



Dept. Mines & Technical Surveys  
MINES BRANCH  
DEC 28 1966  
LIBRARY

DEPARTMENT OF OTTAWA, CANADA  
ENERGY, MINES AND RESOURCES  
MINES BRANCH  
OTTAWA

*SYSTEME DE DETERMINATION A  
DISTANCE DE LA VITESSE DE  
DETONATION DE FORTES  
CHARGES EXPLOSIVES*

G. E. LAROCQUE, F. KAPPELLER ET A. DARLING

FUELS AND MINING PRACTICE DIVISION

Réimprimé de Explosifs, N°3 - 1966  
pp. 81-89

© Crown Copyrights reserved

Available by mail from the Queen's Printer, Ottawa,  
and at the following Canadian Government bookshops:

OTTAWA

*Daly Building, Corner Mackenzie and Rideau*

TORONTO

*Mackenzie Building, 36 Adelaide St. East*

MONTREAL

*Aeterna-Vie Building, 1182 St. Catherine St. West*

or through your bookseller

A deposit copy of this publication is also available  
for reference in public libraries across Canada

Price 25 cents      Cat. No. M38 -8 /25

*Price subject to change without notice*

ROGER DUHAMEL, F.R.S.C.  
Queen's Printer and Controller of Stationery  
Ottawa, Canada

1966

# SYSTEME DE DETERMINATION A DISTANCE DE LA VITESSE DE DETONATION DE FORTES CHARGES EXPLOSIVES

par

G. E. LAROCQUE\*, F. KAPELLER\*\*

et

A. DARLING\*\*\*

## RESUME.

Les auteurs décrivent brièvement un ancien système utilisé par les Laboratoires de recherche en génie minier pour mesurer la vitesse de détonation explosive au cours d'essais sur le terrain. On souligne les faiblesses mécaniques et les défauts de ce système, qui empêchent son usage pour le contrôle de fortes charges d'explosif. On donne une description détaillée d'un appareil de contrôle robuste et d'une source de courant constant à transistors, mis au point pour remplacer l'appareil à source de courant constant, qui faisait partie de l'ancien système. Une nouvelle sonde d'explosif de remplacement est aussi décrite, et l'on donne un résumé des divers essais faits au cours de la mise au point des deux appareils mentionnés précédemment. Le nouveau a été utilisé avec succès avec 2000 pieds de câble entre la sonde d'explosif et l'appareil de contrôle,

fournissant un signal en forme de gradins, ayant un temps de montée de 2 à 3 microsecondes par gradin.

## INTRODUCTION.

Les observations sur place font partie des recherches des Laboratoires de recherche en génie minier sur les phénomènes d'accouplement entre la roche et l'explosif. Au cours de ces observations il est nécessaire de mesurer la vitesse de détonation des charges explosives confinées. Jusqu'à présent, les charges utilisées ont été faibles et enfouies au-delà de la profondeur critique, ce qui permet de placer les appareils de mesure très près des trous de tir. A l'avenir cependant, les essais sur le terrain comporteront de beaucoup plus fortes charges enfouies à la profondeur optimum quant à la formation de cratères. Ceci exigera un emplacement à une distance considérable du trou de tir pour les appareils de mesure les plus délicats utilisés pour déterminer la vitesse de détonation explosive. L'expérience a aussi montré qu'on a besoin d'une sonde d'explosif plus résistante mécaniquement et plus régulière-

\*Chargé de recherches principal, \*\*Technicien, Laboratoire de recherche en génie minier \*\*\*Chargé de recherches principal, Laboratoire de recherche sur les explosifs, Division des Combustibles et du génie minier, Direction des mines, Ministère des Mines et Relevés Techniques, Ottawa, Canada.

ment imperméable pour pouvoir faire partie des appareils de mesure.

Nous donnons ici la description d'une installation permettant l'emplacement éloigné de l'appareillage électronique utilisé pour enregistrer les signaux en gradins, produits par la sonde d'explosif, et d'après laquelle on détermine la vitesse de détonation. Nous décrivons aussi une nouvelle sonde d'explosif où les défauts mécaniques originaux ont été surmontés.

