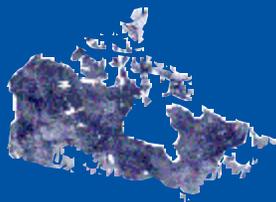




Laboratoire de la technologie des matériaux
de CANMET

Rapport technique

2003 et 2004



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

Nous serons heureux de lire vos commentaires et de répondre à vos questions au sujet du *Rapport technique* et de nos programmes de recherche. Un nombre restreint d'exemplaires de cette publication est disponible gratuitement auprès du :

Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET
Secteur des minéraux et des métaux
Ressources naturelles Canada
568, rue Booth
Ottawa (Ontario)
CANADA K1A 0G1

Téléphone : (613) 992-5095
Télécopieur : (613) 992-8735
Courriel : canmet-mtl@nrcan.gc.ca
Site Web : <http://www.nrcan.gc.ca/canmet-mtl>

Pour obtenir de l'information sur les services offerts à l'industrie par le Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET ou sur les coentreprises avec le Laboratoire, appelez au Bureau de développement commercial du Laboratoire, au (613) 995-8814.

N^o de catalogue : M38-23/2004
ISBN : 0-662-68707-8

Publication autorisée par le ministre des Ressources naturelles du Canada

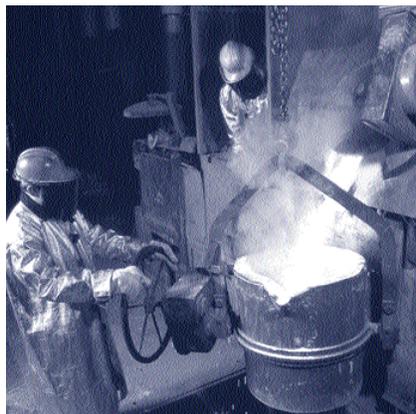
Le Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET ne recommande aucun produit ou fabricant. Des marques de fabrique et des noms de fabricants sont mentionnés dans ce rapport parce qu'ils sont essentiels à la compréhension du texte.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2005.



Le Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET (LTM-CANMET), un organisme de recherche du gouvernement du Canada, possède des installations spécialisées pour faire de la recherche sur les matériaux à base de minéraux et de métaux et évaluer le comportement de ces matériaux. Avec un effectif d'environ 140 personnes (dont 86 p. 100 sont des scientifiques, des techniciens ou des technologues), le LTM-CANMET est unique au Canada, et unique au monde en termes d'échelle et de polyvalence dans une même installation. Le LTM-CANMET est aussi l'organisme qui certifie le personnel effectuant des essais non destructifs au Canada.

Le LTM-CANMET est une division du Secteur des minéraux et des métaux de Ressources naturelles Canada (RNC). Il exerce ses activités et sert la communauté industrielle et universitaire depuis 1942.



RAPPORT TECHNIQUE 2003 et 2004

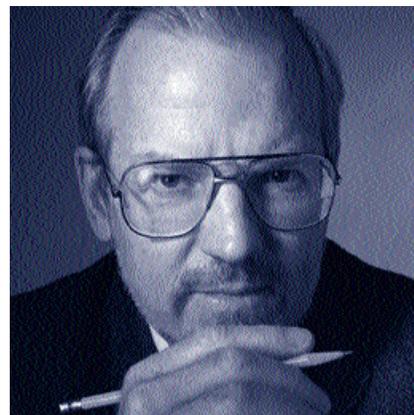
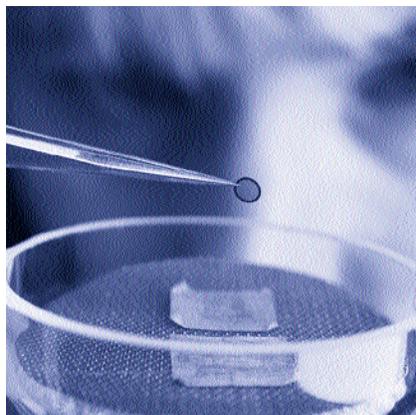
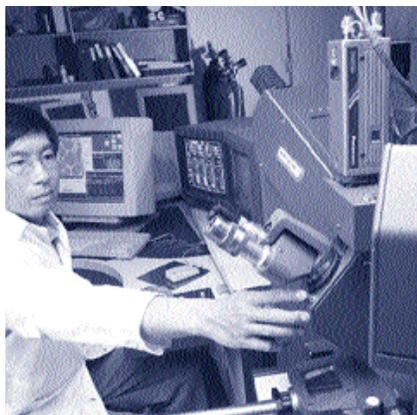


Table des matières

Note de la directrice	5
Aperçu	6
Faits saillants	8
Facilité d'accès aux utilisateurs universitaires	13
Prix et reconnaissance	14
Installations et équipement	16
Activités de recherche	
Matériaux utilisés dans le secteur du transport	18
Béton et autres matériaux de construction	24
Fiabilité des oléoducs et gazoducs à haute pression	28
Amélioration des procédés métallurgiques	31
Organisme de certification en essais non destructifs	33
Sommaire financier	34

Note de la directrice

Dans ce rapport technique, le Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET (LTM-CANMET) décrit ses activités de recherche au cours des années civiles 2003 et 2004. Vous y trouverez un ensemble étonnant de projets scientifiques visant à créer ou à améliorer des matériaux à base de minéraux ou de métaux ainsi que les procédés utilisés pour les produire.

Ces matériaux se retrouvent dans de multiples applications, produits et technologies des principaux secteurs de l'économie canadienne, principalement le transport, la construction et l'énergie. Les activités de recherche du LTM-CANMET sont donc nécessairement variées, mais elles répondent toutes à un critère commun, soit celui d'accroître la compétitivité des compagnies canadiennes qui produisent ou utilisent les matériaux tout en respectant ou dépassant les exigences en matière de sécurité et d'environnement. Le LTM-CANMET contribue ainsi à la réalisation des objectifs de Ressources naturelles Canada, particulièrement dans les domaines du développement durable et du changement climatique.

La façon dont le LTM-CANMET travaille avec ses partenaires internationaux et universitaires est une facette très importante du laboratoire. C'est pourquoi j'aimerais souligner l'inauguration, en 2003, de la Facilité d'accès aux utilisateurs universitaires (FAUU).

La FAUU résulte de l'octroi, par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, d'une subvention d'accès aux installations principales du LTM-CANMET suite à la présentation d'une proposition sous la direction de l'université McMaster et avec l'appui de sept autres universités canadiennes. La FAUU permet aux chercheurs et aux étudiants des cycles supérieurs de toutes les universités canadiennes de se servir

des installations pilotes de traitement des matériaux du LTM-CANMET pour faire de la recherche. Un seul autre laboratoire fédéral canadien a reçu ce type de récompense auparavant, et j'accueille avec enthousiasme les possibilités que la FAUU offre, non seulement aux chercheurs universitaires, mais également aux employés du LTM-CANMET. Nous prévoyons qu'en plus de faire pro-



sciences, en ingénierie, en technologie et en administration. Je vous remercie de prendre le temps de lire notre rapport technique. Nous continuerons de mettre en valeur notre réputation de principal centre de R-D au Canada dans le domaine de la fabrication, du traitement et de l'élaboration des métaux et nous accueillerons avec plaisir la possibilité de discuter de leurs intérêts particuliers avec des parties intéressées, qu'elles se trouvent au Canada ou à l'étranger. Notre Bureau de développement commercial organise sur demande des rencontres avec notre personnel ainsi que des visites de nos laboratoires.

La directrice du LTM-CANMET,

A handwritten signature in black ink that reads "Jackman". The signature is fluid and cursive.

Jennifer Jackman, Ph.D.

gresser la recherche sur les matériaux, les projets de la FAUU créeront des synergies dans les milieux de la recherche universitaire et gouvernementale du Canada, un thème que défend énergiquement Arthur Carty (Ph.D.), nouvellement nommé conseiller national en sciences auprès du Premier ministre. De plus, la FAUU assurera l'acquisition d'une expérience essentielle à des étudiants qui constitueront un jour une force novatrice dans l'industrie canadienne. À l'heure actuelle, quelque 16 projets sont en cours à la FAUU.

Nos réalisations, nous les devons au travail d'une équipe de gestion dévouée et d'un personnel hautement qualifié en

Aperçu

Le LTM-CANMET a pour mandat de développer et de diffuser des technologies qui améliorent tous les aspects de la fabrication et de l'utilisation de produits contenant des minéraux et des métaux. Le LTM-CANMET s'occupe tout particulièrement de trouver des solutions technologiques reliées au mandat de Ressources naturelles Canada (RNC) en matière de développement durable et de faire du transfert de technologie des matériaux auprès des compagnies canadiennes. Environ 50 p. 100 du budget annuel de 14 millions de dollars du LTM-CANMET sont des crédits de services votés, près de 20 p. 100 sont issus d'autres programmes gouvernementaux et quelque 30 p. 100 proviennent de l'extérieur du gouvernement du Canada.

Pour remplir son mandat, le LTM-CANMET polarise sa recherche sur trois secteurs industriels qui sont de grands utilisateurs des ressources naturelles du Canada et qui sont, de ce fait, au cœur du mandat de RNC. Le personnel du laboratoire œuvre en étroite collaboration avec les clients et les parties intéressées de l'industrie du transport (particulièrement les constructeurs de véhicules et les fabricants de pièces et de composants automobiles, qui utilisent de grandes quantités de ressources à base de minéraux et de métaux); de l'industrie de la construction (particulièrement les utilisateurs de ciment et de béton, d'acier de construction et de matériaux en alliage à base de cuivre entrant dans la construction des réseaux de distribution de l'eau); des secteurs de l'industrie de l'énergie qui utilisent des pipelines pour le transport du pétrole et du gaz; du domaine de l'utilisation de matériaux à valeur ajoutée dans la fabrication de piles à combustible et de capteurs pour régulation industrielle.

Le LTM-CANMET exécute aussi diverses activités scientifiques qui profitent au système d'innovation canadien autrement que par des travaux de recherche directs. L'élaboration de méthodes d'essai, de codes et de normes nationales et interna-

tionales liés aux matériaux et aux technologies des matériaux est essentielle pour assurer la sécurité du public, protéger l'environnement et faciliter l'adoption et la diffusion de nouvelles technologies. Ces méthodes, codes et normes sont utilisés dans l'évaluation et la gestion du risque que présentent les matériaux entrant dans l'infrastructure civile et énergétique, les navires maritimes et les ouvrages extracôtiers. Le Conseil canadien des normes et le Bureau des normes du Québec demandent aux spécialistes du LTM-CANMET de vérifier les résultats obtenus par les laboratoires qui demandent à être certifiés. Ces services de vérification sont fournis sur la base d'un recouvrement partiel des coûts.

Le LTM-CANMET polarise sa recherche sur trois secteurs industriels qui sont de grands utilisateurs des ressources naturelles du Canada.

Consortiums et initiatives importants

Pour remplir son mandat, le LTM-CANMET coordonne, gère ou participe à plusieurs initiatives multilatérales qui font appel à des chercheurs de l'extérieur. Ces travaux collectifs représentent une importante contribution à de la recherche qui a une portée stratégique pour le Canada et qui est importante pour l'exécution du mandat du ministre des Ressources naturelles du Canada.

L'Initiative canadienne de recherche sur les matériaux légers (ICRMLé),

qui réunit le gouvernement et l'industrie aux fins de travaux de recherche, a pour mandat de mettre au point des matériaux légers haute résistance afin de réduire le poids des véhicules de transport terrestres. L'ICRMLé finance aussi des projets concernant les procédés de fabrication de ces matériaux, dans le but

d'améliorer la compétitivité des industries canadiennes de production de métaux de première fusion, d'automobiles, de camions, d'autobus et de wagons de chemin de fer, ainsi que des compagnies qui fournissent les pièces à ces industries. L'ICRMLé est coordonnée par le LTM-CANMET et financée par le Programme de recherche et de développement énergétiques (PRDE).

La directrice du LTM-CANMET coordonne les activités liées au thème Matériaux et fabrication (thème C) du Réseau des centres d'excellence d'AUTO21. Ce thème, le plus vaste du programme AUTO21, regroupe plus de 100 chercheurs de 18 universités canadiennes et bénéficie de la participation de nombreux partenaires de l'industrie et du gouvernement. La recherche vise à mettre au point et à améliorer de nouvelles techniques d'utilisation des matériaux légers et à améliorer les méthodes de soudage, d'assemblage et d'usinage utilisées pour ces matériaux.

Le LTM-CANMET adhère à l'**Alliance internationale des métaux légers**, qui inclut le programme CAST (Australie), le LKR Research Centre (Autriche), le GKSS Research Centre (Allemagne) et le Worcester Polytechnic Institute (États-Unis). De plus, le LTM-CANMET représente le Canada dans le cadre de l'**entente de mise en œuvre visant les matériaux pour le secteur du transport** de l'Agence internationale de l'énergie (sous-comité des matériaux légers).

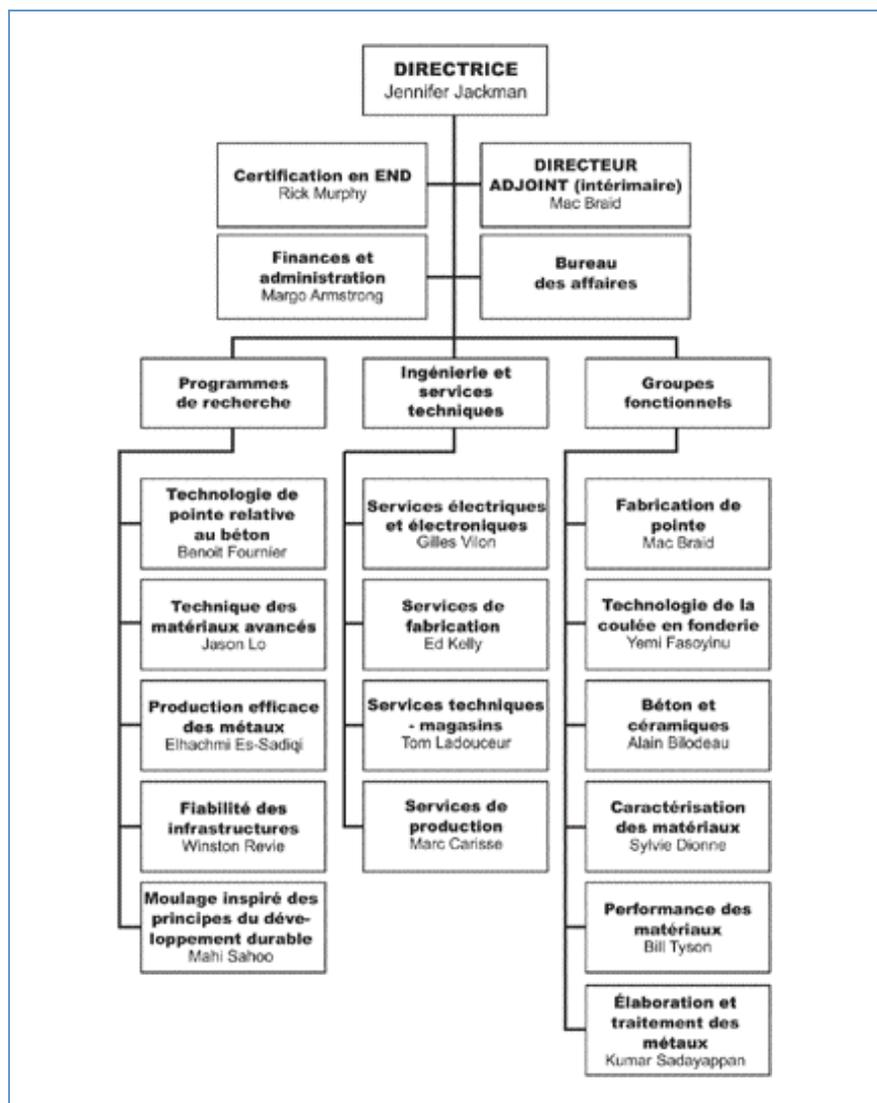
Le LTM-CANMET joue un rôle prépondérant dans le domaine de l'intégrité des matériaux utilisés pour l'infrastructure des oléoducs et gazoducs du Canada. En coordonnant le **programme des pipelines** financé par le PRDE, le LTM-CANMET s'assure que les normes et les règlements canadiens sur les pipelines et le développement de la technologie des pipelines reposent sur des données scientifiques fiables - d'où les vastes travaux de R-D sur l'évaluation des matériaux, la corrosion, la réduction des cassures, les techniques de soudage, de

surveillance et d'inspection. Le LTM-CANMET participe également à un autre consortium, soit le **Consortium des revêtements externes de pipelines prévenant la corrosion et la fissuration par corrosion sous contrainte**, aux côtés de l'industrie et du Conseil national de recherches du Canada.

Le LTM-CANMET favorise l'utilisation des ajouts cimentaires en dirigeant des **projets dans le cadre de consortiums de R-D comparative sur place et en laboratoire**. Les projets ont pour but de trouver des solutions pratiques à deux aspects cruciaux de la durabilité du béton contenant des ajouts cimentaires : la résistance à l'écaillage dû aux fondants et la réaction entre les alcalis et les agrégats (RAA). Les deux consortiums comprennent des représentants du secteur public, soit d'organismes fédéraux, provinciaux et municipaux; du secteur privé, soit de compagnies et d'associations de partout en Amérique du Nord (et d'autres pays dans le cas du projet sur la RAA); et d'universités canadiennes.

