

1-7991222



Energy, Mines and Resources Canada / Énergie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology / Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

MRL 87-146 (OPJ) "F" c.2

LOGICIELS POUR LES MINES SOUTERRAINES

R. Boyle, A. Boyer, S. Vongpaisal et P. Lacourse

Laboratoire canadien de technologie minière

DÉCEMBRE 1987

Présenté à Val D'Or Seminar, Val D'Or, Québec, février 24-25, 1988.
Compte Rendu du séminaire CANMET; Val D'Or, Québec, pps. 111-140

Canmet Information
Centre
D'information de Canmet

JAN 28 1997

555, rue Booth ST.
Ottawa, Ontario K1A 0G1

LOGICIELS POUR LES MINES SOUTERRAINES

par

R. Boyle *, A. Boyer**, S. Vongpaisal† et P. Lacourse‡

RÉSUMÉ

Le présent rapport sert de matériel de base pour la présentation des " logiciels pour les mines souterraines " au Séminar du CANMET pour l'industrie minière à Val d'Or, les 24 et 25 février 1988. Les trois logiciels qui font l'objet de ce rapport sont: le système CADD/GEM pour l'évaluation des réserves; le groupe de logiciels VCRM, LDBB et PGRAPH, pour l'abattage de tailles souterraines; le logiciel PCBEM ("PERSONAL COMPUTER BOUNDARY ELEMENT METHOD") pour l'évaluation du contrôle des contraintes de terrain par la méthode d'éléments frontières. La présentation sera suivie d'une période de démonstration d'une durée de deux heures. Ceci permettra aux participants de mieux apprécier certaines applications de ces logiciels.

Le Groupe d'évaluation des réserves de minerai (ORAG) du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) a développé, depuis 1975, deux systèmes de logiciels CADD/GEM pour l'évaluation des réserves de minerai, voir Sabourin (1983a) et Sabourin (1983b). À l'origine, ces deux systèmes ont été créés principalement pour l'évaluation des réserves d'uranium. Cependant, il peuvent tout aussi bien servir pour l'évaluation de réserves d'autres métaux.

* Chercheur scientifique, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Energie, mines, ressources Canada, Ottawa.

** Chercheur scientifique, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Energie, mines, ressources Canada, Ottawa.

† Officier de recherche, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Energie, mines, ressources Canada, Ottawa.

‡ Ingénieur minier, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Energie, mines, ressources Canada, Ottawa.

*** Mots clés: CANMET/LRM, R & D, détermination des réserves, sautage en vrac, modélisation numérique, logiciels, ententes fédérales-provinciales.

Le système **CADD** (codification et analyse des données de forage) sert à la codification, la validation, l'édition et la préparation des données de base de forage pour l'évaluation des réserves. Le système **GEM** (évaluation géostatistique des mines) permet l'analyse des variogrammes et les estimations de krigeage.

Ces deux groupes de logiciels comprennent un total de 25 programmes. Ils ont été développés dans le double but de satisfaire nos besoins internes et d'être utilisable par les professionnels de l'industrie minière. Ils sont disponibles sur demande à l'exception du programme d'entrée interactive des données, le programme **CDDE/1.0**.

Les logiciels **VCRM** et **LDBB**, sont utilisés pour la conception de l'abattage assisté par ordinateur dans les mines souterraines en employant des méthodes de minage en vrac. La conception d'abattage assistée par ordinateur est tirée de la théorie des cratères de Livingston. Les logiciels sont écrits en Fortran 77. **PGRAPH** utilise le logiciel graphique **GKS** ("Graphical Kernel System"). Il est utilisé pour obtenir les projections horizontales et verticales des profils de trous de sautage du chantier d'exploitation.

Le troisième sujet de ce rapport traite de la modélisation numérique et, plus particulièrement, de l'analyse de stabilité de terrain des ouvertures de mines souterraines avec le logiciel **PCBME**. Le logiciel comprend un code numérique pour la solution en deux dimensions des problèmes d'élasticité par la méthode des éléments frontières. Les résultats sont produits sous forme numérique ou graphique, selon l'option choisie.

COMPUTER PROGRAMS FOR UNDERGROUND MINES

par

R. Boyle *, A. Boyer**, S. Vongpaisal† et P. Lacourse‡

ABSTRACT

The present report is the basis for a presentation on "computer programs for underground mines" to be made at CANMET's seminar to the Quebec mining industry. The seminar will be held at Val d'Or, February 24th and 25th, 1988. The following groups of computer programs are described in this report: the CADD/GEM system for reserves evaluation; computer programs VCRM, LDBB and PGRAPH for underground stope blasting design; and PCBEM ("PERSONAL COMPUTER BOUNDARY ELEMENT METHOD"), a computer program for ground control analysis using the boundary element method. The presentation is to be followed by a two hours demonstration session to permit the participants to familiarize themselves with the computer programs.

The Ore Reserves Assessment Group (ORAG) of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) has developed, since 1975, two computer systems (CADD/GEM) for ore reserves evaluation, see Sabourin (1983a) and Sabourin (1983b). Although, the systems were created for uranium reserves evaluation, they can also be used to carry out reserves evaluations of other metals.

* Physical Scientist, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa

** Physical Scientist, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa

† Research Scientist, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa

‡ Mining Engineer, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa

*** Key word: CANMET/MRL, R & D, reserves estimation, large-scale blasthole mining, numerical modelisation, software, federal-provincial agreements.

The **CADD** system (Coding and Analysis of Drillhole Data) is used in the codification, validation, edition and preparation of basic drilling data for reserves evaluation. The **GEM** system (Geostatistical Evaluation of Mines) permits variogram analysis and kriging estimations of deposits.

These two program groups comprise a total of 25 computer programs. They were developed to satisfy two objectives: meet CANMET's internal reserves estimations requirements and provide the mining industry with useful reserve estimation technology. The **CADD/GEM** system is available to the public, but not the interactive data entry computer program called **CDDE/1.0**.

The computer programs **VCRM** and **LDBB**, have been developed to assist underground mines in blasting design related to large blast hole stoping methods. The software is based on Livingston's crater theory. The computer programs are written in Fortran 77. The **PGRAPH** computer program uses "Graphical Kernel System" software. **PGRAPH** provides horizontal and vertical projections of blast holes of stopes.

The third program described in the report is **PCBEM**, a boundary element method numerical modelling program used in stability analysis. The numerical code of **PCBEM** solves two dimensional elasticity problems. Numerical and/or graphical output can be produced.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page No.</u>
RÉSUMÉ	i
ABSTRACT	iii
INTRODUCTION	1
LOGICIELS POUR LES MINES SOUTERRAINES	2
Le progiciel CADD/GEM	2
Les logiciels VCRM, LDBB et PGRAPH	12
Le logiciel PCBEM	20
CONCLUSION	24
RÉFÉRENCES	25
APPENDICE A — Information supplémentaire concernant les détails pour acheter des rapports sur ces logiciels	A-26

TABLEAU

<u>No.</u>		
1.	Description des logiciels du système CADD/GEM	9
2.	Résultats de simulation d'abattage vertical rabattant	15
3.	Résumé des résultats de l'abattage par bancs	17

FIGURES

1.	Résultats de MEG0100 pour un forage	4
2.	Plan: projection des segments composites d'un forage horizontal	5
3.	Résultats de MEG2055: résultats par bloc	6
4.	Résultats de MEG2055: sommaire de réserves et graphique	7
5.	Résultats statistiques sur la teneur	8
6.	MEG2250: tableau des valeurs du variogramme et graphique	10
7.	MEG2300: exemple de krigeage par bloc	11

FIGURES (suite)

<u>No.</u>		<u>Page No.</u>
8.	Plan du profil d'abattage vertical rabattant	14
9.	Résultats du niveau 4, abattage par bancs	16
10.	Coupe montrant les forages avec localisation et poids de la charge . . .	18
11.	Coupe montrant les forages avec localisation et poids de la charge . . .	19
12.	Contour des contraintes principales (MPA, KPSI, KPSF)	22
13.	Contour du facteur de sécurité: critère de rupture	23

INTRODUCTION

Le domaine de l'électronique, et en particulier celui des ordinateurs, a fait d'énormes progrès technologiques durant ces dernières années.

L'ordinateur, du micro au super système, devient de plus en plus petit, plus rapide avec un coût d'achat en fonction de leur puissance, à la baisse. Cette évolution technologique a un impact sur le travail professionnel.

Avec ce progrès technologique, le marché des logiciels a aussi connu un grand essor. Des logiciels existent maintenant pour une multitude d'applications. Ces logiciels sont interactifs, simples d'utilisation et ne requièrent aucun expert en informatique pour leur exécution.

Les ordinateurs munis de ces logiciels sont un outil très puissant pour l'ingénieur. Ils permettent aux ingénieurs d'emmagasiner et de manipuler de grandes quantités de données, d'en faire des transformations mathématiques et de représenter les résultats sous forme graphique ou en tableaux. Ceci facilite la tâche des ingénieurs dans l'interprétation des résultats.

Le présent rapport tente de démontrer l'utilité et les avantages que peut retirer l'industrie minière en se servant de chacun des trois groupes de logiciels pour divers travaux à exécuter par des professionnels. Aussi, le ou les types de systèmes informatisés compatibles avec chacun des trois groupes de logiciels (**CADD/GEM**, **VCRM-LDBB-PGRAPH** et **PCBEM** sont décrits dans le texte qui suit.

LOGICIELS POUR LES MINES SOUTERRAINES

Le progiciel CADD/GEM

À cause du grand nombre de données et des calculs qui s'y rattachent, la planification pour le développement d'un nouveau dépôt ou d'une mine déjà en opération demande un temps considérable. L'utilisation de l'ordinateur permet d'obtenir des résultats plus rapidement; il permet aussi une grande flexibilité de manoeuvre, donc facilite les tâches de planification. Tout ceci est vrai, à condition d'avoir en main les données de base et les outils pour accomplir ces travaux. Ces outils sont l'ordinateur et les logiciels.

Aujourd'hui, les géologues et ingénieurs miniers réalisent pleinement l'importance de cet outil moderne qu'est l'ordinateur. Depuis ces dernières années, les professionnels de l'industrie minière se sont graduellement impliqués dans l'usage et le développement de systèmes informatisés, surtout depuis l'avènement des micro-ordinateurs.