#### ANCIENNE METHODE DE MESURE DE LA VITESSE DE DETONATION SUR LE TERRAIN:

La **figure 1** montre la source de courant constant et la sonde de mesure, utilisées précédemment pour produire une variation de potentiel suivant une courbe en gradins, d'après lesquelles on déterminait les vitesses de détonation. La **figure 2** montre le schéma de la source de courant constant utilisée, qui est semblable à celle mise au point par le « U.S. Bureau of Mines » (1).

En pratique, des câbles relient la sonde enfouie dans l'explosif à la source de courant constant dans le poste d'observation, qui contient un oscilloscope et une caméra. Cette source de courant n'est pas assez robuste pour une installation de campagne, et n'a pas les possibilités de transmission par câble vers un emplacement éloigné du poste d'observation. Au-

trefois avec des charges plus faibles, on utilisait entre la sonde de mesure et la source de courant constant 250 pieds de câble à deux brins d'une impédance de 300 ohm. Ce câble était choisi parce que sa capacitance par unité de longueur était relativement faible. Avec une capacité accrue aux bornes de la sonde de mesure, on a observé une certaine détérioration de la forme d'onde produite.

La sonde de mesure est en fait double, soit une sonde de déclenchement et une sonde de courant. La première est constituée par une paire de fils isolés allant jusqu'au bout de la sonde : elle est du type à ionisation et donne un point de repère du temps initial quand on l'utilise avec un circuit générateur d'impulsions. La sonde de courant, elle, est constituée par une chaîne de résistances de 22 ohm-1/2 watt, enfermées dans une spirale de feuille de laiton de 1/100 de pouce d'épaisseur. Une suite de court-circuits de ces résistances avec la terre se produit lorsqu'un front de détonation de l'explosif de l'enveloppe se déplace le long de la sonde. Quand la sonde de courant est connectée à une source de courant constant, il se produit un signal en forme de gradins, d'après laquelle on détermine la vitesse de détonation. On utilise un oscilloscope avec une caméra couplée pour enregistrer les signaux de mesure de la vitesse de détonation.

La sonde de mesure de la **figure 1** fut rendue imperméable en la trempant dans de la cire.

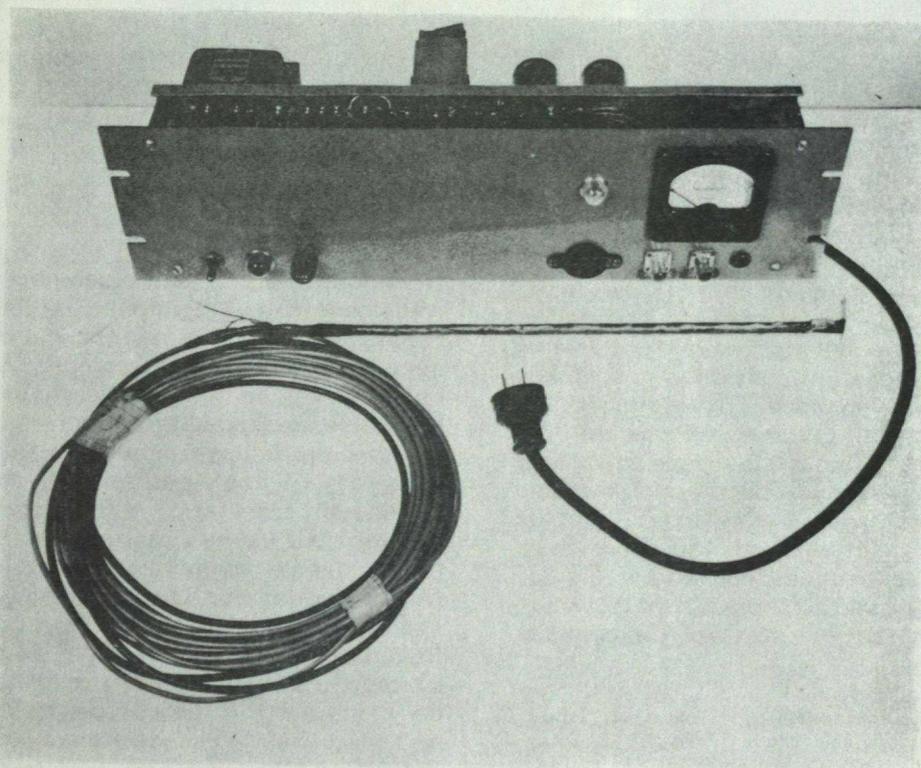


Figure 1. — Photographie des anciens appareils de source de courant constant et de la sonde à explosif.

