).

Steele, A.G. and D.I Head. "Comparison of "VAR" Deuterium Triple Point Cells", *Proceedings of 2nd International Seminar and Workshop on Low Temperature Thermometry*, 4 pages, Wroclaw, Poland (October 2003).

Autres articles

R. Saunders, **Steele, A.G.** and A. Duggal. (15 May 2003) "The Ramifications of Selective Raman Amplification", *America's Network*, <http://www.americasnetwork.com/americasnetwork/article/articleDetail.jsp?id=59936>.

Présentations orales

Hill, K.D. "The ITS-90 Metal Fixed Points: Isotopes and Ambiguity", International Workshop on Problems

in the Use of Gases and Isotopic Substances in Metrology and for a Knowledge-Based Society (PUGIS 2003), Torino, Italy (May 2003).

Steele, A.G., K.D. Hill and R.J. Douglas. "Pooled Data Distributions: Graphical and Statistical Tools for Examining Comparison Reference Values", *Proceedings of 6th International Conference on Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology*, Torino, Italy, 10 pages (September 2003).

Rapports et documents techniques

Hill, K.D. "Report of Working Group 2 to the Comité Consultatif de Thermométrie: April 2003", CCT/03-14, 2 pages (2003).

Hill, K.D., A. G. Steele, M. de Groot, R. Rusby, S. Bell, D. Ripple (substituting G. Strouse), H. Ugr (acting Chair), E. Tegeler, **K.-H. Kang** and M. Stock (original draft by F. Pavese). "Report of Working Group 7 on Key Comparisons (13 May 2003)", 5 pages, CCT/03-33 (2003).

B. Fellmuth, L. Wolber, Y. Hermier, F. Pavese, P.P.M. Steur, I. Peroni, A. Szymrka-Grzebyk, L. Lipinski, W.L. Tew, T. Nakano, H. Sakurai, O. Tamura, D. Head, **Hill, K.D.** and **A.G. Steele.** "Dependence of the triple-point temperature of diluted mixtures of deuterium (as HD) in protium on the deuterium content", CCT/03-13, 3 pages (2003).

F. Pavese, B. Fellmuth, D. Head, Y. Hermier, H. Sakurai, **Hill, K.D.**, A. Szymrka-Grzebyk and W.L. Tew. "Proposal of a provisional integration of the ITS-90 definition concerning the temperature of the triple point of equilibrium hydrogen", CCT/03-16, 1 page (2003).

Personnel

Ken Hill, Chef de groupe

Téléphone : (613) 998-6077
Télécopieur : (613) 952-1394
Courriel : ken.hill@nrc-cnrc.gc.ca

John Ancsin	993-9382
-------------	----------

Douglas Gee	993-2393
-------------	----------

C. K. Ma	998-4231
----------	----------

Lex Reesink	
-------------	--

Alan Steele	993-9384
-------------	----------

Don Woods	993-9377
-----------	----------

Rob Douglas	990-0126
-------------	----------

Étalons de fréquence et de temps	
----------------------------------	--

Nelson Rowell	993-2377
Photométrie et radiométrie	

Travailleurs invités

Ron Bedford	993-9373
-------------	----------

Zhiru Kang	
------------	--



L'ÉNM collabore avec Santé Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada, l'industrie canadienne, le milieu universitaire et la communauté internationale de la recherche pour établir des étalons de mesure dans le domaine des produits de santé naturels (PSN). L'Institut a mis en service des instruments d'analyse à la fine pointe de la technologie afin d'assurer des capacités dans ce secteur. Grâce à l'appui de la communauté de la recherche sur les PSN au Canada, l'ÉNM deviendra un chef de file parmi les laboratoires cherchant à mettre au point des méthodologies de référence et à produire des matériaux de référence certifiés pour la caractérisation des PSN et des aliments fonctionnels, en ce qui a trait à leur sûreté et qualité.

Le groupe Métrieologie chimique de l'Institut des étalons nationaux de mesure est le laboratoire national de métrieologie de fait pour le Canada. Il est responsable des compétences analytiques de ce genre. Il est lié étroitement à d'autres instituts nationaux de métrieologie et certains membres de son personnel participent à des comités de normalisation internationaux.

Les principaux objectifs du groupe Métrieologie chimique sont les suivants :

- effectuer des travaux de R-D dans certains domaines de l'analyse de composés organiques et inorganiques à l'état de traces, en collaboration avec les fabricants d'instruments canadiens lorsque appropriée
- participer à des comparaisons avec les laboratoires nationaux de pays étrangers et coopérer avec des organisations internationales pour assurer l'uniformité des méthodes d'analyse chimique
- maintenir de liens solides avec les laboratoires analytiques environnementaux canadiens et étrangers par la production des matériaux de référence certifiés (MRCs) environnementaux et le soutien technique des essais de compétences des laboratoires et des activités d'accréditation
- gérer des installations nationales d'analyse élémentaire de matériaux de haute pureté par spectrométrie de masse à décharge lumineuse.

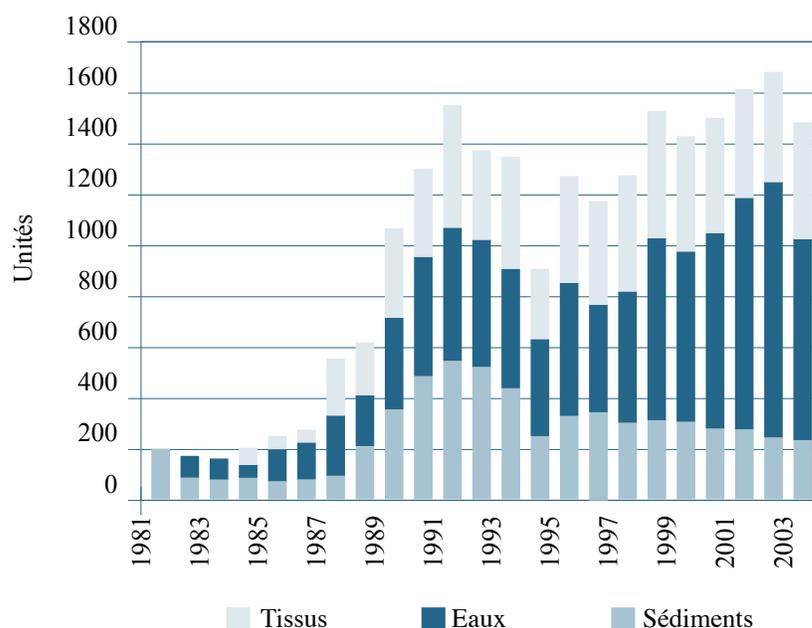
Le laboratoire est reconnu à l'échelle internationale pour la qualité de son travail sur l'analyse des métaux lourds à l'état de traces et de certains polluants organochlorés. Les recherches effectuées dans ce domaine ont soutenu le Programme d'étalons de chimie analytique marine (PECAM) depuis 25 ans, le but principal de ces recherches étant le développement de méthodologies robustes et précises pour l'analyse d'éléments-traces, de BPC, de pesticides, de dioxines et de furanes dans les échantillons d'intérêt environnemental. Le PECAM a aussi cherché à développer, à certifier et à diffuser des MRCs à l'appui de telles analyses. Le Programme a diffusé approximativement 23 000 unités de matériaux de référence certifiés partout dans le monde jusqu'à présent.

Matériaux de référence certifiés

La validité de plusieurs analyses environnementales au Canada et ailleurs est démontrée par l'obtention de résultats exacts pour un ou plusieurs de ces MRC produits par l'IE NM. La série de MRC disponibles actuellement comprend quatre eaux naturelles et quatre tissus biologiques pour l'analyse d'éléments traces, trois sédiments marins pour l'analyse d'éléments importants et d'éléments traces, trois sédiments marins pour la spéciation d'organotins, un tissu ichthyologique pour l'analyse de composés organochlorés et des MRC pour l'analyse de la teneur totale en mercure dans l'eau des rivières et des éléments nutritifs dans l'eau de mer.

Certains projets dans le domaine des produits de santé naturels (PSN) promettent de donner lieu à des méthodologies validées et des MRC. Ces projets viendront appuyer le nouveau cadre réglementaire de Santé Canada pour l'importation, la production et la vente de PSN, et augmenteront la sécurité des consommateurs et leur confiance dans de tels produits. Ce programme est intimement lié à des activités semblables se déroulant aux États-Unis sous les auspices des NIH et de la FDA.

Il est intéressant de noter que deux de nos MRC de sédiments les plus récents (HIPA-1 et SOPH-1), produits dans le but d'appuyer la spéciation du butylétain dans les sédiments, sont le résultat d'un exercice conjoint avec un autre INM important (LGC Ltd., Royaume-Uni), représentant la première entreprise de collaboration de ce genre.



Les ventes de MRC de l'IE NM ont légèrement diminué pour la première fois l'an dernier, soit en raison d'une plus forte concurrence d'autres producteurs à l'échelle mondiale, ou d'une diminution du marché. Au total, 1490 unités de MRC furent

distribuées, ce qui représente une diminution d'environ 12 % par rapport à 2002-2003. Les ventes totales de MRC pour l'analyse des traces d'éléments dans les tissus biologiques ont été de 471, soit une augmentation d'environ 3 %, et les ventes des quatre MRC destinés à l'analyse des sédiments sont demeurés stables à 224. Depuis 1981, ce sont presque 23 000 unités de matériaux de référence qui ont été distribuées, dont plus de la moitié de ce nombre incluent nos produits pour les eaux naturelles.

Il existe toujours une pénurie critique de matériaux de référence matricielles et même dans le domaine de l'environnement, nos clients nous demandent des produits plus diversifiés. Nous sommes en train de mettre au point de nouveaux MRC : Un MRC d'otolite pour l'analyse d'éléments traces; une série de solutions de mercure et d'organomercure pour l'analyse de la composition isotopique; une levure sélénisée pour l'analyse de la sélénométhionine. De plus, on a trouvé des sources et fait l'acquisition de matières brutes pour la racine de ginseng américain (*Panax quinquefolius*) et un extrait séché par atomisation 5:1 de racine de ginseng américain.

Méthodologies et instrumentation

Ces activités comprennent plusieurs projets dont les principaux buts sont d'augmenter nos capacités en analyse de composés organiques et inorganiques à l'état de traces et d'assurer le soutien de nos activités de certification de MRC.

La validation des méthodologies analytiques et la production de MRC dans le domaine de la santé exigent le développement d'une instrumentation et de techniques générales en fonction des questions venant à la lumière. On ne peut atteindre ce but qu'en suivant un programme actif de recherche fondamentale. On doit continuellement développer de nouvelles sources « accordables » et utiliser de nouvelles techniques de séparation comme l'électrochromatographie capillaire, la MALDI à pression atmosphérique et la microextraction en phase solide par chromatographie en phase gazeuse en tandem avec les systèmes de détection à source de plasma. Nous faisons des études fondamentales dans le domaine des techniques de production de vapeurs métalliques, car cette discipline est à la base de plusieurs méthodes courantes de spéciation et augmente les capacités générales en analyse ultra-trace. L'utilisation de la spectrométrie de mobilité ionique en champ intense à forme d'onde asymétrique (FAIMS) s'élargit de plus en plus alors que les détails des mécanismes et de la base structurale de séparation d'ions dans cette technique s'éclaircissent. Ainsi, il sera possible d'effectuer rapidement les séparations avec peu ou aucune réduction de la complexité de la matrice des échantillons.

Biotechnologie

Les progrès en biotechnologie dépendent de la mesure fiable et précise des paramètres physiques, chimiques et biochimiques qui caractérisent les systèmes

J. McLaren

biologiques et biomoléculaires. La biométrie englobe l'ensemble des mesures qui sont d'un intérêt particulier pour la biotechnologie. Des étalons internationaux pour les mesures biomoléculaires sont nécessaires dans des domaines aussi divers que le commerce, la réglementation et la santé.

Les progrès en biométrie se font aussi de plus en plus pressants pour apaiser les inquiétudes croissantes à l'endroit des organismes génétiquement modifiés à l'échelle internationale et pour satisfaire aux nouvelles exigences d'étiquetage obligatoire des semences et des aliments transgéniques. Des restrictions sur l'importation de certaines céréales, plantes et graines oléagineuses représenteraient une menace grave pour les exportations canadiennes de canola, de blé et de pommes de terre. De telles restrictions au commerce seront basées sur des mesures techniques, comme la concentration en organismes génétiquement modifiés (OGM) des denrées ou produits alimentaires, et des étalons de mesure précis, équitables et acceptés par la communauté internationale seront d'une importance capitale pour l'industrie agricole canadienne.

Au cours de l'exercice financier 2002-2003, l'IÉNM-CNRC avait reçu une subvention de 250 000 \$ de la Stratégie canadienne de la biotechnologie (SCB) pour réaliser un projet intitulé *Mesure quantitative des OGM – Première phase : Détermination des besoins et développement de méthodes*. Ce projet a pour but général de coordonner le développement d'étalons de mesure et matériaux de référence certifiés (MRC) reconnus et acceptés sur le plan international pour l'analyse de la teneur en OGM dans les aliments par l'analyse quantitative d'ADN.

La partie du projet visant à « déterminer les besoins » a consisté principalement d'un atelier interministériel d'un jour sur la détermination des besoins en matière d'OGM organisé par l'IÉNM-CNRC en juin 2002 et d'un symposium d'un jour sur l'analyse des OGM tenu conjointement avec la conférence de l'IUPAC de 2003, à Ottawa, en août 2003. Ce dernier événement comptait des conférenciers de l'Australie, du Canada, de la Communauté européenne, du Japon et des États-Unis. Les intervenants du secteur gouvernemental et de l'industrie y étaient représentés.

Deux laboratoires de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) (un à Ottawa et l'autre à Sidney, Colombie-Britannique), pourvus d'installations et d'expertise en analyse quantitative d'ADN à PCR en temps réel, ont reçu 100 000 \$ de la SCB en 2003-2004 pour poursuivre le développement de méthodes se rapportant au projet. Un des laboratoires (ainsi que l'IÉNM-CNRC) a participé à une étude pilote mondiale visant à déterminer le degré d'équivalence des instituts nationaux de métrologie (INM) et des laboratoires désignés experts en analyse quantitative d'ADN.

En février 2004, Monsanto et l'IÉNM-CNRC ont signé un accord de transfert de matière permettant à l'IÉNM de coordonner le développement des premiers MRC de canola modifié génétiquement en collaboration avec l'ACIA, et possiblement d'autres INM participant à des activités connexes. Des études préliminaires effectuées au laboratoire de l'ACIA, à Ottawa, ont démontré qu'il était possible de produire de telles matières à partir de graines de canola.

Un Comité directeur du projet de production de MRC à partir de canola avait été formé. Il était composé de représentants de l'IEÑM, de ministères fédéraux, de l'Association canadienne de producteurs de semences et de Monsanto et s'est réuni quatre fois à l'IEÑM, de novembre 2003 à avril 2004, pour élaborer un plan détaillé pour le projet et discuter de stratégies de financement.

Microextraction en phase solide

La technique de la microextraction en phase solide (SPME), lorsque utilisée avec la spectroscopie atomique et la spectrométrie de masse organique, offre un moyen unique pour analyser l'équilibre des éléments traces dans plusieurs systèmes. Par contraste avec les techniques d'extraction exhaustives, la SPME ne perturbe pas l'équilibre naturel du système analysé. Cela permet de mesurer la distribution des formes moléculaires et dissociées, ou des formes actives ou inactives, de macromolécules contenant des métaux. Le caractère non invasif de la SPME, jumelé à sa facilité d'utilisation et sa rapidité d'échantillonnage, font de cette technique un moyen idéal pour étudier les espèces volatiles. Cela est dû au fait que la SPME permet de séparer la substance à analyser de façon nette et rapide de la matrice complexe, et donc est très sensible et a un grand pouvoir de détection. La SPME a été utilisée en combinaison avec des techniques de dérivation des substances à analyser afin d'avancer considérablement nos études de spéciation, et pour fournir des données pour la certification de la teneur en espèces dans plusieurs MRC. On continue d'étudier les usages possibles de cette technique avec différentes instrumentations. La dérivation classique d'ions métalliques aquo pour produire des composés chélatés volatils pouvant être échantillonnés par SPME a récemment révélé le vaste potentiel d'analyses ultra-traces des métaux de transition à l'aide de techniques GC-MS.

*Z. Mester, R. Sturgeon,
P. Maxwell, L. Yang,
P. Grinberg,
V. Colombini,
L. Abranko*

Spéciation

Les recherches montrent que l'effet des éléments traces dans les systèmes vivants, les aliments et l'environnement dépend de la forme chimique dans laquelle l'élément s'introduit dans le système et la forme définitive qu'il prend. La forme, ou l'espèce, gouverne son propre comportement biogéochimique. Il est souvent difficile d'obtenir de telles données en raison des concentrations extrêmement faibles des substances à analyser, la complexité des matrices, et l'instabilité fréquente de l'espèce. L'assurance de la qualité des méthodes analytiques nécessaire pour déterminer la concentration de telles espèces ne peut être assurée que par l'utilisation de matériaux de référence représentatifs qui ont été certifiés pour les espèces en question. Les inquiétudes majeures sont la biodisponibilité des éléments traces dans les aliments et l'amélioration de la gestion des déchets rattachée aux différentes espèces. En relevant ce défi, le groupe Métrologie chimique est un meneur consistant sur le plan mondial dans le domaine de la spéciation, et le premier producteur de matériaux de référence à fournir des MRC certifiés pour la spéciation de certains éléments (Hg, Sn et As). Au cours de la dernière année, le groupe a coordonné un projet pilote (P43) et un exercice de contre-étalonnage

*Z. Mester, L. Yang,
S. McSheehy,
P. Maxwell, C. Scriver,
M. Cui,
C. Bancon-Montigny,
B. Sadi, R. Sturgeon*

international clé (K18) sous les auspices du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) du CIPM. Ces exercices avaient pour but d'évaluer les capacités des INM à déterminer la teneur en dibutylétains et tributylétains dans les sédiments marins. Ces activités ont mené directement à la certification de deux nouveaux MRC pour le tributylétain (SOPH-1 et HIPA-1) dans les sédiments, qui ont été diffusés conjointement par le CNRC et LGC Ltd. (Royaume-Uni). Un projet est en cours visant l'identification et la détermination de la teneur en acides aminés contenant du sélénium comme la sénélo-cystéine (les éléments constitutifs des séléno-macromolécules protéiniques). Ce projet a pour but de produire un MRC pour les suppléments alimentaires à levures sélénisées. L'Institut Rosell-Lallemand, un important fabricant de levures, nous aide dans ce projet en nous offrant du soutien pour un stagiaire postdoctoral, ainsi que des matériaux et de l'expertise.

Produits de santé naturels

*A. Windust, J.
Lam, G. Gardner,
P. McCooey,
C. Fraser, M. Le*

La production et consommation de produits de santé naturels (PSN) est en plein essor partout dans le monde. Les Canadiens et Canadiennes assument une plus grande responsabilité pour leur santé, se sert de médecines douces ou traditionnelles, de thérapies complémentaires et de produits de santé naturels. Les plantes, les extraits de plantes, les vitamines, les acides gras essentiels et les probiotiques sont tous des exemples bien connus. Ces produits sont utilisés couramment dans les médecines traditionnelles, chinoises et autochtones de l'Amérique du Nord et sont répandus dans le grand public. On évalue que de 50 % de la population canadienne et américaine se servent de PSN. Des milliers de PSN différents sont disponibles au consommateur et le marché nord-américain se chiffre à des milliards de dollars annuellement. Le Canada est également un important producteur de PSN et son plus grand marché est celui des États-Unis. Cependant, en raison de l'expansion rapide de ce marché et le manque d'étalons réglementés dans l'industrie des PSN, les consommateurs deviennent de plus en plus soucieux de la qualité, de la sûreté et de l'efficacité de ces produits.

L'IE NM a récemment entrepris un nouveau programme ambitieux visant la production MRC pour les PSN. On a un besoin urgent de méthodes pour mesurer la teneur en matières actives médicales (biomarqueurs présumés ou documentés) dans ces produits et pour déterminer s'ils contiennent des métaux toxiques et des pesticides. Les matériaux de référence serviront d'outils analytiques et permettront aux laboratoires de mettre au point plus facilement des méthodes d'analyse, d'étalonner le matériel, de comparer les données et de retracer les résultats à des étalons reconnus internationalement.

L'Initiative de produits de santé naturels de l'IE NM aborde les questions de l'importance de ces produits pour les Canadiennes et les Canadiens et de la mise en oeuvre des nouveaux règlements de Santé Canada gouvernant leur production et qualité, donnant ainsi à l'industrie nutraceutique les outils analytiques dont elle a besoin, et, par conséquent, rehaussant la confiance des consommateurs. Le programme a attiré plus d'un million de dollars en financement du CNRC pour des initiatives majeures, notamment pour acquérir la capacité d'analyser les produits

naturels, principalement par l'acquisition de systèmes d'extraction, de séparation et de spectrométrie de masse à la fine pointe de la technologie. Certaines parties canadiennes de l'extérieur se sont montrées intéressées et prêtes à offrir du soutien, incluant le Pacific Agricultural Research Center (Agriculture et Agroalimentaire Canada) à Sumerland, l'Institut de technologie de l'Okanagan University College (Colombie-Britannique), l'Université d'Ottawa, le Saskatchewan Nutraceutical Network, le BC Functional Food and Nutraceutical Network, et des organisations américaines comme la Food and Drug Administration (Center for Food Safety and Applied Nutrition), les National Institutes of Health (Office of Dietary Supplements), le National Institute for Standards and Technology (NIST), le Department of Agriculture, ainsi que l'Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International.

L'ÉNEM travaille en collaboration avec certaines associations internationales afin d'assurer l'harmonisation de ce travail avec les travaux effectués dans d'autres pays. Par exemple, il participe au Groupe de travail sur les suppléments alimentaires d'AOAC International, ainsi qu'au Comité mixte international sur les suppléments alimentaires de la NSF. Les NIH des États-Unis ont fourni des fonds pour soutenir ces activités en 2003-2004.

Des projets de collaboration avec le NIST ont mené à la certification de la première série de matériaux de référence normalisés (MRN) pour des produits à base d'herbes médicinales (les alcaloïdes d'éphédra, des composés apparentés aux amphétamines pouvant avoir des effets stimulants puissants sur le système nerveux et le cœur, qui sont souvent utilisés sous leur forme d'herbe médicinale pour perdre du poids, augmenter l'énergie et améliorer les performances athlétiques). Nous avons fourni au NIST des données sur différents protocoles d'extraction et systèmes de détection, ainsi que des données provenant de l'utilisation de la FAIMS (voir Spectrométrie de mobilité ionique en champ intense à forme d'onde asymétrique, page 10). La FAIMS, un outil unique du groupe Métrologie chimique, avait permis de déterminer la quantité d'alcaloïdes dans les extraits sans recours à une étape de séparation par chromatographie. Ces nouveaux MRN seront diffusés en 2004. Le groupe Métrologie chimique a identifié le ginseng américain (*Panax quinquefolius*) et le ginseng asiatique (*Panax ginseng*) comme première série de nouveaux MRC. De plus, on a identifié des sources de poudre de racine séchée et d'extrait 5:1 du ginseng américain. Le Canada est le plus important producteur de ginseng américain dans le monde entier, ayant des centres de production en Colombie-Britannique et en Ontario. Le ginseng américain est aussi la plus importante plante médicinale au Canada, sa valeur étant évaluée à plus de cent millions de dollars par année.

Initiative canadienne de recherche et de technologie chimique, radiologique et nucléaire

Après une attaque terroriste radiologique/nucléaire, il est crucial d'avoir un système analytique pouvant analyser les échantillons et donner des résultats en quelques minutes plutôt que quelques jours ou semaines, afin d'évaluer et réduire rapidement

*P. Grinberg, S. Willie,
R. Sturgeon*

les dommages à santé, à l'économie et à l'environnement. Les techniques radioanalytiques rapides s'appliquent de façon générale aux secteurs suivants :

- la surveillance : pour surveiller des radionucléides particuliers qui sont actuellement si difficiles à mesurer qu'on le fait rarement;
- réactions immédiates et gestion des conséquences : pour évaluer rapidement et identifier les premiers intervenants contaminés afin qu'ils puissent être traités rapidement pour réduire l'assimilation de radionucléides nocifs dans le corps;
- gestion à long terme : pour évaluer les aliments, l'eau et les autres produits commerciaux contaminés;
- enquêtes criminelles : pour déterminer l'origine de la matière nucléaire afin d'appuyer l'attribution;
- confiance du public : pour rassurer les membres individuels du public, et vérifier s'ils sont contaminés ou à risque.

Dans chacun de ces secteurs, il est important de détecter et d'identifier rapidement les radionucléides pour évaluer les risques et, par la suite, élaborer un plan d'action pour se tirer de la situation. Il est impossible d'identifier et de déterminer les quantités d'actinides (p. ex., Pu-239) et de radionucléides émetteurs de rayonnement bêta clés (p. ex., Sr-90) en employant les systèmes de détection radiométriques existants, sauf à de fortes concentrations. Plusieurs de ces analyses de radionucléides clés prennent beaucoup de temps et sont très laborieuses, même si elles sont faites dans des laboratoires de radiochimie.

Le groupe Métrologie chimique, avec Santé Canada, l'Université Trent et MDS Sciex, ont reçu des subventions du protocole d'entente de l'Initiative canadienne de recherche et de technologie chimique, radiologique et nucléaire (IRTC) pendant une période de quatre ans pour collaborer à un projet (*Nouvelles technologies pour l'évaluation rapide de contamination radioactive*) conçu pour aborder les questions clés mentionnées ci-dessus. Cette collaboration a pour but de trouver un protocole d'analyse rapide pouvant fournir des mesures clés de radionucléides en quelques minutes, plutôt qu'en quelques heures ou jours. Cette analyse rapide serait réalisée en éliminant la préparation manuelle des échantillons, en séparant les radionucléides d'intérêt des autres interférences (incluant les isobares) en direct, en utilisant des modificateurs de volatilisation gazeux, en employant des techniques chromatographiques et dynamiques en cellules de réaction, et en remplaçant le comptage traditionnel des radionucléides par la détection par spectrométrie de masse à couplage inductif (ICP-MS). En se basant sur sa vaste expérience de la spectrométrie de masse à couplage inductif et de l'atomisation électrothermique, l'IÉNM a choisi de se concentrer sur l'introduction des échantillons ICP-MS par vaporisation électrothermique (ETV), coordonnant les travaux de ces associés afin d'arriver à un système efficace qui permettra d'atteindre les buts mentionnés ci-dessus. Quelques appareils d'ETV uniques ont été construits et différents modificateurs de volatilisation ont été testés pour la détection du Cs, de l'U et du Th.

Production de vapeur

Le groupe Métrologie chimique a contribué de façon considérable au développement de la production de vapeur comme technique d'analyse ultra-trace. Il a été l'une des premières organisations de recherche à étudier les méthodes d'analyse à concentration *in situ* en four à graphite pour la détection par absorption atomique, et a augmenté le nombre d'éléments pouvant être analysés par la production de vapeur avec des réactifs au tétrahydroborate (III). Ceux-ci comprennent plusieurs métaux de transition et nobles. Plus récemment, le champ d'application de la production de vapeur semble une fois de plus prêt à changer de façon remarquable. L'ajout d'acides de faible masse moléculaire aux solutions d'échantillons permet la synthèse réductive à haut rendement de composés volatils de plusieurs espèces métalliques exposées au rayonnement ultraviolet de faible flux. De nombreuses applications possibles peuvent être exploitées, incluant la réparation de dommages causés à l'environnement, la synthèse organométallique, la purification de métaux et l'augmentation de l'efficacité d'introduction des échantillons pour détection par spectrométrie atomique. Nous étudions actuellement les produits et la chimie se rapportant à cette démarche axée sur la production de vapeur.

R. Sturgeon, Z. Mester,
J. Lam, X.-M. Guo,
T. Matousek, M. Kan,
S. Xu

Détermination de polluants organiques

La section d'analyse des composés organiques du groupe Métrologie chimique a pris beaucoup d'ampleur au cours des quatre dernières années. Nous avons construit des installations de spectrométrie de masse de petites molécules à la fine pointe de la technologie nous permettant d'analyser les échantillons aqueux et volatils. La méthodologie pour améliorer la rapidité et l'efficacité de l'extraction et de l'épuration des échantillons de sédiments et de tissus avant la détermination de polluants organiques par GC et GC-MS est continuellement en voie de développement. Nous évaluons l'épuration des échantillons par colonnes de Florisil et d'alumine en étudiant les effets de la préparation et du traitement des colonnes sur la séparation des PCB et des pesticides. On perfectionne continuellement les méthodes d'élimination des interférences, en particulier le soufre, à l'aide du cuivre activé. Les techniques d'extraction en phase solide (SPE) et d'extraction par solvants accélérée (ASE) se sont révélées plus rapides que l'extraction par Soxhlet et on a évalué leur utilisation pour la préparation d'échantillons pour les analyses de PCB et de pesticides. Le groupe Métrologie chimique continue à participer à des exercices de comparaison corrélative de haut niveau sous les auspices du CCQM, comme les récents exercices CCQM-P31b (PCB dans l'iso-octane) et CCQM-P31c (pesticides chlorés dans l'iso-octane).

G. Gardner, C.
Fraser, P. Maxwell,
M. McCooeye

Spectrométrie de mobilité ionique en champ intense à forme d'onde asymétrique

Le groupe travaille toujours en collaboration formelle avec la firme Ionalytics. Il fournit à cette entreprise des appareils de spectrométrie de masse à temps de vol et des laboratoires précieux pour qu'elle puisse poursuivre des études permettant

Z. Mester,
M. McCooeye

d'autres utilisations de la FAIMS. Nous avons utilisé cette technique en conjonction avec la chromatographie en phase liquide (LC) à introduction d'échantillons par électro-ébulisaison pour acquérir des données analytiques caractérisant un certain nombre d'alcaloïdes d'éphédra dans une série de matériaux de référence normalisés candidats du NIST. Comme cette méthode ne requiert aucune séparation classique des substances à analyser par chromatographie conventionnelle, on peut la considérer comme une technique de mesure indépendante et elle a été d'une aide inestimable pour le procédé de certification du NIST. Plusieurs de nos appareils de LC-MS sont maintenant dotés d'interfaces FAIMS fabriquées sur mesure.

Spectrométrie de masse à décharge lumineuse (GD-MS)

B.A.J. Methven,
A. P. Mykytiuk,
K. Henderson

Les installations de GD-MS, uniques au Canada, ont permis de faire l'analyse élémentaire d'approximativement 2100 échantillons de matériaux conducteurs et semi-conducteurs de haute pureté (p. ex., le gallium, le cadmium, le tellure, l'arséniure de gallium, le séléniure de cadmium, le tellure de cadmium et de zinc) pour un groupe d'environ 42 clients, principalement de l'industrie de l'électronique. Depuis les deux dernières années, le Conseil canadien des normes a accrédité intégralement le laboratoire selon la norme ISO/CEI 17025. Cette accréditation offre les options de conformité nécessaires pour plusieurs clients. L'analyse élémentaire des matières de haute pureté par spectrométrie de masse à décharge lumineuse continue à être un service de grande priorité offert aux industries canadiennes et étrangères. Afin de fournir des données plus exactes et précises aux clients, les installations ont besoin de plus importants investissements en recherche afin de développer d'autres moyens et méthodologies pour déterminer directement la concentration des substances présentes dans les solides à des concentrations inférieures au ng/g.

Comparaisons internationales

Le groupe Métrologie chimique connaît une demande grandissante pour sa participation à des programmes internationaux de comparaison corrélative. Il devient de plus en plus important de réaliser et de démontrer la traçabilité des mesures, tant sur le plan national que sur le plan international. Les comparaisons corrélatives internationales d'étalons primaires servent de fondement pour les revendications de traçabilité et les capacités qui sous-tendent tous les protocoles d'entente et accords de reconnaissance mutuelle.

- **Programme *National Status and Trends* de la NOAA**
Participation à la seizième comparaison pour les métaux à l'état de traces dans les sédiments marins et les tissus biologiques en collaboration avec des laboratoires canadiens et américains qui historiquement, font partie du programme *National Status and Trends* de la National Oceanic and Atmospheric Administration (États-Unis).
- **SIM.8.10P : Éléments traces dans l'eau potable**
Coordination d'un projet pilote de comparaison visant l'analyse des éléments traces dans l'eau potable.

- **CCQM-K18: Tributylétain dans les sédiments**
Coordination d'un étalonnage clé sous les auspices du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) du CIPM visant à évaluer les capacités des INM à déterminer la teneur en tributylétain dans les sédiments marins.
- **CCQM-P43 : Dibutylétain dans les sédiments**
Coordination d'un projet pilote d'étalonnage sous les auspices du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) du CIPM visant à évaluer les capacités des INM à déterminer la teneur en dibutylétain dans les sédiments marins.
- **CCQM-P39 : As, Hg, Pb, Se et méthylmercure dans le thon**
CCQM-P31b : BPC dans l'iso-octane
CCQM-P31c : Pesticides chlorés dans l'iso-octane
Participation à des comparaisons pilotes.
- **MRN du NIST 3240-3244 pour la comparaison corrélative du Cd et du Pb**
Fourniture de données analytiques pour participer à la certification d'une série de quatre MRN basés sur l'éphédra (3240-3244) à l'appui de l'industrie nutraceutique, et pour renforcer notre collaboration existante avec la division de chimie analytique du NIST (États-Unis).

Le groupe a également participé au programme international d'essais de compétences annuelles (**Quasimeme AQ1, éléments nutritifs dans l'eau de mer, Ronde 32 Exercice 544 et Ronde 34 Exercice 581**) visant à évaluer les capacités à analyser les éléments nutritifs dans l'eau de mer.

