

1-7990875



Energy, Mines and  
Resources Canada

Energie, Mines et  
Ressources Canada

## CANMET

Canada Centre  
for Mineral  
and Energy  
Technology

Centre canadien  
de la technologie  
des minéraux  
et de l'énergie

### L'INSTRUMENTATION DÉDIÉE AU CONTRÔLE DES TERRAINS

G. Herget et M.C. Bétournay

Laboratoire de Technologie Minière Canadienne

DÉCEMBRE 1987

Présenté à Val D'Or, Québec, février 24-25, 1988.

Compte Rendu du séminaire CANMET, Val D'Or, p. 165-184, CANMET,  
Energie Mines et Ressources Canada; 1988

Session du Séminaire CANMET de Val d'Or, février 1987, inclu dans le  
compte rendu, p. 165-184.

LABORATOIRE DE RECHERCHES MINIÈRES  
RAPPORT DE DIVISION MRL 87-154 (OP,J)

MRL 87-154 (OP,J) Fe.2  
Fe.2  
(J,OP) 451-48 TRW

WRT 81-124 (06'2) F6.3

WRT 81-124 (06'2) F6.3

Canmet Information  
Centre  
D'information de Canmet  
JAN 28 1997  
555, rue Booth ST.  
Ottawa, Ontario K1A 0G1

## INTRODUCTION

La modélisation numérique est maintenant un outil de planification populaire pour identifier la planification minière sécuritaire et efficace. Pour des évaluations de stabilité, les modèles numériques requièrent des données de résistance du roc en place et de ses déformations, qu'elles soient obtenues par des essais d'échantillons, cartographie géologique, essais en place ou valeurs de contraintes naturelles - celles-ci obtenus par des méthodes coûteuses.

Idéalement, chaque paramètre requis d'une modélisation numérique devrait être connu avant qu'une telle analyse soit faite. Ceci n'est pas convenable dans plusieurs cas puisqu'il n'existe aucun accès à divers secteurs souterrains au début d'une mine et que des conjectures expertes sont requises.

Donc, du travail de terrain est requis au site minier pour améliorer les paramètres d'entrée requis par les modèles numériques et pour faire le suivi d'ouvertures en ce qui concerne la stabilité des murs et toits pendant l'extraction minière en vue de confirmer la validité de ces mêmes paramètres d'entrée.

La section mécanique des roches des LRM/CANMET a développée au cours des années plusieurs procédures et équipements pour identifier les contraintes dans les terrains, les changements de celles-ci à cause de l'activité minière et des instruments d'inspection pour détecter des ruptures de massifs rocheux. Ces trois items sont décrits en détail comme suit:

### MESURES DE CONTRAINTES NATURELLES

Dans la dernière partie des années soixante, les Laboratoires de recherches minières furent les pionniers dans les mesures de contraintes en place avec sur carottage du Bouclier Canadien. A cette époque, la cellule Sud Africaine "doorstopper" avec surcarottage et la sonde de

déformation du U.S. Bureau of Mines étaient les seuls outils capables de produire des données sûres. Depuis, un effort considérable a été fait au niveau du développement de nouvelles procédures et d'instrumentation. Il existe maintenant une variété de méthodes pour déterminer ou estimer les contraintes en place. Celles-ci varient, des plus populaires telles les méthodes de surcarottage, jusqu'à la fracturation hydraulique. Reste-t-il que la mesure de contrainte en place est toujours très coûteuse et demande une planification et préparation attentionnée. La figure 1 présente les instruments généralement requis pour faire les mesures de contraintes en place.

Les laboratoires de recherche minière du CANMET peuvent facilement fournir des listes d'outils et d'équipements requis pour la géométrie précise de forage pour le surcarottage et pour l'installation des sondes afin de mesurer la récupération de déformation du roc suite à l'enlèvement des contraintes. Dans toutes les variétés d'essais, on suppose que la roche est élastique. Cette supposition doit cependant être vérifiée en laboratoire sur des échantillons surcarottés.

Le principe de surcarottage est simple, figure 2. Le roc, à n'importe quelle profondeur, est compressé à cause de contraintes (horizontales et verticales) en existence dans le massif. Une fois que l'échantillon de roc soit enlevé de son milieu, tout comme un ressort il récupérera une forme libre de contraintes. Comme le module d'élasticité du roc est habituellement élevé, la récupération élastique ne s'élève qu'à de petites déformations. Celle-ci est de l'ordre de 0.005 mm. Une des demandes de mesures de contraintes en place est donc de déterminer ces minuscules déformations avec précision et fiabilité. Les figures 3-6 donnent les résultats de mesures faites à divers site miniers du Bouclier Canadien.