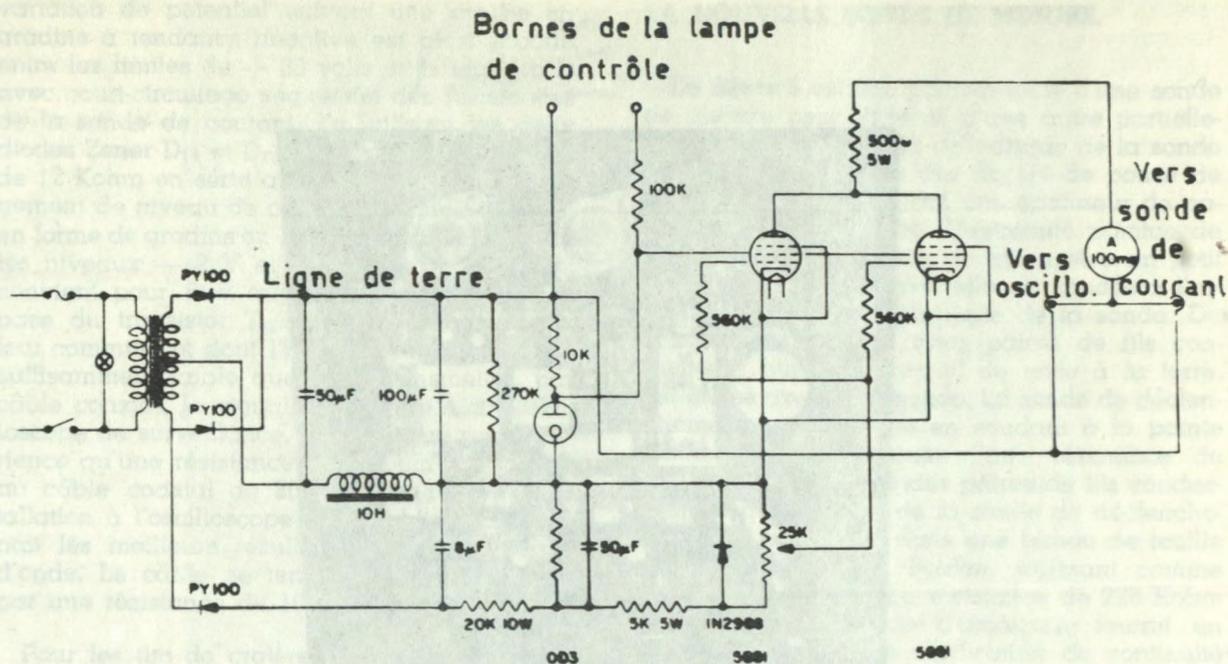


Figure 2. — Diagramme du circuit de l'ancienne installation de la source de courant constant.

Parfois, l'étanchéité s'est perdue par suite de la rupture mécanique de l'isolant au cours du bourrage de l'explosif. La bande de renforcement en « V » faite de laiton dans la sonde originale fut incorporée dans le modèle pour lui fournir une résistance mécanique accrue et empêcher les dégâts à la chaîne des résistances formant la sonde de courant. Ce renforcement mécanique se révéla pourtant insuffisant; parfois, pendant le bourrage, des sections de la chaîne de résistances de la sonde furent court-circuitées par suite de flambages.

A la suite de ces anciens essais sur le terrain, on jugea nécessaire de réaliser une nouvelle installation de source de courant constant pour des tirs d'essais d'explosifs plus importants prévus pour l'avenir. Il fallait une installation assez robuste pour être placée tout près du lieu d'essai, et qui pût fonctionner à la fois comme source de courant constant et comme système de commande de lignes. Une sonde de mesure plus robuste et étanche était aussi requise.

