



MINISTÈRE DE
L'ENERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES
DIRECTION DES MINES
OTTAWA

*PROBLEMES MINIERS DANS LE NORD AVEC
REFERENCE PARTICULIERE AUX CHANTIERS
D'EXPLOITATION DANS LE PERGELISOL*

AMIL DUBNIE

CENTRE DES RECHERCHES MINIÈRES

SEPTEMBRE 1972

01-3791348

© Droits de la Couronne réservés

En vente chez Information Canada à Ottawa,
et dans les librairies d'Information Canada:

HALIFAX
1735, rue Barrington

MONTRÉAL
1182 ouest, rue Ste-Catherine

OTTAWA
171, rue Slater

TORONTO
221, rue Yonge

WINNIPEG
393, avenue Portage

VANCOUVER
657, rue Granville

ou chez votre libraire.

Prix .75

N° de catalogue M34-20/148F

Prix sujet à changement sans avis préalable

Information Canada
Ottawa, 1972

TB

NO. 148F

unique

PROBLEMES MINIERS DANS LE NORD AVEC REFERENCE PARTICULIERE AUX CHANTIERS D'EXPLOITATION DANS LE PERGELISOL

par

Amil Dubnie*

RESUME

A mesure que les moyens de transport s'amélioreront, l'économie de l'exploitation minière nordique sera favorablement affectée et substantiellement plus de mines seront mises en exploitation. Plusieurs des mines pourront être localisées dans le pergélisol, mais, jusqu'ici, peu d'études canadiennes ont été faites sur l'exploitation minière dans cet environnement.

Les mineurs de surface ont déjà appris comment faire l'exploitation dans le Nord, et à travers des essais successifs, des modifications à l'équipement et aux conditions du personnel ont permis l'exploitation tout au long de l'année. Toutefois, la fragmentation efficace de la roche gelée peut être un domaine où la recherche méthodique peut réduire le coût de l'exploitation en zone nordique.

Les mineurs souterrains ont appliqué les méthodes du Sud à l'exploitation minière en zone nordique avec seulement des modifications mineures. Ceci peut mener à des coûts d'exploitation plus élevés que nécessaire, mais étant donné d'autres problèmes majeurs (i. e. le transport) ils ont pu être obscurcis. La possibilité de développer de nouvelles méthodes pour l'exploitation minière en zone nordique par lesquelles l'environnement serait préservé pour utiliser quelques avantages que celui-ci présente, n'a pas reçu d'attention.

Ce rapport discute de la recherche dans plusieurs domaines de l'exploitation minière en zone nordique comme l'évaluation du soutènement dans les ouvertures accessibles et dans les chantiers d'abattage situés dans le pergélisol; l'usage de remblais gelés comme soutènement; les effets sur l'environnement minier de faire le minage à sec; les techniques de contrôle de la glace dans les ouvertures d'accès.

Mots clefs: Nord : Mine : Pergélisol : Glace.

* Ingénieur minier, Centre de recherches minières, Direction des mines, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa, Canada.

(Traduction française par M. D. Everell, chercheur, Groupe de recherches sur la fracture des roches, Centre de recherches minières, Québec, Québec.)

NORTHERN MINING PROBLEMS WITH PARTICULAR
REFERENCE TO UNIT OPERATIONS IN PERMAFROST

by

Amil Dubnie*

ABSTRACT

As transportation facilities improve, the economics of northern mining will be favourably affected and substantially more mines will be operated. Many of the mines may be located in permafrost, but, so far, few Canadian studies of mining within such an environment have been made.

Surface miners have already learned how to operate in the North, and, through trial and error, modifications to equipment and to the conditions for personnel have enabled year-round operation. However, efficient fragmenting of frozen rock may be one area where methodical research may reduce the costs to northern operations.

Underground miners have applied southern methods to northern mining with only minor modifications. This may have led to higher mining costs than necessary, but owing to other major problems (i.e. transportation), they may have been obscured. The possibility of developing new concepts for northern mining, whereby the environment would be preserved to utilize whatever advantage it may present, has not received attention.

This report discusses research in many areas of northern mining such as: the evaluation of supports in access openings and stopes in permafrost; the use of frozen fills as support; the environmental effects of dry mining; the techniques of ice control in access openings.

Key Words: North : Mining : Permafrost : Ice.

* Mining Engineer, Mining Research Centre, Mines Branch,
Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
Résumé	i
Abstract	ii
Introduction	1
Exploitation et préparation	2
Exploitation en surface	4
Fragmentation du minerai et de la gangue	4
Chargement	5
Transport	5
Entretien de l'équipement	7
Exploitation souterraine	8
Généralités	8
Forage	8
Soutènement	9
Manutention des matériaux	11
Entretien	12
Manutention du concentré et expédition	13
Conclusions	14
Remerciements	15
Bibliographie	17

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Régions Minières Nordiques	16
----------	----------------------------------	----

INTRODUCTION

Il ne fait aucun doute qu'avec de plus amples développements des moyens de transport dans le Nord, l'économie des dépôts de minéraux miniers sera affectée favorablement. Ceci devrait mener à l'ouverture de nombreuses nouvelles mines. Toutes ces mines seront exploitées sous un climat froid et certaines seront peut-être entièrement dans le pergélisol (permafrost). Même si les problèmes de construction et d'accès aux zones nordiques ont reçu une attention considérable, peu de travail a été fait pour évaluer d'une façon méthodique, les problèmes reliés à l'exploitation minière. Les conditions susceptibles d'être rencontrées dans les zones nordiques sont montrées à la figure 1. Cette figure montre les isothermes, la ligne des arbres et les limites approximatives pour le pergélisol continu et pour le pergélisol discontinu. Les données montrées à la figure ont été adaptées à partir d'autres sources, elles doivent donc seulement être considérées comme des valeurs approximatives.

Pergélisol est un terme généralement employé pour désigner les sols gelés tout au long de l'année. Le terme est indépendant de la composition du terrain, celui-ci peut être une terre organique (muskeg), un sol, du gravier, de la roche, etc. Le pergélisol est le résultat d'une perte de chaleur à la surface du terrain qui excède l'apport de chaleur. Il s'en suit que là où la température annuelle moyenne de l'air est de 32°F les conditions devraient être statiques. Là où la température moyenne est inférieure à 32°F, le pergélisol devrait atteindre une certaine profondeur fonction du nombre de degrés au-dessous de 32°F atteint par la température moyenne. En réalité, la théorie et les faits ne s'accordent pas exactement que ce soit pour la présence ou pour l'absence du pergélisol, et sa profondeur est reliée à la topographie et à la nature du sol de surface et d'autres couches de couverture du sol. Il pourrait être noté que la limite du pergélisol discontinu correspond à peu près à l'isotherme de 30°F et que la limite du pergélisol continu correspond à peu près à l'isotherme de 23°F.