Dans le cadre d'un projet international multilatéral, le LTM-CANMET met en œuvre en Inde la technologie du béton à haute teneur en cendres volantes (BHTCV), grâce à un partenariat entre le Canada et la Confédération de l'industrie indienne. Ce transfert de technologie d'une valeur de 4,2 millions de dollars est financé par le Fonds canadien de développement pour le changement climatique, par l'intermédiaire de l'Agence canadienne de développement international. La technologie du BHTCV augmente la capacité de l'Inde de réduire ses émissions de gaz à effet de serre.

Le LTM-CANMET exécute le **Programme canadien de certification en essais non destructifs (END)** en certifiant le personnel qui applique des méthodes non destructives (par exemple, la radiographie industrielle et la technologie des ultrasons) pour inspecter les composants essentiels à la sécurité d'ouvrages d'ingénierie, notamment les aéronefs, les centrales électriques et les pipelines.



L'organisme de certification en END a signé des lettres de coopération avec ses homologues de la Corée du Sud, de la République populaire de Chine, du Japon et du Royaume-Uni.

La **Facilité d'accès aux utilisateurs universitaires (FAUU)** favorise la coopération avec les universités canadiennes à des fins d'innovation dans le secteur des matériaux. Grâce à la FAUU, les chercheurs universitaires canadiens, les boursiers de perfectionnement post-doctoral et les étudiants des cycles supérieurs ont accès aux installations de recherche uniques du LTM-CANMET. La FAUU est financée par le Conseil de

recherches en sciences naturelles et en génie, RNCan et les utilisateurs. La FAUU et ses utilisateurs représentent un réseau coopératif de chercheurs qui se consacrent à l'innovation dans le secteur des matériaux de résistance au Canada.

Faits saillants

Chaque année, le LTM-CANMET fait part de quelque 80 réalisations techniques majeures, issues de ses cinq programmes de recherche. Bien que ces résultats s'inscrivent tous dans un cadre bien défini, les projets qui suivent présentent un intérêt particulier.

Les chercheurs consacrent une grande partie de leurs efforts à de la recherche à contrat pour des entreprises canadiennes et à la participation stratégique à des partenariats de recherche. Pendant la période à l'étude, le personnel du LTM-CANMET a publié 126 rapports pour le compte de clients et pris part à 15 consortiums nationaux et internationaux.

Programme de technologie avancée du béton

Utilisation en Inde de la technologie du béton à volume élevé de cendres volantes (BVECV)

Les cendres volantes sont un sous-produit de la combustion du charbon. En Inde, où la plupart de l'électricité provient de centrales thermiques au charbon, leur accumulation cause un grave problème environnemental. Le LTM-CANMET et la Confederation of Indian Industry ont collaboré à un projet de quatre ans et de quatre millions de dollars financé par le Fonds canadien de développement pour le changement climatique et administré par l'Agence canadienne de développement international (ACDI). Ce projet vise à faire utiliser dans l'industrie indienne de la construction la technologie du BVECV, élaborée par le LTM-CANMET vers le milieu des années 1980. L'utilisation de ce sous-produit industriel comme ajout cimentaire (AC) en remplacement partiel du ciment Portland, principal ingrédient du béton, produit un béton à la signature CO₂ beaucoup plus faible que celle du béton classique.

Depuis le début du projet en août 2002, 11 colloques et ateliers ont été organisés

dans 10 villes indiennes, et plus de 2 000 scientifiques, ingénieurs et employés techniques d'industries, d'universités, du gouvernement central et de gouvernements des États y ont assisté. Un bref cours de formation a été donné à plus d'une centaine d'employés techniques indiens et des réunions de concertation ont été organisées avec plus de 300 responsables du gouvernement central et de gouvernements d'État. Les résultats? Une sensibilité beaucoup plus aiguë à la technologie du BVECV et la volonté d'en faire l'essai dans des projets de construction. De plus, trois ministères du gouvernement de l'Inde ont publié des circulaires qui recommandent l'utilisation d'une plus grande quantité de cendres volantes dans les ouvrages de béton, et deux instituts de recherche du gouvernement central et une université ont lancé des programmes d'adaptation technologique pour garantir un transfert efficace de la technologie du BVECV.

Quatre de 13 projets de démonstration ont pris fin pendant la période à l'étude. Ils aideront beaucoup à faire accepter la technologie du BVECV, en particulier pour les grands projets gouvernementaux. Un de ces projets, le Bandra-Worli Sea Link, est un pont à haubans de 4,2 kilomètres qui relie les districts de Bandra et de Worli. Une partie du pont, faite de béton à volume élevé de cendres volantes, représente la plus grande coulée de ce béton jamais faite, croit-on.

À mesure qu'on en a démontré les avantages environnementaux, techniques et économiques, l'industrie indienne de la construction s'est montrée très réceptive, et les intervenants sont unanimes : le projet BVECV a donné de bons résultats.

Sel de déglacage

Il y a consensus parmi les chercheurs sur le fait que le test C 672 de l'ASTM, qui sert à évaluer la résistance à l'écaillage dû au sel de déglacage, n'est pas au point pour le béton contenant des ajouts cimentaires (AC). Or, comme la plupart des spécifications d'organismes gouvernementaux reposent sur les résultats de ce test, on impose des limites strictes

(habituellement 20 % ou moins) à la proportion d'AC incorporés dans du béton pouvant être exposé à des sels de déglacage. L'utilisation de grandes quantités d'AC dans le béton se trouve limitée dans de nombreuses applications, ce qui agit négativement sur la perception de la performance globale du béton à AC dans l'industrie.

On a terminé une recherche sur des trottoirs d'essai à Montréal afin d'accroître l'acceptabilité générale des AC. À la fin de 2004, des recommandations sur les pourcentages optimaux d'AC dans les applications en contact avec du sel de déglacage ont été préparées et expédiées aux partenaires ainsi qu'aux ingénieurs chargés de la construction d'une route en béton à Edmonton, en Alberta. En 2005, des recommandations seront présentées au comité technique de l'ASTM responsable de la procédure d'essai qui sert à évaluer la résistance du béton à l'écaillage dû au sel, afin de faire modifier la méthode d'essai.

Programme de la technologie des matériaux avancés

Hydroformage et formage à chaud de tubes

L'hydroformage est un processus dans lequel un fluide sous haute pression sert à conférer une forme complexe à un tube. Le formage à chaud, qui emploie du gaz à haute température, est utilisé lorsqu'il faut une pression plus élevée pour donner la forme voulue à des tubes de certaines matières. L'utilisation de ces deux technologies permet non seulement de réduire le poids des véhicules, mais aussi d'accroître leur robustesse et leur rigidité, de combiner plusieurs pièces en une et de réduire les coûts.

Le LTM-CANMET travaille à étendre les utilisations commerciales de l'hydroformage aux métaux légers et aux aciers à très haute résistance. À cette fin, on a élaboré un procédé de soudage à la molette pour la fabrication de tubes d'alliage d'aluminium ou d'acier à haute résistance. En 2004, le LTM-CANMET a fabriqué des tubes d'alliage d'aluminium à

très haute résistance pour les faire évaluer par des partenaires industriels. Il a aussi mis au point une méthode de fabrication de tubes à l'aide de différents aciers haute résistance expérimentaux.

La recherche sur le formage à chaud d'alliages d'aluminium et de magnésium a aussi abouti à d'importants résultats. Des prototypes de tubes d'aluminium et de magnésium ont été produits pour évaluation par des clients, et l'équipe a démontré qu'il est possible de former des pièces à partir de tubes de magnésium. Elle a aussi démontré que la méthode de formage du LTM-CANMET donne des tubes de qualité supérieure à ceux de nombreux autres laboratoires et industries américains et européens. Ces réalisations en hydroformage et en formage à chaud aident beaucoup à accroître l'utilisation de matériaux légers dans la fabrication d'automobiles.

Protection contre la corrosion du magnésium utilisé dans les automobiles

La corrosion des automobiles est un grave problème au Canada et dans le nord-est des États-Unis, la froideur du climat entraînant l'application généralisée de sels de déglacage sur les routes. L'utilisation du magnésium et de ses alliages pour des pièces automobiles promet de réduire le poids des véhicules, mais ces matières ne seront acceptées, en définitive, que si l'on réussit à en empêcher la corrosion. Des chercheurs du LTM-CANMET ont dirigé l'équipe nord-américaine de la corrosion du United States Automotive Materials Partnership dans un projet d'élaboration d'une technologie de production de bâtis moteur en magnésium. Elle a cerné cinq systèmes rentables de protection contre la corrosion et a établi que la corrosion galvanique peut être atténuée au moyen d'attaches et de pièces d'écartement faites de matériaux compatibles. Les chercheurs ont aussi conçu un système de revêtement à trois couches pour protéger les segments en alliage qui subissent des contraintes élevées contre la corrosion sous contrainte et les dommages entraînés par la fatigue due à la corrosion.

Programme de la technologie durable du moulage

Matériaux pour l'industrie minière

Les aciers austénitiques au manganèse sont utilisés pour des applications exigeant une résistance élevée aux chocs et à l'abrasion. Ils servent entre autres à fabriquer du matériel de comminution pour l'extraction du minerai et le traitement des minéraux, des appareils de pulvérisation du charbon pour le secteur de la production d'électricité, des cœurs de croisement de voies ferrées dans le domaine du transport ainsi que des déchiqueteurs à marteaux pour le recyclage des pièces d'automobiles. Ces matériaux sont fragiles dans leur état brut de coulée, mais leur ténacité peut être grandement accrue en les soumettant à un traitement thermique de recuit de solution et de trempe. Toutefois, malgré ces améliorations, un profil renforcé et une trempe incomplète peuvent conférer au matériau des propriétés inadéquates. La mise à l'essai d'échantillons prélevés dans chaque lot d'expédition n'est pas rentable, car ces aciers exigent un usinage complexe. Les chercheurs du LTM-CANMET, de concert avec des intervenants de l'industrie nord-américaine de la fonderie, ont mis au point une méthode fiable et d'emploi systématique qui permet d'établir une relation entre la microstructure de matériaux d'intérêt et leurs propriétés mécaniques. On a aussi élaboré une méthode de régulation du procédé de l'étape de trempe, qui repose sur la mesure de la température de l'eau de trempe lors du traitement des aciers. Les méthodes ont été mises en oeuvre dans cinq fonderies nord-américaines.

Moulage à la mousse perdue

Le moulage à la mousse perdue permet de fabriquer des pièces comprenant des cavités internes de géométrie complexe que les autres techniques de moulage ne peuvent produire qu'avec difficulté. Le Groupe de recherche sur la coulée en fonderie a étudié la faisabilité technique de couler des pièces à parois minces et à formes extrêmement précises à l'aide du procédé de moulage à la mousse perdue.

La coulée sous vide et la coulée basse pression ont aussi été examinées. Les résultats des essais de coulée de l'alliage de magnésium AZ91E indiquent que l'application d'un vide partiel lors du coulage permet d'obtenir des pièces moulées d'une épaisseur de 2 mm, environ la moitié de l'épaisseur habituelle des pièces obtenues à l'aide du procédé classique de coulée par gravité.

Programme de production efficace des métaux

Acier galvanisé TRIP

L'industrie automobile s'intéresse aux aciers laminés à chaud, qui offrent la possibilité de réduire le poids des véhicules et le coût des matériaux. En partenariat avec l'International Lead-Zinc Research Organization et Noranda Inc., le LTM-CANMET a établi une série de paramètres de galvanisation pour certains aciers laminés à chaud. La recherche a permis de cerner les conditions de galvanisation qui produisent des revêtements de bonne qualité sur des aciers laminés à chaud contenant, au poids, de 0,5 à 1,5 % de manganèse et jusqu'à 1,5 % de silicium, tout en maintenant des résistances-cibles à la traction de 500-800 MPa et des elongations de 20 à 25 %, suivant la nuance d'acier.

L'élimination du procédé de laminage à froid de tôles d'une épaisseur de plus de 1,5 mm produira d'appréciables économies d'énergie et réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES). En supposant que 30 % de tout l'acier produit dépasse cette épaisseur, une économie d'énergie de 231 milliards de BTU par année a été calculée de même qu'une réduction d'émissions de CO₂ de 47 000 tonnes par année (d'après la production en 1996 de tôles galvanisées par immersion à chaud par des membres de l'American Iron and Steel Institute). Cette technologie produira d'autres avantages environnementaux puisque la plus grande économie de carburant des véhicules fera aussi baisser les émissions de GES.

Soudage

En consultation avec l'Automotive Steel Partnership, le soudage avec fil-électrode en atmosphère inerte (soudage MIG) doublé du processus STT (surface tension transfer), qui permet une bonne maîtrise de l'arc de soudage, a été retenu pour les essais de soudage d'une série d'aciers avancés à haute résistance (AHSS). Des essais sur plusieurs nuances d'acier AHSS, notamment pour en mesurer le cisaillement par traction, ont donné d'excellents résultats en ce qui a trait à l'intégrité des soudures : les ruptures ductiles se sont produites à l'extérieur de la partie soudée. En raison de la faible chaleur qu'il dégage et de sa grande rapidité, le procédé MIG convient au soudage de minces tôles d'acier léger pour automobiles.

Programme de fiabilité des infrastructures

Systèmes intelligents de surveillance de la fiabilité de l'infrastructure pipelinière (SISFIP)

Avec l'aide de PRECARN Inc., le LTM-CANMET a fait équipe avec deux petites entreprises, Fiber Optic Systems Technology Inc. (FOX-TEK) et TISEC Inc., pour mettre au point les SISFIP. Ceux-ci peuvent surveiller en direct, en temps réel et 24 heures sur 24 des éléments cruciaux d'un pipeline, évaluer son intégrité structurale, dont les changements de pression et de température, la corrosion interne, la fissuration et la propagation des fissures. La gestion des données permet au système de détecter les fuites, le flambage, les déformations, les mouvements du sol, etc. Les SISFIP pourraient se révéler une technologie précieuse qui augmente la sécurité publique et la protection de l'environnement et qui, de plus, protège l'infrastructure pipelinière du Canada, investissement irrécupérable de plus de 15 milliards de dollars. Cette technologie sera le plus utile à certains endroits cruciaux, notamment dans les régions éloignées; elle pourrait aussi servir de système de contre-terrorisme, détectant instantanément tout atteinte à un segment d'un pipeline.

Le projet a pris fin en mars 2004 et la technologie SISFIP a été mise en marché.

Logiciel de contrôle de la corrosion et de gestion des risques des pipelines

La corrosion interne par piquage est à l'origine d'à peu près une défaillance par jour, parmi les pipelines de production canadiens, et nombreux sont ceux qui transportent du sulfure d'hydrogène, gaz très toxique. À l'aide des logiciels Systematic Treatment of Pitting Sequence (SToPS) et Condensate, il est possible de repérer les endroits affaiblis par des piqûres de corrosion. L'utilisation du SToPS aidera les compagnies à réduire le nombre de défaillances des oléoducs et des gazoducs. Ce logiciel sera important pour le pipeline de la vallée du Mackenzie car il peut prédire où s'accumulera l'eau. Il peut aussi servir à trouver les endroits où fixer les capteurs non intrusifs afin de réduire au maximum les risques de corrosion interne à long terme.

Organisme de certification en essais non destructifs

Outre sa fonction principale de certification des personnes qui appliquent des techniques d'essais non destructifs, l'Organisme de certification en END a continué d'élargir ses compétences en certification et en essais non destructifs grâce aux deux réalisations suivantes :

Certification d'opérateurs d'appareils par fluorescence à rayons X

En 2004, en collaboration avec Santé Canada, l'Organisme de certification en essais non destructifs a mis au point un programme de certification des opérateurs d'analyseurs portatifs par fluorescence à rayons X (FRX). En 2004, il a certifié 25 opérateurs FRX conformément aux dispositions de la norme internationale ISO 208072.2003.

Révision de la norme ISO 9712:2005

Plus de 35 pays se servent de la norme internationale ISO 9712 (Essais non destructifs - Qualification et certification du personnel) pour garantir la compétence des inspecteurs d'aéronefs, de

pipelines de pétrole et de gaz et de centrales nucléaires, entre autres. Comme responsable du groupe de travail de l'ISO, Richard Murphy (Ph.D.) du LTM-CANMET a dirigé le processus de révision qui a mené, sur cinq ans, à la production de la norme ISO 9712:2005 en mars 2005.

Brevets

Capteurs d'hydrogène à électrolyte solide conducteur d'ions d'hydrogène

L'hydrogène est un gaz inodore, incolore, très inflammable et même explosif. Toute fuite doit donc être détectée très vite. Dans une économie de l'hydrogène, chaque véhicule alimenté par une pile à hydrogène devra avoir son capteur. Il en ira de même pour les domiciles qui utilisent une pile à hydrogène pour produire de l'électricité : le capteur d'hydrogène sera obligatoire, tout comme l'est actuellement le détecteur de fumée.