Le progiciel CADD/GEM du CANMET est un exemple d'outil qui peut servir quotidiennement au géologue minier dans ces tâches de planification. Le contrôle de la teneur et divers autres travaux, qui requièrent le traitement et l'analyse statistiques de quantités énormes de données, peuvent être accomplis rapidement. On sauve également un temps énorme pour la production de graphiques (plan, section, lignes de contour, etc...) et pour le calcul des réserves, soit par méthodes conventionnelles ou géostatistiques.

Le progiciel CADD/GEM a été développé en Fortran 66 et Cobol 66 et récemment converti en Fortran 77 et Cobol 77. Ces logiciels ont été testés sur les ordinateurs Digital VAX 11/750 VMS et Control Data Corp. CYBER 730 NOS/BE. Le logiciel d'entrée des données de forage CDDE/1.0 fonctionne seulement sur un ordinateur de type VAX. Les logiciels graphiques seront bientôt convertis pour s'adapter au standard GKS (Graphical Kernel System). Aussi, une version du progiciel sera bientôt disponible sur un ordinateur Sun Microsystem SUN 3/160 UNIX. Ces logiciels requièrent un super-micro ou un mini-ordinateur avec au moins 1 mégabyte de mémoire accessible et un disque d'une capacité de 50 mégabytes. Ce progiciel requiert aussi, pour l'exécution, les compilateurs Fortran et Cobol, ce dernier étant optionnel, et le logiciel GKS.

Le progiciel se divise en deux groupes de logiciels appelés CADD/GEM. Le système CADD sert à la codification, l'édition, la validation et la préparation des

données de base de forage qui seront utilisées éventuellement pour l'estimation des réserves.

L'une des premières étapes d'informatisation d'un gisement, c'est l'emmagasinement sur ordinateur des données de forage. Ces données serviront à la planification et au calcul des réserves. Pour accomplir plus facilement cette tâche laborieuse qu'est l'entrée des données, le logiciel **CDDE/1.0** a été développé par CANMET. Ce logiciel, interactif et simple d'utilisation, a été conçu pour optimiser le temps d'entrée et la validation des données sur ordinateur. Ceci permet aux géologues de consacrer plus de temps aux travaux directement reliés à l'évaluation des réserves ou à d'autres travaux de géologie minière.

Le programme **MEG0401** permet le triage des données de base. Le logiciel **MEG1000** crée un fichier principal tout en définissant et produisant de nouvelles variables, telles que les coordonnées du début de chaque segment de la carotte de sondage, ceci à partir des données déjà triées par **MEG0401**. Le fichier de sortie produit par **MEG1000** contient toutes les données nécessaires pour les logiciels du système **GEM**. Le logiciel **MEG1500** produit, à partir de données de sortie du logiciel, un rapport de géologie semblable à celui préparé par le géologue minier.

Le système **GEM** sert principalement à l'évaluation géostatistique des gisements. L'utilisateur peut choisir les options pour 2-D ou 3-D, tout dépendant de la forme géométrique du gisement à évaluer.

Les logiciels du système **GEM** se divisent en trois catégories qui correspondent à trois choix d'étapes de calculs et d'analyses d'une évaluation géostatistique ou autre d'un gisement minier.

La première catégorie comprend le logiciel **MEG0100** pour le calcul des intersections composites de minerai le long des forages.

La figure suivante est un exemple de résultats de calculs obtenu de **MEG0100**. La partie du haut indique les paramètres choisis par l'utilisateur.

MEG0100 ANALYSIS OF DRILL-HOLE DATA										MEG DRILL-HOLE NUMBER		ZEX0038 PAGE							
COMBINED WITH ZEX0039		DEPARTURE		7600.00		DDH TYPE		DAX		U308 CUT-OFF GRADE		2.00							
COMPANY DRILL-HOLE NUMBER 77032		LATITUDE		8540.00		HOLE DIAMETER (INCHES)		0.000		MIN. MINING WIDTH		10.00							
SPECIAL DRILL-HOLE IDENT.		COLLAR ELEVATION		1210.50		INITIAL CASING TYPE		0		MIN. WASTE THICKNESS		0.00							
DRILLING STARTED 15/10/77		HOLE LENGTH		232.60		INITIAL CASING LENGTH		0.00		MAX. DIL. WIDTH		0.00							
DRILLING COMPLETED 15/10/77		DIP OF HOST FORMATION		-60		FINAL CASING TYPE		0		TOP CUT WIDTH		0.00							
LOCATION UNDERGROUND HOLE, 200 LEVEL, K ZONE		AZIMUTH OF DIP OF H.F.		170		FINAL CASING LENGTH		0.00		ZONE(S)		ALL							
						NUMBER OF SEGMENTS		58											
SAMPLE NUMBER	DIST. FROM COLLAR	SEGMENT THICKNESS			R	R	PERC. CORE REC.	A	C	C.M. G.O.D.E. I.I.II	DILUTED / MINED - OUT PORTION				THICKNESS DIL. MINED	ID			
		APPAR.	APPAR.	DIP							U308	AVG. GRADE DIL.	U308	GROSS DIL.			MINED	METAL PER UNIT AREA NET	
	172.10	17.10	17.10	0	180					100	0	0.00	-						
	155.00	3.90	3.90	0	180					100	0	0.00	-						
	151.10	1.60	1.60	0	180					0	0	0.00	-						
	149.50	13.90	13.90	0	180					100	0	0.00	-						
33-18	135.60	2.90	2.90	0	180					100	B B	1.22	-						
	132.70	47.20	47.20	0	180					100	0	0.00	-						
33-17	85.50	1.40	1.40	0	180					100	B B	0.68	+	D1	6.61	7.33	5.11	13.30	01
33-16	84.10	1.20	1.20	0	180					100	B B	4.34	+	D1					
33-15	82.90	2.90	2.90	0	180					100	B B	12.32	+	D1					
33-14	80.00	2.40	2.40	0	180					100	B B	12.68	+	D1					
33-13	77.60	0.90	0.90	0	180					100	B B	0.10	-	D1					
	76.70	1.70	1.70	0	180					100	0	0.00	-	D1					
33-12	75.00	0.90	0.90	0	180					100	B B	3.96	+	D1					
33-12	74.10	1.60	1.60	0	180					100	B B	3.92	+	D1					
33-12	72.50	1.70	1.70	0	180					100	B B	3.92	+	D1					
	70.80	3.50	3.50	0	180					100	0	0.00	-						
33-11	67.30	0.80	0.80	0	180					100	B B	5.52	+						
	66.50	1.60	1.60	0	180					100	0	0.00	-						
33-10	64.90	0.80	0.80	0	180					100	B B	8.76	+						
33-9	64.10	1.90	1.90	0	180					100	B B	0.92	-						
	62.20	11.00	11.00	0	180					100	0	0.00	-						
	51.20	1.30	1.30	0	180					100	0	0.00	-						
	49.90	0.80	0.80	0	180					100	0	0.00	-						
	49.10	4.50	4.50	0	180					100	0	0.00	-						
	44.60	16.30	16.30	0	180					100	0	0.00	-						
	28.30	0.30	0.30	0	180					100	0	0.00	-						
	28.00	3.20	3.20	0	180					100	0	0.00	-						
33-8	24.80	1.10	1.10	0	180					100	B B	0.56	-						
33-7	23.70	2.10	2.10	0	180					100	B B	1.96	-						
33-6	21.60	1.60	1.60	0	180					100	B B	0.42	-						
	20.00	9.00	9.00	0	180					100	0	0.00	-						
33-5	11.00	1.70	1.70	0	180					100	B B	1.28	-						
33-4	9.30	2.10	2.10	0	180					100	B B	5.94	+	D1	3.72	15.19	7.02	49.00	02
33-3	7.20	2.20	2.20	0	180					100	B B	6.16	+	D1					
33-2	5.00	1.70	1.70	0	180					100	B B	1.04	-	D1					
33-1	3.30	3.30	3.30	0	180					100	B B	2.43	+	D1					
	0.00	5.00	5.00	0	180					100	B B	2.96	+	M D1	2.67	2.61	0.66	11.70	01
	-5.00	6.70	6.70	0	180					100	B B	2.46	+	M D1					
	-11.70	2.80	2.80	0	180					100	C E	0.00	-	D1					
32-1	-14.50	3.80	3.80	0	180					100	S B	1.56	-	D1					
32-2	-18.30	2.10	2.10	0	180					100	S B	4.86	+	D1					
32-3	-20.40	2.80	2.80	0	180					100	S B	7.86	+	D1					
32-4	-23.20	2.30	2.30	0	180					100	S B	9.24	+	D1					
32-5	-25.50	2.50	2.50	0	180					100	S B	4.34	+	D1					
32-6	-28.00	3.70	3.70	0	180					100	S B	4.30	+	D1					
32-7	-31.70	1.80	1.80	0	180					100	S B	3.66	+	D1					
32-8	-33.50	0.50	0.50	0	180					100	S B	3.66	+	D1					
32-9	-34.00	1.20	1.20	0	180					100	S B	9.36	+	D1					
32-10	-35.20	1.50	1.50	0	180					100	S B	0.16	-	D1					
32-11	-36.70	1.70	1.70	0	180					100	S B	3.08	+	D1					
32-12	-38.40	1.30	1.30	0	180					100	S B	3.08	+	D1					
32-13	-39.70	0.90	0.90	0	180					100	S B	0.98	-						
32-14	-40.60	1.10	1.10	0	180					100	S B	0.98	-						
32-15	-41.70	1.80	1.80	0	180					100	S B	1.74	-						
32-16	-43.50	1.70	1.70	0	180					100	S B	0.62	-						
	-45.20	1.20	1.20	0	180					100	C E	0.00	-						
	-46.40	3.60	3.60	0	180					100	C E	0.00	-						
	-50.00	22.20	22.20	0	180					100	C E	0.00	-						

Fig. 1 — Résultats de MEG0100 pour un forage

Le groupement de ces intersections se fait selon un maille bi-dimensionnelle choisie par l'utilisateur dans les options du logiciel MEG2010. Les projections des segments de carottes de forage, contenant ces intersections, peuvent être rapportées sur des plans ou des sections en utilisant le logiciel MEG3000. La figure 2 représente, en plan, une section de forage avec l'information géologique, le profil des teneurs et les résultats de calcul des intersections composites.

