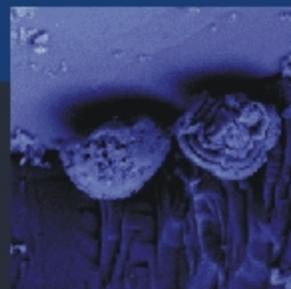


L M S M - C A N M E T

Rapport annuel

Laboratoires des mines et des sciences
minérales de CANMET

2003



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

Message du directeur

En février 2004, j'ai accepté de diriger les Laboratoires des mines et des sciences minérales (LMSM) de CANMET succédant ainsi à Roy Sage, ce dernier ayant accepté le poste de conseiller principal en matière de changement climatique et de projets miniers internationaux. Je suis extrêmement honoré d'avoir été nommé directeur des LMSM-CANMET, un organisme de recherche bien enraciné qui fournit depuis longtemps un appui technique à l'industrie canadienne de l'exploitation minière et du traitement métallurgique.

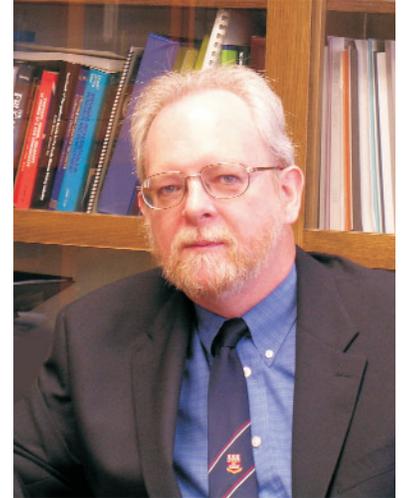
À Ressources naturelles Canada, les LMSM-CANMET font de la recherche et mettent au point de nouvelles technologies liées à la récupération et à l'utilisation économiques, sécuritaires et écologiques des minéraux et des métaux du Canada. En outre, les LMSM-CANMET coordonnent des consortiums et forment des partenariats avec des compagnies afin d'exécuter des activités techniques spécifiques qui ont trait à l'exploitation minière, à la minéralurgie, à la métallurgie extractive et à l'environnement. De plus, les LMSM-CANMET apportent un soutien technique à la formulation de la politique gouvernementale et jouent un rôle essentiel en appuyant des activités professionnelles relatives à l'exploitation minière et au traitement métallurgique. Depuis près d'un siècle, les LMSM-CANMET sont une importante source de compétences techniques et d'appui professionnel pour la collectivité qu'ils servent.

Les LMSM-CANMET exercent leurs activités dans des laboratoires situés à Ottawa, Sudbury et Val-d'Or. Leurs recherches visent trois grands objectifs qui favorisent l'implantation d'un développement durable au Canada :

- améliorer la santé et la sécurité dans l'environnement minier
- améliorer la compétitivité de l'industrie en accroissant la productivité
- trouver des solutions techniquement fiables aux problèmes environnementaux

Dans ce contexte, les LMSM-CANMET ont acquis des compétences particulières dans plusieurs domaines :

- automatisation et mécanisation des mines
- qualité de l'air et ventilation dans les mines
- contrôle de terrain
- minéralogie appliquée
- traitement métallurgique
- effluents miniers
- gestion des résidus miniers



“Depuis près d'un siècle, les LMSM-CANMET sont une importante source de compétences techniques et d'appui professionnel pour la collectivité qu'ils servent.”

- métaux et environnement
- production de matériaux de référence certifiés
- essais d'aptitude des laboratoires d'analyse minérale

Ce rapport contient de l'information sur chacun de ces domaines de compétence et sur les principales activités exécutées en 2003 par les diverses équipes qui travaillent dans ces domaines. Au cours de 2003, des publications ont été distribuées en guise d'appui à ces activités de recherche. Vous en trouverez la liste à la fin de ce rapport. En plus de ces publications, le personnel des LMSM-CANMET a produit 72 rapports confidentiels, 38 rapports techniques et internes et fait plus de 130 présentations orales lors de conférences, symposiums et ateliers.

Finalement, je désire remercier l'équipe de gestion et tout le personnel des LMSM-CANMET pour l'appui et l'aide qu'ils ont fournis dans le cadre de la production de ce rapport. J'espère que ce dernier s'avérera un résumé utile des récentes activités des LMSM-CANMET.



Tom Hynes
Directeur
LMSM-CANMET

Activités financées par l'industrie

L'une des principales responsabilités des LMSM-CANMET consiste à appuyer l'industrie et les ministères canadiens par le biais de projets générant des revenus, démontrant ainsi la pertinence des LMSM-CANMET, tout en appuyant directement le développement technique de l'industrie canadienne de l'exploitation minière et du traitement métallurgique. Au cours de 2003, d'importantes études techniques ont été effectuées au nom de plusieurs compagnies et ministères et ont servi à produire 72 rapports confidentiels. Ce fut un plaisir de travailler directement avec ces organismes et nous envisageons de maintenir cette collaboration. Quelques-uns de nos clients en 2003 furent :

- Association minière du Canada
- Association minière du Québec
- BHP Billiton Diamonds Inc.
- Breakwater Resources Ltd.
- Cambior inc.
- Canadian Natural Resources Ltd.
- Université Carleton
- Catalytic Exhaust Products Ltd.
- Caterpillar Inc.
- CEZinc
- Agence canadienne de développement international
- Collège de Sherbrooke
- COREM
- Cummins Engine Company Inc.
- Ministère de la Défense nationale
- Environnement Canada
- Falconbridge Ltd.
- FedNor, Industrie Canada
- Gestion CAMAC 90676214 Québec inc.
- Golder Paste Technologies
- Hilti Corporation
- Hydro-Québec
- Compagnie Pétrolière Impériale Ltée
- Inco ltée
- Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (France)
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
- Jacques Whitford Environment Ltd.
- Leslie Investments Ltd.
- MEDATech Engineering Services Ltd.
- Millenium Biologix Inc.
- Mitsubishi Engine North America, Inc.
- Nature Works Remediation Corporation
- Newmont Canada Ltd.
- Nickel Producers Environmental Research Association
- Noranda Inc.
- Placer Dome
- Les Ressources Aur Inc.
- Société aurifère Barrick
- La société d'énergie du Nouveau-Brunswick
- SOREDEM
- Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Au cours de 2003, les LMSM-CANMET ont haussé leur certification de système qualité à ISO 9001:2000 pour améliorer la qualité de leurs services, en réussissant les audits de la British Standards Institution. Le Projet canadien des matériaux de référence certifiés conserve sa certification distincte ISO 9001:2000.

Prix

Le personnel scientifique des LMSM-CANMET continue d'être reconnu aux niveaux national et international pour son expertise et sa contribution à l'industrie de l'exploitation minière et du traitement métallurgique. Au cours de 2003, quelques-uns de nos employés ont été reconnus pour leurs remarquables réalisations.

L'initiative de neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier a reçu un prix des Partenaires fédéraux en transfert de technologie " pour avoir réussi le transfert des connaissances et de la technologie qui ont été développées dans des laboratoires de recherche fédéraux à l'appui du mandat réglementaire et du mandat en matière de bien collectif et qui ont un impact important sur le bien-être socio-économique de la population canadienne ". Le prix a été remis à Gilles Tremblay, Charlene Hogan et Janice Zinck, à l'emploi des LMSM-CANMET, et à Marcia Blanchette, Grant Feasby et Carl Weatherell qui, auparavant, faisaient partie du personnel des LMSM-CANMET.

Nand Davé a reçu le Prix des éminents conférenciers de l'Institut canadien des mines, de la métallurgie et du pétrole.

John Dutrizac a été le premier à recevoir le prix Mackiw Lecturer en Métallurgie de l'Université de l'Alberta. Ce prix est parrainé par Dynatec, Sherritt International, Westaim Ambeo et Umicore Canada.



Gauche à droite : G. Feasby, C. Hogan, G. Tremblay, J. Zinck, M. Blanchette, C. Weatherell.

Feuille de route pour la recherche-développement visant les opérations dans les mines souterraines

À la demande du comité de recherche de l'Association minière du Québec, les LMSM-CANMET ont entrepris une importante initiative afin de définir une vision de la R-D minière canadienne pour la prochaine décennie. Les principaux objectifs de cette feuille de route étaient premièrement de définir les axes de recherche les plus pertinents afin d'augmenter la compétitivité et d'améliorer la sécurité dans les mines souterraines. Le deuxième objectif était de quantifier les bénéfices économiques des innovations technologiques sur l'emploi, sur l'ouverture de nouvelles mines, sur les communautés et sur la structure économique de l'industrie minière en région. Finalement, le dernier objectif était d'évaluer le financement requis afin d'obtenir un impact significatif et de fournir les arguments nécessaires afin de justifier les demandes de fonds auprès de l'industrie, des gouvernements et autres décideurs.

D'importantes consultations ont eu lieu en 2003 auprès de l'industrie minière canadienne, des universités, des centres de recherche et des PME, afin d'obtenir un consensus sur les axes de recherche prioritaires définissant les programmes où la R-D a le plus grand potentiel de succès dans les dix prochaines années. Le rapport sera complété en 2004.