Areekattuthazhayil Kuriakose et Nicola Maffei ont obtenu des brevets américain (RE38344) et canadien (226 053) pour un capteur qui détecte la présence d'hydrogène dans un mélange gazeux et en mesure la concentration. Le dispositif en forme de disque comporte un conducteur en céramique à base d'ions hydrogène, couplé, d'une part, à une électrode à base d'argent, et d'autre part, à une électrode à base de métal noble catalytique (p. ex. du platine ou du palladium). La mesure de la tension de sortie entre les deux électrodes permet d'établir la présence d'hydrogène dans un mélange gazeux et de déterminer sa concentration. Plusieurs types d'appareils de surveillance et de détecteurs d'hydrogène ont déjà été mis au point, mais bon nombre d'entre eux ne permettent de détecter que de faibles concentrations d'hydrogène (habituellement de 3 à 4 %) ou ont une faible sensibilité ou de longs temps de réaction. De plus, certains de ces capteurs exigent une alimentation en hydrogène pur comme gaz étalon ou ne fonctionnent qu'à des températures élevées. La conception raisonnablement robuste de notre dispositif pourrait en favoriser l'exploitation commerciale.

Préforme de renforcement pour la production de composites de magnésium et d'autres composites à matrice métallique

Il est clairement établi que de nombreux métaux, particulièrement les métaux légers comme l'aluminium et le magnésium et leurs alliages, ont une résistance mécanique relativement faible. Cette propriété représentait jusqu'à maintenant un inconvénient, malgré les avantages importants que sont leur légèreté et leur soudabilité. Une des méthodes qui permet de compenser la faible résistance d'un matériau consiste à y ajouter un matériau de renforcement afin d'obtenir un composite à matrice métallique. Pour fabriquer le matériau de renforcement, on moule une préforme dont la cohésion est assurée par un liant, généralement un matériau céramique comme la silice. Les techniques de fabrication de composites à matrice métallique sont éprouvées et, bien qu'elles donnent habituellement de bons résultats pour l'aluminium et ses alliages, ce n'est pas le cas du magnésium et de ses alliages. Le magnésium fondu est en effet un matériau très réactif qui, en présence de silice, forme des cristaux d'oxyde de magnésium. Ces cristaux peu résistants et cassants rendent le composite sensible à la fissuration, ce qui en restreint l'utilité, lorsque les applications exigent un matériau de résistance mécanique élevée possédant une très bonne résistance à l'usure.

Jason Lo, Areekattuthazhayil Kuriakose et Raul Santos ont obtenu des brevets américain (6 506 502) et canadien (2 313 865) portant sur l'élaboration d'une préforme de renforcement pour composite à matrice de magnésium. L'utilisation de fluorure de magnésium fritté comme liant dans la préforme permet d'éviter tout problème connu résultant de la forte réactivité du magnésium métallique avec les liants courants comme la silice et l'alumine. La préforme peut aussi servir à renforcer des composites d'aluminium ou d'alliages d'aluminium. La demande du brevet américain précité constituait une demande de continuation du brevet américain n° 6 247 519 obtenu par les inventeurs en 2001.

Dispositif d'essai des électrodes de piles rechargeables

Il est bien connu que le cycle charge-décharge de ces sources d'énergie électrochimiques que sont les piles rechargeables cause des modifications des dimensions de leurs électrodes. Il s'ensuit une dégradation mécanique irréversible du matériau de l'électrode jusqu'à ce que la pile ne puisse plus conserver de charge.

Daniel Martineau et Zbigniew Wronski ont obtenu le brevet canadien 2 329 410 pour la méthode et l'appareil qu'ils ont mis au point afin de mesurer, en temps réel et sur place, le gonflement des matériaux des électrodes de piles. Ce dilatomètre mesure les minuscules changements dimensionnels des électrodes de piles, ces dimensions étant cruciales pour maximiser le fonctionnement, ou encore des électrodes de piles à membrane échangeuse de protons (MEP). Le dilatomètre surveille deux processus concurrentiels : le gonflement réversible de la masse active de l'électrode et son gonflement irréversible, qui ajoute au gonflement cumulatif. Les fabricants de piles ne mesurent que le gonflement cumulatif, indésirable, et seulement après de nombreux cycles de charge-décharge. Contrairement au gonflement irréversible, le gonflement réversible est bénéfique pour le cycle de vie de la pile puisqu'il procure aux espèces chimiques (ions d'hydrogène) un meilleur accès à la masse active de l'électrode. La nouvelle technique de mesure en deux temps peut prolonger la vie des piles.

Dans la même optique, il faudra optimiser le gonflement des assemblages d'électrodes des piles à combustible de type MEP. Il en résultera un meilleur accès à l'hydrogène et un meilleur enlèvement de l'eau pendant la conversion de l'énergie chimique en courant électrique. Une fois de plus, on mesure le gonflement réversible et irréversible (ou cumulatif). Le dilatomètre d'électrode mis au point par le LTM-CANMET peut distinguer entre ces deux composantes. Les inventeurs ont obtenu le brevet américain 6 177 799 B1 en 2001.

Biocapteur de sulfure et sonde de biocorrosion

Sankara Papavinasam, William D. Gould, Winston Revie, Fraser MacLeod, et Michael Attard ont obtenu le brevet américain 6 673 222 pour un biocapteur élaboré au LTM-CANMET et aux Laboratoires des mines et des sciences minérales de CANMET. Détectant la corrosion influencée par les micro-organismes (MIC) dans les pipelines, il devrait pouvoir être utilisé pour tous les problèmes de ce genre. On estime que de 20 à 30 % de la corrosion des pipelines est de ce type, mais il n'existe encore aucun indicateur ni méthode de surveillance faisant autorité. Le biocapteur et la sonde de CANMET peuvent mesurer, instantanément et en direct, l'activité des bactéries réductrices de sulfates, qui sont la cause la plus fréquente de la corrosion influencée par les micro-organismes. Le LTM-CANMET s'efforce maintenant de fabriquer ces sondes à plus grande échelle pour les faire vérifier en laboratoire et valider sur le terrain.

Publications

La publication dans des livres, des revues évaluées par des pairs et des actes de conférences est la principale façon de communiquer les résultats de recherche dans la collectivité scientifique mondiale. En 2003 et 2004, le personnel scientifique et technique du LTM-CANMET a contribué à la base de connaissances en science des matériaux par la publication de 65 articles revus par un comité de lecture dans des revues évaluées par des pairs, des actes de 94 ateliers et conférences revus par un comité de lecture, et de 3 livres.

Formation d'un personnel hautement qualifié

En 2004, 7 employés du LTM-CANMET ont été professeurs auxiliaires dans des universités canadiennes. La formation de 20 employés hautement qualifiés (dont des étudiants étrangers, des détenteurs de bourses d'études postdoctorales, des professeurs invités et des étudiants travail-

lant dans le cadre de la Facilité d'accès aux utilisateurs universitaires) a également été assurée.

international des laboratoires d'essai de matériaux.

Tâches techniques

Le personnel scientifique du LTM-CANMET agit aussi comme évaluateur de propositions de recherche soumises à des institutions subventionnaires, par exemple, le Programme d'aide à la recherche industrielle du Conseil national de recherches du Canada, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, la Fondation canadienne pour l'innovation et le Fonds d'innovation de l'Atlantique. À ce titre, il formule des commentaires sur les propositions et des recommandations quant au financement. Le personnel du LTM-CANMET contribue ainsi à l'efficacité avec laquelle les fonds de recherche du gouvernement sont dépensés.

Aux niveaux national et international, des membres du personnel du LTM-CANMET siègent à des comités techniques, où ils fournissent des conseils scientifiques à l'égard de préoccupations touchant l'industrie. Le LTM-CANMET exécute ces travaux également dans l'ensemble de la collectivité technique, qui bénéficie non seulement de ses compétences scientifiques et techniques, mais également de son impartialité dans le domaine de l'élaboration des normes. De plus, des membres de son personnel font partie de comités chargés d'organiser des conférences, ce qui facilite le transfert de la technologie à l'industrie.

En 2004, le personnel du LTM-CANMET a participé aux activités de 32 organismes et comités scientifiques nationaux et internationaux, notamment l'Association canadienne de normalisation, l'American Society for Testing and Materials, la National Association of Corrosion Engineers, l'American Foundry Society, la Conférence des métallurgistes, l'ASM International, l'Institut international de la soudure, l'International Microscopy Society, l'Organisation internationale de normalisation et le Réseau

Facilité d'accès aux utilisateurs universitaires

En septembre 2003, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) a accordé une subvention d'accès aux installations principales du LTM-CANMET à un groupe de chercheurs de huit universités dirigé par le professeur David Wilkinson, de la McMaster University. Aux termes de l'entente entre cette université, le CRSNG et RNCAN, les chercheurs de toutes les universités au Canada peuvent demander d'avoir accès à des installations de recherche pilotes et à de l'équipement du LTM-CANMET. Les propositions doivent s'inscrire sous l'un des quatre thèmes : acier, métaux légers, béton, et nouveaux matériaux et composites.

La subvention, d'une durée de quatre ans, est évaluée à 265 000 \$ par année. Ce n'est que la deuxième fois que l'accès à une installation fédérale hors-campus est accordé. Cela représente pour de nombreux universitaires une reconnaissance importante de l'excellence du LTM-CANMET. Les sommes proviennent de trois sources, dont approximativement 35 % du CRSNG, 10 % des clients universitaires et 55 % de RNCAN.

Après l'élaboration d'un processus de sélection et d'examen des propositions, le premier projet a été approuvé en janvier 2004. À la fin de l'année financière 2004-2005, quelque 17 projets de 9 universités situées dans 5 provinces étaient en cours. De plus, 13 propositions représentant un ajout de 5 universités sont en préparation. Les projets approuvés consistent en des recherches sur les oléoducs et les gazoducs, les matériaux utilisés en construction automobile et les métaux de première fusion.

Le nombre de visites au site Web de la FAUU (http://www.rncan.gc.ca/smm/canmet-mtb/fauu/default_f.htm) a approché les 6 000 depuis octobre 2003. Des plans sont en cours en vue de la création d'un Groupe des utilisateurs de

Projets approuvés au 31 mars 2005

Titre du projet	Chercheur	Université
• Prévention de la corrosion de nouveaux alliages de magnésium	E. Ghali	Université Laval
• Effet des paramètres et des défauts de moulage sur la fatigue d'alliages de magnésium moulés	M. Mahfoud	University of Saskatchewan
• Formage au gaz chaud de tubes en polymère	M. Jain	McMaster University
• Déformation à chaud sous forte contrainte d'aciers à haute résistance	M. Militzer	University of British Columbia
• Soudage par induction d'aciers de nouvelle génération pour les véhicules automobiles	L. Mallory	Queen's University
• Endommagement et ductilité de composites	D. Wilkinson	McMaster University
• Effet de l'agitation sur la fonte d'alliages Al-Si destinés au secteur de l'automobile	R. Ghomaschi	Université du Québec à Chicoutimi
• Cinétique de la précipitation dans des aciers microalliés pour tuyaux	D. Ivey	University of Alberta
• Formabilité de matériaux de pointe pour tuyaux	M. Worswick	University of Waterloo
• Aciers de pointe à très haute résistance	S. Yue	Université McGill
• Métaux légers ayant tendance à se déchirer à chaud	R. Smith	Queen's University
• Amorçage de la fissuration des pipelines provoquée par l'environnement en milieu à pH quasi neutre	R. Eadie	University of Alberta
• Fissuration par corrosion sous contrainte de l'acier des pipelines	J. Luo	University of Alberta
• Effet de la préparation des éprouvettes de jets d'ions focalisés sur certains minéraux	R. Herd	University of Alberta
• Fissuration d'aciers pour pipeline causée par l'hydrogène	A. Alfantazi	University of British Columbia
• Développement de la technologie du revêtement métallique pour certains aciers	J. McDermid	McMaster University

la FAUU, qui tiendrait sa première réunion à la Conférence des métallurgistes de 2005, à Calgary.

Une trentaine d'universités situées au Canada possèdent une forme quelconque de capacité de recherche sur les matériaux et près de la moitié d'entre elles ont recours à la FAUU. C'est donc dire que la communauté canadienne de la science des matériaux est de plus en plus consciente des capacités uniques du LTM-CANMET

dans les domaines de l'évaluation et du traitement des matériaux.

Prix et reconnaissance

Toute organisation scientifique voit dans l'attribution de prix une importante marque de reconnaissance des capacités de son personnel. Cela est d'autant plus vrai lorsque la compétence des chercheurs et des techniciens est reconnue par leurs pairs. Pendant la période de deux ans qui nous occupe, le personnel du LTM-CANMET s'est vu décerner 13 prix nationaux et internationaux dont nous vous présentons ci-dessous un aperçu.

Prix de réalisation technique de la NACE : Winston Revie (Ph.D.), gestionnaire de programme au Programme de recherche sur la fiabilité de l'infrastructure, a reçu le prix de réalisation technique de 2004 de la Corrosion Society de la NACE International. Le prix reconnaît les réalisations en génie de la corrosion qui ont des retombées importantes sur la pratique de la réduction de la corrosion ou l'amélioration de la profession. M. Revie a mérité ce prix parce qu'il a effectué des travaux de recherche exceptionnels dans le domaine de l'intégrité des pipelines et qu'il favorise le partage des

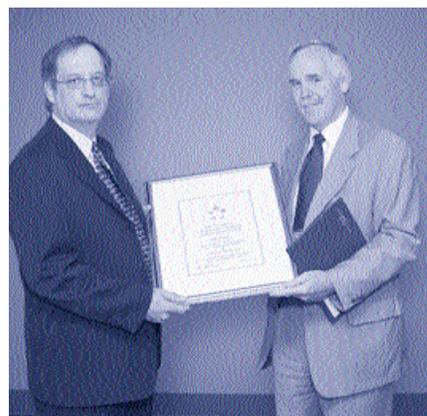
Winston Revie, Ph.D.



connaissances en organisant depuis 1993 une série d'ateliers sur les pipelines qui se tiennent à Banff, en Alberta.

Poste de conférencier M. Brian Ives de l'American Society of Materials (Canada Council) : Mis en nomination par la section de la vallée de l'Outaouais de l'ASM International, M. Revie (Ph.D.) s'est vu octroyer le poste de conférencier M. Brian Ives de 2004-2005 du Canada Council de l'American Society of Materials (ASM). Il donnera des conférences aux sections canadiennes de l'ASM International. Ses conférences porteront sur la R-D visant les oléoducs et les gazoducs, les tendances dans la R-D sur la corrosion et les systèmes intelligents conçus pour assurer la fiabilité de l'infrastructure des pipelines.

Prix du Programme de coopération technique : Jim Gianetto, ingénieur technologue accrédité et chef de projet principal dans le Groupe de la fabrication de pointe, a reçu en 2003 un prix du Programme de coopération technique pour sa contribution au projet sur le soudage à faible apport de chaleur du nickel-aluminium-bronze et de matériaux connexes. Il a fait partie d'une équipe de 10 coauteurs qui ont reçu ce prix pour avoir contribué à l'avancement du savoir scientifique et à la validation de concept en vue de l'utilisation sûre du placage par soudage au laser pour réparer, fabriquer et



Jim Gianetto (à g.) recevant un prix du Programme de coopération technique que lui remet L. J. Leggat (Ph.D.), sous-ministre adjoint, S.-T., ministère de la Défense nationale.

prolonger la durée de vie des composants en nickel-aluminium-bronze des navires de guerre et des sous-marins.

Prix de reconnaissance de la CSA : Mac Braid (Ph.D.), chef du Groupe de la fabrication de pointe, a reçu le prix de l'Association canadienne de normalisation (CSA) pour son leadership et sa contribution technique à l'élaboration de deux normes. La série de normes S470, qui régissent la conception, la fabrication et l'exploitation des ouvrages pétroliers et gaziers extracôtiers, fournit les exigences minimales à respecter pour assurer la sécurité du public, des travailleurs et de

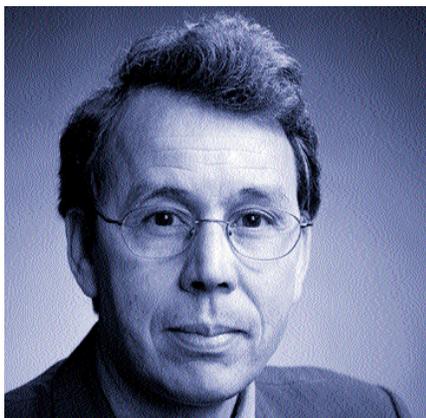
Mac Braid, Ph.D.



l'environnement. La norme S473, qui s'applique aux ouvrages extracôtiers fixes constitués d'acier, comprend des clauses sur le soudage, la fatigue, les matériaux et la réduction de la cassure qui sont basées sur la recherche du LTM-CANMET (et de M. Braid). La nouvelle édition comporte plusieurs améliorations, dont les impératifs d'essais pour l'échantillonnage du matériau de la zone thermiquement affectée.

Prix Morris Cohen :

La Section du comportement et de l'intégrité des matériaux de la Société métallurgique a décerné ce prix à Mimoun Elboujdaini (Ph.D.), du Groupe de la performance des matériaux, pour sa contribution à l'avancement de la science et du génie de la corrosion au Canada. Le prix se veut un moyen d'honorer la mémoire de Morris Cohen, éminent scientifique canadien et expert de renom dans le domaine de l'électrochimie.



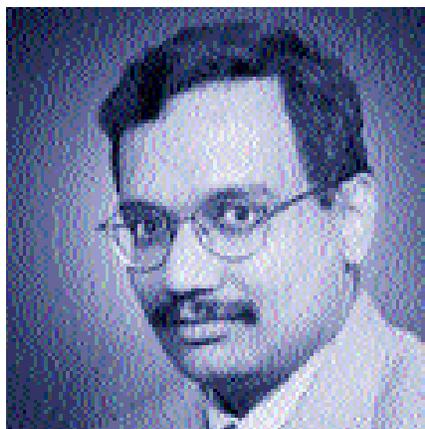
Mimoun Elboujdaini, Ph.D.