Les contraintes en place dans un massif rocheux ont des propriétés tri-dimensionnelles et requièrent des mathématiques pour calculer les contraintes à partir de mesures de récupération de déformation. Un nombre de logiciels sont disponibles pour cette tâche et peuvent être intégrés à des micro-ordinateurs portatifs pour que les mesures en place soient traitées rapidement. Chaque type de méthode de mesure crée sa

propre géométrie de forage et, conséquemment, requiert une analyse particulière pour obtenir les résultats désirés. Le CANMET peut facilement prêter assistance pour examiner les mesures de contraintes.

Il est rare que le taux de succès pour les mesures de contraintes par surcarottage dépasse 60%. Donc, sur 10 essais en place tentés, 4 sont faux due au fracturage du roc ou des problèmes mécaniques ou électriques.

Suite à 20 ans de mesures de contraintes au Canada, un bon nombre de résultats représentatifs ont été accumulés, spécialement pour quelques une des plus grosses mines du Bouclier Canadien. Récemment le CANMET à faites de telles mesures à des terrains très différents les uns des autres: hautement fracturé (Selbaie), massif (Niobec), toit schisteux et laminés (Eldrich et Montauban), épontes schisteuses et peu compétentes (Bousquet).

Les résultats obtenus par G. Herget, à divers sites miniers du Bouclier Canadien, sont illustrés aux figures 3, 4, 5 et 6. À la figure 3 on apperçoit que les résultats obtenus de mesures de contraintes soutiennent l'hypothèse que les contraintes verticales résultent du chargement gravitationel supérieur existant pour une profondeur particulière. Cependant, il est également évident que des valeurs, dépassant de beaucoup ce chargement, peuvent être observées. Celle-ci indiquent des localités situées près de variantes géologiques. Le gradient commun pour la contrainte verticale est de 0.026 à 0.032 MPa/mètre, les cas extrêmes se chiffrent à 0.060 MPa/mètre.

Pour démontrer comment la contrainte moyenne horizontale varie avec la profondeur, la figure 4 montre que des valeurs normales et extrêmes existent. Un gradient de 0.056 MPa reflète des valeurs élevées atteignant 14.45 MPa comme valeur d'intercepte à la surface. Mais la plupart des valeurs sont soit-disantes normales et se séparent en deux groupes:

- section 1, pour une profondeur de 0 à 800 mètres, avec un gradient de 0.058 MPa/mètre et la section 2, de 800 à 2,200 mètre, avec un gradient moins élevé de 0.011 MPa/mètre et un intercepte de 35.79 MPa.

Les mêmes tendances peuvent être obtenues en examinant le changement de rapport contrainte horizontal/vertical avec profondeur. La figure 5 illustre ceci pour le rapport contrainte horizontale maximale à la contrainte verticale avec profondeur qui se chiffre à un quotient 357 sur la profondeur plus 1.46. Cela veut dire que près de la surface, les contraintes horizontales peuvent-être plus que cinq fois les contraintes verticales et qu'à une profondeur de 500 mètres, ce rapport est réduit à moins de 2 mais demeure plus que 1.

La figure 6 présente une famille de courbes pour les rapports pour des valeurs maximales, minimales et moyennes de rapport de contrainte horizontale sur verticale.

Le CANMET est en voie de suppléer les données de contraintes naturelles qu'il détient. Un projet est voué à parfaire plusieurs mesures près de la surface au Québec et en Ontario pour établir qu'elles condition existent pour la création des piliers de surface, pour vérifier si de nouvelles régions sont conformes aux tendances dans le Bouclier Canadien et pour combler les manques de données. Jusqu'à date les mines Québécoises se conforment aux tendances.

#### SUIVI DE CONTRAINTES EN PLACE

La section précédente a identifier les méthodes de mesures de contraintes naturelles et les valeurs pour une grande partie du Bouclier Canadien. Il y a un autre élément que les exploitants miniers doivent considérés, l'effet de l'activité minière sur le champ de contraintes naturelles. Depuis plusieurs années on s'attardent sur le développement d'un instrument convenable à divers types de roc et qui mesurerait directement le changement de contraintes à un site particulier. On a obtenu un succès mesuré pour les roches tendres, ex. charbon et évaporite, mais non pour les roches dures.

Pour remplir ce besoin de suivre les résultats du changement de contraintes dû à l'extraction en roche dure, CANMET a développé une

nouvelle pièce d'équipement de grande précision qui mesure la déformation radiale de trous dans des massifs rocheux. Cet instrument, nommé le système de suivi de déformation des Laboratoires de recherche minière (MSMS), utilise le principe de la corde vibrante, mécanisme très stable et sensible, pour capter les déformations de larges trous de forage, ex. 10 à 15 cm de diamètre.

On perçoit des ressemblances à la gauge à corde vibrante IRAD, mais l'unité CANMET, illustré aux figures 7 et 8, incorpore des différences majeures. Cet appareil est fait d'un anneau calibré au travers duquel est tendu un fil vibrant à de basses fréquences, de 600 à 1,800 Hz.