Qualité de l'air et ventilation dans les mines

Le programme de la qualité de l'air et de la ventilation dans les mines met l'accent sur la santé et la sécurité des travailleurs miniers. Ce programme se spécialise dans l'automatisation de la ventilation des mines, la réduction des émissions des moteurs diesel et l'homologation de ces moteurs, ainsi que la diminution, l'échantillonnage et l'analyse des contaminants souterrains. Évidemment, le succès de l'application d'une technologie de contrôle est intimement lié au coût de la mise en application. Des initiatives, comme l'automatisation de la ventilation, permettent aux exploitants d'améliorer la qualité de l'air dans les mines souterraines, tout en réduisant le coût de la ventilation. Dans ce domaine, les LMSM-CANMET collaborent étroitement avec des compagnies minières, des syndicats et des organismes provinciaux de réglementation minière en vue d'apporter des solutions techniques à des problèmes qui se manifestent dans tous les secteurs de l'industrie.





Extraction économique à grande profondeur - impact de l'automatisation de la ventilation

Certains exploitants de mines réduisent ou ferment la ventilation en dehors des périodes de pointe, en se basant sur le niveau des activités. Cependant, dans certaines mines, l'infrastructure de la ventilation est conçue pour répondre en tout temps à la demande la plus élevée, c'est-à-dire même lorsque des volumes d'air de niveau maximal ne sont pas nécessaires. Une telle pratique est dispendieuse lorsqu'elle est appliquée aux mines conventionnelles, mais son coût est prohibitif dans le cas des mines profondes et chaudes. En partenariat avec une compagnie minière canadienne, les LSM-CANMET ont réalisé une étude de cas qui leur a permis de découvrir qu'un approfondissement de 300 m pourrait résulter en une hausse globale de 70 % de la consommation d'électricité. Cette hausse est due à l'augmentation de 10 à 20 % de la capacité nécessaire du système de ventilation principal de la mine. Cette étude a aussi permis de déterminer certaines périodes durant lesquelles il serait possible de faire fonctionner à capacité réduite les systèmes de ventilation principal et auxiliaire. Pour la mine en question, les LSM-CANMET ont découvert que le maximum de ventilation n'était nécessaire que durant la moitié de la semaine normale de travail. Grâce à l'automatisation de la ventilation sur demande, la consommation d'électricité et le coût de cet intrant pourraient être réduits, ce qui permettrait à cette mine d'économiser 2 millions de dollars par année.



Remplacement des moteurs diesel par des piles à combustible - analyse coût-bénéfice

Dans les mines souterraines, les moteurs diesel pourraient aussi être remplacés par des moteurs électriques alimentés par des piles à combustible. Des économies de coûts viendraient s'ajouter aux avantages pour la santé si les volumes de ventilation pouvaient être réduits en conséquence. Les piles à combustible permettraient aussi de diminuer de beaucoup les émissions de gaz à effet de serre (GES). Un projet d'analyse coût-bénéfice, parrainé par Fuelcell Propulsion Institute (FPI) et exécuté par les LSM-CANMET, a démontré que le remplacement des moteurs diesel par des piles à combustible pourrait être très avantageux étant donné que la ventilation constitue 40 % des coûts en énergie d'une mine. Plus particulièrement, l'analyse effectuée sur un échantillon représentatif des mines canadiennes a révélé que ce remplacement peut réduire les coûts d'électricité de 24 à 50 % dans le cas du système de ventilation principal (ventilateurs principaux). Ces exercices de modélisation ont aussi permis de prévoir que de remplacer des moteurs diesel par des piles à combustible réduirait l'émission des GES de 27 à 43 %.



Chargeuse-navette hybride (diesel et électrique)

À chaque année, dans toute mine de taille moyenne, on déplace des millions de tonnes de minerai, grâce à des méthodes d'exploitation modernes rendues possibles par des équipements au diesel qui sont puissants et fiables. L'un d'entre eux, la chargeuse-navette, est un véhicule surbaissé qui a une puissance pouvant aller jusqu'à 400 HP pour un godet de 8 vg³.

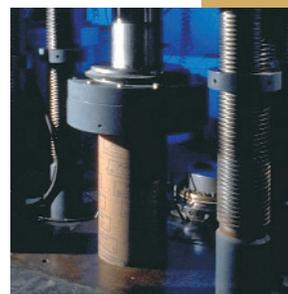
Malheureusement, le moteur diesel présente des inconvénients : les contaminants provenant de ses émissions sont toxiques, il est une importante source de chaleur et la ventilation nécessaire pour diluer la contamination est très dispendieuse. Avec l'appui de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), les LSM-CANMET achèvent un projet qui permet d'évaluer la possibilité d'utiliser, dans les mines souterraines, des moteurs hybrides qui sont alimentés autant au diesel qu'à l'électricité. Cette étude en laboratoire a permis d'examiner les avantages de cette technologie du point de vue de la réduction des émissions. En plus de comporter des avantages évidents pour la santé, cette technologie offre aux exploitants des mines une flexibilité accrue dans la gestion de la ventilation.

Orientations futures

L'une des orientations clés du programme de la qualité de l'air et de la ventilation dans les mines est l'extraction à grande profondeur. Le Consortium de recherche sur le minage en profondeur, dont les LSM-CANMET sont un membre actif, se consacre à la mise en valeur rentable des gisements situés en grande profondeur. Le Consortium, une initiative de recherche d'une valeur de 17 millions de dollars, vise à trouver des techniques et des technologies qui faciliteront l'extraction rentable dans les mines profondes. Certaines de ses initiatives engloberont des aspects du contrôle de la chaleur provenant du massif rocheux, des essais non destructifs en temps réel des câbles d'extraction, des techniques d'extraction rapide et une étude sur la performance des moteurs diesel.

Contrôle de terrain

Le programme de contrôle de terrain des LSM-CANMET effectue de la recherche appliquée pour l'industrie minière canadienne. Le programme vise à améliorer la stabilité du massif, la santé et la sécurité des travailleurs, la viabilité économique à long terme des exploitations minières dans des massifs rocheux de faible résistance ou soumis à de fortes contraintes, ainsi qu'à réduire les risques, pour le grand public, que présentent les mines abandonnées. Des technologies de contrôle de terrain mises au point pour améliorer l'exploitation minière sont appliquées avec succès à d'autres





domaines. Par exemple, la technologie de la microsismicité est utilisée pour surveiller les puits de pétrole et la stabilité des pentes le long des voies ferrées. La technologie de la réflectométrie dans le domaine temporel est utilisée pour surveiller la stabilité des digues des parcs à résidus et d'autres types d'ouvrages. Au cours de 2003, des spécialistes des LMSM-CANMET qui travaillent dans les domaines de la géodynamique, de la géomécanique, de la modélisation, du soutènement et de l'instrumentation ont exécuté des recherches pour résoudre les problèmes complexes de contrôle de terrain rencontrés dans l'industrie.

Surveillance microsismique dans l'extraction des sables bitumineux

L'objectif du projet est de détecter les fuites et les bris dans les conduits souterrains dès qu'elles se produisent. Les fondements scientifiques de la technologie utilisée ont été établis au cours de la dernière décennie grâce à des travaux menés par les LMSM-CANMET en collaboration avec la Compagnie Pétrolière Impériale Ltée et Canadian Natural Resources Ltd. Les participants au projet ont créé et appliqué un modèle théorique de bris des conduits souterrains et ont réussi des essais pilotes in situ quant à la détection de fuites. Les gisements de sables bitumineux du Canada contiennent plus de pétrole récupérable que toutes les réserves de l'Arabie saoudite, mais leur exploitation est difficile pour des raisons techniques. Les compagnies qui exploitent les gisements de sables bitumineux du nord-est de l'Alberta utilisent des méthodes thermiques pour faire monter le bitume dans des conduits souterrains et ainsi l'extraire. Les LMSM-CANMET continuent de participer à la surveillance microsismique des bris des conduits souterrains. Grâce à cette collaboration, des fuites de pétrole à de faibles profondeurs, pouvant avoir d'importantes conséquences pour l'environnement, peuvent être évitées.

Projet Slam Jet Sparger - séquestration du CO₂ dans les résidus des sables bitumineux

Le projet Slam Jet Sparger a été exécuté en 2003 à la mine Aurora, à Fort McMurray, en Alberta, afin d'étudier l'utilisation du dioxyde de carbone (CO₂) au lieu du gypse pour produire des résidus composites ou des résidus homogènes et d'examiner la possibilité de stocker ou de séquestrer le dioxyde de carbone dans les résidus composites. Le projet Slam Jet Sparger a été réalisé conjointement par Syncrude Canada Ltd. et Canadian Natural Resources Ltd. Les LMSM-CANMET ont pu participer au projet grâce à des fonds du Plan d'action 2000 sur le changement climatique.

Mesures des contraintes in situ en profondeur

Des mesures ont été effectuées à la mine Campbell de Placer Dome, à Balmertown, en Ontario, afin de déterminer l'ampleur et l'orientation des contraintes in situ aux niveaux les plus profonds de la mine. Les essais ont été effectués au niveau 36 (1 650 m sous la surface) et au niveau 39 (1 785 m sous la surface), dans le contexte de l'exploration et de la mise en valeur planifiées de la zone Deep Campbell. Ceux-ci furent exécutés au moyen de la technique du "doorstopper", qui est la technique normalisée de la mesure des contraintes élaborée en Afrique du Sud au milieu des années 1960. Les essais ont été réalisés dans des trous de forage au diamant de calibre B, creusés dans trois directions quasi-orthogonales à chaque site d'essai.