Si l'on suppose qu'il y a un gradient thermique de 1°F par 100 pieds de profondeur (comme dans certaines zones minières de l'Ontario), la profondeur du pergélisol à Coppermine River pourrait atteindre 1500 pieds, et presque la même chose pourrait se produire dans la ceinture de nickel de l'Ungava. Il n'y a pas de certitude que le gradient géothermique dans l'extrême Nord sera le même qu'en Ontario; cependant, la grande profondeur à laquelle le pergélisol peut s'étendre est indiquée.

La question se pose à savoir comment le pergélisol affecte les roches et si les effets vont nuire sérieusement à l'exploitation minière. Dans le pergélisol, l'eau souterraine est gelée remplissant complètement

les craques. L'effet net visible est une plus grande compétence apparente avec peu de tendance à créer des blocs lâches locaux. Il est connu qu'un toit au son creux a été stabilisé en le recouvrant par un mélange de boue lequel a gelé en place.

Les roches dans le pergélisol sont plus résistantes que les mêmes roches non gelées. Si une roche dans le pergélisol est chauffée lentement, elle perd quelque peu de sa résistance; si le chauffage par la température ambiante est rapide, certains grains se fracturent et la roche est ainsi affaiblie. Si le pergélisol contient beaucoup de glace, comme cela peut être le cas dans des matériaux granulaires mal drainés, il va s'écraser sous une charge comme le fera la glace.

Présentement, il y a trois mines canadiennes exploitant dans la zone de pergélisol continu, tel que définie et douze dans la zone de pergélisol discontinu. On entend peu de chose de ces mines concernant des problèmes particuliers dus au pergélisol. Au cours de sa brève période d'exploitation, la mine North Rankin Nickel à Rankin Inlet fut complètement dans le pergélisol, mais la profondeur totale des chantiers était seulement d'environ 300 pieds. La mine Tundra, au nord-est de Yellowknife a été exploitée à une profondeur de plus de 1200 pieds. Le pergélisol a été rencontré ici jusqu'à environ 1000 pieds. A la mine Elsa et à la Giant Yellowknife, le pergélisol a été rencontré entre 200 et 300 pieds. Dans ces mines, les seuls problèmes évidents furent avec les édifices à la surface. Dans un cas, les fondations d'un édifice du moulin ont tassé différenciellement et ont craqué sérieusement. Dans un autre cas, les trottoirs et les rues d'une ville minière moderne ont tassé. Dans tous les chantiers des mines, aucune approche particulière a été employée pour contrecarrer les effets du pergélisol. Les mines se sont graduellement réchauffées sous l'influence de l'air chauffé de ventilation et d'autres activités minières; le pergélisol s'est dégelé dans les murs et les méthodes du Sud ont été modifiées suivant la nécessité.

EXPLOITATION ET PREPARATION

Les techniques d'exploitation dans le Nord sont maintenant bien documentées. Il est connu que le jalonnement des concessions minières est accompli plus facilement lorsque la température est en dessous du point de congélation, en autant que le muskeg gelé soit capable de supporter des charges lourdes. Les travaux peuvent être exécutés en hiver alors qu'en été cela serait difficile sinon impossible. La prospection ne demande pas d'équipes très considérables et le personnel qui est prêt à travailler à ces activités en hiver est habituellement plus dur que la moyenne. Cependant même des individus durs seront épuisés par de longues périodes d'activités sous une température froide, ainsi des camps confortables

doivent être fournis.

Le forage d'exploration est fait couramment depuis longtemps dans le Nord, certains de ces forages ont été faits dans le pergélisol. Les premiers travaux de forage d'exploration ont été approchés en pensant que le chauffage des fluides de forage serait nécessaire pour un bon fonctionnement. Ces tentatives furent rapidement abandonnées lorsqu'il a été découvert que le dégel créait d'autres problèmes. En autant que l'on sache, les fluides de forage chauffés ne sont plus utilisés. La pratique actuelle se dirige vers l'usage d'une livre de chlorure de calcium par gallon d'eau comme fluide de forage. Ceci abaisse le point de congélation à environ 25°F et prévient la congélation dans le trou. A un certain endroit, des carottes de 12 pouces de diamètre furent obtenues au cours d'un programme de forage de trous peu profonds. Des solutions de chlorure de calcium furent utilisées, mais il a été découvert que 20 pourcent du temps du foreur était employé à la préparation des solutions. Plus tard, lorsqu'un trou de deux cents pieds fut requis, seulement de l'eau claire fut utilisée comme fluide de forage. Cependant, un peu de sel a été versé dans le trou lorsque le temps fut venu de retirer les tiges de forage. A d'autres endroits, on a rapporté l'usage avec succès de l'huile diesel ou du kérosène comme fluide de forage. Un problème avec les fluides à base de produits du pétrole est leur habilité à dissoudre la graisse des tiges et ainsi favoriser une plus grande possibilité de joints figés.

De l'expérience accumulée décrite plus haut et d'autres projets de forage d'exploration, il est noté que les premiers foreurs étaient préoccupés beaucoup trop par la possibilité de la congélation des fluides de forage. Il est généralement admis, cependant, qu'une longueur stationnaire de tiges de forage ne peut être laissée dans le trou lorsque le forage est arrêté pour une certaine période de temps.

Lorsque du forage dans les zones nordiques est en cours, l'on doit protéger l'équipe de foreurs si un degré raisonnable d'efficacité veut être maintenu. Les basses températures ne sont pas les seules raisons d'inconfort pour les hommes. La protection contre le froid produit par le vent est extrêmement importante particulièrement dans les régions où la protection naturelle est absente.

Pour les projets de préparation et de construction, deux principales lignes de conduite sont disponibles: une activité continue ou une activité intermittente, saisonnière. Les réseaux de camps et d'approvisionnement doivent être établis pour fournir tous les chantiers. Ces installations représentent un investissement de capital considérable dont le coût global sera minimisé si leur usage est continu.

L'efficacité des équipes de travail sera plus faible au cours de l'hiver mais la disponibilité d'ouvriers plus adroits va partiellement compenser pour cela. Durant les travaux saisonniers, l'efficacité des travailleurs sera plus grande mais des installations dispendieuses seront inutilisées durant une partie de l'année. Les charges contre les services non utilisés combinés au coût de fermeture et d'ouverture deviendront appréciables. Un dirigeant expérimenté a trouvé qu'il est préférable de choisir soigneusement la date du début d'un projet (relié aux restrictions de transport et au temps pour le montage de la fondation et pour la fermeture à l'intérieur du chantier) que de continuer sans une pause jusqu'à ce que le projet soit complété.

Les techniques de construction spécifiquement pour l'environnement nordique ont été le sujet de beaucoup de recherche, il en est de même pour les problèmes d'approvisionnement en eau et pour la disposition des déchets. Seulement les études sur la disposition des déchets n'ont pas donné de solutions complètement satisfaisantes.

EXPLOITATION EN SURFACE

Fragmentation du minerai et de la gangue

Le fonctionnement mécanique des foreuses ne devrait pas poser de problèmes hors de l'ordinaire pour l'exploitation en surface dans le Nord. Les foreuses de surface ont déjà été grandement utilisées dans les zones de pergélisol discontinu avec seulement des modifications mineures aux méthodes employées dans le Sud.