Prix du meilleur article de la Magnesium Division de l'American Foundry Society : Jim Thomson, Yemi Fasoyinu (Ph.D.), Kumar Sadayappan (Ph.D.) et Mahi Sahoo (Ph.D.), du Groupe de la technologie de la coulée en fonderie, recevront ce prix étant donné que leur article sur les caractéristiques du coulage de l'alliage au magnésium AZ91E dans le moulage en coquille a contribué à l'avancement des fonderies de magnésium. L'article décrit les travaux faits au

LTM-CANMET qui ont permis d'établir les caractéristiques du coulage d'un alliage au magnésium par le procédé de moulage en coquille.

Prix du mérite scientifique de l'AFS :

Kumar Sadayappan (Ph.D.), chef du Groupe de l'élaboration et du traitement des métaux, recevra le prix du mérite scientifique de l'American Foundry Society (AFS) pour sa contribution exceptionnelle à la mise au point d'un alliage au cuivre sans plomb, au moulage en coquille d'un alliage au cuivre, aux techniques de coulage de métaux légers et au transfert de techniques à des fonderies de métaux non ferreux. Ce prix est la plus haute distinction remise par l'AFS à ses membres.

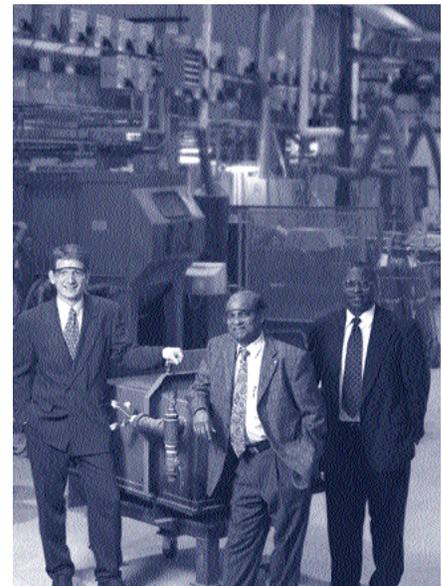


Kumar Sadayappan, Ph.D.

Prix au mérite du Secteur des minéraux et des métaux de Ressources naturelles Canada (RNCAN) : Alain Bilodeau, chef du Groupe du béton et des céramiques, a reçu un prix au mérite du Secteur des minéraux et des métaux pour son travail de promotion de l'utilisation du béton à volume élevé de cendres volantes lors de la construction du Liu Centre for Global Studies (Vancouver, C.-B.). À titre de chef de projet à RNCAN, M. Bilodeau a donné des conseils sur la composition du béton utilisé dans la construction du Centre.

Prix au mérite du Secteur des minéraux et des métaux de Ressources naturelles Canada :

Mahi Sahoo (Ph.D.), gestionnaire du Programme de recherche sur la technologie durable du moulage, Yemi Fasoyinu (Ph.D.), chef du Groupe de la technologie de la coulée en fonderie, et Peter Newcombe, superviseur de fonderie, ont reçu un prix au mérite du Secteur des minéraux et des métaux pour leur contribution à la mise au point d'une méthode de coulage sous vide d'alliages au magnésium pour le compte d'Haley Industries, d'Haley, en Ontario. Leurs travaux ont permis de réduire les défauts dans les pièces coulées aérospatiales ainsi que le taux de débris métalliques et d'accroître la durée de vie de ces pièces.



Prix du Secteur des minéraux et des métaux : (de g. à d.) Peter Newcombe, Mahi Sahoo, Ph.D., Yemi Fasoyinu, Ph.D.

Installations et équipement



Laboratoire expérimental de coulée : Cette image à intervalle montre le piquage et la coulée de 200 kg de fonte grise. La poche de coulée (à droite au premier plan) est d'abord préchauffée au chalumeau. Trois employés de la fonderie (à droite) piquent le fer en fusion provenant d'un four à induction. Quatre employés de la fonderie (à gauche) versent ensuite le fer en fusion dans des moules en sable, pendant qu'un scientifique (à l'extrême gauche) note ses observations. Les moules contiennent une préforme en céramique qui deviendra partie intégrante de la pièce moulée définitive. La céramique sert à renforcer sélectivement des sections particulières de la pièce moulée afin d'en améliorer la résistance à l'usure. Parmi les autres équipements visibles sur cette image, notons une machine de coulée basse pression (arrière-plan, à droite; 120 kg d'aluminium; 80 kg de magnésium); un four à induction sous vide de 220 kg (acier) (au centre); un four à induction basculant de 100 kg (acier) (à l'extrême gauche); et un four à induction équipé d'un mécanisme d'expulsion du creuset (à l'extrême gauche), pour les alliages non ferreux (120 kg de laiton; 40 kg d'aluminium).).



Laboratoire d'essais mécaniques : On peut voir dans cette partie du Laboratoire d'essais mécaniques de 350 m² (4 000 pi²) des dispositifs d'essai universels dont la capacité atteint dans certains cas 1 000 kN. Ce laboratoire effectue de nombreux essais, entre autres, des essais de traction, de compression, de flexion, d'adhésion et de ténacité, pour répondre aux besoins des cinq programmes de recherche du LTM-CANMET. Le Groupe des essais mécaniques exécute également des essais de choc instrumentés, des essais d'arrachement par chute d'un poids, des essais de rupture circulaire/annulaire en traction (ce type d'essai a été mis au point par le LTM-CANMET pour mesurer les propriétés mécaniques transversales des tubes hydroformés), des essais de résilience Charpy, des essais de fatigue et des essais de dureté.



Laboratoire de formage des métaux : Le Laboratoire de formage des métaux du LTM-CANMET, qui a une superficie de 565 m² (5 500 pi²), est équipé d'une grande variété d'appareils de formage des métaux. Il possède par exemple un laminoir réversible Dominion de 450 kN; un laminoir à chaud réversible Stanat; un plastomètre à cames à vitesse de déformation élevée (200 s⁻¹); un dilatomètre de trempe de 45 kN pour la mesure de la déformation; un Gleeble 2000 offrant une température de 10 000°C/s; une presse Interlaken de formage au gaz chaud/d'hydroformage de 500 t; une presse de forgeage liquide de 100 t; de 2 à 4 machines de rétrécissement à chaud et à froid; 3 presses hydrauliques (75, 200 et 500 t); et 5 fours à température variable (de 20 °C à 1 250 °C).



Matériaux utilisés dans le secteur du transport

Réduire le poids des véhicules automobiles est la solution la plus facile et la moins chère pour les constructeurs de véhicules automobiles qui désirent diminuer la consommation de carburant et les émissions de leurs produits. La réduction du poids présente des avantages pour tous les types de véhicules automobiles, peu importe qu'ils soient alimentés aux combustibles fossiles, aux piles à combustible, à l'électricité ou aux biocarburants.

En général, on réduit le poids d'un véhicule automobile en substituant à des matériaux classiques des matériaux de plus grande résistance mais de même densité ou des matériaux de densité inférieure mais de résistance similaire. Dans le premier cas, on a besoin d'une plus petite quantité de matériau (d'acier à haute résistance par exemple); dans le second cas, le rapport résistance-poids plus élevé des métaux légers (aluminium, titane, magnésium) a pour effet de réduire directement le poids. De nouvelles méthodes de soudage, de formage ou d'assemblage peuvent, elles aussi, réduire le poids des véhicules automobiles en permettant des modifications de la conception et en abaissant la quantité de matériau nécessaire pour les structures rigides. Par exemple, l'hydroformage - un procédé de formage des métaux qui utilise un fluide haute pression pour donner la forme requise aux tubes ou aux tôles - permet une hausse de la résistance et de la rigidité ainsi qu'une consolidation des pièces et réduit les coûts.

Toutefois, par rapport à l'acier, les métaux légers ne sont pas aussi résistants, sont plus difficiles à former et à souder, sont plus touchés par la fatigue et, dans le cas du magnésium, par la corrosion. Pour que ces matériaux puissent servir à la construction des véhicules automobiles, il faut

créer de nouveaux alliages et de nouveaux matériaux qui ont des propriétés améliorées et homogènes, notamment des matériaux moulés, des matériaux ouvrés (tôles, extrusions et pièces forgées), des composites et d'autres matériaux très nouveaux qui sont renforcés par l'ajout de poudre et de fibres et qui sont laminés. De plus, les méthodes utilisées pour construire les 45 millions d'automobiles produites annuellement dans le monde doivent être peu coûteuses, rapides, automatisées, fiables et efficaces. Il faudra exécuter beaucoup de recherche pour que les matériaux légers pénètrent pleinement le marché. Comme les pressions ne cessent de croître à l'échelle mondiale pour que les véhicules automobiles soient éconergétiques, ces recherches peuvent éventuellement se traduire par des gains importants.

La réduction du poids présente des avantages pour tous les types de véhicules automobiles, peu importe qu'ils soient alimentés aux combustibles fossiles, aux piles à combustible, à l'électricité ou aux biocarburants.

Plusieurs nations (par exemple, les États-Unis, l'Allemagne, l'Australie, le Japon, la Chine et l'Inde) s'attaquent vigoureusement à la réalisation de programmes de R-D sur les matériaux légers et les financent bien.

Le secteur du transport offre d'importantes possibilités d'utiliser des minéraux et des métaux dans des applications non structurales, par exemple pour fabriquer des capteurs en céramique et des membranes de pile à combustible et pour

stocker de l'hydrogène sous forme d'hydrures métalliques. Ces applications peuvent nécessiter de grandes quantités de minéraux et de métaux. Par exemple, l'on estime qu'un système de stockage d'hydrure pourrait nécessiter jusqu'à 100 kg de magnésium par véhicule automobile.

Les projets mentionnés ci-après témoignent de l'approche pluridisciplinaire du LTM-CANMET pour mettre au point de la technologie qui permettra aux compagnies canadiennes de tirer avantage du besoin de réduire le poids des véhicules automobiles.

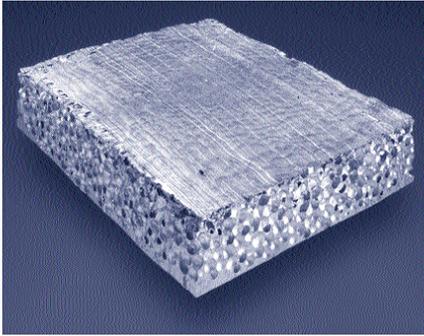
Nouveaux matériaux pour les composants automobiles

Matériaux composites à matrice métallique

Des procédés spécialisés qui utilisent des matériaux composites offrent de nouvelles possibilités de réduire le poids des véhicules automobiles. Le poids moyen d'un disque de frein classique est de 5 kg. Le LTM-CANMET est en train de développer des prototypes de disques de frein en aluminium et en céramique qui pèsent 2,1 kg, et sont de ce fait 60 % plus légers que les disques classiques, et qui devraient durer six fois plus longtemps que ces derniers. Des disques de frein commerciaux sont maintenant fabriqués entièrement dans une installation équipée à cette fin et au moyen de matériaux brevetés au nom du LTM-CANMET.

Traitement de la poudre de titane

Le titane peut être utile dans la construction des véhicules automobiles parce qu'il est léger et a une résistance mécanique élevée et une résistance à la corrosion excellente. Le moulage par injection de poudre métallique (MIPM), qui est un procédé dérivé du moulage par injection plastique, est utilisé dans la production en série de composants de formes complexes. Le moulage par injection donne



La taille des alvéoles de ce plastique d'aluminium à alvéoles fermés fabriqué au LTM-CANMET est uniforme. Il doit absolument en être ainsi pour que les propriétés mécaniques du matériau soient prévisibles.

presque leur forme finale aux composants (leur finition est quasi immédiate). Ce type de moulage convient donc à la fabrication de pièces en alliages de titane et d'autres pièces métalliques qui ne peuvent être usinées facilement. En outre, le MIPM est peu dispendieux parce que les résidus de métaux et les activités de transformation secondaires sont réduits au maximum.

Les techniques dont nous disposons actuellement pour fabriquer les poudres servant au moulage par injection sont dispendieuses, mais la réduction du coût de production de la poudre de titane bénéficie d'une attention mondiale et de nouveaux procédés de production laissent entrevoir des progrès révolutionnaires. Durant la période de référence, le LTM-CANMET a créé un liant et un procédé de déliement par solvant pour le moulage par injection de poudre de titane. Des travaux sont en cours pour vérifier l'efficacité du procédé avec de la poudre de titane bon marché.

Mousses métalliques

Les mousses métalliques constituent une nouvelle classe de matériaux qui sont utilisés dans différents domaines industriels, entre autres ceux du transport, de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction, des secteurs où de tels matériaux sont grandement appréciés pour certaines de leurs propriétés comme la légèreté et un rapport rigidité/poids élevé, leurs capacités

d'absorption des chocs et du son, d'amortissement des vibrations et de résistance au feu, ainsi que leur faible impact sur l'environnement. La plus prometteuse des mousses métalliques est celle d'aluminium, qui se caractérise par une masse volumique ($\sim 0,3 \text{ g/cm}^3$) et un point de fusion ($\sim 660 \text{ }^\circ\text{C}$) peu élevés. Des propriétés de ce genre facilitent le traitement du matériau et le choix des agents moussants, la température de décomposition se situant dans une plage de 500 à $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Au cours de la période visée, deux techniques de traitement des mousses métalliques ont été élaborées au LTM-CANMET. Ces nouvelles capacités permettent au laboratoire d'offrir une aide accrue à l'industrie canadienne dans le domaine de la production de matériaux de ce type.

Composites de magnésium

Bien que les alliages de magnésium possèdent une faible masse volumique, leurs propriétés mécaniques, particulièrement à des températures élevées ($> 150 \text{ }^\circ\text{C}$), n'en font pas des matériaux parfaits pour le secteur automobile. Lors d'une récente réunion avec les membres du US

Automotive Materials Partnership au sujet des propriétés souhaitables d'un prototype de bâti moteur en magnésium, une des principales préoccupations exprimées par les intervenants était que certaines zones du bâti devront être renforcées afin de résister à des températures de l'ordre de $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Une des solutions consisterait à accroître l'épaisseur de la paroi du composant, ce qui augmenterait toutefois le poids du bâti.

Il existe cependant une solution de rechange, soit l'élaboration d'une technologie ou de techniques qui permettent de renforcer uniquement les zones moins résistantes d'un composant. Un des nouveaux moyens de réaliser le renforcement localisé de composants d'automobile en magnésium consiste à élaborer une préforme ou une pellicule hautement poreuse pouvant être intégrée sous forme de partie rapportée dans une coquille, lors du moulage d'un composant automobile. La préforme ou pellicule poreuse se composera de particules fines de céramique

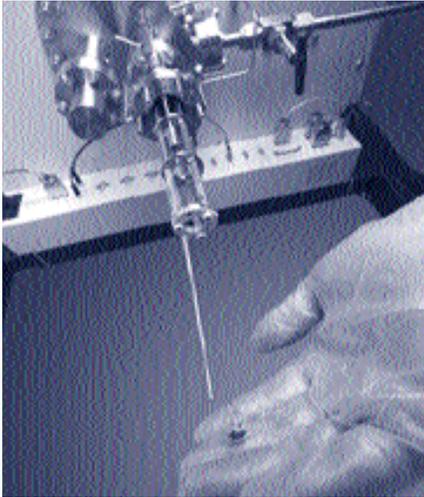
(vraisemblablement des nanoparticules) et d'autres constituants qui faciliteront l'imprégnation de l'alliage de magnésium lors de l'étape de moulage. La technique permet d'obtenir un produit de magnésium comportant un composite localisé et possédant de bien meilleures propriétés à températures élevées.

Au cours de la période visée, un nouveau procédé de fabrication de composites à base de magnésium a été élaboré au LTM-CANMET. Une demande de brevet a été déposée au Bureau des brevets des États-Unis (US Patent Office). Les chercheurs du LTM-CANMET ont aussi élaboré un composite de magnésium plus léger et plus résistant, possédant un module beaucoup plus élevé que les alliages d'aluminium corroyés. Le module élevé du matériau lui confère une meilleure résistance au fluage, une propriété importante pour les applications à haute température dans l'industrie automobile.

Matériaux pour la technologie des piles à combustible

Technologie de revêtement de pointe pour les systèmes de refroidissement des moteurs automobiles à pile à combustible

Les nouvelles piles à combustible, comme la pile à membrane échangeuse de protons (MEP) nécessiteront des systèmes de refroidissement spécialisés. Les échangeurs thermiques doivent être résistants à la corrosion et aussi à la contamination qui peut se produire lors du fonctionnement de la pile à MEP. Dans le cadre d'un projet avec la Long Manufacturing Division de Dana Corporation, située à Oakville, en Ontario, le LTM-CANMET a fabriqué des prototypes d'échangeurs thermiques et les a essayés à des stations d'essai de pile à combustible. L'analyse a révélé la formation de corrosion dans l'échangeur thermique, mais une bonne partie du produit de corrosion provenait d'autres composants de la pile à combustible, non pas de l'échangeur thermique. Des revêtements sol-gel modifiés ont été mis au point et l'essai de ces revêtements optimisés a montré qu'ils fournissent une protection



Ce modèle d'analyseur gravimétrique intelligent d'hydrogène est utilisé pour déterminer la capacité d'emmagasinage et les caractéristiques de la charge-décharge des matériaux utilisés pour emmagasiner l'hydrogène, par exemple, dans les piles à combustible.

importante dans l'environnement de la pile à combustible.