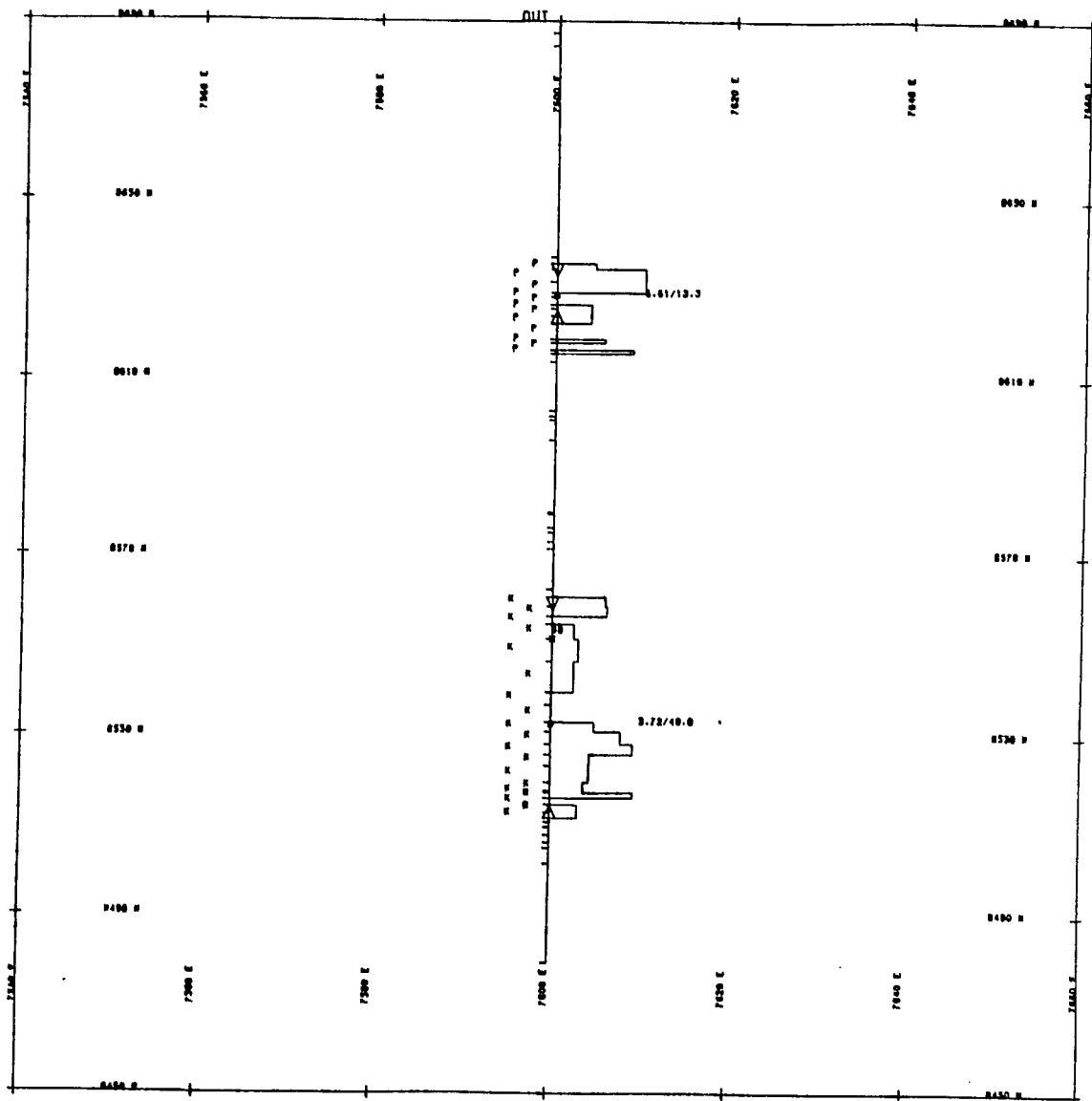


Fig. 2 — Plan: projection des segments composites d'un forage horizontal

La deuxième catégorie comprend trois logiciels. MEG2040 définit des segments d'égale longueur, le long du forage. Le logiciel MEG2050 groupe les segments de même indice obtenus dans MEG2040 et calcule la teneur moyenne par bloc. Enfin, MEG2055 calcule les réserves locales et globales d'un gisement minier en utilisant les variables définies à l'intérieur de blocs unitaires de dimension régulière produit dans MEG2050 (voir fig. 3 et 4).

SECTION 3 - - IDENTIFICATION OF BLOCKS INSIDE THE MINERALIZED ENVELOPE
 AS DEFINED BY THE USERS OPTIONS

LEVEL 49 ZINF (FOOTWALL)- 1200.0 ZSUP (HANGINGWALL)- 1225.0 DEPOSIT IDENT. (ZZX)
 MEASURED BLOCK REPRESENTED BY 1
 ESTIMATED BLOCK REPRESENTED BY 2

N-W DEPARTURE 7000.0 N-E DEPARTURE 7250.0
 LATITUDE 3250.0 LATITUDE 3250.0
 1234567890
 11 I 1
 10 * 1
 9 I 1
 8 I 1
 7 I 212 I
 6 I 212 I
 5 I 222 I
 4 I 212 I
 3 I 212 I
 2 I 212 I
 1 I 1
 1234567890
 S-W DEPARTURE 7000.0 S-E DEPARTURE 7250.0
 LATITUDE 2975.0 LATITUDE 2975.0

SECTION 4 - - MEASURED AND ESTIMATED GRADE FOR EACH BLOCK OF THIS LEVEL

LEVEL 49 ZINF (FOOTWALL)- 1200.0 ZSUP (HANGING WALL)- 1225.0 DEPOSIT IDENT. (ZZX)

 * (1) * AVERAGE GRADE OF SAMPLES IN BLOCK: IF (2) IS >0 (MEASURED BLOCK) IF (2) IS <0 (ESTIMATED BLOCK)
 * (2) * IF >0 DUMMY VARIABLE SET TO 1.0 - IF -99.99 AVERAGE GRADE IS 0 - IF <0 NEGATIVE VALUE OF AVERAGE GRADE
 * (3) * NUMBER OF SAMPLES IN BLOCK
 * (4) * TONNAGE IF IDENC = N - BLANKED IF IDENC = Y
 * (5) * METAL IN LBS.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7000. 3250.	7025.	7050.	7075.	7100.	7125.	7150.	7175.	7200.	7225.	7250.	3250.
30	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	30
3225.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3225.
29	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 1.00 10	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	29
3200.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3200.
28	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.14 1.00 10	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	28
3175.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	184.	0.	0.	3175.
27	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 1.00 10	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	27
3150.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3150.
26	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00* 0.00*	1.36* -99.99*	3.35* 1.00*	1.36* -99.99*	0.00 0.00	26
3125.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1772.*	4364.*	1772.*	0.	3125.
25	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00* 0.00*	1.41* -99.99*	0.73* 1.00*	1.41* -99.99*	0.00 0.00	25
3100.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1837.*	952.*	1837.*	0.	3100.
24	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00* 0.00*	0.94* -99.99*	0.94* -0.15*	0.94* -99.99*	0.00 0.00	24
3075.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1219.*	1219.*	1219.*	0.	3075.
23	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00* 0.00*	1.93* -99.99*	1.93* 1.00*	1.93* -99.99*	0.00 0.00	23
3050.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2508.*	2510.*	2508.*	0.	3050.
22	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00* 0.00*	2.56* -99.99*	3.70* 1.00*	2.56* -99.99*	0.00 0.00	22
3025.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3338.*	4818.*	3338.*	0.	3025.
21	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00* 0.00*	1.92* -99.99*	2.06* 1.00*	1.92* -99.99*	0.00 0.00	21
3000.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2501.*	2687.*	2501.*	0.	3000.
20	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	0.00 1.00 8	0.00 0.00 0	0.00 0.00 0	20
2975. 7000.	7025.	7050.	7075.	7100.	7125.	7150.	7175.	7200.	7225.	7250.	2975.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Fig. 3 — Résultats de MEG2055: résultats par bloc

La troisième catégorie contient 5 logiciels qui permettent d'établir, à partir du variogramme, le modèle théorique d'un gisement minier. Le logiciel MEG2100 calcule les statistiques de base sur les variables servant à l'évaluation des réserves. Ce logiciel produit les résultats pour l'analyse de régression entre certaines variables choisies telles que la teneur et l'épaisseur. MEG2100 fournit aussi l'histogramme, les fréquences cumulées et la courbe de probabilité. La figure 5 est un exemple des résultats statistiques sur la variable teneur.

SECTION 4 - STATISTICS OF VARIABLE 1 (IREJ=0)

TITLE - STATISTICS OF GRADE (LBS/TON)

38 ACCEPTED OBSERVATIONS USED TO PRODUCE THE FOLLOWING STATISTICS

38	NOBS	3.080000	MEDIAN	12.580000	RANGE
3.763843	ARITHMETIC MEAN	2.348163	GEOMETRIC MEAN	1.053832	HARMONIC MEAN
10.804060	VARIANCE	3.286953	STANDARD DEVIATION	0.873297	COEFFICIENT OF VARIATION
0.000000	SICHEL MEAN	0.000000	SICHEL STAN. DEV.	0.000000	SICHEL COEF. OF VAR.
3.543333	QUENOUILLE MEAN	2.865000	QUENOUILLE STAN. DEV.	0.808561	QUENOUILLE COEF. VAR.
-0.408349	DAVIES COEF. OF SYM.	0.137559	WIGS COEF. VAR.		
FIRST FOUR MOMENTS ABOUT ZERO	0.37638426E+01	0.24686251E+02	0.21221013E+03	0.21112009E+04	
FIRST FOUR MOMENTS ABOUT THE MEAN	-0.75290080E-06	0.10519742E+02	0.40105671E+02	0.41253690E+03	
FIRST FOUR K-STATISTICS	-0.75290080E-06	0.10804059E+02	0.43477917E+02	0.11785933E+03	
1.175434	SKENNESS (ESTIMATED FROM MOMENTS)		1.224301	SKENNESS (ESTIMATED FROM K-STATISTICS)	
0.727800	KURTOSIS (ESTIMATED FROM MOMENTS)		1.009695	KURTOSIS (ESTIMATED FROM K-STATISTICS)	

SECTION 5 - HISTOGRAM AND CUMULATIVE FREQUENCY DIAGRAM

TITLE - STATISTICS OF GRADE (LBS/TON)

NO. OF OBSERVATIONS = 38
 MINIMUM = 0.100000 MAXIMUM = 12.6800 MEAN = 3.76384

UPPER LIMIT	FREQ	REL FREQ	CUM FREQ	RELATIVE FREQUENCY DIAGRAM	CUMULATIVE FREQUENCY DIAGRAM
0.477	3	7.89	7.89	1****	1
3.764	19	50.00	57.89	1*****	1*****
7.051	10	26.32	84.21	1*****	1*****
10.338	4	10.53	94.74	1****	1*****
10.338	2	5.26	100.00	1***	1*****

SECTION 5A - PROBABILITY PLOT OF CUMULATIVE FREQUENCY DISTRIBUTION

TITLE - STATISTICS OF GRADE (LBS/TON)

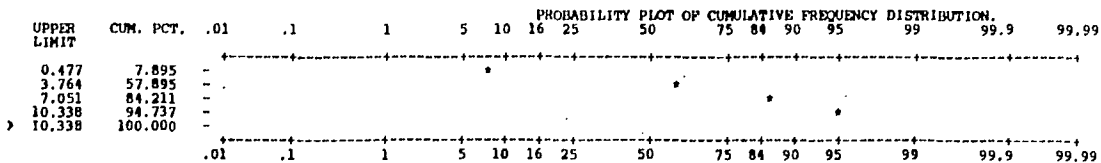


Fig. 5 — Résultats statistiques sur la teneur

Le logiciel MEG2200 calcule le variogramme et la dérive par la méthode des secteurs.