L'appareil est installé avec un outil hydraulique et mis en contact avec le roc environnant à l'aide de coins machinés avec précisions. La sensibilité du système est de l'ordre de  $4 \times 10^{-4}$  mm/Hz. La ceuillette de données se fait à l'aide d'un poste de lecture portatif et il est également possible de faire une ceuillette continue.

Ce système fut testé avec la coopération du Centre de recherches minérales et la mine Niobec du Québec pour fin de surveillance des effets de fonçage de galerie de développement sur les contraintes environnantes. La figure 9 identifie la géométrie du site, localisé à environ 275 m sous terre.

Après que l'accès au site fut terminé, des trous de six pouces furent forés pour la mesure de contraintes naturelles puis utilisés pour installer ce système de suivi de déformations. Les effets du fonçage de galeries et de sautage de production sont bien évidents pour ce site.

Comme exemple, la figure 10 montre la relaxation horizontale de points localisés au centre de trois piliers suite à l'activité minière. Cette déformation a été de l'ordre de 0.082 mm à 0.111 mm. Les calculs de contraintes reliées à ces déformations indiquent que le roc, même avec le sautage et autre activité minière en cours dans le secteur, est toujours sous condition élastique.

## CAMÉRA-TÉLÉVISEUR DE TROU DE FORAGE

Le forage de trous est une activité essentielle dans l'extraction en roche dure; on les utilise pour le sautage, l'échantillonnage et l'installation de soutènement. Une caméra de trou de forage, à petit diamètre, utilise ces trous. Cette technologie, qui était disponible à l'industrie nucléaire pour l'inspection de tuyaux, a été modifiée pour l'utilisation souterraine. La figure 11 présente cet équipement, et démontre son utilisation sous terre. Un exemple d'image télévisée est présentée à la figure 12.

Cette caméra-téléviseur de trou de forage a été utilisée dans la région d'Elliot Lake pour l'inspection des conditions dans les toits et confirme la localisation de discontinuités correspondantes à celles observées dans les carottes. Avec cet appareil on a toujours l'avantage d'identifier la localisation exacte et l'ouverture des discontinuités en place. Comme cette caméra peut être installée dans un trou de seulement 38 mm de diamètre, il est relativement facile de forer des trous d'observations dans le toit ou dans l'éponte supérieure pour localiser les zones détachées. La figure 13 démontre comment la fréquence de discontinuités augmente vers le centre d'une ouverture et le niveau de fracturation dans chaque trou.

La caméra-téléviseur de trou de forage s'est montré très utile pour identifier l'emplacement désirable pour l'installation d'équipement de suivi tel l'ancrage pour les extensomètres de trous de sonde, piezomètres, détermination de contraintes ou essais de dilatomètre.





Fig. 1 - Outils pour les mesures de contraintes.



a) BX hole drilled to required depth, flattened and polished (diam. 0.06 m).



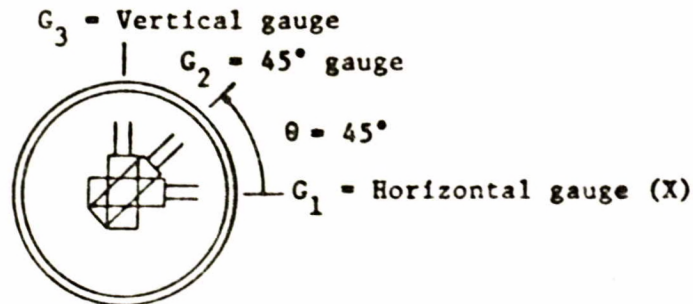
b) Strain cell bonded to end of hole.



c) Overcored strain cell.



d) Recovered test piece with strain cell.



e) Strain cell with stacked wire gauges.

Fig. 2 - Geometrie du trou de surcarrotage avec la cellule "doorstopper".

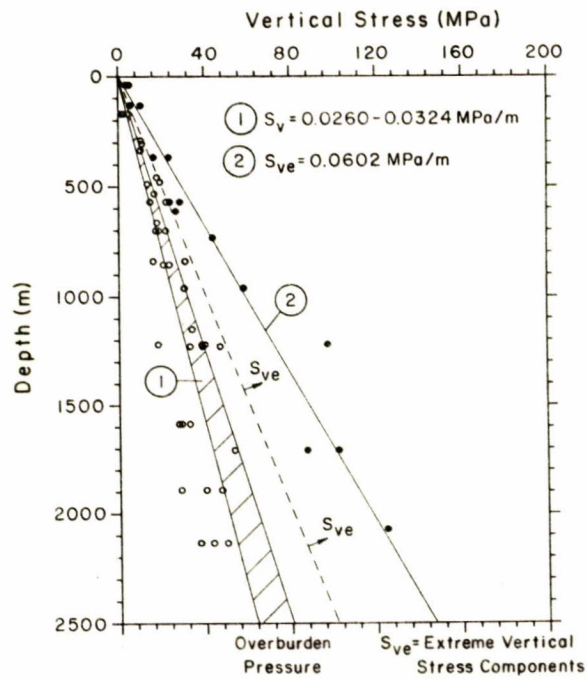


Fig. 3 - Augmentation de contrainte verticale avec profondeur.