Matériaux légers de gestion thermique

Le reformage, à bord des véhicules automobiles, de carburants hydrocarbonés ou à base d'alcool est l'une des façons d'obtenir l'hydrogène nécessaire aux piles à combustible. Les reformeurs fonctionnent à des températures élevées (450-750 °C) et nécessitent des composants durables, donc faits de matériaux qui ne se dégraderont pas dans ces conditions de fonctionnement. De plus, les matériaux doivent offrir un bon rapport coût-efficacité, être légers et résister au tassement. La Long Manufacturing Division de Dana Corp. et le LTM-CANMET ont déterminé la durabilité à haute température de certains matériaux et les mécanismes de dégradation de ces matériaux. Plusieurs matériaux susceptibles de convenir ont été sélectionnés. La réaction des matériaux au cycle thermique et la variation de la composition des gaz durant le procédé ont été reconnus comme étant des enjeux critiques pour le rendement.

Nouveaux matériaux nanophases pour un stockage perfectionné de l'hydrogène à l'état solide

Les automobiles alimentées à l'hydrogène doivent contenir assez d'hydrogène pour avoir une autonomie de 500 km. Le stockage sécuritaire de l'hydrogène dans l'automobile est donc un élément critique. La plupart de la recherche effectuée dans le monde à ce sujet concerne l'entreposage de l'hydrogène à l'état de gaz comprimé. Le LTM-CANMET et l'Université de Waterloo créent présentement un composé solide qui stockera et libérera au moins 6,5 % d'équivalent en poids de l'hydrogène, ce qui donnera à l'automobile une autonomie de 500 km.

Durant la période de référence, l'équipe chargée de ce projet a mis au point un nouveau procédé qui a permis de produire un nouvel hydrure de magnésium et de fer offrant une capacité de stockage de 5,5 % d'équivalent en poids de l'hydrogène. Cette nouvelle technologie a ceci d'essentiel et d'unique qu'elle comporte la formation de structures nanométriques par broyage mécanique de métaux dans une atmosphère d'hydrogène, dans un broyeur à boulets à haute énergie. La synthèse d'un hydrure de magnésium et d'aluminium à partir des diverses poudres métalliques est aussi en cours de réalisation. De nouvelles installations ont été construites pour caractériser les hydrures métalliques susceptibles de convenir au stockage de l'hydrogène dans les automobiles à pile à MEP.

Capteur d'hydrogène pour pile à oxyde solide

Toute fuite d'hydrogène doit être rapidement décelée parce que ce dernier est inodore, incolore, hautement inflammable et susceptible d'exploser. À l'aube d'une économie de l'hydrogène, nous avons besoin d'un capteur d'hydrogène pour les véhicules automobiles alimentés à ce gaz. Un prototype de capteur d'hydrogène pour pile à oxyde solide a été mis au point et des brevets des États-Unis et du Canada ont été délivrés durant la période de référence. Armstrong Monitoring Corp., de Nepean, en Ontario, est en train de

déterminer si le capteur peut être commercialisé.

Coulée des métaux légers

En général, les procédés de coulage commerciaux utilisent des moules en sable et en métal réutilisables ainsi que des répliques en cire et en mousse non réutilisables. Les taux de production du moulage au sable sont environ dix fois plus élevés que ceux du moulage en coquille. Cependant, le fini de surface des pièces moulées en coquille est supérieur à celui des pièces moulées au sable et nécessite de ce fait moins de travaux de finition. Il arrive que la coulée en mousse perdue soit le seul procédé qui permette de fabriquer des pièces aux cavités internes complexes. Il est essentiel de comprendre les limites et les capacités de chacune de ces techniques et de documenter en détail les caractéristiques de la coulée des nouveaux alliages si l'on veut que l'industrie de l'automobile accepte ces alliages. La recherche au LTM-CANMET a surtout porté sur la création ou l'amélioration de la régulation des procédés, l'amélioration de la performance et de la fiabilité des produits, et la production de pièces coulées à paroi plus mince.

Affinage du grain du magnésium

L'ingénierie de la structure du grain est l'une des avenues qui permettent d'améliorer la résistance mécanique, la ductilité, et la résistance à la corrosion et à la fatigue. On entend par affinage du grain l'utilisation d'un additif pour réduire la taille finale du grain durant la solidification. Des chercheurs du LTM-CANMET ont réalisé que l'hexachloroéthane accroît la résistance mécanique de l'alliage de magnésium AZ91 d'environ 12 %, et sa ductilité de 25 %, par l'affinage du grain. De plus, il diminue les criques de solidification dans les pièces coulées durant leur refroidissement dans les moules. L'utilisation du magnésium au lieu de l'aluminium pour les pièces coulées peut réduire le poids des pièces de 35 %.

Alliages aérospatiaux

Les travaux visant l'amélioration des propriétés des alliages aérospatiaux d'alu-

minium et de cuivre A201-206 se poursuivent. L'on espère qu'il sera un jour possible d'utiliser ces alliages dans la construction des véhicules automobiles. On a constaté que l'ajout d'un alliage de cérium et de lanthane améliore la résistance aux criques de solidification de ces alliages difficiles à mouler.

Moulage au sable du magnésium

Les sables utilisés pour le moulage contiennent des inhibiteurs qui suppriment la tendance des alliages de magnésium en fusion de brûler et d'entrer en réaction avec le sable. Ces inhibiteurs renferment des produits nocifs (soufre, acide borique ou fluorures), ce qui complique la récupération, la réutilisation et l'évacuation des sables utilisés. Le LTM-CANMET a mis au point des revêtements de moule qui éliminent la nécessité d'avoir recours à des inhibiteurs dans le moulage au sable.

Coulée en mousse perdue

Le LTM-CANMET a essayé de déterminer si la coulée en mousse perdue permet de donner à des pièces à paroi mince, une forme extrêmement près de leur forme finale. La coulée à basse pression et la coulée sous vide ont, elles aussi, été examinées à cette fin. La qualité des pièces coulées est évaluée pour des mousses de différentes densités, divers milieux de soutien, compressibilités, pressions, systèmes de coulée du métal et températures de coulée. Les essais de coulée avec l'alliage de magnésium AZ91E indiquent que l'application d'un vide partiel durant la coulée permet de produire des pièces coulées de 2 mm d'épaisseur, soit environ la moitié de l'épaisseur normale. Les travaux futurs seront coordonnés avec le laboratoire national d'Oak Ridge.

Moulage en coquille par gravité et à basse pression

Dans le moulage en coquille, le métal liquide remplit le moule sous l'action de la pesanteur (en se dirigeant vers le bas) ou il est poussé vers le haut sous l'action d'une basse pression. Ces méthodes réduisent les émissions des liants ajoutés aux sables et simplifient au maximum la récupération et l'évacuation des sables. Durant la période

de référence, des prototypes de pièces moulées en coquille pour le secteur maritime et le secteur de l'automobile ont été produits afin de démontrer les avantages de ces procédés. On a aussi utilisé un alliage d'aluminium et deux alliages de magnésium pour fabriquer des pièces moulées. L'affinage du grain a amélioré la résistance aux criques de solidification de l'alliage d'aluminium.

Coulée dans les moules en graphite

Le LTM-CANMET a aussi amélioré la coulée dans les moules en graphite. Ces derniers sont utilisés couramment pour fabriquer des produits de zinc. On ne s'en servait pas auparavant pour l'aluminium parce que le coût était trop élevé et que les produits moulés présentaient des défauts. Il est maintenant possible de produire des composants offrant d'excellentes propriétés mécaniques grâce aux améliorations apportées à plusieurs paramètres de la coulée, notamment la conception du moule, le traitement du métal fondu et le traitement thermique. L'un des clients a signalé que les propriétés mécaniques des produits en alliage d'aluminium A357 moulés au moyen de la technologie du moule en graphite dépassent dans certains cas les exigences de l'industrie aérospatiale. La compagnie a aussi mentionné que plusieurs de ses clients canadiens et américains s'intéressent considérablement au procédé parce qu'ils veulent l'utiliser pour produire des composants à paroi mince et à intégrité élevée.

Instruments de contrôle de la qualité

L'une des pratiques courantes en fonderie consiste à remouler régulièrement les éprouvettes servant aux essais mécaniques, à des fins de contrôle de la qualité. Les moules éprouvettes standards (et variables) actuellement utilisés ne permettent pas de prévoir les propriétés mécaniques de façon constante ou avec précision. Les causes ont été déterminées et des recommandations ont été présentées à l'égard de leur utilisation.

Comme autre moyen de gérer la qualité, on a mis au point un programme d'ordina-

teur appelé Property Predictive Software (logiciel de prévision des propriétés), à partir des variables disponibles dans le domaine de la transformation, par exemple, la composition du métal fondu, la modification, le moulage au sable ou en coquille, le traitement thermique et les propriétés mécaniques. Le logiciel utilise des réseaux de neurones formels (RNF) pour prévoir les propriétés mécaniques en ligne à partir de la chimie de l'alliage. Pour prévoir les propriétés, le modèle de RNF s'est avéré plus précis que l'analyse de régression multidimensionnelle, qui est la méthode classique.

On a poursuivi la recherche sur l'utilisation de l'analyse de la courbe de refroidissement pour produire des données sur les alliages. Cette technique permet de suivre constamment la température des échantillons de métal liquide durant la solidification. À partir d'une analyse détaillée de la forme de la courbe de refroidissement, il est possible de discerner la présence de certains éléments d'alliage et d'évaluer les propriétés thermodynamiques de l'alliage. Les ingénieurs ont besoin de connaître les propriétés de l'alliage pour concevoir les produits moulés. De plus, l'analyse des courbes produit des facteurs qui sont reliés à la microstructure de l'alliage, et de ce fait, à ses propriétés mécaniques. L'analyse de la courbe de refroidissement a beaucoup de potentiel comme instrument de contrôle de la qualité dans les alumineries.

Formage et assemblage des métaux

Tôle de magnésium laminée pour le secteur de l'automobile

L'utilisation de la tôle de magnésium pourrait être une façon très rentable de réduire le poids des panneaux intérieurs matricés utilisés dans la fabrication des portes, des toits, des capots et des portes de coffre arrière mais, actuellement, aucun fournisseur, où que ce soit dans le monde, ne peut donner à tout coup au matériau à la fois la résistance mécanique et la ductilité nécessaires. En partenariat avec l'Université McGill et General Motors du Canada Limitée, le LTM-CANMET a mis



Le LTM-CANMET utilise sa presse Interlaken de formage au gaz chaud/d'hydroformage de 500 t pour déterminer les limites du formage des matériaux selon divers modes de déformation et différentes évolutions de la contrainte.

en évidence plusieurs paramètres fondamentaux qui influent sur le laminage et la déformation à chaud de trois alliages de magnésium. Des modèles informatisés qui simulent le laminage à chaud ont été créés. On a obtenu des détails techniques utiles au sujet du traitement thermique de la tôle de magnésium et on a acquis des données sur les microstructures et les propriétés physiques. Des études sur l'orientation du grain et le laminage d'autres alliages sont en cours.

La tôle est souvent produite par laminage répété de lingots massifs. Pour produire de la tôle aux microstructures fines, l'alliage de magnésium AZ31 a été moulé en tôles minces au moyen d'un plateau mobile conçu par des chercheurs du LTM-CANMET. On examine présentement les conditions du moulage (composition de l'alliage, quantités infimes d'additifs, vitesse de refroidissement et épaisseur du plateau), afin d'établir la meilleure formabilité pour le laminage.

Tôle biphasée laminée

Les aciers biphasés conviennent au secteur de l'automobile parce que leur ductilité est excellente et leur résistance mécanique, élevée. De concert avec Dofasco, de nombreux procédés de production ont été étudiés afin d'améliorer les propriétés

mécaniques de l'acier haute résistance au point de lui donner une limite d'élasticité conventionnelle (LEC) de 550 MPa et une résistance à la traction (RT) de 900 MPa avec un allongement de rupture de 11 %. On a mis au point un procédé qui a porté l'allongement à 20 à 25 % sans diminuer sérieusement la résistance mécanique (LEC de 400 MPa et RT de 800 MPa). Cet acier de pointe à haute résistance laminé à chaud est actuellement produit au LTM-CANMET et servira de matériau pour la réalisation d'un projet d'hydroformage avec AUTO21.

Hydroformage et formage à chaud de tubes

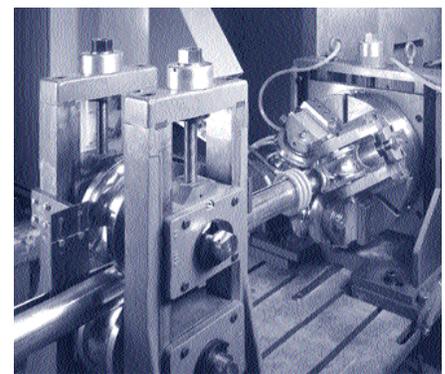
L'hydroformage est un procédé de façonnage du métal qui utilise un fluide haute pression pour transformer des tubes en des profilés complexes. Les composants hydroformés à partir de tubes d'acier à faible teneur en carbone sont maintenant utilisés plus souvent dans la construction des véhicules automobiles et tout particulièrement dans les châssis des camions et les bâtis moteurs. En plus de réduire le poids des véhicules, l'hydroformage des tubes accroît la résistance mécanique et la rigidité, permet une consolidation des pièces et réduit les coûts. Le formage à des températures élevées (formage à chaud) qui utilise du gaz améliore la formabilité par rapport à l'hydroformage classique, particulièrement dans le cas de l'aluminium, du magnésium et des autres métaux légers, qui sont plus difficiles à former que l'acier.

Le LTM-CANMET désire appliquer l'utilisation commerciale de l'hydroformage aux métaux légers et aux aciers ultra haute résistance. Pour y parvenir, il a créé un procédé de soudage continu pour fabriquer des tubes au moyen d'aluminium et d'aciers haute résistance. En 2004, le LTM-CANMET a produit des tubes ultra haute résistance dont la résistance à la traction approchait les 1 000 Mpa et il les a fait évaluer par ses partenaires de l'industrie. Il a aussi créé une nouvelle méthode pour fabriquer des tubes avec des nuances d'acier expérimentales.

La recherche sur le formage à chaud des alliages d'aluminium et de magnésium ont aussi donné lieu à des réalisations importantes. De nouvelles méthodes d'essai ont été élaborées et mises en œuvre pour évaluer les propriétés de traction des métaux à des températures élevées. Les propriétés de traction peuvent maintenant être mesurées à des vitesses de déformation beaucoup plus élevées que le permettent les méthodes classiques. Des prototypes de tubes en acier haute résistance et en aluminium ont été produits aux fins de leur évaluation par des clients, et l'équipe a démontré que les tubes en magnésium peuvent être formés pour devenir des pièces. De plus, l'équipe a démontré que la méthode de formage des tubes du LTM-CANMET peut produire des tubes d'une qualité supérieure à celle qu'obtiennent de nombreux autres laboratoires et l'industrie aux États-Unis et en Europe.

Traitement angulaire à canaux égaux

Les procédés d'extrusion courants soumettent le matériau à une déformation plastique et peuvent réduire la taille des grains jusqu'à 5 à 10 microns et ainsi améliorer grandement la résistance et la ductilité. Des chercheurs ont utilisé la presse angulaire à canaux égaux et l'équipement de laminage angulaire à canaux égaux du LTM-CANMET pour simuler une déformation plastique importante qui a produit



Rouleaux guides de laminage final, bobine d'induction magnétique et cage de soudage du système de soudage de tubes à l'échelle pilote du LTM-CANMET - cet équipement est utilisé pour le soudage par résistance à la molette des tubes d'aluminium et des tubes en acier de pointe à haute résistance nécessaires à l'hydroformage et au formage au gaz chaud.

un matériau dont le grain avait un diamètre inférieur à 2 microns. Des coquilles ont été créées et fabriquées pour chacun des procédés, et elles sont actuellement optimisées en prévision d'essais à l'échelle pilote sur des alliages d'aluminium et de magnésium.

Assemblage

Dans l'industrie de l'automobile, il est essentiel d'assurer l'étanchéité des boulons et des autres fixations, et les monteurs doivent être certains que le serrage du collier sera maintenu aux joints écrou-boulon critiques. Dans le cas du magnésium, qui a tendance à fluer à des températures élevées, cette étanchéité est difficile à maintenir, tout particulièrement dans les bâtis moteurs ou les groupes propulseurs.

Dans le cadre d'un projet exécuté avec le United States Automotive Materials Partnership (USAMP), le LTM-CANMET a créé une nouvelle méthode d'essai pour le maintien du serrage des boulons dans le cas des alliages de magnésium utilisés dans l'industrie de l'automobile. Le projet a notamment consisté à examiner en détail les méthodes d'essai existantes et le comportement à la relaxation de contrainte des alliages de magnésium ainsi qu'à construire un montage d'essai du maintien du serrage des boulons assorti des instruments de chauffage et d'acquisition de données nécessaires, afin d'exécuter les essais dans des conditions similaires à celles qui caractérisent les bâtis moteurs. Cette méthode, qui a maintenant été adoptée par les constructeurs de véhicules automobiles, représente la première approche commune pour mesurer le maintien du serrage des boulons. La technique a été mise à profit pour démontrer que l'alliage de magnésium utilisé pour le projet de développement des bâtis moteurs maintiendrait le serrage des boulons de façon satisfaisante dans les véhicules automobiles, ce qui a beaucoup contribué au projet. La compagnie canadienne Meridian Technologies Inc. a obtenu un contrat de General Motors pour fabriquer le premier volume de production de bâti moteur en magnésium, par suite de cet important projet.