MEG2250 fournit le même genre de résultats que le logiciel précédant mais utilise la méthode par blocs. La figure 6 est un exemple des résultats de calcul par bloc, en plus de la représentation graphique du variogramme. Le rôle de MEG2275 consiste à définir le meilleur modèle théorique par rapport aux valeurs du variogramme expérimental produit par MEG2200 ou MEG2250. L'utilisateur a le choix parmi neuf modèles théoriques différents et peut ajuster un modèle qui reflète une double structure. Le logiciel MEG2300 utilise une méthode de krigeage pour l'évaluation des valeurs moyennes de la variable définie dans des blocs réguliers, des polygones ou des points. Plusieurs méthodes de krigeage peuvent être utilisées dont le krigeage en grappe, log-normal, universel, ainsi que le krigeage des échantillons. La figure 7 montre un exemple de krigeage universel par blocs produit par MEG2300.

En résumé, le tableau 1 indique la fonction de chacun des logiciels et la ou les possibilités d'utilisation en 2-D et 3-D.

Tableau 1. Description des logiciels du système CADD/GEM

DESCRIPTION DES LOGICIELS	LO GI CIELS	MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DES RESSOURCES								
		MÉTHODES GÉOMÉTRIQUES				MOYENNE		MÉTHODES		
		SECTION	POLYGONE			MOBILE ET AUTRES		GÉOSTATISTIQUES		
DÉPÔTS TABULAIRES 2 DIMENSION		2D		2D			2D		2D	
TOUS LES DÉPÔTS 3 DIMENSION			3D		3D			3D		3D
ENTRÉE DES DONNÉES										
	CDDE/1	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D	
ÉTAPE I										
CADD	PRÉPARATION DES DONNÉES	1000	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D
	DE FORAGE	1600	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D
ÉTAPE II										
SYS TÈ ME	INTERSECTIONS ÉCONOMIQUES	160	2D	3D	2D			2D		2D
	ASSEMBLAGE D'INTERSECTIONS ÉCONOMIQUES	2010			2D			2D		2D
	PROJECTION GRAPHIQUE DES FORAGES EN PLAN OU EN SECTION	3000	2D	3D	2D	3D				
ÉTAPE III										
GEM	SEGMENTS DE LONGUEURS ÉGALES	2040				3D		3D		3D
	REGROUPEMENT DES SEGMENTS ÉGAUX DANS DES BLOCS UNITAIRES	2050					2D	3D		3D
SYS TÈ ME	ÉVALUATION DE LA TENUEUR DE BLOCS PAR LA MOYENNE MOBILE OU L'INVERSE DES DIST.	2055					2D	3D		
	ÉTAPE IV									
GEM	STATISTIQUES DE BASE — HISTOGRAMMES	2100							2D	3D
	TESTS DE DISTRIBUTION — RÉGRESSIONS									
	VARIOGRAMME ET DÉRIVE: PAR SECTEURS	2200							2D	3D
	VARIOGRAMME ET DÉRIVE: PAR BLOCS	2250							2D	3D
ÉTAPE V										
	KRIGEAGE NORMAL, LOGNORMAL, DE GRAPPE, UNIVERSEL: POINT, BLOC OU POLYGONE	2300							2D	3D
	TABLEAUX: INVENTAIRE DES RÉSERVES	2400							2D	3D
	TRAÇAGE D'ISOCOUBES	2500	2D	3D	2D	3D	2D	3D	2D	3D

SECTION 4 - COMPUTED VARIOGRAM TABLES

	SECTION 1	PAGE 1	X/Y-PLANE		
	0.000	1.000	2.000	3.000	
3	10.900 -1.133 1.201 150.00 15	11.850 -2.300 1.420 150.11 10	0.250 -2.300 1.076 180.28 10	15.448 -2.125 1.829 212.13 8	1 SEMI-VARIOGRAM 2 - DRIFT 3 - RELATIVE VARIOGRAM 4 - AVERAGE DISTANCE BETWEEN SAMPLES 5 - NUMBER OF SAMPLES USED IN BLOCK EVALUATION
2	8.222 1.778 0.946 100.00 18	1.941 1.176 0.506 111.60 17	11.250 0.071 1.161 141.42 14	9.038 -0.077 0.978 180.28 13	
1	4.250 0.591 0.462 50.00 22	6.472 0.500 0.759 70.71 18	8.559 0.529 1.106 111.80 17	8.321 0.214 0.764 158.11 14	
0	0.000 0.000 0.000 0.00 0	4.104 0.375 0.466 50.00 24	8.400 1.000 1.098 100.00 20	12.083 0.167 1.441 150.00 18	
1	4.250 -0.591 0.462 50.00 22	5.026 0.684 0.579 70.71 19	11.833 1.133 1.294 111.80 15	9.141 0.857 1.140 158.11 14	
2	8.222 1.778 0.946 100.00 18	9.607 2.643 1.199 111.00 14	11.906 1.688 1.356 141.42 16	9.731 2.077 1.200 180.28 13	
3	10.900 -1.133 1.201 150.00 15	15.136 1.727 1.755 158.11 11	10.150 2.500 1.246 180.28 10	17.250 -1.500 2.141 212.13 10	
	0.000	1.000	2.000	3.000	

NAME OF VARIABLE = TEST / AVERAGE RELATIVE VARIOGRAM
 TITLE = EXECUTION EXAMPLE OF MEG2250 DATA TAKEN FROM JOURNAL, MINING GEOSTATISTICS P216

0.250000E+01 I
 0.245370E+01 I
 0.240741E+01 I
 0.236111E+01 I
 0.231481E+01 I
 0.226852E+01 I
 0.222222E+01 I
 0.217593E+01 I
 0.212963E+01 I
 0.208333E+01 I
 0.203704E+01 I
 0.199074E+01 I
 0.194444E+01 I
 0.189815E+01 I
 0.185185E+01 I
 0.180566E+01 I
 0.175946E+01 I
 0.171296E+01 I
 0.166667E+01 I
 0.162037E+01 I
 0.157407E+01 I
 0.152778E+01 I
 0.148148E+01 I
 0.143519E+01 I
 0.138889E+01 I
 0.134259E+01 I
 0.129630E+01 I
 0.125000E+01 I
 0.120370E+01 I
 0.115741E+01 I
 0.111111E+01 I
 0.106481E+01 I
 0.101852E+01 I
 0.972222E+00 I
 0.925926E+00 I
 0.879600E+00 I
 0.833333E+00 I
 0.787037E+00 I
 0.740741E+00 I
 0.694444E+00 I
 0.648148E+00 I
 0.601852E+00 I
 0.555566E+00 I
 0.509259E+00 I
 0.462963E+00 I
 0.416667E+00 I
 0.370370E+00 I
 0.324074E+00 I
 0.277778E+00 I
 0.231482E+00 I
 0.185185E+00 I
 0.138889E+00 I
 0.925927E-01 I
 0.462964E-01 I
 0.000000E+00 I

0.0000E+000.3143E+020.6205E+020.9428E+020.1257E+030.1571E+030.1886E+030.2200E+030.2514E+030.2828E+03
 AVERAGE DISTANCE

Fig. 6 — MEG2250: tableau des valeurs du variogramme et graphique

SECTION 4 - DETAILED KRIGING RESULTS

ZK - KRIGING ESTIMATOR;
 VARK - KRIGING VARIANCE;
 V2SD - TWICE THE KRIGING STANDARD DEVIATION;
 1,J - INDICES OF THE KRIGED POINT OR BLOCK AS SPECIFIED IN IBLOC MATRIX;
 ZK1 - LOWER LIMIT OF A 95 PER CENT CONFIDENCE INTERVAL;
 ZKS - UPPER LIMIT OF A 95 PER CENT CONFIDENCE INTERVAL;
 MP - NUMBER OF SAMPLES USED TO OBTAIN THE KRIGING ESTIMATOR;
 SURFA - SURFACE AREA OF BLOCK OR POLYGON;
 VOLUME - VOLUME OF BLOCK OR POLYGON;
 XB, YB, ZB - MIDPOINT COORDINATES OF THE EVALUATED BLOCK, POLYGON OR POINT;
 URAG(K) - SAMPLE NUMBER (K-1,MP);
 B(K) - KRIGING WEIGHT FOR SAMPLE K (K-1,MP);
 V(K) - VARIABLE VALUE FOR SAMPLE K (K-1,MP);
 BB(K) - COVARIANCE BETWEEN SAMPLE K AND THE KRIGED POINT OR BLOCK (K-1,MP);
 BK1 - KRIGING WEIGHT GIVEN TO THE ARITHMETIC MEAN OF DEPOSIT;
 TMBY - ARITHMETIC MEAN OF DEPOSIT (SPECIFIED BY USR1);
 B(K), BB(K) - LAGRANGE MULTIPLIER AND VALUE OF POLYNOMIAL DRIFT TERM (K-MP+1,MP+NTD);