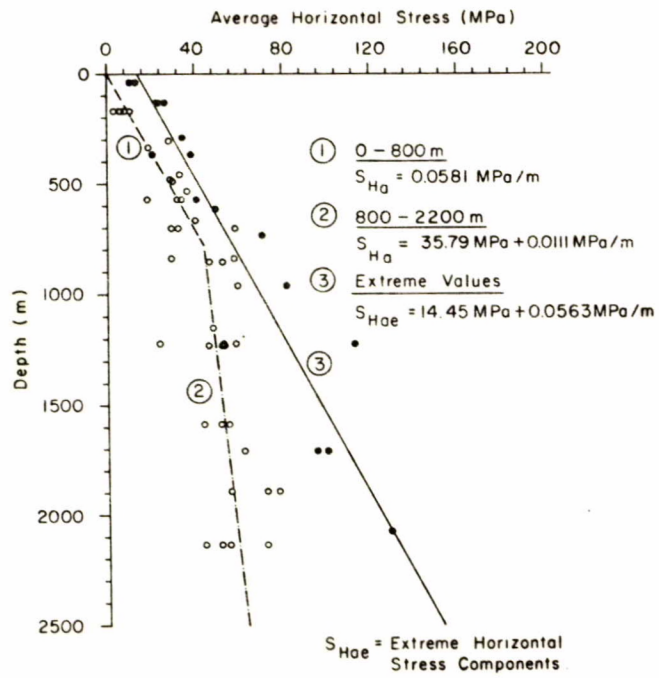


Fig. 4 - Augmentation de contrainte horizontale avec profondeur.

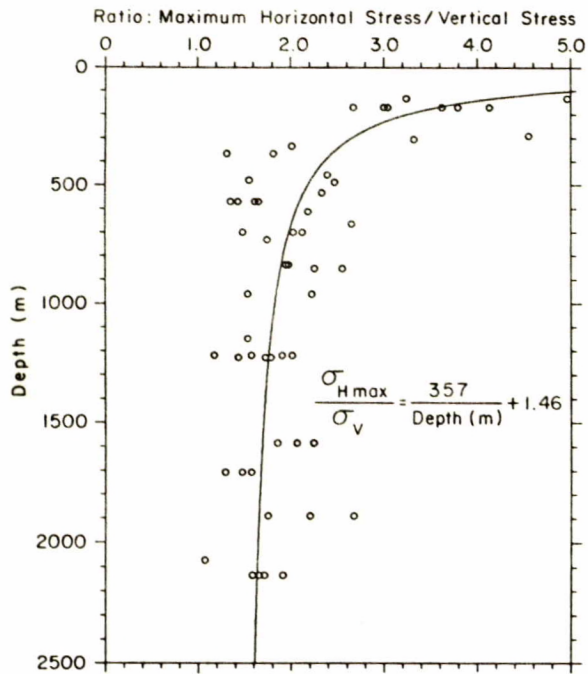


Fig. 5 - Augmentation du rapport contrainte maximale horizontale sur verticale avec profondeur.

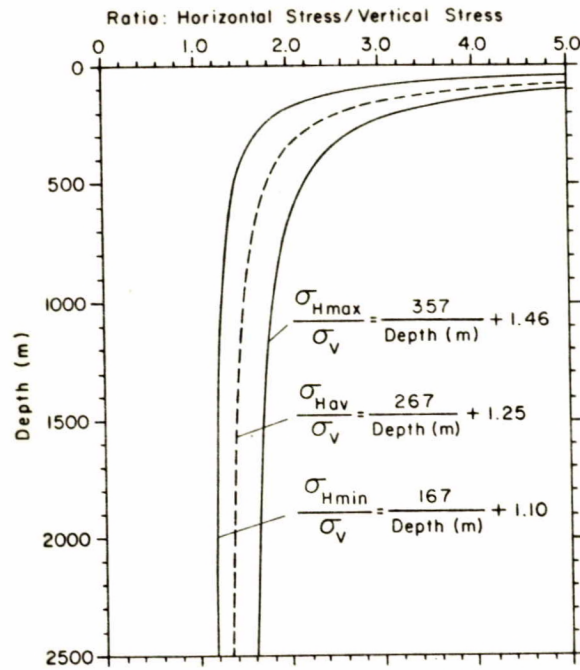


Fig. 6 - Ensemble de courbes pour représenter le rapport contrainte horizontale sur verticale avec profondeur.

