

Canada-Québec
Subsidiary Agreement
on Mineral
Development 1992-1998

Entente auxiliaire Canada-Québec
sur le développement minéral
1992-1998

**ACTIVITÉS DE RECHERCHE DU
MINISTÈRE DES RESSOURCES
NATURELLES DU QUÉBEC
SUR LE DRAINAGE MINIER ACIDE**

RAPPORT 1997-1998

Louis Bienvenu, ing.
Service du développement minier
Ministère des Ressources naturelles du Québec
mai 1998

Rédaction et diffusion

Service du développement minier
Ministère des Ressources naturelles
5700, 4^e Avenue Ouest, A 213
Charlesbourg (Québec) G1H 6R1
Tél. : (418) 627-6296

© Gouvernement du Québec – 1998
Dépôt légal – 1998
Bibliothèque nationale du Québec
ISSN 1203-1275
ISBN 2-550-33267-9
Code de diffusion RN98-5034



Présentation

Au nom de l'équipe responsable des activités auxquelles participe le ministère des Ressources naturelles du Québec dans le cadre du Programme de recherche sur la neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier (NEDEM), du Programme de réduction des rejets d'opérations minières (mines écologiques) et du Programme de restauration des sites miniers de la Couronne, j'ai le plaisir de présenter ce rapport d'activités.

Ce document regroupe l'information sur l'ensemble des activités de recherche réalisées en 1997-1998 par le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) concernant le drainage minier acide, notamment, celles menées dans le cadre de l'entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement minéral 1992-1998 (EADM). Pour chacun des projets, les partenaires technologiques ou scientifiques, le coût du projet, la participation financière des partenaires, les objectifs visés ainsi que les résultats obtenus au 31 mars 1998 sont présentés.

Les personnes intéressées pourront se familiariser avec des solutions potentielles au drainage minier acide en prenant connaissance des nouvelles technologies liées aux barrières sèches, aux barrières humides et à la disposition subaquatique.

L'ensemble des travaux de restauration des sites appartenant à la Couronne feront l'objet d'un rapport subséquent. Toutefois, le présent rapport comporte un sommaire des travaux réalisés sur certains de ces sites qui traitent de drainage minier acide.

Enfin, soulignons que le Centre canadien sur la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) transmet au public, sur demande, les rapports détaillés des travaux de recherche déjà réalisés dans le programme NEDEM.

Le directeur par intérim de la
Direction de l'industrie minérale



Yvon Laliberté, ing.

Sommaire

Le contrôle du drainage minier acide constitue une activité importante de l'industrie minière. Devant l'ampleur du problème et des coûts qui s'y rattachent, l'industrie minière canadienne, le gouvernement fédéral et certains gouvernements provinciaux, dont celui du Québec, se sont unis pour mettre sur pied un programme de recherche visant à trouver des solutions et à diminuer les coûts de la restauration pour les parcs déjà en activité. Le programme NEDEM a été mis de l'avant en 1989 et s'est terminé en décembre 1997. Une évaluation du programme a révélé que l'investissement initial de 18 millions de dollars aurait réduit les obligations financières des propriétaires de parcs à résidus et des haldes de stériles d'au moins 400 millions de dollars. Ces résultats positifs ainsi que le besoin de démontrer l'efficacité à long terme des solutions proposées ont poussé les partenaires à mettre de l'avant un autre programme de recherche qui sera, cette fois, axé sur le suivi des méthodes de contrôle à grande échelle mises à l'essai au cours des dernières années. Le Québec participera à ce programme de trois ans dont le secrétariat sera assuré par le CANMET.

Le présent rapport regroupe les projets qui traitent du drainage minier acide dans le cadre de différents programmes de recherche ou d'assistance financière dont le Programme de réduction des rejets miniers (mines écologiques) et le Programme de restauration des parcs de la Couronne.

Pour l'exercice financier se terminant le 31 mars 1998, les recherches sur les barrières sèches se sont poursuivies par des essais sur le terrain au site Manitou. L'Unité de recherche et de services en technologie minérale de l'Abitibi-Témiscamingue (URSTM) a terminé, de son côté, une étude sur une méthode de gestion des résidus qui permettra de construire les barrières sèches de façon hydraulique avec des résidus miniers partiellement désulfurés. Le suivi des performances de la barrière multicouche du parc à résidus Les Terrains Aurifères s'est poursuivi. Les travaux de l'Université de Sherbrooke sur l'utilisation des rejets de cimenteries comme recouvrement sec se sont terminés cette année. Les résultats sur des cellules sont suffisamment encourageants pour inciter l'Université à proposer la restauration complète du site Eustis à l'aide de cette méthode.

Du côté des barrières humides ou aqueuses, le suivi environnemental du parc Solbec-Cupra se continue. À ce jour, cette solution semble répondre aux attentes. Quant aux études sur la méthode de déposition subaquatique des résidus frais, les premiers résultats démontrent que l'ajout d'un lit de protection sur les résidus est très efficace pour réduire le taux d'oxydation des sulfures.

En ce qui a trait aux autres méthodes de restauration, le recouvrement par des résidus forestiers à East Sullivan est en cours. On a construit un système de recirculation des eaux d'exfiltration pour pallier à la contamination des bassins récepteurs laquelle devrait s'estomper au cours des sept prochaines années. Le suivi du parc Somex montre que le recouvrement par une géomembrane est efficace.

Table des matières

	Page
PROGRAMME DE RECHERCHE VISANT LA NEUTRALISATION DES EAUX DE DRAINAGE DANS L'ENVIRONNEMENT MINIER (NEDEM)	1
Barrières sèches multicouches construites à partir des résidus miniers	3
Ennoiment des résidus miniers oxydés du parc Solbec	7
Déposition subaquatique de résidus miniers non oxydés dans des lacs artificiels :	
Projet Louvicourt	11
Suivi de la performance du recouvrement multicouche du parc Les Terrains Aurifères (LTA)	15
Détermination de la variabilité au cours d'essais statiques	17
Une approche intégrée pour la valorisation des résidus miniers	19
 PROGRAMME DE RECHERCHE VISANT LA RÉDUCTION DES REJETS D'OPÉRATIONS MINIÈRES (MINES ÉCOLOGIQUES)	 21
Stabilisation des rejets miniers à l'aide de rejets de cimenterie	23
 PROGRAMME DE RESTAURATION DES SITES MINIERS DE LA COURONNE	 25
Recouvrement avec des résidus forestiers au parc East Sullivan	27
L'auto-neutralisation du parc Canadian Malartic	29
Un recouvrement multicouche au site minier Lorraine	31
Une géomembrane recouvre le parc Somex	33
 SOMMAIRE DES COÛTS DE RESTAURATION DE CERTAINS SITES MINIERS	 35

Programme de recherche visant la neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier (NEDEM)

Coordonnateur (Québec) : Louis Bienvenu - Service du développement minier (MRN)

Financement des projets québécois (k\$)

	Québec	Fédéral	Industries	Total
1990-1996	1 617,6	800,6	1 242,2	3 660,4
1996-1997	175,9	383,5	63,5	622,9
1997-1998	99,4	329,5	58,3	487,2
1998-1999	33,1	343,9	5,9	382,9
Total	1 926,0	1 857,5	1 369,9	5 153,4

Objectifs généraux

Les objectifs de NEDEM sont les suivants :

- établir les fondements scientifiques, techniques et économiques permettant à l'industrie minière et aux organismes gouvernementaux de prédire avec confiance les besoins à long terme en matière de gestion des résidus réactifs et des stériles ;
- mettre au point des techniques permettant l'exploitation et l'abandon, de manière prévisible, économique, opportune et acceptable pour l'environnement, des aires d'élimination de résidus miniers acides et de stériles.

Bilan des réalisations¹

Au cours de l'année 1997, la neuvième et dernière année du programme, les comités du NEDEM ont poursuivi leurs tâches principales, soit la direction des activités de recherche, le transfert de la technologie et la convivialité des résultats. Grâce au NEDEM, les sociétés minières canadiennes ainsi que les ministères fédéraux et provinciaux ont réduit d'au moins 400 millions de dollars la responsabilité financière découlant du drainage minier acide. C'est là un rendement impressionnant pour un investissement initial de 17,5 millions de dollars

¹ Texte fourni par Gilles Tremblay, secrétariat NEDEM, 555 rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0G1

au cours d'une période de neuf ans. Pour célébrer ce succès, NEDEM a organisé la 4^e Conférence internationale sur le drainage rocheux acide à Vancouver, au début de juin 1997. Cette conférence a attiré 649 délégués de 24 pays. Le commentaire suivant, qui a été formulé lors de la conférence, résume très bien le programme NEDEM : "Le programme NEDEM a canalisé les efforts pour réduire le drainage minier acide, de sorte que nous disposons maintenant de toute une série d'options valables. Sans ce programme, nous ne saurions pas où donner de la tête".

