

Bref survol des applications de la recherche opérationnelle dans l'industrie minière

**Eldon Gunn,
Department of Industrial Engineering
Technical University of Nova Scotia**

Introduction

Dans l'industrie minière, l'efficacité opérationnelle est essentielle à la faisabilité des travaux préparatoires d'une mine, surtout si l'on considère les minerais de faible teneur qu'on exploite couramment aujourd'hui. Dès la première étape de la préparation de la mine, les ingénieurs doivent inclure dans le plan initial de la mine des prévisions opérationnelles assez détaillées qui seront ensuite constamment révisées à mesure qu'ils obtiennent de nouvelles données sur le corps minéralisé et sur les conditions du marché. C'est le caractère prioritaire de cette planification opérationnelle qui explique les succès de la recherche opérationnelle dans le secteur minier.

Le présent article se veut une courte introduction à quelques-unes des applications de la recherche opérationnelle dans l'industrie minière et ne prétend aucunement en tracer un portrait exhaustif. Peut-être faut-il le voir comme le produit de réflexions personnelles de l'auteur plutôt que comme une analyse rigoureuse. Il existe sur ce sujet une abondante documentation. Si l'on fait une recherche dans la base de données de INFORMS ACI (<http://www.informs.org/Biblio/ACI.html>) à partir des mots clés "mines" et "mining", on obtient quatre-vingt-dix-sept références. Comme ces résultats n'incluent que la documentation en RO, on peut supposer que ces sources ne représentent qu'une fraction des travaux menés dans le secteur minier. En effet, en consultant des publications comme International Journal of Surface Mining ou Mineral Resources Engineering, on peut trouver beaucoup d'autres articles sur cette question.

Comme nous le verrons plus loin, les Canadiens ont joué un rôle prédominant dans le développement de certaines techniques de RO pour l'exploitation minière et ils continuent de le faire aujourd'hui. Cependant, si on considère l'importance de l'industrie minière au Canada, il est étonnant que leur implication ne soit pas encore plus grande. Pour illustrer la portée économique de cette industrie, j'ai glané les renseignements suivants dans le World Wide Web (<http://www.kmic.ca/Français/facts/faitsmin.htm>) :

En 1995, le secteur des métaux et minéraux a apporté 23 milliards de dollars à l'économie canadienne, un montant équivalant à 4,4 % du produit intérieur brut (PIB) du pays. L'activité minière fournit du travail à 340 000 Canadiens. Chaque emploi créé dans l'industrie minière entraîne la création directe d'un autre emploi ailleurs dans l'économie canadienne. Le Canada est le plus grand producteur mondial de potasse, d'uranium et de zinc. Notre pays se place au second rang pour ce qui est de sa production de nickel et d'amiante, et au troisième rang pour sa production de cuivre et d'aluminium. Le Canada se place au cinquième rang mondial pour ce qui est de sa production d'or et de plomb. Le Canada est le plus grand exportateur de minéraux et de produits minéraux. En 1995, les minéraux et les produits minéraux représentaient environ 15 % du total des exportations canadiennes et apportaient plus de 15 milliards de dollars à l'excédent commercial du pays.

Il faut aussi souligner que ces données n'incluent pas les exploitations de sables bitumineux dans l'Ouest canadien. Même si on les considère souvent comme des projets pétroliers, il s'agit en réalité de gigantesques mines à ciel ouvert.

Peu de membres de la SCRO sont probablement conscients qu'il existe une tradition bien établie de la recherche opérationnelle dans le secteur minier. En 1993, le Canada accueillait à Montréal APCOM XXIV, un symposium international dont l'acronyme correspond à "Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industries". La première rencontre d'APCOM remonte à 1960. Un membre de la SCRO, Jorgen Elbrond, est depuis de nombreuses années au

Conseil de l'APCOM et c'est lui qui présidait APCOM XXIV à Montréal. Les divers comptes rendus de l'APCOM constituent d'excellentes sources de renseignements sur les applications de la RO dans l'industrie minière.

Dans cet article, nous aborderons quelques questions qui, tout en étant étroitement liées, peuvent aussi être traitées séparément. Nous examinerons en premier lieu l'évaluation économique et les défis que constituent un niveau élevé d'incertitude et une séquence de mouvements de la trésorerie qui, aujourd'hui, inclut inévitablement des débours très importants à la fin d'un projet. Nous parlerons ensuite d'un domaine où les Canadiens ont fait œuvre de pionniers, soit la planification de la taille optimale des mines à ciel ouvert. Nous poursuivrons avec les problèmes opérationnels que posent le transport du minerai à l'intérieur de la mine et le mélange des minerais pour répondre aux demandes des clients. Nous avons choisi d'accorder une importance particulière aux travaux réalisés par des Canadiens dont beaucoup de membres de la SCRO ont probablement déjà entendu parler. Nous voulions en effet présenter aux lecteurs du Bulletin de la SCRO des gens facilement accessibles avec lesquels ils souhaiteront peut-être entrer en contact. Les articles cités renvoient par ailleurs à des sources d'un horizon beaucoup plus large.