Une compagnie minière suédoise exploitant au nord du cercle arctique utilise une huile plus légère que la normale dans toutes les foreuses et les remplit avec de l'huile chauffée avant de débiter le matin.

A Pine Point, certaines difficultés se sont présentées initialement avec les fluides hydrauliques dans les foreuses. Les problèmes ont été résolus en utilisant du fluide de transmission automatique du Type A dilué avec une partie sur quatre d'huile diesel P-40.

Dans les mines de Iron Ore Company of Canada, les lubrifiants utilisés dans les foreuses furent modifiés et du gaz "tanner" fut utilisé dans les conduites d'air.

Dans les exploitation de Québec Cartier Mining Company, il fut trouvé que la productivité des foreuses a augmenté durant la période de température froide. Ceci fut attribué à la réduction des trous mouillés de 90 pourcent à 20 pourcent.

En autant qu'on sache aucun problème inhabituel s'est produit à l'interface roche-foret au cours de forages dans les mines du Nord canadien. Le nettoyage à l'air est couramment utilisé et cela ne présente pas de problèmes au froid. Cependant, il a été noté que les trous à travers le mort-terrain dans le pergélisol ne sont pas sujet à l'effondrement comme cela est le cas pour les trous forés à travers du terrain non gelé.

On peut raisonner que le sautage devrait être plus difficile dans le pergélisol que dans la roche non gelée. Les coûts additionnels de sautage ne sont pas habituellement notés dans l'exploitation en surface sous conditions normales, possiblement parce que d'autres problèmes occupent le premier plan. Seulement Iron Ore Company of Canada a rapporté quelques recherches méthodiques sur ce problème. La compagnie a trouvé que les demandes d'explosifs furent considérablement plus grandes lorsque l'on fragmentait de la roche gelée. L'augmentation était même plus grande lorsque du mort-terrain gelé était sauté.

Chargement

Le chargement du matériel fragmenté n'est pas affecté par le pergélisol proprement dit, mais plutôt par la température ambiante et les conditions de vent. Au cours de l'initiation des exploitations minières nordiques au Canada, il fut trouvé que la flèche des pelles et que les bâtons du godet de celles-ci étaient susceptibles à la fracturation dans le froid intense. Plusieurs solutions ont été appliquées avec succès afin de résoudre ce problème. Les améliorations principales ont été la substitution des alliages T1 par des aciers de structure pour la flèche et pour les bâtons du godet. En plus, les parties vulnérables sont traitées au procédé Magnaflux avant que l'hiver s'établisse de sorte que toute craque qui est découverte ne peut être réparée sous des conditions de travail favorables. D'autres mesures qui ont été appliquées sont le chauffage électrique des parties vulnérables et l'usage des lubrifiants au graphite.

La manoeuvre de l'équipement de chargement sous des températures extrêmement froides est inconfortable pour les hommes ainsi les cabines de pilotage sont isolées et chauffées. Pendant qu'une pelle est en train de faire un chargement, certaines parties se chauffent et opèrent d'une manière satisfaisante. Mais même si une pelle est en train de charger, la boîte d'engrenage de propulsion est stationnaire et un départ soudain crée des contraintes sérieuses. Une compagnie minière a incorporé un délai automatique de 5 secondes dans le système de mise en marche de la boîte d'engrenage de propulsion d'une pelle.

Transport

Les problèmes initiaux par rapport au transport dans le froid extrême furent rapidement résolus par les dirigeants de mines en coopération avec les fabricants d'équipement. Les modifications majeures qui ont été faites aux camions comprennent l'usage de plus hauts alliages pour les boîtes et l'adaptation d'options d'ingénierie pour combattre le froid. Des huiles et des graisses plus claires sont utilisées pour la lubrification. Le gel du minerai sur la surface de la boîte a été résolu en utilisant les gaz de combustion du moteur pour le chauffage de la boîte. Plusieurs options pour les conditions de température froide sont maintenant disponibles sur l'équipement de transport et les dirigeants de mines les commandent habituellement lors des achats de camions. Sont disponibles, des cabines de conducteur isolées comprenant des radiateurs chauffant de l'air frais, des dégivreurs de pare-brise, des radiateurs thermaux et des protecteurs pour les côtés du capot de moteur. Les dirigeants complètent l'isolation de la cabine en ajoutant des planchers rembourrés et des recouvrements sur les murs.

Durant les périodes de temps froid, d'excellentes voies de roulage peuvent facilement être maintenues aidant appréciablement le minage. Des recouvrements de roches concassées sont habituellement utilisés pour fournir une excellente traction. Des augmentations appréciables de la vie des pneus ont été rapportées, réduisant ainsi de beaucoup les coûts. Un dirigeant d'une mine nordique soutient que les coûts totaux de minage en hiver sont moindres qu'au cours de l'été à cause surtout de la réduction des coûts de transport. Etant donné que les coûts de transport sont habituellement de 30 à 50 pourcent des coûts totaux pour l'exploitation de la mine, l'amélioration du transport se reflète rapidement en des coûts totaux moindres.

Au cours du dégel du printemps et du gel de l'hiver, de sérieux problèmes sont souvent rencontrés avec l'eau de ruissellement qui gèle au cours des descentes de température. Lorsque le pergélisol est présent, les problèmes de dégel sont intensifiés par les problèmes de mauvais drainage, ainsi, les dirigeants de mine doivent fournir des fossés adéquats et faire l'entretien continu des routes. Sous certaines conditions de dégel et de gel, le chlorure de calcium est efficace pour prévenir l'accumulation de glace.

Le transport par des moyens autres que les camions doit être soigneusement adapté aux conditions existantes. Par exemple, si des convoyeurs en surface sont utilisés, le système entier doit être soit recouvert et chauffé ou gardé froid. Si un système à froid est choisi, le minerai doit être maintenu sec afin d'éviter la formation de glace. Les courroies de caoutchouc synthétique deviennent non flexibles au froid ainsi

du caoutchouc naturel doit être choisi. On doit aussi apporter une attention particulière à la sélection des huiles et des graisses. Certaines parties du système de convoyeur peuvent être fabriquées d'alliages d'acier spéciaux mais cela pourrait doubler le coût de la structure supportant le convoyeur.

Si les convoyeurs doivent être déplacés au cours de l'hiver, on doit prévoir pour cela en les montant sur des blocs de bois de sorte que le mouvement soit possible lorsqu'on le voudra. Une alternative applicable à des installations très lourdes est de les monter sur pontons ayant à même des conduites construites pour la circulation de l'air de chauffage lorsque le mouvement est envisagé. Par une sélection judicieuse des matériaux et de la méthode, il n'y a pas de difficultés à faire fonctionner des convoyeurs à -40°F , toutefois, on doit s'attendre à une certaine augmentation de la puissance électrique consommée.