Orientations futures

Dans l'avenir, la R-D au sein du programme de contrôle de terrain comprendra notamment l'élaboration d'essais normalisés dans le pergélisol, l'analyse de remblais composites et le développement d'outils d'évaluation du risque au moyen de données géomécaniques et géodynamiques.

Mécanisation et automatisation des mines

Le programme de mécanisation et d'automatisation des mines effectue des travaux de R-D liés au forage, à la fragmentation du roc, aux systèmes de communication et de contrôle, au transport du personnel, du matériel et du minerai, et à la réduction du bruit.

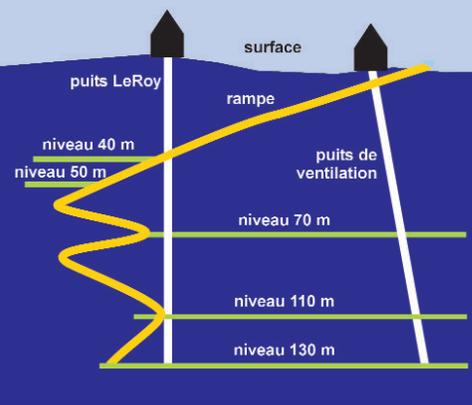
Machines d'extraction

En 2003, les LSM-CANMET ont continué d'offrir aux compagnies minières des services d'inspection des machines d'extraction. Une trentaine de machines ont été inspectées au Québec et trois en Tanzanie. Chaque inspection consiste à prendre diverses mesures pour déterminer les limites techniques des machines d'extraction. De plus, les LSM-CANMET ont participé à l'adaptation des normes sud-africaines SABS 0293:1996 et SABS 0294:2000 pour la province de Québec. Ces normes permettent d'évaluer la condition des câbles d'extraction, en plus de prescrire la performance, les essais et l'entretien des tambours des machines.

Application des piles à combustible à l'extraction minière souterraine

En collaboration avec le Fuelcell Propulsion Institute (FPI), les LSM-CANMET ont mis sur pied un consortium nord-américain de recherche-développement en vue de l'application de la technologie des piles à combustible à des

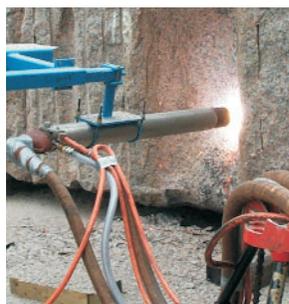




véhicules utilisés dans les mines souterraines. Comme partenaire du FPI, les LMSM-CANMET jouent un rôle clé dans la sélection et la planification de projets canadiens et agissent en temps que chef de projet pour la démonstration des nouveaux équipements à piles à combustible. Soulignons que la mise au point de la chargeuse-navette à piles à combustible, initiée en 2002, se poursuivra encore durant quatre années et, qu'en 2003, la conception du système de propulsion de la chargeuse-navette a constitué le principal volet de ce projet. De plus, les principales composantes ont été soumises à des essais d'endurance en utilisant une locomotive à piles à combustible de 4,5 tonnes.

Fragmentation thermique

La fragmentation thermique pourrait s'avérer être une méthode novatrice pour procéder à l'extraction économique des gisements filoniens. Ce procédé maximise la récupération du minerai, tout en minimisant la dilution.



Les LMSM-CANMET étudient actuellement deux sources de chaleur pour la fragmentation thermique, soit un brûleur au diesel et une torche à plasma. En 2003, les LMSM-CANMET ont évalué, en collaboration avec leurs partenaires de l'industrie minière, la performance du brûleur au diesel et ses émanations gazeuses, tant en surface que sous terre. De plus, une étude de pré-faisabilité a été réalisée pour la fragmentation thermique en utilisant la torche à plasma.

Orientations futures

Le programme de mécanisation et d'automatisation des mines continuera de mettre au point des technologies dans ses domaines de spécialisation, particulièrement en fragmentation thermique de la roche dure sans explosif. Toute réussite dans ce domaine aura des retombées importantes sur les méthodes traditionnelles d'extraction des gisements filoniens.

La Mine-laboratoire des LMSM-CANMET

La Mine-laboratoire des LMSM-CANMET, située à Val-d'Or, au Québec, est l'endroit par excellence pour la formation du personnel minier et pour effectuer de la recherche-développement et des essais en vue de développer de nouvelles technologies.

La Mine-laboratoire a été le siège d'activités intenses en 2003. Plusieurs fabricants et fournisseurs d'équipements ont essayé et évalué leurs produits dans cet environnement contrôlé et facile d'accès. De plus, la Mine-laboratoire a signé une entente de collaboration avec quatre universités, en vertu de laquelle leurs chercheurs ont accès aux installations souterraines de la Mine-

laboratoire. Une annexe est en voie d'être ajoutée aux installations de surface pour faciliter le travail de ces chercheurs. Au total, plus de 100 travailleurs de l'industrie minière ont reçu de la formation en santé et sécurité dans les mines souterraines à la Mine-laboratoire des LMSM-CANMET en 2003.

Minéralogie et procédés métallurgiques

Le programme de la minéralogie et des procédés métallurgiques a recours à des spécialistes et à des équipements spécialisés pour améliorer la productivité, la qualité et la performance environnementale des opérations en minéralurgie et en hydrométallurgie. Le programme fournit aussi des conseils techniques à d'autres organismes gouvernementaux relativement à des propositions visant de grands projets. Les activités du programme sont les suivantes : minéralogie appliquée, métaux de base, traitement de minerais d'or, matériaux réfractaires, minéralurgie et recyclage. En 2003, le programme a maintenu un niveau de publication élevé ainsi qu'un fort leadership en matière d'activités scientifiques, notamment en organisant des conférences et des ateliers internationaux.

Consortiums sur la cyanuration de minerais d'or

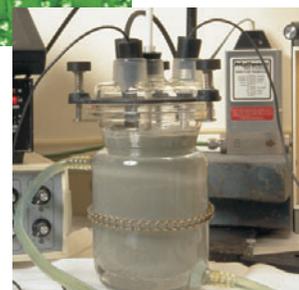
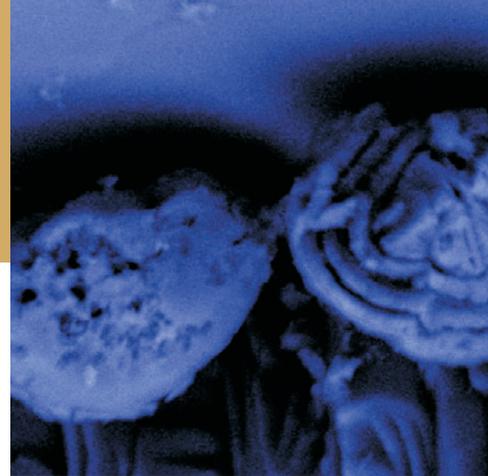
Des consortiums avec des sociétés minières exploitant des mines d'or ont appuyé avec succès une combinaison de travaux spécifiques aux usines et partagé des travaux de recherche fondamentale visant à mieux comprendre et à améliorer les opérations. Ces consortiums ont permis de mieux connaître le procédé de cyanuration, ce qui a mené à une réduction de la quantité de réactifs utilisés et des pertes d'or dans les résidus.

Projet Voisey's Bay d'Inco

Inco Ltée procède actuellement à l'évaluation des technologies reliées au traitement des concentrés qui seront produits au gisement de sulfure de nickel de Voisey's Bay, situé au Labrador. Dans le cadre de cette vaste étude, plusieurs options hydrométallurgiques sont élaborées et actuellement mises à l'essai à des installations d'Inco. Cependant, certains aspects des procédés proposés ont nécessité une étude supplémentaire que les LMSM-CANMET ont effectuée en vue de résoudre des problèmes opérationnels et environnementaux particuliers relativement à la sélection d'un procédé et à l'élimination sécuritaire des résidus de lixiviation en autoclave.

Projet sur les particules fines

Les particules fines peuvent être problématiques dans les circuits de la minéralurgie, car les équipements et les procédés traditionnels ne les



traitent pas efficacement. Cela peut mener à d'importantes pertes de minéraux, à une augmentation de la consommation d'énergie, à une réduction de l'efficacité dans certaines opérations, tels que le broyage et la filtration, ainsi qu'à une diminution de la stabilité des résidus. Ces enjeux font l'objet d'un projet sur les particules fines, échelonné sur quatre ans, avec COREM et Hydro-Québec. En 2003, les activités ont mis l'accent sur une meilleure identification des répercussions des particules fines sur les circuits de flottation et l'évaluation de procédés améliorés ou de rechange aux fins du traitement des particules fines. Les travaux sont présentement à l'étape du banc d'essai. Des essais en usine sont prévus pour l'année à venir.

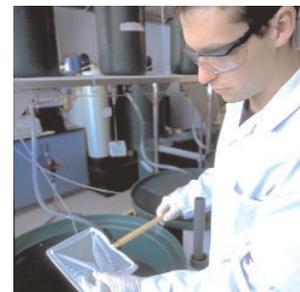
Orientations futures

Le programme de la minéralogie et des procédés métallurgiques verra de plus en plus à la mise au point de procédés novateurs afin de réduire ou d'éliminer les principaux défis environnementaux. Certains de ces défis seront traités en priorité, par exemple : la réduction de l'utilisation du cyanure sans diminuer les taux élevés de récupération de l'or; la caractérisation, le traitement et la stabilisation de l'arsenic. Parmi les autres priorités, notons l'identification de solutions de rechange hydrométallurgiques à la pyrométallurgie et des défis environnementaux, tels que la réduction des gaz à effet de serre et le recyclage. Enfin, le personnel du programme œuvre avec des groupes chargés de la formulation de politiques, des organismes régionaux fédéraux et des compagnies afin de résoudre les problèmes et les défis auxquels doivent faire face les fonderies au Canada.