Comités et charges

Échelle internationale

AOAC International

Ninth International Symposium on Biological and Environmental Reference Materials (BERM) Conference, Berlin, Germany

S.N. Willie, membre du comité scientifique

International Task Group on Dietary Supplements

R.E. Sturgeon, membre

NSF International

Joint Committee on Dietary Supplements

R.E. Sturgeon, membre

Comité international des poids et mesures (CIPM)

Comité consultatif pour la quantité de matière: métrologie en chimie (CCQM)

Inorganic Working Group

R.E. Sturgeon, membre

European Virtual Institute for Speciation Analysis

Ralph Sturgeon, membre du comité consultatif

Échelle nationale

Conseil canadien des normes (CCN)

ISO/TC 147/SC2/WG32 : Techniques ICP

J.W.H. Lam, membre

ISO TC-147 : Qualité de l'eau

Comité consultatif canadien

S.N. Willie, membre

La Société de Spectroscopie du Canada

Section de Vallée d'Ottawa

J.W.H. Lam, trésorier

L'Institut de chimie du Canada

Analytical Chemistry Division

S.N. Willie, président

Professeurs auxiliaires

R.E. Sturgeon, Professeur auxiliaire de recherche, Département de chimie, Carleton University, Ottawa

Comités de rédaction

Spectrochimica Acta Reviews

R.E. Sturgeon, rédacteur

Journal of Analytical Atomic Spectrometry

R.E. Sturgeon, membre du comité consultatif

Atomic Spectrometry Updates

R.E. Sturgeon, membre du comité consultatif

Encyclopedia of Analytical Science

R.E. Sturgeon, membre du comité consultatif

Analytical and Bioanalytical Chemistry

R.E. Sturgeon, membre du comité consultatif

Ciencia

R.E. Sturgeon, membre du comité consultatif

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'iénm à l'adresse suivante : <http://inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/>

Articles dans des publications revues

Cui, M. and **Z. Mester**. "Electrospray Ionization Mass Spectrometry Coupled to Liquid Chromatography for Detection of Cisplatin and its Hydrated Complexes", *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, **17**, 1517-1527 (2003).

Cui, M., **L. Ding** and **Z. Mester**. "Separation of Cisplatin and its Hydrolysis Products using Electrospray Ionization High-field Asymmetric Waveform Ion Mobility Spectrometry Coupled with Ion Trap Mass Spectrometry", *Anal. Chem.*, **75**, 5847-5853 (2003).

Grinberg, P., R.C. Campos, **Z. Mester** and **R.E. Sturgeon**. "Comparison of Alkyl Derivatization Methods for Speciation of Mercury based on SPME Capillary GC with FAPES Detection", *J. Anal. At. Spectrom.*, **18**, 902-909 (2003).

Grinberg, P., R.C. Campos, **Z. Mester** and **R.E. Sturgeon**. "Solid Phase Microextraction Capillary Gas Chromatography Combined with Furnace Atomization Plasma Emission Spectrometry for Speciation of Mercury in Fish Tissues", *Spectrochim. Acta, Part B*, **58**, 427-441 (2003).

Guo, X.-M., **R.E. Sturgeon**, **Z. Mester** and **G.J. Gardner**. "Photochemical Alkylation of Inorganic Selenium in the Presence of Low Molecular Weight Organic Acids", *Environ. Sci. Tech.*, **37**, 5645-5650 (2003).

Guo, X.-M., **R.E. Sturgeon**, **Z. Mester** and **G.J. Gardner**. "UV Light Mediated Alkylation of Inorganic Selenium", *Appl. Organometal. Chem.*, **17**, 575-579 (2003).

Guo, X.-M., **R.E. Sturgeon**, **Z. Mester** and **G.J. Gardner**. "UV Vapor Generation for Determination of Se by Heated Quartz Tube AAS", *Anal. Chem.*, **75**, 2092-2099 (2003).

Matousek, T. and **Sturgeon, R.E.** "Surfactant Assisted Chemical Vapour Generation of Silver for

AAS and ICP-OES: A Mechanistic Study", *J. Anal. At. Spectrom.*, **18**, 487-494 (2003).

McCooney, M., **L. Ding**, **G.J. Gardner**, **C.A. Fraser**, **J.W.H. Lam**, **R.E. Sturgeon** and **Z. Mester**. "Separation and Quantitation of the Stereoisomers of Ephedra Alkaloids in Natural health Products Using Flow Injection-Electrospray Ionization High Field Asymmetric Waveform Ion Mobility Mass Spectrometry", *Anal. Chem.*, **75**, 2538-2542 (2003).

McSheehy, S. and **Zoltan Mester**. "The speciation of Natural Tissues by Electrospray Mass Spectrometry. I: Biosynthesized Species, As and Se.", *Trends in Anal. Chem.*, **22**, 210-224 (2003).

McSheehy, S. and **Zoltan Mester**. "Identification of Trace Elemental Species in Biological Matrices by Electrospray Mass Spectrometry (II)", *Trends in Anal. Chem.*, **22**, 311-326 (2003).

Sturgeon, R.E., R. Wahlen, T. Brandsch, B. Fairman, C. Wolf-Briche, J.I. Garcia Alonso, P. Rodriguez González, J. Ruiz Encinar, A. Sanz-Medel, K. Inagaki, B. Lalere, M. Monperrus, O. Zuloaga, E. Krupp, D. Amoureux, O. Donard, H. Schimmel, B. Sejerøe-Olsen, P. Konieczka, P. Schultze, P. Taylor, R. Hearn, L. Mackay, T. Win, **L. Yang** and **S.N. Willie**. "Determination of Tributyltin in Marine Sediment: Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM) Pilot Study P-18 International Intercomparison", *Anal. Bioanal. Chem.*, **376**, 780-787 (2003).

Y.-L. Feng, **Sturgeon, R.E.** and **J.W.H. Lam**. "Chemical Vapor Generation Characteristics of Transition and Noble Metals Reacting with Tetrahydroborate (III).", *J. Anal. At. Spectrom.*, **18**, 1435-1442 (2003).

Y.-L. Feng, **Sturgeon, R.E.** and **J.W.H. Lam**. "Generation of Atomic and Molecular Cadmium Species from Aqueous Media", *Anal. Chem.*, **75**, 635-640 (2003).

Yang, L., V. Colombini, Z. Mester and R.E. Sturgeon. "Application of Isotope Dilution to the Determination of Methylmercury in Fish Tissues by Solid Phase Microextraction GC-MS", *J. Chromatogr. A*, **1011**, 135-142 (2003).

Yang, L. and R.E. Sturgeon. "Comparison of Mass Bias Correction Models for the Examination of Isotopic Composition of Mercury Using Sector Field ICP-MS", *J. Anal. At. Spectrom.*, **18**, 1452-1457 (2003).

Yang, L., Z. Mester, and R.E. Sturgeon. "Comparison of Sector Field- and Quadrupole-ICP-MS For the Determination of DBT and TBT in Sediment Following GC Separation", *J. Anal. At. Spectrom.*, **18**, 1365-1370 (2003).

Yang, L., Z. Mester and R.E. Sturgeon. "Determination of Butyltin Species in a Sediment Certified Reference Material by HPLC- and GC-ICP-MS", *Can. Anal. Sci. Spectro.*, **48**, 223-230 (2003).

Yang, L., Z. Mester and R.E. Sturgeon. "Determination of Methylmercury in Fish Tissues by Isotope Dilution SPME GC-ICP-MS", *J. Anal. At. Spectrom.*, **18**, 431-436 (2003).

Yang, L., C. Bancon-Montigny, Z. Mester, R.E. Sturgeon., S.N. Willie and V. Boyko. "Effects of Gamma Sterilization on Butyltin Homogeneity and Content in Sediments: A GC-ICP-MS Study.", *Anal. Bioanal. Chem.*, **376**, 85-91 (2003).

Yang, L., C. Bancon-Montigny, Z. Mester, R.E. Sturgeon, S.N. Willie and V.J. Boyko. "Irradiation Effects On Butyltins in The Production of Sediment CRMs and Their Stability Study Using GC-ICP-MS", *Anal. Bioanal. Chem.*, **376**, 85-91 (2003).

Yang, L. and R.E. Sturgeon. "Response to Comments on Species Specific Isotope Dilution Based Calibration for Trace Element Speciation and Its Combined Uncertainty Evaluation", *Anal. Chem.*, **75**, 1553-1554 (2003).

Ouvrages et chapitres d'ouvrages

Mester, Z. and R.E. Sturgeon. Eds. *Sample Preparation for Trace Element Analysis*. Elsevier Science, Amsterdam, ISBN: 0444511016, 1446 pages (2003).

Mester, Z. and R.E. Sturgeon. "Solid Phase Microextraction as a Tool for Trace Element Determination." *Sample Preparation for Trace Element Analysis*. Eds. **Z. Mester and R.E. Sturgeon**. Elsevier Science, Amsterdam, ISBN: 0444511016, Chapter 13 (2003).

Sturgeon, R.E. "Atomic Absorption Spectrometry-Vapour Generation." *Encyclopedia of Analytical Science*. Academic Press, London, U.K. (2003).

Willie, S.N. "The determination of trace elements in water." *Sample Preparation for Trace Element Analysis*. Eds. **Z. Mester and R.E. Sturgeon**. Elsevier Science, Amsterdam, ISBN: 0444511016, Chapter 26 (2003).

Présentations orales invitées

Mester, Z. "UV light mediated alkylation of trace metals", International Conference on Analytical Sciences and Spectroscopy, Ottawa (June 2003).

Mester, Z. "Speciation in nutritional supplements", IR Annual Scientific Exchange 2003, Quebec City (September 2003).

Mester, Z. "Volatile Metal Derivatives", 39th IUPAC Congress and 86th Conference of The Canadian Society for Chemistry, Ottawa (August 2003).

Mester, Z., R.E. Sturgeon, X.-M. Guo and G.J. Gardner. "Novel vapor generation approaches for trace element analysis: UV light mediated alkylation of selenium and nickel", FACSS 2003, 30th Annual Meeting, Ft. Lauderdale, Florida (October 2003). **Willie, S.N.** "NRC's CRM Program: Past, Present and Future", International Conference on Analytical Sciences and Spectroscopy, Ottawa (June 2003)

Sturgeon, R.E. "Improved Sample Introduction Systems for Atomic Spectrometry", Pittcon 2003, Orlando Florida (March 2003).

Sturgeon, R.E. "Natural Health Products: a Metrology Laboratory Response to Regulation, Compliance and Enforcement", Challenges and Opportunities in NHP Analysis, BC Functional Food and Nutraceutical Network, Vancouver (June 2003).

Sturgeon, R.E. "Vapor Generation Sample Introduction for Atomic Spectrometry", CSI XXXIII, Presymposium on Sample Introduction Strategies (September 2003).

Sturgeon, R.E. "Speciation, Reference Materials and Methodologies - A Synergistic Experience", 5th International Symposium on Speciation of Elements in Biological, Environmental and Toxicological Sciences, Almunecar, Spain (September 2003).

Sturgeon, R.E. "Hydride Generation and Preconcentration - Bridging them with Something New", FACSS 2003, 30th Annual Meeting, Ft. Lauderdale, FL (October 2003).

Rapports et documents techniques

Willie, S.N. Sixteenth Intercomparison for Trace Metals in Marine Sediments and Biological Tissues. NRC Document No. 42782 (2003).

Personnel

Ralph Sturgeon, Chef de groupe
 Téléphone : (613) 993-6395
 Docufax : (613) 993-2451
 Courriel : ralph.sturgeon@nrc-cnrc.gc.ca

Victor Boyko	998-8460
Vince Clancy	998-8378
Catharine Fraser	993-2523
Graeme Gardner	993-7737
Keith Henderson	998-3044
Joseph Lam	998-8380
Phuong Mai Le	998-7751
Van Luong	990-2593
Paulette Maxwell	998-8377
Margaret McCooeye	993-2521
Zoltan Mester	993-5008
Brad Methven	998-4237
Alex Mykytiuk	993-6830
Christine Scriver	993-3520
Scott Willie	993-4969
Anthony Windust	993-6339
Lu Yang	998-8336

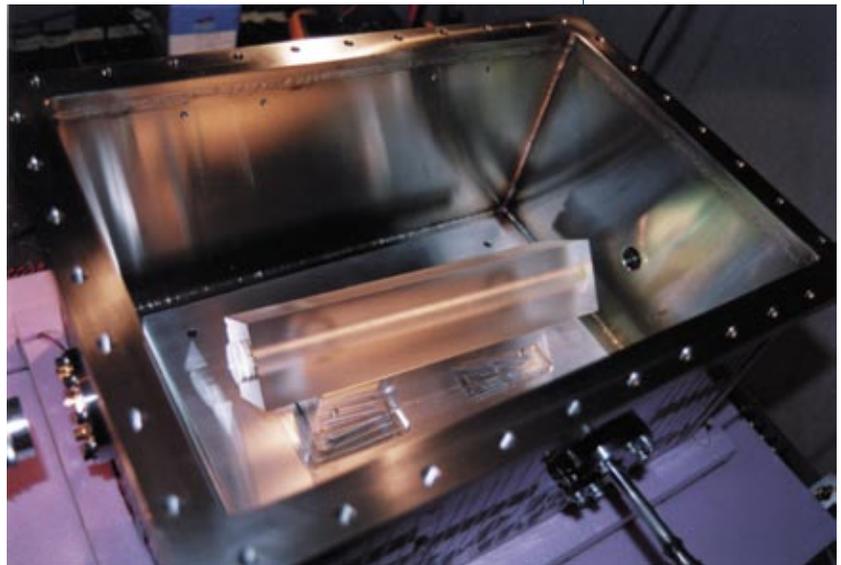
Travailleurs invités

Laszlo Abranko (étudiant)
Crystelle Bancon-Montigny (Bourse postdoctorale)
Robert Boyd (Chercheur émérite)
Vanessa Colombini
Meng Cui (Bourse postdoctorale)
Patricia Grinberg (Bourse postdoctorale)
Xu Ming Guo (Bourse postdoctorale)
Massa Kan
Phuong Mai Le (Bourse postdoctorale)
Tomas Matousek (Bourse postdoctorale)
Shona McSheehy (Bourse postdoctorale)
Baki Sadi (étudiant)
Cecilia Silva (Centro Nacional de Metrologia, Mexico)
Raimund Whalan (LGC, UK)
Shukun Xu



Un système à vide amélioré est à présent testé pour l'horloge à fontaine atomique au césium. Complètement construit avec des matériaux non magnétiques, le système utilise deux vannes électrostatiques, une plus grande zone de détection et un champ C uniforme. Grâce à ces améliorations, la fontaine atomique sera l'horloge la plus précise du programme des Étalons de Temps et donnera la meilleure réalisation de la seconde SI du CNRC. En plus, la grande stabilité de cet étalon sera une meilleure référence pour les mesures de fréquences optiques et une plus grande contribution à l'échelle de temps internationale maintenue au BIPM.

Grâce à la nouvelle sonde laser ultra-stable, on a pu observer des largeurs spectrales inférieures à 100 Hz à 445 THz (674 nm) pour la transition $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ à dipôle interdite dans l'ion unique de $^{88}\text{Sr}^+$ piégé et refroidi au laser. Par conséquent, on a pu utiliser un ordinateur, qui compte les transitions quantiques dans le rayonnement refroidissant fluorescent, pour verrouiller la fréquence du laser ultra-stable au centre de la transition S-D avec une erreur de seulement quelques hertz. Nous avons utilisé le peigne de fréquences optiques femtoseconde pour mesurer la fréquence absolue du laser sonde, et, par conséquent, celle du centre de la ligne de la transition S-D.



Grâce à ces mesures, nous avons déterminé une valeur de 444 779 044 095 477 Hz, à un degré d'incertitude type de 7 Hz (2×10^{-14}). L'exactitude est telle qu'elle est actuellement limitée par l'incertitude de la réalisation de la seconde du SI du CNRC.

Étalons de temps

Ce programme vise la production de l'unité de temps (la seconde) et de fréquence (le hertz) du Système international (SI) pour le Canada, selon leurs définitions acceptées internationalement en fonction d'une transition micro-ondes dans l'atome de césium. Nous gardons des horloges primaires au césium et d'autres installations afin de fournir des échelles de temps et étalons de fréquence continus et coordonnés sur le plan international. Nous diffusons l'heure officielle à des fins légales, commerciales et pour d'autres usages. Nous étalonnons des horloges et des étalons de fréquence dans nos laboratoires et à distance, au moyen de la transmission de signaux ou l'échange d'artefacts, à des fins de navigation, de télécommunications et pour d'autres domaines des sciences et du génie.

Diffusion de l'heure

S. Cundy,
J.-S. Boulanger,
R.J. Douglas,
R. Pelletier, B. Hoger,
L. Proulx

Les étalons de fréquence et de temps du Canada sont comparés continuellement à ceux d'autres instituts nationaux de métrologie (INM) par l'entremise du Bureau international des poids et mesures (BIPM), à l'aide de techniques d'observation simultanée multiples de satellites du GPS. Le CNRC a participé à au développement de l'échelle de temps internationale du BIPM au cours des trente dernières années en développant ses propres étalons de fréquence atomiques basés sur les faisceaux d'atomes de césium.

On établit un lien compatible entre différents genres d'étalons de fréquence qui sont essentiellement basés sur l'échange de signaux de fréquence ou de synchronisation. On doit maintenir une échelle de temps locale afin de déterminer les caractéristiques de la relation de fréquence entre les appareils. Les outils de choix sont les masers à hydrogène pour les périodes de temps allant d'une seconde à quelques jours. Ils sont d'une importance cruciale pour la validation des étalons de fréquence micro-ondes à césium et des étalons de fréquences optiques, ainsi que pour les étalonnages faits dans les laboratoires des clients. Nous avons acheté et installé un nouveau maser à hydrogène à la fine pointe de la technologie pendant l'exercice financier 2003-2004 afin de réaliser une échelle de temps à court terme adéquate.

Le nouveau maser nous permettra également de tirer un maximum de profits d'un projet de collaboration avec Ressources naturelles Canada (RNCAN) et le US Naval Observatory. Le projet du *Système canadien de contrôle actif (SCCA)*, dirigé par RNCAN, a pour but de fournir des corrections aux signaux en temps réel aux utilisateurs canadiens, afin d'améliorer l'exactitude de la détermination de la position par GPS. RNCAN a déjà installé du matériel valant plus de 180 000 \$ au CNRC afin de tirer profit de notre échelle de temps stable.

Ce projet aura comme résultat d'améliorer les références de temps et de fréquence fournis aux clients de l'extérieur et aux projets au sein du groupe Fréquence et temps. Il établira un lien entre le programme Fréquence et temps du CNRC et le projet SCCA de RNCAN, afin d'offrir aux utilisateurs canadiens un accès direct aux échelles de temps internationales et à la définition de la seconde du SI. La définition

de l'unité de longueur est dérivée directement de la seconde du SI et est l'élément fondamental des mesures dimensionnelles et des télécommunications.

Horloge à fontaine au césium refroidi

Le projet de l'horloge à fontaine au césium refroidi (CCFC) a été établi au sein du groupe Étalons de fréquence et de temps (EFT) dans le but de construire une horloge plus précise que toutes les autres horloges du groupe. Cette nouvelle horloge sera basée sur des atomes refroidis au laser dans un piège magnéto-optique. Les atomes seront lancés verticalement au travers d'une cavité micro-ondes afin d'augmenter le temps d'interrogation Ramsey jusqu'à 640 ms, diminuant ainsi par un facteur de 30 la largeur spectrale de la résonance du césium en comparaison avec nos horloges à faisceau d'atomes de césium. Cette diminution améliorera proportionnellement la résolution et la précision des étalons primaires du groupe EFT et bénéficiera les clients du service de l'heure du Canada. Cette plus grande précision améliorera également les mesures physiques fondamentales faites dans le cadre du programme des étalons de fréquence optiques et rehaussera la réputation internationale du Canada en augmentant sa participation à l'heure atomique internationale.

On a continué à perfectionner la première horloge à fontaine au césium du CNRC dans le cadre du projet du CCFC en faisant des tests, en essayant de nouveaux concepts et en construisant plusieurs éléments de l'horloge. Les essais antérieurs de l'horloge prototype avaient produit un signal horaire ayant une stabilité comparable à celle des horloges à faisceau d'atomes de césium. Ces essais étaient d'une importance cruciale pour la conception du premier étalon primaire d'une horloge à fontaine. On a déterminé que la hauteur de lancement optimale était de 30 cm à 50 cm au-dessus de la cavité micro-ondes. On a conçu un nouveau type d'obturateur électrostatique pour réduire les fluctuations de la lumière et celui-ci est en cours de construction. On a amélioré le système de détection en y ajoutant un interféromètre à laser de haute stabilité nécessaire pour assurer la haute performance de l'appareil. En outre, la distance entre les quatre zones de détection est suffisamment grande pour éliminer l'intermodulation et augmenter le contraste de détection.

Des travaux de collaboration avec le groupe Optique ont donné lieu à la production de huit grandes fenêtres à revêtement antireflets qui sont utilisées dans la zone de détection. On a fait l'acquisition d'un nouveau synthétiseur servant à la production stable du champ de micro-ondes de 9,192 GHz, qui est relié à l'ordinateur de commande du système. Le champ C a été amélioré en améliorant l'uniformité du champ magnétique près de l'extrémité des écrans. Ces changements ont permis de raccourcir l'horloge et d'augmenter le signal détecté. La chambre à vide a été complètement reconçue et construite de matériaux non magnétiques (titane, cuivre et aluminium). Le système optique a complètement été reconstruit à l'intérieur d'une boîte stabilisée en température afin d'améliorer la stabilité à long terme de la source à laser.

L. Marmet, E. Guillot,
C. Gigault, B. Hoger,
J.-S. Boulanger,
R. Pelletier

Étalons de fréquence optiques

J.E. Bernard, P. Dubé,
A.A. Madej

Le programme Étalons de fréquence optiques a pour but de mesurer précisément la fréquence des rayonnements électromagnétiques dans la partie optique du spectre, et de mettre au point des sources optiques à fréquence stable. Les étalons de fréquence optiques sont des outils importants pour plusieurs domaines pratiques comme la métrologie dimensionnelle, la spectroscopie atomique et moléculaire, et le chronométrage de précision.

Le programme maintient le mètre du SI pour le Canada par l'entremise de la longueur d'onde dans le vide d'un ensemble de lasers à hélium-néon stabilisés à l'iode ($I_2/HeNe$) émettant de la lumière d'une longueur d'onde de 633 nm (474 THz). Grâce à ce programme, nous pouvons offrir à nos clients des services d'étalonnage précis de longueur d'onde et de fréquence dans le vide sur une grande partie de la plage spectrale du visible et de l'infrarouge proche. Les lasers de clients fonctionnant à 633 nm peuvent être étalonnés directement en mesurant les battements hétérodynes avec l'ensemble de lasers. De plus, le programme maintient un peigne de fréquences optiques et peut offrir des services d'étalonnage à d'autres longueurs d'ondes de 550 à 1150 nm, qui sont traçables au mètre du SI, à un degré d'exactitude ordinairement limité par la reproductibilité du laser du client. Le programme est pourvu d'installations d'étalonnage de longueurs d'ondes/fréquences sous vide dans la région des télécommunications près de 1500 nm et dans la région de l'infrarouge à 9-11 μm . Les services d'étalonnage peuvent être offerts pour d'autres longueurs d'ondes en faisant des arrangements spéciaux.

Des recherches dans différents domaines sont effectuées dans le cadre du programme EFO. On y a mis au point des étalons de fréquence basés sur l'absorption saturée dans les molécules. Ces étalons sont maintenus pour la région des télécommunications (optique) de 1500 nm, et la région de l'infrarouge de 9-11 μm . Le programme a développé et maintient une chaîne de fréquences classique servant à mesurer les fréquences optiques dans la région de 30 THz (10 μm) et des peignes de fréquences optiques femtoseconde à 1500 nm et à 550-1150 nm. Un des projets à long terme du laboratoire est de mettre au point un étalon de fréquence optique à 674 nm (445 THz) basé sur une transition étroite (0,4 Hz) dans un seul ion de $^{88}\text{Sr}^+$ piégé et refroidi au laser. Comme on peut isoler cet ion unique des perturbations de l'environnement, il constitue un étalon de fréquence idéal dont la reproductibilité potentielle est de plusieurs ordres de grandeur meilleure que celui des meilleurs étalons à maser micro-ondes au césium et à l'hydrogène. On a déjà établi que les étalons optiques sont plus stables à court terme et que l'on peut s'en servir pour évaluer les étalons de micro-ondes, ou même les remplacer dans certains cas.

Étalon de fréquence à ion de strontium

A.A. Madej, P. Dubé,
J. Bernard, L. Marmet

Les étalons à ion unique piégé et refroidi au laser promettent une exactitude non surpassée de la fréquence. On prévoit que certains systèmes ioniques permettront d'atteindre une exactitude relative de 10^{-17} à 10^{-18} une fois que l'on aura compris et appris à contrôler les petits décalages systématiques d'une transition étroite bien

choisie. Dans nos expériences, on garde un ion piégé et refroidi au laser dans un espace blindé et sous vide poussé de dimensions inférieures à un micron, beaucoup plus petit que la longueur d'onde de la sonde (régime Lamb-Dicke). Une telle particule unique, refroidie et isolée est un système presque idéal pour établir un étalon de fréquence.

Nous travaillons depuis quelques années à mettre au point l'étalon de fréquence à l'ion $^{88}\text{Sr}^+$. Nous mesurons la fréquence de sa transition étroite $5s\ ^2\text{S}_{1/2} - 4d\ ^2\text{D}_{5/2}$, à 445 THz (674 nm), d'une largeur de 0,4 Hz – la *transition d'horloge* – à l'aide d'un laser sonde ultra-étroit et ultra-stable. On mesure ensuite la fréquence *absolue* du laser sonde par rapport à l'ensemble des horloges atomiques au césium du CNRC, au moyen d'un peigne de fréquences optiques femtoseconde s'étalant sur une octave. Ce système sert de lien direct entre la fréquence RF de l'horloge atomique (fournie par un maser à hydrogène) et la fréquence optique de la sonde. Le but est de produire un étalon de fréquence/temps pratique et fiable dans la partie visible du spectre, dont la performance est supérieure à celle des horloges atomiques au césium.

Deux facteurs nous ont permis de faire d'importants progrès au cours de la dernière année dans la mesure de la fréquence absolue de l'étalon de fréquence à l'ion $^{88}\text{Sr}^+$. Premièrement, la fiabilité et la facilité relative avec laquelle on peut mesurer la fréquence absolue à l'aide du peigne de fréquences optiques (en comparaison avec l'ancienne méthode de la chaîne de synthèse de fréquences) nous ont permis de prendre régulièrement des mesures, et d'étudier la reproductibilité de la fréquence du piège à ions lorsqu'il y a des changements dans les paramètres de fonctionnement. Deuxièmement, un nouveau laser sonde, ayant une meilleure largeur spectrale (demi-maximum à pleine largeur de 50 Hz – 120 Hz) et stabilité, a permis de mesurer le centre du pic de l'ion avec plus d'exactitude et d'une manière plus reproductible qu'il ne l'était possible par le passé dans notre laboratoire. Nous avons mesuré la fréquence de l'ion en sondant plusieurs paires de composants Zeeman de la transition $5s\ ^2\text{S}_{1/2} - 4d\ ^2\text{D}_{5/2}$ dans un grand nombre d'orientations du champ magnétique afin d'étudier l'effet de l'orientation de l'axe de quantification. Ces mesures ont révélé un décalage quadrupolaire qui a été déterminé en combinant les mesures de plusieurs paires de composants Zeeman. La meilleure valeur actuelle du centre spectral de la fréquence de l'ion est de 444 779 044 095 477 Hz, avec une incertitude type de 7 Hz, ou 2 parties par 10^{14} . Nous prévoyons que les décalages systématiques restants seront petits (< 1 Hz), mais nous devons faire d'autres études pour les évaluer adéquatement. L'incertitude du signal de référence RF du CNRC pour la mesure de la fréquence absolue est d'une (1) partie par 10^{14} .

Nous avons fait une grande série de calculs pour étudier les décalages systématiques limites de l'étalon à ion unique. Les décalages étudiés comprennent ceux qui sont attribuables à l'effet Doppler de deuxième ordre (dilatation de temps relativiste), aux champs parasites, au rayonnement de corps noir, et à d'autres facteurs. Nous avons incorporé ces calculs dans les mesures de fréquence absolue de 2002 de l'ion Sr^+ unique avec le peigne de fréquences du CNRC. Un article présentant ces résultats et calculs a été publié. Nous devons étudier davantage la sensibilité du piège à ions aux changements dans les paramètres de fonctionnement afin d'évaluer

précisément les sources d'incertitude. Nous construisons actuellement un nouveau piège qui nous permettra de mieux contrôler l'environnement de l'ion (comme des électrodes d'appoint pour centrer l'ion en trois dimensions), et de refroidir l'ion en trois dimensions. De plus, en ayant deux pièges à ions, il sera possible d'étudier la stabilité et la reproductibilité de la fréquence de l'horloge ionique sans la limite imposée par l'instabilité des horloges au césium (actuellement de l'ordre de 10^{-14}). Nous serons prochainement en mesure de déterminer plus précisément la fréquence ionique absolue, une fois que la fontaine au césium du CNRC sera en service.

Nous prévoyons diminuer davantage la largeur spectrale du laser sonde, afin de mesurer avec plus de précision la fréquence du centre spectral de l'ion, tout en diminuant le temps de détermination de la moyenne. Cet aspect sera particulièrement important pour comparer directement deux systèmes d'ions piégés, et pour étudier les décalages systématiques de la fréquence de l'horloge ionique.

Le peigne de fréquences optiques femtoseconde

*J.E. Bernard, P. Dubé,
A.A. Madej,*

Alors qu'il y a seulement quatre ans, il fallait des années de travail pour construire une chaîne de fréquences pour mesurer une seule fréquence optique, le peigne de fréquences optiques femtoseconde (OFC) permet de mesurer presque n'importe quelle fréquence optique en une seule journée. L'OFC du CNRC a été construit il y a environ deux ans et on s'en sert maintenant de façon courante pour étalonner des fréquences optiques.

L'OFC est basé sur un laser à Ti:saphir à verrouillage de mode produisant des impulsions de 30-50 fs à une fréquence de répétition d'approximativement 700 MHz. Le spectre de ces impulsions est élargi à plus d'une octave optique par automodulation de phase dans une fibre optique à microstructure spéciale. Lorsqu'on l'examine de près, le spectre (transformée de Fourier du comportement dans le temps) est composé de centaines de milliers de fréquences optiques distinctes disposées en peigne régulier dont l'écartement est égal à la fréquence de répétition du laser. La fréquence de répétition et le décalage commun des éléments du peigne par rapport aux harmoniques parfaites de la fréquence de répétition, sont verrouillés en phase à des signaux RF stables produits par un maser à hydrogène, qui est lié à l'ensemble d'étalons de temps au césium du CNRC. Par ce moyen, l'OFC transfère l'exactitude du maser à hydrogène à chacun des éléments du peigne, dont n'importe quel peut être utilisé pour mesurer la fréquence optique d'une source laser en mesurant les battements hétérodynes.

Au cours de la dernière année, nous avons pris des mesures à 260 THz (1153 nm), à 390 THz (770 nm d'une source de 1540 nm dont on a doublé la fréquence), à 445 THz (674 nm), à 474 THz (633 nm), et à 552 THz (543 nm). L'exactitude ultime de l'OFC est limitée par l'exactitude avec laquelle le maser à hydrogène produit une fréquence connue (approximativement une partie par 10^{-14}), et sa reproductibilité et stabilité sont typiquement supérieures par quelques ordres de grandeur à celles des sources laser analysées. Cela n'est toutefois pas le cas pour les mesures de notre laser ultra-stable de 445-THz, dont on se sert comme sonde

dans nos expériences avec les ions uniques. Dans ce cas, le peigne a une instabilité de 200 Hz sur une seconde, ou 5×10^{-13} , ce qui est approximativement deux fois l'instabilité sur une seconde du maser à hydrogène. Si le temps d'échantillonnage est augmenté à 10 s, l'écart type des échantillons diminue à seulement 25-30 Hz. L'incertitude statistique de nos mesures de la fréquence de transition de l'ion est actuellement de 5 Hz, ou 1×10^{-14} , et semble être limitée par la précision de la seconde du SI réalisée grâce à l'ensemble d'horloges du CNRC.

Étalonnage de lasers

Le programme EFO est responsable d'étalonner les lasers utilisés par le groupe Métrologie dimensionnelle (MD). Les lasers dont la longueur d'onde est de 633 nm sont étalonnés par l'entremise de l'ensemble de lasers I₂/HeNe, tandis que les lasers dont la longueur d'onde est de 543 nm, 612 nm, ou 1153 nm ont été étalonnés au moyen d'un laser à colorant accordable qui est verrouillé à des transitions connues de l'iode. Le laser de pompage à ion d'argon utilisé dans ce dernier système fonctionne de moins en moins bien, et, par conséquent, nous étudions la possibilité d'utiliser l'OFC pour effectuer des étalonnages. Nous sommes incertains si la plage de l'OFC est suffisamment grande pour étalonner tous les lasers du groupe MD, dont les fréquences s'étalent sur plus d'une octave. Des essais effectués à 543 nm et 1153 nm ont montré que le peigne fournissait la puissance nécessaire pour ces étalonnages s'il était bien réglé, quoiqu'il était difficile d'obtenir des signaux suffisamment intenses à 1153 nm pour permettre le comptage électronique. On peut utiliser dans ces situations une méthode modifiée d'enregistrement des données qui est suffisamment précise pour faire l'étalonnage des lasers du groupe MD. Ces expériences, ainsi que des étalonnages faits à d'autres longueurs d'ondes, montrent que l'OFC permet de mesurer avec grande exactitude la fréquence optique aux longueurs d'ondes de 550 nm à 1150 nm.

*J.E. Bernard,
A.A. Madej*

Étalons et méthodes de mesure de la fréquence optique dans la partie du spectre près de 1,5 micron

Ce projet vise à mettre au point des étalons de fréquence optiques et des méthodes de mesure de la fréquence optique absolue dans le spectre de télécommunications optique. Les utilisations courantes comprennent l'étalonnage traçable d'ondemètres et d'analyseurs de spectres optiques, l'analyse de lasers accordables, et l'affectation de canaux de fréquences optiques. Ces travaux ont débuté en 1999 dans le cadre d'un programme conjoint subventionné par l'Institut canadien pour les innovations en photonique (ICIP). Un des buts principaux du projet est de mettre au point un système à laser à diodes de précision de 1,5 μm (194 THz) basé sur la stabilisation à des résonances d'absorption saturées dans l'acétylène. Le rendement de ce système est maintenant équivalent à celui utilisé pour faire la réalisation pratique de la longueur d'onde/fréquence absolue dans la partie visible du spectre à l'aide du laser de 633 nm à HeNe stabilisé à l'iode, et représente un important accomplissement compte tenu de la précision et l'exactitude apportées à la partie du spectre près de 1,5 μm . Nous avons publié des études de la sensibilité du système laser à fréquence

*A. Czajkowski,
S. Chepurov,
A.A. Madej,
J.E. Bernard, P. Dubé*

stabilisée à la pression de la cellule, à la puissance et à l'excursion de modulation, ainsi que des études de la largeur spectrale, la stabilité et la reproductibilité. Les résultats montrent qu'un contrôle modéré des paramètres de fonctionnement mène à la reproductibilité du système au niveau du kHz.