L'engagement financier pris envers NEDEM par ses trois partenaires, soit l'industrie minière canadienne, le gouvernement du Canada et de huit provinces, dont le Québec, est de 17,5 millions de dollars pour la réalisation de 200 projets de recherche. Voyant que le programme NEDEM se terminait le 31 décembre 1997, ses partenaires ont convenu de poursuivre les travaux coopératifs pour réduire davantage la responsabilité en matière de drainage minier acide et confirmer les résultats sur le terrain de l'utilisation des techniques mises au point dans le cadre du Programme. Une nouvelle initiative a donc pris la relève en janvier 1998 et met l'accent sur le transfert de la technologie au Canada et à l'étranger. La réalisation des projets NEDEM en cours et les ateliers dans toutes les régions du Canada sont deux activités essentielles du programme NEDEM 2000. NEDEM et NEDEM 2000 continueront de fournir l'information par l'intermédiaire d'un site Internet (www.mend2000.nrcan.gc.ca) qui permet d'obtenir des résumés des documents NEDEM et NEDEM 2000. Le ministère des Ressources naturelles du Canada et l'Association minière du Canada se partageront le financement du secrétariat du NEDEM 2000.

Recherches en 1997-1998 au Québec

Dans la province de Québec, au cours de l'année 1997-1998, les deux gouvernements ont dépensé près de 480 milliers de dollars pour NEDEM, dont 148,4 milliers par la partie provinciale et 329,5 milliers par la partie fédérale.

Les principaux projets en cours de réalisation au Québec durant l'année 1997-1998 sont :

- l'étude de l'efficacité des barrières sèches multicouches faites avec des résidus miniers et appliquées sur des parcelles de terrain du site Manitou ;
- la valorisation, à l'URSTM, des résidus miniers désulfurés et par la construction hydraulique des barrières sèches ;
- le suivi de l'ennoiement des résidus du parc Solbec ;
- l'étude, à la mine Louvicourt, sur la déposition subaquatique des résidus miniers non oxydés dans un lac artificiel ;
- le suivi de la performance d'une barrière multicouche construite à grande échelle au site minier Les Terrains Aurifères ;
- l'interprétation des essais statiques (étude réalisée au CRM) ;
- la préparation du manuel NEDEM comprenant des résumés de tous les travaux.

Barrières sèches multicouches construites à partir des résidus miniers

Responsable : Michel Aubertin - École polytechnique de Montréal

Financement (k\$)

	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	Total
MRN	34,1	23,4	62,8	44,2	33,0	197,5
CANMET		76,3	84,0	54,4		214,7
ITEC Minerals	49,0	109,8	17,6	17,7	5,9	200,0
Total	83,1	209,5	164,4	116,3	38,9	612,2

Objectif

L'objectif principal de ce projet de recherche est d'évaluer, à l'aide de cellules expérimentales *in situ*, l'efficacité des barrières de recouvrement multicouches construites à partir de résidus miniers pour limiter la production de drainage minier acide.

Le programme de travail prévoit également des essais en laboratoire à l'aide de colonnes construites avec les mêmes matériaux que les cellules. Ces travaux serviront, d'une part, à valider les résultats de la modélisation numérique et, d'autre part, à mieux cerner les effets propres au site où les cellules expérimentales ont été construites.

Programme de travail

Le programme de travail prévoit la construction de six cellules, chacune ayant des caractéristiques particulières. On pourra ainsi évaluer l'influence de certains paramètres (granulométrie, nature et composition du matériau, indice des vides, teneur en eau initiale) sur la performance de la barrière, en considérant leur capacité de réduire la production de DMA, tout en résistant aux effets climatiques (gel-dégel, mouillage-séchage).

Résultat des travaux de laboratoire à ce jour

Les colonnes ont été montées selon des configurations identiques à celles des cellules expérimentales construites sur le terrain². On visait ainsi à distinguer les effets qui sont propres au système et ceux qui dépendent des conditions d'exposition. Le détail des résultats

² Aubertin M. et al, *Étude de laboratoire sur l'efficacité des barrières de recouvrement construites à partir de résidus miniers*, rapport final, décembre 1997

obtenus après 6 cycles de mouillage-séchage est présenté dans le rapport final. Il ressort néanmoins que la configuration typique pour les barrières de recouvrement devrait comprendre :

- une couche de sol pour la croissance des plantes et la rétention de l'humidité ;
- une couche de protection (matériau grossier contre l'érosion profonde et les intrusions biologiques ;
- une couche drainante (matériau grossier) ;
- une couche à forte rétention capillaire (matériau fin peu perméable) ;
- une couche de bris capillaire (matériau grossier).

Selon les résultats, un système de recouvrement dont l'épaisseur de la couche capillaire ne dépasserait pas 1,0 mètre serait théoriquement très efficace en supposant que la couche sous-jacente de matériau grossier remplit bien son rôle. Une telle configuration de système de recouvrement est actuellement en application au Canada. Les premiers résultats indiquent que le recouvrement s'est comporté tel que prévu : la couche capillaire demeure en permanence à un haut degré de saturation, tandis que la couche sous-jacente s'est drainée jusqu'à sa teneur en eau résiduelle, malgré certaines périodes de pluies abondantes. L'utilisation de rejets miniers non réactifs comme matériau de recouvrement peut permettre une réduction appréciable des coûts, conformément à l'objectif du projet.

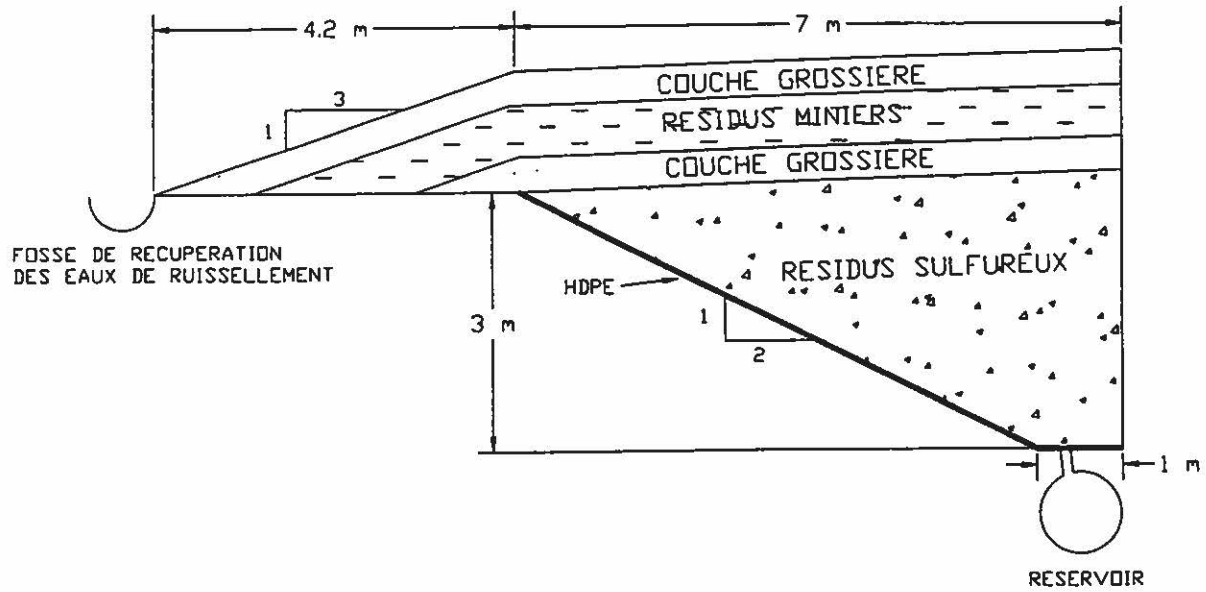
Résultat des travaux de terrain à ce jour

Les résultats obtenus depuis le début des travaux dans les différents recouvrements des

cinq cellules permettent de faire les constatations préliminaires suivantes³ :

- l'effet de barrière capillaire est présent dans chacune des couvertures construites. Les teneurs volumiques en eau dans les couches de matériaux grossiers sont faibles, alors qu'elles sont plus élevées dans les couches de matériaux fins ;
- le comportement hydrogéologique des recouvrements multicouches en matière de profil de teneur en eau et de succion est similaire à celui prévu par les modélisations numériques ;
- des essais de simulation de sécheresse (40 jours sans pluie) montrent que les teneurs volumiques en eau demeurent élevées dans la couche de matériaux fins ;
- l'évolution du pH de l'eau de percolation montre que les recouvrements multicouches limitent efficacement la production de drainage minier acide des résidus sulfureux. En effet, les pH observés dans l'eau de percolation des cellules avec recouvrement sont demeurés supérieurs à 6,0 pour l'année 1997, tandis que ceux mesurés dans la cellule sans recouvrement se situent à près de 2,0, soit très acides.

³ Aubertin M. et al, *Projet de recherche sur les barrières sèches construites à partir des résidus miniers - Phase II : Essais en place, rapports d'avancement nos 8 et 9 (juillet 1997 et mars 1998).*



Configuration typique des cellules avec barrières de recouvrement (d'après Aubertin)



Cellule expérimentale au site Manitou



Ennoiement des résidus miniers oxydés du parc Solbec

Responsables : Roger Guay - EnviroMine inc.
Gaétant Lacasse - Les Consultants S.M. inc.
Marc Bisson - Centre de recherche minérale

Financement (k\$)

	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	Total
MRN	39,9	28,1	23,6	21,0	112,6
Cambior inc.	11,0	7,9	7,9	11,0	37,8
CANMET			100,0	88,0	188,0
Total	50,9	36,0	131,5	120,0	338,4

Objectif

L'objectif de ce projet est de vérifier *in situ* les effets de l'ennoiement des résidus miniers oxydés du parc Solbec-Cupra sur la qualité des eaux de recouvrement, des effluents, des eaux interstitielles et sur l'activité bactérienne. En 1996-1997, des études supplémentaires ont été demandées pour vérifier la diffusion des métaux dans l'eau de recouvrement. Outre le suivi physico-chimique et bactériologique, on prévoit dresser un bilan hydrologique du parc prévu pour évaluer l'étanchéité du bassin, effectuer des forages supplémentaires pour statuer sur les conditions hydrogéologiques de la nappe souterraine environnante, vérifier des paramètres additionnels, reviser et interpréter les données recueillies à ce jour et mesurer de l'effet des

vagues sur la remise en suspension des sédiments.