Métaux et environnement



Le programme des métaux et de l'environnement effectue des travaux de recherche et de développement afin de veiller à ce que les politiques, la réglementation et autres mesures de protection de l'environnement touchant l'industrie minière soient basées sur des principes scientifiques objectifs. Le programme effectue le lien entre les politiques canadiennes et étrangères, et les données scientifiques de base sur les émissions et leur impact dans l'environnement. L'expertise du programme se situe dans les domaines suivants : toxicologie des milieux aquatiques, biologie, chimie de l'environnement, transformation des métaux et évaluation du cycle de vie des métaux. Le programme produit des données scientifiques qui permettent d'évaluer les dangers et les risques liés au rejet dans l'environnement de métaux et de composés métalliques, et offre cette expertise aux décideurs et aux responsables des politiques.



Évaluation du cycle de vie (ECV)

Des approches pour l'ECV continuent d'être élaborées et appliquées aux évaluations environnementales. En général, les méthodes d'ECV sont développées pour des substances organiques et leur application aux métaux est souvent inadéquate. Les LMSM-CANMET essaient concrètement de trouver des solutions de rechange à l'application inadéquate de l'ECV aux métaux. Étant donné le succès remporté par l'Atelier international sur l'évaluation du cycle de vie des métaux en 2002, les LMSM-CANMET ont continué de promouvoir le recours à des principes scientifiques objectifs dans l'ECV. Les efforts des LMSM-CANMET ont porté fruit. Le Canada a adhéré à l'Initiative internationale sur le cycle de vie, qui relève du Programme des Nations Unies pour l'environnement et de la "Society of Environmental Toxicology and Chemistry".

Prévision de la toxicité des effluents miniers pour les organismes aquatiques

Le groupe de toxicologie des milieux aquatiques des LMSM-CANMET a continué de se perfectionner dans le domaine des essais de toxicité chronique et aiguë, et s'intéresse dorénavant à toutes les espèces stipulées dans le Règlement sur les effluents des mines de métaux (REMM). Le groupe a aussi développé et mis en application des instruments d'analyse permettant d'évaluer la spéciation des métaux dans les milieux d'essais de toxicité normalisés, les effluents et les milieux récepteurs. Des essais et de la caractérisation sur place ont été effectués pour élaborer des méthodes de détermination des critères de la qualité de l'eau en fonction du site. Cette recherche inclut la création et l'adaptation de modèles prédictifs des ligands biotiques et l'éclaircissement du comportement d'autres matières potentiellement toxiques, par exemple, les thiosels et les réactifs de flottation. Étant donné l'importance de la surveillance des effets sur l'environnement et les essais de toxicité chronique connexes dans le cadre du REMM, une meilleure compréhension de la toxicité des effluents miniers et la création de modèles prédictifs apporteront une contribution significative pour l'industrie et les responsables de la réglementation. Enfin, ces travaux ont des retombées connexes au-delà du REMM, particulièrement parce qu'ils contribuent aux évaluations des risques et à l'établissement d'objectifs pour les rejets qui sont basés sur les critères de la qualité de l'eau établis pour chaque site.

Classification des dangers liés aux métaux et aux substances métalliques

Les LMSM-CANMET ont poursuivi leurs recherches sur l'identification et la classification des dangers liés aux métaux. Une des spécialités est la transformation et la dissolution des métaux, des composés métalliques





modérément solubles et des alliages. Ces travaux constituent un facteur clé dans l'élaboration du protocole de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) sur la transformation et la dissolution (T/D) des métaux, dans le cadre du Programme sur les lignes directrices pour les essais de l'OCDE. De plus, pour l'Union européenne, les données sur la T/D sont une importante composante des évaluations du risque dans le cas du zinc et du nickel. Au début de 2003, l'OCDE s'est engagée dans un projet ayant pour but de valider le protocole sur la T/D. Les LSM-CANMET sont un partenaire important dans ce projet de validation et le principal laboratoire pour les essais comparatifs interlaboratoires. Les autres laboratoires participants sont situés au Chili, en Belgique et en Italie. Une fois qu'il sera validé, le protocole sur la T/D pourra également être appliqué aux alliages.

Orientations futures

Le programme des métaux et de l'environnement continuera d'élaborer des principes scientifiques objectifs sur les métaux et les minéraux, aux fins de leur intégration aux politiques de protection de l'environnement. Les initiatives à venir comprennent un symposium international sur l'ECV, l'élaboration d'approches particulières aux métaux pour l'évaluation des dangers et des risques, et l'amélioration de la compréhension de la toxicité des effluents miniers par une meilleure connaissance des interactions entre les contaminants et les systèmes aquatiques.

Gestion des résidus miniers

En vue de l'élimination et de la gestion des résidus miniers, ainsi que de la restauration de leurs sites d'accumulation, le programme élabore et évalue des options à long terme, scientifiquement judicieuses et durables. Les activités de R-D courantes comprennent : l'élaboration de méthodes novatrices pour prévoir le drainage acide; l'évaluation des avantages et des risques de l'élimination en mer des résidus; la conception et l'optimisation de procédés novateurs de traitement à la chaux et de densification des boues; l'étude de l'utilisation de différents réactifs de traitement; et la mise au point de technologies de recharge pour la stabilisation des résidus et de techniques de surveillance du transport des contaminants entre l'eau et les résidus. Des conseils techniques et des revues indépendantes sont fournis à l'égard d'études de faisabilité visant le déclassement/restauration et appuient des projets de perfectionnement des compétences en environnement dans des pays en voie de développement.



Recherche sur l'arsenic

Des études ont été effectuées pour examiner la présence d'arsenic dans divers résidus miniers et son impact sur la qualité de l'eau. La mobilisation et la transformation de l'arsenic dans les résidus miniers, ainsi que la spéciation et la dissolution de l'arsenic dans une boue neutralisante placée sous une couverture aqueuse, ont été étudiées. D'autres études ont été exécutées pour évaluer et comprendre les caractéristiques de la lixiviation du radium, de l'arsenic et des métaux lourds connexes à partir de résidus d'uranium non oxydés. Les résultats de ces études permettent de mieux comprendre le comportement de divers résidus et aident à déterminer quelles sont les stratégies de gestion des résidus miniers afin de minimiser le transfert d'arsenic dans l'environnement.

Gestion des résidus miniers dans le Nord

La mise en valeur des ressources minérales dans le Nord est limitée, en partie, par son impact potentiel sur l'écosystème fragile de cette région. Les LSM-CANMET ont effectué des recherches pour mettre au point des technologies de gestion, en climat froid, des résidus et de restauration de leurs sites d'accumulation. Parmi les récents travaux, notons une évaluation de la stabilité chimique des résidus miniers dans le Nord. Parallèlement à ces travaux, des études ont été exécutées en laboratoire et sur le terrain pour adresser la stabilité et la densification des boues minières en climat froid. Enfin, un examen d'applications de traitements passifs dans le Nord a été réalisé.

Utilisation de résidus pour traiter des résidus

Il faut éliminer et traiter avec soin les résidus miniers si l'on veut réduire au maximum tout impact potentiel sur l'environnement. Les LSM-CANMET ont étudié l'utilisation de déchets industriels pour restaurer des sites d'accumulation de résidus miniers. Grâce à des fonds du Plan d'action 2000 sur le changement climatique, les LSM-CANMET ont évalué les avantages environnementaux et économiques du remplacement de la chaux par de la poussière de fours à ciment. Lors d'un essai pilote à Britannia Beach en Colombie-Britannique, la poussière de fours à ciment s'est avérée efficace pour traiter de l'eau d'exhaure acide. Dans le cadre d'une autre étude, l'utilisation de boues d'usines de pâtes et papiers pour le traitement de l'eau a été évaluée et cette utilisation s'est révélée efficace pour retirer les métaux de l'eau d'exhaure. Ce résultat a appuyé des travaux antérieurs où des boues d'usines de pâtes et papiers avaient été utilisées comme méthode de restauration de la végétation des résidus. Dans la foulée de cette activité, les microbes présents dans une couverture composée de boues d'usines de pâtes et papiers ont été évalués quant à leur rôle comme agent réducteur empêchant la formation de tout drainage acide. Dans une autre étude, des stériles à base de magnésium ont été utilisés pour traiter le drainage acide. Les stériles ont réussi à retirer les métaux



du flux de résidus et, en raison de leur contenu élevé en magnésium, ils ont produit une boue d'une densité plus élevée que celle obtenue au moyen de la chaux. L'utilisation de résidus pour traiter d'autres types de résidus s'avère efficace pour l'environnement en plus d'être économique.

Orientations futures

Le programme de gestion des résidus miniers étudiera l'utilisation de divers additifs et liants pour stabiliser physiquement et chimiquement les boues et autres résidus miniers, en plus d'évaluer la stabilité chimique des résidus et des boues utilisés comme remblais en pâte. De plus, il continuera d'évaluer le comportement et l'élimination de l'arsenic de même que la mise au point de techniques de gestion des résidus miniers pour le Nord.