De plus, nous avons mesuré la fréquence absolue de plusieurs transitions de référence cette année. Le rayonnement émis par le laser étalon a été amplifié au moyen d'un amplificateur à fibre optique et sa fréquence a été doublée dans un guide d'onde sur niobate de lithium polarisé périodiquement, produisant ainsi une puissance de 10 à 30 μW à 770 nm, qui était suffisamment élevée pour que l'on puisse la mesurer à l'aide du peigne de fréquences optiques. On a mesuré la fréquence absolue de l'étalon laser pour six différentes lignes de référence rotationnelles/vibrationnelles dans l'acétylène ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) avec une incertitude inférieure au kHz ($< 5 \times 10^{-12}$). La ligne P(16) choisie par le Comité international des poids et mesures (CIPM) en 2001 comme référence de fréquence/longueur d'onde dans la partie optique des télécommunications du spectre près de 1,5 μm faisait partie des transitions étudiées. Un article décrivant ces résultats a été préparé et publié. Nous avons également continué à développer une nouvelle cavité de référence ultra-stable fabriquée en verre à expansion ultra-faible (ULE) servant à étudier l'exactitude obtenue grâce à un tel étalon de référence macroscopique, en produisant un peigne de résonances étalonnées espacées par l'intervalle spectral libre de la cavité. En principe, ce système est facile à construire et peut être utilisé de façon répandue. Des études ont montré que, même si l'appareil donne des résultats très reproductibles pour l'intervalle spectral libre de la cavité dans la partie du spectre d'intérêt, la stabilité dimensionnelle de l'appareil est limitée par les fluctuations thermiques de la pièce d'espacement de la cavité. Nous avons mis en oeuvre un système de stabilisation thermique afin d'examiner le rendement optimal de la cavité, qui devrait donner une précision de l'ordre du kilohertz pour l'espacement des modes de cavité successifs.

Le projet, effectué en collaboration avec M. A.J. Alcock (ISM-CNRC) a permis de faire des progrès considérables dans le développement d'un laser femtoseconde Cr^{4+} :YAG à verrouillage de mode. Nous avons étudié la possibilité d'utiliser le laser pour produire un peigne de fréquences pour la partie mi-infrarouge du spectre (1-2 μm). Lors d'expériences où l'on injectait les impulsions optiques dans une fibre cristalline photonique mise au point spécialement pour l'infrarouge, le spectre du peigne de fréquences s'étendait de 1,3 μm à plus de 2,0 μm . Le système à laser à verrouillage de mode a été transféré à l'IÉNM, où les travaux sur cet appareil ont été axés sur le contrôle précis de l'espacement des éléments du peigne de fréquences par réglage de la fréquence de répétition. On a réussi à verrouiller la fréquence de répétition à la phase du signal d'un synthétiseur à référence sur maser à hydrogène, permettant d'espacer les modes de fréquence individuelles du peigne avec la précision d'une horloge atomique. Les derniers travaux visent à utiliser le peigne IR pour mesurer avec précision les intervalles de fréquences optiques de la série entière de lignes de référence d'acétylène produites par notre étalon de fréquence de 1,5 μm . Grâce à la mesure de la fréquence absolue de six de ces lignes, ces mesures d'intervalles permettront d'utiliser n'importe quelle des 80 lignes dans la gamme de 1510 à 1550 nm comme longueur d'onde étalon précise.

Étalon laser mi-infrarouge à CO₂ - OsO₄

L'étalon de fréquence laser à CO₂ - OsO₄ a été construit à l'origine et utilisé avec succès pour combler l'écart dans les fréquences entre le laser à HeNe stabilisé à l'iode (I₂/HeNe) et l'étalon de fréquence à ion de strontium du CNRC. Par la suite, l'étalon de fréquence à ion de strontium et la fréquence du laser à HeNe avaient été mesurés à l'aide du peigne de fréquences optiques du CNRC, sans utiliser le laser CO₂. Même si l'on ne se sert plus de ce laser comme à l'origine, il est toujours important d'avoir un étalon autonome dans la région du spectre autour de 10 μm (30 THz) dont l'exactitude est meilleure que celle du système au laser I₂/HeNe. On a réussi à obtenir l'exactitude voulue en employant une méthode de stabilisation à deux cavités externes. Nous utilisons la première cavité pour stabiliser la fréquence du laser CO₂ au moyen de la technique bien connue de Pound-Drever, tandis que la deuxième cavité, contenant le OsO₄ gazeux, est verrouillée à la fréquence du laser. La stabilité à long terme de la fréquence est assurée en verrouillant la fréquence du laser au minimum de l'absorption saturée Q(15) de l'OsO₄. La fréquence du minimum Q(15) a été mesurée au moyen de la chaîne de fréquences infrarouges du CNRC. Celle-ci est de 28 832 016 698 560 ± 150 Hz. Ces résultats avaient été publiés vers le début de 2004.

*K.J. Siemsen,
J.E. Bernard, P. Dubé,
A.A. Madej*

Nous étudions présentement les effets des petits changements des paramètres de fonctionnement sur la fréquence du système au laser à CO₂/OsO₄. Comme les changements de fréquence sont très petits, nous avons utilisé la chaîne de fréquences infrarouges pour faire ces études par le passé. La chaîne infrarouge est toutefois très complexe, et est peu pratique pour les longues séries de mesures. Nous avons donc développé une technique à basse fréquence sensible à la phase (technique de détection synchrone), qui nous permet de détecter de petits changements dans la fréquence de notre laser étalon lorsque ce dernier est hétérodyne avec un laser beaucoup moins stable et précis. Certains paramètres du laser (p. ex., sa puissance) sont variés lentement et périodiquement par un programme d'ordinateur, qui lit la fréquence du battement hétérodyne enregistrée par un compteur. Une fois les mesures complétées, le programme peut analyser et filtrer les lectures du compteur afin de faire sortir le signal modulé du bruit. Les expériences montrent que cette technique est efficace.

Nos lasers à CO₂ isotopiques émettent du rayonnement dans la plage de 9 à 11 μm. Nous avons utilisé cette possibilité d'accorder le laser au cours de la dernière année pour mesurer la transmission de quelques fibres creuses disponibles dans le commerce, utilisées à des fins industrielles, dans la partie difficile du spectre de longueurs d'ondes de 8,9 μm à 9,2 μm (de la bande de rest-strahlen du quartz). Les résultats concordent bien avec la théorie et montrent que la longueur d'onde de transmission optimale est inférieure à 8,9 μm, et ces résultats ont été publiés.

Comités et Charges

Échelle internationale

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Lasers and Electro-Optics Society (Ottawa Chapter)

J.E. Bernard, trésorier

2003 Lasers and Electro-Optics Society (LEOS) Summer Topical Meeting on Photonic Time/Frequency Measurement and Control (PTFMC), July 2003, Vancouver, B.C.

A.A. Madej, membre du Comité du programme

2005 Lasers and Electro-Optics Society (LEOS) Summer Topical Meeting on "Optical Frequency & Time Measurement and Generation" (OFTMAG)

A.A. Madej, co-président du Comité international d'organisation

Comité international des poids et mesures (CIPM)

Comité Consultatif des Longueurs (CCL)

WG Mise-en-Pratique

A.A. Madej, membre

Comité Consultatif des Longueurs and Comité Consultatif de Temps et des Fréquences (CCL/CCTF)

Comité commun de représentations secondaire de la seconde

A.A. Madej, membre

Échelle nationale

Association canadienne des physiciens et physiciennes (CAP)

Division de la Physique atomique et moléculaire

A.A. Madej, vice-président

Institut canadien pour les innovations en photonique (ICIP)

TEL4 : Contrôle et mesure de la fréquence et des longueurs d'onde

A.A. Madej, chef de projet

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG)

Comité de sélection des subventions 29-Physique générale

Comité de subvention d'accès aux installations majeures

Comité de subvention d'outils et instruments de recherche

Programme d'occasions spéciales de recherche

L. Marmet, arbitre interne

Professeurs auxiliaires

A.A. Madej, Department of Physics and Astronomy, McMaster University, Hamilton, Ontario.

A.A. Madej, Department of Physics and Astronomy, York University, North York, Ontario.

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'ÉNM à l'adresse suivante : <http://inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/>

Articles dans des publications revues

Decker, J.E., J.R. Miles, A.A. Madej, R.F. Siemsen, K.J. Siemsen, S. de Bonth, K. Bustraen, S. Temple and **J.R. Pekelsky**. "Increasing the range of unambiguity in step height measurement using multiple-wavelength interferometry – application to absolute long gauge block measurement", *J. of Appl. Opt.*, **42**, 5670-5677 (2003).

M. Trinczek, ..., **Dubé, P.**, ... "Novel search for heavy n mixing from the b^+ decay of ^{38m}K confined in an atom trap", *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 012501-1 to 012501-4 (2003).

Madej, A.A. and M. Ball. "Iodine Stabilized Dye Laser System for Absolute Frequency Measurements in the Visible and Near IR Region of the Spectrum", *IEEE Instrum. Meas.*, **52**, 272-276 (2003).

Siemsen, K.J., W. Heitmann and K.-F. Klein. "Infrared radiation loss measurements of a quartz capillary", *J. Opt. Commun.*, **24**, 899 (2003).

Articles dans des comptes rendus de conférence

Bernard, J.E., A.A. Madej, P. Dubé, L. Marmet, A. Czajkowski and R.S. Windeler. "Optical Frequency Comb Measurements at 633 nm, 674 nm, and 1556 nm", Proceedings of the 2003 IEEE International Frequency Control Symposium/17th European Frequency and Time Forum, Tampa, Florida. IEEE Press, Piscataway NJ. IEEE Catalog No. 03CH37409C, 162-167 (2003).

Madej, A.A., J.E. Bernard, A. Czajkowski, P. Dubé, L. Marmet, K.J. Siemsen and R.S. Windeler. "Accurate absolute frequency measurements across the optical spectrum using a single ion", Proceedings of the SPIE Vol. 5137 *Advanced Lasers and Systems*, Eds. Guenter Huber, Ivan A. Scherbakov, Vladislav Ya. Panchenko, (SPIE press, Bellingham WA), 373-380 (2003).

Madej, A.A., J.E. Bernard, P. Dubé, A. Czajkowski and **L. Marmet**. "Femtosecond Frequency Comb Measurements across the Optical Spectrum", 2003 Digest of the LEOS Summer Topical Meetings, (IEEE Press, Piscataway NJ, USA) IEEE Catalog No. 03TH8701, 71-72, (2003).

Présentations orales

Bernard, J.E., A.A. Madej, P. Dubé, L. Marmet, A. Czajkowski and R.S. Windeler. "Optical Frequency Comb Measurements at 633 nm, 674 nm, and 1556 nm", 2003 IEEE International Frequency Control Symposium/17th European Frequency and Time Forum, Tampa, Florida (May 2003).

Madej, A.A., J.E. Bernard, P. Dubé and **L. Marmet**. "Precision Measurements on Laser Cooled Single Ions", 1st Canadian Cold Atom Workshop, Banff, Alberta (February 2004).

Marmet, L. and **A.A. Madej**. "NRC's Cooled-Cesium Time Standard" (presented by A.A. Madej), 1st Canadian Cold Atom Workshop, Banff, Alberta (February 2004).

Madej, A.A., J.E. Bernard, P. Dubé, A. Czajkowski and **L. Marmet**. "Femtosecond Frequency Comb Measurements across the Optical Spectrum", Photonics Time/Frequency Measurement and Control Meeting, IEEE 2003 LEOS Summer Topical Meeting, Vancouver, BC (July 2003).

Madej, A.A., J.E. Bernard, P. Dubé and **L. Marmet**. "Toward the Optical Atomic Clock: Hertz Level measurements of the Strontium Ion Frequency Standard", 2003 Canadian Association of Physicists Annual Congress, Charlottetown, PEI (June 2003).

Personnel

Jean-Simon Boulanger, Chef de groupe

Téléphone : (613) 993-5698
Télécopieur : (613) 952-1394
Courriel : Jean-Simon.Boulanger@nrc-cnrc.gc.ca

John Bernard	993-2181
Stan Cundy	993-9340
Rob Douglas	990-0126
Pierre Dubé	998-6768
Bill Hoger	993-5186
Alan Madej	993-9385
Louis Marmet	998-1317
Ray Pelletier	993-3430

Jennifer Decker
Le groupe Métrologie mécanique 991-1633

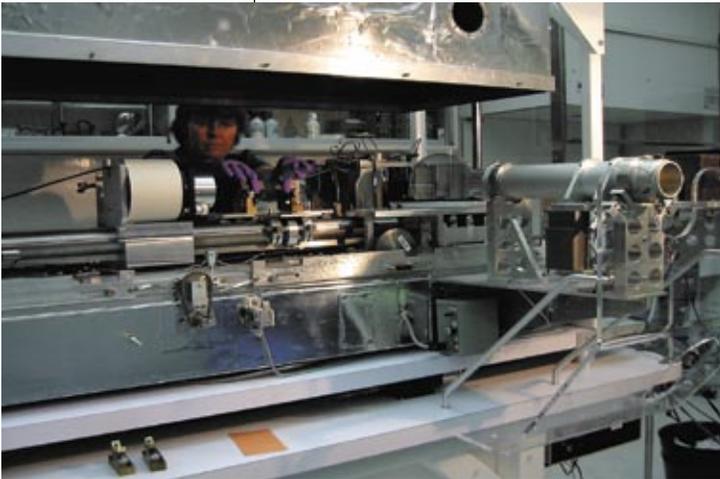
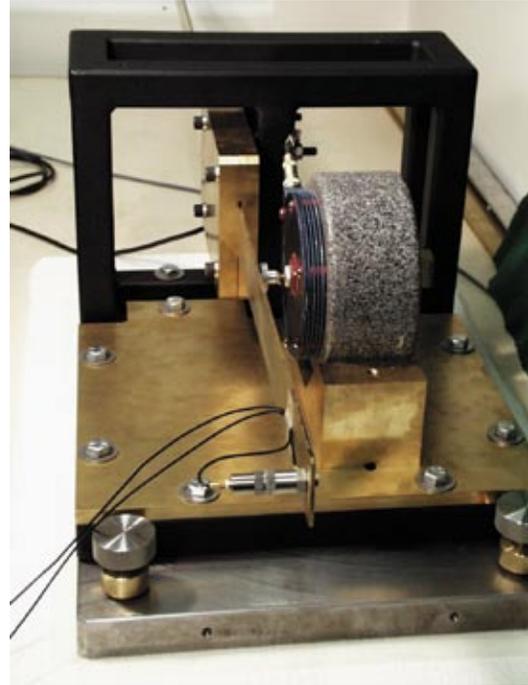
John Miles, Le groupe Métrologie mécanique

Travailleurs invités

Richard Clark	998-6925
Andrzej Czajkowski, ICIP/CRSNG bourses postdoctoral. Professeure adjointe en physique, Université d'Ottawa.	998-3810
Sergei Chepurov, CNRC/CRSNG, Programme de bourses de recherche scientifique dans les laboratoires du gouvernement canadien	

Le Groupe de la métrologie mécanique comprend trois programmes distincts. Le présent chapitre contient un rapport sur les activités de chacun des programmes pour l'exercice 2003-2004.

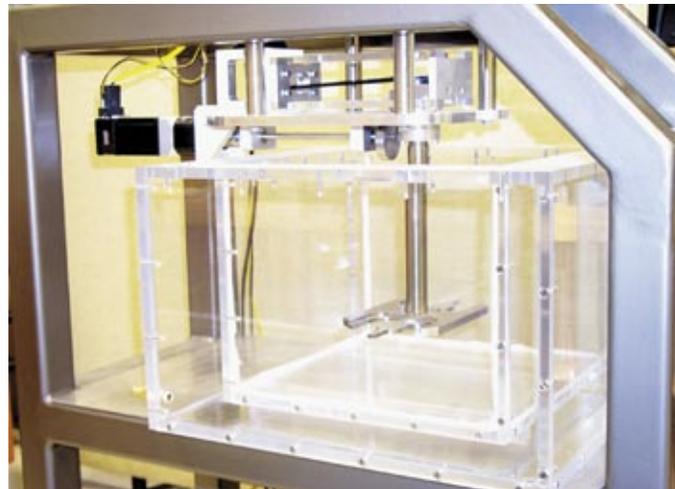
Afin de satisfaire les exigences relatives à l'étalonnage des accéléromètres pour les applications à basse fréquence comme l'exploration sismique des ressources et la surveillance des vibrations des machines, le Programme des étalons acoustiques a mis au point un système d'étalonnage d'accéléromètres basse fréquence peu coûteux qui fonctionne par comparaison. Le système est basé sur le principe d'une poutre vibrant à sa propre fréquence de résonance. Avec ce système, le CNRC participera à la prochaine comparaison du SIM d'étalonnage d'accéléromètres basse fréquence.



Le mètre du SI est par définition la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant un intervalle de temps de 1/299 792 458 de seconde. Le CNRC diffuse cette définition en faisant l'étalonnage de calibres à bouts plans par interférométrie optique. L'interféromètre de cales étalons offre un moyen de déterminer le nombre de longueurs d'onde de lumière séparant les bouts du calibre. On emploie ensuite ces

cales étalons de référence étalonnés pour étalonner des étalons de travail dans les laboratoires d'étalonnage et de métrologie.

Nouveau carousel pour un comparateur de volume pour deux poids d'acier inoxydable de 5 kg ou moins. Le carousel comprend une partie inférieure à deux positions, immergée dans un liquide, et une partie supérieure avec moteurs pas-à-pas, courroie et engrenages pour l'échange des poids suspendus au plateau de la balance (non visible). Le mouvement vertical est basé sur un parallélogramme déformé déplacé par une came. La réalisation de cet appareil est une collaboration avec Service de conception et de fabrication du Bureau d'aide aux programmes de recherches.



Étalons acoustiques

Le programme des étalons acoustiques maintient les étalons primaires acoustiques, d'ultrasons et de vibrations pour le Canada.

Ces étalons fournissent l'infrastructure technique pour les lignes directrices des gouvernements fédéral et provinciaux sur la perception de la conversation, l'utilisation thérapeutique et diagnostique des ultrasons, et l'émission de bruits et de vibrations de machines. Le programme fournit des services d'étalonnage, de consultation technique et d'évaluation de laboratoires en vue d'une certification. Ces activités aident à diffuser les étalons utilisés par les organismes de réglementation et de commerce international, les ministères gouvernementaux et les secteurs de l'industrie et des sciences de la santé.

Étalon d'ultrasons haute puissance

L'IE NM maintient l'étalon primaire d'ultrasons pour le Canada. Le programme assure la traçabilité à Santé Canada et des services d'étalonnage de la puissance de sortie des appareils médicaux à ultrasons. La meilleure incertitude élargie ($k = 2$) est de 2,9 %. Nous atteignons cette incertitude dans la plage de puissance 1 W à 5 W aux fréquences de 1 MHz et 3,5 MHz. Nous offrons un nouveau service d'étalonnage relativement peu coûteux de la puissance de sortie des appareils médicaux à ultrasons, comme ceux utilisés en diagnostic et en physiothérapie, dans la plage 0,5 W à 5 W. La meilleure incertitude de mesure (incertitude élargie avec $k = 2$) est de 4 %.

G.S.K. Wong, L. Wu

Étalon d'accélération

Nous maintenons l'étalon primaire d'accélération sinusoïdale pour le Canada, à l'aide de méthodes basées sur le dénombrement de franges interférométriques. Nos services à l'industrie comprennent les mesures d'accélération sinusoïdale dans la plage de fréquences 10 Hz à 5000 Hz, avec une incertitude élargie de 0,5 % à 1,5 %, selon la fréquence. Nous offrons également les services de mesure par comparaison de chocs à haute accélération jusqu'à 100 000 m/s², avec une meilleure incertitude élargie de 3 %.

G.S.K. Wong, L. Wu,
W. Ohm

Nous avons mis au point un générateur de vibrations de basse fréquence basé sur une poutre-console, pour l'étalonnage d'accéléromètres par comparaison à basse fréquence (2 Hz à 10 Hz), avec une incertitude élargie ($k = 2$) de 2,6 %. Le système répond aux exigences de la norme ISO 16063-21: 2003.

Comparaisons internationales

CIPM : Comité consultatif sur l'acoustique, les ultrasons et les vibrations (CCAUV)

- **CCAUV.A-K3 : Comparaison de microphones**
Les participants ont complété leurs mesures, et les laboratoires pilote (DPLA, Danemark/CENAM, Mexique) préparent le projet de rapport A.

G.S.K. Wong, L. Wu,
P. Hanes, W. Ohm

Sistema Interamericano de Metrologia (SIM)

- **SIM AUV.A-K1 : Comparaison de microphones**
Les mesures ont été complétées, et le laboratoire pilote (IÉNМ, Canada) prépare le projet de rapport B.
- **SIM AUV.V-K1 : Comparaison d'accéléromètres**
Les mesures ont été complétées, et le laboratoire pilote (NIST, États-Unis) rassemble les données pour préparer le projet de rapport B.
- **SIM AUV.A-S1 : Comparaison de pistonphones**
Les mesures ont été complétées, et le laboratoire pilote (CENAM, Mexique) prépare le projet de rapport A.
- **SIM AUV.V-S2 : Comparaison d'accéléromètres basse fréquence**
Le laboratoire pilote (CENAM, Mexique) prépare le protocole technique en collaboration avec d'autres participants.

Services à la clientèle

G.S.K. Wong, L. Wu,
P. Hanes

Nous étalonnons les microphones primaires dans une pièce à environnement contrôlé par la méthode de réciprocité de la pression. La chambre permet de répéter les étalonnages avec une précision de quelques millièmes de décibel. Dans le cas de l'étalonnage des microphones étalons de laboratoire, LS1P dans la plage de fréquences de 40 Hz à 10 kHz, l'incertitude élargie est d'environ 0,04 dB à 0,06 dB. Pour les étalonnages exigeants, comme les comparaisons du Sistema Interamericano de Metrologia (SIM) et du Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration (CCAUV), nous avons utilisé de l'air normal ISO. Nous avons aussi fourni des services d'étalonnage de microphones par comparaison, des étalonneurs de sons et des sonomètres.

Au cours de l'année, nous avons étalonné des sonomètres, des microphones, des accéléromètres, des étalonneurs de sons, un appareil médical à ultrasons utilisé en physiothérapie, et un appareil de mesure de la tension de courroies. Le programme a évalué la variation de la sensibilité de microphones en fonction de la pression atmosphérique pour deux modèles d'étalons de microphones de laboratoire : Brüel et Kjær 4180 et G.R.A.S. 40AG. Nous avons développé des équations empiriques de correction de la sensibilité pour la pression pour ces microphones. Ces équations permettent aux laboratoires n'ayant pas de chambres à environnement contrôlé de corriger leurs mesures, et d'étalonner leurs microphones avec plus de précision.

Le programme a fait des inspections d'équipement pour le groupe de travail Z107.53 de l'Association canadienne de normalisation (CSA) dans le cadre d'essais interlaboratoires d'identification de bruits industriels.

Le service d'évaluation des laboratoires d'étalonnage (CLAS) du programme a réévalué l'Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé & Sécurité du Travail (IRSST), de Montréal, et a donné des conseils dans le cadre de la comparaison interlaboratoire d'étalonnage de sonomètres AMP010 de l'APLAC.

Système de gestion de la qualité

Le programme a terminé une évaluation externe, conformément à la norme ISO/CEI 17025. Dans le cas de l'accréditation pour les vibrations, la chef d'équipe et l'expert externe étaient Mary Ryan (National Association of Testing Authorities (NATA), Australie) et Hans Von Martens, Ph.D., (PTB, Allemagne), respectivement. Dans le cas de l'accréditation pour l'acoustique et les ultrasons, la chef d'équipe et l'expert externe étaient Elaine Dowd (CCN) et Bruce Meldrum, Ph.D., (CSIRO, Australie), respectivement. Nous prévoyons obtenir les accréditations d'ici la fin de 2004.

Brevets

Dans le cadre d'une collaboration permanente avec l'entreprise ACO Pacific Inc., le programme a fait la conception et a obtenu un brevet pour un couvercle à isolement sonore pour les sonomètres. Le couvercle permet à l'utilisateur de sonomètres de déterminer si son matériel est perturbé par de l'interférence électromagnétique.

G.S.K. Wong et N. Lewis. "Sound Insulating Cap for Sound Level Meters".
Brevet provisoire (É.-U.) 2,199,060, 10 février 2004.

Comités et charges

Échelle internationale

Comité International des poids et mesures (CIPM)

Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons
et des vibrations (CCAUV)
G.S.K. Wong, membre

Sistema Interamericano de Metrologia (SIM)

Metrology WG 9: Acoustics Ultrasound &
Vibration
G.S.K. Wong, membre

Acoustics Ultrasound & Vibration (AUV)
G.S.K. Wong, rapporteur

NORAMET

Acoustics Ultrasound & Vibration (AUV)
G.S.K. Wong, Technical Contact

Acoustical Society of America

Standards Committee in Acoustics S1
G.S.K. Wong, vice-président

Accredited Standards Committee on Acoustics, S1
G.S.K. Wong, expert

Accredited Standards Committee on Acoustics,
S12
G.S.K. Wong, expert

Committee on Engineering Acoustics
G.S.K. Wong, membre

Committee on Noise
G.S.K. Wong, membre

Committee on Standards (ASACOS)
G.S.K. Wong, membre

Education Committee
G.S.K. Wong, membre

American National Standards Committees

ANSI S1- Advisory : Advisory Planning
Committee
G.S.K. Wong, président

ANSI S1-1 : Standard Microphones and their
Calibration
G.S.K. Wong, membre

ANSI S1-17 : Sound Level Meters and
Integrating and Sound Level Meters
G.S.K. Wong, membre
P. Hanes, membre

ANSI S1-25 : Specification for Acoustical
Calibrators
L. Wu, membre
P. Hanes, membre

ANSI S1-26 : High Frequency Calibration of the Pressure Sensitivity of Microphones
G.S.K. Wong, membre

Commission electrotechnique internationale

IEC/TC29 : Électroacoustique

IEC/TC29/WG4 : Sonomètres

G. S. K. Wong, membre

IEC/TC29/WG5 : Microphones de mesure

G. S. K. Wong, membre

IEC/TC29/WG17 : Calibreurs acoustiques

G.S.K. Wong, membre

IEC/TC29/WG18 : Amendement des normes appropriées du CE 29 de la CEI dans le cadre des développements sur la Compatibilité Électromagnétique (CEM)

G.S.K. Wong, membre

IEC/TC29/MT19 : Révision de la CEI 61260 (Filters)

G.S.K. Wong, membre

Organisation internationale de normalisation

ISO/TC43/SC1/WG28 : Normes de base relatives à l'émission de bruit des machines

G.S.K. Wong, membre

ISO/TC43/SC1/WG25 : Mesure de l'intensité acoustique

G.S.K. Wong, membre

ISO/TC108/SC3/WG6 : Étalonnage des transducteurs de vibrations et de chocs

G.S.K. Wong, membre

Trois comités internationaux d'étalons acoustiques (CT 29 du CEI : Électroacoustique; CT 43 de l'ISO : Acoustique : SC 1 et /SC 2; et CT 108 de l'ISO : Vibrations et chocs mécaniques: /SC 2 et /SC 6) ont accepté l'invitation du Canada de se réunir à Toronto en 2005. Ces réunions sont organisées conjointement par le Programme, l'Institut de recherche en construction (IRC) du CNRC, Santé Canada, et le CCN.

Échelle nationale

Association canadienne de normalisation

CSA Z107 : Committee on Acoustics and Noise Control

G. S. K. Wong, membre exécutif

CSA Z107.53 : Quantities and Procedures for Description of Environmental Sound

G. S. K. Wong, membre

Subcommittee on Calibration, IEC/TC29 and related ANSI Activities

G. S. K. Wong, président

TC B166 : International System of Units (SI)

G. S. K. Wong, président

Conseil canadien des normes (CCN)

Sous-comité canadien/IEC/TC29 : Électroacoustique

G.S.K. Wong, président

L. Wu, membre

P. Hanes, membre

Comité consultatif canadien/ ISO/TC12 : Grandeurs, unités, symboles, facteurs de conversion

G.S.K. Wong, président

Comité consultatif canadien/ISO/TC108/SC3 : Utilisation et étalonnage des instruments de mesure des vibrations et des chocs

G. S. K. Wong, président

Comité consultatif canadien/ISO/TC43/SC1 : Bruit

G.S.K. Wong, membre

Sous-comité canadien/IEC /TC87 : Ultrasonics

G.S.K. Wong, membre

Comité de rédaction

Acoustical Society of America

Journal of the Acoustical Society of America
(Acoustical Standards News)

G.S.K. Wong, corédacteur

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'ÉNM à l'adresse suivante : inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/

Articles dans des publications revues

Wong, G.S.K. and **L. Wu**. "Primary microphone calibration system stability," *J. Acoust. Soc. Am.* **114** (2), 577-579(2003).

Résumés publiés

Hanes, P., L. Wu, W. Ohm and **G. Wong**. "Calculation of uncertainty in calibration of microphones by the pressure reciprocity technique", *J. Acoust. Soc. Am.* **113**(4), Pt. 2 (2003).

Éditorials

S. Blaeser and **Wong, G.S.K.** "Acoustical Standards News", *J. Acoust. Soc. Am.* **113**(1), 5-12, (January 2003).

S. Blaeser and **Wong, G.S.K.** "Acoustical Standards News", *J. Acoust. Soc. Am.* **113**(3), 1183-1186 (March 2003).

S. Blaeser and **Wong, G.S.K.** "Acoustical Standards News", *J. Acoust. Soc. Am.* **113**(5), 2375-2378 (May 2003).

S. Blaeser and **Wong, G.S.K.** "Acoustical Standards News", *J. Acoust. Soc. Am.* **114**(1), 7-13 (July 2003).

S. Blaeser and **Wong, G.S.K.** "Acoustical Standards News", *J. Acoust. Soc. Am.* **114**(3), 1191-1195 (September 2003).

S. Blaeser and **Wong, G.S.K.** "Acoustical Standards News", *J. Acoust. Soc. Am.* **114**(5), 2517-2523 (November 2003).

Ouvrages et chapitres ouvrages

Wong, G.S.K., "Air sound speed measurements and computation: A Historical Review", *Handbook of the Speed of Sound in Real Gases*, Vol. 3, Chapter 17, pp. 265-284, edited by Allan J. Zuckerwar (Elsevier Science (USA), (2002).

Personnel

George S.K. Wong, Chef de groupe

Téléphone : (613) 993-6159

Télécopieur : (613) 993-2451

Courriel : george.wong@nrc-cnrc.gc.ca

Peter Hanes	998-1282
-------------	----------

Lixie Wu	993-6966
----------	----------

Travailleurs invités

Wonsuk Ohm (PDF)	993-1003
------------------	----------

Métrologie dimensionnelle

Le Programme de métrologie dimensionnelle offre des services d'étalonnage pour les mesures de dimensions qui sont traçables à l'unité SI de la longueur (le mètre), conformément à la définition acceptée internationalement. Les paramètres dimensionnels de la longueur, de l'angle, de la planéité, de la sphéricité, de l'arrondi, de la rugosité des surfaces et la de la forme tridimensionnelle sont mesurés dans le cadre de ce programme.

Interférométrie à cales et barres étalons

J.E. Decker, D. Woods,
L. Munro

Nous continuons à mettre en oeuvre l'interférométrie en phase pas à pas sur l'interféromètre à cales étalons (GBIF) de l'IÉNM-CNRC. J.E. Decker a collaboré pendant la majeure partie de l'année avec les chercheurs du PTB (Braunschweig, Allemagne) pour mettre au point la prochaine génération d'interféromètres Kösters. Ce travail, subventionné par la Fondation Alexander von Humboldt (Allemagne), met l'accent sur l'utilisation de l'interférométrie en phase pas à pas et l'intégration d'un tube à vide de réfractomètre; ces activités ont permis d'améliorer l'exactitude des corrections des longueurs d'onde dans le vide pour l'indice de réfraction de l'air. M^{me} Decker a poursuivi ce travail à son retour à l'IÉNM en août 2003. Elle est retournée au domaine du matériel d'avancement de la phase, et a commencé à le rénover avec du logiciel mis au point à l'interne. Elle a également commencé une analyse dans le but à long terme d'ajouter un réfractomètre au GBIF. L'installation d'un réfractomètre dans le GBIF du CNRC est un projet opportun qui sera particulièrement utile après la collaboration avec le projet de fréquence optique. Ce dernier projet de collaboration a mené à l'ajout d'une source au laser stabilisée en fréquence d'une longueur d'onde nominale de 1152 nm au GBIF. Les données d'étalonnage par grandes cales étalons recueillies au cours des deux dernières années démontrent que le jumelage des longueurs d'onde infrarouge et visible offre un grand avantage, cependant, il y a de petites différences entre les résultats de la longueur des cales obtenus dans le visible et l'infrarouge qui méritent une étude plus approfondie. Les détails, comme la correction pour l'indice de réfraction de l'air, visent à améliorer l'utilisation de lasers infrarouge proche en interférométrie à cales étalons.

Installation d'étalonnage des angles

J. Pekelsky,
J.E. Decker, P. Nistico,
L. Munro

On peut utiliser un polygone optique à N surfaces ou une table d'indices à N pas pour diviser le cercle afin de produire des grands angles absolus de $360^\circ/N$. On peut produire un petit angle absolu θ , traçable au mètre du SI par une règle sinus de longueur étalonnée L, dont une des extrémités est soulevée d'une hauteur étalonnée h, de manière à ce que $\sin \theta = h/L$. L'Installation d'étalonnage des angles (ACF) du CNRC est dotée d'un autocollimateur de haute résolution (0,001 sec), d'une table d'indices à 1440 pas de haute précision, et d'une règle sinus à interféromètre à laser, de manière à ce qu'elles puissent étalonner elles-mêmes son matériel, traçable au mètre du SI et à la subdivision absolue du cercle. On a récemment prouvé notre capacité à étalonner des polygones optiques et des cales étalons d'angle jusqu'à $U = 0,15$ sec dans la comparaison clé K3 du CCL. Nous employons aussi les ACF pour étalonner les autocollimateurs et les tables tournantes ou d'indices pour les clients.

D'autres montages nous permettent d'étalonner les inclinomètres et les éléments d'optique d'interféromètres au laser par comparaison avec l'autocollimateur maître de l'ACFG.

Cette année, nous avons fabriqué de nouveaux montages qui permettent de fixer plus solidement et mieux aligner les polygones et les cales étalons d'angles dans la pile de tables d'indices pour étalonnage par des méthodes à bouclage de cercle. Nous avons mis au point une « station météorologique » (amas de détecteurs de l'environnement du laboratoire) afin de corriger la longueur d'onde laser de la règle sinus pour les effets de la température, de la pression et de l'humidité de l'air ambiant.