Entretien de l'équipement

La plus importante tâche, celle de l'entretien de l'équipement lourd n'est pas différente que l'on soit dans le pergélisol ou pas; seulement le froid est important. Tel que mentionné précédemment un mode de travail important est d'appliquer suffisamment de vision à long terme de sorte que les principales réparations cédulées soient faites avant que les grands froids commencent. L'entretien général de tout équipement est simplifié là où suffisamment d'espace d'entreposage est disponible de sorte que l'équipement qui n'est pas présentement en usage puisse être placé en entreposage chauffé. Les pires conditions se produisent lorsque l'équipement est démarré après avoir passé une longue période de repos au froid.

Même avec de bonnes cédules d'entretien qui prennent le climat en considération, des pannes dues à des conditions non appréhendées se produisent et des réparations doivent être faites en dépit de la température. La soudure est exceptionnellement difficile à faire durant les froids intenses. La méthode employée est alors de déplacer l'équipement jusqu'à un atelier chauffé pour faire les réparations. Il se peut qu'il ne soit pas possible de faire cela, dépendant de la nature particulière de la panne. La méthode habituelle est de fournir une protection temporaire pour l'équipe d'entretien pendant que l'on travaille à rendre l'équipement mobile qui est ensuite remorqué jusqu'à un atelier pour compléter les réparations. Cette méthode n'est pas possible là où l'équipement est très volumineux i. e. une pelle mécanique. La seule alternative dans ce cas est de construire une couverture temporaire au dessus de l'équipement et de fournir de la chaleur à l'intérieur et de compléter les réparations.

EXPLOITATION SOUTERRAINE

Généralités

Une certaine expérience a été accumulée à la suite du minage souterrain dans la zone de pergélisol discontinu et dans deux mines exploitées dans la zone de pergélisol continu. Aucun problème insurmontable n'est survenu. Il a été observé que les mines dans le pergélisol sont froides, sèches et généralement plus efficaces que les mines sans pergélisol. La température de l'air dans la mine est approximativement de 20°F. Les galeries de roulage sont souvent recouvertes de glace ressemblant au givre au lieu de familières gouttes d'eau.

Là où l'air de ventilation est chauffé, la température de l'air augmente lentement et le pergélisol dégèle dans les murs. A la limite inférieure du pergélisol, la glace (s'il y a lieu) dans les craques fond, ce qui fait que le pergélisol retraite lentement vers le haut. Cette zone limite est habituellement mouillée et une attention constante doit se porter sur les blocs lâches qui apparaissent à mesure que le dégel progresse.

Si l'on permet à la mine de se réchauffer graduellement (habituellement à cause de l'air chauffé de ventilation et des activités normales) il n'y aura pas de problèmes particuliers de congélation des pipelines et du minerai fragmenté. L'alternative serait de garder la mine froide de sorte que le pergélisol ne fonde pas. Cela serait contraire à la pratique courante et ne serait probablement pas approuvé par les inspecteurs de mine.

Forage

Le forage dans le pergélisol ne devrait pas être appréciablement différent du forage là où il n'y a pas de pergélisol. Du point de vue du forage et de l'entretien, une température d'environ 20°F ne devrait pas être significative. Même là où les températures sont considérablement plus basses seulement de petites modifications aux modes de lubrification seront requises. Dans toutes les mines souterraines canadiennes (exception faite de certaines mines de minéraux industriels et des mines de charbon) l'usage de l'eau comme fluide de forage est une pratique courante. Aux températures de congélation, de l'eau en excès serait indésirable ainsi on pourrait penser à utiliser des foreuses travaillant à sec présentement disponibles qui ramassent les fragments par succion.

Une compagnie minière a introduit de l'eau salée dans les conduites d'eau de la mine, afin de prévenir la congélation. Dans la même

mine, le gel des conduites d'air a été empêché en ajoutant régulièrement une petite quantité d'hydrate de méthyl dans les conduites.

Il est connu que le forage à sec avec des fragments ramassés par le vide, est efficace et qu'il ne mouille pas le minerai. L'eau est habituellement nécessaire pour absorber la poussière produite par le sautage et le chargement. Cependant, certaines compagnies minières sud-africaines ont éliminé l'eau et conditionnent l'air dans des mines profondes chaudes pour établir un confort permettant le travail.

Il ne semble pas y avoir de raisons pourquoi la ventilation seule ne pourrait pas retirer la poussière et les fumées de sautage. Dans tous les cas, si la température du pergélisol était très basse (disons dans une mine de l'extrême Nord) l'usage de grandes quantités d'eau pour le forage et l'absorption de la poussière serait non désirable. D'un autre côté, peu de recherche a été fait sur l'absorption de la poussière et des fumées sans l'usage de l'eau. Cependant, il pourrait être noté que la poussière est absorbée uniquement par la ventilation dans la plupart des galeries de transfert du minerai par râcleur.

Si la fragmentation et la manutention demande une plus grande consommation d'explosifs pour l'exploitation de surface dans des zones de température sous zéro, il est raisonnable de s'attendre aux mêmes effets dans les mines souterraines sous zéro. Les dirigeants de mines nordiques ont des cédules de production à rencontrer ils ont ainsi probablement pas eu le temps d'évaluer les effets du pergélisol sur le sautage. On devrait s'attendre à ce que, dans les ouvertures de préparation, pas d'explosifs supplémentaires soient nécessaire à cause du pergélisol parce que ces sautages sont habituellement surchargés d'explosifs, alors que dans les chantiers d'abattage, là où des facteurs poudres minimums sont normalement utilisés la demande supplémentaire dans le pergélisol pourrait être appréciable. Une mine dans le pergélisol n'atteindrait probablement jamais une consommation en explosifs aussi basse que dans les zones au Sud.

Soutènement

La dimension du bois de charpente obtenu localement décroît à mesure que l'on s'approche du Nord. Au nord de la ligne de croissance des arbres, il n'y aura pas de bois du tout. Sous des conditions moyennes, il ne serait pas pratique d'importer du bois volumineux des zones au Sud pour des applications autres que des applications spéciales comme pour la charpente du puits et pour les chutes à minerai à moins que le point d'utilisation soit près d'un port de mer.

Heureusement, le boulonnage est un moyen économique de soutenir les plafonds et les murs et à cause de leur faible volume les boulons sont faciles à transporter. Des cadres d'acier réutilisables peuvent avoir certains avantages pour les points nordiques. Un plus grand usage du béton est une possibilité.

Dans l'industrie minière canadienne, environ 20 pourcent des minerais sont minés par la méthode de chambre et remblai ou des méthodes reliées. Il y a peu de doute que les rebuts de moulin nettoyés de leurs fines fournissent le meilleur type de soutènement de chantier tout en résolvant le problème de disposer de ces déchets.

Il est connu que les mines gardées froides dans le pergélisol ne développeront probablement pas de problèmes de blocs lâches aussi facilement que les mines sans pergélisol. De plus, comme les méthodes d'abattage qui comprennent l'entreposage de matériel fragmenté (i. e. méthode d'abattage par chambre magasin (shrinkage)) peuvent être moins souhaitables pour les mines dans le pergélisol, les méthodes qui requièrent moins de soutènement comme le foudroyage par sous-niveaux, peuvent être plus couramment utilisées. Il est ainsi possible que considérablement moins de soutènement sera requis dans le pergélisol qu'ailleurs. Pour savoir si c'est le cas ou non, on devra faire plus de recherche sur la stabilité du terrain gelé.