Évaluation économique

Peu de champs d'activité présentent le degré d'incertitude qu'on retrouve dans l'exploitation minière. Le corps minéralisé initial est généralement indiqué par un certain nombre de trous de forage. On utilise l'intersection de ces trous avec le corps minéralisé pour estimer la quantité incertaine de minerai présent et sa teneur incertaine. La préparation initiale de la mine nécessite habituellement un premier investissement substantiel, non seulement pour les installations et pour l'équipement, mais aussi pour le financement des travaux préparatoires de la mine jusqu'au stade où on peut commencer la production du minerai. Enfin, les minéraux sont des matières premières et, à ce titre, ils font l'objet d'importantes variations de prix dans les marchés des produits primaires. En outre, la majorité des ventes de minerai se font en devises américaines et les fluctuations du cours des changes peuvent avoir d'importantes répercussions sur les sociétés minières canadiennes. Ces facteurs, auxquels s'ajoutent des règlements qui changent constamment, en font l'un des secteurs où la prise de décision est la plus complexe que l'on puisse imaginer.

Par conséquent, les décideurs de l'industrie minière ont tendance à appuyer sur des critères économiques conservateurs comme la période de récupération, ou à exiger des taux internes de rendement assez élevés. Or, les règlements miniers actuels présentent un défi de taille : la reconfiguration de l'emplacement de la mine de manière à lui redonner son aspect d'origine à la fin de la vie de la mine. Cela suppose un investissement mixte non conventionnel. Miroslaw Hajdasinski de l'Université Laurentienne a étudié divers aspects de l'évaluation économique des investissements miniers.

Planification d'une mine à ciel ouvert

Dans la planification de la mine à ciel ouvert, l'un des problèmes fondamentaux consiste à déterminer le périmètre final de la mine. La zone à exploiter est représentée par un ensemble de blocs tridimensionnels; chaque bloc contient un pourcentage déterminé de minerai. On attribue à chaque bloc une fonction économique d'extraction qui peut être négative pour les blocs à faible teneur en minerai. On établit une relation de priorité qui indique quels blocs doivent être retirés avant qu'un bloc donné soit lui-même enlevé. Généralement, cela signifie qu'avant de pouvoir retirer un bloc donné, il faudra enlever au moins le bloc placé directement au-dessus ainsi que les blocs qui sont adjacents à ce dernier. L'article de référence sur ce problème a été rédigé par Lerchs et Grossman. (Jorgen Elbrond me signale que cet article a été présenté à un congrès annuel de la SCRO tenu à Montréal.) Ils ont démontré que la taille optimale du trou de la mine correspond à une fermeture maximale du graphe qui représente la relation de priorité mentionnée plus haut. Picard a établi qu'on pouvait formuler ce problème comme un problème de flot maximum. Picard et Smith ont exploré cette approche de résolution plus en détail.

Ce problème classique de conception d'une mine à ciel ouvert est essentiellement statique. Il établit cependant les limites de la mine et indique jusqu'à un certain point les blocs qui ne seront pas exploités. L'étape suivante consiste à déterminer non seulement les blocs à exploiter, mais aussi le moment où on les exploitera. Les contraintes de capacité, notamment de l'usine de concentration, limitent la quantité de minerai qu'on peut exploiter pendant une période donnée. Dagdaleen a développé une formule de programmation en nombres entiers de ce problème et a conçu une procédure de résolution qui utilise la relaxation et la décomposition lagrangiennes. Tachefine, Soumis et Vanderstraten ont aussi élaboré une approche de relaxation lagrangienne et ont démontré qu'on pouvait résoudre les sous-problèmes comme des problèmes de flot maximum.

Planification des opérations et de la production

La planification opérationnelle dans le secteur minier doit habituellement prendre en compte certains aspects du mélange des minerais produits en vue d'obtenir un certain niveau de qualité tout en visant à réduire les coûts de production. Généralement, ces coûts de production incluent non seulement les coûts directs de l'extraction du minerai, mais aussi son transport vers les diverses installations de traitement. Lestage, Mottola, Scherrer et Soumis présentent une situation où on utilise une technique de programmation dynamique pour l'ordonnancement du forage, de l'abattage à l'explosif et des déplacements et de l'utilisation des pelles. Soumis et Elbrond étudient le problème de l'affectation des camions vers les pelles et de l'acheminement aux concasseurs dans le but de minimiser les coûts du camionnage et d'assurer une alimentation en minerai appropriée vers les concasseurs. Certains problèmes de planification opérationnelle peuvent inclure la combinaison des minerais provenant de plusieurs mines. Gunn et Rutherford examinent un système combinant un modèle de programmation linéaire pour la planification tactique de la production avec un système d'aide à la décision pour la gestion opérationnelle. Ce système détermine l'affectation à court terme du charbon provenant de plusieurs mines pour répondre aux demandes de plusieurs catégories de clients.