En plus de continuer à fournir les services à la clientèle, l'ACF assumera un nouveau rôle de R-D dans un nouveau projet de nanométrie : un diffractomètre à réseau. Cet instrument construit par le CNRC est toujours à l'étape de conception et permettra d'étalonner le pas des réseaux (une règle à l'échelle du nanomètre) en mesurant les angles de diffraction de faisceaux laser de longueur d'onde étalonnée. L'ACF servira à étalonner le codeur d'angles de haute performance du palier de rotation de qualité commerciale (mesure de l'angle sur 360° à une résolution de 0,01 sec., précision de $U = 0,1$ sec) utilisé pour orienter les échantillons de réseaux aux angles de diffraction requises.

Comparateur d'étalons gravés à base longue

Le comparateur d'étalons gravés à base longue du CNRC, qui est installé sur une poutre de granit de 4,4 mètres, permettra de mesurer automatiquement tous les genres de dispositifs gravés (échelles de microscopes, codeurs, règles précises, rubans souples, mires de relevés, etc.), jusqu'à une longueur de 4 mètres. Nous détecterons les gravures à l'aide d'un système à microscope/caméra employant des méthodes de métrologie par images vidéo (voir ci-dessous). La détection de gravures sera suffisamment souple pour observer les gravures les plus fines des échelles de microscopes ($1 \mu\text{m}$) et les gravures les plus larges des règles métalliques (1 mm), et permettra même d'observer d'autres configurations de bords (comme les séries de carrés ou de croix). L'incertitude visée pour la mesure de la position centrale des gravures de la meilleure qualité est de $U = [25, 0,2 L]$ nm, où L est la longueur mesurée de l'intervalle entre les gravures, en millimètres.

*J. Pekelsky, P. Nistico,
L. Munro*

Durant la dernière période de référence du rapport, un étudiant coop néerlandais avait développé un logiciel pilote pour l'interféromètre au laser, afin de déterminer la position du chariot pendant qu'il balaye l'objet gravé. Dans la présente période de référence, nous avons perfectionné la commande du moteur du chariot et du patin pneumatique. Nous avons construit des gabarits spéciaux conçus pour monter et aligner deux plages d'échelles de gravures initiales : jusqu'à 100 mm, et jusqu'à 300 mm. Ces gabarits sont munis de plates-formes de verre transparent pour soutenir et serrer les échelles afin qu'elles puissent être observées dans des conditions d'éclairage transmis ou réfléchi. Les gabarits permettent de niveler chaque extrémité de l'échelle; elles permettent également de régler la position latérale et d'orienter l'axe du faisceau laser dans les trois angles. On peut régler un

montage auxiliaire le long de l'axe de l'instrument pour vérifier rapidement si le foyer du microscope est réglé correctement sur l'axe du faisceau laser, assurant ainsi que le décalage d'Abbe est nul. Nous avons également travaillé à mettre au point un système de détecteurs en laboratoire nécessaire pour corriger la longueur d'onde du laser en fonction de la température, la pression et l'humidité relative. Finalement, nous sommes en train de mettre au point un photodétecteur à quadrant qui permet d'orienter parfaitement l'axe du faisceau laser (échelle de mesure) avec l'axe tracé par le point focal du microscope lorsqu'il se déplace le long du banc du chariot (afin de réduire au minimum l'erreur du cosinus d'alignement du comparateur).

Ensuite, nous développerons un logiciel pour commander le système à base longue général. Il lira un script aux positions de mesure nominales souhaitées le long d'une échelle linéaire modèle. À chaque position du script, le logiciel fera marcher les moteurs qui font déplacer le chariot jusqu'à $1\ \mu\text{m}$ de la position nominale, lire l'interféromètre pour mesurer la position réelle du chariot, et utiliser des techniques de la métrologie par images vidéo pour mesurer automatiquement le décalage résiduel entre le centre de la rayure cible et le centre de l'image de la caméra. Nous combinons cette mesure avec la lecture de l'interféromètre pour obtenir la distance finale de l'origine de référence. Nous étudierons également la source lumineuse « froide » à fibre optique pour éclairer les rayures des échelles, comme tout chauffage parasite qui ne permet pas de maintenir la température à $20\ ^\circ\text{C}$ modifie la grandeur de l'échelle.

Métrologie par images vidéo (VIM)

J. Pekelsky, P. Nistico,
L. Munro

Nous continuons à développer un système souple pour la métrologie dimensionnelle à images sans contact. Notre but est de perfectionner les logiciels de traitement des images numériques afin de trouver automatiquement les caractéristiques cibles sur les images comme des lignes simples, des bords, ou des repères de cliché complexes, afin d'en extraire les attributs d'emplacement précis dans l'espace image, et établir le lien entre ces données et les dimensions sur l'objet. Selon ce principe, on doit être en mesure de séparer les caractéristiques de l'objet dans l'image (les lignes et les taches doivent être visibles). La VIM, dans le cas de la microscopie optique, est donc limitée approximativement aux rayures dont la largeur est supérieure à 2 fois la longueur d'onde de la lumière ($2 \times 500\ \text{nm}$). On peut cependant utiliser les images de n'importe quelle source, ce qui signifie des structures à l'échelle du nanomètre dont l'image est formée par des microscopes à balayage (AFM, STM, SEM) peuvent tirer profit de nos recherches. La VIM est la compétence de base pour toute métrologie à l'échelle du nanomètre.

Note système actuel de formation d'images est composé d'un microscope à grossissement variable muni de sources lumineuses à fibres optiques, d'une caméra CCD, et d'un numériseur numérique pour ordinateur personnel. Les dimensions des échelles et objets peuvent être adaptées à la tâche, grâce à une image vidéo d'une largeur de 600 pixels pouvant correspondre à une distance aussi courte que $0,2\ \text{mm}$ sur l'objet (1 pixel couvrant $300\ \text{nm}$). La capacité à déterminer l'emplacement d'une rayure à une précision inférieure à un pixel dépend du grossissement et de la qualité des rayures, mais la reproductibilité (1σ)

pour les rayures de la meilleure qualité (largeur de 2 μm) est d'environ 10 nm. Les premiers travaux de R-D avaient été effectués dans les années antérieures à l'aide de l'ensemble microscope/caméra monté sur un comparateur mécanique unidimensionnel. Bien que ce système convienne bien aux échelles à rayures, le comparateur n'a qu'un seul chariot de translation manuel. Nous préparons le comparateur à base longue motorisé pour remplacer cet instrument pour la métrologie des échelles à rayures.

Cette année, nous avons commencé des travaux de R-D sur des structures plus complexes à l'aide d'une machine à mesurer les coordonnées tridimensionnelles commerciale, et de sa sonde à caméra (MMC LEGEX de Mitutoyo et sonde Quick Vision). Cette sonde se sert de lentilles interchangeable pour obtenir différents grossissements. Même si cette méthode est moins pratique qu'une fonction de réglage du foyer, la sonde offre aussi l'éclairage à DEL intégral utile pour l'éclairage en anneau et/ou coaxial des objets (limité au mode de réflexion). Une des mires d'essai est un réseau de points 26 x 26 composé d'une structure chrome sur verre de petits disques circulaires (points) de 3 grandeurs (1 mm, 0,5 mm, et 0,25 mm). Nous sommes intéressés à mesurer le rendement du système de logiciel/matériel informatique « boîte noire » de la MMC pour les tâches de VIM. Nous avons écrit des programmes pour faire déplacer le VIM de manière à centrer chaque point dans le champ de la caméra, utiliser les outils DIP disponibles pour extraire l'emplacement du point dans l'image, et signaler les coordonnées de mesure globales. En travaillant au centre de l'image, on peut réduire au minimum les effets de distorsion de l'image, et on peut mesurer la position du point avec une reproductibilité de 50 nm (1σ) ou mieux. On a mis au point des logiciels qui permettent de trouver le point milieu d'un disque, et pour trouver les points sur le périmètre du disque et signaler les coordonnées du centre et le diamètre d'un cercle cadré.

Il reste toujours beaucoup à découvrir au moyen du réseau de points, mais on a prévu travailler avec d'autres objets, comme une ouverture en anneau en arête de lame – que l'on appelle un « étalon de fusion » – que l'on peut observer optiquement et sonder mécaniquement. L'étalon de fusion permet le sondage double par les MMC (par image et mécaniquement) pour corréliser leurs deux technologies de détection.

Projet conjoint avec le CSIRO (Australie) - Étalonneur de cylindres à piston

Durant l'exercice 2002-2003, l'IÉNM a fait d'importants progrès vers ce but en mettant au point un prototype d'instrument conçu pour mesurer le diamètre des PCU. La plate-forme de mesure principale et la structure des composants, incluant les sondes, les chariots de translation, les interféromètres et l'alignement et la position des échantillons, ont été conçus par Lorne Munro en collaboration avec John Miles (un chercheur invité du CSIRO) et Jim Pekelsky. La nouvelle structure à compensation thermique construite entièrement d'acier inoxydable a pris plusieurs milliers d'heures-personnes pour dessiner, fabriquer et assembler. L'instrument a été complété et a subi des premières analyses métrologiques avant d'être expédié au CSIRO (section Melbourne) en août 2003, où il sera soumis à des analyses de rendement plus approfondies en vue des prochaines étapes de conception, de développement et d'essai. Ce projet conjoint prendra probablement plusieurs années

*J. Miles (chercheur invité du CSIRO),
J. Pekelsky, L. Munro,
K. Doytchinov,
P. Nistico*

pour réaliser son plein potentiel métrologique. Notre premier objectif est de mesurer des diamètres jusqu'à 50 nm à une incertitude de l'ordre de quelques nanomètres. Le dispositif sera éventuellement muni d'équipement permettant de mesurer l'arrondi et la linéarité des formes cylindriques, également à une incertitude ciblée de quelques nanomètres.

Association canadienne de la métrologie des coordonnées (ACMC)

K. Doytchinov

Dans le cadre de son mandat législatif relatif à la recherche à l'appui des étalons nationaux de mesure, l'IÉNM est un foyer national pour l'expertise en systèmes de mesure de précision. Cette expertise contribue à encourager les normes de qualité dans les industries manufacturières (p. ex., l'industrie de l'aérospatiale, l'industrie automobile et les outilleurs-ajusteurs). Les machines à mesurer les coordonnées (CMM) font partie intégrante des inspections dans pratiquement toute production exigeant le contrôle dimensionnel, et représentent une des pratiques d'assurance de la qualité les plus vitales d'aujourd'hui. Par exemple, l'étalonnage des MMC fait partie intégrante du programme d'assurance de la qualité des fournisseurs QS-9000 des trois plus grands manufacturiers d'automobiles, qui a des répercussions sur les quelque 600 fournisseurs de premier rang de l'industrie automobile au Canada, et les milliers d'entreprises qui travaillent avec eux. Des marchandises valant plusieurs milliards de dollars sont mesurées tous les ans au Canada, à un coût d'approximativement 350 millions \$.

Les chercheurs du CNRC sont des participants clés de l'ACMC, qui réunit opérateurs de machines, inspecteurs, ingénieurs de contrôle de la qualité, ingénieurs de production, et fournisseurs d'équipement, pour partager des connaissances techniques sur le fonctionnement des machines à mesurer les coordonnées (MMC), et sur la mise en oeuvre d'étalons de mesure internationaux connexes. Les assemblées générales annuelles de l'ACMC sont tenues dans les grands centres de manufacturiers qui se servent de MMC—Oshawa, Hamilton, Windsor, London et Montréal. La neuvième Assemblée générale annuelle a eu lieu à Montréal en 2003, avant la fin de semaine de la course d'automobiles de Formule 1. Des métrologistes d'organisations des États-Unis et du Canada ont présenté des séances techniques à environ 50 participants, principalement des secteurs de l'automobile et de l'aérospatiale.

Mise en oeuvre du système qualité ISO 17025

Nous avons poussé plus loin les travaux préparatifs en vue de l'obtention d'une accréditation pour notre système qualité (SQ), prévue à l'automne de 2004. Nous avons complété une grande partie de l'organisation des services d'étalonnage, et identifié les points sur lesquels nous devons concentrer nos efforts. Les travaux ont commencé en collaboration avec le gestionnaire du système qualité de l'IÉNM, pour coordonner le fonctionnement du SQ. Nous avons élaboré des méthodes et distribué des modèles aux membres du Programme. L'achèvement et la réussite de l'examen par les pairs du SQ sont un défi important, puisque seuls les services offerts aux clients dont le SQ est accrédité peuvent être mentionnés dans l'annexe C

des services d'étalonnage et de mesure du BIPM. Nous continuons à élaborer les détails du SQ, et un examen interne est prévu pour l'été de 2004.

Comparaisons internationales

- **CCL-K2 : Cales étalons longs**
Le NPL (Royaume-Uni) est le laboratoire pilote de cette comparaison avec un à trois participants de chacune des cinq régions. Le CNRC fait partie de l'équipe pilote. On a fait circuler quatre cales, de 175 à 190 mm, de septembre 1999 à mai 2001. Le rapport final est en cours de révision finale.
- **CCL-K3 : Étalons d'angle**
Le CSIR (Afrique du Sud), le laboratoire pilote pour une comparaison visant à lier cinq régions, a fait circuler un polygone à 12 faces et quelques étalons d'angle. Le CNRC fait partie de l'équipe pilote et a fourni le polygone et les étalons d'angle. La comparaison est actuellement à l'étape du compte rendu.
- **CCL-K6 : Artefacts pour la MMC bidimensionnelle**
Le rapport final est aux dernières étapes de révision.
- **CCPR-S2 : Superficie d'ouverture**
Le NIST (États-Unis), le laboratoire pilote, a fait circuler huit ouvertures (5 et 25 mm de diamètre, chacune de deux matériaux, le bord ayant deux profils différents) à neuf participants. Cette comparaison est entreprise pour soutenir le groupe Photométrie et radiométrie du CNRC.
- **SIM 4.2 : Cales étalons**
Le CNRC a été le laboratoire pilote de cette comparaison, qui compte des participants de la SIM et un de l'EUROMET. On a fait circuler douze cales, de 2 à 100 mm, de juin 1998 à juin 2001. On a préparé un résumé, et le rapport final a été publié dans la base de données Metrologia pour l'ARM du CIPM.
- **SIM 4.8 : Rugosité des surfaces et hauteurs de pas**
Le rapport final est en cours de révision finale.
- **SIM 4.x : Cales étalons longues**
La planification de cette comparaison est amorcée et le CNRC fait partie de l'équipe pilote. Les discussions concernant la participation et la direction de la comparaison sont en cours.
- **Comparaison bilatérale NIST (États-Unis)-CNRC d'un artefact unidimensionnel (étalon de pas de 620 mm)**
NIST a été le laboratoire pilote : le rapport est en voie de préparation.
- **Comparaison bilatérale NML (Australie)-CNRC d'étalons de diamètre et d'arrondi (étalon de pression à piston/cylinder)**
Un étalon de pression à piston-cylinder a été envoyé au NML (Australie) à des fins d'essais de comparaison.
- **Comparaison bilatérale CMI (République tchèque)-CNRC d'étalons de diamètre/arrondi (étalon de pression à piston/cylinder)**
Un étalon de pression à piston-cylinder a été envoyé au CMI (République tchèque) à des fins d'essais de comparaison. Le rapport est en cours de préparation.

Services à la clientèle

La modernisation de la MMC a permis d'améliorer la précision des mesures, et a élargi notre capacité à faire des étalonnages dimensionnels sur demande. Des travaux de R-D sont en cours pour expliquer en plus grand détail les capacités et limites de cet instrument à la fine pointe de la technologie.

Nous avons publié 33 rapports d'étalonnage sur un grand éventail d'étalonnages dimensionnels :

- des barres de longueur en céramique à faible expansion thermique et cales étalons, par interférométrie à étalons à bouts
- un micromètre d'un table de microscope, par la métrologie d'images vidéo
- des spécimens de rugosité
- l'arrondi de deux hémisphères de verre
- l'arrondi et le diamètre de jauges à bouchon en acier et jauges à bague
- MMCs de clients vérifiés à l'aide de la plaque à billes du CNRC
- des étalons de pas, des cavités et pièces d'insertion de moules industrielles, des éléments optiques de lentilles, et des ouvertures radiométriques en utilisant le MMC du CNRC
- un système de déplacement laser en utilisant l'appareil à base longue

Comités et charges

Échelle internationale

Comité international des poids et mesures (CIPM)

Comité consultatif des longueurs (CCL)

J.R. Pekelsky, membre

WGDM : Groupe de travail en métrologie dimensionnel

J.R. Pekelsky, membre

CCL Key Comparison: SIM 4.x Long Gauge Block Calibration by Optical Interferometry

J.E. Decker, membre du Comité d'organisation

Organization internationale de normalisation (ISO)

ISO/TC 213 : Spécifications et vérification dimensionnelles et géométriques de produits

ISO/TC 213/WG1 : Rondeur, cylindricité, rectitude, planéité

K.I. Doytchinov, membre

ISO/TC 213/WG2 : Références spécifiées et systèmes de références spécifiées

K.I. Doytchinov, membre

ISO/TC 213/WG5 : Principes et étalonnage des instruments—rugosité des surfaces

K.I. Doytchinov, membre

ISO/TC 213/WG10 : Machines de mesure des coordonnées

K.I. Doytchinov, membre

ISO/TC 213/WG11 : ISO 3650 Cales-étalons

J.E. Decker, membre

Interamerican Metrology System (SIM)

SIM Technical Committee

J.R. Pekelsky, membre

Groupe de travail des longueurs

J.R. Pekelsky, membre

NORAMET

Comité technique des longueurs

J.R. Pekelsky, responsable NRC

Optical Society of America (OSA)

J.E. Decker, membre

American Society of Mechanical Engineers (ASME)

Standards Committee B89.7 : Measurement Uncertainty

J.E. Decker, conseiller technique

Échelle nationale

Conseil canadien des normes (CCN)

ISO/TC 213/WG1, WG2, WG5, WG10 :

K.I. Doytchinov, membre, Comités techniques

ISO/TC 213/WG11 :

J.E. Decker, membre, Comité technique

Association canadienne de métrologie de
coordonnées (ACMC)

Comité exécutif

K.I. Doytchinov, président

Comités de rédaction

SPIE Conference Proceedings "Recent Developments in Traceable Dimensional Measurements II", SPIE Vol. 5190, San Diego, California, USA, 4-6 August 2003, 477 pages. Chairs/Editors **J.E. Decker**, N. Brown.

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'iénm à l'adresse suivante : inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/

Articles dans des publications revues

Decker, J.E., Miles, J.R., Madej, A.A., Siemsen, R.F., Siemsen, K.J., de Bonth, S., Bustraan, K., Temple, S., **Pekelsky, J.R.**, "Increasing the range of unambiguity in step-height measurement using multiple-wavelength interferometry – Application to absolute long gauge block measurement", *Applied Optics*, **42(28)**, 5670-5678 (2003).

Decker, J.E., "Erratum – Some important characteristics of gauge block artefacts for international comparison", *Metrologia*, **40**, 1 (2003).

Decker, J.E., Alschuler, J., Castillo Candanedo, J., De la cruz Garcia, L., Prieto Esteban, E., Morales, R., Valente de Oliveira, J.C., Stone, J., Stoup, J., **Pekelsky, J.R.**, "Report on SIM.4.2 Regional Comparison Stage Two: Calibration of Gauge Blocks by Mechanical Comparison", *Metrologia*, **40**, Tech. Suppl., 04003, (2003).

Éditoriaux

Decker J. Book Review: "Evaluating the Measurement Uncertainty: Fundamentals and Practical Guidance," *Metrologia*, **40(4)**, 207 (2003).

Articles dans des comptes rendus de conférence

Decker, J.E., Schoedel, R., Boensch, G., "Next-Generation Koesters Interferometer," Proc. of SPIE Conference Recent Developments in Traceable Dimensional Measurements, San Diego, CA, SPIE Vol. 5190, pp. 14-23, August (2003).

Présentations orales invitées

Decker, J.E., Schoedel, R., Boensch, G., "Next-Generation Koesters Interferometer," PTB Colloquium Series, (May 2003).

Decker, J.E., Schoedel, R., Boensch, G., "Next-Generation Koesters Interferometer for Calibration of Long Gauge Blocks," National Conference of Standards Laboratories International (NCSLI) Canadian Region Fall Meeting, (October 2003).

Personnel

Jennifer Decker, Chef de programme

Téléphone : (613) 991-1633

Télécopieur : (613) 952-1394

Courriel : jennifer.decker@nrc-cnrc.gc.ca

Kostadin Doytchinov 991-0265

Lorne Munro 993-3326

Patrick Nistico 993-0819

Donna Woods 998-7638

Jim Pekelsky, Chef de groupe

Métrologie mécanique 993-7578

Travailleurs invités

John Miles (CSIRO, Australie)

Johan de Ruijter, TUE, Pays-Bas, (étudiant)

Christian Baldo, UFSC, Brésil, (étudiant)

Étalons de masse

Le Programme des étalons de masse vise à établir et à améliorer la traçabilité de l'unité de masse et des unités dérivées de pression, de densité, de force et de flux de masse, aux prototypes canadiens du kilogramme. Ces activités viennent appuyer le commerce et la métrologie légale, ainsi que d'autres activités industrielles et gouvernementales. En particulier, le programme soutient le mandat du CNRC, en vertu de la Loi sur les poids et mesures, par des recherches, des étalonnages et la participation active aux travaux d'organisations de normalisation et d'organismes de réglementation nationaux et internationaux. Le programme soutient également les activités du Service d'évaluation des laboratoires d'étalonnage (CLAS), au moyen d'étalonnages, d'inspections et de la documentation.

Masse

*G.D. Chapman,
G.R. Matthews,
C. Jacques*

Les activités du groupe Étalons de masse sont dirigées en fonction du mandat du CNRC en vertu de la *Loi sur les poids et mesures*, et soutiennent la métrologie légale canadienne en matière de masse. Le projet comprend la conception, la construction, la mise en service de matériel et la mise en oeuvre de programmes, politiques et méthodes conçus pour approfondir nos connaissances des prototypes nationaux du kilogramme, et sa diffusion à l'industrie, au secteur gouvernemental et aux laboratoires d'universités.

Les outils utilisés dans ce projet sont des comparateurs de force, qui fournissent les données nécessaires aux comparaisons de masse. Les outils informatiques, notamment les logiciels mis au point à l'interne, permettent l'étalonnage précis et traçable de masses, et tiennent compte de facteurs environnementaux importants. Les déterminations les plus importantes sont les évaluations des variances et leur propagation dans la chaîne de masses. La détermination de la masse, dans le cadre de la réalisation de l'unité de force SI, joue un rôle important dans le projet de la pression.

Le maintien et l'amélioration de l'échelle canadienne de la masse demeurent un élément important du Programme des étalons de masse. Cette année, nous avons établi une relation linéaire de dérive-tendance entre les valeurs des étalons de masse et le temps. Comme les incertitudes augmentent dans le temps suite aux extrapolations, l'analyse des tolérances nous aide à décider si les poids doivent être étalonnés de nouveau.

Cinq comparaisons clés du Comité Consultatif pour la Masse (CCM) dans la plage 100 mg à 10 kg ont été effectuées cette année. Ces comparaisons prennent beaucoup de temps et consomment beaucoup de ressources, mais sont d'une importance cruciale parce qu'elles permettent de préciser les capacités des laboratoires participant à la comparaison sur une grande partie de la plage de masse régulière de la plupart des INM. Le Programme des étalons de masse a servi de laboratoire pilote pour une comparaison de la susceptibilité magnétique.

Depuis que les instituts nationaux de métrologie doivent être accrédités selon la norme ISO 17025, un de nos chercheurs (G.D. Chapman) est souvent appelé à participer aux équipes d'évaluation et d'examen. Cette année, il a fait partie de l'équipe d'évaluation du CSIR/NML (Afrique du Sud) et de l'équipe d'examen par les pairs de l'INMETRO (Brésil).

Masse volumique

C. Jacques

Ce projet vise à diffuser l'unité de masse volumique dérivée (kg/m^3) du SI, utilisée par l'industrie et dans le commerce national et international. Le projet comporte la conception, la construction et la mise en service de l'équipement, ainsi que les programmes et méthodes de dissemination.

Le projet fait énormément appel aux installations du projet de l'unité de masse et est, à son tour, indispensable pour l'étalonnage précis de la masse. Dans ce projet, on emploie des comparateurs de masse, des étalons de masse précis traçables aux prototypes nationaux du kilogramme, des bains et enceintes à température contrôlée par thermostat, et des étalons de transfert au silice fondue.

L'étalon de masse volumique utilisé par le CNRC est toujours l'eau pure, dont la masse volumique est déterminée d'après sa température. Nous avons déterminé la teneur en isotopes de l'eau de robinet distillée du CNRC, et en avons tenu compte pour calculer la masse volumique de l'eau pure. Nous avons observé que l'étape de filtration, qui suit la distillation, ne change pas la teneur en isotopes de l'eau.

Nous avons étalonné des hydromètres et mesuré la masse volumique de divers solides et liquides. L'étalonnage des pycnomètres de précision est traçable aux quantités de base primaires du SI. Nous avons calculé régulièrement la masse volumique de l'air, et, lorsque nécessaire, ces valeurs ont servi pour mesurer la masse volumique de façon aérostatique.

Nous travaillons toujours à la conversion à l'étalon de masse volumique primaire au silicium, qui est plus stable et prévisible que l'eau pure. Nous pouvons d'ailleurs mesurer la masse volumique d'un artefact de silicium à partir de ses dimensions et sa masse. Ce travail est effectué en collaboration avec le Laboratoire de fabrication optique du CNRC, dont le personnel fabrique les artefacts nécessaires à partir d'un seul cristal de silicium de 5 kg, qu'on a entreposé dans la voûte du laboratoire de masse depuis 20 ans en prévision de ce projet. Le projet dépend de façon critique de l'expertise et de la participation de nos collègues du Programme de métrologie dimensionnelle, ainsi que des laboratoires de fabrication optique et de composants mécaniques. Nous avons fabriqué un carrousel cette année qui sera mis à l'essai l'an prochain. Nous avons déjà fabriqué un artefact d'une masse nominale de 100 g, et son volume a été mesuré à deux reprises, la période intermédiaire entre les mesures étant de dix-huit mois. L'écart entre les deux volumes mesurés était de 0,25 partie par million, et l'incertitude du volume était de 0,54 partie par million.

Nous avons participé à trois comparaisons du CCM : 1) la comparaison d'étalons de silicium solide (CCM.D-K1); 2) la comparaison de pycnomètres de 100 ml (CCM.FF-K4); et 3) la comparaison d'étalons liquides (CCM.D-K2). Les résultats de ces comparaisons n'ont toujours pas été publiés.

Pression moyenne et élevée

Ce projet vise à maintenir des étalons pour les mesures de pression jusqu'à 240 MPa. Nous avons récemment fait l'acquisition d'une balance de pression

A.K. Agarwal,
B. Holbrook

à poids pouvant fonctionner en mode pneumatique ou hydraulique jusqu'à une pression d'environ 100 MPa. Ce nouvel appareil permet d'établir la chaîne de traçabilité du baromètre de mercure primaire jusqu'à la balance de pression à poids de haute pression. La majeure partie des ressources du laboratoire ont été affectées à ce projet et à l'étalonnage de la balance de pression à poids de haute pression.

Pression barométrique

A.K. Agarwal,
B. Holbrook

Ce projet vise à établir et à améliorer la traçabilité de l'unité du SI dérivée de pression (le Pascal). Il fournit l'étalon de pression primaire, sous forme d'un manomètre à mercure de 1,5 m. Des manomètres à piston à poids mort servent d'étalons chevauchants traçables jusqu'à des pressions plus élevées. De plus, quelques étalons de référence et de travail pour le type à membrane capacitive permettent la propagation précise du pascal dans la plage 100 Pa à 7 MPa. Nous avons établi une chaîne de traçabilité entre le manomètre primaire et d'autres étalons de pression à poids pour les mesures de pression jusqu'à 250 MPa. Cela nous permettra de fournir des mesures de pression élevée traçables à un degré d'incertitude comparable à ceux d'autres INM.

Débit massique

A.K. Agarwal,
B. Holbrook,
C. Jacques

Ce projet était à l'origine un projet de collaboration avec l'industrie ayant pour but d'établir des installations nationales de mesure du débit massique à l'état gazeux, et de permettre l'étalonnage d'appareils de mesure et de commande du débit massique pour l'industrie et d'autres ministères du gouvernement. Un des premiers buts du projet est la certification par le CLAS de laboratoires industriels du domaine du flux massique.

Le Laboratoire de débit massique maintient un étalon de débit à piston servant à mesurer le débit à l'état gazeux jusqu'à 50 L/m. Nous avons également déterminé son degré d'exactitude et son budget d'incertitudes. De plus, le laboratoire maintient un étalon de transfert comprenant des éléments d'écoulement laminaire de divers niveaux de débit allant jusqu'à 50 L/m. Afin d'améliorer l'exactitude des mesures et de réduire leurs incertitudes, le laboratoire a commencé à développer et à installer un système de mesure du débit gravimétrique. Ce projet de R-D se poursuivra pendant les quelques prochaines années.

Comparaisons internationales

- **CCM.M-K1 : Comparaison clé de masse, 1 kg**
Les résultats de cette comparaison ont été publiés après neuf ans. Cette comparaison illustre le fait que pour mesurer la masse avec une très grande précision, il suffit de connaître la température, la pression et l'humidité, et qu'elles demeurent stables pendant les mesures.
- **CCM.M-K2 : Comparaison clé de masses, 10 kg, 500 g, 20 g, 2 g, et 100 mg**
Le CNRC a très bien réussi, sauf dans le cas de la masse de 10 kg, pour laquelle

nos résultats étaient de mauvaise qualité parce que l'équipement utilisé était inadéquat. La situation a été corrigée et nous sommes satisfaits de nos résultats depuis que nous avons fait l'acquisition d'un comparateur de masses de 10 kg de très bonne qualité.

- **CCM.M-K3 : Comparaison clé de masse, 50 kg**
Le CNRC a participé à une étude pilote de la faisabilité de la comparaison en collaboration avec le LNE (France). Les résultats n'ont pas été publiés jusqu'à présent, mais semblent très bons pour le CNRC.
- **CCM.M-K4 : Comparaison clé de masse, 1 kg**
Les comparaisons doivent être faites régulièrement. Ce projet est une répétition de la comparaison CCM.M-K1. Le protocole a été complété.
- **CCM.M-K5 : Comparaison clé de masse, 200 mg, 1 g, 50 g, 200 g et 2 kg**
Les mesures ont été complétées.
- **Comparaison clé de densité CCM.D-K1, densité du silicium**
L'étalon est une sphère de silicium. Les résultats préliminaires du projet de rapport A indiquent un très bon rendement du CNRC, même si on a utilisé de l'eau pure comme étalon de densité.
- **CCM.D-K2 : Comparaison clé de densité, étalons de densité de liquide**
Le protocole est complété et les mesures sont prévues pour 2004.
- **CCM.FF-K4 : Comparaison clé de volume de liquide, 100 mL**
Les mesures du volume de liquide de pycnomètres de 100 ml ont été complétées. Cette comparaison est très semblable à la comparaison SIM.M.FF-S1 (voir ci-dessous), pour laquelle le CNRC était le laboratoire pilote.
- **CCM.P-K2 : Comparaison clé de pression, 10 kPa à 120 kPa en mode absolu et CCM.P-K6 : Comparaison clé de pression, 10 kPa à 120 kPa en mode manométrique**
Les comparaisons avaient été faites de 1998 à 2002 et le laboratoire pilote était le NPL (Royaume-Uni). Les participants étaient le BNM/LNE (France), le CSIRO (Australie), le METAS (Suisse), le NIM (Chine), le NIST (États-Unis), le NPL, PTB (Allemagne) et le CNRC. On a fait circuler les résultats dans un projet de rapport « A ». Ils montrent que les résultats de tous les participants sont compatibles en tenant compte de leurs incertitudes élargies déclarées pour les mesures en mode manométrique et en mode absolu. En particulier, nos résultats sont à moins d'un écart type de la valeur de référence (moyenne des résultats de tous les participants).
- **CCM.P-K7 : Comparaison clé de pression, 10 MPa à 100 MPa en mode manométrique**
Cette comparaison a été complétée en avril 2004 et le laboratoire pilote était le PTB (Allemagne). Les résultats de la comparaison ont déjà été soumis dans un projet de rapport A. Les participants étaient le BNM/LNE (France), le CENAM (Mexique), le NIST (États-Unis), le NMIJ (Japon), le NPL (Royaume-Uni), le NPL (Inde), le PTB et le CNRC. Les résultats de tous les participants sont compatibles si l'on tient compte de leurs incertitudes élargies indiquées. Nous avons utilisé notre nouvelle balance hydraulique de pression à poids PG-7202 pour cette comparaison. Nos résultats sont exceptionnellement bons (à 5 parties

par million de la valeur de référence) malgré de grandes fluctuations dans la température du laboratoire. Les résultats de certains autres participants diffèrent jusqu'à 30 parties par million de la valeur de référence.

- **Comparaison internationale du CCM de susceptibilité magnétique et de magnétisme résiduel dans les poids**
Le CNRC est le laboratoire pilote pour cette comparaison. Les mesures sont presque terminées.
- **SIM.7.3 : Comparaison de masse, 1 mg à 1 kg**
Cette comparaison est en cours.
- **SIM.M.FF-S1 : Comparaison supplémentaire de volume de liquide, 50 mL et 100 mL**
Le CNRC était le laboratoire pilote de cette comparaison, les résultats ont été publiés en 2003.
- **Comparaison internationale d'hydromètres: (NIST (États-Unis), CNRC, IMGC (Italie), NIS (Égypte))**
On a mis fin à cette comparaison en raison d'événements incontrôlables. On ne s'entend pas à ce qu'elle soit complétée, même si le CNRC a fait les mesures.
- **Comparaison internationale de pipettes de 1 L et de 10 mL (NIST (États-Unis), CNRC, IMGC (Italie), NIS (Égypte))**
On a mis fin à cette comparaison en raison d'événements incontrôlables. On ne s'entend pas à ce qu'elle soit complétée, même si le CNRC a fait les mesures.

Services à la clientèle

Tous les projets du programme des étalons de masse comprennent l'étalonnage régulier d'artefacts et de dispositifs pour les clients de l'extérieur. Voici une courte liste non exhaustive :

- densité de poids de référence de bonne qualité
- poids de référence
- jauges à piston à poids et poids de charge
- jauges de vide
- grand éventail de jauges de pression barométrique
- étalons volumétriques, incluant des échantillons de référence et de production; hydromètres
- susceptibilité magnétique de poids et d'échantillons de métal.