Activité bactériologique

L'analyse microbiologique effectuée au cours des trois dernières années révèle une tendance manifeste à la diminution des populations bactériennes responsables de la production de drainage minier acide⁴. Les conditions contrant la prolifération des bactéries sont maintenues avec des pH variant de 6,5 à 7,0 pour l'eau de recouvrement, et de 6,0 à 6,9 pour les eaux interstitielles. Un autre

⁴ Guay R., *Inondation artificielle des résidus miniers du parc Solbec-Cupra : Suivi microbiologique*, rapport intérimaire 97, EnviroMine inc., novembre 1997

phénomène a été mis en évidence, soit la réduction microbiologique des sulfates de métaux lourds présents et du sulfate de calcium. Il semble qu'un certain type de bactérie produise de l'hydrogène sulfuré qui, dissous à pH neutre, réagit avec les ions métalliques (Fe, Cu et Zn) et les fait précipiter. Ces ions sont alors immobilisés au milieu des résidus miniers existants. Pour accélérer ce phénomène, il est recommandé d'ajouter du matériel organique puisque celui-ci augmente la production de H₂S, ce qui est bénéfique pour ces bactéries. Cette addition pourrait être réalisée au cours de l'hiver en déposant, sur la surface gelée, de la paille ou du compost.

Suivi physico-chimique

Le mandat donné à Les Consultants S.M. inc. consiste à effectuer un suivi de la qualité des eaux du plan d'eau, de l'effluent et des eaux souterraines et, également, à documenter certains aspects qui n'ont pas été vérifiés jusqu'à maintenant sur le terrain, notamment le bilan hydrologique et l'action des vagues et des glaces.

Les résultats obtenus au terme de la dernière campagne d'échantillonnage pour l'eau de recouvrement se caractérisent par des valeurs de pH qui varient généralement entre 7,4 et 7,8. Les échantillons prélevés en amont et en aval du bassin présentent des pH de l'ordre de 7,8⁵.

Dans le cas de l'eau souterraine, les pH sont généralement près de la neutralité et même parfois légèrement au-dessus. Pour les eaux interstitielles, le pH varie de 6,4 à 9,0.

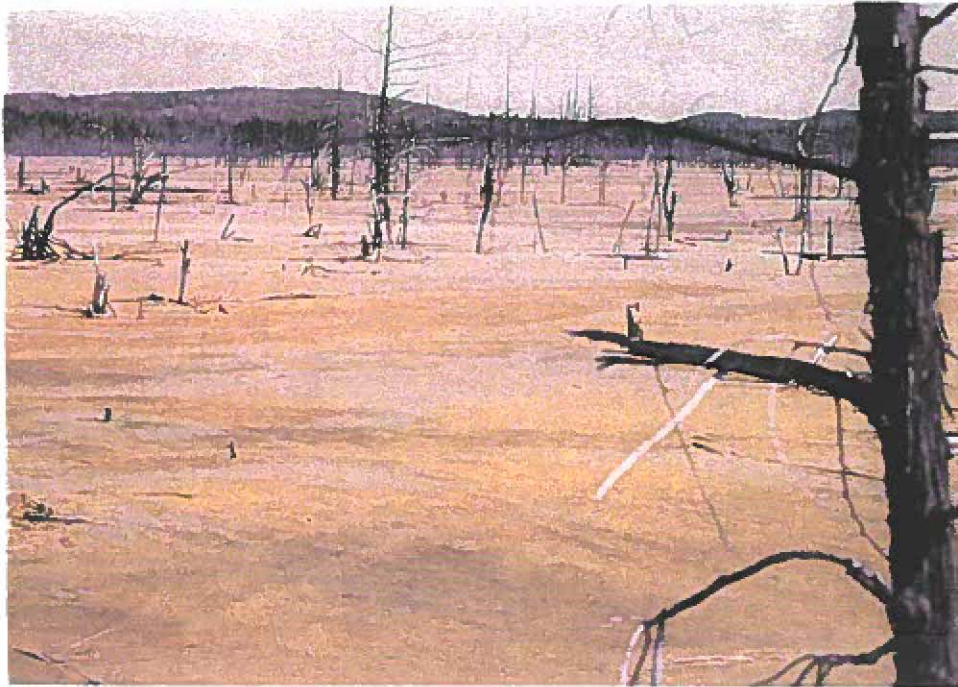
Ce suivi a permis de constater que les conditions physico-chimiques de l'eau sont demeurées relativement stables par rapport aux dernières campagnes d'échantillonnage. Pour les eaux souterraines et interstitielles, les pH sont moins alcalins que durant l'été 1997.

Bilan hydrologique

Les résultats préliminaires sur les travaux concernant le bilan hydrologique du bassin sont :

- la surface inondée passe de 66 hectares (avant l'inondation) à 110 hectares ;
- l'apport d'eau par les pluies et le ruissellement compensent amplement les pertes causées par l'infiltration et l'évaporation ;
- s'il n'y avait pas de pluie durant 3 mois, le niveau du bassin ne baisserait que de 20 cm ;
- l'étude du réseau d'écoulement montre que les eaux de surface et les eaux souterraines convergent vers l'exutoire, ce qui assure une situation privilégiée au parc, évitant des fuites possibles ailleurs ;
- l'ennoiement naturel du parc a permis la compaction des résidus miniers par la montée lente du niveau d'eau et le recouvrement graduel des plages créées ;
- l'ennoiement progressif du parc a transporté des résidus organiques qui se sont déposés dans le fond du bassin et la végétation sous-marine commence à s'y établir ;
- l'effet des vagues ne dépasse guère 30 cm de profondeur et il n'y a pas de remise en suspension des particules dans ce parc.

⁵ Lacasse G., *Suivi environnemental du parc à résidus miniers Solbec-Cupra*, rapports d'avancement printemps, été et automne 1997



Parc Solbec, avant et après la restauration





Déposition subaquatique de résidus miniers non oxydés dans des lacs artificiels : Projet Louvicourt

Responsable : Frederick Firlotte - Golder Associés Ltée

Financement (k\$)

	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	Total
Phase I RNCan	27,0				27,0
Phase II RNCan		175,8	30,3	126,7	332,8
Teck		45,4	33,3	27,3	106,0
Aur		22,5	12,6	13,3	48,4
Total	27,0	243,7	76,2	167,3	514,2

Objectif

Le premier objectif du projet est de démontrer l'efficacité de recouvrements aqueux de faible épaisseur comme moyen permanent de prévenir l'oxydation des sulfures et, conséquemment, la formation de drainage acide.

Dans une phase subséquente, il est prévu d'étudier *in situ* l'efficacité de divers recouvrements des résidus sous l'eau comme moyen supplémentaire de prévenir le drainage minier acide. En ce qui concerne le programme NEDEM, les travaux consistent à :

- expérimenter dans des cellules construites au site Louvicourt les recouvrement aqueux de 0,3 m ;
- vérifier, dans des colonnes, l'effet de recouvrements de 0,3 m et 1,0 m d'eau ainsi que divers recouvrements organiques et sableux sous 0,3 m d'eau ;
- mesurer, dans des cellules humides l'influence de la température et des changements de l'humidité sur l'oxydation des sulfures et le risque associé à l'exposition des sulfures à l'air durant les opérations ;
- réaliser des simulations afin de vérifier l'effet de diverses épaisseurs de recouvrements aqueux, les caractéristiques des barrières de diffusion sous l'eau, les bénéfices de l'amendement de la surface des résidus et la contamination des eaux de surface et souterraines.

Résultats

Cellules sur le terrain

Deux cellules expérimentales ont été construites au site Louvicourt en juillet 1996 et remplies lentement de résidus miniers durant quatre semaines. Les résidus ont été recouverts de 30 cm d'eau naturelle. On a laissé les résidus se sédimenter pendant six semaines jusqu'à la période de gel. Dans chaque cellule, quatre échantillonneurs de type «peeper» ont été installés et récupérés avant le gel. Il y avait un échantillonneur par quadrant de cellule. Les échantillons venant des «peepers» ont été analysés tout comme les mini-carottes prélevées à la surface des résidus.

Les résultats montrent que, dans les deux cellules et dans les échantillonneurs, le pH s'accroît avec la profondeur (de 7,5 dans l'eau de surface à 9,5 à 10 cm de profondeur) tout comme les sulfates. Dans les mêmes cellules et échantillonneurs, les concentrations de métaux traceurs décroissent, avec la profondeur, jusque sous les limites de détection.

À la suite de problèmes d'opération, on a constaté que la qualité des résidus miniers n'était pas la même dans les deux cellules. Toutefois, ces résidus ont été analysés tels quels et les différences seront prises en considération dans les conclusions des études.