PAGE NO.

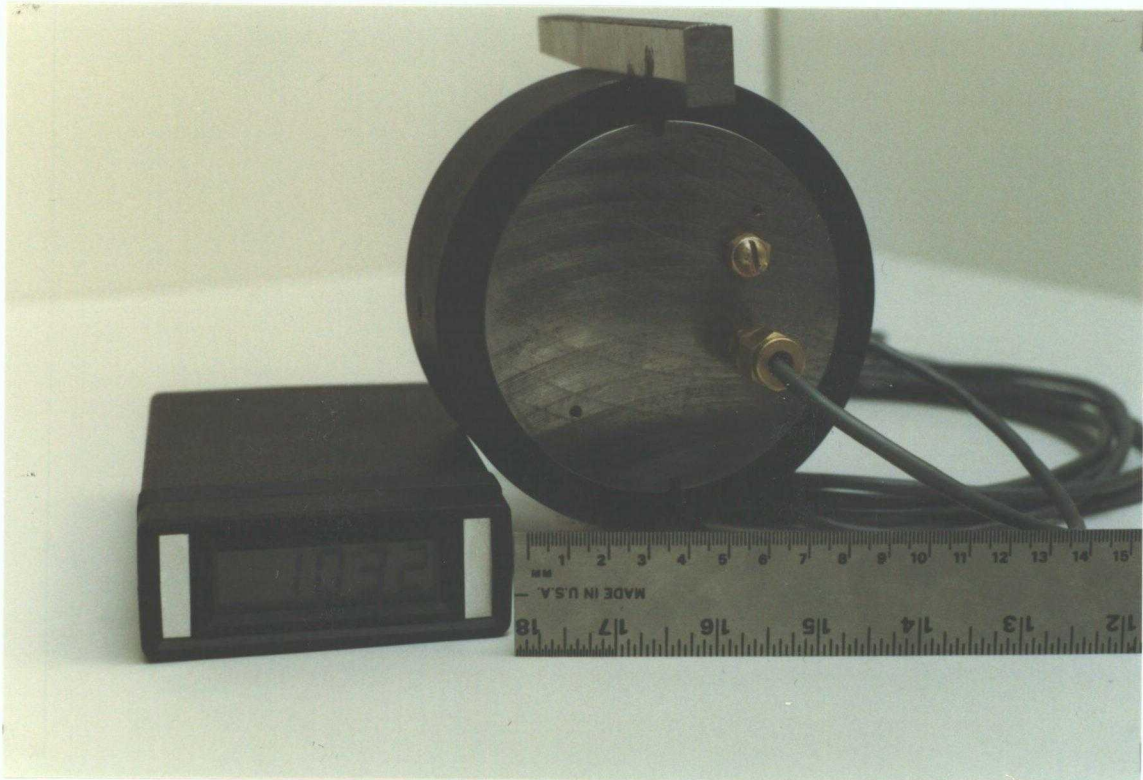


Fig. 7 - Système de mesure de déformation, anneau à corde vibrante.