Comités et charges

Échelle internationale

Organization internationale de normalisation (ISO)

ISO/TC 24 : Tamis, tamisage et autres méthodes de séparation granulométrique

G.D. Chapman, membre

ISO/SC 2 : Tamisage de contrôle

G.D. Chapman, membre

ISO/SC4 : Granulométrie par procédés autres que tamisage

G.D. Chapman, membre

Comité international des poids et mesures (CIPM)

Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM)

G.D. Chapman, membre

CCM WGM : Groupe de travail sur la masse
G.D. Chapman, membre

CCM WGD : Groupe de travail sur la masse volumique
C. Jacques, membre

CCM WGHP, WGMP, WGLP : Groupes de travail sur les pressions haute, moyenne et basse
A.K. Agarwal, membre

CCM : Groupe d'étude sur le transport des étalons
G.D. Chapman, président

Interamerican Metrology System (SIM) et NORAMET

MWG-7 : Masse et grandeurs apparentées
G.D. Chapman, membre
C. Jacques, membre
A.K. Agarwal, membre

MWG-10 : Débit et grandeurs apparentées
C. Jacques, membre
A.K. Agarwal, membre

National Association of Testing Authorities (NATA)

G.D. Chapman, Évaluateur technique accrédité

South African National Accreditation Service (SANAS)

G.D. Chapman, Évaluateur technique accrédité

Échelle nationale

Canadian General Standards Board

Committee on Standard Sieves

G.D. Chapman, membre

L'association canadienne de normalisation

Comité technique de l'ACNOR sur le Système international d'unités (Guide de familiarisation au système métrique)

G.D. Chapman, membre

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'ÉNEM à l'adresse suivante : inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/

Articles dans des publications revues

Jacques, C., S. Trujillo Juarez, J.M. Maldonado, and V. Bean. "NORAMET intercomparison of volume standards at 50 mL and 100 mL (SIM. M.FF-S1)", *Metrologia* **40 (1A)**, Technical Supplement, 07001 (2003).

Articles dans des comptes rendus de conférence

Agarwal, A.A., B. Holbrook. "Traceability Chain for Pressure Measurement from 10kPa –280

MPa at the INMS/NRC", Proceedings of the NCSLI Conference (2003).

Rapports et documents techniques

G.D. Chapman. "Least squares comparison of four weights on comparators with weight handlers", NRC Publication 42779 (2003).

G.D. Chapman. Mass Course, NRC Publication 46668 (2004).

Personnel

Claude Jacques, Chef de programme

Téléphone : (613) 993-9330

Télécopier : (613) 998-5396

Courriel : claudio.jacques@nrc-cnrc.gc.ca

Travailleurs invités

Anil Agarwal 991-0615

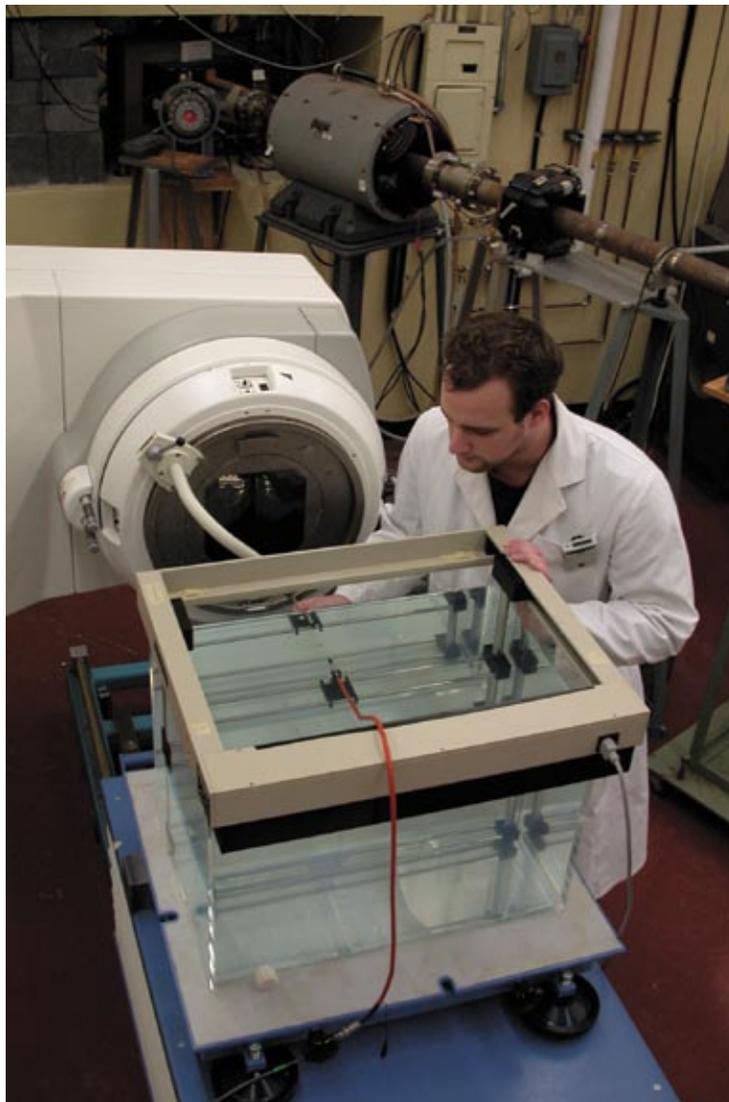
George Chapman 993-2351

Bernard Holbrook 990-9555

George Matthews 991-4149

Dan Ouellette 993-7557

On emploie un numériseur 3-D pour mesurer la distribution de la dose absorbée dans l'eau avant d'établir la dose absolue à l'aide de calorimétrie à eau. Michel Lalonde, un étudiant co-op travaillant avec le groupe des étalons de rayonnements ionisants, oriente le détecteur – une petite chambre d'ionisation – en direction de l'axe central du champ de rayonnement. Les faisceaux de rayons X haute énergie sont produits par un accélérateur clinique Elektra, qui produit des faisceaux de rayonnement semblables à ceux utilisés pour la radiothérapie.



Le groupe Étalons de rayonnements ionisants (ERI) diffuse, maintient et développe des étalons pour les rayonnements ionisants. Il effectue aussi des travaux de R-D se rapportant à la mesure des rayonnements ionisants, et fournit différents services à sa clientèle comme les étalonnages, les irradiations, la consultation et la formation. Sa clientèle comprend des organisations et institutions des domaines de la radiothérapie anticancéreuse, de la protection contre les rayonnements, des irradiations industrielles et des étalons internationaux.

Les activités majeures du groupe comprennent le développement d'étalons et de techniques de mesure liés à l'exposition et le kerma dans l'air dans les faisceaux de rayons X de basse énergie et de ^{60}Co ; à la dose absorbée dans l'eau dans les faisceaux de ^{60}Co , ainsi que les faisceaux de photons et d'électrons produits par des accélérateurs linéaires; à la fluence de neutrons et la dose équivalente de neutrons; et à la dose absorbée dans les tissus dans un champ de rayons β . Le groupe est également très reconnu pour le développement et l'exploitation de techniques de calcul Monte Carlo pour simuler le transport d'électrons et de photons dans les matériaux.

Installations et services

Le groupe ERI possède plusieurs installations de production de rayonnements ionisants. Des sources radioactives produisent des faisceaux de rayons γ , de neutrons et de rayons β , tandis que des appareils alimentés à l'électricité produisent des faisceaux de rayons X et d'électrons.

Les appareils au ^{60}Co produisent des faisceaux de différentes dimensions de champ et de différentes doses, à partir de presque les conditions de fond, jusqu'à 1 Gy/min. Les utilisations de ces sources de rayonnements comprennent l'étalonnage de chambres d'ionisation pour les cliniques de radiothérapie, l'irradiation des détecteurs DTL pour la protection contre les rayonnements, et l'étude de différents détecteurs comme l'alanine, les pellicules et les chambres d'ionisation. Une nouvelle source a été installée et mise en service dans l'appareil de ^{60}Co de haute intensité au printemps de 2004.

Deux tubes de rayons X, fonctionnant à une tension de 10 à 300 keV, produisent des rayons X utilisés pour faire des étalonnages, les essais d'assurance de la qualité pour la protection contre les rayonnements, et divers projets de recherche.

Les étalons de rayons β servent à protéger les travailleurs contre les rayonnements dans les centrales nucléaires. Le laboratoire de rayons β a été rétabli depuis quelques années et on est en train d'y installer un nouvel irradiateur. L'irradiateur contient trois sources – ^{90}Sr , ^{85}Kr et ^{147}Pm – qui couvrent la gamme d'énergies que l'on trouve près des centrales nucléaires. Les étalons de rayons β sont aussi intéressants pour la communauté de la protection civile, et certaines améliorations ont été apportées au matériel de laboratoire grâce à des subventions de l'IRTC.

Le groupe possède également un laboratoire d'accélérateurs doté de deux accélérateurs linéaires. Un accélérateur de recherche Vickers est en opération depuis 1968 et offre un grand éventail d'énergies électroniques (3 à 40 MeV) et d'intensités de faisceaux (de quelques électrons par seconde à des courants pouvant produire des taux de dose absorbés de quelques kGy/min). Cette grande plage d'utilisation, combinée avec son spectre énergétique bien caractérisé et sa sortie stable, font de cet appareil un outil de recherche unique pour la dosimétrie des rayonnements. On a installé un accélérateur linéaire clinique Elekta en 2002. Cet appareil est semblable à ceux utilisés pour la lutte anticancéreuse dans des cliniques de radiothérapie partout au Canada, et permet d'étudier au CNRC les problèmes de dosimétrie rencontrés en clinique.

Les calculs Monte Carlo complexes nécessaires pour la dosimétrie des rayonnements sont effectués à l'aide d'une grappe d'ordinateurs personnels fonctionnant sous LINUX. Cette méthode permet au système d'être indépendant des processeurs individuels, et permet la mise à niveau séquentielle des ordinateurs sans périodes d'inactivité importantes. Nous avons développé un système de mise en file d'attente qui permet aux utilisateurs de préciser la priorité des calculs en sélectionnant la vitesse des processeurs utilisés pour faire un calcul en particulier. Ce système est maintenant distribué avec le programme Monte Carlo BEAMnrc. Le réseau de calcul fournit également du soutien pour des cours sur les techniques

Monte Carlo, qui traitent des deux programmes développés au CNRC – EGSnrc et BEAMnrc.

Le groupe offre des services d'étalonnage d'appareils utilisés pour mesurer les rayons X, les rayons γ , les neutrons et les rayons β . Ordinairement, le client envoie l'appareil au CNRC pour qu'il soit étalonné, mais, dans certains cas, des employés d'ERI se rendent chez le client pour étalonner leur champ de rayonnement.

Nos installations de rayonnement offrent aussi des services d'irradiation à contrat d'achat. Dans certains cas, les clients se présentent avec des appareils à irradier, et ils participent aux mesures. Dans d'autres cas, les appareils ou les matériaux sont envoyés au CNRC, sont irradiés et retournés à l'utilisateur. Une description plus détaillée des services d'étalonnage et d'irradiation fournis par le groupe est publiée dans le site Web de l'IÉNM à l'adresse http://inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/calserv/ionizing_radiation_e.html.

Étalons de rayonnement pour le kerma dans l'air des faisceaux de ^{60}Co et de ^{137}Cs

J. McCaffrey,
B. Downton, H.
Shen, S. Walker,
D. Marchington,
D. Rogers,
F. Farahvash, C. Ross

Ce projet a pour but de diffuser, de maintenir et de développer des étalons de kerma dans l'air pour les faisceaux de rayons γ au ^{60}Co et au ^{137}Cs . Ces étalons étaient jusque récemment à la base de la dosimétrie de la radiothérapie au Canada. Même s'ils sont toujours en usage, la plupart des cliniques utilisent maintenant des étalons d'ERI pour la dose absorbée.

La protection contre les rayonnements est maintenant un des domaines d'application les plus importants pour les étalons de kerma dans l'air pour les rayons γ , et le groupe ERI fournit un programme d'assurance de la qualité pour tous les services de surveillance du personnel au Canada. L'industrie électronucléaire est l'un des plus grands clients du programme d'assurance de la qualité du ^{60}Co .

Les activités de recherche ont été axées sur la conversion de valeurs extrapolées du facteur de correction pour parois, k_{wall} , en calculs Monte Carlo de ce facteur. Des travaux expérimentaux effectués à l'aide d'une chambre d'ionisation au graphite conçue spécialement viennent appuyer ces calculs. Une réévaluation de tous les facteurs de correction a mené à un changement de 0,59 % de l'étalon primaire d'exposition et de kerma dans l'air à l'IÉNM en 2003.

Comme la demi-vie du ^{60}Co est d'environ 5 ans, nous devons installer une nouvelle source dans notre irradiateur de haute intensité tous les 4 ou 5 ans. Nous avons acheté, installé et mis en service une nouvelle source en mars 2004.

Étalons de rayonnements pour le kerma dans l'air de rayons X

J. McCaffrey, H.
Shen, S. Walker,
D. Marchington,
F. Farahvash, P. Saull

Ce projet a pour objet de diffuser, de maintenir et de développer des étalons de kerma dans l'air pour les rayons X ayant des énergies de 10 à 300 kV. Les étalons de kerma dans l'air de rayons X sont nécessaires pour la dosimétrie de la radiothérapie de la peau et du sein au Canada. Nous avons fait des efforts considérables pour mesurer de nouveau et vérifier la plupart des épaisseurs de demi-atténuation

employées pour préciser le grand nombre de faisceaux de rayons X maintenus par ERI. Une rénovation majeure du laboratoire de rayons X est en cours présentement pour mettre à jour et remplacer les structures de soutien et les équipements vieillissants.

En plus de la dosimétrie, les installations de rayons X fournissent des étalons servant aux essais d'assurance de la qualité aux énergies des rayons X. Le Fichier dosimétrique national du Canada, de Santé Canada, contient la dose de rayonnements cumulative individuelle de tous les travailleurs canadiens exposés aux rayonnements. Ce fichier dosimétrique comprend les travailleurs du secteur dentaire, de la radiothérapie, du secteur de la chiropractie et de la médecine vétérinaire, ainsi que des travailleurs de laboratoire, des techniciens en radiographie, etc. Les petits groupes sont surveillés par l'entremise de services offerts par Santé Canada et d'autres laboratoires secondaires d'assurance de la qualité, qui sont tous traçables aux étalons de rayonnements maintenus par le groupe ERI.

Les activités de recherche faisant appel aux étalons de rayons X comprenaient les travaux de l'étudiant stagiaire Steve Davis, sous la surveillance de Carl Ross, subventionnés par Ontario Power Generation. Ces travaux portaient sur la réponse énergétique d'une nouvelle génération de dispositifs thermoluminescents (DTL) utilisés pour la surveillance dosimétrique.

· *Étalons de rayonnements de la dose absorbée dans l'eau de faisceaux de photons et d'électrons*

La mesure précise de la dose absorbée dans l'eau des faisceaux de rayonnement est un élément crucial de la radiothérapie anticancéreuse. Le groupe ERI a fait des efforts considérables pour développer la calorimétrie de l'eau comme étalon pour la dose absorbée dans l'eau. Ces travaux ont mené au développement de notre service d'étalonnage de la dose absorbée au ^{60}Co , qui est utilisé par la plupart des centres de radiothérapie canadiens.

Nous avons utilisé notre calorimètre d'eau au cours de la dernière année pour établir la dose absorbée dans les champs de rayons X produits par notre nouvel accélérateur Elekta. Nous participons actuellement à une comparaison corrélative afin de comparer nos résultats avec ceux de plusieurs laboratoires européens. Nous prévoyons offrir des services d'étalonnage de faisceaux de rayons X de haute intensité aux utilisateurs canadiens; un service semblable à ceux offerts par plusieurs laboratoires d'étalons européens.

Des réactions chimiques provoquées par le rayonnement peuvent avoir un effet de quelques pour cent sur la réponse du calorimètre. On peut construire un modèle précis des réactions chimiques ainsi provoquées dans le cas de l'eau pure ou certains systèmes aqueux bien définis. La réponse peut toutefois être perturbée par des impuretés inconnues, et il est donc tant de contrôler la pureté de l'eau. Nous avons construit un récipient dans lequel le seul matériau en contact avec l'eau est le verre. Les premières mesures effectuées avec cet appareil indiquent que la réponse du système demeure stable pendant de longues périodes de temps.

M. McEwen, C. Ross, N. Klassen, D. Marchington, L. Heistek

La dose absorbée dans les tissus dans un champ de rayons β

P Saull,
D. Marchington,
S. Walker, D. Rogers,
C. Ross,

Ce projet a pour objet de diffuser, de maintenir et de développer des étalons pour la dose absorbée dans les tissus dans un champ de rayons β basés sur des mesures prises en se servant d'une chambre d'ionisation à extrapolation.

Réactivé en 2002 à l'aide de deux anciennes sources de SrY-90, le projet a récemment bénéficié d'une subvention de l'IRTC, qui a facilité l'acquisition d'un nouvel irradiateur à rayons β . L'irradiateur comprend deux nouveaux genres de sources, le Kr-85 et le Pm-147, en plus d'une source de SrY-90, qui élargissent la portée des études à des énergies moins grandes.

La mise en service d'un nouveau système pour les étalons de rayonnement bêta a exigé l'intégration complète du matériel de la chambre d'extrapolation avec celui de l'irradiateur, ainsi que le développement d'un nouveau programme sous LINUX pour contrôler intégralement l'irradiation et l'acquisition de données. Nous détermineront ensuite les facteurs de correction nécessaires pour établir ces étalons en nous servant principalement de données mesurées ainsi que de résultats de calculs Monte Carlo obtenus à l'aide du programme BEAMnrc.

Le nouveau système sera mis à l'essai vers le début de 2005 lors d'une comparaison corrélative de l'EUROMET intitulée « Comparaison supplémentaire des taux de dose absorbée du rayonnement bêta dans les tissus » (projet 739 de l'EUROMET, BIPM KCDB: EUROMET.R(I)-S2), à laquelle participeront 6 pays européens, ainsi que le Canada et les États-Unis. Les résultats seront envoyés au BIPM, qui les ajoutera à sa base de données de comparaisons clés.

Les étalons de rayonnement β sont utilisés principalement dans le domaine de la protection contre les rayonnements. Grâce au nouveau système, le groupe ERI sera en mesure d'offrir un programme d'assurance de la qualité pour tous les fournisseurs de services de dosimétrie du personnel au Canada, tel que prescrit par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN).

Études de la fluence de neutrons et de l'équivalent de dose ambiante

P. Saull, L. Heistek

La mesure de l'équivalent de dose attribuable aux neutrons est importante pour les centres anticancéreux et l'industrie électronucléaire. Le groupe ERI offre un service d'étalonnage d'appareils de détection de neutrons basé sur les taux d'émission connus de ses sources de neutrons à l'Am-Be, étalonnées par la méthode du bain de manganèse. Nous corrigeons les données pour la diffusion par l'air, la diffusion par la chambre, et les dimensions finies du détecteur (correction géométrique), afin de dériver la fluence attendue, qui est par la suite convertie à la dose ambiante absorbée à l'aide du spectre connu de la source à l'Am-Be et des coefficients de conversion de fluence en dose ambiante de l'ICRU. Nous avons utilisé le programme Monte Carlo MCNP5 pour étudier l'exactitude du facteur de correction géométrique, l'origine de la variation observée de la réponse directionnelle du détecteur, et l'effet des neutrons diffusés par la chambre et par l'air sur la fluence, spécialement en ce qui a trait à la diminution d'énergie.

Les sources de neutrons à l'Am-Be servent également à analyser le comportement des dosimètres personnels. Le groupe ERI élabore actuellement un programme d'assurance de la qualité pour tous les fournisseurs de services de surveillance du personnel au Canada. Le but est d'atteindre un niveau d'incertitude de 2 à 3 % (1 sigma) de la dose absorbée transmise à un dosimètre personnel dans la plage de valeurs de 0,01 à 1 mSv.

Physique computationnelle des rayonnements

Ce projet a pour but de développer, de perfectionner et d'utiliser la technique Monte Carlo pour résoudre les problèmes liés aux étalons de rayonnements ionisants et à la radiothérapie. Les deux programmes développés au CNRC, EGSnrc et BEAMnrc, sont utilisés de façon répandue dans le domaine de la physique médicale.

*I. Kawrakow,
D. Rogers, L.
Buckley, B. Walters,
E. Mainegra-Hing,
F. Farahvash, M. Proulx*

Nous avons utilisé le programme EGSnrc pour réexaminer les différents facteurs nécessaires pour établir les étalons de kerma dans l'air. Ce travail a montré que l'isolant dans l'étalon canadien à chambre à cavité a un effet d'environ 0,5 % sur sa réponse, et nous avons modifié l'étalon canadien de kerma dans l'air en conséquence. De plus, nous avons calculé les facteurs de correction pour parois pour différentes chambres d'ionisation à parois parallèles à l'aide du programme EGSnrc, et les résultats concordaient mieux avec les données expérimentales en comparaison avec les simulations précédentes faites à l'aide du programme EGS4.

Nous avons intégré un algorithme d'échantillonnage corrélé dans le sous-programme d'utilisateur CAVRZnrc du programme EGSnrc. Cet algorithme améliore l'efficacité du calcul des facteurs de correction de la chambre d'ionisation dans le fantôme. On emploie ce nouvel algorithme pour calculer les facteurs de correction pour différentes chambres d'ionisation et qualités de faisceaux.

L'ionisation par impact d'électrons a été mise à exécution dans le programme EGSnrc à l'aide de sections efficaces, basées sur une nouvelle théorie, qui est très compatible avec les données expérimentales. Cela permettra de simuler plus exactement les spectres des tubes à rayons X d'une tension de l'ordre de kilovolts. Nous avons aussi mis au point une nouvelle méthode pour traiter la diffusion Compton, en collaboration avec J. Williamson et C. Costescu de la Washington University Medical School, à St.-Louis (Missouri). La théorie, qui est fondée sur une modification de l'approximation d'impulsion, donne des résultats qui sont plus compatibles avec les données expérimentales de la diffusion Compton de la couche K des matières à valeur de Z élevée.

Le système générique du programme EGSnrc a été complètement modifié pour permettre d'utiliser le programme sous tous les systèmes d'exploitation majeurs (Linux/Unix/Windows/Mac OSX). Nous prévoyons que ces travaux mèneront à une augmentation de l'utilisation de programme EGSnrc, et, par conséquent, de l'impact du Groupe dans le domaine de la physique médicale.

Nous avons mis en oeuvre une nouvelle technique de réduction de la variance appelée DBS dans l'ensemble logiciel BEAM. La technique DBS augmente de

façon dramatique l'efficacité des simulations de la tête de traitement à faisceau de photons effectuées à l'aide de BEAM (jusqu'à un facteur de 8 en comparaison avec la technique de simulation la plus efficace disponible auparavant), ce qui permet de faire des études plus détaillées de la sortie des accélérateurs linéaires médicaux. La technique DBS, ayant subi une série d'améliorations additionnelles, a été mise en oeuvre dans l'ensemble VMC++, le nom étant changé en DRS. L'ensemble VMC++ avec DRS permet de faire des simulations très rapides des têtes de traitement à faisceau de photons, le temps de simulation étant alors de courte durée en comparaison avec le temps de simulation du transport de particules dans une géométrie de patient. Ce développement sera peut-être très utile pour la mise en oeuvre de calculs Monte Carlo de photons dans les systèmes de planification de traitements disponibles dans le commerce.

Nous avons complété l'incorporation de l'ensemble VMC++ dans le logiciel de planification de traitements de la firme MDS Nordion (maintenant Nucletron) pour le calcul de la dose de faisceaux d'électrons. L'Hôpital général d'Ottawa est devenu le premier site dans le monde à utiliser couramment le calcul de doses Monte Carlo pour la planification de traitements par rayonnement de faisceaux d'électrons.

Nous avons publié une nouvelle dérivation théorique de l'influence des incertitudes statistiques des calculs Monte Carlo sur l'évaluation des plans de traitement. La théorie montre que les incertitudes statistiques mènent à une erreur systématique dans une fonction de coût dont on doit tenir compte lorsqu'on emploie des distributions de doses calculées par des méthodes Monte Carlo pour optimiser les plans de traitement.

Physique expérimentale des rayonnements

*M. McEwen, C. Ross,
N. Klassen, M. Kosaki,
D. Marchington,
G. Zeng*

Ce projet englobe plusieurs sous-projets à court terme sur des problèmes d'intérêt pour la physique médicale ou la physique des rayonnements. Les projets font fréquemment appel à des étudiants aux études supérieures, des boursiers postdoctoraux ou d'autres collaborateurs de l'extérieur. On se sert fréquemment d'accélérateurs linéaires pour faire le travail, dans le but d'exploiter leurs caractéristiques uniques.

Un projet a été lancé en 2002 visant à étudier la dosimétrie de l'alanine, principalement à des fins de radiothérapie, mais aussi pour le traitement au rayonnement. Les objectifs principaux du projet étaient :

- d'atteindre la plus petite incertitude possible afin de déterminer les facteurs ayant une influence sur la mesure de la réponse de l'alanine
- de déterminer la dépendance de l'alanine sur l'énergie dans les faisceaux de photons et d'électrons de haute énergie. L'alanine est ordinairement étalonnée dans un champ de ^{60}Co ; on suppose ensuite qu'on peut utiliser le même facteur de correction dans tous les faisceaux de haute énergie, qu'ils soient composés de photons ou d'électrons.

On a mis au point un protocole de mesure permettant d'obtenir une incertitude d'environ 0,3 % pour des doses aussi petites que 10 Gy (les plus petites obtenues par d'autres laboratoires). Les mesures ont été prises dans le ^{60}Co et des faisceaux produits par l'accélérateur linéaire Elekta du CNRC (rayons X de 6 à 25 MV, électrons de 8 à 22 MeV), et la réponse en énergie de l'alanine a été déterminée par comparaison avec la dose dérivée à l'aide d'une chambre d'ionisation étalonnée (traçable au calorimètre d'eau étalon primaire). Nous avons trouvé un petit changement dans la réponse pour les faisceaux de photons et d'électrons en passant du ^{60}Co aux énergies de l'accélérateur linéaire – 1 % dans le cas des faisceaux de photons et approximativement 2,5 % dans le cas des faisceaux d'électrons. Les études Monte Carlo effectuées à l'aide du programme EGSnrc laissent supposer que cette dépendance sur l'énergie est attribuable à la dépendance sur l'énergie du pouvoir d'arrêt de l'alanine.

Étalons pour les faisceaux d'électrons de faible énergie

L'utilisation de faisceaux d'électrons de faible énergie (< 250 keV) pour le traitement par rayonnement est plus répandu depuis quelques années. Ces faisceaux sont très utiles pour le traitement en surface, comme la stérilisation des emballages ou le durcissement de l'encre. La plus grande difficulté en ce qui concerne la dosimétrie à ces faibles énergies est le parcours très faible des électrons – typiquement de moins de 100 μm dans les matières de densité de l'ordre de l'unité. Il n'existe pas à présent d'étalons de dose pour ces faisceaux d'électrons de faible intensité, et, en pratique, on étalonne les dosimètres à pellicule à une énergie de 10 MeV et on présume que l'étalonnage ne varie pas en fonction de l'énergie. L'objet de ce projet, entrepris en collaboration avec le Laboratoire national Riso (Danemark) et le National Physical Laboratory (Royaume-Uni), est de développer un calorimètre étalon primaire pour étalonner les dosimètres à pellicule à des énergies proches de 100 keV.

Nous avons développé un système basé sur un calorimètre au graphite à absorption intégrale. Le calorimètre mesure l'énergie totale du faisceau, et la dose est dérivée à l'aide de mesures de pellicules et de calculs Monte Carlo. Les premiers essais montraient que la chaleur transférée de l'air au dessus du calorimètre avait un effet considérable sur l'augmentation de la chaleur (et par conséquent la dose) mesurée. Un modèle thermique simple basé sur un programme à éléments finis exclusif a donné des résultats très compatibles (à 5 % près) avec les évaluations expérimentales de l'effet thermique. Les premiers résultats pour l'étalonnage des deux types de pellicules dosimétriques utilisées pour ce genre d'application ne révèlent aucune dépendance sur l'énergie dans la plage d'énergies de 10 MeV à 100 keV dans les limites d'incertitude de mesure (actuellement $\sim 10\text{--}15\%$). Nous prévoyons qu'en perfectionnant ce modèle, il sera possible d'obtenir un étalonnage de pellicule à une énergie de 100 keV, avec une incertitude globale de 8 % (1σ).

*M. McEwen and
collaborators at NPL
and Riso National
Laboratory*

Comités et charges

Échelle internationale

Institute of Physicists and Engineers in Medicine

Working Party on electron dosimetry
M.R. McEwen

Comite international des poids et mesures

Comite Consultatif des Rayonnements Ionisants :
Section I, Rayons X et gamma, electrons
D.W.O. Rogers

American Association of Physicists in Medicine

ADCL subcommittee
M.R. McEwen

TG-71 Electron beam dosimetry
D.W.O. Rogers

Journal Business Management Committee
D.W.O. Rogers

Research Committee
D.W.O. Rogers

Editorial Board of Microscopy Research and
Techniques
J.P. McCaffrey

IAEA (International Atomic Energy Agency)

Dosimetry Symposium Advisory Committee
M.R. McEwen

Échelle national

Commission canadienne de sûreté nucléaire

Working group on external dosimetry (personal
radiation monitoring)
P.R.B. Saull

Grappe radiologique/nucléaire de l'IRTC

C.K. Ross, représentant du CNRC
P.R.B. Saull, représentant du CNRC

Carleton University

Medical Physics Organized Research Unit
M.R. McEwen, membre exécutif

Conseil canadien des normes (CCN)

ISO TC 85/SC 2 : Radioprotection
C.K. Ross

IEC SC 62C : Appareils de radiothérapie,
de médecine nucléaire et de dosimétrie du
rayonnement
C.K. Ross

Professeurs auxiliaires

D.W.O. Rogers, Carleton University, Department
of Physics

Comités de rédaction

Medical Physics Journal
D.W.O. Rogers, corédacteur

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'IE NM à l'adresse suivante : <http://inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/>

Articles dans des publications revues

Buckley L.A., I. Kawrakow and D.W.O. Rogers.

"An EGSnrc investigation of cavity theory for ion
chambers measuring air kerma", *Med. Phys.* **30**,
1211-1218 (2003).

**Davis, S.D., C.K. Ross, P.N. Mobit,
L. Van der Zwan, W.J. Chase and K.R. Shortt.** "The
response of LiF TLDs to photon beams in the energy
range from 30 kV to ⁶⁰Co γ -rays", *Radiat. Prot.
Dosim.* **106**, 33-44 (2003).

R. Doucet, M. Olivares, F. DeBlois, E.B. Podgorsak,
Kawrakow, I. and J. Seuntjens. "Comparison
of measured and Monte Carlo calculated dose
distributions in inhomogeneous phantoms in clinical
electron beams", *Phys. Med. Biol.* **48**, 2339-2354
(2003).

F. Sánchez-Doblado, P. Andreo, R. Capote, A. Leal,
M. Perucha, R. Arráns, L. Núñez, **Mainegra-Hing,
E., J.I. Lagares and E. Carrasco.** "Ionization chamber
dosimetry of small photon fields: a Monte carlo study
on stopping power ratios for radiosurgery and IMRT
beams", *Phys. Med. Biol.* **48**, 2081-2099 (2003).

Mainegra-Hing, E., I. Kawrakow and D.W.O. Rogers. "Calculations for plane-parallel ion chambers in 60Co beams using the EGSnc Monte Carlo code", *Med. Phys.* **30**, 179-189 (2003).

McEwen, M.R. and A.R. DuSautoy. "Characterization of the water-equivalent material WTe for use in electron beam dosimetry", *Phys. Med. Biol.* **48**, 1885-1893 (2003).

IPEM Working Party: D.I. Thwaites, A.R. DuSautoy, T. Jordan, **McEwen, M.R.**, A. Nisbet, A.E. Nahum and W.G. Pitchford. "The IPEM code of practice for electron dosimetry for radiotherapy beams of initial energy from 4 to 25 MeV based on an absorbed dose to water calibration", *Phys. Med. Biol.* **48**, 2929-2970 (2003).

P.H.G. Sharpe, **McEwen, M.R.**, J.P. Septho and D.R. Shipley. "Use of a range scaling method to determine alanine/water stopping power ratios", *Rad. Phys. Chem.* **68**, 1017-1022 (2003).

N.I. Kalach and **Rogers, D.W.O.** "When is an accelerator photon beam clinic-like for reference dosimetry purposes", *Med. Phys.* **30**, 1546-1555 (2003).

Rogers, D.W.O. and **I. Kawrakow.** "Monte Carlo calculated correction factors for primary standards of air-kerma", *Med. Phys.* **30**, 521-543 (2003).

Saull, P.R.B. and the ZEUS High Energy Physics Collaboration. "Measurement of Deeply Virtual Compton Scattering at HERA", *Physics Letters B*, **573**, 46-62 (2003).

Articles dans des comptes rendus de conférence

S.R. Sheng, S.P. McAlister, **McCaffrey, J.P.** and S. Kovacic. "Ionizing Radiation Effects in SiGe Heterojunction Bipolar Transistors", Eleventh Canadian Semiconductor Technology Conference, Ottawa (Aug. 2003).

S.R. Sheng, S.P. McAlister, **McCaffrey, J.P.** and S. Kovacic. "Degradation and recovery of SiGe HBTs following radiation and hot-carrier stressing", International Semiconductor Device Research Symposium, Washington, DC. (Dec. 2003).

McEwen, M.R. and S. Duane. "A portable graphite calorimeter for measuring absorbed dose in the radiotherapy clinic", IAEA-CN-96/9P, Proceedings of an International Symposium on Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry, IAEA, Vienna 2002, 115-121 (2003).

K.N. Govinda Rajan, S. Vandanaa, M. Vijayam, J.B. Shigwan, **McEwen, M.R.**, and S. Duane. "Testing of N_K and $N_{D,w}$ based IAEA Codes of Practice for clinical photon beams", IAEA-CN-96/57P,

Proceedings of an International Symposium on Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry, IAEA, Vienna 2002, 467-474 (2003).

McEwen, M.R., S. Duane and I.A. Stoker. "A comparison of graphite standard calorimeters in megavoltage photon and electron beams, IAEA-CN-96/4", in Proceedings of an International Symposium on Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry, IAEA, Vienna 2002, 67-73 (2003).

McEwen, M.R., S. Duane and R.A.S. Thomas. "Absorbed dose calibration factors for parallel-plate chambers in high energy photon beams, IAEA-CN-96/28", in Proceedings of an International Symposium on Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry, IAEA, Vienna 2002, IAEA, 35-341 (2003).