Études en colonnes

Un assemblage de 12 colonnes a été fait chez CANMET avec divers types de recouvrement. Il ressort que le type de recouvrement de tourbe choisi contient beaucoup de fer de sorte qu'il peut entraîner la contamination des résidus miniers ainsi que de l'eau. Ce problème démontre l'importance de

bien connaître les caractéristiques des recouvrements de protection choisis.

Cellules humides

Les résultats relatifs aux cellules humides montrent que, si les résidus miniers de Louvicourt étaient exposés à l'air, ils commenceraient à produire de l'acidité après 4,5 ans. On en conclut également que l'ajout d'un lit de protection sur les résidus est très efficace pour réduire le taux d'oxydation des sulfures. Finalement, le recouvrement d'eau semble un moyen de prévention permanent suffisant.

Modélisation numérique

Les résultats préliminaires des modélisations numériques sur les recouvrements aqueux sont :

- à cause de l'effet des vents, l'augmentation de l'épaisseur d'eau ne réduit pas le taux d'oxydation subaquatique des sulfures ;
- les lits de protection chimiques, biologiques ou physiques sont très efficaces pour réduire le taux d'oxydation subaquatique des sulfures ;
- pour un lit de protection, il y a une limite optimale au-delà de laquelle le bénéfice relié à l'augmentation de son épaisseur diminue dramatiquement ;
- l'obtention d'une protection adéquate et permanente par un recouvrement aqueux dépend des particularités du site visé et du design du recouvrement ;
- un recouvrement aqueux semble suffisant pour assurer la restauration permanente du site de la mine Louvicourt selon les exigences environnementales.



Cellules expérimentales au site Louvicourt





Suivi de la performance du recouvrement multicouche du parc Les Terrains Aurifères (LTA)

Responsable : Rick Firlotte - Golder associés ltée

Financement (k\$)

	1996-97	1997-98	1998-99	Total
CANMET	30,0	45,0	45,0	120,0
Total	30,0	45,0	45,0	120,0

Objectif du projet de suivi

L'objectif de ce projet est de faire le suivi de la performance du recouvrement multicouche sur le site LTA au moyen de divers instruments.

Afin de fermer ce parc générateur d'acidité de 60 hectares, il a été convenu de construire une barrière multicouche composée de 0,5 m de gravier au-dessus des résidus miniers et de 0,8 m de résidus non générateurs d'acidité, le tout recouvert de 0,3 m de sable fin.

Description des travaux

Le site LTA, situé à 8,5 km à l'est de la ville de Malartic, est fermé depuis 1965. Au cours des années d'exploitation, environ 10 Mt de résidus non générateurs d'acidité ont été déposés à raison de 5 m d'épaisseur sur deux sections du parc Malartic Goldfields⁶. La réouverture du site en 1977 a introduit environ 7,7 Mt de nouveaux résidus qui sont générateurs d'acidité sur la section du parc appelé LTA.

L'objectif principal de la barrière à LTA consiste à isoler les résidus réactifs de l'oxygène et de réduire l'infiltration d'eau, deux des éléments essentiels à la formation d'effluents acides. Les travaux effectués au site Manitou avec des cellules ont donc permis de vérifier l'applicabilité de la barrière multicouche à LTA et de mesurer à grande échelle, sa performance de même que l'impact des contraintes liées à sa construction.

⁶ Weatherell C., *Fiche d'identification du projet*, septembre 1995

Travaux en 1997-1998

Interrompue au printemps de 1996 durant la période de dégel⁷, la construction de la barrière s'est poursuivie en juin 1996 pour se terminer en octobre suivant. Le monitoring de la performance de la barrière a commencé en juin 1996 et un programme pour caractériser les conditions d'opération de la couverture afin de mieux définir la conception des pentes périphériques a été mis en place. Au total, 20 stations de monitoring ont été installées sur le site, dix sur le dessus de la barrière et dix au pourtour des pentes.

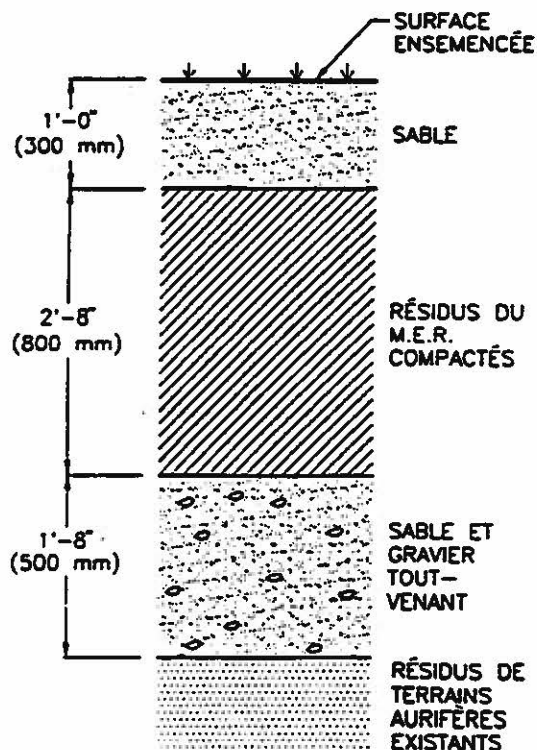
Les six mois de monitoring révèlent une moyenne de 86 % de saturation de la barrière et de 84,4 % dans les pentes. Les mesures de consommation d'oxygène ont été réalisées par l'université de Waterloo grâce à un montage spécial de terrain.

La consommation moyenne d'oxygène des résidus non recouverts est de 517 moles de $O_2/m^2/an$, avec des pointes de plus de 800 moles de $O_2/m^2/an$.

Après la construction de la barrière, la consommation d'oxygène a baissé considérablement à 7 moles de $O_2/m^2/an$ et, à certains endroits, à 1 mole de $O_2/m^2/an$. La construction de la barrière a donc permis de réduire la consommation d'oxygène par un facteur de 75 et même de 1 000 en certains endroits.

D'après les premières estimations⁸, le coût total par hectare pour la restauration du site, incluant la remise en végétation, est de 93 500 \$ par hectare. Environ 65 000 \$ par hectare sont reliés à la construction de la barrière multicouche. L'exécution de ce projet a démontré la faisabilité du concept et la nécessité de construire la barrière en hiver.

Barrière multicouche



⁷ MEND, *Construction and instrumentation of a composite cover at Les Terrains Aurifères, Québec, Canada*, rapport 2.22.4, avril 1997

⁸ Ricard JF et al, *Design and construction of a dry cover made of tailings for the closure of Les Terrains Aurifères site, malartic, Québec, Canada*, Forth international conference on acid rock drainage, juin 1997, Vancouver

Détermination de la variabilité au cours d'essais statiques

Responsable : Carl Weatherell - Secrétariat NEDEM

Financement (k\$)

	1996-97	1997-98	Total
CANMET	75,0	75,0	150,0
Total	75,0	75,0	150,0

Objectifs du projet

Le premier objectif est de déterminer et de quantifier les facteurs de variabilité liés aux essais statiques. Le deuxième objectif est de recommander des méthodes d'essais qui permettent de réduire la variabilité de façon rentable et d'améliorer l'interprétation des essais de drainage des roches acides

Description

L'un des principaux objectifs de NEDEM est de constituer une base scientifique, technique et économique exhaustive pour prévoir de manière sûre les exigences à long terme relatives aux déchets miniers réactifs⁹. On emploie couramment un certain nombre de méthodes pour estimer dans quelle mesure un déchet minier produira de l'acide. Le bilan

acide-base (BAB) prend en compte certains facteurs, notamment la teneur en soufre, l'alcalinité facilement accessible sous forme de carbonates réactifs, la composition chimique de la matière hôte, les résultats des essais statiques et d'autres facteurs. On a réuni les résultats de ces données et déterminé le potentiel de neutralisation (PN) ainsi que le potentiel acide (PA). La mise en rapport de ces valeurs permet de savoir si une matière hôte produira ou non de l'acide. La détermination de ces valeurs dépend d'un certain nombre de facteurs qui peuvent ou non être considérés au cours des essais.

Les méthodes actuellement employées pour déterminer le PN sont sujettes à des variations extrêmes, ce qui rend très ambiguës les valeurs du PN déterminées et les valeurs du PNN (pouvoir de neutralisation net). On peut en partie tenir compte de cette ambiguïté avec les méthodes d'essais actuelles, mais, dans d'autres cas, elle peut être attribuée à l'interprétation des résultats obtenus à partir de ces méthodes. De plus, les effets de diverses

⁹ Weatherell C., *Fiche d'identification du projet*, juin 1996

phases minérales sur le PN restent à déterminer de manière adéquate.

Résultats de la phase 2

À l'aide des tests statiques de Sobec¹⁰, de Sobec modifié et du "BC research initial test", 13 échantillons ont été évalués sur trois plages granulométriques distinctes. Parallèlement, une étude minéralogique complète a été effectuée sur tous les échantillons analysés.