- BLOCK KRIGING - NINE BLOCKS USING SAMPLES GIVEN BY A. JOURNAL P. 216

ZK-	35.23615	VARK-	0.38299	V2SD-	1.23772	I-	1	J-	1
ZK1-	33.99843	ZKS-	36.47387						
MP-	14 8	SURFA-	2500.00000	VOLUME-	125000.00000				
XB-	125.00000	YB-	275.00000	ZB-	0.00000				
URAG(1)-	13	B(1)-	0.3445	V(1)-	35.0000	BB(1)-	13.2805		
URAG(2)-	19	B(2)-	0.2808	V(2)-	37.0000	BB(2)-	13.2805		
URAG(3)-	20	B(3)-	0.3579	V(3)-	35.0000	BB(3)-	13.2805		
URAG(4)-	3	B(4)-	-0.0074	V(4)-	33.0000	BB(4)-	9.8151		
URAG(5)-	4	B(5)-	0.0859	V(5)-	33.0000	BB(5)-	9.8151		
URAG(6)-	12	B(6)-	-0.0220	V(6)-	35.0000	BB(6)-	9.8151		
URAG(7)-	18	B(7)-	-0.0156	V(7)-	35.0000	BB(7)-	9.8151		
URAG(8)-	28	B(8)-	-0.0241	V(8)-	42.0000	BB(8)-	9.8151		
		B(9)-	0.1967			BB(9)-	1.0000		
ZK-	34.77091	VARK-	1.30416	V2SD-	2.28400	I-	1	J-	2
ZK1-	32.48692	ZKS-	37.05491						
MP-	14 8	SURFA-	2500.00000	VOLUME-	125000.00000				
XB-	175.00000	YB-	275.00000	ZB-	0.00000				
URAG(1)-	20	B(1)-	0.5193	V(1)-	35.0000	BB(1)-	13.2805		
URAG(2)-	4	B(2)-	0.0956	V(2)-	33.0000	BB(2)-	9.8151		
URAG(3)-	5	B(3)-	0.1029	V(3)-	34.0000	BB(3)-	9.8151		
URAG(4)-	13	B(4)-	0.0685	V(4)-	35.0000	BB(4)-	9.8151		
URAG(5)-	14	B(5)-	0.1029	V(5)-	35.0000	BB(5)-	9.8151		
URAG(6)-	19	B(6)-	-0.0369	V(6)-	37.0000	BB(6)-	9.8151		
URAG(7)-	21	B(7)-	0.0956	V(7)-	37.0000	BB(7)-	9.8151		
URAG(8)-	29	B(8)-	0.0523	V(8)-	34.0000	BB(8)-	9.8151		
		B(9)-	0.8830			BB(9)-	1.0000		
ZK-	35.65801	VARK-	0.80417	V2SD-	1.79351	I-	1	J-	3
ZK1-	33.86451	ZKS-	37.45152						
MP-	14 8	SURFA-	2500.00000	VOLUME-	125000.00000				
XB-	225.00000	YB-	275.00000	ZB-	0.00000				
URAG(1)-	14	B(1)-	0.3950	V(1)-	35.0000	BB(1)-	13.2805		
URAG(2)-	21	B(2)-	0.3875	V(2)-	37.0000	BB(2)-	13.2805		
URAG(3)-	5	B(3)-	0.1024	V(3)-	34.0000	BB(3)-	9.8151		
URAG(4)-	6	B(4)-	-0.0126	V(4)-	31.0000	BB(4)-	9.8151		
URAG(5)-	15	B(5)-	-0.0328	V(5)-	33.0000	BB(5)-	9.8151		
URAG(6)-	20	B(6)-	0.1388	V(6)-	35.0000	BB(6)-	9.8151		
URAG(7)-	22	B(7)-	-0.0363	V(7)-	37.0000	BB(7)-	9.8151		
URAG(8)-	29	B(8)-	0.0580	V(8)-	34.0000	BB(8)-	9.8151		
		B(9)-	0.4708			BB(9)-	1.0000		
ZK-	38.00029	VARK-	0.38048	V2SD-	1.23365	I-	2	J-	1
ZK1-	36.78664	ZKS-	39.23395						
MP-	14 8	SURFA-	2500.00000	VOLUME-	125000.00000				
XB-	125.00000	YB-	225.00000	ZB-	0.00000				
URAG(1)-	19	B(1)-	0.2833	V(1)-	37.0000	BB(1)-	13.2805		
URAG(2)-	20	B(2)-	0.3303	V(2)-	35.0000	BB(2)-	13.2805		
URAG(3)-	28	B(3)-	0.3501	V(3)-	42.0000	BB(3)-	13.2805		
URAG(4)-	13	B(4)-	-0.0280	V(4)-	35.0000	BB(4)-	9.8151		
URAG(5)-	18	B(5)-	-0.0146	V(5)-	35.0000	BB(5)-	9.8151		
URAG(6)-	27	B(6)-	-0.0221	V(6)-	40.0000	BB(6)-	9.8151		
URAG(7)-	29	B(7)-	0.0733	V(7)-	34.0000	BB(7)-	9.8151		
URAG(8)-	34	B(8)-	0.0278	V(8)-	41.0000	BB(8)-	9.8151		
		B(9)-	0.2666			BB(9)-	1.0000		

SECTION 5 - SCALED TABLES OF KRIGING RESULTS

SCALE USED IS 1.0

- BLOCK KRIGING - NINE BLOCKS USING SAMPLES GIVEN BY A. JOURNAL P. 216

ZB-		0.0000		KRIGING ELEVATION,	
	1	2	3		
	125.0000	175.0000	225.0000		
1	35.2361	34.7709	35.6580		1
275.	1.2377	2.2840	1.7935		275.
	8	8	8		
2	38.0003	35.1971	35.5773		2
225.	1.2337	1.6120	1.2337		225.
	8	8	8		
3	39.6530	35.4044	34.0691		3
175.	1.7970	2.3127	1.2633		175.
	8	8	8		
	1	2	3		
	125.0000	175.0000	225.0000		

Fig. 7 — MEG2300: exemple de krigeage par bloc

Les logiciels VCRM, LDBB et PGRAPH

Les méthodes de minage en vrac sont de plus en plus utilisées dans les mines souterraines au Canada. Pour optimiser ces méthodes minières, un contrat fut émis, sous les auspices du CANMET, à Mining Resource Engineering Ltd. de Kingston. L'objectif du contrat consiste à développer un logiciel pour la conception assistée par ordinateur de l'abattage de tailles souterraines. Le logiciel a été conçu pour une exécution interactive et pour une utilisation simple par l'utilisateur.

Le logiciel peut simuler la méthode d'abattage vertical rabattant (VCRM) et la méthode d'abattage par bancs (LDBB). Ces logiciels de simulation pour l'abattage utilisent la théorie des cratères de Livingston. Un logiciel, PGRAPH, a aussi été conçu pour la représentation graphique des trous de forage en plan ou en coupe.

Ces logiciels de simulation d'abattage requièrent: un ordinateur IBM PC/AT ou un système compatible avec 640 kilobytes de mémoire accessible; un compilateur Fortran 77; et le logiciel GKS (Graphical Kernel System). Ces derniers, Fortran et GKS, sont vendus par différentes compagnies. Ces logiciels peuvent aussi exécuter sur d'autres types ordinateurs plus puissants.

L'exécution du logiciel de simulation pour l'abattage vertical rabattant (VCRM) requiert que l'utilisateur prépare certains fichiers de données. L'un de ces fichiers contient les données de dimension du chantier. Un autre fichier contient le numéro des forages et leurs coordonnées à différentes élévations. Le dernier fichier contient les données des courbes de cratère. Lors de l'exécution du logiciel, l'utilisateur doit spécifier, en répondant aux questions, le type et les caractéristiques de l'explosif utilisé, et les propriétés physiques de la roche.

Le logiciel VCRM produit un rapport tabulaire des résultats. Ces tableaux indiquent aux ingénieurs le type d'explosif, la période de délai, la charge des explosifs, le numéro et le nombre de délais, ainsi que la localisation de la charge dans le trou de forage. La figure 8 montre un plan du profil de l'abattage vertical rabattant. Les chiffres sur le diagramme représentent différentes élévations. Le tableau 2 montre un exemple de certains résultats de simulation d'abattage par la méthode verticale rabattante.

Le logiciel pour la méthode d'abattage par bancs (LDBB) requiert la préparation, par l'utilisateur, de fichiers de données avant l'exécution. Un des fichiers contient les dimensions du chantier. Un deuxième fichier contient les coordonnées des forages à certaines élévations. Un troisième fichier contient les coordonnées pour le bris hors-profil. Le

dernier fichier contient les coordonnées du front de taille. Lors de l'exécution du logiciel, l'utilisateur doit spécifier, en répondant à des questions, les types et caractéristiques des explosifs utilisés, certaines propriétés physiques de la roche et il doit aussi indiquer la séquence de sautage.

L'exécution du logiciel pour la méthode d'abattage par bancs produit un rapport tabulaire des résultats. Le rapport donne pour chaque banc les résultats suivants: le numéro de forage avec la période de délai, la charge et le type d'explosif, le pourcentage et grosseur de la fragmentation du roc, et un plan montrant le profil du sautage et la positions des forages. La figure 9 illustre un exemple des résultats du logiciel pour un banc. Le tableau 3 montre un exemple du résumé des résultats de l'abattage par bancs.

Le dernier logiciel, **PGRAPH**, est optionnel et ne sert pas pour la simulation d'abattage. Ce logiciel graphique utilise le 'Graphic Kernel System' (GKS) pour dessiner au choix sur le moniteur, la table traçante ou l'imprimante des plans de localisation des forages et des coupes.

Les fichiers de données utilisés par **PGRAPH** ont été créés lors de l'exécution des logiciels **VCRM** et **LDBB**. **PGRAPH** est un logiciel interactif et simple d'utilisation. L'utilisateur, en répondant à des questions, choisit les options pour l'exécution et le traçage de plans ou de coupes avec les résultats du sautage, tels que le poids de la charge, les délais et localisation de la charge le long du forage. Les figures 10 et 11 illustrent une coupe en indiquant la position et la charge le long du forage.