Un technicien en soudage du LTM-CANMET effectue un soudage MIG (protection gazeuse inerte) expérimental afin d'établir les conditions optimales de la production de soudures par recouvrement dans les aciers de pointe à haute résistance.

Soudage

En consultation avec l'Automotive Steel Partnership, le soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fusible (le soudage MIG) combiné à la technologie du transfert de la tension superficielle, qui permet de conserver un bon contrôle sur l'arc durant le soudage, a été sélectionné pour des essais de soudage sur une gamme d'aciers de pointe à haute résistance (APHR). Dans les essais effectués sur plusieurs nuances d'APHR, les résultats pour la résistance à la traction ont montré une excellente intégrité de la soudure et des ruptures ductiles à l'extérieur de la zone soudée. Comme ce procédé de soudage MIG utilise un apport de chaleur peu élevé et des vitesses d'avancement élevées, il convient à l'assemblage de pièces d'automobiles en aciers légers et à paroi mince.

Revêtements

Acier TRIP galvanisé

L'acier haute résistance laminé à chaud est intéressant pour l'industrie de l'automobile parce qu'il peut potentiellement réduire le poids des véhicules et le coût des matériaux. En partenariat avec l'International Lead Zinc Research Organization et Noranda, le LTM-CANMET a établi une

gamme de paramètres pour la galvanisation de certains aciers laminés à chaud. Grâce à cette recherche, on a identifié les conditions de la galvanisation qui assurent la production de revêtements de bonne qualité pour les aciers laminés à chaud contenant de 0,5 à 1,5 % d'équivalent en poids de manganèse et jusqu'à 1,5 % d'équivalent en poids de silicium et présentant des limites d'élasticité conventionnelle de 500 à 800 MPa et des allongements de 20 à 25 %, selon les nuances d'acier.

Revêtements protecteurs pour le magnésium

La corrosion des automobiles est un grave problème au Canada et dans le nord des États-Unis en raison du climat froid qui impose l'épandage de grandes quantités de fondants sur les routes. L'utilisation du magnésium et de ses alliages dans la fabrication des pièces d'automobiles pourra réduire de beaucoup le poids des véhicules, mais l'acceptation de ces matériaux dépendra en fin de compte de la résistance à la corrosion des pièces contenant ces matériaux. Des chercheurs du LTM-CANMET ont été choisis pour diriger l'équipe nord-américaine d'étude de la corrosion mise sur pied pour le projet de l'USAMP consistant à créer une technologie de fabrication de bâtis moteurs en magnésium. Après l'évaluation de 18 revêtements, 5 systèmes de protection contre la corrosion ayant un bon rapport coût-efficacité ont été choisis pour le magnésium. De plus, il a été déterminé que la corrosion galvanique est atténuée efficacement lorsqu'on utilise des matériaux d'isolation et d'assemblage compatibles. On a créé de nouveaux alliages d'aluminium et de magnésium dont le potentiel de corrosion galvanique est réduit au maximum par rapport aux alliages de magnésium. Un revêtement en trois couches a été conçu pour protéger les alliages contre les dommages causés par la corrosion sous contrainte et la fatigue-corrosion dans les zones de contrainte élevée. Ces travaux ont retenu l'attention sur la scène internationale et ont établi la réputation du LTM-CANMET dans l'important domaine de l'atténuation de la corrosion des pièces d'automobiles contenant du magnésium.



Béton et autres matériaux de construction

Le béton est de loin le matériau de construction le plus utilisé au monde. Sa consommation est plus de deux fois supérieure à la consommation globale de tous les autres matériaux de construction (bois, acier, plastique et aluminium). L'utilisation du ciment et du béton s'accroît rapidement dans les économies émergentes. En Inde, par exemple, la production annuelle de ciment Portland - le principal constituant du béton - se chiffre actuellement à environ 100 millions de tonnes et ce chiffre pourrait doubler d'ici dix ans. La Chine produit quant à elle plus de 600 millions de tonnes de ciment Portland par année.

Mais la production de ciment Portland est responsable d'environ 2 % des émissions de gaz à effet de serre du Canada. La production d'une tonne de ciment Portland entraîne le rejet dans l'atmosphère de presque une tonne de CO₂. La production mondiale de ciment Portland, qui a été de 1,7 milliard de tonnes en 2000, est à l'origine de 5 à 7 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. On prévoit que la production de ciment Portland passera à 2 milliards de tonnes par année d'ici 2010. Comme dans le cas des matériaux légers, la recherche du LTM-CANMET sur la mise au point d'ajouts cimentaires (AC) pour remplacer une partie du ciment Portland dans le béton contribue grandement à l'exécution du mandat de RNCan dans les domaines de la valeur ajoutée et du changement climatique.

Au cours de la période de référence, des progrès notables ont été réalisés au sein d'un important projet financé par l'Agence canadienne de développement international (ACDI), soit le transfert à l'Inde de la technologie du béton à haute teneur en cendres volantes mise au point par le LTM-CANMET. De plus, des travaux de recherche ont été exécutés pour améliorer la performance à long terme du béton contenant des AC et

élaborer des techniques de lutte contre la réaction silico-alcaline et la réaction alcaline des granulats. Ces deux réactions réduisent de beaucoup la durabilité et la durée de vie des infrastructures en béton.

Le LTM-CANMET effectue de la recherche sur d'autres matériaux de construction. Il utilise ses compétences à l'égard des propriétés des métaux et du travail du métal pour améliorer la résistance à la corrosion des poutres porteuses, des tiges d'armature ou des barres d'armature. Comme le développement durable et la sécurité du public font partie du mandat de RNCan, le LTM-CANMET poursuit l'exécution de son programme qui vise à éliminer ou à réduire l'exposition du public au plomb, particulièrement au plomb des réserves d'eau potable. Dans les années 1990, le LTM-CANMET a réussi à créer trois

alliages au cuivre pour des accessoires de plomberie d'usage domestique. L'expérience ainsi acquise a été mise à profit afin d'élaborer un nouvel alliage pour l'industrie laitière et une nouvelle coquille standard pour les alliages à base de cuivre.

La technologie de pointe relative au béton

Ajouts cimentaires

Fondants : Il faut absolument améliorer la performance à long terme du béton renfermant des AC si l'on veut que l'industrie de la construction utilise davantage ce type de béton. À cette fin, des études visant à accroître la durabilité du béton en augmentant sa résistance à l'écaillage causé par les fondants ont été effectuées sur une section de trottoir à Montréal.



Dans cette machine pour essai de carbonatation accéléré, des prismes de béton sont exposés à 65 % d'humidité et à 3 % de CO₂ à une température de 23 °C pour accélérer la diffusion du CO₂ dans le béton. À divers intervalles de temps, une tranche est sciée des prismes de béton et enduite d'un jet d'indicateur à la phénolphthaléine. La zone non colorée indique la profondeur de la carbonatation.

Des recommandations sur les pourcentages optimaux d'AC dans les produits soumis à des fondants ont été formulées et communiquées aux partenaires du projet à la fin de 2004. Un scientifique du LTM-CANMET a remis ces recommandations à des ingénieurs-conseils et à des ingénieurs du gouvernement de l'Alberta, aux fins de la construction d'une route en béton dans cette province, plus précisément à Edmonton. De plus, en 2005, ces recommandations seront présentées au comité technique de l'ASTM qui est chargé du déroulement des essais dans le cadre de l'évaluation de la résistance du béton à l'écaillage causé par les fondants (ASTM C 672), afin que des modifications soient éventuellement apportées à la méthode d'essai existante.

Milieux marins : Le LTM-CANMET surveille la performance d'éprouvettes exposées à un milieu marin, à une installation extérieure d'exposition aux conditions climatiques située dans l'île Treat, dans le Maine. Les résultats les plus récents de l'observation de la performance des éprouvettes après 25 ans d'exposition et les essais en laboratoire effectués en collaboration avec l'Université du Nouveau-Brunswick montrent que la performance du béton dans un milieu marin rude dépend grandement de sa qualité (particulièrement en ce qui a trait au rapport eau/liant). En ajoutant au béton des cendres volantes, du laitier ou un autre type d'AC, on peut en améliorer le comportement dans ce milieu.

Réaction silico-alcaline : Dans le cadre d'une étude de la résistance à la réaction silico-alcaline (RSA) du béton renfermant des AC, des éprouvettes exposées aux conditions climatiques à une installation extérieure de RNCan située à Bells Corners, en Ontario, sont examinées annuellement. Les résultats des études en cours confirment que la capacité des AC à réduire l'expansion causée par la RSA est largement fonction de la nature et du niveau de réactivité des granulats ainsi que de la composition des AC. Fait à noter, des essais accélérés exécutés en

laboratoire ont reproduit relativement bien la performance à long terme des éprouvettes de béton exposées aux conditions climatiques.

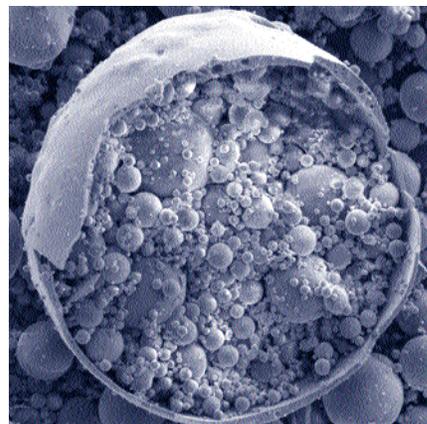
Prolongation de la durée de vie des infrastructures de béton

Adjuvants à base de lithium : La RSA, qui cause l'expansion et la fissuration du béton, est l'un des facteurs courants de la réduction de la durée de vie des ouvrages de béton. Les résultats provisoires d'une étude de la capacité des adjuvants à base de lithium de prévenir la RSA dans le béton qui a été effectuée en collaboration avec l'Université Laval et Euclid North America montrent que les adjuvants à base de lithium peuvent réduire l'expansion causée par la RSA dans le béton et que la quantité d'adjuvants nécessaire pour diminuer la réaction dépend largement de la nature et du niveau de réactivité des granulats. De plus, des progrès ont été réalisés dans l'élaboration d'une méthode qui permettra de faire des essais accélérés sur les adjuvants à base de lithium dans le but de réduire la RSA. Ces résultats provisoires ont déjà influencé les recommandations sur l'utilisation des adjuvants à base de lithium pour réduire la RSA qui sont contenues dans les normes canadiennes sur le béton (CSA A23.1 et CSA A23.2-04).

Cendres volantes à haute teneur en calcium et fumées de silice : L'Electric Power Research Institute, la Portland Cement Association et les autres partenaires du projet effectuent des essais comparatifs sur le terrain et en laboratoire afin de déterminer si des mélanges composés de cendres volantes à haute teneur en calcium (catégorie C de l'ASTM) et de fumées de silice peuvent réduire la RSA. Les résultats de cette étude montrent que la composition des cendres volantes, particulièrement leur contenu en oxyde de calcium et en alcalis, peut avoir un grand impact sur leur capacité de réduire l'expansion causée par la RSA. Les cendres volantes à faible teneur en calcium et les cendres volantes à faible teneur en alcalis se sont avérées efficaces pour diminuer l'expansion causée par la RSA, pour les

granulats choisis et des taux de remplacement de 20 à 30 %. Les proportions de cendres doivent être beaucoup plus élevées (plus de 40 %) pour que l'expansion causée par la RSA soit réduite lorsqu'on utilise des cendres volantes à forte teneur en calcium, ce qui rend ces dernières difficiles à utiliser à cette fin. L'ajout à ces cendres de petites quantités (par exemple, 5 %) de fumées de silice, dans des systèmes ternaires, améliore de beaucoup la capacité des cendres de diminuer l'expansion causée par la RSA. Enfin, l'élaboration d'une méthode qui permettra de faire des essais accélérés pour évaluer la capacité des AC à réduire la RSA dans le béton vont bon train.

Réaction alcaline des granulats : Une méthode accélérée qui permettra de déterminer le potentiel de réaction alcaline des granulats est en cours d'élaboration. Une étude interlaboratoire de la méthode d'essai en question a été exécutée et ses résultats ont été présentés à la 12^e Conférence internationale sur la réaction alcaline des granulats, qui a eu lieu à Beijing, en Chine. Ces résultats montrent que l'essai peut potentiellement permettre de différencier les diverses formes de réactions alcalines des granulats dans le béton, ce que ne permettent



Coupe transversale d'une particule de cendres volantes de 75 microns de largeur. Les cendres volantes sont une poudre fine rejetée dans l'atmosphère par les centrales électriques au charbon. Le LTM-CANMET se fait depuis longtemps le champion de l'utilisation des cendres volantes pour améliorer les propriétés du béton et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

pas de faire les essais existants pour la réaction alcaline des granulats.

Activités de transfert de technologie en Inde

Les diverses activités techniques et de transfert de technologie contribueront à l'application à des ouvrages civils et à des édifices en Inde de la technologie du béton à haute teneur en cendres volantes mise au point par le LTM-CANMET. Le projet, d'une valeur de 3,5 millions de dollars, a débuté en août 2002 et a pris fin en mars 2005. Il a été financé par l'ACDI (2,5 millions de dollars), le LTM-CANMET (600 000 \$) et la Confédération des industries indiennes (150 000 \$).

Diffusion du savoir : Du personnel du LTM-CANMET s'est rendu en Inde pour surveiller l'exécution de 7 projets de démonstration répartis dans tout le pays, contribuer à l'adaptation de la technologie et participer à diverses activités de transfert de technologie. Ces dernières se sont déroulées principalement dans le cadre de 12 séminaires et ateliers qui ont réuni plus de 2 000 participants. De plus, le personnel du LTM-CANMET a donné quelques cours brefs dans 5 villes indiennes et 100 personnes provenant de l'industrie, du gouvernement et des universités y ont assisté.

Durant la période de référence, un site Internet contenant de l'information technique à l'intention des compagnies indiennes participantes a été lancé. Ce site est un important instrument de transfert de technologie parce qu'il met à la disposition de ces compagnies une base de données sur les propriétés cimentaires des cendres volantes indiennes. Cette information est essentielle au succès des projets de démonstration.

Adaptation de la technologie : Des programmes d'adaptation de la technologie du béton à haute teneur en cendres volantes ont été établis dans trois instituts de l'Inde durant cette période, pour adapter la technologie aux matériaux disponibles en Inde et aux conditions climatiques de ce pays et produire des

données d'essai qui seront communiquées à divers intervenants indiens. Ces programmes ont été mis en œuvre au Central Building Research Institute (Roorkie), au Structural Engineering Research Centre (Chennai) et au Bengal Engineering College (Kolkata). Un examen général de la production de cendres volantes en Inde a de plus été entamé durant la période de référence. La collecte des résultats des essais dans chacun des États est en cours et toute l'information produite dans le cadre des activités décrites ci-dessus sera ajoutée au site Internet.

Projets de démonstration : Cinq des sept projets de démonstration prévus pour l'Inde ont été mis en œuvre durant la période de référence. Le projet Bandra-Worli Sea Link, réalisé à Mumbai, a utilisé une quantité de béton à haute teneur en cendres volantes que l'on croit être la plus élevée parmi tous les usages de ce béton jusqu'à maintenant. Le Sea Link est un pont à huit voies et à haubans d'une longueur de 4 km qui sera construit au-dessus d'une baie de la mer d'Oman pour relier les districts de Bandra et de Worli de Mumbai (anciennement Bombay). On s'attend à ce que ce pont joue un rôle clé dans la réduction du temps de déplacement entre les secteurs nord et sud de la ville. L'utilisation de la technologie du béton à haute teneur en cendres volantes pour le projet Bandra-Worli Sea Link réduira les rejets de CO₂ de près de 4 200 tonnes, ce qui est un résultat remarquable pour un seul projet de construction. Nous décrivons d'autres projets de démonstration dans les paragraphes ci-après.

- La construction d'une route d'une longueur de 2 km au campus de la Saurashtra University, à Rajkot (centre-ouest de l'Inde) a été terminée à la fin de 2004. Le volume de béton à haute teneur en cendres volantes utilisé dans ce projet de construction s'élève à 2 800 m³ composé à 50 % de cendres volantes et à 700 m³ composé à 30 % de cendres volantes. Ce projet a

réduit les rejets de CO₂ d'environ 600 tonnes.