Les résultats démontrent que la granulométrie de l'échantillon n'a pas d'impact sur l'évaluation du potentiel net de neutralisation des tests de Sobec, de Sobec modifié et du BCRIT. Le test de Sobec modifié et le BCRIT semblent offrir des conditions d'attaque chimique presque équivalente, alors que le test de Sobec résiste à des conditions plus rigoureuses. Les résultats des trois tests statiques étudiés indiquent que l'évaluation de l'acidocalcinie d'un échantillon minier spécifique peut se faire en utilisant la teneur en soufre (sulfure) et en carbone inorganique :

$$\text{PN net (mesuré)} = F (\text{PN (carbone inorganique)} - \text{PA (soufre)}).$$

Toutefois, l'écart entre cette prédiction et les tests statiques peut varier selon la minéralogie de l'échantillon. Le test de Sobec semble tenir compte de l'altérabilité de minéraux autres que les phases minérales comprenant du carbone inorganique.

Les analyses minéralogiques démontrent que, conformément au modèle mathématique de

Kwong, l'indice d'altérabilité chimique (similaire au PN net) varie d'un échantillon à l'autre et que l'écart entre les résultats des tests statiques semble être lié à la neutralisation d'espèces minéralogiques autres que les carbonates.

Travaux suggérés en 1998

Le CRM suggère les travaux suivants pour la phase 3 :

- confirmer l'identification des phases minérales responsables de la surestimation apparente du PN net du test de Sobec. Le rapport MEND 1.16.3 de Lawrence et Wang fait état de l'analyse de 120 échantillons. Il sera pertinent de reprendre l'analyse modale de ceux-ci, mais en tenant compte des phases minéralogiques altérées susceptibles d'expliquer la plus grande réactivité de certains échantillons au test de Sobec ;
- étudier les données chimiques provenant des solutions de neutralisation des trois tests statiques étudiés afin de vérifier s'il existe des relations entre la composition chimique de ces échantillons et la plus ou moins grande sensibilité des échantillons, en regard de leur altérabilité et de leur composition minéralogique ;
- procéder à la phase III du projet en ciblant des échantillons dont le comportement lors des tests statiques présente de l'intérêt en regard du comportement des phases minéralogiques face à l'altération naturelle.

¹⁰ Gosselin G., *Interprétation minéralogique des données des essais statiques*, rapport d'étape, Centre de recherche minérale, novembre 1997 fourni par Carl Weatherell, NEDEM 2000

Une approche intégrée pour la valorisation des résidus miniers

Responsable : Bruno Bussière - Unité de recherche et de service en technologie minérale de l'Abitibi-Témiscamingue (URSTM)

Financement (k\$)

	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	Total
Phase I						
MRN	4,2	5,8				10,0
URSTM	2,0	3,0				5,0
Phase II						
MRN			48,0	76,5	25,3	149,8
URSTM					8,1	8,1
Total	6,2	8,8	48,0	76,5	33,4	172,9

Objectif général

Le principal objectif de ce projet de recherche est de déterminer les paramètres qui feraient en sorte que la séparation des sulfures et l'utilisation de la fraction stérile comme composante d'une barrière multicouche deviendrait une solution de restauration efficace et économique. Les objectifs spécifiques du projet sont :

- déterminer les paramètres qui influencent la récupération des sulfures à l'aide d'essais de flottation ;
- vérifier si des valeurs commerciales sont présentes dans le concentré de sulfures et si ces valeurs peuvent être récupérées ;

- établir un modèle qui permet de connaître les coûts reliés au procédé de flottation ;
- évaluer l'efficacité d'une barrière multicouche dont la couche fine est constituée de résidus désulfurés ;
- évaluer l'influence de la teneur résiduelle en sulfures sur l'efficacité de la barrière ;
- élaborer un modèle technico-économique qui permet de comparer les différentes options de restauration.

Résultats

L'étude montre qu'il est possible de séparer les sulfures des résidus miniers et de produire deux fractions distinctes : un concentré

de sulfures et une fraction neutre. La cinétique de flottation peut être bien décrite par un modèle de premier ordre avec distribution rectangulaire des flottabilités. De plus, il est possible de prédire, à partir d'un modèle du même type, le dosage en collecteur ainsi que le temps de flottation pour atteindre la récupération environnementale du soufre¹¹. Enfin, il est possible d'améliorer, dans certains cas, la récupération globale des métaux à l'aide de la désulfuration.

Quant à l'efficacité des barrières multicouches construites avec des résidus désulfurés, les résultats des essais en colonnes montrent clairement que la production de drainage minier acide peut être réduite considérablement. Les pH des colonnes recouvertes sont tous demeurés près de la neutralité, alors que celui de la colonne témoin, non recouverte, a baissé à 3,0. La quantité de métaux en solution a été réduite de plus de 10 000 fois pour le zinc, de 2 000 à 18 000 fois pour le cuivre et de 200 à 1 000 fois pour le fer.

On a remarqué qu'une partie de l'oxydation observée dans les colonnes avec recouvrement provenait de la couche faite de résidus désulfurés. Les barrières les plus efficaces sont celles qui contiennent le moins de sulfures dans les résidus désulfurés. En bref, les résultats ont montré que les résidus désulfurés peuvent être utilisés efficacement comme couche fine dans une barrière multicouche, à la condition que le niveau de désulfuration soit suffisant pour que la couverture elle-même ne soit pas une source de pollution à long terme.

¹¹ Bussière B. et al, *Valorisation des résidus miniers : une approche intégrée - Phase II*, URSTM, mars 1998, rapport final

À partir de ces résultats, une analyse technico-économique a été entreprise. Un chiffrer a été conçu afin d'estimer les coûts de restauration à l'aide des principales méthodes de contrôle du drainage minier existantes.

Les résultats ont montré que la désulfuration, combinée à l'utilisation d'une barrière multicouche faite de résidus désulfurés, se compare avantageusement avec les techniques existantes. De plus, les résultats de l'analyse technico-économique montrent que lorsque la désulfuration est combinée avec le remblai en pâte, il est possible de réduire à des dimensions très petites les superficies à restaurer en surface qui sont génératrices de drainage minier acide. Cela signifie qu'il serait possible de réduire à presque rien les volumes de résidus générateurs d'acide en surface et ainsi limiter les risques de contamination de l'environnement par le drainage minier acide.

Recommandations

Quoique ces travaux soient très encourageants, les auteurs font les recommandations suivantes :

- réaliser des travaux pour optimiser la désulfuration à partir de mesures ponctuelles ou continues en usine ;
- prédire de façon plus précise le potentiel de génération d'acidité sans avoir à faire des essais cinétiques ;
- étudier la mise en place de la barrière par voie hydraulique sous forme de remblai en pâte pour éviter la ségrégation des particules ;
- vérifier la stabilité physique et chimique des remblais souterrains qui ont nécessité une quantité considérable de sulfures.

Programme de recherche visant la réduction des rejets d'opérations minières (mines écologiques)

Coordonnateur : Louis Bienvenu - Service du développement minier (MRN)

Financement (k\$)

	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	Total
Phase I CRM MRN	21,3	77,0				21,3 77,0
Phase II MRN			61,8	101,1	9,0	171,9
Total	21,3	77,0	61,8	101,1	9,0	270,2

Objectif général

L'objectif principal est de développer, de concert avec l'industrie minière, des méthodes, des technologies et des systèmes d'exploration, d'exploitation et de traitement qui permettront à l'industrie minière d'éliminer les rejets et les résidus miniers, ou d'en réduire la quantité, et ainsi de mieux contrôler les impacts environnementaux des opérations minières actuelles et futures. Ce concept de mines nouvelles permettra de mieux répondre dans l'avenir aux normes de plus en plus restrictives de protection de l'environnement et pourrait améliorer la compétitivité de l'industrie minière.

Démarche utilisée

La démarche utilisée se divise en deux phases : la première consiste à solliciter des idées de recherche, à en faire le tri et à retenir celles qui semblent les plus prometteuses. Les idées retenues font l'objet d'un contrat de démarrage d'un montant maximum de 10 k\$ afin de démontrer la validité du concept proposé. Les résultats de ces premières études sont analysés et des propositions de recherche sont ensuite demandées aux chercheurs concernés pour poursuivre leurs travaux. Les propositions les plus prometteuses se voient accorder un contrat de recherche dans une seconde phase.

Résultats à ce jour

Au cours des phases précédentes, trois des dix propositions initiales concernaient plus spécifiquement le drainage minier acide. Le présent rapport fait état des conclusions de recherche qui ont fait suite aux travaux réalisés en 1997-1998.



Cellule de démonstration au site Eustis utilisant des rejets de cimenteries

Stabilisation des rejets miniers à l'aide de rejets de cimenterie

Responsable : Gérard Ballivy - Université de Sherbrooke

Financement (k\$)

	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	Total
Phase I CRM MRN	2,4	7,6				10,0
Phase II			10,0	50,0	9,0	69,0
Total	2,4	7,6	10,0	50,0	9,0	79,0

Objectif général

Étude de la faisabilité technique, économique et environnementale et démonstration sur le terrain de techniques de stabilisation de résidus miniers acides par des poussières de four de cimenteries comme source basique¹². À cet égard, on vérifiera le gain environnemental obtenu par l'application de cette solution, on présentera différents scénarios d'utilisation de cette approche et on évaluera les coûts en vue d'un transfert technologique à plusieurs sites présentant une problématique similaire.