R. Thomas, S. Duane, **McEwen, M.R.** and K.E. Rosser. "The role of the National Physical Laboratory in monitoring and improving dosimetry in UK radiotherapy, IAEA-CN-96/80P", in Proceedings of an International Symposium on Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry, IAEA, Vienna 2002, 201-208 (2003).

Autres publications

J. Helt-Hansen, M. Millar, **McEwen, M.R.**, P.H.G. Sharpe, and S.C. Duane. "Development of a Primary Standard Calorimeter for Low Energy Electron Beams", Proceedings of a Workshop on Recent Advances in Absorbed Dose Standards, ARPANSA, Melbourne (2003), www.arpansa.gov.au/absdos/proc.htm.

McEwen, M.R. and **C. Ross.** "Performance of an "Off-The-Shelf" Clinical Linac for Radiation Standards Dosimetry", Proceedings of a Workshop on Recent Advances in Absorbed Dose Standards, ARPANSA, Melbourne (2003), www.arpansa.gov.au/absdos/proc.htm.

Présentations orales

Rogers, D.W.O. "2003 Monte Carlo Applications to Radiation Standards", World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Sydney (2003).

Autres présentations orales

Kawrakow, I. "Fast Treatment Head Simulations Using Directional Bremsstrahlung Splitting in VMC++", World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Sydney (2003).

Klassen, N.V. "The role of radiation chemistry in establishing water calorimetry as the world's standard for absorbed-dose-to-water", 23rd Miller Conference on Radiation Chemistry, Bialowieza, Poland (2003).

McEwen, M.R. "Development of a Primary Standard Calorimeter for Low Energy Electron Beams", Workshop on Recent Advances in Absorbed Dose Standards, Melbourne (2003).

McEwen, M.R. "Performance of an "Off-The-Shelf" Clinical Linac for Radiation Standards Dosimetry", Workshop on Recent Advances in Absorbed Dose Standards, Melbourne (2003).

McEwen, M.R. "Pre-Irradiation of Ionization Chambers Used In X-Ray And Gamma-ray Calibrations", World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Sydney (2003).

Rogers, D.W.O. "Changes in Co-60 Air-Kerma Standards: The Rationale for Change and the Impact On Clinical Practice", 45th Annual AAPM meeting, San Diego, CA (2003).

Zeng, G. "Experimental and Monte Carlo Investigations of the Energy Dependence of Alanine/EPR Dosimetry System for Clinical Electron and Photon Beams", 45th Annual AAPM meeting, San Diego, CA (2003).

Rapports et documents techniques

Davis, S.D. "High sensitivity lithium fluoride as a detector for environmental dosimetry", (MSc. thesis, McGill University), PIRS-0832 (2003).

Rogers, D.W.O. and J. McCaffrey. "The 2003 revision of the NRC standard for air-kerma in a ⁶⁰Co beam", NRC Report PIRS-876 (2003).

Personnel

Dave Rogers, Chef de groupe (avr-déc 2003)

Chander Grover, Chef de groupe intérimaire

Téléphone : (613) 993-2098

Télécopieur : (613) 954-3338

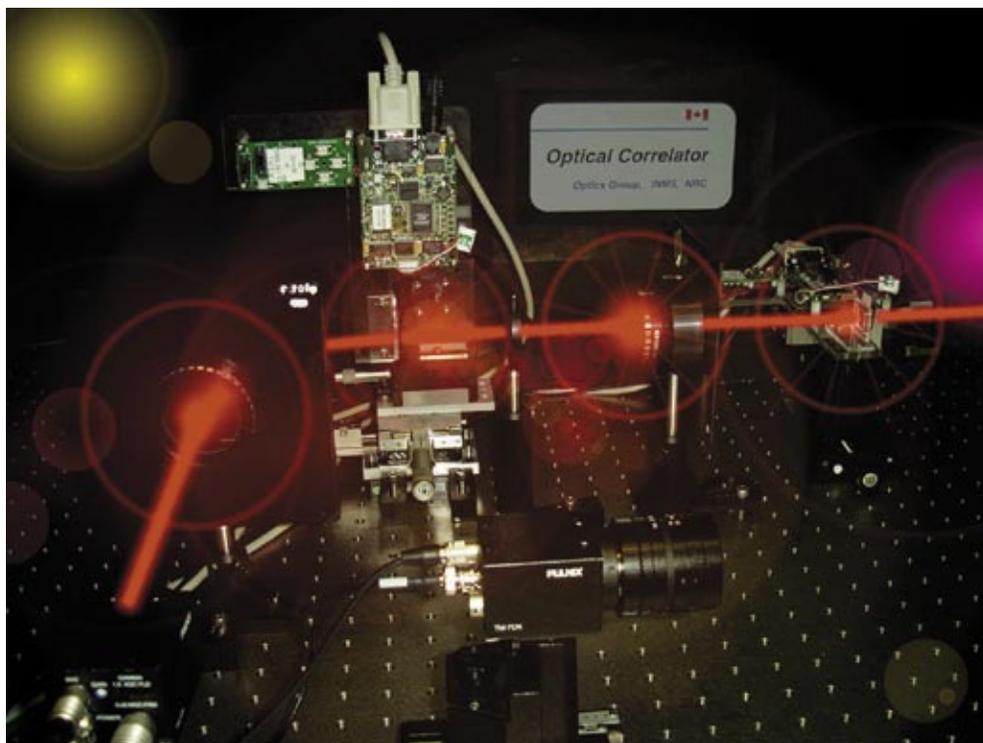
Courriel : chander.grover@nrc-cnrc.gc.ca

Brad Downton	993-2197
Feridoun Farahvash	993-2715
Leo Heistek	993-2715
Iwan Kawrakow	993-2197
Norman Klassen	993-2197
Matt Kosaki	993-2197
Ernesto Mainegra-Hing	993-2715
Dave Marchington	993-2197
John McCaffrey	993-2715
Malcolm McEwen	993-2197
Carl Ross	993-9352

Patrick Saull	993-2715
Hong Shen	993-2197
Stewart Walker	993-2715
Blake Walters	993-2715
Gu Zeng	

Travailleurs invités

Lesley Buckley (étudiante)	993-2715
Dallas Santry	993-2197
Gultkin Yegin	993-2197



Le corrélateur optique hybride développé par le Groupe d'optique est un dispositif de traitement de l'information hybride composé de modulateurs de lumière spatiaux (SLM), de caméras CCD, d'un corrélateur optique 4f modifié, d'une source laser et d'un ordinateur. Il peut effectuer toutes les opérations linéaires et quelques opérations non linéaires, incluant la convolution et la corrélation. Le traitement est instantané, c'est-à-dire, à la vitesse de la lumière. Les SLM proramables par ordinateur permettent de mettre à jour l'entrée et le filtre en temps réel. Il permet également de faire des opérations d'intensité à multiples niveaux de gris et de corrélation de phase.

Le Groupe d'optique fait des travaux de R-D dans des domaines précis des sciences et des technologies optiques, établissant des compétences qui augmentent la compétitivité de l'industrie canadienne. Les activités de recherche sont axées sur l'utilisation des technologies de fabrication, les étalons de mesure et les technologies d'information et de télécommunications.

Le Groupe offre des services dans les domaines de la conception optique spécialisée, de la fabrication et de l'essai d'éléments et systèmes optiques, de l'étalonnage de caméras de levés aériens et de sensitomètres, et du soufflage de verre scientifique.

Conception de systèmes optiques – Systèmes perfectionnés de formation d’images

C. P. Grover, Y. Boiko,
X. Cai, S. Chang,
C. Fluerau, E. Murdock

Le Groupe continue à acquérir l’expertise en conception de systèmes optiques nécessaire pour offrir du soutien à l’industrie, dans le but de donner un avantage concurrentiel à nos clients. Nos travaux sont très influencés par les demandes de l’extérieur. Nous continuons à modifier nos projets majeurs en prévision des exigences futures. Ces travaux nous permettent non seulement de rester au courant des dernières technologies, mais aussi de développer de nouvelles techniques. Le Groupe fait aussi de la conception de systèmes optiques pour d’autres instituts du CNRC et des clients du secteur privé.

Systèmes de formation d’images à rendement amélioré

Nous avons conçu un système de formation d’images très résistant aux erreurs de foyer, et examiné la possibilité d’utiliser ce système pour la poursuite d’objets. La technique de codage de fronts d’ondes permet d’améliorer le rendement des systèmes de formation d’images. On peut contrôler intégralement la distribution de l’énergie près du plan focal en employant une plaque de déphasage spécialisée dans le plan pupillaire du système de formation d’images, prolongeant ainsi sa profondeur de foyer à une valeur désignée.

Nous avons étudié différents genres de fonctions de pupille de déphasage pour augmenter la profondeur de foyer et découvert que l’on peut appliquer une plaque asphérique quartique simple ayant des paramètres optimales de façon efficace et souple à un système de formation d’images existant utilisé pour la poursuite de petits objets. La profondeur de foyer d’un système muni de la plaque de déphasage peut être deux fois supérieure à celle des systèmes de formation d’images conventionnels, tout en conservant la même résolution. Nous avons mis au point des techniques pour fabriquer et analyser les plaques de déphasage asphériques utilisées à cette fin.

Conception de lentilles neutres à foyer réglable pour analyser les surfaces optiques

Dans ce projet, on étudie la conception de nouvelles lentilles neutres à foyer réglable servant à analyser les surfaces sphériques et asphériques. On recherchait un système d’analyse efficace, polyvalent et compact pour analyser différentes surfaces optiques. Actuellement, l’analyse des surfaces asphériques requiert une lentille neutre conçue spécifiquement pour la surface à analyser. Cette situation est très peu pratique pour l’analyse de surfaces en lots de surfaces ayant de petites différences dans leurs paramètres. La conception d’une lentille neutre à foyer réglable pouvant analyser les lentilles en lots permettra d’améliorer et de simplifier le système, tout en permettant de mieux optimiser la conception des lentilles. Les lentilles neutres à foyer réglable sont également utiles pour créer des systèmes compacts pour l’analyse de grandes surfaces ayant un grand rayon de courbure. Nous avons étudié différentes lentilles à foyer réglable à cette fin, et configuré un système d’analyse compact pour diverses grandes surfaces. Les résultats d’une simulation par ordinateur indiquent un rendement satisfaisant pour ce système. Le système est présentement à l’étape de fabrication, et fera bientôt l’objet de vérifications plus poussées.

Métrologie photonique – Mesures des fibres optiques et éléments à fibres optiques

C. P. Grover, Y. Boiko,
X. Cai, S. Chang,
C. Fluerau, E. Murdock

Les réseaux de télécommunications à fibres optiques sont réglementés par des normes de spécification d'organismes de normalisation internationales, comme l'International Telecommunications Union (ITU), l'International Electrotechnical Commission (IEC), et les réseaux régionaux de métrologie. La caractérisation des fibres et guides d'ondes prend de plus en plus d'importance pour le multiplexage en longueur d'onde (WDM) et le multiplexage en longueur d'onde à forte densité (DWDM) par les systèmes de télécommunications à fibres optiques, en raison de leurs exigences en matière de vitesse et de capacité de canaux.

Ce projet est axé sur les étalons de mesure pour la caractérisation de la dispersion en mode de polarisation dans les fibres optiques et les éléments à fibres optiques. On a mis au point un montage optique commandé par ordinateur muni d'une lame quart d'onde tournante pour mesurer la retardance avec une grande précision, et pour déterminer les composantes du vecteur de Stokes. Nous avons établi la technique d'évaluation du paramètre de Stokes comme méthode de référence pour les mesures de la dispersion en mode de polarisation. Nous nous concentrons actuellement à mettre en oeuvre les méthodes d'état de polarisation et d'analyseur fixe pour remplacer les mesures de la dispersion en mode de polarisation. Nous faisons des mesures de dispersion en mode de polarisation et d'affaiblissement de polarisation en longueur d'onde. Nous faisons aussi l'analyse d'autres paramètres sur demande.

Interférométrie à amplification en phase pour la nanométrie

L'amplification en différence de phase est une technique utile pour la nanométrie. Elle est produite en créant une interférence entre les n° et $-n^{\circ}$ ordres diffusés produits par des interférogrammes de l'objet cible enregistrés non linéairement. Nous avons mis au point un interféromètre temps quasi réel ultrasensible basé sur le modulateur de lumière spatial à cristaux liquides. Nous avons utilisé un ordinateur pour produire une amplification en différence de phase pour les franges d'interférence obtenues par interférométrie de la lumière blanche. Ces techniques permettront ultimement d'améliorer les méthodes d'assurance de la qualité pour l'industrie de la fabrication optique.

En employant un diviseur de faisceau en sandwich, nous avons mis au point un interféromètre différentiel Michelson réglable servant aux mesures de l'aberration avec de grandes ouvertures. Cet interféromètre a aussi été utilisé avec la méthode de contraste différentiel de l'interférence (DIC), qui peut être utile pour la nanométrie de la formation d'images biologiques.

Technique de la différenciation de phase optique et ses usages

Nous avons mis au point la technique de différenciation de phase optique pour la visualisation indirecte du déphasage de la lumière passant à travers un objet, selon laquelle la dérivée du déphasage est convertie en intensité optique. On

peut calculer le déphasage en intégrant l'intensité mesurée à l'aide d'une caméra CCD. Nous étudions plusieurs nouvelles méthodes pour inclure les objets transparents absorbants. Pour visualiser les objets de phase à l'aide d'un filtre de différenciation, la variation de la phase est convertie à une variation de l'intensité par différenciation, et l'image est ensuite produite par intégration. Cette méthode a été utilisée pour faire des essais optiques, faire le diagnostic des matériaux, et pour analyser des cellules vivantes par microscope.

Matériaux et dispositifs électro-optiques et non linéaires

C. P. Grover, Y. Boiko,
X. Cai, S. Chang, C.
Flueraru et E. Murdock

Dispositifs électro-optiques et non linéaires basés sur des matières organiques

Ce projet vise les procédés techniques et les étalons de mesure nécessaires pour concevoir et fabriquer des dispositifs organiques entièrement optiques et électro-optiques. Selon les analyses de marchés de l'optique intégrée, il y a une forte demande pour le développement de polymères optiques comme matières premières des circuits intégrés optiques. Les avantages des polymères optiques ont été présentés et discutés dans un grand nombre d'études. Dans nos recherches, nous avons utilisé deux catégories de polymères optiques : les systèmes « guest-host » et les systèmes à chaînes latérales. Nous avons mis au point des méthodes pour mesurer les coefficients électro-optiques et la susceptibilité en deuxième ordre de couches minces et de guides d'ondes polymériques. On a signalé une méthode pour mesurer la susceptibilité en deuxième ordre par rapport au quartz coupé en Z. On peut utiliser ce montage expérimental pour la cartographie planaire des propriétés optiques non linéaires de couches minces.

Nous avons mis au point de nouvelles structures basées sur les guides d'ondes multicouches, dans le but d'augmenter l'efficacité. On a signalé une méthode technologique simple pour améliorer l'interaction optique non linéaire dans les guides d'ondes inversés en augmentant au maximum l'intégrale de chevauchement. Nous continuons à évaluer les nouveaux matériaux et différents procédés technologiques.

Matériaux organiques-inorganiques pour le stockage holographique et l'application de guides d'ondes photoniques

L'utilisation des matériaux organiques-inorganiques est établie en photonique parce qu'ils offrent les avantages des éléments organiques et inorganiques. Cette combinaison permet de produire des matériaux nouveaux et plus performants. Dans le système organique-inorganique, une partie (ordinairement la matière hôte) accommode son homologue (la matière incluse) possédant la fonctionnalité souhaitée. Les exemples de fonctionnalités comprennent la réponse optique non linéaire et les propriétés d'enregistrement holographique. Les propriétés fondamentales avantageuses des matrices organiques sont la capacité de traitement à la température de la pièce, l'indice de réfraction réglable, et la qualité optique nécessaire pour former des guides d'ondes optiques. D'autre part, les principaux avantages des matrices inorganiques sont la stabilité thermique, la conductivité

thermique, le faible taux de rétrécissement, et le faible taux d'expansion thermique des matériaux résultants. Le projet actuel a pour but de développer de nouveaux matériaux organiques-inorganiques pour la photonique, en particulier l'enregistrement holographique dans les régimes à un et à deux photons, ainsi que la fabrication de dispositifs à guides d'ondes optiques. Nous avons démontré la fabrication de pellicules électro-optiques faites à partir de mésogène réactif, et la vérification des propriétés de production de deuxième harmonique.

Traitement de l'information et vision par ordinateur pour l'identification des formes

Le groupe travaille au développement de la tomographie à cohérence optique (OCT) depuis trois ans. Il s'agit d'une technologie de formation d'images relativement nouvelle qui fournit de l'information morphologique et structurale sur les échantillons tridimensionnels. La nature unique de l'OCT est le résultat de sa résolution d'images non surpassée de 10 à 30 μm , comparée aux résolutions cliniques de l'ordre de 1 mm pour l'IRM et de 200 μm pour les ultrasons. Nous avons mis au point un système d'OCT compact à champ intégral en y incorporant un interféromètre Michelson modifié et une caméra CCD. Nous employons des méthodes simples et pratiques pour éliminer les franges d'interférence dans les images en section transversale extraites, et pour augmenter la plage dynamique de formation d'images. On a utilisé des algorithmes conçus spécialement pour éliminer l'effet de la modulation intercouche. On a utilisé ce système pour extraire du texte d'une puce d'information à couches multiples, et des images de l'épithélium d'un oignon.

Les technologies d'extraction d'information sûres sont d'une importance cruciale pour l'identification de l'état, spécialement dans les champs de bataille, où la discrimination entre les amis et les ennemis est cruciale. Les matières et dispositifs utilisés dans ces technologies doivent être aussi simples que possible, mais doivent aussi être difficiles à trouver et à contrefaire. De plus, le système d'extraction est beaucoup plus simple si l'information de codage ne dépend aucunement de la position (c.-à-d. ne dépend pas de la séquence, ni des pixels). Pour surmonter ces défis, nous avons mis au point des méthodes d'identification à encres info basées sur des points quantiques, qui contiennent des substances fluorescentes dont le spectre d'émission est bien défini. L'information est codée à l'aide de nanocristaux luminescents à semi-conducteurs (ou points quantiques), mélangés avec une solution transparente appelée encre info. Lorsqu'un l'encre info est illuminé par un faisceau de lumière d'excitation, ses caractéristiques d'émission spectrales (c.-à-d. sa longueur d'onde et son intensité) révèlent l'information codée. L'encre info peut être utilisée sur toute surface, p. ex., les couvertures de documents, les dessus de casques protecteurs, ou même les ongles. Le dispositif d'extraction est composé d'une source de lumière d'excitation, d'un mini spectromètre et d'une unité de traitement de données. Cependant, l'intensité lumineuse que l'on retrouve dans les champs de bataille et dans les autres endroits éclairés par le soleil peut accabler la plupart des signaux fluorescents réfléchis. Pour surmonter cette difficulté, les points quantiques sont conçus de manière à produire de la fluorescence aux longueurs d'ondes correspondant aux lignes d'absorption du spectre solaire, appelés communément les lignes Fraunhofer.

C. P. Grover, Y. Boiko, X. Cai, S. Chang, C. Fluoraru, E. Murdock

Le développement de nouvelles technologies biométriques est devenu un élément prioritaire à la suite des attaques terroristes du 11 septembre. De toutes les différentes technologies d'identification, la reconnaissance de la figure est le plus acceptable dans la société; la reconnaissance de la figure en 3-D remplacera éventuellement les technologies 2-D courantes. Afin de développer de nouvelles technologies de reconnaissance de la figure en 3-D, nous avons mis au point la transformée de Fourier de phase (PFT) de l'image d'une figure en 3-D, qui peut établir les grandes lignes d'une figure en 3-D sous forme de signature nébuleuse. Après la PFT, la figure 3-D devient invariable en ce qui a trait au déphasage et à la rotation (à l'intérieur comme à l'extérieur du plan) avec une incertitude de l'ordre de ± 10 degrés. De plus, jusqu'à un certain point, l'image ne dépend pas de l'échelle (échelle réduite à 70 %).

Services d'étalonnage

C. P. Grover, X. Cai,
E. Murdock

Le Groupe d'optique fait l'étalonnage d'instruments optiques, comme les caméras et sensitomètres pour levés aériens, utilisés dans l'industrie privée, le secteur gouvernemental et le milieu universitaire.

Étalonnage des caméras de levés aériens

L'étalonnage des caméras de levés aériens est un service unique fourni par le Groupe d'optique à l'industrie canadienne de la cartographie. Nous étalonnons les caméras pour levés aériens à l'aide d'une technique photographique qui assure la correspondance à l'usage réel. Nous mesurons leur distance focale, la distorsion, la position des repères de clichés et les erreurs d'alignement, avec une incertitude de quelques micromètres. Nous déterminons la qualité de l'image optique en mesurant la fonction de transfert optique (OTF). Vingt caméras ont été étalonnées au cours de l'année.

Étalonnage et vérification des sensitomètres

Le Groupe d'optique fournit un service d'étalonnage et de vérification de sensitomètres, et maintient les étalons nécessaires. Les services d'étalonnage sont disponibles pour les coins à gradins de densité et d'autres enregistrements photographiques semblables. Les industries et organismes gouvernementaux faisant des travaux de photographie aérienne utilisent des sensitomètres conçus selon le modèle du CNRC. Le Groupe donne aussi des conseils sur le rendement des sensitomètres disponibles dans le commerce et fournit un service de mesure de la densité des pellicules, incluant les études microdensitométriques d'échantillons de dimensions modérées, jusqu'à approximativement 10 cm. Cinq sensitomètres ont été étalonnés au cours de l'année.

Fabrication et essais d'éléments optiques de précision et de couches minces

Le Groupe d'optique fournit un service de fabrication optique unique, comprenant les revêtements en couche mince dans les prototypes d'éléments et de systèmes optiques, qui ne sont pas facilement disponibles dans le secteur commercial privé. L'expertise du groupe dans le domaine des couches minces comprend la fabrication de revêtements optiques et non optiques en couches simples et en couches multiples, à l'aide de métaux et de matières diélectriques.

Nous avons signé une entente de collaboration avec la firme Lightmachinery qui nous a permis d'augmenter nos revenus pour la période d'examen. Nous avons complété d'autres projets notables l'an dernier pour les clients suivants : Linnenbruegger, Luxonics, Université de Waterloo, Lockheed Martin, Exfo, Claire Lasers Corp., Coherent-AMT et d'autres instituts du CNRC (IÉNM, ISSM, ISM, ITPCE, ITI, IRA).

L'expérience du groupe avec un grand éventail d'éléments optiques a mené au développement de plusieurs techniques de fabrication exclusives spéciales, y compris l'utilisation de plateaux de mise en phase asphériques dans les systèmes optiques à des fins de poursuite d'objets. Ces techniques sont ensuite parfois transférées au secteur industriel dans le cadre du service de consultation en fabrication optique du groupe. Les services de fabrication, d'essais et de couches minces fournis aux clients internes du CNRC coûteraient approximativement 600 000 \$ s'ils étaient achetés à l'extérieur.

En raison du grand nombre de projets en cours, nous n'avons indiqué que les suivants :

- revêtements antireflets à large bande sur le Ge optimisés pour la plage 8 à 12 mm
- fenêtres de remplacement répondant aux spécifications d'origine du fabricant pour les installations d'essai IRA-Pratt & Whitney Canada
- procédé de dépôt de couches minces durables antidiffusion pour les régions spectrales UV poussées sur des substrats de MGF2
- plaques étalons de quartz et des fenêtres au Ge
- technologie utilisée pour produire et polir des surfaces asphériques à une précision de l'ordre du nanomètre (IÉNM)
- filtre de remplacement pour le luisancemètre de l'IÉNM; et étalons du kilogramme au silicium (IÉNM).

*C. P. Grover,
S. Boisclair, W. Boland,
M. Burill, G. Boyd*

Services de soufflage du verre scientifique

Le groupe d'optique offre un service complet de soufflage de verre scientifique sur mesure aux instituts du CNRC et aux clients de l'extérieur, sur demande. Ce service comprend la consultation concernant la conception, la fabrication sur commande, les modifications, et la réparation d'appareils scientifiques, sur les lieux ou dans notre laboratoire. Nous offrons également un service de référence et de renvoi pour l'acquisition de matériel, de fournitures et de formation spécialisé en technologie du soufflage de verre sur commande.

*P. L'Abbe,
M. Vandenhoff*

Les principaux clients des services offerts par le laboratoire de soufflage du verre étaient l'IENM, l'Institut de technologie des procédés chimiques et de l'environnement (ITPCE) et l'Institut Steacie des sciences moléculaires (ISSM). D'autres instituts du CNRC, c'est--dire l'ISB, l'IRA, l'ARC, l'ITI, l'IRC et SAGI ont aussi fait appel  nos services. Nos clients externes pour les services de soufflage du verre étaient l'Université Laurentienne, Ressources naturelles Canada, et Catherine Richards (artiste en résidence). Nous avons fourni sans frais des services d'une valeur de 150 000 \$ aux instituts.

Les projets notables suivants ont été complétés pendant cette période d'examen : un appareil servant  analyser les cristaux de platine uniques (ITPCE), une pile électrochimique (IENM), et le capsulage d'un artefact cérébral (Catherine Richards).

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications,  partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'IENM  l'adresse suivante : <http://inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/>.

Articles dans des publications revues

Chang, S., M. Rioux and C.P. Grover. "Range face recognition based on the Phase Fourier Transform", *Optics Communications*, **222**, 143-153 (2003).

Flierar, C. and C.P. Grover. "Overlap Integral Analysis for Second Harmonic Generation within Inverted Waveguide using Mode Dispersion Phase Match", *IEEE Photonics Technology Letters*, **15**, 697-699 (2003).

Flierar, C. and C.P. Grover. "Relative measurements of second order susceptibility with reflective second harmonic generation method", *Applied Optics - Lasers, Photonics and Environmental Optics*, **42.33**, 6666-6671 (2003).

Furuhashi, H., K. Matsuda and C.P. Grover. "Visualization of phase objects by use of a differentiation filter", *Applied Optics*, **42.2**, 218-226 (2003).

Liu, X., X. Cai, S. Chang and C.P. Grover. "Optical system having a large focal depth for distant object tracking", *Optics Express* **11.24**, 3242-3247 (2003).

Articles dans des comptes rendus de conférence

Atieh, A., C. Flierar and C.P. Grover. "Extremely flat ultra-wide band supercontinuum for WDM/TDM applications", *Proceedings of SPIE*, **5260**, *Applications of Photonic Technology 6*, Ed. Roger A. Lessard, George A. Lampropoulos, 55- 61 (2003).

Chang, S. and C. P. Grover. "Hybrid optical correlator used as an intelligent instrument". *Proceedings of the 6th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instrument (ISMTII 2003)*. Paper No 217(2003).

Chang, S. and C. P. Grover. "Invariant features: extraction, visualization and applications", *SPIE Proc. on the 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, **4**, 324-329 (2003).

Chang, S., M. Zhou and C. P. Grover. "Invisible information coding technology for security ID applications", *Proceedings of Symposium on the Role of Academy in the War on Terrorism*, 1-2 (2003).

Liu, X., S. Chang, X. Cai and C. P. Grover, "Full-field optical coherence tomography using a spatial filter mask", *Proceedings of SPIE Annual Meeting 2003*, 5174-25 (2003).

Présentations orales invitées

Flierar, C. "Cascaded Second-Order Nonlinearity in Organic Waveguide", Brockhouse Institute for Material Research, McMaster University, (September 2003).

Affiches

Flierar, C., C.P. Grover and S. Schrader. "Analysis of Cascaded Second-Order Nonlinearities in Inverted and Periodically Poled Organic Waveguides", *Eleventh Canadian Semiconductor Technology Conference*, Ottawa (August 2003).

Liu, J., F. Zhang, C. Flueraru, X. Liu, S. Chang and C.P. Grover. "Simultaneously Writing of Gratings and Waveguides in Fused Silica by Femtosecond Lasers", Eleventh Canadian Semiconductor Technology Conference, Ottawa (August 2003).

Liu, J., F. Zhang, C. Flueraru, X. Liu, S. Chang and C.P. Grover. "Waveguide Shaping and Writing in Fused Silica using Femtosecond Laser Technology", Eleventh Canadian Semiconductor Technology Conference, Ottawa (August 2003).

Rapports et documents techniques

Chang, S. and S. Rao, "Software Design of Spectral Data Acquisition Using USB2000 Fiber Optic Spectrometer", (October 2003).

Rao, S. and S. Chang. "Spectral Data Acquisition Using USB2000 Fiber Optic Spectrometer" (July 2003).

Brevets

S. Chang, X. Liu et C. P. Grover. "Novel technology for full-field optical coherence tomography and its application to multiple layers information decoding." Brevet provisoire (É.-U.) 24 juin 2003.

S. Chang, M. Zhou et C. P. Grover. "Spectral coding by fluorescent semiconductor nanocrystals for document identification and security applications." Brevet provisoire (É.-U.) 24 juin 2003.

X. Liu, X. Cai et C. P. Grover. "Optical tracking system." Brevet provisoire (É.-U.) 31 octobre 2003.

Personnel

C.P. Grover, Chef de groupe

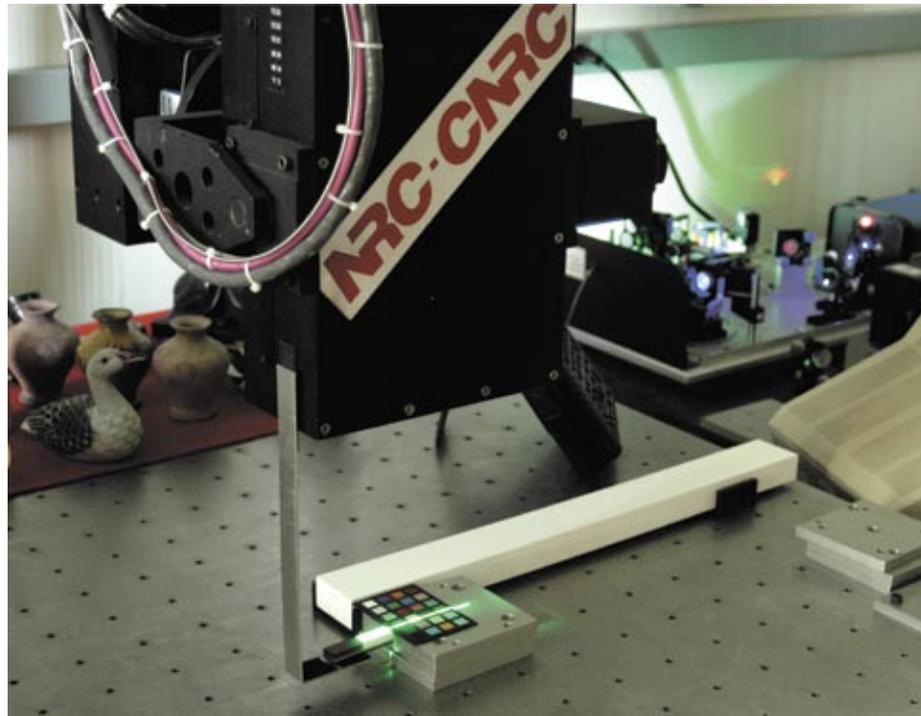
Téléphone : (613) 993-2098
Télécopieur : (613) 954-3338
Courriel : chander.grover@nrc-cnrc.gc.ca

Yuri Boiko	
Shane Boisclair	993-2850
Wayne Boland	993-2850
Gary Boyd	993-2850
Malcolm Burill	993-2850
Xianyang Cai	993-7331
Shoude Chang	990-9716
Costel Flueraru	993-3896
Peter L'Abbé	993-2603
Erroll Murdock	993-9667
Mike Vandenhoff	990-0956

Travailleurs invités

Johann Besse	
Fred Fenn	993-2850
John Hunter	993-2850 (Installation de partenariat industriel du CNRC)
Sofiane Latoui	
Pierre Legendre	
Xinping Liu (CRSNG Bourse postdoctorale)	
Kiyofumi Matsuda	
Ian Miller	993-2850 (Installation de partenariat industriel du CNRC)
M. Simons-Papurkov (étudiant)	
Chris Wimperis	993-2850
Jeff Wimperis	993-2850

La caméra à balayage 3-D du CNRC avait été mise au point pour numériser la forme et la couleur d'objets en trois dimensions, comme les peintures, les sculptures et les objets archéologiques, qui peuvent ensuite être reproduites de façon très réaliste par ordinateur. Le groupe Photométrie et radiométrie, en association avec l'Institut de la technologie de l'information du CNRC, a amélioré la performance de la caméra relativement aux couleurs, la transformant en un système multispectre avec un plus grand nombre de longueurs d'onde laser et des méthodes améliorées pour calculer les couleurs.



Le groupe de Photométrie et radiométrie fournit des étalons de base qui sont reconnus internationalement pour les mesures de rayonnement optique. Ces étalons aident à répondre aux besoins en métrologie de l'industrie canadienne, et aident à diminuer les obstacles techniques au commerce international. Le groupe maintient et améliore des étalons servant à mesurer la lumière, le rayonnement ultraviolet et le rayonnement infrarouge dans la plage de longueurs d'onde de 200 nm à 50 000 nm, et effectue des travaux de R-D ciblés dans des domaines technologiques courants ou en voie de développement au Canada. Les étalons de photométrie et de radiométrie sont diffusés au moyen d'un service d'étalonnage complet, en répondant rapidement aux demandes de renseignements techniques et aux demandes de service, et par des arrangements de R-D de collaboration.

Le programme de recherche du groupe comprend les étalons photométriques et radiométriques d'intensité lumineuse (la candela), de flux lumineux, d'éclairement énergétique spectral, de luminance énergétique spectrale, de sensibilité spectrale, du facteur de transmission et du facteur de réflexion spectrale (régulière et diffuse), de brillant spéculaire et de colorimétrie industrielle.

Nos recherches en collaboration avec nos collègues et clients, notre participation à des organisations de normalisation internationales, et les comparaisons de nos étalons nationaux avec ceux d'autres instituts nationaux de métrologie (INM) font que nous sommes reconnus internationalement.

Radiométrie absolue*L.P. Boivin, R. Gerson*

Le CNRC a fait l'acquisition d'un radiomètre cryogénique en 1994 et celui-ci est maintenant notre étalon radiométrique primaire. Les principaux objectifs de ce projet sont de : développer et maintenir un appareillage utilisant un radiomètre cryogénique et les radiomètres de transfert connexes pour les mesures de sensibilité spectrale primaire; réaliser des échelles de sensibilité spectrale basées sur un radiomètre cryogénique, et étalonner les étalons de travail nécessaires pour diffuser ces échelles; participer à des comparaisons internationales d'échelles de sensibilité spectrale; et participer à la réalisation d'une échelle d'intensité lumineuse et d'une échelle d'éclairement énergétique spectral qui sont traçables au radiomètre cryogénique.