Effluents miniers

Le programme des effluents miniers travaille directement avec l'industrie au traitement des effluents des mines et des usines afin d'élaborer des stratégies de gestion des effluents. Les technologies mises au point comprennent des procédés chimiques et biologiques, l'accent étant mis sur la biotechnologie. Parmi les réussites, notons l'amélioration de procédés de dégradation naturelle et la mise au point de procédés biologiques actifs et d'une technologie passive pour zones humides. Des procédés d'élimination de contaminants ont été mis au point pour l'ammoniac, le cyanure, les thiosels et les métaux. Enfin, le programme participe à l'exécution de projets de perfectionnement des compétences pour des pays en voie de développement.

Dégradation naturelle des thiosels

La dégradation naturelle est la méthode la plus utilisée pour traiter les thiosels présents dans les effluents des usines de traitement. Toutefois, elle n'est pas toujours efficace au printemps et à l'automne. En étudiant les effets des variables environnementales sur les procédés chimiques et biologiques ayant cours dans les parcs à résidus, les LMSM-CANMET ont trouvé des moyens de promouvoir ces processus naturels. En 2003, les LMSM-CANMET ont effectué deux études à une usine de traitement située dans le nord du Québec. Ces études ont indiqué la présence des microbes nécessaires à l'oxydation des thiosels et ont montré que l'oxygène dissous ainsi que la température étaient les facteurs qui ralentissaient l'activité de ces microbes. Il fut découvert qu'en mettant en pratique une solution simple et peu coûteuse, il était possible de diminuer de 30 % la concentration totale de thiosels sans devoir ajouter de produits chimiques.



Travaux visant les zones humides

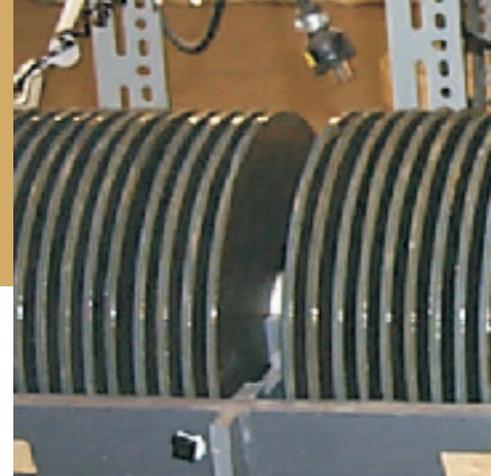
Au cours de la dernière année, les LMSM-CANMET ont procédé à plusieurs études dans le domaine des zones humides. Les travaux ont porté sur les cellules anaérobies, les drains de calcaire et les cellules végétatives. Entre autres, les interrelations entre la chimie et la biologie dans les cellules de traitement passif ont été examinées. En 2003, les principaux projets étaient : l'échantillonnage et la surveillance sur le terrain d'un système opérationnel en grandeur réelle, réalisés en Colombie-Britannique; l'exploitation d'un bioréacteur anaérobie pilote et de cellules Typha qui ont traité avec succès des niveaux élevés de zinc; et des essais sur colonne à l'échelle du banc d'essai qui ont permis d'examiner l'élimination de l'arsenic dans des conditions anaérobies. Dans une autre étude, des bactéries oxydantes du fer et un drain de calcaire oxydant ont été utilisés pour oxyder l'ion ferreux et le transformer en un ion ferrique dans des conditions de pH acide, pour ensuite éliminer le fer dissous et l'aluminium.

Projet sur les sédiments

Des processus naturels qui distribuent ou redistribuent des métaux dans les sédiments ont été étudiés. Diverses hypothèses ont été vérifiées. Par exemple, l'enrichissement des métaux à la surface des sédiments lacustres est-il la conséquence de processus naturels, et non pas le résultat d'une activité industrielle comme on le croit généralement? Ce projet suscite un vif intérêt dans les régions où on retrouve de grandes fonderies. Dans le cadre de ces travaux, les sédiments de deux lacs situés dans la région de Rouyn-Noranda, au Québec, ont été échantillonnés et des colonnes ont été mises en place pour déterminer si une activité bactérienne pouvait susciter une nouvelle solubilisation de métaux. Les résultats obtenus à ce jour montrent que certains métaux migrent peut-être dans les colonnes de sédiments en raison d'une activité bactérienne. Les essais se poursuivent. Ce projet pourrait avoir des retombées importantes pour l'évaluation de l'impact environnemental des fonderies sur des lacs.

Projet de restauration d'un site minier au Brésil

Ce projet, d'une durée de cinq ans, est maintenant terminé. Il était parrainé par l'Agence canadienne de développement international (ACDI) et il s'est avéré un succès. Il a atteint son objectif de renforcer la capacité technique institutionnelle du Brésil et d'y appuyer l'établissement de bonnes pratiques de restauration des sites miniers. Grâce à ce projet, un programme de restauration des sites miniers a été mis en place et des compagnies minières brésiliennes utilisent maintenant les compétences ainsi mises à leur disposition.



Orientations futures

L'intégration des compétences en chimie et en activité microbienne afin de mieux comprendre les processus naturels et artificiels de dégradation continuera d'être le point de mire du programme. De plus, des options en matière de traitement biotechnologique sont actuellement examinées avec plus d'intérêt en raison de leur capacité à produire des effluents non toxiques, ce que ne peuvent faire les technologies traditionnelles. Les LMSM-CANMET envisagent d'œuvrer dans l'avenir à la dégradation biologique des produits azotés provenant des effluents des usines de traitement des minerais d'or et à l'application de techniques biochimiques avancées afin de cerner et d'améliorer l'activité de microflore particulières.

Projets spéciaux

Neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier

L'année 2003 a été témoin du renouvellement du Programme de neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier (NEDEM), avec sept projets en cours. Bon nombre des principaux domaines prioritaires identifiés par les parties canadiennes intéressées ont été étudiés en 2003. Des projets sur la gestion des boues, la lixiviation neutre, les remblais en pâte dans les mines souterraines et l'utilisation du pergélisol pour réduire les effets sur l'environnement, ainsi que des études de cas et un manuel sur la conception des couvertures sèches sont presque complétés. Des contributions financières de l'Association minière du Canada, Environnement Canada et Ressources naturelles Canada ont permis la réalisation de ces projets.

Le transfert de la technologie est un volet du NEDEM qui est nettement reconnu et qui continue de jouer un rôle important au sein du Programme. Une alliance internationale de groupes régionaux s'occupant du drainage acide - NEDEM, ADTI (Acid Drainage Technology Initiative, É.-U.), ACMER (Australian Centre for Mining Environmental Research) et INAP (International Network for Acid Prevention) - a été mise en place pour améliorer le transfert de la technologie. Ce partenariat a co-parrainé le 10^e atelier annuel de la Colombie-Britannique sur la lixiviation des métaux et le drainage acide, qui a eu lieu à Vancouver, en décembre 2003.



Initiative nationale pour les mines orphelines/abandonnées

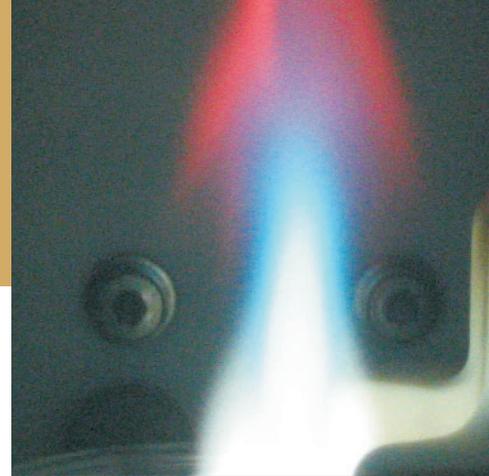
L'évaluation et la restauration des sites miniers orphelins et abandonnés au Canada ont retenu davantage l'attention au cours des dernières années. L'Initiative nationale pour les mines orphelines/abandonnées (INMOA), créée en 2002, traite des enjeux liés à ce problème. Un atelier sur les obstacles juridiques et institutionnels à la collaboration a eu lieu en 2003 et un rapport sur les méthodes de financement a été diffusé. Les recommandations issues de ces activités ont été intégrées à un cadre d'actions pluriannuelles qui nécessiteront de resserrer les liens avec les provinces à mesure que des lignes directrices et des mécanismes de financement seront élaborés. Comme le transfert de la technologie fait partie intégrante de l'INMOA, un site Web a été lancé en 2003 (www.abandoned-mines.org). Ce site contient des publications et de l'information sur les activités en cours.

Projet canadien des matériaux de référence certifiés

Le Projet canadien des matériaux de référence certifiés (PCMRC) fournit des matériaux de référence certifiés et coordonne les activités du Programme d'essais d'aptitude des laboratoires d'analyse minérale (PEA-LAM).

Depuis plus de trente ans, le PCMRC continue de préparer et certifier des matériaux de référence canadiens, tels que des minerais, des roches, des concentrés, des résidus, des matériaux de concentrations équivalentes aux échantillons d'exploration, des sols, des sédiments et des matières radioactives qui sont réduits en une poudre fine et pour lesquels la concentration de certains éléments a été déterminée avec précision. Les laboratoires d'analyse de l'industrie minière évaluent l'exactitude et la précision de leurs propres résultats en utilisant ces matériaux de référence. Les nouveaux développements au PCMRC comprennent la production des anodes de cuivre CUAR-1 et CUPD-1, deux nouveaux matériaux de référence certifiés. CUAR-1 a des valeurs certifiées pour l'arsenic, l'or, le fer, le plomb, l'argent, l'étain et le tellure, alors que CUPD-1 a des valeurs certifiées pour l'antimoine, l'arsenic, le bismuth, l'or, le fer, le plomb, le nickel, le sélénium, l'argent et l'étain. La mise en circulation de matériaux de référence certifiés pour un minerai de plomb-zinc-étain, un concentré de plomb et un minerai d'or, comprenant des analyses pour les éléments présentant un intérêt du point de vue de l'environnement, est prévue au cours de l'année.