Une nouvelle méthode utilisant de la glace pour supporter les ouvertures en surface et dans les mines souterraines dans les zones de climat froid a été proposée pour un endroit en Norvège. Suivant la méthode proposée, seulement le minerai serait miné de la surface et l'ouverture serait remplie avec de la glace pour supporter les murs. Après avoir atteint la profondeur économique de minage en surface, l'exploitation serait transférée sous terre et le minage continué suivant la méthode d'abattage par sous-niveaux. Pratiquement pas de gangue serait ainsi minée.

Comme le minage souterrain avance suivant un système de retrait, on s'attend à ce que la glace s'écoule dans les ouvertures supportant ainsi les murs de roche. Il est connu que la glace pure va s'écouler comme les glaciers des montagnes, ainsi plus de glace serait faite sur la surface durant la température sous le point de congélation, sur le dessus de la masse de glace pour compenser pour le volume de minerai extrait et pour la glace perdue par fonte. En gardant la mine froide, la demande de glace d'apport serait maintenue à un minimum. En autant que l'on sache, la méthode n'est pas encore mise à l'essai.

Les pensées d'utiliser de la glace comme soutènement rappelle une proposition de remplir de glace les chantiers de la mine North Rankin

Nickel. La proposition ne fut jamais mise à l'exécution parce que suffisamment de gravier pouvait être obtenu des eskers durant la courte période d'été. Parce que la glace et le gravier gelés dans le pergélisol s'écrouissent sous une charge on ne devrait pas s'attendre à ce que la glace pure soit un bon moyen de soutènement dans une méthode d'abattage là où le soutènement doit demeurer statique (i. e. dans un chantier remblayé). Ceci soulève la question à savoir si les rebuts classifiés mis en place hydrauliquement; normalement placés à environ 60 pourcent de solides, seraient un remblai satisfaisant si gelé en place sans drainage. Il est connu que de la glace pure s'écoulera sous une charge et que les graviers gelés et les silts avec un haut contenu en eau vont s'écrouir sous charge mais que les roches gelées sont stables et compétentes. Il doit exister un mélange gelé de glace et de roche qui se comporterait suffisamment comme un solide pour agir comme remblai.

Manutention des matériaux

Qu'une mine soit dans le pergélisol ou pas ne devrait pas affecter l'efficacité du chargement. Toutefois, si la mine doit être gardée froide, la pratique habituelle d'utiliser une grande quantité d'eau pour mouiller ne peut être suivie. Dans une mine froide, des cabines chauffées de pilotage sous une pression d'air positive pourraient être fournies aux équipes. Cependant, des empilements de roches sèches produisent de la poussière qui affecte la visibilité, ainsi, on doit compter sur une ventilation adéquate pour nettoyer l'air.

Dans une mine en pergélisol, il serait impossible d'emmagasiner du minerai ou de la gangue dans les passes à minerai ou dans d'autres ouvertures. A Rankin Inlet, du remblai de gravier a été obtenu des eskers durant la courte période d'été. Le gravier était très mouillé et lorsque déversé dans une montée à remblai, il avait tendance à geler. Le problème a été résolu en gardant la montée à remblai vide et en déversant de petites quantités de gravier à la fois. Si le gravier n'atteignait pas le fond, des mesures pour remédier à cela pouvaient être prises avant que la montée soit bouchée. Après une période de déversement de remblai, le pergélisol dégelait dans les murs de la montée et le taux de déversement pouvait être augmenté.

Le transport dans le pergélisol ne devrait pas être appréciablement différent du transport ailleurs. Il est vrai que certaines tentatives initiales avec certaines locomotives à batterie ont montré des insuffisances quant à la résistance au froid. Ces problèmes initiaux ont été surmontés. Cependant, les locomotives à trolley et les locomotives diesel devraient fonctionner d'une façon parfaitement satisfaisante.

Les rails des voies de roulement sont stables dans une zone de pergélisol. Là où des zones locales d'instabilité apparaissent de la boue versée au-dessus des traverses agit comme un excellent stabilisant après avoir gelée.

Là où de la roche est transportée, les fines ont tendance à s'accumuler dans les berlines. Ceci est habituellement résolu par un nettoyage manuel, quelquefois avec l'aide d'un tuyau fournissant de l'air sous pression. La quantité de l'accumulation dans les berlines varie avec le type de matériau que l'on transporte, son contenu en humidité et le type de berline. En général, les fines ont tendance à s'accumuler plus dans les berlines à déchargement par rampe que dans les berlines à déchargement par rotation. Dans les mines du Sud, où les accumulations de fines dans les berlines ont tendance à devenir sérieuses, un déchargement à l'aide d'un cylindre hydraulique avec les berlines stationnaires a été adopté pour assurer un meilleur déchargement.

Dans une mine froide, l'accumulation dans les berlines serait encore un problème plus sérieux à cause de la congélation. Ceci peut être minimisé en faisant un choix judicieux de la berline et du système de déchargement. Cependant, si l'accumulation de fines continue, un arrosage de sel dans les berlines vides va réduire la tendance. D'autres mesures seraient alors nécessaires pour combattre la corrosion.

L'accumulation est habituellement moindre dans les godets de chargement que dans les berlines à cause de l'action de nettoyage du minerai sur le godet durant le chargement et le déversement vigoureux. Dans un environnement froid, la formation de glace peut encore se produire. Le moyen d'éviter l'apparition de cela semble être en gardant le minerai aussi sec que possible et en faisant un nettoyage périodique.

Le transport par convoyeur souterrain est une méthode pratique et efficace de déplacer du minerai concassé sous terre. Un convoyeur souterrain peut être plus facile de fonctionnement qu'un convoyeur en surface. Cependant comme en surface, le produit qui est transporté devra être gardé sec et froid ou alors tout le système de convoyeurs devra être chauffé.

Entretien

Les problèmes d'entretien dans les mines souterraines nordiques sont moins sérieux que ceux dans les mines à ciel ouvert. Les treuils de mine et les autres installations en surface sont habituellement dans des édifices chauffés, ainsi l'entretien sera comparativement facile.

La tendance dans les zones nordiques est de fournir les services dans un grand édifice ou de relier des édifices de services séparés ensemble par des tunnels de sorte que l'équipement souterrain ou autre ne sera jamais réparé à l'extérieur.

Il a été démontré que tout l'équipement peut être réparé dans des ateliers souterrains sans avoir à le sortir de la mine. Des exemples typiques sont les installations souterraines de réparation de la mine Port Radium à Great Bear Lake. Si de tels ateliers doivent être localisés dans le pergélisol, des recherches ont déjà démontré que de l'isolation au polyurethane soufflé en place sur les murs va permettre aux ateliers d'être chauffés sans détruire le pergélisol dans la roche environnante.