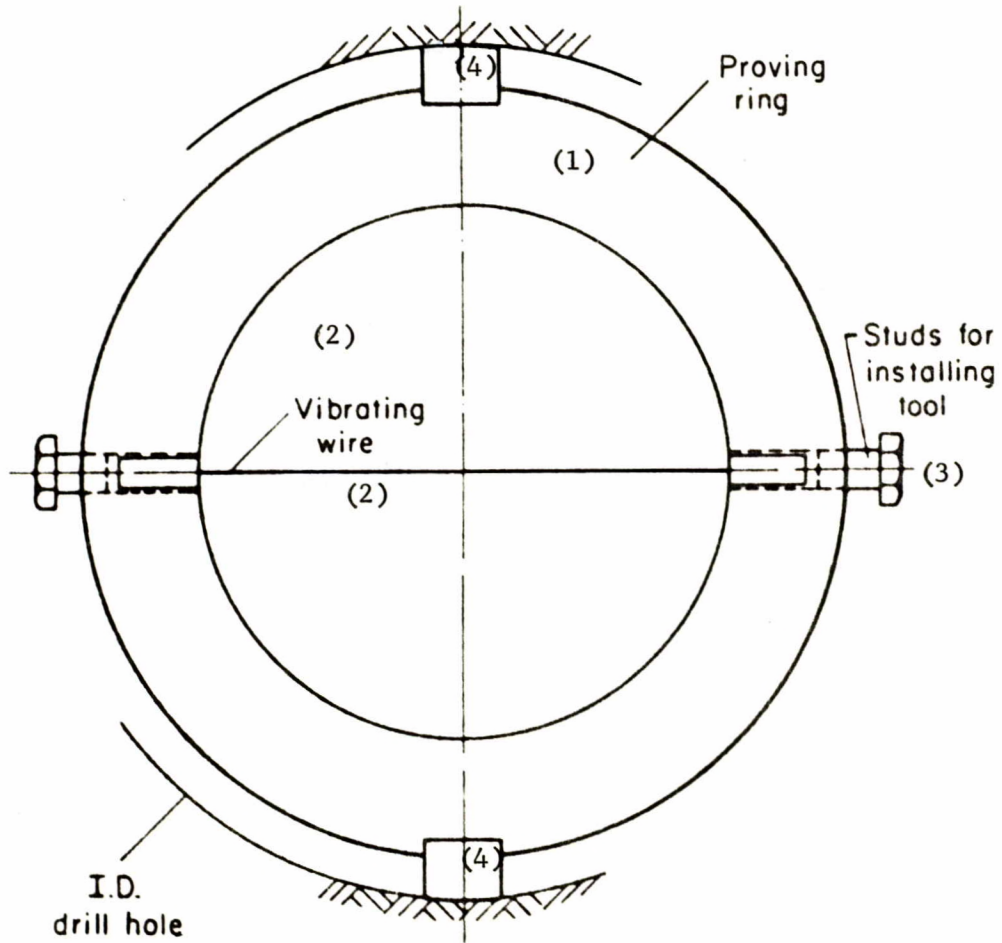


Fig. 8 - Anneau à corde vibrante en place: anneau (1), corde vibrante (2), boulons pour l'installation (3), coins pour le contact (4).



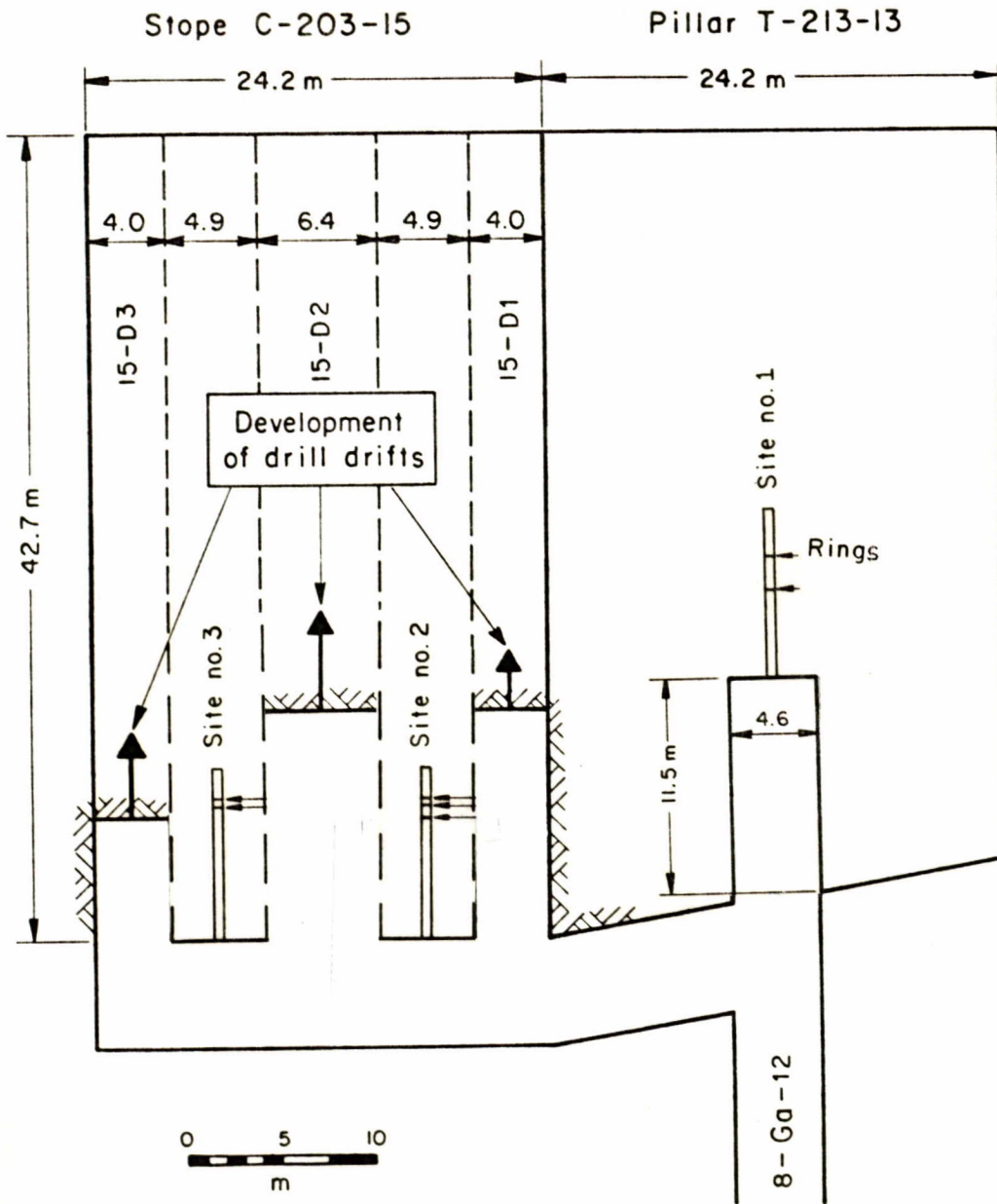


Fig. 9 - Location d'essais d'anneau à corde vibrante, mine Niobec.