### DESCRIPTION DU NOUVEAU SYSTEME DE SOURCE D'ENERGIE ELECTRIQUE A COURANT CONSTANT.

La figure 3 est une photographie de la nouvelle installation de source de courant constant qui fut mise au point; la figure 4 est un schéma de principe du circuit du système. Les transistors  $T_1$  et  $T_2$ , ainsi que les diodes de

référence  $D_8$  et  $D_9$  avec des éléments passifs adjoints, fournissent entre les points A et B un courant continu stabilisé électroniquement à 45 volts. Les diodes  $D_5$  et  $D_6$  avec des éléments passifs adjoints forment un doubleur de tension qui fournit un courant continu grossièrement réglé à 90 volts entre les points C et B. En service normal, la sonde de courant, composée au maximum de quatorze résistances de 22 ohm soit un total de 308 ohm, est placée entre les points D et E. Le courant est maintenu constant à travers la sonde de courant par l'action combinée du transistor  $T_3$ , de sa charge d'émetteur et de la diode de référence de tension (Zener)  $D_{10}$ . Cette diode  $D_{10}$  établit une tension constante aux bornes de la charge d'émetteur de  $T_3$ . Si la charge d'émetteur ne varie pas, un courant constant traversera  $T_3$ , quelle que soit la charge au collecteur, qui est dans le cas présent la sonde de courant. Un potentiomètre, utilisé comme composant partiel de la charge d'émetteur, permet le choix du courant constant devant passer à travers la sonde de courant. Quant au temps de réponse de l'installation, le transistor  $T_3$  est un transistor à fréquence relativement élevée, et pour les besoins actuels on peut le considérer ainsi que le circuit associé comme ayant une réponse instantanée à tout changement dans la résistance de la charge de collecteur, maintenant ainsi un courant de collecteur constant. Avec une sonde complète de quatorze résistances de 22 ohm, la tension au point D est d'environ + 30 volts. Lorsque la sonde est entièrement court-circuitée, le point D est mis à la terre. Une

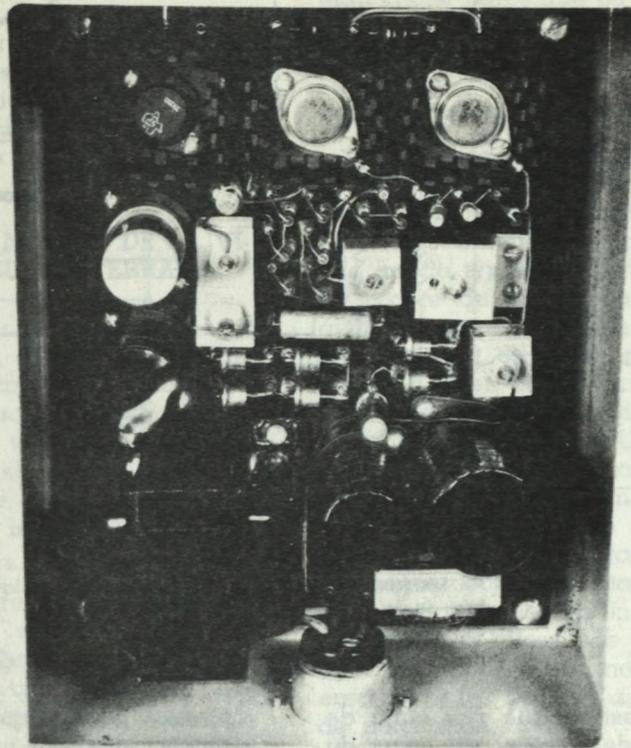
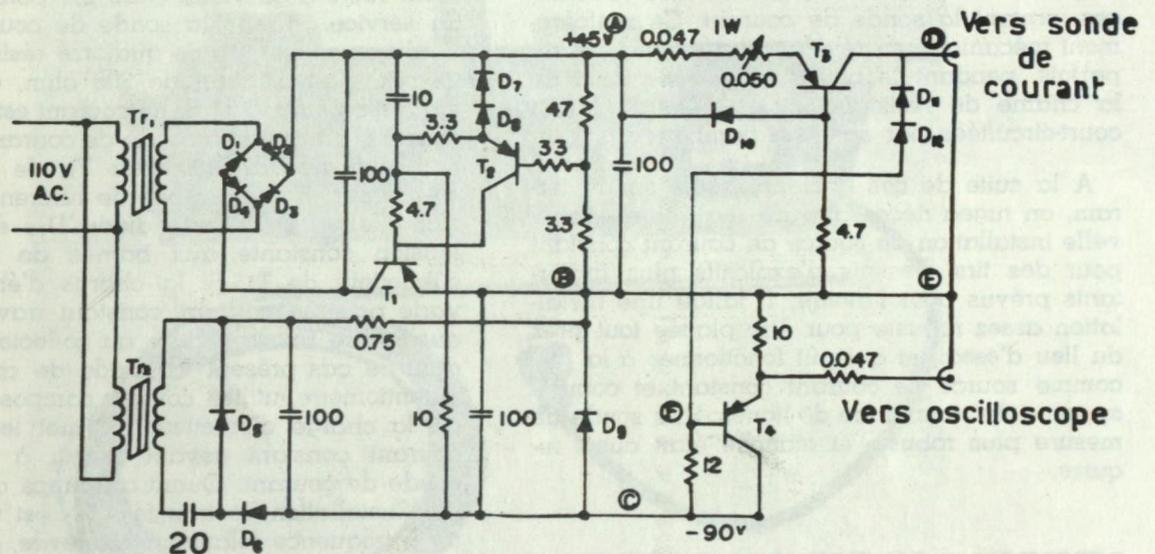