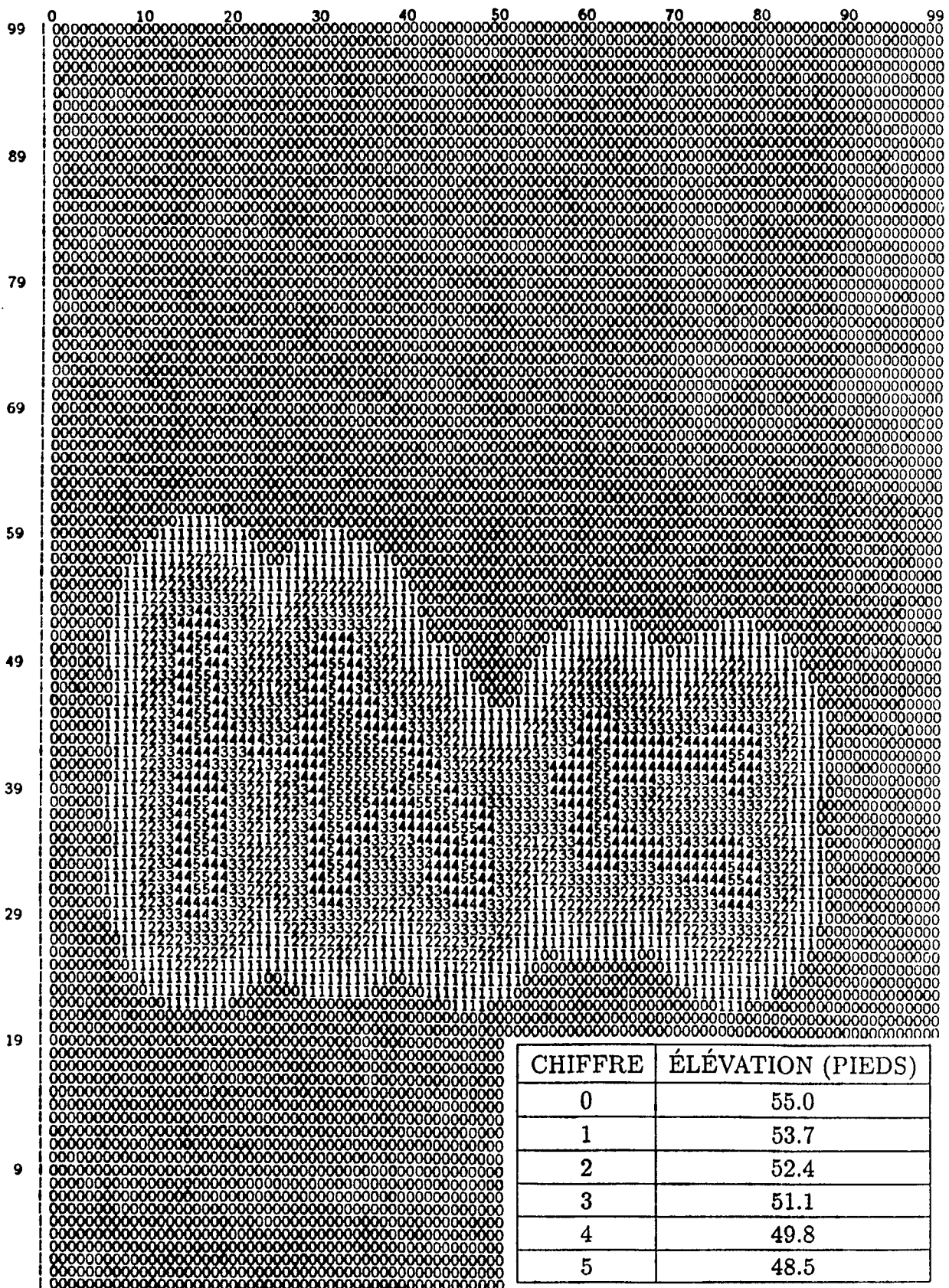


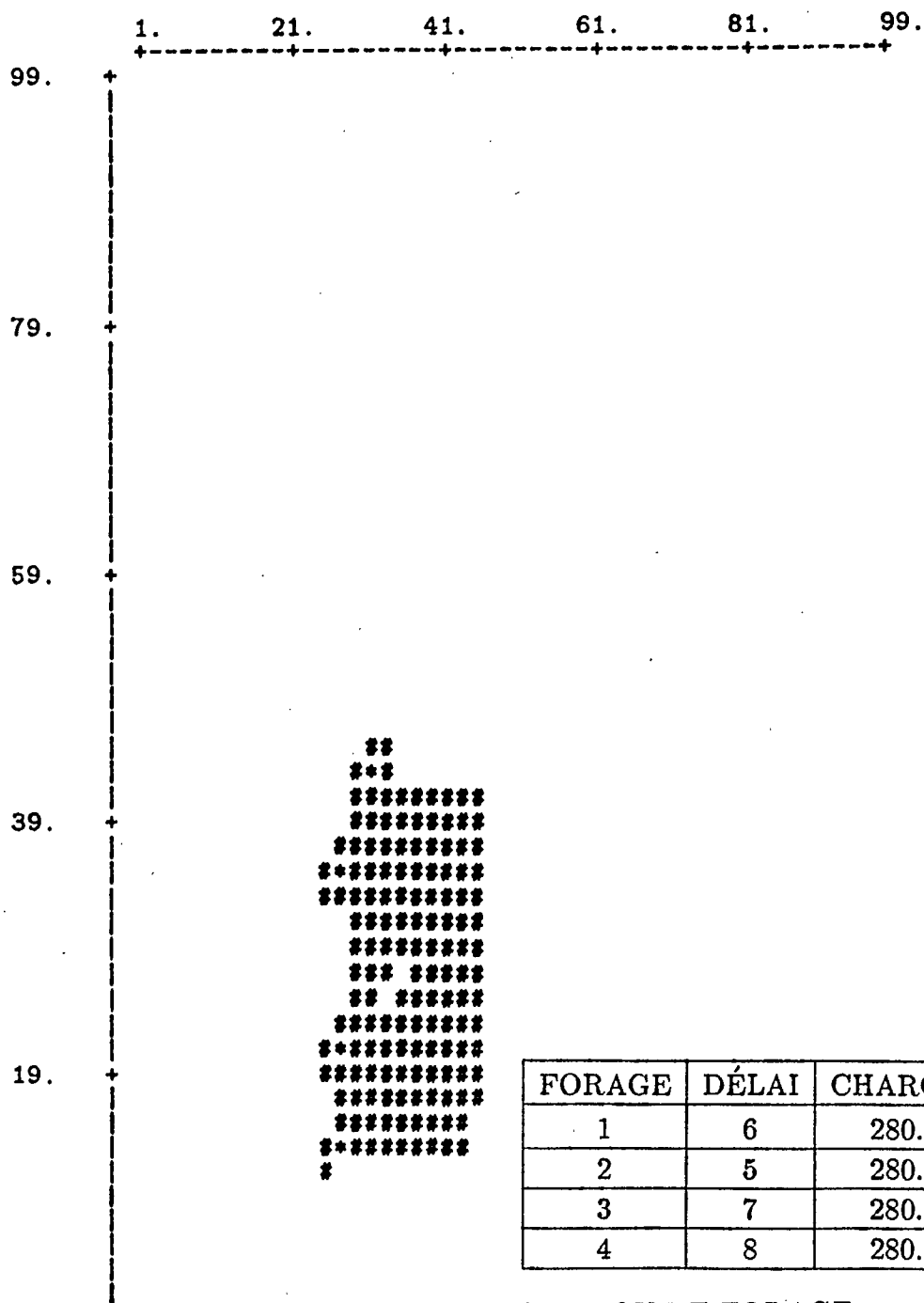
Fig. 8 — Plan du profil d'abattage vertical rabattant

Tableau 2 — Résultats de simulation d'abattage vertical rabattant

# DU DÉLAI	NOMBRE
1	1
2	3
3	2
4	1
5	1
6	2
7	1
8	1
9	2

FORAGE	LOCALISATION	CHARGE	# DU DÉLAI
1	51.	71.	3
2	51.	71.	2
3	50.	71.	1
4	50.	71.	2
5	51.	71.	4
6	51.	71.	2
7	50.	71.	3
8	51.	71.	6
9	50.	71.	6
10	51.	71.	8
11	51.	71.	7
12	51.	71.	9
13	50.	71.	9
14	50.	71.	5

POIDS TOTAL DES EXPLOSIFS : 993. LBS
 TONNAGE DE ROCHE BRISÉE : 781. TONS



* - TROU DE FORAGE
 # - ROCHE BRISÉE

Fig. 9 Résultats du niveau 4, abattage par bancs.

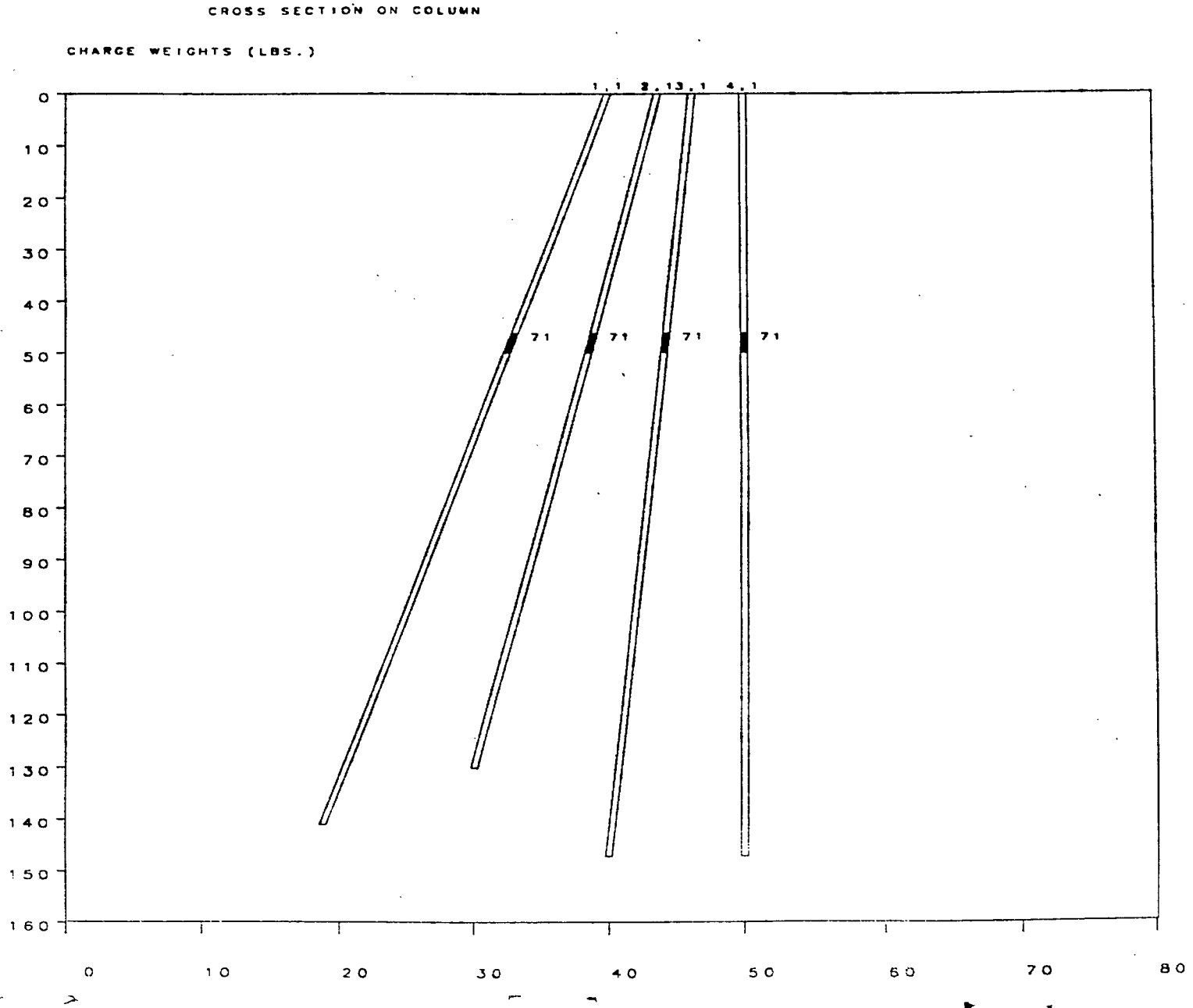
Tableau 3 — Résumé des résultats de l'abattage par bancs