Un problème de formation de glace survient lorsque l'air contenant de l'humidité passe à travers les puits et les montées de ventilation au cours de l'hiver. Dans les mines canadiennes, l'écoulement de l'air vers le haut est habituellement préféré pour les puits de production et l'écoulement vers le bas pour les montées de ventilation partant de la surface. Ceci a été habituellement fait pour réduire la formation de glace dans les puits de production. Certaines études méthodiques sur le problème de formation de glace apparaissent souhaitables parce que ce problème cause plus de difficultés qu'il est généralement connu.

MANUTENTION DU CONCENTRE ET EXPEDITION

Il est connu que les récupérations au cours du traitement sont affectées par la température de l'eau utilisée dans le procédé hydro-métallurgique. La méthode courante pour augmenter cette température et ainsi augmenter les récupérations est d'utiliser de la chaleur perdue en autant que disponible. L'eau de refroidissement des compresseurs est une source habituelle de chaleur perdue dans les mines nordiques.

Exception faite des mines d'or, un concentré est éventuellement produit pour être expédié à une fonderie. Il peut être décidé d'utiliser des containers comme il est maintenant fait pour toutes les mines du Yukon. Dans d'autres régions, des wagons de chemin de fer ou des camions chargés en vrac peuvent être utilisés. Une décision doit être prise quant à savoir si l'on doit expédier un concentré mouillé d'une région froide et le dégeler à destination ou sécher le produit avant l'expédition. Une expérience considérable a maintenant été accumulée avec les expéditions de Lynn Lake, de Pine Point et de la région Québec-Labrador.

Le minerai tel que sortant de la mine de la région de Snow Lake est expédié à Flin Flon sans séchage. La température moyenne d'octobre

à avril est de 4^oF mais elle peut être 50^o plus froide. Des trains de douze wagons de 32 verges cubes sont dégelés et vidés par les déverseurs rotatifs dans les hangars de dégel à Flin Flon. Six fournaies à huile à flamme directe, chacune capable de dégager 2 millions de Btu/heure furent en fonctionnement durant de 300 à 400 heures par année. Le temps requis pour dégeler un train était environ de 4 heures et les coûts de dégel étaient environ de 3 cents par tonne.

A Lynn Lake, les concentrés sont séchés jusqu'à 3 pourcent d'humidité dans des sécheurs fonctionnant à l'huile, alors qu'à Québec Cartier, le contenu en humidité final est de 1 pourcent après avoir passé à travers des sécheurs fluo-solides fonctionnant à l'huile brute (Bunker C). A Pine Point, les concentrés sont séchés à 3 pourcent d'humidité dans un sécheur fonctionnant au butane.

Les méthodes de séchage (et de dégel) des concentrés qui ont été essayées dans les mines nordiques en exploitation vont nul doute être appliquées aux nouvelles installations qui démarreront. Quelques unités de dégel basées sur des radiateurs à l'infra-rouge seront également utilisées. Un des avantages majeurs du séchage avant l'expédition est l'épargne des coûts d'expédition. Il est raisonnable de s'attendre à ce que cela devienne plus important à mesure que les distances deviennent plus grandes.

CONCLUSIONS

L'expérience a démontré que l'exploitation en surface et l'exploitation souterraine peut être faite dans les régions nordiques avec seulement de légères modifications à la technologie minière des régions tempérées étant nécessaires. Les modifications sont rendues nécessaires par les baisses de la température ambiante, lesquelles ont les plus grands effets sur les mines à ciel ouvert. Le minage souterrain n'a pas été ennuyé suivant la même intensité à cause de la protection qu'offrent les chantiers.

Si le minage dans le Nord et dans le pergélisol continue à s'accroître (comme il le doit sûrement), les mines seront plus prospères si plus de méthodes plus efficaces dans un tel environnement peuvent être développées.

Dans les exploitations en surface, un problème qui peut demander une recherche méthodique est celui de la fragmentation du minerai gelé.

Dans les mines souterraines, une des deux approches de base pourrait être choisie: (a) de miner comme dans les régions du Sud et faire les modifications à mesure que nécessaire et (b) d'accepter les conditions nordiques incluant le pergélisol et prendre pour objectif d'utiliser les avan-

tages que cela représente. Si la première alternative est adoptée, les adaptations requises peuvent probablement être faites par les dirigeants de mine eux-mêmes. La deuxième alternative ne peut être adoptée sans entreprendre des études relativement fondamentales.

Ce qui suit donne des domaines dans lesquelles la recherche peut aider les dirigeants nordiques à arriver à des coûts inférieurs:

- (1) la fragmentation de la roche gelée,
- (2) les propriétés des roches gelées, incluant la stabilité des ouvertures minières,
- (3) les propriétés des remblais gelés de différentes compositions,
- (4) les effets sur l'environnement et l'économique de miner à sec, et
- (5) la prévention de la formation de glace dans les puits et les autres chantiers miniers.

REMERCIEMENTS

L'auteur désire exprimer ses remerciements pour l'aide valable reçue de Monsieur A. S. Romaniuk et de Monsieur R. J. R. Welwood du Centre d'information minière, lesquels ont fourni une bibliographie volumineuse sur le minage et le développement dans le Nord.