Figure 3. — Photographie de la nouvelle installation de contrôle et de la source de courant constant.



Note:

Toutes les résistances en kilohms.

Toutes les capacités en microfarads.

T<sub>1</sub> - 2N 250

T<sub>2</sub> - 2N 188A

T<sub>3</sub> T<sub>4</sub> - 2N 1046

Tr<sub>1</sub> - Hammond 1672

Tr<sub>2</sub> - Hammond 167W

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub>, D<sub>6</sub>, D<sub>8</sub>, D<sub>9</sub>, D<sub>10</sub> - BY 100

D<sub>7</sub> - 1N 2995

D<sub>3</sub> - D<sub>4</sub> - 1N 2970

D<sub>2</sub> - 3005

D<sub>1</sub>, D<sub>6</sub> - 1N 1316

Figure 4. — Diagramme de circuit de la nouvelle installation de contrôle et de la source de courant constant.

variation de potentiel suivant une courbe en gradins à tendance négative est ainsi produit entre les limites de + 30 volts et la terre en D avec court-circuitage séquentiel des résistances de la sonde de courant. En utilisant les deux diodes Zener  $D_{11}$  et  $D_{12}$ , ainsi qu'une résistance de 12 Kohm en série afin de produire un changement de niveau de courant continu, le signal en forme de gradins en D est reproduit en F entre les niveaux - 2 V et - 32 V. Un tel signal convient pour être appliqué directement à la base du transistor  $T_4$ , fonctionnant en collecteur commun, et dont l'impédance de sortie est suffisamment faible que pour transmettre, par câble coaxial, le signal de mesure à un oscilloscope de surveillance. On a trouvé par expérience qu'une résistance de 47 ohm conduisant au câble coaxial de 2000 pieds, reliant l'installation à l'oscilloscope placé à distance, donnait les meilleurs résultats quant à la forme d'onde. Le câble se terminait à l'oscilloscope par une résistance de 10 Kohm.

Pour les tirs de cratère on envisage de placer les appareils de contrôle et la source de courant constant à une distance de 2 ou 3 rayons de cratère à partir du trou de tir. Du câble à deux brins de 300 ohm sera utilisé pour connecter la sonde de courant à la source de courant. Pour protéger les appareils de contrôle et la source de courant constant, qui sont déjà logés dans une boîte étanche d'acier épais, on prévoit leur montage antichoc sous un pont de madriers de 8 pouces par 8 pouces recouvert de sacs de sable. Dans l'installation présente, le courant vient d'une source éloignée de courant alternatif au moyen d'un câble d'alimentation; mais on peut aussi l'obtenir d'une batterie et d'un convertisseur de courant continu en courant alternatif.