Nous avons utilisé le radiomètre cryogénique et son appareillage entièrement automatisé pour réaliser des échelles de sensibilité spectrale dans les parties UV (200 nm – 400 nm), VIS-IR (400 nm–1000 nm) et infrarouge proche (1000 nm – 1600 nm) du spectre. Pour ce faire, on a mis au point, caractérisé et étalonné trois types de radiomètres de transfert pour les différentes plages spectrales : des radiomètres à détecteur unique incorporant des diodes au PtSi ou au Si; des radiomètres de type piège incorporant des diodes au Si; et des radiomètres à sphère incorporant des détecteurs InGaAs. Le CNRC participe à des comparaisons internationales du Comité consultatif sur la photométrie et la radiométrie (CCPR), où l'on se sert d'étalons de transfert basés sur le radiomètre cryogénique pour étalonner des artefacts de comparaison. En 1998-1999, le CNRC avait participé à la comparaison internationale de radiomètres cryogéniques (CCPR-S3). Les résultats du CNRC concordent avec la moyenne mondiale à 0,04 % près, et avec les résultats du NIST à environ 0,01 % près. Le CNRC participe actuellement à la comparaison clé K2 du CCPR sur les mesures de la sensibilité spectrale.

Trois radiomètres de transfert incorporant des détecteurs au PtSi ont été assemblés et leur uniformité spatiale a été caractérisée. Nous avons mesuré la sensibilité spectrale relative de ces radiomètres dans la plage 200 nm – 300 nm, à l'aide de monochromateurs et de thermopiles à réponse spectrale fixe utilisées comme détecteurs de référence. On a déterminé la sensibilité absolue des radiomètres au PtSi dans la plage 250 nm – 400 nm par étalonnage direct avec le radiomètre cryogénique. Les étalonnages relatif et absolu ont été joints à 250 nm afin d'obtenir un étalonnage absolu de 200 nm à 400 nm. Cela constitue une échelle de sensibilité dans l'UV pour la plage 200 nm – 400 nm. Ces étalons de transfert ont été utilisés pour étalonner des radiomètres étalons de travail au PtSi, qui seront utilisés pour faire des étalonnages de routine dans la plage 200 nm – 400 nm.

Services de caractérisation/étalonnage de détecteurs

Les principaux objectifs de ce projet sont d'établir et de maintenir des installations d'étalonnage et de caractérisation de détecteurs de rayonnement optique, et de fournir des services d'étalonnage et d'experts-conseils connexes. Nous avons mis au point des installations automatisées pour faire les mesures suivantes : mesures

L.P. Boivin, R. Gerson

ordinaires de la sensibilité spectrale (250 nm – 3000 nm); uniformité spatiale des détecteurs dans des régions spectrales étroites dans la plage spectrale 250 nm – 2300 nm; variation angulaire de la sensibilité des détecteurs dans des régions spectrales étroites dans la plage spectrale 250 nm – 2300 nm; et mesures de la linéarité absolue et relative des détecteurs dans des régions spectrales étroites dans la plage spectrale 250 nm – 2300 nm. Ces installations satisfont les besoins internes en matière de caractérisation des détecteurs, et permettent de fournir des services d'étalonnage et de mesure aux clients. Nous avons également établi des installations d'étalonnage de détecteurs de rayonnement UV pour l'étalonnage de détecteurs de type UVA et UVC.

Les installations de sensibilité spectrale sont en service depuis plusieurs années, et tous les étalonnages sont maintenant traçables au radiomètre cryogénique du CNRC. Les installations font usage de trois genres d'étalons de travail : les photodiodes au silicium pour la plage spectrale 250 nm – 1100 nm; les photodiodes au germanium pour la plage spectrale 700 nm – 1800 nm; et les détecteurs à l'antimoniure d'indium refroidis à l'azote liquide pour la plage spectrale 1200 nm – 3000 nm. Ce service d'étalonnage (PAR-110) fait partie du Système qualité de l'IÉNM; toute la documentation a maintenant été complétée, incluant les méthodes secondaires d'étalonnage des appareils électroniques et optiques utilisés pour prendre ces mesures. On a aussi fait évaluer ce service d'étalonnage à l'externe.

Même si les mesures d'uniformité, de variation angulaire de la sensibilité et de linéarité, et les étalonnages de détecteurs UV, ne font pas partie du système qualité, nous avons élaboré des modèles de rapports d'étalonnages qui décrivent brièvement les marches à suivre utilisées et permettent de présenter les résultats des mesures sous forme de tables ou de graphiques. On procède actuellement à une importante modification des appareils de mesure de la linéarité où l'on remplace la roue à ouvertures doubles par une seule grande ouverture double à grande superficie utilisée en conjonction avec des filtres neutres. Cette modification permettra de prendre des mesures à de plus grands flux. Nous remplaçons en même temps le système d'acquisition de données par une version plus moderne qui permettra de faire l'acquisition et l'analyse de données sous Windows 2000. Ces travaux sont en cours d'exécution.

Nous avons dû modifier le calendrier des ré-étalonnages des étalons de travail suite à l'évaluation externe de la méthode de mesure de la sensibilité spectrale PAR-110. Tous les étalons de travail seront maintenant comparés entre eux et échangés annuellement afin de détecter tout changement. Nous avons modifié le document de référence PAR-110B pour y ajouter cette nouvelle méthode de validation des étalons de travail. La méthode a été suivie pour tous les étalons de travail au silicium et au germanium vers le début de 2004. Ces travaux ont révélé très peu de changements dans les étalons de travail.

Cette année, nous avons étalonné de nouveau les étalons de travail à l'antimoniure d'indium (InSb) parce que leur premier étalonnage remontait à cinq ans et n'était pas traçable au radiomètre cryogénique. L'étalonnage a été effectué en deux étapes : un étalonnage absolu à l'aide de radiomètres de transfert à sphère et d'étalons

de travail au germanium, dans la plage spectrale 1100 nm – 1600 nm; et un étalonnage relatif à l'aide de thermopiles dans la plage spectrale 1500 nm – 3000 nm. L'étalonnage relatif a par la suite été normalisé et joint à l'étalonnage absolu à 1500 nm pour obtenir l'étalonnage spectral intégral.

Nous avons étalonné les étalons de travail au Si en employant des étalons de transfert au PtSi dans la plage 200 nm – 400 nm. Ces mesures sont en bon accord aux longueurs d'ondes supérieures à 250 nm, mais ont révélé des écarts beaucoup plus grands que prévus dans la plage 200 nm – 250 nm. Cette situation est probablement attribuable à un vieillissement considérable, dans cette plage spectrale, des diodes au silicium S1337 de Hamamatsu utilisées comme étalons de travail. En conséquence, nous avons cessé les étalonnages aux longueurs d'ondes inférieures à 250 nm à l'aide d'étalons de travail au Si. De nouveaux étalons de travail au PtSi ont été préparés et étalonnés dans la plage 200 nm – 400 nm à l'aide des étalons de transfert au PtSi. Ces étalons de travail au PtSi seront utilisés pour les étalonnages UV dans la plage 200 nm – 400 nm. Nous lancerons ce nouveau service bientôt.

Nous avons commencé à planifier de nouvelles installations pour les mesures ordinaires de la sensibilité spectrale; les installations actuelles ont plus de 20 ans et ne peuvent être rénovées sans remplacer d'importantes parties du matériel. Les nouvelles installations feront usage d'un monochromateur double de haute précision, et seront utilisées pour les étalonnages ordinaires et les étalonnages de transfert – c'est-à-dire les étalonnages des étalons de travail à l'aide des radiomètres de transfert, et pour les mesures effectuées dans le cadre de comparaisons clés. Nous avons déjà choisi, commandé et reçu le monochromateur double et le système d'acquisition de données. Nous avons également commencé à développer et à faire l'essai des logiciels pour contrôler la longueur d'onde du monochromateur.

Spectroradiométrie/Photométrie/Services d'étalonnage

Ce projet vise à développer et à maintenir les étalons de mesure photométrique d'intensité lumineuse, de flux lumineux, d'éclairement lumineux et de luminance visuelle, ainsi que les étalons de mesure spectroradiométrique d'éclairement énergétique spectral et de luminance énergétique spectrale, au moyen de lampes étalons primaires étalonnées à l'aide de radiomètres absolus. Il fournit également des services d'étalonnage et d'experts-conseils connexes.

*A.A. Gaertner,
F. Gauthier*

Nous étalonnons les détecteurs d'éclairement lumineux à l'aide de nos étalons de travail d'intensité lumineuse, qui produisent une gamme d'éclairement lumineux d'approximativement 50 lux à 500 lux, selon la distance entre la lampe étalon et le détecteur d'éclairement lumineux. Pour répondre aux demandes des clients, nous étudions la possibilité d'étendre la plage d'éclairement lumineux jusqu'à 1000 lux en utilisant les lampes étalons plus près du détecteur d'éclairement lumineux. Nous avons mesuré la variation avec la distance de éclairement lumineux pour ces lampes, et on a déterminé que l'éclairement lumineux ne varie pas selon l'inverse du carré jusqu'à 1000 lux. Des travaux supplémentaires sont nécessaires

pour déterminer si l'uniformité spatiale de l'éclairage produite à ces courtes distances de la lampe est suffisante pour maintenir l'exactitude nécessaire pour les étalonnages.

Les paramètres opérationnels électriques de plusieurs sources étalons à incandescence sont déterminés par l'exigence que l'on puisse caractériser la variation spectrale de la lampe par une certaine température de couleur corrélée, dans les conditions opérationnelles électriques données. Nous avons fait l'acquisition et étalonné un spectroradiomètre compact à réseau de diodes de silicium pouvant être utilisé pour prendre les mesures spectrales requises rapidement et avec précision. Cet instrument fonctionne en mode de mesure de luminance énergétique spectrale, qui nous permet de faire plusieurs des étalonnages de luminance visuelle exigés par nos clients.

Nos mesures d'éclairage énergétique spectral les plus précises sont effectuées à l'aide de notre spectroradiomètre de référence. Nous offrons des services d'étalonnage dans la plage de longueurs d'ondes de 300 nm à 1600 nm. Nous élargissons actuellement nos capacités de mesure jusque dans la partie infrarouge du spectre, c'est-à-dire jusqu'à 2500 nm, ainsi que dans la partie UV, jusqu'à 200 nm. On a construit et installé un détecteur à InGaAs à température contrôlée qui fonctionne près de la température de la pièce afin de prendre des mesures fiables de 1100 nm à 1700 nm. Le détecteur à InSb que nous avons acheté n'est pas suffisamment sensible pour nous permettre d'étendre nos services d'étalonnage jusqu'à 2500 nm. Nous devons apporter beaucoup de changements à notre spectroradiomètre pour étendre nos mesures d'éclairage énergétique spectral dans l'UV jusqu'à 200 nm. Comme la puissance des lampes dans cette plage de longueurs d'ondes est faible, l'extension sera accomplie en utilisant des lampes FEL de 1000 Watts (jusqu'à 250 nm) et des lampes à arc au deutérium (jusqu'à 200 nm). Nous avons installé et nous faisons les essais d'un tube photomultiplicateur « solar blind » pour utiliser dans la plage 200 nm à 350 nm. Afin d'augmenter le signal, nous essayons une nouvelle configuration optique à l'entrée de notre monochromateur composé d'un diffuseur plat au lieu de notre sphère d'intégration habituelle. Nous évaluons également le fonctionnement du spectroradiomètre dans cette plage de longueurs d'ondes sans le prédisperseur à prisme. Nos premières mesures montrent que nous devons prendre plus de précautions contre la lumière parasite à l'intérieur et à l'extérieur du spectroradiomètre.

Le Laboratoire participe actuellement à quatre comparaisons internationales du CCPR : les comparaisons clés de sensibilité lumineuse, d'éclairage énergétique spectral (250 nm à 2500 nm) à l'aide de lampes à incandescence, d'éclairage énergétique spectral UV (200 nm à 350 nm) à l'aide de lampes au deutérium, et une comparaison spéciale de la luminance énergétique spectrale à l'aide de lampes à filament. Notre participation à ces comparaisons est d'une importance capitale pour établir nos capacités de mesure et d'étalonnage par rapport à d'autres INM internationaux.

Plusieurs de nos clients demandent que nos services d'étalonnage soient certifiées ISO 17025. Nous sommes en train de développer des procédures d'étalonnage pour

quatre services d'étalonnage importants : l'intensité lumineuse, le flux lumineux total, l'éclairement lumineux et l'éclairement énergétique spectral. Au cours de la dernière année, nous avons mis à jour les procédures de notre Système qualité, et notre laboratoire a subi un audit par des vérificateurs externes. Nous réviserons notre documentation afin de répondre aux conclusions de cette vérification. Nous prévoyons également élargir la portée de nos mesures certifiées pour pouvoir offrir les mesures décrites ci-dessus : des niveaux d'éclairement lumineux plus élevés, la température de couleur corrélée et une plage spectrale élargie pour l'éclairement énergétique spectral.

Nous avons participé à l'atelier du Asia Pacific Metrology Program/Sistema Interamericano de Metrologia (APMP/SIM) sur la mise en oeuvre de systèmes qualité dans les instituts nationaux de métrologie. L'atelier avait pour objectif d'élaborer des méthodes d'essai en des termes génériques afin de simplifier la mise en oeuvre de systèmes qualité dans les INM en voie de développement.

Spectrophotométrie/Brillant/Services d'étalonnage

La spectrophotométrie comprend la mesure des facteurs de transmission et de réflexion spectrale, et des propriétés de diffusion des matières dans les parties ultraviolette, visible et infrarouge du spectre. Cette information est nécessaire pour le contrôle de la qualité des procédés pour l'apparence visuelle et le rendement optique, qui sont importants pour les industries des composants optiques et les industries traitant de la couleur. La spectrophotométrie est également utilisée pour identifier et analyser les matières, qui sont d'importantes activités pour les industries des produits chimiques et des produits pharmaceutiques. Le brillant spéculaire est un attribut important de l'apparence de nombreuses matières opaques réfléchissantes, incluant la peinture, le papier, le plastique et les textiles. Les objectifs de ce projet sont de développer, de maintenir et d'améliorer l'instrumentation, les méthodes et les étalons pour la mesure précise des facteurs de transmission et de réflexion spectrale dans la plage de longueurs d'ondes 200 nm à 3000 nm; de réaliser et maintenir des échelles de brillant spéculaire primaire pour les géométries normales d'importance industrielle; de participer à des comparaisons internationales de ces mesures afin d'assurer une compatibilité par rapport aux échelles maintenues par d'autres pays; et de fournir des services d'étalonnage et d'experts-conseils connexes.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons mis au point quelques instruments de référence afin de réaliser des échelles primaires de facteur de transmission, de facteur de réflexion et de brillant. En 2003-2004, on a amélioré le rendement du spectrophotomètre de référence en y ajoutant un nouveau détecteur sphérique pour les mesures dans l'infrarouge. Ce détecteur sphérique comprend deux détecteurs au PbS refroidi thermoélectriquement dans une sphère de Spectralon de 70 mm de diamètre. Nous avons fait l'essai de cette sphère et les erreurs de mesure étaient beaucoup moindres. Ces erreurs sont causées par les déplacements du faisceau lorsque les échantillons ont des imperfections (échantillons épais ou biseautés).

*J. Zwinkels, M. Noël,
J. Cox, É. Côté*

L'échelle des facteurs de réflexion diffuse du CNRC est basée sur le réflectomètre absolu du CNRC, qui est l'un de seulement trois réflectomètres de référence accrédités par l'ISO dans le monde entier. En 2003-2004, le CNRC a participé à la comparaison clé des facteurs de réflexion diffuse spectrale du CCPR. Trois échantillons ont été analysés sur la plage spectrale 350 nm à 850 nm lors de cette comparaison, chacun étant fabriqué de Spectralon et d'une tuile céramique blanc matte.

Le CNRC a aussi effectué des mesures dans le cadre d'une comparaison entre plusieurs laboratoires de la mesure des longueurs d'onde de référence associées à des solutions Nelson et d'oxyde d'holmium. Le laboratoire pilote (Division de la chimie analytique du NIST) a terminé de compiler et d'analyser les données des 13 laboratoires participants. Les résultats viennent appuyer l'utilisation de la solution d'oxyde d'holmium comme étalon intrinsèque de longueur d'onde UV/visible, à un degré d'incertitude de 0,2 nm pour les largeurs de bande de moins de 2,0 nm.

Services d'étalonnage de la fluorescence

J. Zwinkels, F. Gauthier

Les objectifs de ce projet sont de développer et de maintenir des installations d'étalonnage spectrofluorimétrique à la fine pointe de la technologie pour l'évaluation de haute précision des couleurs de matières fluorescentes; d'étudier les propriétés de fluorescence des matières utilisées comme étalons de transfert et à d'autres fins; de participer à des comparaisons selon les besoins; d'assurer l'acceptation de ces mesures à l'échelle internationale; et de fournir des services d'étalonnage connexes.

Les installations de mesure de la fluorescence comprennent actuellement un spectrofluorimètre de référence à deux monochromateurs pour les étalonnages radiométriques absolus de matières fluorescentes (c'est-à-dire, les facteurs de luminance énergétique spectrale réfléchi et totale) sur la plage de longueurs d'ondes 250 nm à 1050 nm. Cet instrument a une géométrie de mesure d'illumination annulaire de 45°, et un angle d'observation de 0° (45/0) conformément aux étalons de colorimétrie de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). L'incertitude de ces étalonnages est typiquement inférieure à 1 %, à un niveau de confiance d'approximativement 95 %. Pendant 2003-2004, ces installations ont été beaucoup utilisées pour étalonner différents papiers, plastiques, textiles fluorescents, et des matériaux rétro réfléchissants. Le CNRC assure actuellement la traçabilité des mesures optiques d'étalons de papier fluorescent pour tous les laboratoires autorisés selon les normes ISO dans l'industrie du papier, dans le monde entier. Pendant 2003-2004, nous avons fait beaucoup de travail pour réaliser une échelle de facteurs de réflexion diffuse absolue 45/0 basée sur le spectrofluorimètre de référence du CNRC. À cette fin, deux unités incorporant des détecteurs au silicium de grande superficie ont été conçus et construits, et leur sensibilité spectrale absolue a été étalonnée. Les mesures préliminaires montrent la faisabilité de cette méthode.

Développement des installations de goniospectrophotométrie

Ce projet a pour but de mettre au point un instrument de référence polyvalent ayant les capacités de mesure suivantes : 1) le brillant spéculaire aux géométries de 20, 60 et 85 degrés conformément aux spécifications des normes ASTM D523 et ISO 2813 (pour remplacer l'ancien appareil de mesure du brillant du CNRC); 2) le brillant spéculaire à 75 degrés conformément aux spécifications des normes TAPPI T480 et ASTM D1223 (pour une nouvelle méthode d'analyser les échantillons de papier); 3) les mesures spectrales abrégées à angles multiples de matières gonioapparentes, comme les peintures métalliques et de finis perle, dont l'apparence de la couleur change selon l'angle d'illumination et/ou d'observation. Ces matières gonioapparentes sont utilisées de plus en plus fréquemment dans les produits comme la monnaie de papier et les cartes d'identité (comme mesure de lutte contre la contrefaçon) et les produits de finition des automobiles (pour rehausser les contours).

*J. Zwinkels, M. Noël,
Y. Li, J. Liu*

Nous avons conçu et construit un instrument polyvalent satisfaisant ces trois critères. Cet instrument entièrement automatisé comprend une source sphérique munie d'un filtre de correction de la couleur, des éléments d'optique corrigés pour l'aberration chromatique, un choix d'angles d'illumination et d'observation, des choix d'ouvertures de collection et de filtres de bande passante ou de polarisation, et soit un photomètre ou un détecteur sphérique pour les mesures de brillant et de gonioréflectance, respectivement. La géométrie de l'instrument peut être facilement convertie de faisceau collimaté à faisceau convergent en y insérant des éléments d'optique auxiliaires. Il s'agit du premier glarimètre de référence qui répond à ces deux spécifications très différentes concernant le brillant. Nous avons entièrement caractérisé l'instrument afin de déterminer les sources d'erreur, y compris l'uniformité du faisceau, la polarisation, les effets géométriques, la conformité spectrale de la source et du détecteur, et la reproductibilité. Nous avons complété une comparaison du nouveau goniospectrophotomètre avec l'ancien glarimètre en utilisant une série de 12 étalons de brillant du CNRC. Le niveau de concordance des résultats était bien en deçà de l'incertitude ciblée de 0,3 unité de brillant pour les géométries à 20, 60 et 85 degrés. Les résultats préliminaires pour les mesures de brillant à 75 degrés indiquent que nous sommes également en mesure d'atteindre l'incertitude ciblée de 0,3 unité de brillant pour cet angle. Nous prévoyons mettre en service cet appareil pour les services d'étalonnage de brillant en septembre 2004. Deux articles et une affiche sur les résultats de cette recherche ont été présentés à la conférence conjointe de l'ISCC-CORM en mai 2004.

Colorimétrie – Aspects visuels

La colorimétrie est une science interdisciplinaire sophistiquée et plutôt complexe. Afin de décrire la perception des couleurs avec précision, il est nécessaire de mesurer précisément les propriétés physiques des stimuli, et d'avoir une compréhension fondamentale des facteurs humains qui influent sur la perception des stimuli. Dans ce contexte, nos travaux ont pour but d'améliorer les étalons de colorimétrie industrielle en développant et en appliquant des connaissances de base

*R. Baribeau,
A.R. Robertson,
J. Cox, C. Collin*

des propriétés physiques et psychophysiques des stimuli de couleurs. Nos domaines de recherche actuels sont l'étalonnage exact des stimuli et la distinction des petites différences de couleur.

Dans ce projet, on a mis au point un colorimètre visuel à écran cathodique commandé par ordinateur pour faire des expériences de distinction de couleur. Il fonctionne en utilisant la rétroaction d'un téléspectroradiomètre pour préciser les couleurs de paires de stimuli dont un des attributs colorimétriques diffère. Les observateurs humains peuvent ensuite juger la paire de couleurs afin de déterminer les seuils visuels. Le but ultime de ces recherches est d'améliorer les équations de différence de couleur existantes afin de prévoir avec précision les décisions concernant l'acceptabilité des couleurs dans l'établissement des tolérances industrielles des couleurs. Ces travaux ont d'importantes répercussions pour la réduction des coûts de production pour un grand éventail de technologies de reproduction des couleurs.

Nous avons mesuré expérimentalement les seuils de distinction des teintes chez des observateurs humains. Des logiciels spéciaux ont été développés pour afficher des paires de couleurs sur un écran cathodique haute résolution. Une grande précision est obtenue grâce à la rétroaction d'un spectroradiomètre. Nous avons déterminé les seuils différentiels entre des couleurs d'essai et des couleurs cible en montrant à l'observateur de façon répétée un cercle composé de quatre quadrants distincts, dont la teinte d'un des quadrants est différente des autres. Trois des quadrants sont d'une des couleurs d'essai, tandis que l'autre est d'une des couleurs cible, ou vice versa. On demande aux observateurs de choisir le quadrant qui diffère des autres. On a mesuré les seuils différentiels de teinte pour dix-huit points équidistants autour du cercle de teinte, à des valeurs de L^* et de C_{ab}^* constantes, avec trois observateurs. Nous avons découvert que la valeur du seuil différentiel de teinte varie en fonction de l'emplacement sur le cercle de teinte, et qu'il y avait un changement abrupt dans la région de transition de bleu à pourpre ($240^\circ \leq h^*_{ab} \leq 300^\circ$). Les équations de différence de couleur basées sur CIELAB, y compris la plus récente équation CIEDE2000, ne tiennent pas compte complètement de ce changement. Nous préparons un article sur ces résultats.

Nous avons entrepris un deuxième projet visant à étudier l'influence des effets spatiaux, comme la texture, sur notre capacité de différencier les couleurs. Au cours de la dernière année, M. Charles Collins, Ph.D. (boursier postdoctoral invité du CRSNG) a mis au point une expérience visuelle à l'aide du colorimètre à écran cathodique, et il a analysé la capacité des observateurs à différencier les teintes en présence d'une modulation sinusoïdale de la luminance au travers du champ visuel. On a analysé les fréquences spatiales, de 0 à 16 cycles par degré, pour un centre de couleur, avec trois observateurs. Les résultats laissent supposer la possibilité qu'il se produit un phénomène de distorsion de dépliement, c'est-à-dire que notre capacité à différencier les teintes semble accentuée à certaines fréquences et diminuée à d'autres; les seuils différentiels oscillent en fonction de la fréquence spatiale, comme s'il y avait repliement de la fréquence à la limite d'échantillonnage de Nyquist.

Colorimétrie - Caractérisation des appareils de formation d'image couleur

Le programme de colorimétrie de l'IÉNM collabore, établit des relations de partenariat et consulte avec les secteurs public et privé afin de développer de nouvelles installations améliorées ainsi que des méthodes normalisées consacrées à la mesure précise et à la spécification de la couleur et de la lumière. Ceci importe dans une vaste gamme d'applications et à un grand nombre d'industries faisant usage de systèmes d'imagerie numérique tel que les écrans d'affichage, les caméras et les lecteurs optiques.

*R. Baribeau, J. Cox,
É. Côté*

Nos installations de mesure sont dotées de deux spectroradiomètres qui sont traçables au Système international d'unités (SI) par l'entremise d'échelles photométriques et radiométriques maintenues par l'IÉNM. Ces instruments ont été caractérisés d'une manière qui permet d'associer un budget d'incertitudes détaillé à n'importe quelle mesure de la luminance lumineuse et de la chromaticité de stimuli lumineux de composition spectrale arbitraire. Un colorimètre à filtre et une caméra CCD colorimétrique viennent compléter nos installations. Ces instruments peuvent être utilisés en conjonction avec des accessoires spécialisés, comme notre nouvelle sphère d'intégration de 1,6 m, afin de caractériser les dispositifs couleur dans des configurations adaptées spécialement.

Nous avons construit une sphère d'intégration d'un diamètre de 1,6 m munie d'une lampe tungstène à halogène interne, qui sert à analyser les écrans d'affichage dans des conditions d'éclairage ambiant. Le blanc et le noir de l'écran sont mesurés à distance à l'aide de notre téléspectroradiomètre, ce qui permet de calculer les facteurs de réflexion spectrale. On peut ensuite prédire le rapport de contraste pour n'importe quelle intensité ou composition spectrale de l'éclairage ambiant. Nous pouvons aussi mesurer l'écran en entier et dessiner la carte du rapport de contraste à l'aide de la caméra CCD. Ces installations peuvent venir en aide à une variété de clients, y compris les fabricants d'écrans plats.

On a aussi mesuré dans nos installations un prototype de source étalon, appelé « Gamut Assessment Standard » et en voie de développement par le NIST, ceci à des fins de comparaison corrélative avec des mesures faites par le NIST et le NPL (Royaume-Uni). Ce prototype comprend une sphère d'intégration et une série de filtres optiques conçus pour simuler les conditions photométriques et colorimétriques des dispositifs d'affichage électroniques variés.

Colorimétrie – Développement d'une caméra multispectrale 3-D

Ce projet est fait en collaboration avec l'ITI du CNRC et a pour but d'améliorer le rendement colorimétrique de leur caméra à balayage laser 3-D. Cette caméra sert à numériser les objets réels, en particulier les objets d'art, en couleurs et en trois dimensions. Ces images sont utiles pour étudier et documenter la constitution physique des objets. Dans les applications de réalité virtuelle, elles servent à produire des images de synthèse réalistes des objets qui peuvent être restituées pour différents points de vue sélectionnés de façon interactive par l'utilisateur.

*R. Baribeau,
M. Rioux (ITI)*

Par le passé, la caméra 3-D comptait sur trois lasers, un rouge, un vert et un bleu, pour mesurer les facteurs de réflexion des éléments de surface à trois longueurs d'ondes. Cet échantillonnage limité de toute la réflexion spectrale au travers de la plage visible donnait lieu à des imprécisions dans les couleurs rapportées. On transforme actuellement cette technologie en un système multispectral qui emploie un plus grand nombre de longueurs d'ondes laser et des méthodes améliorées pour calculer les couleurs.

Les longueurs d'ondes laser optimales à utiliser pour faire le balayage ont été étudiées théoriquement ainsi qu'en laboratoire. Des longueurs d'ondes optimales ont d'abord été établies en minimisant la différence de couleur CIEDE2000 moyenne prédite pour l'ensemble des courbes de réflexion du système uniforme de couleurs de l'Optical Society of America (OSA-UCS). Nous avons considéré des méthodes d'évaluation basées sur l'analyse des composantes principales ainsi que sur les fonctions spline, et nous avons dérivé des ensembles de trois, quatre et cinq longueurs d'ondes d'échantillonnage optimales pour chaque méthode. Ceci a servi de fondement pour sélectionner des lasers HeCd, ArKr, HeNe et DPSS disponibles dans le commerce, pour lesquels nous avons prédit le rendement colorimétrique. Les lasers choisis ont par la suite été analysés en laboratoire, où l'on a balayé des mires couleur avec la caméra pour sept longueurs d'ondes; les mires ont ensuite été rendues sur un écran couleur ajusté. Les prévisions théoriques et les observations expérimentales indiquent qu'il est suffisant d'utiliser quatre longueurs d'ondes bien choisies pour un rendu adéquat des mires.

Spectrophotométrie infrarouge régulière

N.L. Rowell, R. Gerson

Ce projet a pour but de fournir et d'améliorer les étalons des facteurs de transmission et de réflexion régulières dans la plage de longueurs d'ondes infrarouge moyen (2,5 à 20 μm). Une de nos méthodes est aux dernières étapes du procédé d'accréditation par l'ISO. Cette méthode s'adresse aux facteurs de transmission régulière d'un filtre étalon en verre dans la partie inférieure de la plage de longueurs d'ondes de la partie mi-infrarouge du spectre. Il est présentement possible pour nous d'étalonner les artefacts des clients; comme alternative, nous pouvons fournir des étalons. La mesure précise de la transmission et de la réflexion infrarouge est importante pour la métrologie dans nombreuses industries, incluant les secteurs des produits chimiques, des produits pharmaceutiques, des plastiques et des couches minces, qui se servent de méthodes infrarouges pour faire le contrôle de la qualité.

Les travaux de cette année ont été faits principalement dans le but de répondre aux exigences relatives à l'accréditation par l'ISO, et de participer à des vérifications internes et externes se rapportant à la mise en oeuvre de ce Système qualité.

Diffusion Raman infrarouge

Nous employons la diffusion Raman pour déterminer les caractéristiques des matériaux. La diffusion Raman est extrêmement puissante, parce que l'on peut s'en servir pour étudier les propriétés vibrationnelles et électroniques de nombreux matériaux. En employant une excitation laser infrarouge, on peut éviter les effets de résonance, comme la fluorescence des molécules organiques et l'absorption des porteurs dans les semi-conducteurs, qui dissimulent le signal Raman. Nous avons donc acquis une capacité en diffusion Raman pour la détermination des caractéristiques des matériaux. Nos premières expériences ont porté sur les semi-conducteurs, comme l'InP et le GaAs, qui ont des largeurs de bande interdite inférieures à la longueur d'onde de 1,06 μm du laser d'excitation. Grâce à cette méthode, nous avons réussi à déduire les niveaux de dopage efficaces pour ces matériaux.

*N.L. Rowell,
D.J. Lockwood (ISM),
L.-L. Tay (ISM)*

Nous avons récemment utilisé la longueur d'onde d'excitation de 1,32 μm pour observer les phonons dans le silicium en employant une géométrie de diffusion de 90°, qui était impossible aux longueurs d'ondes d'excitation utilisées par d'autres chercheurs. Grâce à cette méthode, nous avons réussi à obtenir des renseignements de base additionnels concernant les vibrations de la matrice dans cette matière très importante.

Photoluminescence infrarouge

Dans le cadre de cette activité, nous collaborerons avec différents associés pour utiliser la photoluminescence infrarouge afin d'étudier les semi-conducteurs d'importance technologique.

La photoluminescence (PL) permet d'obtenir des renseignements précieux sur les propriétés électroniques de matières épitaxiales en couches minces, notamment la morphologie, les impuretés, les défauts ponctuels et étendus, les déformations et l'intégrité cristalline. Les appareils utilisés actuellement comprennent un appareil de PL à transformée de Fourier haute performance, incluant des cryostats, des détecteurs et un spectromètre, servant à mesurer la PL dans l'infrarouge proche de 800 nm à 4000 nm.

*N.L. Rowell
et collaborateurs
D.C. Houghton (Aixtron
Inc.), S. Sheng (ISM et
Dalhousie University),
J.-M. Baribeau (ISM),
D.J. Lockwood (ISM),
S. McAlister (ISM),
I. Berbezier (CNRS
Marseille), A. Ronda
(CNRS Marseille),
D. Webb (ATMI
Epitaxial Inc.), M. Ward
(ATMI Epitaxial Inc.)*

Nous avons fait plusieurs études de PL de l'alliage semi-conducteur SiGe au cours de la dernière année. Ce composé est maintenant utilisé de façon répandue dans l'industrie des semi-conducteurs pour des applications à haute vitesse. Nos travaux ont donné lieu à deux publications, deux présentations à des conférences, deux présentations orales invitées et un chapitre de livre.

Spectroscopie de réflectance infrarouge lointain des semi-conducteurs

Ce projet est entrepris en collaboration avec l'ISM, et fait appel à des méthodes de réflexion infrarouge à des longueurs d'ondes supérieures à 20 μm pour étudier les propriétés des phonons dans les microstructures semi-conductrices.

*N.L. Rowell et
collaborateurs
D.J. Lockwood (ISM),
G. Yu (ISM), L.-L. Tay
(ISM)*

La mesure des propriétés vibrationnelles (phonons) de matrices dans les matières solides permet d'obtenir des renseignements de base précieux sur les matières, notamment celles sous forme de couches minces. Par exemple, les propriétés d'interface des structures multicouches, qui sont d'une grande importance pour le rendement des appareils, peuvent être étudiées par la spectroscopie vibrationnelle. Ces structures sont très répandues dans la technologie moderne, p. ex., dans les lasers à diodes semi-conductrices. La méthode que nous avons mise au point est la spectroscopie de réflexion régulière polarisée dans l'infrarouge lointain (15–500 μm) à incidence oblique. Cette méthode offre plusieurs différents avantages par rapport à d'autres, notamment sa capacité de permettre de calculer de façon non ambiguë les propriétés des couches minces à partir de mesures. Un autre avantage de la méthode est que, dans le cas des couches minces de matériaux polaires comme le GaAs, les phonons du matériau sont observés directement sous forme de changements abrupts de la réflexion. Cette méthode permet également d'évaluer les couches particulièrement minces (d'une épaisseur de 1 nm). Nous avons fait quelques présentations à des conférences, et quatre articles se rapportant à ces travaux ont été publiés dans des revues scientifiques.