/DL

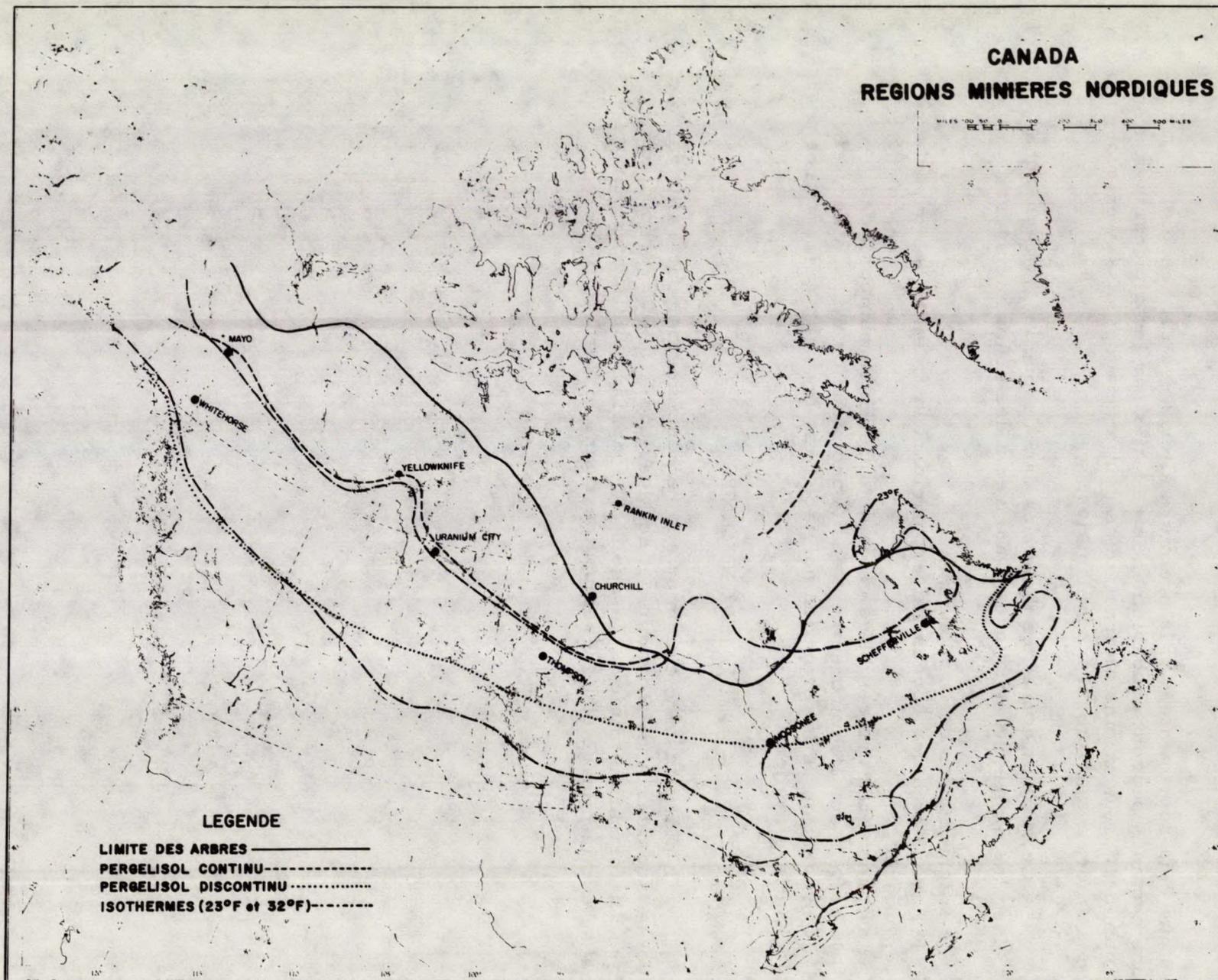


Figure 1 - Regions minières nordiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Allen, E.: "Operation of Open Pit Mine Equipment in Sub-Zero Weather. . . Quebec Cartier Mining Company", CIM Trans. Vol. LXIX, 1966, pp 450-455.
- Altec, A.J. : "Water Supply in Cold Regions", U.S. Army, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., Mono. 111-C5a Jan., 1969.
- Altec, A.J. : "Sewerage and Sewage Disposal in Cold Regions", U.S. Army, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., Mono. 111-C5b Oct., 1969.
- Bauer, A., et al: "How I. O. C. Puts Crater Research to Work", Engineering and Mining Journal, v. 166, N.9, Sept., 1965, pp. 117-121.
- Bernier, C.: "The Solving of Cold-Weather Problems - Lake Asbestos of Quebec Limited. CIM Bull., No. 656, Dec. 1966, pp. 1442-1443.
- Bowling, J.C. : "The Design of Mine Plant Buildings for Remote Locations with Cold Climates" Reprint 71-B-312, SME Fall Meeting and Exhibition, Seattle, Wash., Sept. 23-24, 1971. (Voir aussi Mining Engineering, Jan., 1972)
- Brown, R.J.E.: "Permafrost in Canada: Its Influence on Northern Development" (manuel) U. of T. Press, 1970.
- Brown, R.J.E.: "Proceedings of the 3rd Canadian Conference on Permafrost, Jan. 14 and 15, 1969", N.R.C. Tech. Memo. 96, Ottawa, Sept., 1969.
- Butkovich, J.R. and Landaver, J.K.: "The Flow Law for Ice", U.S. Army, Snow Ice and Permafrost Research Establishment, Corps of Engineers, Res. Rep. 56, Aug., 1959.
- Collison, M.N.: "Handling Snow Lake Ore at Flin Flon", CIM Bull., No. 648, Apr., 1966, pp. 504-507.
- Cook, Frank A.: "Temperatures in Permafrost at Resolute, NWT" Canada. Dept. of M. & T.S., Geog. Br., Bull. No. 12, 1958, pp 5-18.
- Crawford, C.B. and Johnston, G.H.: "Construction on Permafrost", N.R.C.

Div. of Bldg. Res., Tech. Paper 337, 1971.

- Davenport, J. R.: "Construction Schedules in Cold Climates", Mining Engineering, Jan., 1972.
- Dick, R. A. : "Effects of Type of Cut, Delay, and Explosive on Underground Blasting in Frozen Gravel", U.S.B.M. ' R.I. 7356, Mar., 1970.
- Dorman, K.R. and Gooch, A. E.: "Spray Applied Polyurethane Foam to Insulate Heated Rooms Excavated in Permafrost", U. S. B. M., R.I. 7392, June, 1970.
- Drake, R. T.: "Milling at Lynn Lake", CIM Trans. Vol. LVIII, 1955, pp 206-211.
- Ellis, G. M.: "Construction Problems in Cold Weather", Mining Engineering, Jan., 1972.
- Ferrians, O. J., Kachadooran, R. & Greene, G. W.: "Permafrost and Related Engineering Problems in Alaska", U. S. Geological Survey, Prof. Paper 678, 1970.
- Gagnon, J. M. R.: "Slope Stability at Lac Jeannine", CIM Bull., No. 678, Oct. 1968.
- Golovanov, G. A. and Permyakov, R. S.: "Experience of the Apatite Mines Group, Transpolar Region," Proc. 5th International Mining Congress, Paper H-2, 1967.
- Gritzuk, N.: "Tunnel Driving at Granduc", Mining Congress Journal, Oct., 1969.
- Hvorslev, M. J., and Goode, T. B.: "Core Drilling in Frozen Ground", U. S. Army Engineers, Waterways Experimental Station, Vicksburg, Miss. Tech. Rep. 3-534, Jan., 1960.
- Jensen, J. E.: "Ventilation at Hudson Bay Mining and Smelting Co. Ltd.", Canadian Mining Journal, v. 89, No. 10, Oct., 1968.
- Kastner, J.: "The Effect of Intense Cold In Hoisting Ropes", Montan Rdsch, July, 1963, pp 145-154.
- Kloos, E. J., Raymond, L. D. and Spinetti, L.: "Performance of Open Circuit Self-Contained Breathing Apparatus at -25°F". U. S. B. M., R.I. 7077, Feb., 1968.