¹² Bellaloui A. et al, *Stabilisation des résidus miniers acides à l'aide des poussières de four de cimenteries comme source basique*, proposition de projet de recherche au volet 1A du Programme III de l'EADM, novembre 1995

Historique

Le Québec compte 107 sites miniers abandonnés couvrant une superficie de 4 500 hectares. Parmi ceux-ci, 21 sont jugés dangereux. Cinq de ces sites (25 ha) sont localisés en Estrie et sont reconnus comme générateurs d'eaux acides. Cette étude concernera la mine Eustis, fermée en 1939, qui, par la profondeur de ses galeries, est la plus importante des cinq.

Les cimenteries posent un problème environnemental en produisant une quantité considérable de résidus basiques définis comme des poussières de four ou "cement kiln dust" (CKD). Lorsque ces poussières sont riches en alcalis, elles constituent un déchet au sens de la loi selon le MENVIQ (1988). Ces CKD sont composées essentiellement de calcium sous forme de calcite, chaux libre et portlandite dont

le pH varie de 12 à 13. Les sites producteurs de CKD sont localisés dans la région de Québec, de Joliette et, prochainement, dans la région de Montréal (St-Constant).

Résultats

Les résultats de la première phase de recherche¹³ montraient que le remblayage hydraulique à l'aide de stériles et de poussières de four (5 %) apparaît tout à fait réalisable. De plus, ce mélange a des propriétés mécaniques, hydrauliques et environnementales très intéressantes (gonflement +1 %, perméabilité - 25 %, meilleure stabilité du mélange, réduction du lixiviat).

La mise en place de cinq cellules de démonstration sur le site a permis de suivre de façon continue les paramètres essentiels pour l'évaluation de cette méthode de traitement¹⁴. La qualité chimique des eaux de percolation récupérées dans les puits de captage laisse entrevoir une réduction considérable des éléments à risque pour le milieu environnant. Cette amélioration est le résultat de la migration du front alcalin développé par les poussières de four à travers les résidus miniers oxydés et non oxydés.

Une barrière à base de poussières de four de cimenterie constitue aussi un meilleur moyen pour couper l'oxygène nécessaire aux

différentes réactions d'oxydation ainsi qu'aux populations bactériennes telles que les *thiobacillus ferrooxidans* et *thioparus*.

Une fois couplée à une campagne de végétalisation et compte tenu des données économiques disponibles, la restauration du site Eustis est évaluée à environ 83,0 k\$ l'hectare.

¹³ Ballivy G., *Valorisation des déchets miniers à l'aide des poussières de four de cimenteries : barrières environnementales et remblayage hydraulique structural*, Université de Sherbrooke, rapport final, août 1994

¹⁴ Bellaloui A. et al, *Stabilisation des résidus miniers acides à l'aide des poussières de four de cimenterie comme source basique*, Université de Sherbrooke, rapport final, octobre 1997

Programme de restauration des sites miniers de la Couronne

Coordonnateur : Claude Dufour - Service du développement minier (MRN)

Financement (k\$) - sites potentiellement générateurs d'effluents acides

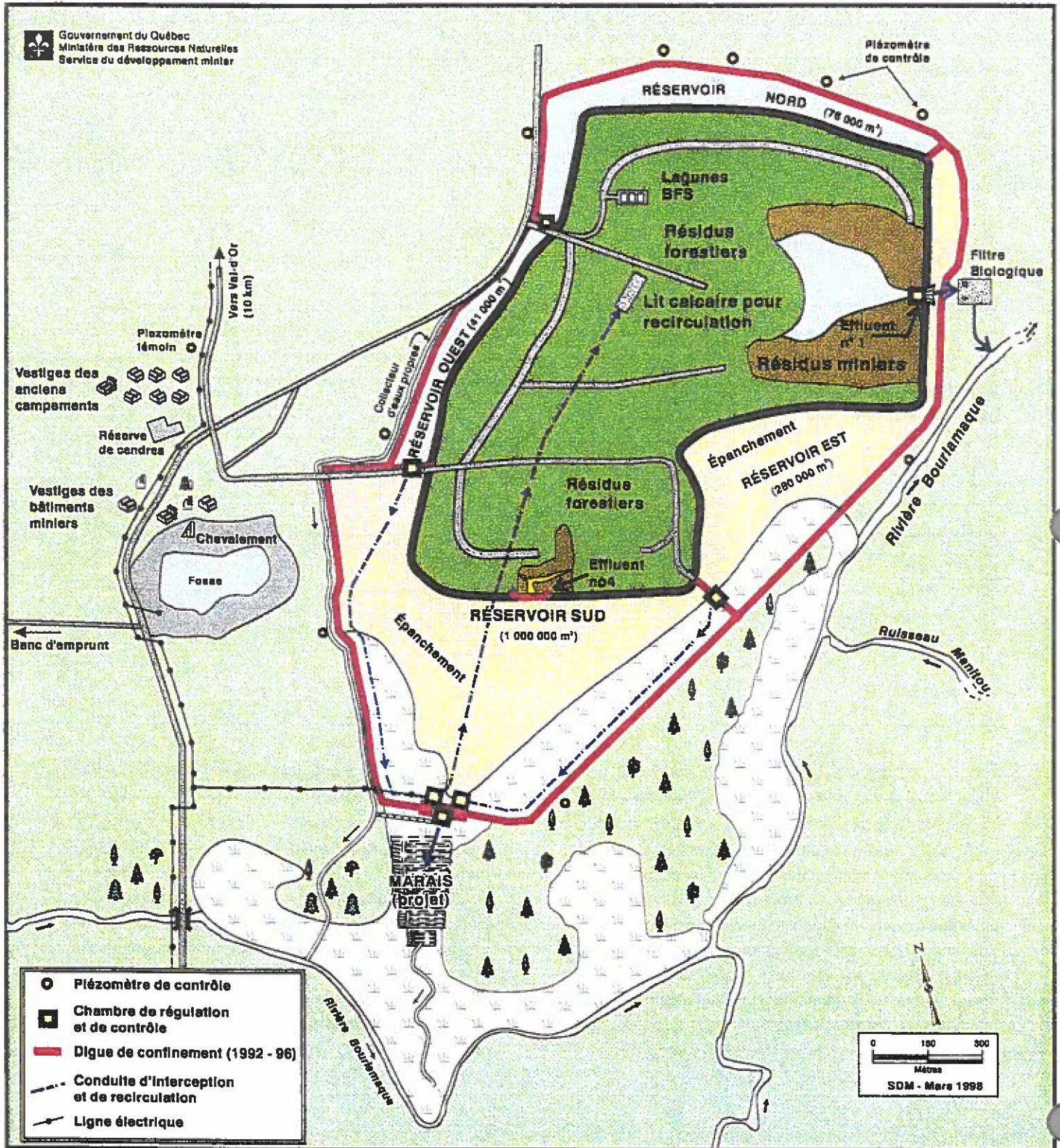
Sites	Jusqu'à 1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	Total
East Sullivan	6 675,0	200,0	850,0	250,0	7 975,0
Canadian Malartic	1 275,0	20,0	10,0		1 305,0
Somex	379,0				379,0
Lorraine	235,0	1 115,0	235,0	50,0	1 635,0

Description

La Couronne est propriétaire de 11 sites miniers qui doivent être restaurés en raison de leurs impacts majeurs sur l'environnement et sur la qualité de vie dans plusieurs régions. Ces sites problématiques lui ont été rétrocédés au fil des ans, soit par ignorance de leurs impacts négatifs sur l'environnement, soit par manque de rigueur des lois alors en vigueur. Quatre de ces sites génèrent de l'acidité et contribuent considérablement à contaminer l'environnement. Des travaux sont donc entrepris en vue de les remettre en état et les rendre inoffensifs.

Travaux en 1997-1998

En 1997-1998, le recouvrement forestier au site East Sullivan et les études sur la méthode de traitement des eaux de ruissellement se sont poursuivis. Ceci a amené la construction d'un système de recirculation des eaux de ruissellement. Au site Somex, des échantillons d'eau ont été prélevés pour connaître la qualité des eaux environnantes du parc. Quant au site Lorraine, une étude poussée sur la méthode de restauration a permis de trouver les matériaux nécessaires pour la construction d'un recouvrement multicouche.



SITE MINIER EAST SULLIVAN

Recouvrement avec des résidus forestiers au parc East Sullivan

Introduction

Le site minier East Sullivan est situé dans la région administrative 08 Abitibi-Témiscamingue, à environ 7 kilomètres au sud-est de la ville de Val-d'Or, dans le canton de Bourlamaque. Les installations de la mine et le parc à résidus miniers couvrent une superficie totale d'environ 228 hectares (ha). Le parc (150 ha) et ses épanchements (68 ha) couvrent à eux seuls près de 220 hectares. Abandonné depuis plus de 30 ans, ce site est fortement générateur d'acide (pH 2,3) et les divers métaux qu'il contient contaminent la rivière Bourlamaque qui sillonne à proximité.

Depuis 1987, quelque 6,7 M\$ ont été investis pour réaliser des études diverses, des travaux de relocalisation de pierres stériles, des travaux de confinement des résidus miniers et enfin, pour mettre en place un système de traitement des eaux contaminées par recirculation sur les résidus forestiers.