Propriétés diffuses dans l'infrarouge

N.L. Rowell

Ce projet fournit à l'industrie la mesure des facteurs de réflexion et de transmission diffuses dans la partie infrarouge moyen (2 à 16 μm) du spectre. Ces mesures permettent de calculer une propriété thermique clé des matières, l'émissivité, à la température ambiante. En ce moment, l'appareillage comprend un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier relié à une sphère d'intégration dont l'intérieur est en or diffusant, à montage central, munie d'une photodiode à l'InSb refroidie à l'azote liquide, et d'un photoconducteur au Si:Ga refroidi à l'hélium liquide, utilisés comme détecteurs.

Les spectres des échantillons, qui sont mesurés sous vide à la température de la pièce, ont été très améliorés grâce à de récentes modifications apportées au système de vide. De plus, nous avons installé le nouveau détecteur au Si:Ga dans le système, ainsi que des éléments optiques de relais spécialement conçus et un cryostat pour le détecteur. Les appareils ont bien fonctionné pour plusieurs échantillons pour des clients et pour le ré-étalonnage de différents artefacts internes.

Mesure de la température par spectroscopie infrarouge

*N.L. Rowell,
A.G. Steele
(Thermométrie)
A.R. Leesink
(Thermométrie)*

Ce projet est entrepris en collaboration avec le groupe de Thermométrie et a pour objectif d'améliorer la thermométrie par rayonnement par des moyens multispectraux. Ce projet vise à utiliser la redondance dans les mesures spectrales infrarouges pour déduire la température des corps noirs dans la plage 500 – 1000 °C. Comme la méthode est basée seulement sur la loi de Planck et sur certaines suppositions raisonnables concernant les corps noirs imparfaits, ainsi que sur une bonne précision radiométrique, elle offre l'avantage de produire une température thermodynamique absolue.

Présentement, nous avons installé les appareils, c'est-à-dire deux cavités à conduit calorifique à température variable et un spectromètre à transformée de Fourier de table. L'année dernière, nos expériences et calculs étaient axés sur l'exactitude des mesures et la condition non idéale des corps noirs. Deux articles de conférence ont été présentés sur ce travail.

Facteur de réflexion totale atténuée dans l'infrarouge

Ce projet est motivé par le besoin d'obtenir une sensibilité aux couches organiques fonctionnalisées sur des surfaces planes, comme celles des plaquettes de silicium, au niveau d'une seule couche. Les matériaux fonctionnalisés sont utilisés dans un grand nombre de domaines, comme l'électronique moléculaire, les détecteurs, les systèmes micro-électromécaniques (MEMS) et les surfaces actives sur le plan biologique. Dans le cas du Si, la puissance de la fonctionnalisation a lieu en fixant des molécules par covalence aux surfaces de Si. Cela permet d'ajouter des espèces chimiques ayant différents groupes fonctionnels aux surfaces de Si, ce qui modifie grandement et de façon contrôlée les propriétés de surface du Si.

*N.L. Rowell,
L.-L. Tay (ISM)
D.J. Lockwood (ISM)
S. Morin (York
University)
R. Boukherroub (IEMN-
IRI, Villeneuve d'Ascq,
France)*

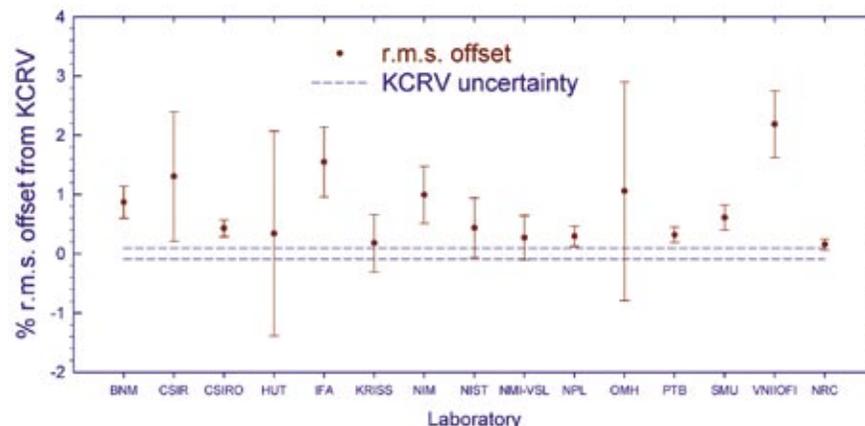
L'utilisation de l'information sur les bandes vibrationnelles obtenues par spectroscopie du facteur de transmission infrarouge est l'une des méthodes utilisées pour déterminer les caractéristiques des composés organiques. Malheureusement, plus la couche est mince, moins l'effet d'absorption est prononcé. Cela signifie que l'on ne peut pas observer les couches très minces par échantillonnage conventionnel. Cependant, on a réussi à réaliser le rehaussement en surface et la détection de monocouches par le facteur de réflexion totale atténuée (ATR) à l'aide de cellules ATR spéciales à rebondissements multiples. Malheureusement, cette méthode a les désavantages que les cellules ATR sont coûteuses, la superficie devant être analysée est grande, le nombre de substrats adéquats est peu élevé et la plage spectrale est limitée. Nous avons très récemment réussi à mettre au point une méthode de mesure ATR à réflexion unique en employant des appareils conçus et construits à l'interne, ce qui a permis d'observer les modes vibrationnels de couches organiques (p. ex., l'acide undécyclique) monocouches fonctionnalisées sur Si(111). Il est très important de souligner que cette méthode peut être adaptée pour des superficies plus petites (c'est-à-dire la microscopie). Elle emploie l'incidence optique au-delà de l'angle critique dans un hémisphère à indice élevé en contact intime avec le substrat revêtu; elle permet aussi une augmentation importante de la superficie, ce qui permet une identification claire, par les vibrations moléculaires, du type, de l'orientation et de la couverture de la surface des molécules. Cette méthode nous permet de détecter des monocouches sur des plaquettes de Si polies ordinaires sur un seul côté. Il devrait être possible d'adapter la technique à hémisphère et de permettre le dépôt sur une surface contribuant plus à l'activité biologique, comme le verre.

Système de gestion de la qualité

L'évaluation externe des services d'étalonnage et de mesure du groupe de Photométrie et Radiométrie aux fins d'accréditation selon la norme ISO/CEI 17025 a eu lieu du 6 au 8 octobre 2003. La portée d'accréditation (plage et incertitudes) des capacités soumises relatives à la mesure de l'intensité lumineuse, du facteur de transmission spectrale régulière, de l'éclairement énergétique spectral, du facteur de transmission infrarouge régulière, de la sensibilité spectrale, du flux lumineux et de l'éclairement lumineux, a en grande partie été acceptée telle que soumise à la base de données de l'annexe C du BIPM. Le groupe a préparé et mis en oeuvre un plan d'activités pour traiter des conclusions de cette évaluation externe. Nous prévoyons obtenir l'accréditation officielle d'ici le mois de décembre 2004.

Comparaisons internationales

- Comparaison clé du CCPR de l'éclairement énergétique spectral de lampes dans la plage de 250 nm à 2500 nm (K1a)
Nous avons effectué les mesures pour cette comparaison, et le laboratoire pilote (NPL (UK)) évalue présentement les résultats et prépare un projet de rapport.
- Comparaison clé du CCPR de l'éclairement énergétique spectral dans la plage de 200 nm à 400 nm (K1b)
Nous avons complété la première série de mesures pour cette comparaison, et le laboratoire pilote (PTB) mesure présentement les lampes au deutérium avant de les retourner au CNRC pour la dernière série de mesures.
- Comparaison clé du CCPR de la sensibilité des détecteurs à l'InGaAs dans la plage de 900 nm à 1600 nm (K2a)
Le projet de rapport A de la comparaison clé K2.a du CCPR a été envoyé aux participants par le laboratoire pilote (NIST) au début de 2003. Les artefacts de la comparaison étaient des détecteurs à l'InGaAs étalonnés dans la plage de 900 nm à 1600 nm. Le graphique ci-dessous montre que les résultats du CNRC sont les meilleurs de tous les participants; nous avons le plus petit décalage par rapport à la KCRV (valeur de référence de la comparaison clé), et la plus petite incertitude.



- **Comparaison clé du CCPR de la sensibilité spectrale de détecteurs simples et pièges à diode de Si dans la plage de 300 nm à 1000 nm (K2b)**
Le Bureau international des poids et mesures est le laboratoire pilote. Toutes les mesures sont maintenant complétées, et cette comparaison est à l'étape du projet de rapport B.
- **Comparaison clé du CCPR de la sensibilité spectrale de photodiodes au silicium et au PtSi (détecteurs simples et à piège) dans la plage de 200 nm à 400 nm (K2c)**
Le laboratoire pilote (PTB) a finalisé et distribué le protocole pour cette comparaison. Le CNRC participe au groupe C de cette comparaison. En préparation pour cette comparaison, nous avons récemment développé, caractérisé, et étalonné des radiomètres de transfert au Si et PtSi afin de réaliser une nouvelle échelle de sensibilité spectrale dans la plage UV, basée sur le radiomètre cryogénique.
- **Comparaison clé du CCPR de la sensibilité lumineuse (K3b)**
Le rapport définitif sur la comparaison de sensibilité lumineuse a été publié en janvier 2004, et celui-ci indique que le résultat du CNRC ne diffère de la valeur de référence de la comparaison clé que de 0,03 %, avec un écart type de 0,50 %.
- **Comparaison clé du CCPR du facteur de réflexion diffuse spectrale (K5)**
Nous avons complété les mesures du CNRC pour cette comparaison et nous rédigeons actuellement le rapport final qui sera envoyé au laboratoire pilote (NIST).
- **Comparaison clé du CCPR du facteur de transmission spectrale régulière (K6)**
Les mesures effectuées dans le cadre de cette comparaison ont été complétées et le laboratoire pilote (BNM (France)) prépare le projet de rapport A.
- **Comparaison supplémentaire du CCPR de la luminance énergétique spectrale à l'aide de lampes à filament (S1)**
Nous avons complété les mesures du CNRC pour cette comparaison, et nous rédigeons actuellement le rapport final qui sera envoyé au laboratoire pilote (VNIIOFI (Russie)).

Services à la clientèle

En 2003-2004, nous avons fourni une gamme complète de services d'étalonnage pour différentes quantités photométriques, radiométriques et colorimétriques, et nous avons publié 76 rapports d'étalonnage au total.

Comités et charges

Échelle internationale

Commission International de l'Eclairage (CIE)

Division 2: Physical Measurement of Light and Radiation

J.C. Zwinkels, membre canadienne

Division 8: Image Technology

R. Baribeau, membre canadienne

TC 1-38 Compatibility of Tabular Data for Computational Purposes

A.R. Robertson

TC 1-44 Practical Daylight Sources for Colorimetry

J.C. Zwinkels

TC 1-45 Revision of CIE Publication No. 51 to Include D50 Simulators

J.C. Zwinkels

TC 1-47 Hue and Lightness Dependant Correction to Industrial Colour Difference Equation

A.R. Robertson

TC 1-48 Revision of CIE Document 15.2, Colorimetry

A.R. Robertson

TC 1-53 Standard Method of Assessing the Quality of Daylight Simulators

J.C. Zwinkels

TC 1-55 Uniform Colour Space for Industrial Colour Difference Evaluation

A.R. Robertson

TC 1-56 Improved Colour Matching Functions

A.R. Robertson

TC 1-57 Standards in Colorimetry

A.R. Robertson, Chairman

J.C. Zwinkels

TC 1-59 Standard Photometric 10° Observer

A. R. Robertson

TC 2-04 Stable Secondary Standard Sources

A.A. Gaertner

TC 2-25 Calibration Methods and Photoluminescent Standards for Total Radiance Factor Measurements

J.C. Zwinkels, présidente

TC 2-28 Methods of Characterizing Spectrophotometers

A.R. Robertson

J.C. Zwinkels

TC 2-35 CIE Standard for $V(l)$ and $V'(l)$

A.R. Robertson

TC 2-39 Geometric Tolerances for Colorimetry

J.C. Zwinkels

TC 2-42 The Colorimetry of Visual Displays

R. Baribeau

Uncertainties in Photometry

A.A. Gaertner

TC 2-47 Characterization and Calibration Methods of UV Radiometers

L.P. Boivin

TC 2-48 Spectral Responsivity Measurement of Detectors, Radiometers and Photometers

L.P. Boivin

TC 2-57 Revision of CIE S014-2 (Colorimetry Part 2: CIE Standard Illuminants to include D50)

A.R. Robertson, président

Association internationale de la couleur

2005 Congress, Scientific Committee

A.R. Robertson

Comité internationale des poids et mesures

Comité consultatif de photométrie et radiométrie

J.C. Zwinkels

L.P. Boivin

Comparaison clé de l'irradiance spectrale (CCPR-K1.a)

A.A. Gaertner

Comparaison clé de l'irradiance spectrale (CCPR-K1.b)

A.A. Gaertner

Comparaison supplémentaire de la radiance spectrale (S1)

A.A. Gaertner

Comparaison clé de la responsivité des détecteurs (CCPR-K2)

L.P. Boivin, membre, groupe de travail

Comparaison clé de la réflectance diffuse spectrale (CCPR-K5)

J.C. Zwinkels, membre, groupe de travail

Comparaison clé de la transmittance spectrale régulière (CCPR-K6)

J.C. Zwinkels, membre, groupe de travail

Organisation internationale de normalisation

TC 6/WG 3 : Papiers, cartons et pâtes
Propriétés optiques

J.C. Zwinkels, liaison

Munsell Color Science Laboratory

A.R. Robertson, membre du comité consultatif

Échelle nationale

Commission Internationale de l'Éclairage

Comité national canadien

A.A. Gaertner, secrétaire

J.C. Zwinkels, Division 2, vice-président

R. Baribeau, Division 8, membre

A.R. Robertson, ex officio

Association Canadienne des producteurs de pâtes et papiers

Subcommittee on Optical Properties of Paper

J.C. Zwinkels

Comités de rédaction

Color Research and Application

A.R. Robertson, corédacteur

Metrologia

L.P. Boivin, directeur scientifique invité

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'ÉNM à l'adresse suivante : <http://inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/>

Articles dans des publications revues

J. Taylor, J.-A. Beraldin, G. Godin, L. Cournoyer, **Baribeau, R.**, F. Blais, M. Rioux and J. Dorney. "NRC 3D imaging technology for museum and heritage applications", *J. Visual. Comput. Animat.*, **14**, 121-138 (2003).

S. Sheng, **Rowell, N. L.** and S.P. McAlister. "Photoluminescence in tensile-strained Si type-II quantum wells on bulk single-crystal SiGe substrates", *Appl. Phys. Lett.*, **83**, 857-859 (2003).

S.R. Sheng, **Rowell, N.L.** and S.P. McAlister. "Strong near-infrared photoluminescence and absorption from Si/Si_{1-x}Ge_x type-II multiple quantum wells on bulk crystal SiGe substrates", *Appl. Phys. Lett.*, **83**, 2790-2792 (2003).

M. Nadal, **Zwinkels, J.C.** and **M. Noël**. "Specular Gloss Scales Comparison between The National Institute of Standards and Technology and the National Research Council of Canadas", *Journal of Coatings Technology*, **75**, 45-51 (2003).

Articles dans des comptes rendus de conférence

Reesink A.L., N.L. Rowell and **A.G. Steele**. "Using Fourier-Transform Blackbody Spectra To Determine Thermodynamic Temperature In The 600 °C To 1000 °C Range", *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, Volume 7*, Ed. Dean C. Ripple, AIP Conference Proceedings **684**, 19-24 (2003).

Rowell, N.L., D.J. Lockwood, P.J. Poole and G. Yu. "Far infrared spectroscopy of In_{0.53}Ga_{0.47}As quantum wells on InP(100)", *Proceedings of the Materials*

Research Society, **744**, 583-588 (2003).

C.J. Chunnilal, F.J. Clarke and **Rowell, N.** "NPL-NRC Comparison of mid-infrared regular transmittance", *Proceedings of the 4th Oxford Conference on Spectrometry*, Davidson, North Carolina, June 2002, *S.P.I.E.*, **4826**, 12 - 20 (2003).

Zwinkels, J.C. and **M. Noël**. "Methods for improving accuracy of optical coating analysis from spectrophotometric measurements", *Proceedings of the 46th Annual Technical Conference of the Society of Vacuum Coaters*, San Francisco, 2003, ISSN 0737-5921, 339-344 (2003).

Zwinkels, J.C. and **F. Gauthier**. "Investigation of photoluminescent effect in opal glasses used as diffuse reflectance standards", *Proceedings of 4th Oxford Conference on Spectroscopy*, *S.P.I.E.*, **4826**, 70-78 (2003).

Présentations orales invitées

Rowell, N. "What photoluminescence tells us about SiGe heterostructures", INRS-EMT Varennes, QC (February 2004).

Affiches

Rowell, N. "Dielectric Properties of InGaAs Epilayers on InP (100)", *Proceedings of Materials Research Society – Fall Meeting*, Boston (2003).

Rowell, N. "Dielectric Properties of GaN Epilayers", *Canadian Semiconductor Technology Conference*, Ottawa (2003).

Rowell, N. "Phonons in GaN Epilayers on Sapphire", *Proceedings of Materials Research Society – Fall Meeting*, Boston (2003).

Rowell, N. "Phonons in $\text{InSb}_{1-x}\text{As}_x$ alloys", Canadian Semiconductor Technology Conference, Ottawa (2003).

Rowell, N. "Phonons in superlattices of InGaAs lattice matched to InP", Canadian Semiconductor Technology Conference, Ottawa (2003).

Rowell, N. "Resolving dopant layers in SiGe/Si heterostructures", ICSi2 Conference, Santa Fe, New Mexico (2003).

Rapports et documents techniques

W. Springsteen, J. Sefl, J. Ladson, H.S. Fairman, M. Brill, and **J. Zwinkels**, "Inter-Society Color Council Technical Report 2003-1, Guide to Material Standards and their Use in Color Measurement, 2nd Revision 2003".

"Report on an Intercomparison of Measurements of the Luminous Flux of High-Pressure Sodium Lamps", (CIE Publication No. 153:2003) prepared by CIE TC 2-22. (**A. Gaertner**, member du comité)

J. Taylor, J.A. Beraldin, G. Godin, L. Cournoyer, **R. Baribeau**, F. Blais, M. Rioux, and J. Domey. "NRC 3D imaging technology for museum and heritage applications", *J. Visual. Comput. Animat.*, **14**, 121-138 (2003).

Personnel

Joanne Zwinkels, Chef de groupe

Téléphone : (613) 993-9365

Docufax : (613) 952-1394

Courriel : joanne.zwinkels@nrc-cnrc.gc.ca

Réjean Baribeau	993-9351
Phil Boivin	993-9354
Éric Côté	990-0136
Jessica Cox	
Arnold Gaertner	998-9344
François Gauthier	993-2555
Rick Gerson	991-6928
Mario Noël	991-1637
Nelson Rowell	993-2377

Travailleurs invités

Alan Robertson, 993-9347
Conseiller principal, Bureau du Directeur général

Charles Collin 998-5526
(CRSNG, Bourse postdoctoral, Université d'Ottawa)

Jian Liu 990-2136
(CRSNG, Bourse postdoctoral)



Des chercheurs ont mis au point un nouveau laser accordable à anneau de fibre dopé à l'erbium à trois longueurs d'onde servant à mesurer la dispersion en mode de polarisation des fibres optiques et pour l'application de la conversion de longueurs d'onde basée sur le mélange de quatre ondes à pompage orthogonal à large bande dans un amplificateur optique à semi-conducteurs.

La photonique est la synthèse de l'optique et de l'électronique pour la transmission et manipulation de signaux et de données est un domaine d'importance cruciale pour le traitement de l'information et est une technologie habilitante clé pour l'inforoute et les applications multimédias. La photonique a connu un succès spectaculaire en stockage de données et en communication sur de grandes distances, et est rapidement en train de devenir une technologie concurrentielle pour l'interconnexion de processeurs électroniques et d'appareils périphériques. Les recherches sont axées sur la technologie de la photonique pour le traitement et le réseautage entièrement optique. De nouvelles technologies en voie de développement rapide, comme le multiplexage en longueur d'onde pour la transmission et la reconfiguration de réseaux optiques, offrent de nouvelles possibilités en réseautage haute performance à grande largeur de bande, en réseaux de capteurs multiplexés, en photonique micro-ondes et en traitement de signaux.

Chander Grover, Rahul Joshi, Peng Lin, Jiaren Liu, Zhenguo Lu, Fengguo Sun, George Xiao, Zhiyi Zhang, Ping Zhao, Ming Zhou

Conception de composants optiques intégrés

De façon générale, on prévoit que les composants optiques intégrés seront la prochaine génération d'éléments utilisés dans les réseaux optiques. Au cours de la dernière année, nous avons acquis des capacités en conception de différents composants optiques basés sur les guides d'ondes, incluant les réseaux de guides d'ondes reliés, les composants optiques variables et les diviseurs optiques. Nous avons également conçu de nouveaux atténuateurs optiques variables (VOA) de haut rendement et peu coûteux basés sur des plates-formes à polymères et des plates-formes à guides d'ondes hybrides de polymère/silicium. Nous avons mis au point des prototypes de VOA à boucle fermée et des commandes haute performance pour les VOA.

Développement de composants et de sous-systèmes pour la surveillance et l'amélioration du rendement des réseaux optiques

La surveillance du rendement et la prévision de la fiabilité des réseaux de communication optiques sont devenues importantes depuis le déploiement répandu de ces derniers. De nouvelles technologies offrant cette fonction, ainsi que la capacité à corriger les erreurs de transmission de signaux optiques, permettraient de réduire considérablement les coûts d'exploitation et d'entretien des réseaux. Afin de répondre à ces besoins, le groupe Systèmes photoniques continue à mettre au point des composants et sous-systèmes de surveillance et d'amélioration de réseaux optiques. Ceux-ci comprennent les bloqueurs de longueurs d'ondes, les égaliseurs de voies optiques dynamiques, les moniteurs de rendement optique, les moniteurs de dispersion en mode de polarisation, et la régénération 3-R entièrement optique (réamplification, remise en forme et resynchronisation). En particulier, nous avons réussi à développer de nouvelles technologies permettant de mesurer la dispersion en mode de polarisation (PMD) des fibres optiques.

Dispositifs et sous-systèmes photoniques actifs

Les activités de recherche de ce projet sont la conception, la fabrication, la mesure et l'évaluation d'un éventail de dispositifs et sous-systèmes perfectionnés pour les télécommunications. Notre but a été d'étudier et de développer de nouveaux concepts pour les systèmes et de trouver des utilisations pour les nouveaux dispositifs et sous-systèmes photoniques actifs pour la prochaine génération de réseaux.

Nous avons privilégié les activités de recherche suivantes dans la poursuite de nos buts :

- la prochaine génération d'amplificateurs à fibres dopées à l'erbium
- les sources laser à longueurs d'ondes multiples et amplificateurs paramétriques optiques à fibres
- les amplificateurs et lasers à fibres haute puissance des bandes C et L
- la conception de matériel et de micrologiciels pour les cartes de circuits imprimés haute vitesse.

Fabrication de composants photoniques intégrés entièrement optiques

Le groupe développe dernièrement des composants et sous-systèmes photoniques entièrement optiques basés sur des techniques d'écriture directe au laser femtoseconde et d'automatisation des nanomouvements. Cette technologie de fabrication donne un avantage concurrentiel au groupe en ce qui a trait à la complexité des procédés, au coût et au temps de production de prototypes. Nous avons réussi à développer les composants et technologies suivants au cours de cette période d'examen :

- coupleurs 1X2 et 2X2 pour guide d'ondes optiques;
- diviseurs de puissance 1X2 et 1X4 pour guides d'ondes optiques;
- interféromètres Mach-Zehnder pour guides d'ondes équilibrés et non équilibrés;
- technologie de mise en forme des guides d'ondes pour réduire l'affaiblissement de pliage;
- fabrication de microstructures et nanostructures dans les verres.

Essais et analyses de composants et systèmes photoniques

Les essais et les analyses sont des fonctions essentielles du groupe Systèmes photoniques parce qu'elles jouent un rôle vital dans le développement, la qualification et l'amélioration des composants et systèmes photoniques. Le groupe a continué à perfectionner ses installations et son expertise en essais de composants photoniques nécessaires pour assurer le soutien de ses chercheurs et de l'industrie canadienne. Nous sommes en mesure d'analyser un grand éventail de composants photoniques et de paramètres techniques. De plus, nous avons fourni à nos clients des services de consultation et de formation spécialisée en technologie d'analyse photonique.

Mise en boîtier de composants photoniques et développement de matériaux optiques

La mise en boîtier est essentielle pour réduire les coûts et assurer la qualité des dispositifs photoniques. Les travaux dans ce domaine sont axés actuellement sur la mise en boîtier de composants photoniques à guides d'ondes, incluant la conception, les procédés et les matériaux utilisés pour la mise en boîtier. Au cours de la dernière année, nous avons :

- développé une technique de mise en boîtier permettant de réduire de 30 % à 40 % la fabrication de composants à réseaux de guides d'ondes ordonnés (AWG), ainsi qu'une méthode rentable pour éliminer le stress sur les fibres dans les composants photoniques à guides d'ondes mis en boîtier
- acquis la capacité à simuler le stress et le transfert de chaleur dans les guides d'ondes non mis en boîtier et les composants photoniques mis en boîtier. Nous avons également amélioré la conception des VOA et AWG en simulant le stress et le transfert de chaleur dans les dispositifs
- développé un VOA hybride de polymère/silicium à consommation énergétique extrêmement basse et à faible affaiblissement de polarisation (PDL) dynamique,

basé sur l'analyse du stress et de la chaleur des VOA conventionnels. Nous avons également mis au point un polymère à coefficient thermo-optique super élevé, et nous nous en sommes servis comme revêtement pour les VOA;

- développé une nouvelle technologie qui permet de réduire la biréfringence des polymères, et élaboré les nouveaux critères concernant l'utilisation de polymères dans la fabrication de AWG et VOA;
- développé des polymères utilisés comme revêtements pour les VOA.

Essais de fiabilité et qualification des composants et sous-systèmes optiques

Les composants et sous-systèmes optiques doivent satisfaire des normes industrielles strictes avant d'être acceptés par les fabricants de systèmes. Nous avons établi les capacités en essais de dispositifs optiques haute puissance, en essais à chaleur humide, et en essais à haute température et à basse température.

Matériaux pour la détection photonique

Nous avons développé des technologies de codage et de chiffage optique basées sur des points quantiques à nanocristaux de semi-conducteurs en collaboration avec le groupe d'optique.

Biophotonique – technologie de la détection photonique

Nous avons établi la validité de l'étiquetage multiple des biomolécules à un seul site pour l'amplification des signaux dans la technologie de la biodétection par électrochimiluminescence (ECL). Nous cherchons maintenant à élargir ce domaine, afin qu'il devienne une technologie de plate-forme universelle pour différentes analyses biologiques. Notre but est de développer un prototype d'un appareil de détection par ECL manuel en combinant la technique d'étiquetage multiple et des puces à ECL nanofabriquées.

Technologie des détecteurs à fibres optiques

Les détecteurs à fibres optiques offrent plusieurs avantages par comparaison avec d'autres technologies de détection, comme les appareils passifs qui ne sont pas perturbés par l'interférence électromagnétique, une grande sensibilité et une robustesse à l'environnement. Nous avons mis au point une nouvelle technique d'interrogation de la longueur d'onde et des détecteurs de température, de tension et d'indice de réfraction.

- conception de composants optiques intégrés
- essais et détermination des caractéristiques de composants photoniques
- mise en boîtier de composants photoniques

Articles publiés et exposés

Cette liste de publications est pour l'année civile 2003. Une liste complète de publications, à partir de 1999, est disponible sur le site Web de l'ÉNEM à l'adresse suivante : <http://inms-ienm.nrc-cnrc.gc.ca/>.

Articles dans des publications revues

Chang, S., M. Zhou and C.P. Grover. "Information coding and retrieving using fluorescent semiconductor nanocrystals for object identification", *Opt. Express*, **12**, 143-148 (2003).

Liu, J., Z. Zhang, G.Z. Xiao and C.P. Grover. "Quantitative criterion for quantum interference within spontaneous emission modification of a driven ladder atom", *Journal of Optics B: quantum and semiclassical optics*, **5**, S633-S638 (2003).

Lu, Z.G. and C.P. Grover. "A high-power-conversion-efficiency L-band erbium-doped fiber amplifier", *Acta Optica Sinica*, **23**, 463-464 (2003).

Lu, Z.G. and C.P. Grover. "A power-controllable semiconductor fiber ring laser and its applications", *Acta Optica Sinica*, **23**, 383-384 (2003).

Lu, Z.G., P. Lin and C.P. Grover. "A dynamically gain-flattened erbium-doped fiber amplifier", *Microwave and Optical Technology Letters*, **39**, 8-11 (2003).

Zhang, Z., V. Nawaby and M. Day. "CO₂-Delayed Crystallization of Isotactic Polypropylene: a Kinetics Study", *J. Polym. Sci. Polym. Physics Ed.* **41**, 1518-1525 (2003).

Zhang, Z. and Y.P. Handa. "Polymer mica: layered polymer with nanometer sized interlayer gaps", *Journal of Materials Science Letter*, **22**, 135-137 (2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Coupling fibers to planar waveguide with high-temperature epoxy", *Fiber and Integrated Optics*, **22**, 357-371 (2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Encapsulating Planar Waveguide-Based Photonic Components with Polymer Coatings", *Fiber and Integrated Optics*, **22**, 343-355 (2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Polymers in waveguide packaging", *Acta Optica Sinica*, **23**, 177-178 (2003).

Zhou, M., J. Roovers, G.P. Robertson and C.P. Grover. "Multilabeling biomolecules at a single site: 1. synthesis and characterization of a dendritic label for electrochemiluminescence assays", *Anal. Chem.* **75**, 6708-6717 (2003).

Zhou, M., J. Heinze, K. Borgwarth and C.P. Grover. "Direct voltammetric evidence for a reducing agent generated from the electrochemical oxidation of tripropylamine for electrochemiluminescence of ruthenium tris(bipyridine) complexes", *Chemphyschem.*, **4**, 1241-1243 (2003).

S. Brownstein and **Zhou, M.** "Ring current and steric effects on ¹H chemical shifts of Ru co-ordinated 2,2'-bipyridyl", *Magnetic Resonance in Chemistry*, **41**, 1041-1044 (2003).

Présentations orales invitées

Chang, S., M. Zhou, and C.P. Grover. "Invisible information coding technology for security ID applications", Oral presentation by S. Chang, Pre-proceedings of Symposium on the Role of Academy in the War on Terrorism, SCI, pages 1-2, Orlando, USA (July 2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Packaging of photonic components I: Waveguide coupling", 2003 International Conference on Application of Photonic Technology, Montreal, Canada (May 2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Packaging of photonic components II: Waveguide attachment", 2003 International Conference on Application of Photonic Technology, Montreal, Canada (May 2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Packaging of photonic components III: Waveguide encapsulation", 2003 International Conference on Application of Photonic Technology, Montreal, Canada (May 2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Packaging of photonic components IV: Profile cutting of waveguides", 2003 International Conference on Application of Photonic Technology, Canada (May 2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Packaging of waveguide-based photonic components", ORAP Workshop, Ottawa, Canada (October 2003).

Zhang, Z., G.Z. Xiao, J. Liu and C.P. Grover. "Polymers in waveguide packaging", OECC 2003, Shanghai, China (October 2003).

Zhou, M. and C.P. Grover. "Electrochemiluminescence-based bioanalytical assays for medical diagnostics and homeland security", Invited talk at Biolight 2003 – Canada's First Biophotonics Primer & Workshop, Gatineau, Quebec (November 2003).

Zhou, M., G.P. Robertson, J. Roovers and C.P. Grover. "Bioconjugatable supramolecular assembly with multiple ruthenium(II) tris(bipyridine)

units for bioanalytical applications", 39th IUPAC Congress, Ottawa (August 2003).

Affiches

Zhou, M., J. Roovers and C.P. Grover. "Multilabeling biomolecules at a single site: a prototype label for electrochemiluminescence assay", Second Annual Chemical Biophysics Symposium, Toronto, Canada (April 2003).

Rapports et documents techniques

Lavigne, A. "Design of a High-Power Erbium/Ytterbium Co-Doped Fiber Amplifier", Internship Report, École nationale supérieure de physique de Strasbourg. Supervisors: **Z.G. Lu** and **C.P. Grover** (2003).

Lu, Z.G. and C.P. Grover. "Business Plan of LightLink Technology", NRC Business Case Competition, Ottawa, Canada (2003).

Brevets

S. Chang, M. Zhou et C.P. Grover. "Spectral coding by fluorescent semiconductor nanocrystals for document identification and security applications". Brevet provisoire (É.-U.) 2003.

S. Chang, M. Zhou et C.P. Grover. "Object identification using quantum dots fluorescence allocated on Fraunhofer solar spectral lines". Brevet provisoire (É.-U.) 2003.

M. Zhou, J. Roovers et C.P. Grover. "Dendritic polynuclear metal complexes as electrochemiluminescent labels for bioanalytic assays", Brevet provisoire (Canada) 2003.

Personnel

C.P. Grover, Chef de groupe

Téléphone : (613) 993-2098
Télécopieur : (613) 954-3338
Courriel : chander.grover@nrc-cnrc.gc.ca

Rahul Joshi	
Peng Lin	998-1627
Jiaren Liu	993-6839
Zhenguo Lu	993-1268
Fengguo Sun	998-1743
George Xiao	991-6159
Zhiyi Zhang	993-4198
Ping Zhao	993-7908
Ming Zhou	993-2524

Shoude Chang	
Optics Group	990-9716

Travailleurs invités

Audrey Adnet (Programme d'ingénieures et de chercheuses (PIC) du CNRC)

Rabih Chamoun (étudiant)

Quan Duong (étudiant)

Michael Guerard (étudiant)

Arnaud Lavigne (Programme d'ingénieures et de chercheuses (PIC) du CNRC)

Kevin Rambharose (étudiant)

Joe Rihani (étudiant)

Jacques Roovers	991-6839
-----------------	----------



Photo: Le groupe Mesures de puissance électrique