## LA NOUVELLE SONDE DE MESURE.

La **figure 5** est une photographie d'une sonde de mesure assemblée et d'une autre partiellement montée. Le corps cylindrique de la sonde est un tube en laiton dur de 1/4 de pouce de diamètre extérieur, ayant une épaisseur de paroi de 1/100 de pouce. L'extrémité pointue de la sonde est aussi faite de laiton et a un petit trou le long de son axe; elle est soudée à l'argent sur le corps cylindrique de la sonde. Du câble Belden, ayant deux paires de fils conducteurs blindés et un fil de mise à la terre, est utilisé avec cette sonde. La sonde de déclenchement est construite en soudant à la pointe de la sonde de mesure une résistance de 220 Kohm entre l'une des paires de fils conducteurs. L'assemblage de la sonde de déclenchement est enveloppé dans une bande de feuille de métal du câble Belden, agissant comme écran électronique. La résistance de 220 Kohm au bout de la sonde d'amorçage fournit un moyen de faire une vérification de continuité de la section de déclenchement de la sonde de mesure.

Les fils conducteurs en paire, utilisés avec la section sonde de courant de la sonde de mesure, sont coupés courts. Un conducteur est soudé à la chaîne de résistances au carbone de 1/2 watt, qui va jusqu'au bout de la sonde. L'autre conducteur de la paire de la sonde de courant qui comporte le fil de terre non isolé du câble est soudé à un manchon en laiton. Ce dernier enferme la section encore intacte du câble à côté de la section dénudée enfermée à l'intérieur de la sonde.

Pour le montage, un fil de cuivre fin et solide est soudé au bout de la chaîne de résistances

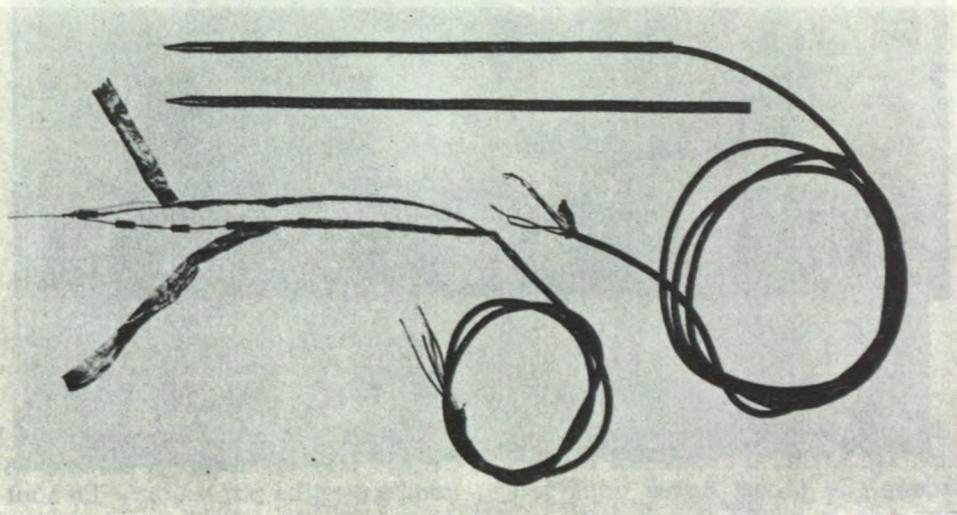


Figure 5. — Photographie d'une installation de sonde d'explosif complètement et partiellement montée.