- Kostromitinov, K.N. and Tomilov, V.O. : "Design of Pillars for Working Placers in Permafrost Regions", Soviet Mining Science, N. 4, Sept. -Oct., 1969, pp 577-579.
- Lang, L.C. : "Pit Slope Control by Controlled Blasting", Canadian Mining Journal, v. 86, N. 12, Dec., 1965.
- Lawrence, R. : "Diamond Drilling Twelve Inch Core in Permafrost at the Asbestos Hill Project, Quebec". Conference II Symposium on Exploration Drilling, Quar, Col. Sch. of Mines, v. 58, N. 4, 1963, pp 215-223.
- MacLellan, J.A. : "Layout and Services in Cold Climates", Mining Engineering, Jan., 1972.
- Maliniemi, M. et al: "LKAB's Iron Ore Operations in the Svappavaara Mine near the Arctic Circle in Sweden", Proc. II International Surface Mining Conference, AIME, N. Y., 1969, pp 84-103.
- McFarland, W.H.S. : "Operations of the Yukon Consolidated Gold Corporation, Canada", Symp. Opencast Mining, Quarrying, Alluvial Mining, London, Nov., 1964.
- Mellor, Malcolm: "Strength and Deformability of Rocks at Low Temperatures", U.S. Army, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Res. Paper 294, May 1971.
- Meyer, P.W.A.: "Mining in Canada's Sub-Arctic - The Iron Ore Company of Canada", CIM Bull., No. 656, Dec., 1966, pp 1437-1441.
- Michel, Bernard: "Ice Pressure on Engineering Structures", U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., Mono. 111-B1b, June 1970.
- Oszter, Z.F.: "Cold Weather Problems in Belt Conveyor Design", CIM Bull., No. 633, Jan., 1965.
- Sanger, Frederick, J.: "Foundation of Structures in Cold Regions", U.S. Army, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., Mono. 111-C4, June, 1969.
- Scarborough, J.M.B. : "Winter Operation of Heavy Equipment - Pine Point Mines Limited:", CIM Bull., No. 656, Dec., 1966, pp 1435-1436.

- Shuba, V.N. and Shcherbin, N.: "Improving the Room-and-Pillar System in Partly Frozen Horizons of Norilsk Mines", Soviet Mining Science, Jan.-Feb., 1970, pp 94-96.
- Sinclair, D.A. (ed): "Problems of the North" (A translation of Problemy Severa) NRC of Canada, Rept. No. 10, 1966.
- Snodgrass, M.P. : "Waste Disposal and Treatment in Permafrost Areas a Bibliography". U.S. Dept. of the Interior, Bib. Series No. 22, March 1971.
- Stephens, Fred, H.: "Auspicious Start by Pine Point Mines", Western Miner, July, 1966.
- Stubbins, J.B. and Munro, P.: "Open Pit Mines Dewatering - Knob Lake", CIM Bull., No. 640, Aug., 1965.
- Swinzow, G.K.: "Certain Aspects of Engineering Geology in Permafrost" Engineering Geology, v. 3, N. 3, 1969, pp 177-213.
- Thurmond, R.E.: "Problems of Mine Production in Canada's Far North", Western Miner, v. 44, N. 5, May, 1971.
- Weber, W.W. and Tela, S.S.: "A Sub-Arctic Mining Operation", (Ranking) CIM Bull, v. 52, N. 567, July 1969.
- Wein, R.W. and Bliss, L.C.: "Northern Ecosystems and Northern Development", CIM Bull., v. 64, N. 712, Aug., 1971.
- Anonymous: "Overburden Drilling at United Keno Hill Mines Limited", Canadian Mining Journal, v. 86, N. 5, May, 1965.
- Anonymous: "Soviet Know-How Copes with Permafrost", Engineering New Record, v. 175, N. 21, Nov. 18, 1965.
- Anonymous: "Quebec Cartier", Engineering and Mining Journal, Sept. 1964.

Les publications dont la liste apparaît plus bas peuvent être obtenues de:

Bureau de distribution des publications,
 Direction des mines,
 Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources,
 555, rue Booth,
 Ottawa, Ontario K1A 0G1

Toutes les demandes devraient être accompagnées d'un chèque ou d'un mandat-poste payable au nom du Receveur Général du Canada.

Corlett Paterson, Mary Ruth. "Bibliography on Rock Bolting Methods in Mining Practice. Part I: Abstracts from World Literature to End of 1957", IC 207, 1969. \$1.25.

Romaniuk, A.S. "Thesaurus of Mining Terms", IC 225, 1969. \$1.25.

Yu, Y.S. and Coates, D.F. "Development and Use of Computer Programs for Finite Element Analysis", R 198, 1969. \$1.25.

Coates, D.F. and McRorie, K.L. "Earth Pressure on Multiple Tunnels", RS 81, 1969, \$0.25.

Hedley, D.G.F., Zahary, G., Soderlund, H.W., and Coates, D.F., "Design Criteria for Multi-Wire Borehole Extensometer Systems" and "Underground Measurements in a Steeply Dipping Orebody", RS 103, 1969, \$0.25.

Canadian Advisory Committee on Rock Mechanics, "Stability of Waste Embankments", IC 240, 1970. \$1.25.

Gardner, A.E. "Bibliography on Rock Bolting Methods in Mining Practice. Part II: Abstracts from World Literature, 1958 to End of 1967", IC 241, 1970. \$1.25.

Job, A.L. "Transport of Solids in Pipelines, with Special Reference to Mineral Ores, Concentrates and Unconsolidated Deposits (A Literature Survey)", IC 230, 1970, \$1.25.

Romaniuk, A.S. "English-French Glossary of Mining and Related Terms", IC 245, 1970. \$1.25.

Verity, T.W. "The Operation of Mechanical Tunnel-Boring Machines in

Canada", IC 256, 1970. \$1.25.

Bielenstein, H.U. and Eisbacher, G.H., "Tectonic Interpretation of Elastic Strain-Recovery Measurements at Elliot Lake, Ontario", R 210, 1970. \$1.00.

Coates, D.F. and Cochrane, T.S., "Development of Design Specifications for Rock Bolting from Research in Mines", R224, 1970, \$0.75.

Coates, D.F., "Rock Mechanics Principles", (Revised), Monograph 874, 1970. \$8.75

Barron, K., Coates, D.F. and Gyenge, M., "Artificial Support of Rock Slopes", R228, 1971. \$1.25.

Coates, D.F. and Yu, Y.S., "Rock Anchor Design Mechanics",

Coates, D.F. and Yu, Y.S., "Rock Anchor Design Mechanics", R233, 1971, \$0.50.

Canadian Advisory Committee on Rock Mechanics, "Report for 1969 of the Subcommittee on Research Requirements for Rock Foundations",
Le Comité consultatif canadien sur la mécanique des roches, "Rapport pour l'année 1969 du sous-comité relativement aux besoins de la recherche pour l'étude des fondations rocheuses". IC 251, 1971. \$1.00.

Verity, T.W., "Ground Support with Sprayed Concrete in Canadian Underground Mines", IC 258, 1971. \$0.75.

Proceedings of the 6th Canadian Rock Mechanics Symposium, Ecole Polytechnique, Special Publication. Délibérations du 6ième symposium canadien sur la mécanique des roches. Publication spéciale, 1971, \$6.50.

Coates, D.F., "L'exploitation minière" IC 285F, 1972, \$0.50.

"Tentative Design Guide for Mine Waste Embankments in Canada", TB 145, 1972, \$5.00.

R = rapport de recherche
IC = circulaire d'information
TB = bulletin technique
RS = série reprise