# DU DÉLAI	NOMBRE
1	1
2	2
3	3
4	3
5	3
6	3
7	1
8	1

INSTRUCTIONS POUR LE SAUTAGE				
FORAGE	LOCALISATION DE LA CHARGE	CHARGE	# DE DÉLAIS	EXPLOSIF
1	92.	275.	2	ÉMULSION
	69.	275.	3	ÉMULSION
	46.	270.	4	ÉMULSION
	23.	280.	6	ÉMULSION
2	92.	275.	1	ÉMULSION
	69.	275.	2	ÉMULSION
	46.	270.	3	ÉMULSION
	23.	280.	5	BOUILLIE
3	92.	275.	3	BOUILLIE
	68.	275.	4	BOUILLIE
	45.	270.	5	ÉMULSION
	22.	280.	7	BOUILLIE
4	92.	275.	4	ÉMULSION
	69.	275.	5	ÉMULSION
	46.	270.	6	ÉMULSION
	24.	280.	8	BOUILLIE

POIDS TOTAL DES EXPLOSIFS 4400. LBS.

Fig. 10 — Coupe montrant les forages avec localisation et poids de la charge



CROSS SECTION ON COLUMN

CHARGE WEIGHTS (LBS.)

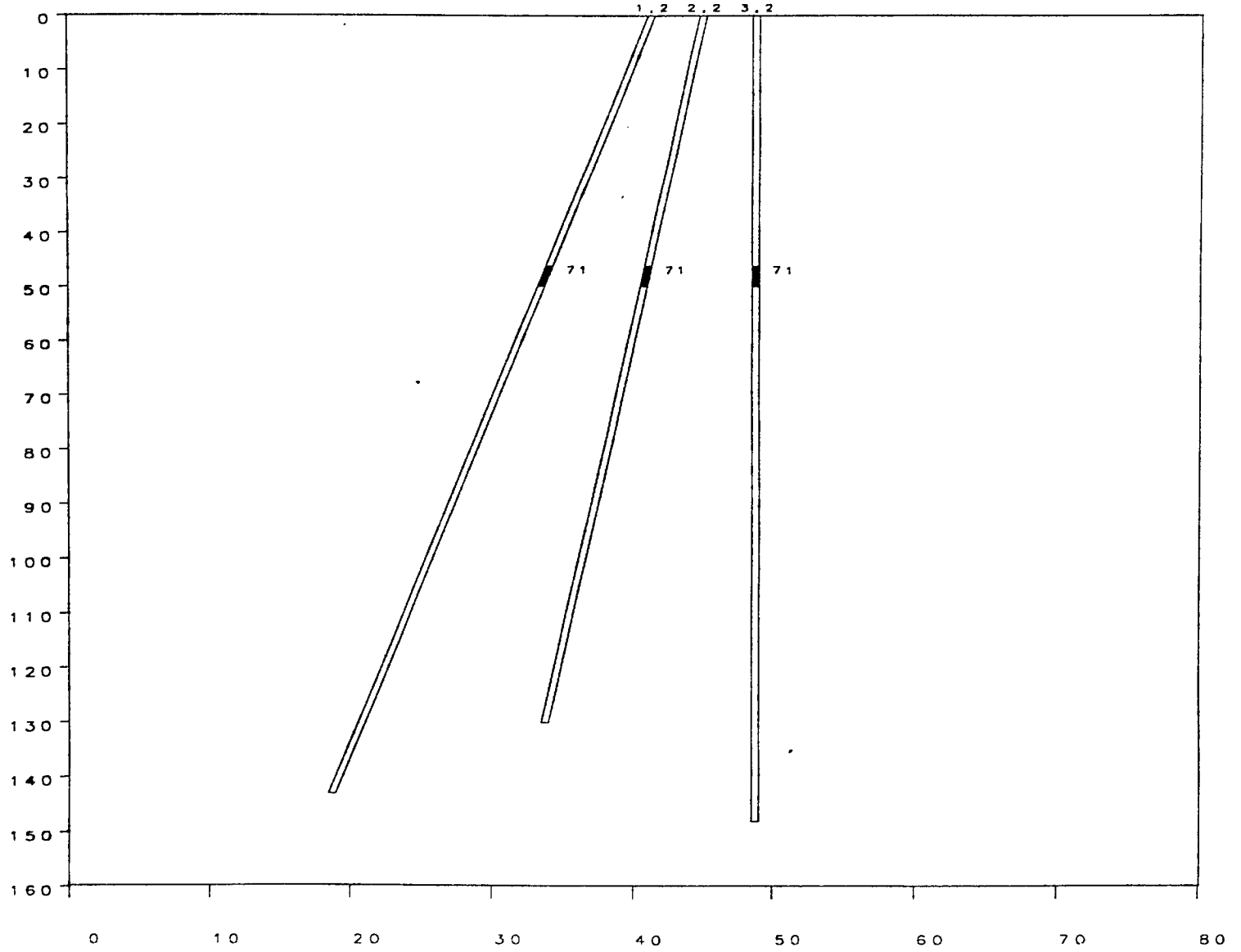


Fig. 11 — Coupe montrant les forages avec localisation et poids de la charge

Le logiciel PCBEM

L'analyse des problèmes de stabilité des masses rocheuses aux abords d'ouvertures en souterrain sont un des aspects vitaux d'une exploitation minière. Le logiciel **PCBEM**, avec son code source, permet la solution en deux dimensions de ces problèmes par la méthode des éléments frontières. Plusieurs types de mesures de contraintes de terrain peuvent être traités selon cette méthode.

Le logiciel fonctionne sur un IBM-PC ou autres systèmes compatibles. Il est écrit en Fortran 77, incorporant le Fortran professionnel IBM et le groupe de graphiques CGI. Les sorties graphiques peuvent être examinées sur un moniteur PC et/ou imprimées sur une imprimante à matrice de points. Le logiciel comprend:

- 1) un code source
- 2) un traitement graphique à partir des fichiers numériques.

Le développement du logiciel **PCBEM** fait partie d'un important projet, dirigé sous les hospices du CANMET, suite aux ententes Canada/Manitoba sur la recherche et le développement minéral (voir appendice 'A'). Ce logiciel a été développé, notamment, pour améliorer le contrôle de terrain et la planification minière de la mine Ruttan.

Le code source du **PCBEM** est une version améliorée du logiciel **BITEM** (version 3.2) développé par l'Organisation de recherche industrielle du Commonwealth scientifique d'Australie, le CSIRO. Il est basé sur le logiciel **BITE**, développé par P. C. Riccardella durant ses travaux de doctorat à l'université Carnegie-Mellon.

Pour cerner le problème, on considère des zones rocheuses comme étant des bandes élastiques linéaires composées de matériel aux propriétés isotropiques et homogènes. Un maximum de cinq zones peut être traité avec un nombre total de 200 noeuds.

Le logiciel permet de résoudre les problèmes d'élasticité en 2-D pour le matériel rocheux homogène, pour un solide isotropique et élastique en utilisant l'équation de la méthode frontière intégrale qui considère des variations linéaires de déplacement et de traction le long de segments frontières. Il permet de varier les combinaisons déplacement-traction des conditions frontières. Le logiciel modélise un espace plein infini constitué d'une zone rocheuse comme enveloppe géométrique.

La méthode frontière intégrale utilise l'information provenant de la surface frontière, de façon à analyser une zone solide tout en facilitant l'acquisition de données. Il en résulte:

- une formulation simple du problème,
- une précision comparable à la méthode 2-D des éléments finis,
- une interprétation facile des graphiques.

L'utilisation du logiciel **PCBEM** exige de bien définir les points suivants:

- a) géométrie frontière et conditions de noeuds,
- b) les propriétés élastiques de chaque zone,
- c) les points extérieurs frontières où les contraintes et déplacements doivent être évalués.

Le problème de symétrie et la production automatique de noeuds sont utilisés.

Le traitement graphique des données offre les options suivantes:

- 1) imprimer la configuration du problème,
- 2) imprimer les contours des contraintes de cisaillement principales, secondaires et maximales ,
- 3) imprimer la trajectoire des contraintes,
- 4) imprimer la configuration frontière déplacée,
- 5) donner les critères de rupture.

Ces derniers sont basés sur l'identification des zones de tension et des critères de rupture de la masse rocheuse.

Les figures 12 et 13 sont des exemples de résultats graphiques que l'on obtient grâce au logiciel **PCBEM** pour les contours de contraintes principales et le critère de rupture.