- En 2004, à Hubli, dans le Karnataka, des promoteurs immobiliers ont mis à l'essai le béton à haute teneur en cendres volantes dans le cadre d'un projet de construction en deux étapes d'un habitat collectif qui se composera de plus de 2 000 unités d'habitation. Le béton à haute teneur en cendres volantes a été utilisé entre autres dans la fabrication des massifs de fondation, des briques et des blocs de pavage qui seront installés à l'intérieur et à l'extérieur d'une des unités d'habitation du complexe. On prévoit que les émissions de CO₂ seront réduites de 18 230 tonnes si le béton à haute teneur en cendres volantes est utilisé dans tout le complexe.
- On met la touche finale à la planification de projets de construction de routes qui seront exécutés à Delhi, avec Associated Cement Companies. À Greater Noida, dans l'Uttar Pradesh, une section de route d'une longueur de 30 mètres sera construite avec du béton témoin et du béton à haute teneur en cendres volantes. Cette démonstration est importante bien qu'elle se déroule à une échelle relativement modeste, car elle prévoit toute une gamme d'essais, y compris la mesure des contraintes, des déformations, de la dilatation thermique, de l'abrasion, de la contraction par retrait hydraulique et de la résistance à la flexion.
- À Bangalore, du béton à haute teneur en cendres volantes sera utilisé dans la construction d'un complexe d'exposition. Ce projet est situé dans une zone industrielle qui inclut trois halls d'exposition ayant chacun une superficie d'environ 10 000 m². Le béton à haute teneur en cendres volantes entrera aussi dans la fabrication d'ouvrages de maçonnerie en béton et de blocs de pavage et servira à l'aménagement paysager. On prévoit que la réduction des rejets de

CO₂ sera de 8 250 tonnes une fois les travaux terminés.

Autres activités de transfert de technologie

Devis directeur national : Le gouvernement du Canada possède ou loue des locaux dont la superficie globale totalise environ 25 millions de mètres carrés. Dans le cadre d'un projet visant à faciliter l'accroissement de la quantité d'AC dans le béton utilisé dans des projets de construction appuyés par Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, le LTM-CANMET et des entrepreneurs ont rédigé une ébauche de lignes directrices pour les pratiques exemplaires s'appliquant au béton à AC destiné aux édifices et à d'autres types d'ouvrages. La version finale de ces lignes directrices, qui a été publiée en décembre 2004, sera versée au Devis directeur national. Une série de colloques d'information parrainés par le Plan d'action 2000 sur le changement climatique est offerte à travers le pays. Durant ces colloques, les lignes directrices sont présentées aux concepteurs et aux praticiens afin d'accroître leur mise en œuvre et leur usage.

Les métaux dans le secteur de la construction

Résistance à la corrosion

Poutres porteuses : La recherche se poursuit sur la fissuration et la corrosion ultérieure des poutres porteuses en acier galvanisé, faite pour le compte de l'International Lead Zinc Research Organization et de Teck Cominco. Il a été déterminé que la fissuration est causée par une interaction complexe de facteurs dans le processus de galvanisation. Le LTM-CANMET a évalué la susceptibilité des poutres porteuses à la fragilisation du métal liquide causée par la composition des bains de galvanisation. Les résultats montrent clairement que les impuretés sont préjudiciables et qu'elles diminuent la résistance des poutres à la fissuration.

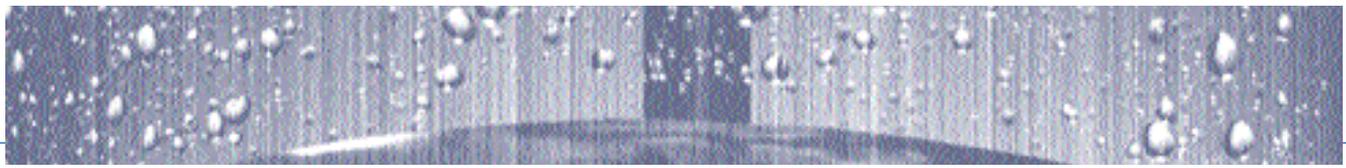
Alliages sans plomb pour objets en contact avec l'eau et la nourriture

Accessoires de plomberie : Au milieu des années 1990, le LTM-CANMET a créé

un alliage sans plomb de laiton au silicium pour le moulage en coquille, afin de réduire au maximum les sables résiduels contaminés par le plomb qui résultent des fusions. Ce nouvel alliage présentait encore un défi (un défi qui est commun à tous les alliages de plomberie), à savoir l'élimination des points durs qui se traduisent par des défauts d'aspect dans le chrome poli. Le LTM-CANMET a déterminé que ces points durs sont causés par un intermétallique de fer dont la formation peut être évitée par un affinage du grain. Cependant, l'effet de l'affinage du grain s'estompe à mesure qu'augmente le temps de maintien dans le four. Une méthode en ligne utilisant de l'instrumentation offerte sur le marché a été créée pour surveiller le dispositif d'affinage et faire les ajustements appropriés. La technologie a été démontrée dans deux fonderies.

Alliage pour l'industrie laitière : La chimie d'un nouvel alliage sans plomb destiné aux robinets utilisés par l'industrie laitière et l'industrie des aliments a été optimisée et des paramètres ont été établis pour le coulage de l'alliage. Par rapport aux matériaux classiques, le nouvel alliage pour l'industrie laitière a de bonnes caractéristiques de coulage et n'adhère pas à lui-même, ce qui est une propriété importante dans la fabrication des pièces filetées. Il faut poursuivre les travaux pour que cet alliage réponde aux exigences en matière de ductilité et puisse ainsi être utilisé commercialement.

Moules pour essais normalisés : Les moules pour éprouvette d'essai de l'ISO et de l'ASTM pour le moulage en coquille des alliages à base de cuivre produisent des barres présentant un retrait axial (une ligne de porosité tout au long du centre des barres qui influe sur les propriétés mécaniques). À cause de ce retrait, les résultats des essais sur ces barres sont peu fiables. Un nouveau modèle de moule qui réduit au maximum ce défaut a été créé au LTM-CANMET. Ce nouveau modèle fait maintenant l'objet d'essais de coulage aux installations de deux compagnies.



Fiabilité des oléoducs et des gazoducs à haute pression

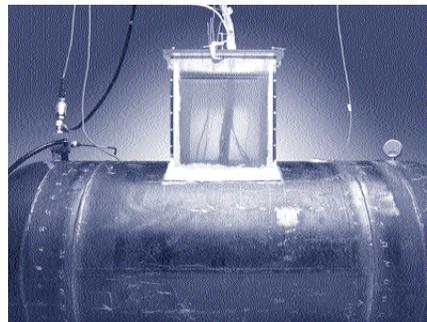
L'intégrité de l'infrastructure pétrolière et gazière du Canada est importante non seulement parce que cette infrastructure joue un rôle économique vital en fournissant de l'énergie aux Canadiens, aux Américains et à d'autres nations, mais également parce que la sécurité du public et la qualité de l'environnement peuvent être menacées si des fuites et des ruptures surviennent dans les pipelines sous haute pression. Les pipelines sont susceptibles de subir diverses formes de corrosion, notamment la fissuration par corrosion sous contrainte (FCC), qui est causée par les effets combinés de l'environnement et des contraintes sur l'acier. La réduction de la FCC dans les pipelines canadiens est donc nécessaire pour protéger à la fois la sécurité du public et l'environnement.

La recherche faite par le LTM-CANMET sur la FCC dans les pipelines constitue l'un des principaux moteurs du développement de technologies permettant de gérer ce type de corrosion. Entre 1991 et 1996, il y a eu, au Canada, sept ruptures importantes dans des pipelines en raison de la FCC. Depuis que des mesures ont été prises pour gérer la FCC, une seule défaillance s'est produite en sept ans. Durant la période de référence en cours, le LTM-CANMET a conçu et construit une installation pour des essais en grandeur réelle sur les canalisations qui est unique en son genre et essentielle à l'évaluation de la fiabilité des canalisations modernes en terme de résistance à la FCC.

Des chercheurs du LTM-CANMET étudient d'autres facteurs qui influent sur l'intégrité et la fiabilité des matériaux utilisés dans la construction des pipelines, notamment les répercussions des méthodes de construction (par exemple, le soudage) et les technologies utilisées pour surveiller, évaluer et déceler les défauts, les défaillances imminentes et les autres problèmes. Ces travaux sont basés sur la technologie des matériaux qui est utilisée dans la gestion du risque et l'élaboration des codes

et des normes. Plus particulièrement, le LTM-CANMET possède des compétences reconnues dans ces domaines : élaboration de nouveaux aciers haute résistance, évaluation des propriétés mécaniques des aciers et de leurs propriétés par rapport à la corrosion, techniques de soudage utilisées sur les pipelines, stratégies de protection contre la corrosion, détection et mesure des défauts au moyen de techniques d'essai de pointe non destructives, et développement de logiciels et de capteurs pour déceler les problèmes éventuels.

Étant donné la construction prochaine de pipelines sous haute pression dans le Nord du Canada et en Alaska afin de répondre à la demande croissante de gaz naturel, le LTM-CANMET a réorienté sa recherche en 2004 en vue de relever des défis particuliers à la construction, l'exploitation et l'entretien des pipelines dans le Nord, où l'environnement est fragile. De plus, pour contribuer à assurer la fiabilité des pipelines, le LTM-CANMET effectue de la R-D sur les méthodes et les procédures nécessaires pour évaluer les revêtements



Une enceinte d'essais environnementaux contenant du sol est utilisée pour simuler les conditions in-situ sur un échantillon de pipeline. L'enceinte entoure des fissures reliées à des instruments qui mesurent la vulnérabilité des aciers pour pipeline à la fissuration par corrosion sous contrainte.

qui seront utilisés dans le Nord, le comportement à la corrosion de l'acier, la réduction des ruptures, les techniques de surveillance, et les méthodes d'essai permettant d'évaluer les propriétés des soudures faites en usine, lors de la fabrication des canalisations, et sur le terrain, durant la construction des pipelines.

Gestion de l'intégrité des pipelines

La corrosion, et son élimination dans les pipelines, sont des procédés très complexes. Les exploitants de pipelines doivent utiliser des processus de gestion du risque pour concilier les coûts d'entretien et les défaillances dues à la corrosion. Durant la période de référence, le LTM-CANMET a créé plusieurs instruments utiles en gestion du risque.

Instruments de gestion de la corrosion

Un modèle informatisé a été élaboré pour prévoir les propriétés corrosives des liquides circulant dans les pipelines. De plus, on a procédé à la validation d'un programme d'ordinateur (Systematic Treatment of Pitting Sequence [SToPS]) capable de prévoir la corrosion par piqûres, qui est l'une des principales causes des défaillances dans les pipelines de production. En utilisant SToPS et le logiciel sur les condensats, l'exploitant d'un pipeline peut prévoir si l'étendue de la corrosion interne par piqûres constitue un risque pour l'exploitation du pipeline et déterminer où se situe dans le pipeline la corrosion représentant un risque.

La performance d'un inhibiteur de corrosion dépend largement des conditions d'exploitation du pipeline. C'est pourquoi la majorité des améliorations apportées aux méthodes utilisées pour les essais de corrosion visent la simulation accélérée en laboratoire de l'évolution des conditions sur le terrain. Mais la simulation en laboratoire des conditions d'exploitation réelles est souvent problématique. Avant la période de référence en cours, le LTM-CANMET a créé une enceinte rotative, qui sert à évaluer les inhibiteurs de corrosion en fonction de débits qui simulent les conditions d'exploitation des pipelines. Les chercheurs ont montré que l'enceinte rotative prédit la performance sur le terrain des inhibiteurs de corrosion avec plus de précision que les autres méthodes d'essai. Durant la période de référence, on a mis au point un programme d'ordinateur appelé Corrosion Inhibitor Selection Software (logiciel de sélection d'inhibiteur de corrosion) qui permet d'établir les

paramètres des essais effectués au moyen de l'enceinte rotative (et aussi d'autres essais non normalisés), d'interpréter les résultats et de choisir l'inhibiteur. En 2004, de nouveaux éléments qui intègrent l'effet des concentrations de la solution, la compressibilité des gaz et l'analyse des coûts ont été ajoutés. Les compagnies peuvent maintenant choisir des inhibiteurs de corrosion efficaces et prévoir leur performance sur le terrain à partir d'expériences en laboratoire.



La cage rotative aide à sélectionner les inhibiteurs de corrosion pour les pipelines de production et de transport du pétrole et du gaz et les raffineries de pétrole. Elle peut aussi servir à sélectionner des matériaux pour des conduites et des raccorderies et à évaluer les effets du débit sur la corrosivité de liquides.

Systemes intelligents pour assurer la fiabilité de l'infrastructure pipelinière

Ce projet a créé et validé des méthodes pour accroître la fiabilité de l'infrastructure pipelinière par une surveillance en ligne. Avec l'appui de Precarn Inc., le LTM-CANMET a fait équipe avec deux petites compagnies, Fiber Optic Systems Technology, Inc. (FOX-TEK), spécialisée dans les systèmes à fibres optiques, et TISEC inc., spécialisée dans la surveillance de l'intégrité structurale, la gestion des données et le génie cognitif. Le Système intelligent pour l'amélioration de

la fiabilité de l'infrastructure des pipelines (SIAFIP) utilise des capteurs, des systèmes de télécommunications par fibres optiques et d'interprétation de données qui permettent de surveiller et d'inspecter en ligne les principaux éléments des pipelines afin d'en évaluer l'intégrité structurale.

Le SIAFIP comprend maintenant des capteurs qui surveillent les fluctuations de pression et de température, la corrosion interne, la fissuration et la propagation des fissures. Assorti d'une gestion des données, le SIAFIP est suffisamment sensible pour détecter de manière rentable les fuites, les gauchissements, les fléchissements, les mouvements du sol et autres activités, particulièrement aux endroits critiques. Cette technologie peut être utilisée pour détecter et surveiller les défauts en temps réel, et produire des données sur les déformations qui sont utiles pour prioriser et planifier les activités d'entretien. À la différence des autres technologies disponibles qui sont utilisées périodiquement ou détectent les changements en un point, le SIAFIP exerce une surveillance continue et détecte les changements sur une longue section du pipeline.

Le projet de création du SIAFIP a été terminé en mars 2004. Le SIAFIP est applicable surtout aux endroits critiques et dans les régions éloignées des grands centres. Il est maintenant sur le marché et pourrait accroître la sécurité du public et la protection de l'environnement. Le SIAFIP pourrait aussi être utile dans la lutte contre le terrorisme en détectant instantanément tout empiètement sur les pipelines dans les zones critiques.

Le SIAFIP pourrait fournir une technologie utile pour protéger l'investissement du Canada dans son infrastructure pipelinière, lequel est estimé à plus de 15 milliards de dollars, et assurer la sécurité, l'intégrité et la fiabilité des pipelines ainsi que la livrabilité de l'énergie. On estime que la valeur des ventes du SIAFIP sera d'au moins 4 millions de dollars au cours des trois prochaines années.

Aciers de pointe à haute résistance pour les pipelines

Utilisation de la technologie canadienne dans la construction des pipelines du Nord

Les fournisseurs canadiens tireront vraisemblablement des avantages de leur proximité du futur pipeline de la vallée du Mackenzie, qui transportera le gaz naturel du delta du fleuve Mackenzie, dans les Territoires du Nord-Ouest, jusqu'aux marchés du Canada et des États-Unis. Le pipeline de 1 220 km de longueur sera composé de canalisations en acier haute résistance, recouvertes d'un revêtement extérieur, expédiées aux sites de construction et soudées ensemble sur place.

Le pipeline sera en grande partie constitué d'acier X-80 qui, par spécification, a une limite d'élasticité conventionnelle minimale de 80 000 psi. Le pipeline traversera un terrain instable qui peut être grandement soulevé par le gel et tassé par le dégel. La conception du pipeline est donc basée sur la déformation admissible qui peut survenir par suite de ces mouvements du sol. Les activités de R-D se multiplient à l'échelle mondiale à l'égard de la conception, de la construction et de l'exploitation des pipelines sous haute pression.

Durant la période de référence, le LTM-CANMET a exécuté des évaluations d'aciers haute résistance pour canalisations et du métal d'apport pour ces aciers ainsi que des zones thermiquement affectées en cas de soudage continu et de soudure annulaire au chantier. Les défis supplémentaires que représente la soudure annulaire au chantier font l'objet d'une activité de recherche permanente qui vise à créer des méthodes d'essai et des techniques pour évaluer les propriétés mécaniques des soudures. Maintenir à un haut niveau l'intégrité et la fiabilité du réseau de pipelines est un objectif qui fait partie intégrante de cette activité de recherche.

Plan visant la réduction des ruptures dans les pipelines en acier haute résistance

La prévention des ruptures sur de longues distances est l'un des principaux objectifs

de la conception des pipelines sous haute pression et du choix des matériaux pour ces pipelines. Comme les pressions nominales exercées sur les canalisations sont accrues pour tirer parti de l'augmentation de la résistance mécanique des canalisations, il est essentiel que les matériaux composant ces canalisations aient une résilience adéquate.

La résilience est habituellement mesurée au moyen de l'essai de résilience Charpy. Toutefois, les aciers modernes sont si durs que, dans l'essai Charpy, la petite éprouvette est tout simplement pliée plutôt que cassée. Cet essai ne permet donc pas, sinon difficilement, de caractériser la rupture. On préfère alors utiliser de grosses éprouvettes pleine épaisseur et les faire se sectionner dans un essai de rupture par chute d'un poids et l'on installe sur la machine d'essai des instruments permettant d'obtenir des mesures quantitatives de la résilience, par exemple, l'énergie absorbée ou l'angle d'ouverture de l'extrémité de la fissure (AOEF). Seuls le perfectionnement et la normalisation de ces essais permettront de mesurer la résistance à la rupture des canalisations modernes et d'ainsi établir, pour les matériaux, des spécifications et des mesures de contrôle de la qualité adéquates afin de prévenir les ruptures sur de longs parcours.