Le PEA-LAM poursuit ses activités depuis maintenant six ans avec une cinquantaine de laboratoires participants situés au Canada, aux États-Unis, au Pérou, au Chili, en Argentine, au Brésil, en Irlande, en Afrique du Sud, en Tanzanie, en Guinée, au Maroc, en Australie et en Indonésie. Le PEA-LAM fournit aux laboratoires des matériaux de concentrations équivalentes aux échantillons d'exploration afin d'évaluer leur aptitude à exécuter ces



analyses. Les participants réussissant l'épreuve reçoivent un certificat indiquant leur aptitude par rapport aux autres laboratoires. Un rapport final résume les résultats, tout en préservant l'anonymat des participants. Le PEA-LAM effectue ses activités conformément au Guide 43-1 de l'ISO/CEI et au document CAN-P-1579, afin de répondre aux besoins des laboratoires d'analyse canadiens. La participation des laboratoires est essentielle afin de leur permettre d'obtenir ou de conserver leur accréditation à la norme 17025 de l'ISO/CEI.

Publications des Laboratoires des mines et des sciences minérales de CANMET

Livres

Barbosa, J.P., Soares, P.S.M., Dixon, B. et Tisch, B., rédacteurs (2003) : « Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation-Technological Innovations », Desktop Publishing Ltée, Rio de Janeiro, Brésil, 301 pp.

Dutrizac, J.E., Negre, P., Paquette, L.A. et Solozabal, R., rédacteurs (2003) : « Environmentally Clean Technologies for Sustainable Production and Consumption », Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario, 474 pp.

Dutrizac, J.E. et Clement, C.G., rédacteurs (2003) : « Copper Electrorefining and Electrowinning », ICM, Montréal, Québec, 658 pp.

Price, W.A., Gardiner, W. et Howell, C., rédacteurs (2003) : « Proceedings of British Columbia Mine Reclamation Symposium - Remediation Work at Closed Mines Where Molybdenum is an Issue », Bytech Publishers Ltée, Richmond, Colombie-Britannique.

Riveros, P.A., Dixon, D., Dreisinger, D. et Menacho, J., rédacteurs (2003) : « Hydrometallurgy of Copper », ICM, Montréal, Québec, 819 pp.

Udd, J.E. et Bekkers, G., rédacteurs (2003) : « Mining in The Arctic: Proceedings 7th International Symposium on Mining in the Arctic », ICM, Montréal, Québec, 425 pp.

Brevets

Papavinsam, S.S., Gould, W.D., Revie, R.W., MacLeod, F.A. et Attard, M. (2003) : « Biological activity probe », Brevet aux États-Unis no. 6,673,222.

Publications dans les journaux avec comité de lecture

Beauchemin, S., Hesterberg, D., Chou, J., Beauchemin, M., Simard, R. R. et Sayers, D. (2003) : « Speciation of phosphorus in P-enriched agricultural soils using XANES spectroscopy and chemical fractionation », *Journal of Environmental Quality* 32, 1809-1819.

Beauchemin, S., Simard, R.R., Bolinder, M.A., Nolin, M.C. et Cluis, D. (2003) : « Prediction of phosphorus concentration in tile-drainage water from the Montréal lowlets soils », *Canadian Journal of Soil Science* 83, 73-87.

Bétournay, M.C., Desrivières, G., Laliberté, P., Laflamme, M., Miller, A. et Barnes, D. (2003) : « The fuel cell mining vehicles development program: An update », *ICM, Bulletin* 96(1074), 72-76.

Bétournay, M.C., Laflamme, M., Miller, A.R. et Barnes, D.L. (2003) : « Future mining opportunities for fuel cell applications », *ICM, Bulletin* 96(1074), 77-79.

Cabri, L.J., Sylvester, P.J., Tubrett, M.N., Peregoedova, A. et Laflamme, J.H.G. (2003) : « Comparison of LAM-ICP-MS and micro-PIXE results for palladium and rhodium in selected samples of Noril'sk and Talnakh sulfides », *Canadian Mineralogist* 41, 321-329.

Chen, T.T. et Dutrizac, J.E. (2003) : « A mineralogical study of the effect of the lead content of copper anodes on the dissolution of arsenic, antimony and bismuth during copper electrorefining », *Canadian Metallurgical Quarterly* 42(4), 421-432.

Chen, T.T. et Dutrizac, J.E. (2003) : « Characterization of the calcines produced by the roasting of zinc sulphide concentrates in a TORBED reactor », *Canadian Metallurgical Quarterly* 42(1), 1-16.

Chen, T.T. et Dutrizac, J.E. (2003) : « Filter press plugging in zinc plant purification circuits », *Journal of Minerals, Metals and Materials (JOM)* 55(4), 28-31.

Dutrizac, J.E. et Chen, T.T. (2003) : « Synthesis of the vanadium analogue of potassium jarosite », *Canadian Metallurgical Quarterly* 42(2), 187-198.

Dutrizac, J.E. et Chen, T.T. (2003) : « The synthesis and properties of V(III) analogues of jarosite family minerals », *The Canadian Mineralogist* 41, 479-488.

Förster, H.-J., Cooper, M.A., Roberts, A.C., Stanley, C.J., Criddle, A.J., Hawthorne, F.C., Laflamme, J.H.G. et Tischendorf, G. (2003) : « Schlemaïte, $(\text{Cu},\square)_6(\text{Pb},\text{Bi})\text{Se}_4$, a new mineral species from Niederschlema-Alberoda, Erzgebirge, Germany: description and crystal structure », *The Canadian Mineralogist* 41, 1433-1444.

Francis, M.M. et Gould, W.D. (2003) : « Microbial production of isoquinoline from indene », *Canadian Journal of Microbiology* 49, 699-706.

Geller, L.B., Leung, K., Udd, J.E. et Kitzinger, F. (2003) : « Electromagnetic testing of wire ropes - new developments », *ICM Bulletin* 96(1074), 65-71.

Gould, W.D., Koren, D., Bédard, P., Molnar, R. et Riveros, P.A. (2003) : « Removal and destruction of ammonia from a uranium plant effluent », *ICM Bulletin* 96(1075), 72-77.

Hulsof, A.H.M., Blowes, D.W., Ptacek, C.J. et Gould, W.D. (2003) : « Microbial and nutrient investigations into the use of in situ layers for treatment of tailings effluent », *Environmental Science & Technology* 37, 5027-5033.

Jambor, J.L., Dutrizac, J.E., Raudsepp, M. et Groat, L.A. (2003) : « Effect of peroxide on neutralization-potential values of siderite and other carbonate minerals », *Journal of Environmental Quality* 32, 2373-2378.

Kapoor, A., Bédard, P., Kuiper, A. et Gould, W.D. (2003) : « Use of a rotating biological contactor for removal of ammonia from mining effluents », *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection* 3, 88-100.

Kocsis, C. et Hardcastle, S. (2003) : « Ventilation system operating cost comparison between a conventional and an automated underground metal mine », *Mining Engineering* 55(12), 57-64.

Kwong, Y.T.J., Swerhone, G.W.D. et Lawrence, J.R. (2003) : « Galvanic sulfide oxidation as a metal leaching mechanism and its environmental implications », *Geochemistry-Exploration, Environment and Analysis* 3, 337-343.

McGeer, J.C., Brix, K.V., Skeaff, J.M., DeForest, D.K., Brigham, S.I., Adams, W.J. et Green, A. (2003) : « Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment », *Environmental Toxicology and Chemistry* 22, 1017-1037.

Paktunc, D. et Dutrizac, J.E. (2003) : « Characterization of arsenic substitution in synthetic potassium jarosite using X-ray diffraction and X-ray absorption spectroscopy », *The Canadian Mineralogist* 41, 905-919.

Pane, E.F., McGeer, J.C. et Wood, C.M.. (2003) : « The effects of chronic waterborne nickel exposure on successive generations of the freshwater cladoceran, *Daphnia magna* », *Environmental Toxicology and Chemistry* 23, 1051-1056.

Pane, E.F., Smith, C., McGeer, J.C. et Wood, C.M. (2003) : « Mechanisms of acute and chronic waterborne nickel toxicity in the freshwater cladoceran *Daphnia magna* », *Environmental Science & Technology* 37, 4382-4389.

Poirier, S., Fecteau, J.M., Laflamme, M. et Brisebois, D. (2003) : « Thermal rock fragmentation-Applications in narrow-vein extraction », *ICM Bulletin* 96(1071), 66-71.

Pratt, A.R. et Duke, N. (2003) : « Characterizing the distribution of gold in pyritic sulphide ore », *Journal of Minerals, Metals and Materials (JOM)* 55, 51-54.

Recueil de conférences et d'ateliers

Aubé, B et Zinck, J.M. (2003) : « Lime treatment of acid mine drainage in Canada » *Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation - Technological Innovations*, Barbosa, J.P., Soares P.S.M., Dixon, B. et Tisch, B., rédacteurs, Desktop Publishing Ltée, Rio de Janeiro, Brésil, 23-39.