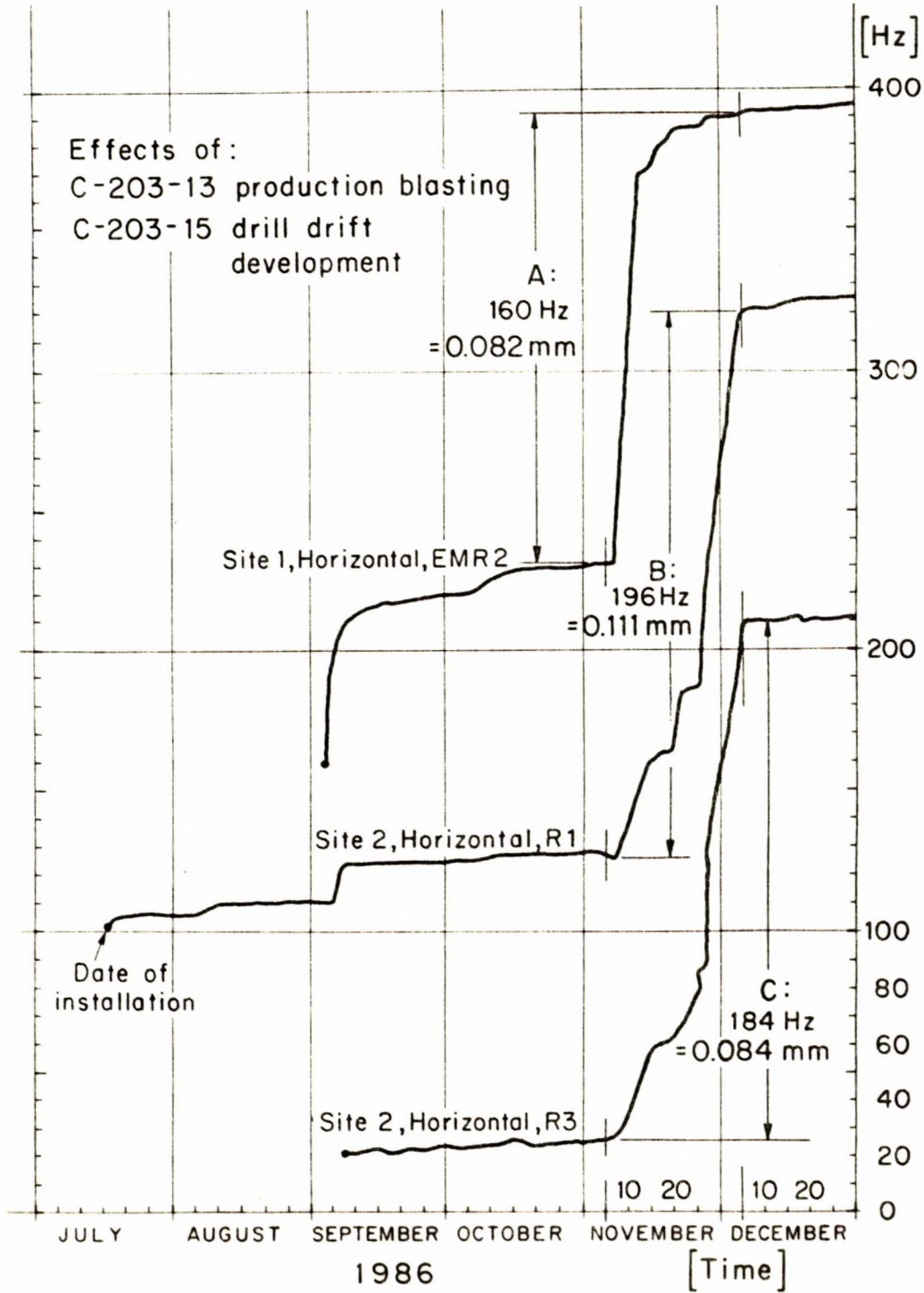


Fig. 10 - Résultat de suivi par anneau à corde vibrante: relaxation horizontale produit par le minage.



Fig. 11 - Caméra-téléviseur pour un trou de 38 mm, en usage souterrain.

This sheet is supplied for preparing plates by "Xerox" or photography. All material to be reproduced (typod, drawn or mounted) is to be kept within the boundary lines.