La rupture ductile rapide est actuellement étudiée au LTM-CANMET par modélisation numérique et par des essais de choc, soit l'essai de résilience Charpy et l'essai de rupture par chute d'un poids. La modélisation des contraintes est terminée pour les petites éprouvettes (celles qui conviennent à l'essai Charpy). Les travaux portent maintenant sur la modélisation micromécanique du processus de rupture afin de prévoir la charge qui causera la rupture ainsi que la géométrie (AOEF) de la fissure qui se formera.

Les essais de choc par chute d'un poids ont montré la viabilité d'un essai en laboratoire qui vise à mesurer la résilience des matériaux à l'AOEF. Des travaux supplémentaires sont en cours pour perfection-

ner les techniques de mesure au moyen d'une caméra vidéo à grande vitesse et quantifier les effets de la vitesse de fissuration variable. Les résultats de cette activité de recherche démontreront la viabilité ou la non-viabilité de la méthode d'essai par chute d'un poids basée sur l'AOEF pour évaluer la résilience des aciers haute résistance.

Transfert de technologie

Colloque de Banff sur les pipelines

En collaboration avec les parties intéressées de l'industrie, le LTM-CANMET offre tous les deux ans le colloque de Banff sur les pipelines, un forum interactif de discussion sur la gestion de l'intégrité de l'infrastructure pipelinière du Canada. L'édition de 2003 du colloque, qui avait pour thème « Managing Pipeline Integrity - Two Steps Forward », a attiré 370 participants qui représentaient des compagnies de production et de transport, des organismes de réglementation, des organisations gouvernementales, des sociétés d'experts-conseils, des vendeurs et des laboratoires de R-D. Le colloque a mis en vedette 5 tutoriels, et les 13 groupes de travail ont tenu 27 séances.

Au colloque, les délégués ont formé des groupes de travail pour examiner les enjeux de l'heure dans des domaines particuliers préétablis et définir les priorités qui, selon eux, doivent être traitées pour que progresse la gestion de l'intégrité des pipelines. Le colloque constitue un forum important pour l'échange d'information entre les parties intéressées de l'industrie. Quelques-unes des principales décisions prises au colloque d'avril 2003 sont résumées ci-dessous.

Réduction des fuites : L'Upstream Pipeline Integrity Management Association (UPIMA) de l'Association canadienne des producteurs pétroliers a été formée pour aider l'industrie à atteindre l'un des objectifs établis lors du colloque, soit celui de réduire d'ici 2005 le nombre de fuites qui se produisent annuellement dans les pipelines de production.

Corrosion interne : Étant donné le grave accident survenu au pipeline à El Paso, au Texas, les participants au colloque ont convenu que la corrosion interne des pipelines de transport est une question importante qui nécessite plus d'attention. Les sujets retenus comprennent la modélisation de l'écoulement polyphasique dans les pipelines de transport; l'élimination de l'eau dans les pipelines de transport, particulièrement de l'eau présentant des niveaux élevés de CO₂; et l'élaboration de méthodes pour établir l'intégrité des pipelines dans lesquels des racleurs d'inspection ne peuvent être utilisés.

Aciers haute résistance : Étant donné que les paramètres économiques sont favorables aux pipelines en acier haute résistance (X-80 au moins) qui ont un grand diamètre et sont soumis à une haute pression, des défis techniques ont été identifiés à l'égard de l'utilisation de ces aciers : fixations compatibles, conception antifissures, sensibilité à la fragilisation par l'hydrogène, fatigue et corrosion.

Fissures par corrosion sous contrainte : Nous avons besoin de méthodes pour mesurer les fissures par corrosion sous contrainte dans les pipelines. La méthode utilisée actuellement n'est ni fiable ni rentable. Une méthode plus précise et plus rapide pour mesurer ces fissures permettra à l'industrie de produire des modèles et des plans d'action plus précis et de prévoir les endroits et les conditions propices à ces fissures.

Normes : Une annexe basée sur le risque qui précisera entre autres les niveaux et les seuils de risque et qui sera une référence commune à tous les ingénieurs chargés de l'intégrité des pipelines doit être ajoutée à la norme Z662 de la CSA. Par son processus d'examen, la CSA déterminera la présentation matérielle finale ainsi que le niveau de la rigueur quantitative.

Conférence virtuelle sur l'intégrité des pipelines (PIcon)

Le LTM-CANMET fournit également un service utile à l'industrie en diffusant

de l'information technique pertinente au site de la conférence virtuelle sur l'intégrité des pipelines (<http://www.nrcan.gc.ca/picon>). En plus de fournir les rapports sommaires des éditions de 1993 à 2003 du colloque de Banff sur les pipelines, le site communautaire de l'information sur dix sujets liés aux pipelines et fournit des liens vers des universités, des compagnies et des laboratoires de R-D. Il publie aussi des bilans de la progression de la recherche et des articles spécialisés résumant des développements récents. Durant la période de référence, des bilans sur la fiabilité des infrastructures et les revêtements ont été réalisés.

On trouve aussi au site le Journal PICon, qui publie des articles rédigés par des autorités reconnues dans leur domaine. Le but est de répondre aux besoins pratiques des exploitants des pipelines. Un nouvel article est publié chaque mois et le sujet change annuellement. Les auteurs des articles répondent aux questions et aux commentaires des lecteurs à un babilard accessible à toutes les personnes inscrites. En 2005, le thème est : « Les pipelines du Nord ».

Amélioration des procédés métallurgiques

Produits moulés

Fonte

« *Fonte du lundi matin* » : Les produits moulés faits de fonte entreposée dans de grands fours d'attente (20-100 tonnes), en général toute une fin de semaine, présentent une structure et des propriétés mécaniques déficientes. Le LTM-CANMET a trouvé le problème, qui est d'origine chimique. Les procédés de restauration qui ont été créés sont actuellement évalués à deux fonderies afin de déterminer la meilleure pratique.

Fonte ductile traitée par trempe étagée bainitique (FDTEB) : En partenariat avec Rio Tinto, le LTM-CANMET a optimisé la

trempe étagée bainitique de la fonte ductile à paroi mince et a ainsi amélioré les propriétés mécaniques de celle-ci par rapport à celles de la fonte classique. La résistance est améliorée d'un facteur de 2,5. Les produits moulés à paroi mince qui sont en FDTEB conviennent à de nombreux usages dans l'industrie de l'automobile parce qu'ils sont légers.

Fonte ductile (nodulaire) : De la fonte ductile a été versée dans des moules contenant des mélanges de sables naturels et de sables synthétiques isolants pour déterminer l'épaisseur minimale que pourraient avoir des produits moulés. Les sables isolants sont des produits nouveaux et leurs propriétés quant au moulage suscitent un grand intérêt. Les plaques moulées dans le sable isolant renfermaient moins de nodules de graphite (mais de plus grande taille) et étaient ductiles jusqu'à une épaisseur de 3 mm. La résistance était réduite de 30 %, mais la ductilité était quatre fois plus élevée et la résistance au choc était trois fois meilleure que celles des produits moulés similaires fabriqués dans du sable naturel.

Matériaux pour l'industrie minière

Acier Hadfield : Des pièces d'équipement de broyage conçus pour l'industrie minière qui s'usent et subissent un fort impact renferment des aciers Hadfield. Les pièces moulées sont fragiles au départ, mais on les rend très résistantes au choc par un traitement thermique complexe. Le LTM-CANMET a mis au point des procédés de traitement thermique améliorés il y a plusieurs années, et ces procédés sont maintenant utilisés dans de nombreuses fonderies. Cependant, il est encore difficile de toujours obtenir les mêmes propriétés mécaniques dans le cas des produits moulés massifs, en raison du refroidissement rapide auquel il faut procéder. De plus, la détermination des propriétés mécaniques à partir d'éprouvettes coûte cher parce que cet acier est extrêmement difficile à usiner. Durant la période de référence, le LTM-CANMET a créé une technique en ligne pour établir la microstructure et ainsi prédire les pro-

priétés mécaniques à un coût peu élevé. Les sections cruciales peuvent être mises à l'essai et, au besoin, traitées thermiquement de nouveau, et le taux de production de débris peut être réduit à zéro.

Amélioration de procédés industriels

Sable dans les tuyères

Le LTM-CANMET a effectué des essais au cours des trois dernières années pour simuler la performance de tuyères remplies de sable qui bloquent temporairement l'écoulement de l'acier en fusion des poches de coulée ou des fours. Les simulations ont montré que les formulations produites par le LTM-CANMET pour les sables des poches de coulée et des tuyères sont exactes. Une ouverture fiable a été améliorée jusqu'à un niveau supérieur à 93 %. Le client (Les Sables Olimag) a signalé une augmentation de ses ventes et de sa clientèle et adopté des méthodes scientifiques pour l'amélioration du produit.

Résidus d'acier

Le LTM-CANMET a évalué des échantillons de résidus d'acier en déterminant la quantité d'acier récupéré pendant la fonte dans le four. Ces travaux ont permis au client (Gerdau Ameristeel) de déterminer le prix d'achat réel des résidus d'acier.

Recyclage des métaux

Deux projets sont actuellement exécutés pour évaluer l'état actuel des réalisations dans le domaine du recyclage des métaux et améliorer la réutilisation et l'acceptation des métaux recyclés. Le recyclage réduit les temps de production, les gaz à effet de serre et la consommation d'énergie en plus de diminuer au maximum les dégâts causés à l'environnement. L'industrie du recyclage a besoin de technologies de traitement améliorées, de matériaux réfractaires plus résistants à l'usure et d'agents d'affinage moins dispendieux et elle doit accroître le contrôle et l'automatisation de ses procédés. Ses clients veulent des métaux qui contiennent moins d'écume, de laitier, de gaz dissous et d'éléments en traces, et des

spécifications des produits qui englobent ces éléments et sont bien définies.

Technologie du recyclage des métaux

Six rapports sur la séparation des résidus, les techniques d'affinage et l'effet des impuretés dans le recyclage du magnésium, de l'aluminium et de l'acier ont été publiés durant la période de référence. Les rapports indiquent que les principales lacunes technologiques dans le secteur du recyclage sont la gestion, le tri et la classification des résidus. Ces lacunes existent parce que les techniques de tri et d'affinage existantes ne permettent pas de séparer et de nettoyer suffisamment les divers types de résidus. L'accumulation d'impuretés causée par le recyclage altère les propriétés du métal. On a besoin de meilleurs systèmes d'affinage. Les rapports examinent aussi les effets des impuretés dans le magnésium, l'aluminium et l'acier ainsi que les techniques d'affinage de l'acier, la conception des produits recyclables, l'efficacité énergétique et les économies d'énergie éventuelles par le recyclage. Parmi les autres travaux réalisés, notons un examen de la littérature sur les capteurs, en vue de la détection des impuretés métalliques dans les métaux en fusion et les résidus de métaux et de la séparation de divers matériaux des résidus de métaux.

Capteurs et dispositifs de commande industriels de pointe

R-D sur les céramiques techniques dans les capteurs, les actionneurs et les cellules solaires

Les capteurs et les systèmes de commande sont utilisés à diverses fins dans un grand nombre d'industries et de procédés de fabrication, dans l'exploitation minière, les avions, les véhicules, les appareils biomédicaux, les centrales électriques et l'infrastructure des bâtiments. Ces technologies sont essentielles pour parvenir à l'efficacité énergétique, réduire les gaz à effet de serre et améliorer la productivité dans l'industrie ainsi que la qualité des produits par l'automatisation des procédés.

Durant la période de référence, la R-D s'est poursuivie sur les capteurs de gaz et les capteurs chimiques nouveaux ou améliorés ainsi que sur les matériaux, les procédés et les prototypes à l'échelle laboratoire des capteurs et des actionneurs piézoélectriques. De nouveaux capteurs haute température (jusqu'à 1 000 °C) à électrolytes solides pour la détection de l'oxygène et du dioxyde de carbone ont été conçus, fabriqués et mis à l'essai. Des capteurs à sensibilité et temps de réponse améliorés ont été créés pour la détection du méthane, du propane, du monoxyde de carbone et de l'éthanol. Finalement, on a mis au point un nouveau procédé de diffusion de l'émetteur pour la production de cellules solaires photovoltaïques qui consomment 50 % moins d'énergie qu'auparavant, utilisent de l'équipement et des matériaux moins dispendieux et conviennent à la production de masse en ligne.

Organisme de certification en essais non destructifs

L'Organisme de certification en essais non destructifs administre et élabore les programmes de certification destinés au personnel qui effectue des essais non destructifs (END). L'Organisme de certification offre des programmes dans neuf centres d'examen permanents, généralement situés dans des collèges communautaires répartis dans tout le Canada. Avec un personnel composé de trois agents administratifs et de cinq agents techniques, l'Organisme de certification répond aux besoins de 4 000 clients provenant de toutes les régions du Canada.

En conformité avec la norme nationale du Canada CAN/CGSB-48.9712:2000, l'Organisme de certification en END délivre aux personnes qualifiées des certificats attestant leur capacité à faire des essais par la radiographie, les ultrasons, le contrôle magnétoscopique, le ressuage et le contrôle par courants de Foucault. L'Organisme a délivré 642 certificats de compétence en END à 519 personnes en 2003 et 642 certificats à 531 personnes en 2004. Le nombre de certificats délivrés annuellement est demeuré relativement constant au cours des cinq dernières années. L'âge moyen des clients est de 45 ans. Les certificats doivent être renouvelés tous les trois ans. L'Organisme a renouvelé les certificats de 1 265 personnes en 2003 et les certificats de 986 personnes en 2004. Chaque année, près de 180 personnes ne renouvellent pas leur certificat. Par conséquent, le nombre de personnes certifiées dans le domaine des END augmente d'environ 360 par année, soit au rythme de 9 % par année.

En vertu d'un contrat avec la Commission canadienne de sûreté nucléaire, l'Organisme de certification en END exécute un volet du programme d'accréditation des opérateurs d'appareils d'exposition de la Commission. Au Canada, cette accréditation est obligatoire pour tous les inspecteurs qui



Un technicien en essais non destructifs procède à une inspection aux ultrasons pour déterminer s'il y a des fissures autour des trous forés pour l'installation des boulons dans le train d'atterrissage d'un Challenger CC144. Le même essai peut être effectué sur diverses pièces et composants de l'avion.

utilisent des caméras scintigraphiques à des fins de radiographie industrielle. L'Organisme a accrédité 74 opérateurs en 2003 et 68 en 2004.

En 2004, l'Organisme de certification en END a élaboré, en coopération avec Santé Canada, un programme de certification des opérateurs d'analyseurs portatifs à fluorescence X. En conformité avec la norme internationale ISO 20807:2003, l'Organisme a certifié 25 opérateurs de ce type d'analyseur en 2004.

Sur la scène internationale, l'Organisme de certification en END a signé en 2004 des lettres de coopération avec la société coréenne et la société chinoise des END. En vertu d'un accord de coopération avec l'institut britannique des END (B.I.N.D.T.), environ 18 détenteurs canadiens de certificats de compétence en END délivrés par Ressources naturelles Canada ont reçu le certificat du B.I.N.D.T., ce qui leur permet de travailler conformément à la directive européenne sur l'équipement sous pression.

Afin de mieux servir la population canadienne, l'Organisme de certification en END est à élaborer de nouveaux programmes pour l'inspection visuelle des composants industriels et la mesure aux ultrasons de l'épaisseur des appareils sous

pression, par exemple, les chaudières et échangeurs de chaleur utilisées dans l'industrie énergétique. Enfin, l'Organisme œuvre avec le Conseil canadien de l'entretien des aéronefs afin de créer un programme de certification conçu spécialement pour l'aviation et avec le Groupe des propriétaires de CANDU en vue de créer un programme de certification s'appliquant uniquement à l'industrie électronucléaire.



Contrôle magnétoscopique de l'arbre cannelé d'un moteur d'avion. Le contrôle magnétoscopique est un moyen économique et rapide de détecter les discontinuités qui se trouvent à la surface et immédiatement sous la surface des matériaux ferromagnétiques et qui peuvent rendre une pièce inutilisable.

Sommaire financier

Les revenus et dépenses pour les exercices financiers (1^{er} avril - 31 mars) 2003-2004 et 2004-2005 sont exposés ci-après.

Durant cette période de deux ans, les services votés de RNCan ont représenté environ 52 % des revenus; le Programme de recherche et de développement énergétiques (PRDE), 12 %; les autres ministères, 19 %; et les contrats externes, 17 %. En 2003-2004, environ 27 % des revenus provenant d'autres ministères ont été des fonds pour des projets de l'ACDI qui ont eu lieu en Inde; en 2004-2005, ce pourcentage a été d'environ 59 %.

	AF 2003-2004	AF 2004-2005
REVENUS		
Services votés	8 493 154	7 129 000
PRDE	1 783 000	1 956 500
Autres minist. + progr. gouv.	2 605 998	3 318 741
FAUU	10 700	0
Conventions collectives	0	492 498
Contrats externes	2 386 079	2 097 378
Total	15 278 931	14 994 117
DÉPENSES		
Salaires (étudiants inclus)	9 402 046	9 447 812
20 % manque à gagner en salaires	157 826	284
Exploitation	5 119 382	4 691 883
Capital	398 555	736 487
Déficit reporté	411 058	209 936
Total	15 488 867	15 086 402
<i>Surplus/déficit</i>	<i>(209 936)</i>	<i>(92 285)</i>