Planification de la capacité

On retrouve habituellement les modèles de capacité aux échelons supérieurs de la planification. Cependant, en exploitation minière, la capacité détermine le taux d'extraction et, par conséquent, l'épuisement des réserves. Ainsi, il existe généralement une interaction entre la détermination de la capacité et les décisions en matière de production. Lizotte et Elbrond ont utilisé des méthodes de programmation dynamique pour étudier le choix des capacités des usines de traitement alors que Gunn, Cunningham et Forrester examinent pour leur part la détermination de la capacité optimale des mines de charbon en fonction des demandes du marché en produits du charbon de différentes qualités. Dans cette approche de programmation dynamique, on résout à chaque noeud un sous-problème d'affectation et de mélange du charbon par programmation linéaire pour maximiser le bénéfice dans une condition de capacité donnée.

Conclusion

Dans cet article, nous n'avons fait que survoler quelques applications de la RO dans le secteur minier. On peut trouver une documentation assez exhaustive sur les sujets que nous avons abordés, mais, malheureusement, il est impossible d'en faire le détail ici. Il existe également d'importants travaux faisant appel à diverses autres techniques de RO que nous n'avons pas mentionnés. Personne ne sera étonné d'apprendre que dans de nombreux aspects de l'activité minière, la simulation peut être utilisée. On retrouve dans les mines beaucoup de machines et de personnes qui déplacent des quantités considérables de matériel. On peut appliquer des modèles de simulation à un grand nombre d'éléments de ces systèmes. Souvent, le débit de production et la fiabilité sont des paramètres qui doivent être simulés. L'analyse de file d'attente peut aussi être utilisée pour les estimations du débit de production des configurations possibles aux nombreux points de congestion d'un système minier. Même si des travaux ont déjà été effectués dans ce domaine, je crois qu'il existe toujours de nombreuses perspectives de développement de modèles utiles. (*au verso*)

En rédigeant cet article, je voulais éveiller l'intérêt des chercheurs opérationnels pour cette industrie majeure. Je crois que les personnes qui prendront le temps de se renseigner sur ce champ d'activité découvriront un domaine où les applications possibles de la recherche opérationnelle sont à la fois attrayantes et importantes. Si vous voulez oeuvrer dans un secteur où on peut épargner de grosses

sommes d'argent grâce à la RO, vous devriez vous tourner vers les industries où se trouvent les capitaux. Au Canada, l'exploitation minière fait partie de ces industries.

Ouvrages cités:

- Dagdaleen, K. Optimum Multi-Period Open Pit Mine Production Scheduling, Ph.D. Dissertation, Colorado School of Mines, 1985.
- K. Fytas, J. Hadjigeorgiou, J.-L. Collins, "Production Scheduling Optimization in Open Pit Mines", International Journal of Surface Mining & Reclamation, Vol. 7, no 1, 1993, pp. 1-11. Gunn, E. and P. Rutherford, Integration of annual and operational planning in a coal mining enterprise. Proceedings, APCOM XXII, Vol 1., 111-118, 1990.
- Gunn, E., B. Cunningham and D. Forrester, Some results with a capacity planning model in a coal mining enterprise, Proceedings, APCOM XXIV, Vol 2., 529-536, 1993.
- Hajdasinski, M., A generalized true rate of return for a project, Proceedings, APCOM XXIV, Vol 2., 280-287.
- Lerchs, H. And Grossman, I.F., Optimum design of open pit mines, Canadian Mining and Metallurgy Bulletin, Vol. 58, 1965.
- Lestage, P., L. Mottola, R. Scherrer and F. Soumis, A computerized tool for short range production planning at Mount Wright, Proceedings, APCOM XXIV, Vol. 2., 67-74
- Picard, J.C., Maximal closure of a graph and applications to a combinatorial problem, Management Science, 22, 11, 1976.
- Lizotte, Y. And J. Elbrond, Choice of mine-mill capacities and production schedules using open ended dynamic programming, CIM Bulletin, Vol 75, No. 839, 154-163, March 1982.
- Picard, J.C. and B. T Smith, Optimal rate of return in open pit mine design, Proceedings, APCOM XXIV, Vol. 2., 111-118, 1993.
- Soumis, F. and J. Elbrond, Truck dispatching software using mathematical programming implemented on an IBM-PC., Proceedings, APCOM XXII, Vol. 3., 237-246, 1990.
- Tachefine, B. F. Soumis and G. Vanderstraten, A decomposition flow algorithm for the operations planning problem in open pit mines, Proceedings, APCOM XXIV, Vol. 2., 140-147, 1993.