SINCE THE ORIGINAL TYPED COPY IS TO BE PHOTOGRAPHED, PLEASE WRITE ANY PROPOSED REVISIONS ON THE CARBON COPY ONLY.

Page No

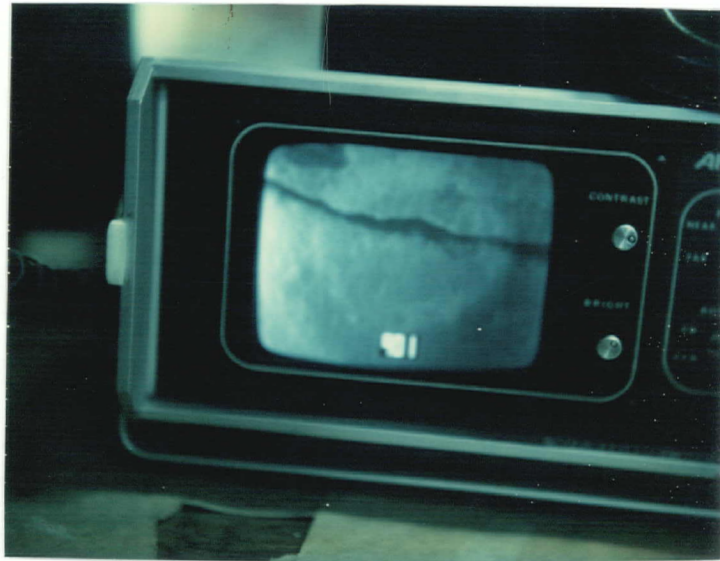


Fig. 12 - Fissure capté par la caméra-téléviseur.

NOTE THE ORIGINAL PHOTO COPY IS TO BE PROTECTED  
 ANY PROPOSED REVISIONS ON THE CARD COPY ONLY  
 FIELD PLEASE WRITE

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48

## TV INSPECTION

	<u>Hole 23173</u>	<u>23180</u>
	Near midspan	Near pillar
Number of cracks	14	7
Total rock separation millistrain	40 mm	10 mm
crack frequency	5.5	1.3
crack spacing	1.9/m	0.9 m

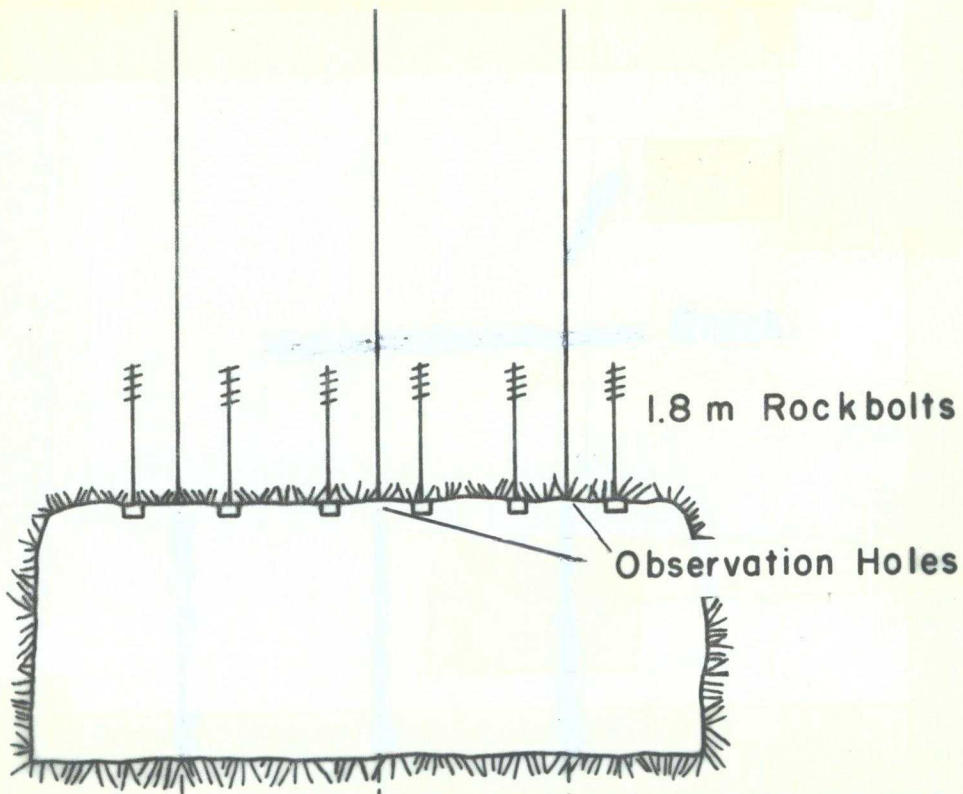


Fig. 13 - Distribution de fractures au toit captées par la caméra-téléviseur.

3

2

1

1

1

1