La barrière organique

Depuis 1984, des résidus forestiers sont déposés à la surface des résidus miniers et couvrent maintenant 80 % de la superficie du parc. Ces travaux sont réalisés à titre expérimental dans le cadre de la restauration du site. De nombreuses études ont été effectuées depuis 1988 pour caractériser les résidus et élaborer un plan directeur de restauration. Des travaux de confinement des effluents ont débuté en 1992 par la construction d'une digue étanche qui s'étend sur 6 kilomètres. Ces travaux de confinement ont été complétés en 1996 et permettent le traitement des effluents contaminés à un exutoire unique.

La récupération des surplus de résidus forestiers solutionne deux problématiques et comporte des avantages financiers substantiels pour les deux parties : l'entreposage des résidus forestiers et la génération de drainage minier acide. Une étude a en effet démontré que le recouvrement des résidus miniers par une couche minimale de 1,0 m de résidus forestiers est une barrière efficace à l'oxygène, empêchant ainsi la génération de drainage minier acide. Une autre étude montre que le processus de biodégradation dans les empilements de résidus forestiers est très lent et que sous quelques dizaines de centimètres il est pratiquement nul, ce qui assure une longévité certaine à la barrière. Par ailleurs, comparativement à la contamination initiale (acidité, métaux lourds, etc), la contamination organique générée par la présence des résidus forestiers peut être plus facilement contrôlée.

Le système de recirculation des eaux d'exfiltration

Cependant, si la barrière organique empêche dorénavant l'oxydation des sulfures, la purge des particules de fer ferreux (Fe^{+2}) déjà emmagasinées dans les marges du parc se poursuivra sur une période évaluée entre cinq et sept ans, générant encore pour cette période un milieu acide dans les bassins récepteurs. Pour pallier transitoirement cette contamination tout en accélérant cette purge, un système de recirculation des eaux d'exfiltration sur les résidus forestiers a été construit en 1997. L'alcalinité générée par la dégradation du couvert organique permettra de neutraliser les eaux recirculées et favorisera la précipitation de carbonates. La barrière réductrice, quant à elle, permettra la réduction des sulfates et la précipitation des métaux sous forme de sulfures.



Auto-neutralisation du parc Canadian Malartic

Introduction

Le parc à résidus miniers Canadian Malartic, situé à la limite sud de la ville de Malartic dans le canton de Fournière de la région administrative 08 - Abitibi-Témiscamingue, est constitué de résidus aurifères sous-jacents à des résidus sulfureux qui sont générateurs d'acide.

Le Ministère a procédé à des études de caractérisation en 1987 et en 1992, à l'élaboration d'un plan directeur de restauration en 1994 et a commencé les travaux correctifs en 1995. Ces travaux ont été complétés en 1996 et le site ne nécessite maintenant qu'un bref suivi annuel (pendant 2 à 3 ans) afin de s'assurer de la performance des mesures retenues. Au total, la restauration de ce site aura exigé des crédits totaux de quelque 1 275 k\$.

De 1942 à 1965, environ 9,9 Mt de résidus aurifères ont été déposés en continu. Entre 1962 et 1968, environ 1,1 Mt de résidus sulfureux résultant de l'exploitation d'un gîte de nickel et cuivre y ont été ajoutées. Le manque de confinement des résidus aurifères a entraîné leur étalement sur une surface d'environ 68 hectares. Bien confinés, les résidus sulfureux sont disposés sur un plateau de 43 hectares s'élevant d'environ 4 m au-dessus des résidus aurifères. Un vaste réseau de ruisseaux intermittents disséquant la surface des résidus sulfureux se draine vers le sud-est.

L'analyse des gaz a permis de déterminer les proportions de O_2 , CO_2 , N_2 , et de CH_4 . Les proportions d'oxygène excèdent 5 %, mais uniquement à des profondeurs inférieures à 50-70 cm. Le bioxyde carbone passe généralement de concentration nulle à des

proportions de 5 %, ce qui indique qu'une dissolution de calcite neutralise les eaux interstitielles.

En ce qui concerne l'acidité, le parc Canadian Malartic possède une capacité de neutralisation importante non seulement dans les résidus aurifères, mais également dans les résidus sulfureux. Conséquemment, le drainage minier acide est limité principalement à la partie supérieure des résidus sulfureux, soit à moins de 1 m de la surface. L'analyse du bilan acide-base montre que le potentiel de neutralisation est trois fois supérieur à celui de l'acidité.

Travaux de restauration

À la suite des études de caractérisation qui ont permis de connaître les propriétés intrinsèques du parc à résidus, des travaux de restauration ont été entrepris en 1995 en respectant les grandes lignes directrices établies pour assurer le succès de l'entreprise.

En somme, ces principes impliquaient que les pentes des talus périphériques du parc soient adoucies (1H:4V) et la surface des résidus aplanie. Dans la partie sulfureuse (nord-est), les résidus oxydés et non oxydés ont ainsi été transportés sur les résidus aurifères de la partie sud-ouest afin de composer la pente du talus à cet endroit. Ils ont été, par la suite, rapidement recouverts avec des résidus aurifères d'une épaisseur minimale de 1,0 mètre pour prévenir toute oxydation.

Un réseau de drainage a également été mis en place pour éviter les risques d'érosion hydrique. Ce réseau a été aménagé tant à l'intérieur qu'au pourtour du parc, jusqu'à la

zone inondée au sud-est. Un déversoir en perré a été aménagé à l'exutoire principal du parc (ancienne brèche) et permet l'évacuation des eaux de ruissellement.

Avant d'êtreensemencée, la surface des résidus sulfureux oxydés a été amendée par l'incorporation aux premiers centimètres d'une couche de terre végétale d'environ 3 cm d'épaisseur. Par contre, les résidus aurifères ont pu êtreensemencés directement avec une dose appropriée de fertilisants.

Les premiers résultats constatés sont prometteurs. Toutefois, la méthode de revégétalisation directe implique également l'ajout de fertilisants au cours des premières années, le temps de permettre la constitution d'une couche végétale permanente.

Recouvrement multicouche au site minier Lorraine

Introduction

Le parc à résidus miniers Lorraine est situé dans le canton de Gaboury, dans la région administrative 08 - Abitibi-Témiscamingue.

Le site minier couvre une superficie approximative de 27 hectares, dont 15 pour le parc à résidus. Les principales substances exploitées à la mine ont été le cuivre et le nickel avec, comme substances secondaires dans la minéralisation, de l'or et de l'argent. De 1964 à 1968, le traitement de 600 083 tonnes de minerai, produisant 2 683 tonnes de nickel et 6 391 tonnes de cuivre, a laissé sur place des résidus riches en sulfures et potentiellement générateurs d'acidité. Toutefois, il existe un certain potentiel de neutralisation, puisque les minéralisations aurifères se retrouvaient dans des veines carbonatées.

Restauration

Les travaux de restauration seront entrepris en 1998 et consisteront principalement en la mise en place d'un recouvrement multicouche sur les résidus miniers. Jusqu'à maintenant, quelque 235 k\$ ont été affectés aux travaux préparatoires.

Des travaux de caractérisation ont été réalisés en 1995 et les plans et devis des travaux sur le terrain sont en voie d'élaboration. La découverte des matériaux nécessaires à la constitution d'un recouvrement multicouche à proximité du site a favorisé le choix de cette option pour la restauration.

Outre les suintements acides qui sont présents principalement au sud du parc à résidus, des amas de stériles miniers ainsi que divers déchets et vestiges (fondations en béton) sont observés dans la partie est du site.

L'évaluation préliminaire des travaux à réaliser est de quelque 1,3 million de dollars incluant la remise en végétation du site et la réalisation des mesures correctives transitoires.



Une géomembrane recouvre le parc Somex

Introduction

Le site de la mine Somex est situé dans le canton de Bickerdite à environ 9 kilomètres à l'ouest du village du Lac Édouard et à environ 40 kilomètres au nord-est de la ville de La Tuque, dans la région administrative 04 Mauricie-Bois-Francs. Le site couvre une superficie totale approximative de 2 hectares, comprenant la superficie du parc à résidus miniers estimée à 0,7 hectare.

Les principaux minéraux qu'a exploités Somex sont la chalcopyrrite, le pentlandite et, comme substance secondaire, la pyrrhotite. L'exploitation de la mine et le traitement de 48 300 t de minerai, titrant 1,5 % Ni et 0,5 % Cu, a produit 400 tonnes de nickel et 200 tonnes de cuivre entre mars 1973 et janvier 1974. Cette exploitation a laissé sur place un parc à résidus miniers générateurs d'acidité, des empilements de stériles ainsi que des structures reliées aux opérations minières.

Le lieu présente peu de risques pour la santé humaine étant donné la grande distance qui le sépare des régions habitées. Toutefois, une contamination potentielle d'un tributaire de la rivière Bostonnais par des résidus sulfureux et des métaux lourds est à craindre vu la proximité du cours d'eau. Les concentrations des métaux lourds détectés dans les eaux de surface ont été comparées aux critères québécois sur la vie et le milieu aquatique afin d'identifier les paramètres pouvant présenter un impact toxicologique négatif. Le cuivre et le nickel présentent un risque potentiel important pour le milieu aquatique. L'aluminium, le fer, le mercure et le cadmium ont été retenus comme présentant un risque potentiel secondaire pour le milieu aquatique.