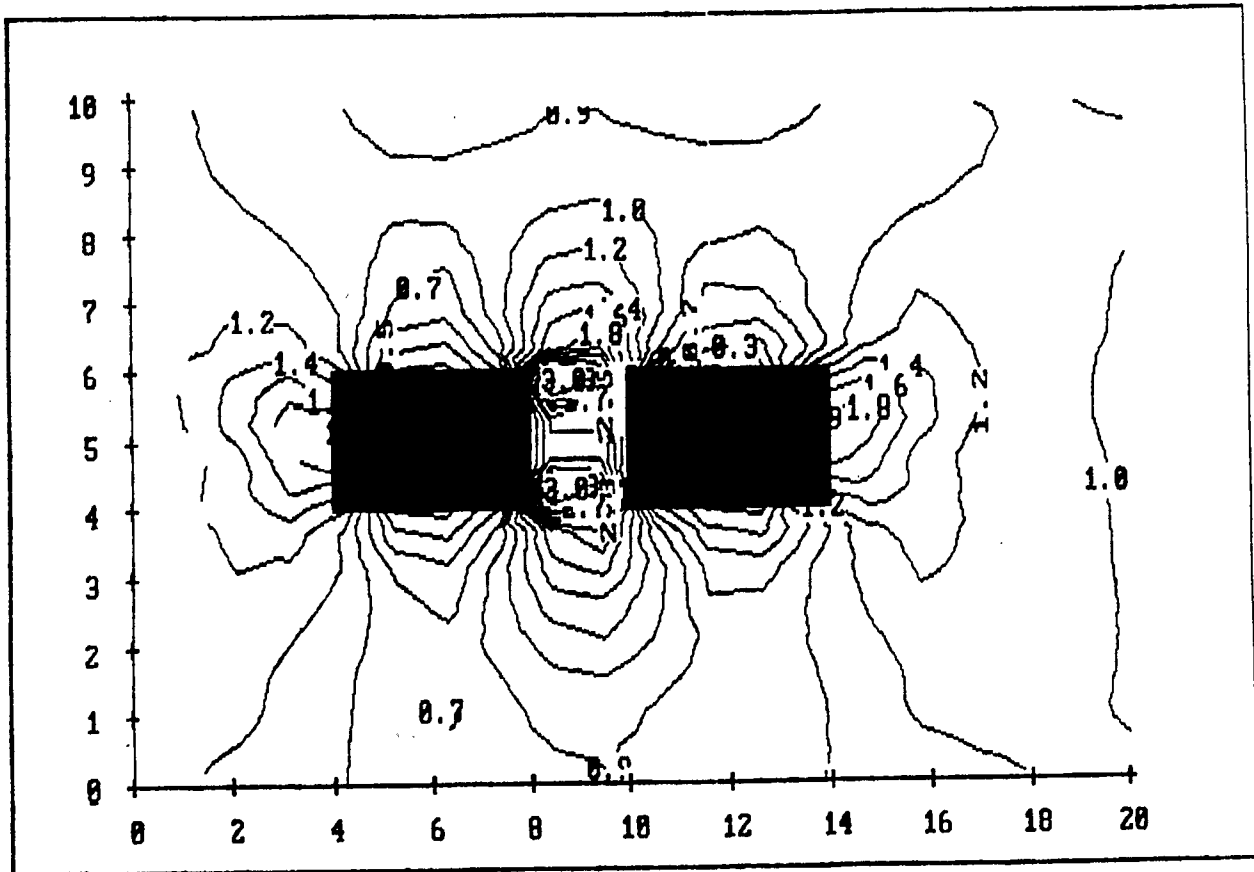


Fig. 12 — Contour des contraintes principales (MPa, KPSI, KPSF)

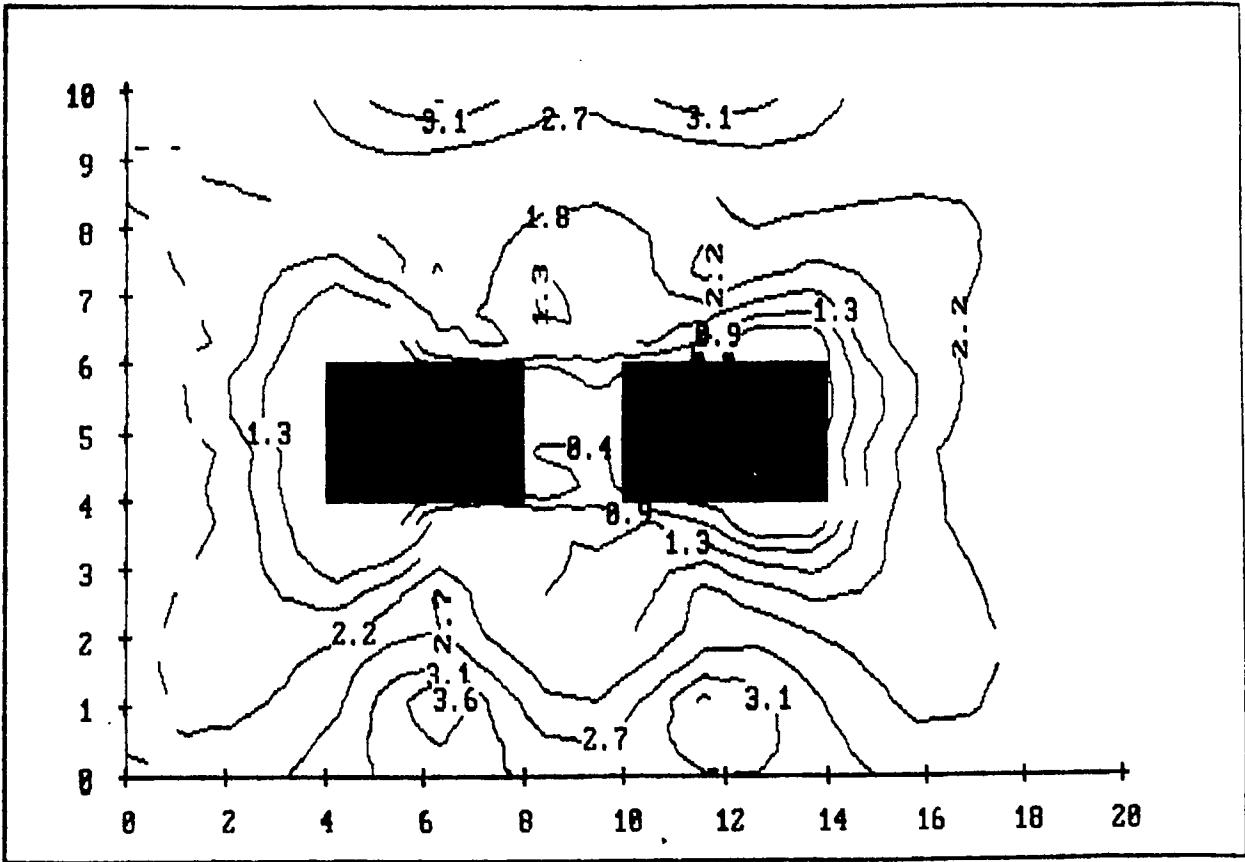


Fig. 13 — Contour du facteur de sécurité: critère de rupture

CONCLUSION

Certains exemples de ce rapport indiquent des résultats de quelques logiciels d'ordinateur du CANMET sur le calcul des réserves minérales, sur la simulation d'abat-tage pour les mines souterraines et sur la simulation des contraintes d'ouvertures souterraines.

Le développement technologique des dernières années dans le domaine de l'informatique a ouvert un marché toujours croissant pour les ordinateurs et les logiciels. Ce progrès technologique, qui ne cesse d'évoluer, offre un outil de plus aux ingénieurs pour les assister dans leurs tâches, afin d'optimiser l'exploitation minière.

L'informatique ouvre un futur où les ordinateurs et les logiciels seront des outils essentiels pour la viabilité et la survie de l'industrie minière du Canada dans un marché international très compétitif.

REFERENCES

- Boyer, A. (1985) *Bibliography Of Non-Confidential ORAG Reports From 1975 to August 1985*, CANMET, MRL Div. Report 85-107(TR), 10pp.
- Boyer, A. and Boyle, R. (1987) *A User-Manual of the CDDE/1.0 Computer Program — Optimization of Drill Log Data Entry into a Computer Data Bank*, CANMET, MRL Div. Report 87-8(TR), 108pp.
- Boyer, A., Billette, N. and Boyle, R. (1987) *Orebodies and Mine Planning 3-D Modelling, Phase I: Geological Contours and Ore Reserves*, CANMET, MRL Div. Report 87-126 OPJ), 10pp.
(pour présentation à CAMI, Québec, du 7 au 9 mars 1988, et publication dans le volume des conférences)
- Sabourin, R. (1982) *Guide For Coding Drillhole Data From Uranium Deposits, Version 3*, CANMET, MRL Div. Report 78-42(OP), 41pp.
- Sabourin, R. (1983a) *Computer Use in Resource Evaluation — CANMET's System For Mineral Reserve Evaluation*, CANMET, MRL Div. Report 83-1(TR), 21pp.
- Sabourin, R. (1983b) *Made In Canada Software Brings Mining Into Computer Age*, GEOS 12, No. 3, pp.20-21.
- Mining Resource Eng. Ltd., Lacourse, P. et Boyle, R. (1987) *Computer Blast Design Programs for Underground Stopes (User Manual for Programs VCRM, LDBB and PGRAPH)*, MRL Div. Report 87-107 (TR), 72p.

APPENDICE 'A'

**Information supplémentaire concernant les détails
pour acheter les rapports et les logiciels**

Pour de plus amples renseignements concernant la disponibilité des Systèmes du CANMET pour l'évaluation des réserves minérales (CADD/GEM) et aussi des logiciels VCRM, LDBB, PGRAPH et PCBEM, prière de contacter:

Agent d'information sur la technologie minière (R. Blake)

Division de l'information technologique

CANMET

Énergie, Mines et Ressources, Canada

562, rue Booth

Ottawa (Ontario)

K1A 0G1

Téléphone: (613) 995-4029

Le développement du logiciel PCBEM fait partie d'un important projet, dirigé sous les auspices du CANMET, suite aux ententes Canada/Manitoba sur la recherche et le développement minéral. Le manuel intitulé "Ground stability evaluation with particular reference to an en echelon orebody" par Sherritt Gordon Mines Ltd., décrit les résultats de travaux (task-2) de recherche du projet 1 concernant la revue des systèmes de classification de masse rocheuse se rapportant aux mines souterraines.

FICHER ASC NO. 14SQ.23440-4-9147-1 .

NO. DE SÉRIE ASC DU CONTRAT 0SQ84-00330

PROJET CANMET NO. 4-9147-1

DÉLÉGUÉ SCIENTIFIQUE DU CANMET: Dr. Somchet Vongpaisal.

Le projet de développement de logiciels sur la conception de sautage en souterrain provient d'un contrat octroyé à "Mining Resource Engineering Limited" par CANMET/MRL, et sous la supervision scientifique de ce dernier. Le rapport est intitulé: "Computer Blast Design Program Evaluation for Large Diameter Blasthole Stopes Underground".

FICHER ASC NO. 03SQ.23440-5-9086

NO. DE SÉRIE ASC DU CONTRAT OSQ85-00139

PROJET CANMET NO. 5-9086

DÉLÉGUÉ SCIENTIFIQUE DU CANMET: Dr. J. Pathak