Bellefontaine, K. et Price, W.A. (2003) : « Environmental management plans: A key tool in ensuring successful long-term environmental management at closed mine sites with ML/ARD », *British Columbia Mine Reclamation Symposium*, Kamloops, Colombie-Britannique, 15-18 septembre 2003, Price, W.A., Gardner, W. et Howell, C., rédacteurs, Publisher, BC Technical and Research Committee on Reclamation, Editeur, Bytech Publishers Ltée, Richmond, Colombie-Britannique.

Bétournay, M.C. (2003) : « The Canadian manual for decommissioning of shallow stopes of hard rock mines », *Proceedings 39th U.S. Rock Mechanics Symposium*, Boston, MA, É.-U, Culligan, P.J., Einstein, H.H. et Whittle, A.J., rédacteurs, Verlag, Essen, Allemagne, 2811-2818.

Bétournay, M.C., Boyle, R. et Udd, J.E. (2003) : « Long-term stability considerations and engineering applications for a decommissioning mine in permafrost », Proceedings 7th International Conference on Mining in the Arctic, Udd, J.E. et Bekkers, G., rédacteurs, ICM, Montréal, Québec, 369-380.

Beyak, J.C. (2003) : « Emerging issues in ecotoxicology », Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation - Technological Innovations, Barbosa, J.P., Soares, P.S.M., Dixon, B. et Tisch, B., rédacteurs, Desktop Publishing Ltée, Rio de Janeiro, Brésil, 107-124.

Chen, T.T. et Dutrizac, J.E. (2003) : « The behaviour of tellurium during the decopperizing of copper refinery anode slimes », Copper Electrorefining and Electrowinning, Dutrizac, J.E. et Clement, C., rédacteurs, ICM, Montréal, Québec, 287-308.

Davé, N.K. (2003) : « Management of metal bearing neutral drainages in northern Canada », Proceedings 7th International Conference on Mining in the Arctic, Udd, J.E. et Bekkers, G., rédacteurs, ICM, Montréal, Québec, 139-150.

Davé, N.K. (2003) : « Uranium mine waste management, rehabilitation and decommissioning - A Canadian perspective », Proceedings Uranium Mine Remediation Exchange Group (UMREG) 2002, Freiberg, Allemagne, Jakubick, A.T., Mager, D. et Metzler, D.R., rédacteurs, WISMUT GmbH, Chemnitz, Allemagne, 41-58.

Duquet-Harvey, N. et Deschênes, G. (2003) : « Control of lead nitrate at New Britannia Mine », Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Wilson, S., rédacteur, ICM, Montréal, Québec, 263-274.

Dutrizac, J.E. (2003) : « The behaviour of cobalt and nickel during jarosite precipitation », EMC 2003, Vol. 1: Copper and Nickel, GDMB, Clausthal-Zellerfeld, Allemagne, 45-67.

Dutrizac, J.E. (2003) : « The behaviour of the lanthanide elements during jarosite precipitation », Hydrometallurgy 2003, Vol. 2: Electrometallurgy and Environmental Hydrometallurgy, Young, C.A., Alfantazi, A.M., Anderson, C.G., Dreisinger, D.B., Harris, B. et James, A., rédacteurs, The Minerals Metals and Materials Society, Warrendale, PA, É-U, 1755-1771.

Dutrizac, J.E. et Chen, T.T. (2003): « The control of antimony and bismuth in copper electrolytes by lead additions to the anodes », Copper Electrorefining and Electrowinning, Dutrizac, J.E. et Clement, C., rédacteurs, ICM, Montréal, Québec, 249-272.

Dutrizac, J.E., Pratt, A.R. et Chen, T.T. (2003) : « The mechanism of sphalerite dissolution in ferric sulphate-sulphuric acid media », Yazawa International Symposium on Metallurgical and Materials Processing, Kongoli, F., Itagaki, K., Yamauchi, C. et Sohn, H.Y., rédacteurs, The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, PA, É-U, 139-162.

Fiset, J.F, Zinck J.M. et Nkinamubanzi, P.C. (2003) : « Chemical stabilization of metal hydroxide sludge », Tailings and Mine Waste'03, A.A. Balkema Publishers, Lise, Pays-Bas, 329-332.

Fiset, J. F., Zinck, J.M. et Laflamme, J.H.G. (2003) : « Mine sludge stability in cold climates », Proceedings 7th International Conference on Mining in the Arctic, Udd, J.E. et Bekkers, G., rédacteurs, ICM, Montréal, Québec, 151-160.

Gould, W.D. (2003) : « Applications of passive biological systems for the treatment of acid mine drainage », Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation - Technological Innovations, Barbosa, J.P., Soares, P.S.M., Dixon, B. et Tisch, B., rédacteurs, Desktop Publishing Ltée, Rio de Janeiro, Brésil, 91-105.

Hollow, J., Deschênes, G., Guo, H., Fulton, M. et Hill, E. (2003) : « Optimizing cyanidation parameters for processing of blended Fort Knox and True North ores at the Fort Knox Mine », Hydrometallurgy 2003, Young, C., Alfantazi, A., Anderson, C., James, A., Dreisinger, D. et Harris, B., rédacteurs, The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, PA, É-U, 21-34.

Judge, K.J. et Udd, J.E. (2003) : « Development of an on-line geotechnical instrumentation system for monitoring over the internet », Proceedings 7th International Conference on Mining in the Arctic, Udd, J.E. et Bekkers, G., rédacteurs, ICM, Montréal, Québec, 285-291.

Kapoor, A., Gould, W.D., Bédard, P. et Morin, K. (2003) : « Treatability study of gold mill effluents by biological wastewater treatment methods », Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Wilson, S., rédacteur, ICM, Montréal, Québec, 669-684.

Kocsis, C., Hall, R. et Hardcastle, S. (2003) : « The integration of mine simulation and ventilation simulation to develop a "life-cycle" ventilation system », 31st International Symposium on Computer Applications in the Minerals Industry - APCOM 2003, Camisani-Calzolari, F.A., editor, South African Institute of Mining and Metallurgy, Marshalltown, République de l'Afrique du Sud, Section 6 Mine Planning, 223.

Kwong, Y.T.J. (2003) : « Characteristics of impounded tailings at Mount Nansen - implications for remediation », Proceedings of the Third Biennial Workshop on Assessment and Remediation of Contaminated Sites in Arctic and Cold Climates, 4-6 mai 2003, Edmonton, Alberta, Nahir, M., Biggar, K. et Cotta, G., rédacteurs, Department of Civil Engineering, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta 57-62.

Kwong, Y.T., Kapoor, A. et Fiset, J.F. (2003) : « Assessment of chemical stability of the impounded tailings at Mount Nansen, Yukon Territory », Proceedings 7th International Conference on Mining in the Arctic, Udd, J.E. et Bekkers, G., rédacteurs, ICM, Montréal, Québec, 355-369.

Li, G.G. et Qi, L. (2003) : « Analysis of geostress and its influences on foundation stability in a hydropower project », Proceedings of 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering and 39th U.S. Rock Mechanics Symposium, Boston, MA, É-U, Culligan, P.J., Einstein, H.H. et Whittle, A.J., rédacteurs, Verlag, Essen, Allemagne, 1139-1144.

Paktunc, D. (2003) : « Speciation of arsenic in metallurgical wastes by synchrotron X-ray absorption spectroscopy », Environmentally Clean Technologies for Sustainable Production and Consumption, Dutrizac, J.E., Negre, P., Paquette, L. et Solozabal, R., rédacteurs, CANMET-CARI-European Commission Workshop, Vancouver, Canada, Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario, 407-415.

Price, W.A. (2003) : « Metal leaching and acid rock drainage challenges at closed mine sites », British Columbia Mine Reclamation Symposium, Kamloops, Colombie-Britannique, 15-18 septembre 2003, Price, W.A., Gardner, W. et Howell, C., rédacteurs, Publisher, BC Technical and Research Committee on Reclamation, Editeur, Bytech Publishers Ltée, Richmond, Colombie-Britannique.

Sage, R. et Bétournay, M.C. (2003) : « Use of fuel cells in underground mining », Proceedings 18th International Mining Congress, Antalya, Turquie, Ozbayoglu, G., rédacteur, La chambre des ingénieurs miniers de Turquie, Ankara, Turquie, 129-133.

Tisch, B. et Tremblay, G. (2003) : « The legacy of abandoned Mines in Canada », Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation - Technological Innovations, Barbosa, J.P., Soares P.S.M., Dixon, B. et Tisch, B., rédacteurs, Desktop Publishing Ltée, Rio de Janeiro, Brésil, 125-141.

Udd, J.E., Judge, K.J. et Auer, L.J.F. (2003) : « A case history on the development of a geotechnical monitoring system at the Nanisivik Mine, Baffin Island », Proceedings 7th International Conference on Mining in the Arctic, Udd, J.E. et Bekkers, G., rédacteurs, ICM, Montréal, Québec, 275-283.

Van Huyssteen, E. (2003) : « Mining with environmental quality - The Canadian experience », Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation - Technological Innovations, Barbosa, J.P., Soares P.S.M., Dixon, B. et Tisch, B., rédacteurs, Desktop Publishing Ltée, Rio de Janeiro, Brésil, 143-178.