Travaux de restauration

Les travaux de restauration ont été exécutés en régie par le Ministère en 1995, au coût de 340 k\$. Auparavant, un plan de restauration et quelques travaux de caractérisation avaient été réalisés, portant la somme totale consentie pour ce site à 379 k\$.

La solution retenue consiste au recouvrement de surface sec avec revégétalisation, laquelle représente le meilleur rapport qualité-coût. Les résidus débordés au nord, à l'ouest et à l'est du parc ont été récupérés à l'aide d'une pelle rétrocaveuse. À l'ouest, on a dû laisser sur place une certaine quantité de résidus étant donné les dangers d'enlèvement de la machine.

Le parc à résidus a été l'objet de travaux visant à lui donner une pente régulière minimale de 2 % en tout point du parc afin d'assurer un bon égouttement de surface. Puis, on a installé une géomembrane de type Bentofix. Cette membrane est constituée de deux tissus renfermant un lit de bentonite. Le poids unitaire de la membrane est de 4,2 kg/m², son épaisseur de 6 mm et la perméabilité de 1,0 x 10⁻⁹ cm/sec.

Par la suite, on a procédé à un recouvrement de sable en deux étapes, soit 50 cm à la fois. Le sable a été transporté d'un banc d'emprunt situé à proximité et étendu par des béliers mécaniques sur roues. Afin de retenir le sable au bas du talus, des stériles y ont été déposés sur une largeur d'environ 3 mètres. Un fossé a été creusé dans la partie sud-ouest du parc de résidus afin de prévenir le ruissellement des eaux de surface vers le parc. Ces eaux sont

dirigées vers la décharge. La surface du parc à résidus, ainsi que les autres surfaces qui ont été régénées, ont été recouvertes de terre végétale (20 à 30 cm), ensemencées et plantées de pin gris. Les espèces choisies visaient à obtenir un couvert végétal le plus rapidement possible.

Suivi environnemental

Des échantillons d'eau ont été prélevés à des endroits stratégiques autour du parc en 1994, c'est-à-dire les travaux de restauration, ainsi qu'en 1996 et 1997¹⁵. Les échantillons prélevés ont été analysés au Centre de recherche minérale pour une vingtaine de paramètres sélectionnés en fonction de la nature du site.

Une faible quantité de résidus miniers encore présents dans l'ancienne zone d'épandage et le remaniement de ceux-ci lors des travaux de restauration de 1994 sont probablement responsables de l'acidification et du relargage des métaux. En effet, en 1996, on remarquait une baisse du pH et une augmentation de l'acidité et des concentrations de métaux (cuivre, plomb, zinc, aluminium, fer et nickel). À partir d'octobre 1996, la qualité de l'eau s'est améliorée et les concentrations de métaux ont nettement diminué pour satisfaire aux exigences de la Directive 019. Le pH augmente progressivement quoiqu'il demeure encore acide en un point des prélèvements. En 1998, un échantillonnage supplémentaire sera effectué afin de déterminer si les résidus encore présents dans cette zone continuent de générer de l'acidité et si des mesures correctives doivent être prises.

Il faut cependant prendre en compte qu'il s'agit d'une zone restreinte à quelques

mètres de longueur, que le débit est faible et que l'impact environnemental est minime.

La présence de stériles en bordure du lac des Deux Montagnes ne semble pas avoir d'impact sur la qualité de l'eau. Dans les échantillons prélevés dans l'ancienne mine à ciel ouvert, les concentrations de nickel demeurent en-deçà de la valeur prescrite dans la Directive 019.

¹⁵ Cyr J., Rapport de suivi des parcs à résidus miniers 1997, en édition, ministère des Ressources naturelles du Québec, mars 1998

Sommaire des coûts de restauration de certains sites miniers

Depuis quelques années, certains parcs à résidus miniers ont été restaurés au Québec en utilisant l'une ou l'autre des méthodes décrites précédemment. Le calcul des coûts de restauration est primordial lors d'une étude de pré faisabilité. C'est pour cette raison que l'URSTM a développé un modèle de calcul dont la précision serait de 20 % à 30 %. Ce modèle peut être utilisé par tout organisme qui désire connaître les coûts de restauration de son site minier par les méthodes de recouvrement multicouche fait avec des matériaux naturels ou provenant de la désulfuration ainsi que par la méthode d'ennoiement des résidus. Le modèle a été validé à partir de situations réelles et des simulations ont été réalisées avec trois cas. On peut tirer de cette étude que la construction d'une barrière multicouche coûte environ 133 500 \$ par hectare si les matériaux sont disponibles dans un rayon de 5 km du site et l'ennoiement des résidus miniers coûte environ 40 000 \$ par hectare lorsqu'il faut construire des digues tout autour du parc. Il faut mentionner que les travaux de l'URSTM montrent que les coûts des barrières multicouches peuvent être considérablement réduits si on utilise des résidus désulfurés pour construire cette barrière.

Dans le tableau qui suit, nous avons compilé les coûts de restauration de divers parcs au Québec. On remarque les faits suivants :

- l'ennoiement du site Solbec et la restauration du site East Sullivan se situent dans le même ordre de grandeur (entre 30 k\$ et 40 k\$ par hectare). Le site East Sullivan peut être considéré comme un cas d'ennoiement car il a fallu construire une digue étanche tout autour du parc. De plus, l'acquisition, le transport et l'épandage des résidus forestiers n'a rien coûté ;
- les recouvrements monocouches et multicouches se situent entre 80 k\$ et 125 k\$ par hectare ;
- les recouvrements utilisant des membranes sont les plus dispendieux, se situant à environ 250 000 \$ par hectare.

SITE MINIER	NATURE DES TRAVAUX	COÛT
<p>Parc Solbec 66 hectares dont 20 hectares sont submergées. Parc restauré en 1994</p>	<p><u>Ennoiment de résidus oxydés</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • chaulage avant ennoiment • déboisement, route de ceinture • construction de deux digues (396 et 192 m) • revégétalisation 	32,0 k\$ / ha
<p>Fosse Solbec 276 000 m³ de stériles remis dans la fosse Solbec. Site restauré en 1988</p>	<p><u>Stériles acides dans une fosse</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • dénoyage de la fosse • transport des stériles • construction d'une digue • 5 cm de pierre à chaux à la surface • ennoiment (1 m) • filtre Médiaflex 	3,10 \$ / m ³
<p>Weedon 13 hectares de terrain contaminé. Site restauré en 1991</p>	<p><u>Encapsulation des résidus acides dans deux cellules étanches</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • récupération des résidus dans les zones d'épanchement • construction de deux cellules dont la plus grande a 5,3 hectares • revégétalisation • cellules recouvertes de membrane HDPE et de terre arable 	1,3 M\$ pour la cellule principale soit 240 k\$ / ha
<p>Les Terrains Aurifères 60 hectares. Site restauré en 1996</p>	<p><u>Recouvrement multicouche fait avec des résidus miniers pour la couche capillaire</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • nivellement • transport et pose des matériaux • revégétalisation 	93 k\$ / ha
<p>Lemoine 4,5 hectares. Site restauré en 1994</p>	<p><u>Recouvrement monocouche de till posé en trois couches successives</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • travaux de drainage et nivellement • tamisage et transport du till • pose du till et revégétalisation 	125 k\$ / ha
<p>Somex 0,7 hectare pour la parc à résidus. Site restauré en 1995</p>	<p><u>Recouvrement avec une géomembrane, du sable et de la terre arable</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • préparation du site • pose de la membrane • recouvrement de un mètre de sable • recouvrement de 0,3 m de terre arable • revégétalisation 	250 k\$ / ha dont 90 k\$ pour l'achat de la membrane

<p><u>East Sullivan</u> 220 hectares incluant les épanchements. Site en restauration</p>	<p><u>Recouvrement de 2 m de résidus forestiers</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • études préliminaires • construction d'une digue de ceinture de 6 km pour le confinement des eaux • pose de 2 m de résidus forestiers • système de traitement des eaux par recirculation 	<p>33 k\$ / ha</p>
<p><u>Lorraine</u> 15 hectares pour le parc à résidus. Restauration prévue en 1998</p>	<p><u>Recouvrement multicouche avec du till pour la couche capillaire</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • préparation du site • pose du recouvrement multicouche • revégétalisation du site • mesures correctrices transitoires 	<p>87 k\$ / ha (estimé)</p>
<p><u>Cupra</u> 2,5 hectares. Site restauré en 1992</p>	<p><u>Recouvrement monocouche de till posé en trois couches successives</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dalle de béton sur puits • déboisement, fossés, nettoyage • relocalisation des sols contaminés et des stériles • couche de till de un mètre posé en trois couches successives • revégétalisation 	<p>80 k\$ / ha</p>
<p><u>Eustis</u> 8 hectares pour le parc Eustis seulement. Proposition de restauration</p>	<p><u>Recouvrement monocouche avec des rejets de cimenterie (CKD)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • préparation du site • épandage des rejets de cimenterie sur 30 cm d'épaisseur • revégétalisation 	<p>83 k\$ / ha (estimé)</p>
<p><u>Eustis</u> Site de démonstration de 1,6 hectare. Site restauré en 1995-1996</p>	<p><u>Recouvrement avec des boues de désencrage</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • préparation du site, déboisement, fossés • épandage de un mètre de boues de désencrage fournies par Cascades inc • recouvrement de compost 	<p>80 k\$ / ha</p>