Autres Publications

Aota, J., Morin, L., Lastra, R., Zhuang, Q. et Clements, B. (2003) : « Alternative iron making process using cold-bonded pellets », Iron and Steel Exposition and AISE Annual Convention, 29 septembre - 1er octobre 2003, Association of Iron and Steel Engineers, Pittsburgh, PA, É-U (format CD).

Bétournay, M.C. et Mitri, H.S. (2003) : « Laboratory simulation of the behavior of highly stressed mining fronts », Proceedings 10th International Rock Mechanics Congress, Sandton, South Africa, Handley, M. et Stacey, D., rédacteurs, South African Institute of Mining and Metallurgy, Marshalltown, République de l'Afrique du Sud, 113-119 (format CD).

Bétournay, M.C., Desrivières, G., Laliberté, P., Chan, J.R., Replogle, B., Miller, A.R., Barnes, D.L., Bursey, H., Sprott, D. et MacKinnon, T. (2003) : « Design, testing and performance of the world's first fuel cell mine vehicle, a mine production locomotive », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Bétournay, M.C., Laliberté, P., Lacroix, R., Kocsis, C., Hardcastle, S., Desrivières, G., Mousset-Jones, P. et Righettini, G. (2003) : « Fuel cell versus diesel loader operation: cost-benefit analysis study », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Bétournay, M.C., Laflamme, M., Miller, A. et Barnes, D. (2003) : « Future mining opportunities for fuel cell applications », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Bétournay, M.C., Desrivières, G., Laliberté, P., Laflamme, M., Miller, A. et Barnes, D. (2003) : « The fuel cell mining vehicles development program: an update », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Bétournay, M.C., Bonnell, G., Edwardson, E. et Lidkea, W. (2003) : « Suitability of PEM fuel cells for underground mining vehicles », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Davé, N.K., Krishmappan, B.G., Davies, M., Reid, I. et Lanteigne, L. (2003) : « Erosion characteristics of underwater deposited mine tailings », Sudbury 2003 Mining and the Environment, Spiers, G., Beckett, P. et Conroy, H., rédacteurs, Centre for Environmental Monitoring, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario (format CD).

Davé, N.K. et Paktunc, D. (2003) : « Surface reactivity of high-sulphide copper mine tailings under shallow water cover conditions », The 6th International Conference on Acid Rock Drainage, Cairns, Australia, 12-18, juillet 2003, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton South, Victoria, Australie, 241-251 (format CD).

Delabbio, F., Eastick, D., Graves, C., Sprott, D. et Bétournay, M. C. (2003) : « A risk assessment and regulatory compliance of the world's first fuel cell-powered mining equipment », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Dixon, B., Tisch, B. et Kangama, G.K. (2003) : « Mining in Zambia: Challenges to effective regulation », Sudbury 2003 Mining and the Environment, Spiers, G., Beckett, P. et Conroy, H., rédacteurs, Centre for Environmental Monitoring, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario (format CD).

Djivre, M.M., Kitzinger, F., Leung, K., Udd, J.E. et Geller, L. (2003) : « Electromagnetic testing of wire ropes - new developments », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Drexler, J., Fisher, N., Henningsen, G., Lanno, R., McGeer, J. et Sappington, K. (2003) : « Issue paper on the bioavailability and bioaccumulation of metals », document de fond sous le US EPA Metals Action Plan. Site Internet : <http://cfpub.epa.gov/ncea/raf/recordisplay.cfm?deid=59052>, 119 pp.

Frostad, S., Price, W.A. et Bent, H.G. (2003) : « Operational NP determination - accounting for iron manganese carbonates and developing a site-specific fizz rating », Sudbury 2003 Mining and the Environment, Spiers, G., Beckett, P. et Conroy, H., rédacteurs, Centre for Environmental Monitoring, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario (format CD).

Giziewicz, E., rédacteur (2003) : « RNet Recycling Technology Newsletter », Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario.

Gorski, B. et Bétournay, M.C. (2003) : « The application of time domain reflectometry to monitor tailings embankment movements », The 3rd Tailings Dam Symposium, Montréal, Québec, International Commission on Large Dams, Paris, France (format CD).

Gould, W.D. et Kapoor, A. (2003) : « The microbiology of acid mine drainage », Environmental Aspects of Mine Wastes, Jambor, J.L., Blowes, D.W. et Ritchie, A.I.M., rédacteurs, Mineralogical Association of Canada Short Course, Volume 31, 203-226.

Gould, W.D., Stichbury, M., Francis, M., Lortie, L. et Blowes, D.W. (2003) : « An MPN method for the enumeration of iron-reducing bacteria », Sudbury 2003 Mining and the Environment, Spiers, G., Beckett, P. et Conroy, H., rédacteurs, Centre for Environmental Monitoring, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario (format CD).

Hardcastle, S. et Kocsis, C. (2003) : « The ventilation challenge - to maintain a tolerable working environment in deep mines », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Kapoor, A., Dinardo, O., Gould, W.D., Kuiper, A., Kawaja, J. et Bédard, P. (2003) : « Application of rotating biological contactor technology for mine effluent treatment and metal bioleaching operations », Sudbury 2003 Mining and the Environment, Spiers, G., Beckett, P. et Conroy, H., rédacteurs, Centre for Environmental Monitoring, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario (format CD).

Kwong, Y.T.J. (2003) : « Thoughts on practical tools for early identification of environmental challenges associated with a mining project », Proceedings of the 6th International Conference on Acid Rock Drainage, Cairns, Australie, 14-17 juillet 2003. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton South, Victoria, Australie, 601-604 (format CD).

Kwong, Y.T.J. et Hynes, T.P. (2003) : « Benefits and risks of submarine tailings disposal - Lessons learnt from two historic mine sites in Newfoundland and other Canadian case studies », Proceedings of the 6th International Conference on Acid Rock Drainage, Cairns, Australie, 14-17 juillet 2003. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton South, Victoria, Australie, 719-724 (format CD).

Langmuir, D., Chrostowski, P., Chaney, R. et Vigneault, B. (2003) : « Issue paper on the environmental chemistry of metals », document de fond sous le US EPA Metals Action Plan. Site internet : http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=379035, 114 pp.

Lastra, R., Cabri, L.J. et Weiblin, P.W. (2003) : « Comparative liberation study by image analysis of Merensky Reef samples comminuted by electric-pulse disaggregation and by conventional jaw crusher », XXII International Mineral Processing Congress, 28 septembre - 3 octobre 2003, Cape Town, South Africa, South African Institute of Mining and Metallurgy, Marshalltown, République de l'Afrique du Sud (format CD).

Li, G., Bétournay, M.C. et Boyle, R. (2003) : « Examination of rockbursts around deep mine excavations by using linear et non-linear FEM analysis », Proceedings 5th Computer Applications in the Mineral Industries, Calgary, Alberta, Singhal, R., Fytas, F. et Chiwetelu, C., rédacteurs (format CD).

Ludgate, I., Coggan, A. et Davé, N.K. (2003) : « Performance of shallow water cover on pyritic uranium tailings », Proceedings of the 6th International Conference on Acid Rock Drainage, Cairns, Australie, 14-17 juillet 2003. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton South, Victoria, Australie, 287-296 (format CD).

Miller, A. et Bétournay, M.C. (2003) : « Applications and benefits of the hydrogen fuel cell mining program », Proceedings 5th Computer Applications in the Mineral Industries, Calgary, Alberta, Singhal, R., Fytas, F. et Chiwetelu, C., rédacteurs (format CD).

Okonski, A., Levin, S., Tisch, B., Beckett, P. et McCreath, D. (2003) : « Changes in chemical and biological properties of paper sludge used for revegetation of copper tailings », Sudbury 2003 Mining and the Environment, Spiers, G., Beckett, P. et Conroy, H., rédacteurs, Centre for Environmental Monitoring, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario (format CD).

Paktunc, D. et Davé, N. (2003) : « Pyrite oxidation rates determined based on quantitative mineralogy of long-term column leaching tests », The 6th International Conference on Acid Rock Drainage, Cairns, Australie, 14-17 juillet 2003, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton South, Victoria, Australie, 1095-1097 (format CD).

Price, William A. (2003) : « The mitigation of acid rock drainage: Four case studies from British Columbia », Sudbury 2003 Mining and the Environment, Spiers, G., Beckett, P. et Conroy, H., rédacteurs, Centre for Environmental Monitoring, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario (format CD).

Tisch, B., Volchek, K., Okonski, A., Raskin, M. et Black, C. (2003) : « Lignin and lignin derivatives to promote vegetative growth and metal uptake in mine tailings », Sudbury 2003 Mining and the Environment, Spiers, G., Beckett, P. et Conroy, H., rédacteurs, Centre for Environmental Monitoring, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario (format CD).

Tremblay, G., Hogan, C. et Gardiner, E. (2003) : « Mine Environment Neutral Drainage (MEND) initiative », The 6th International Conference on Acid Rock Drainage, Cairns, Australie, 14-17 juillet 2003, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton South, Victoria, Australie, 5-8 (format CD).

Udd, J.E. (2003) : « An international review of the use and testing of the wire ropes used in mine hoisting », Proceedings 105th ICM Annual General Meeting, Montréal, 4-7 mai 2003, ICM, Montréal, Québec (format CD).

Zhuang, Q., Clements, B. et Aota, J. (2003) : « CANMET direct reduced iron process », Combustion Canada '03, 21-24 septembre, 2003 Vancouver, Colombie-Britannique (format CD).