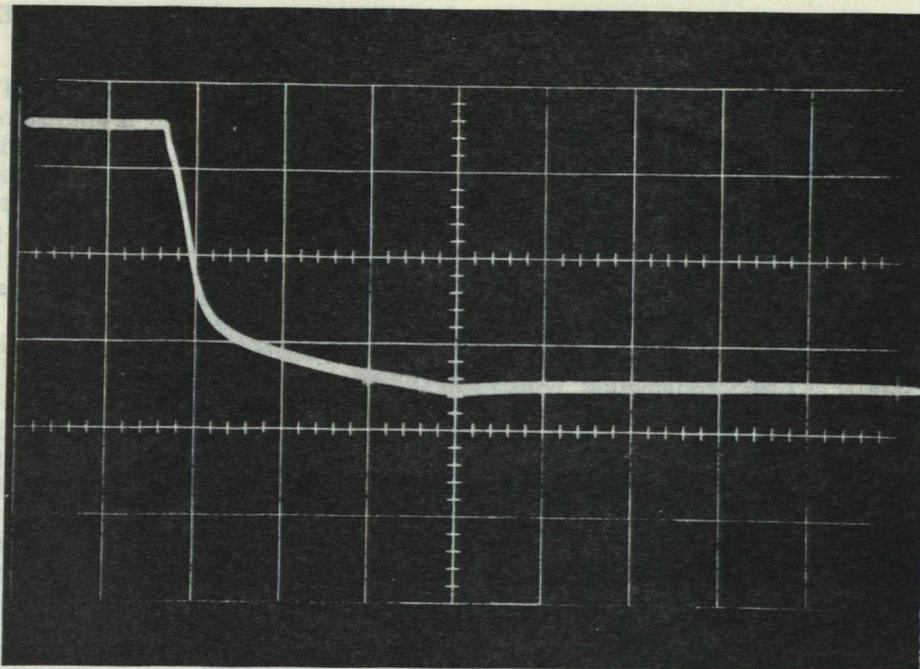
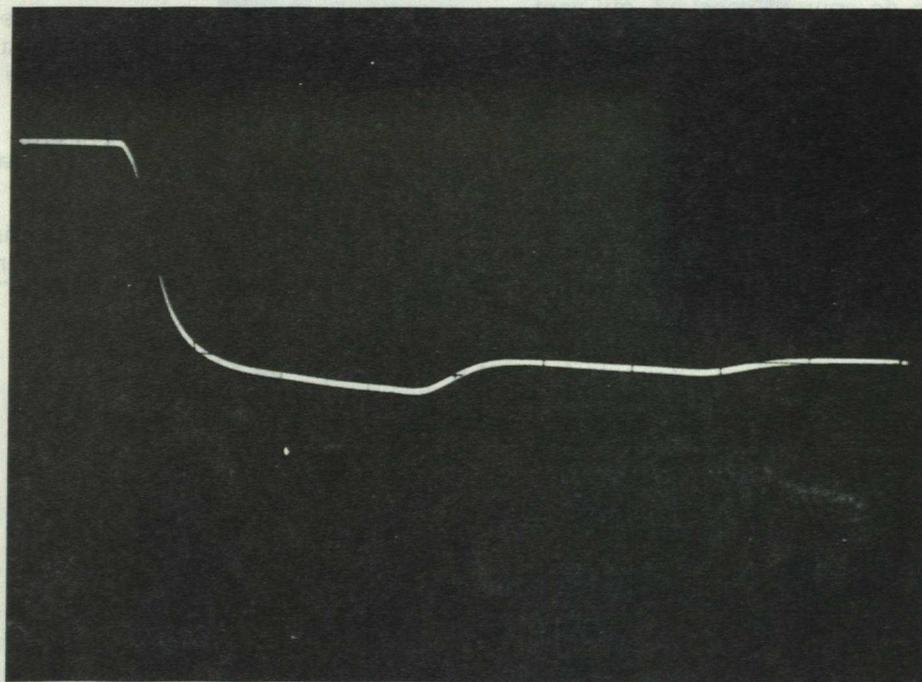


Figure 6. — Profils d'onde voltage en gradins produits avec l'installation de contrôle et de la source de courant constant en utilisant le court-circuitage d'un relais à mercure.



de la sonde de courant et au côté « terre » de la résistance de 220 Kohm, à l'extrémité de la sonde d'amorçage. Ce fil est passé dans le corps cylindrique de la sonde et à travers le trou au bout de son tubage. On l'utilise pour tirer la sonde de déclenchement et celle de

courant à l'intérieur du corps de l'ensemble de la sonde de mesure. Ceci fait, on rend l'extrémité étanche par soudure. En haut de la sonde, le manchon en laiton est placé entre le tubage cylindrique en laiton et le câble, à environ un pouce du bout de la sonde. En gau-

frant le tubage de laiton à cet endroit, on fixe fermement le câble en position. Pour rendre étanche l'extrémité supérieure de la sonde de mesure, on utilise un composé de résine époxy, afin de remplir le vide dans le tubage au-dessus de l'entretoise de laiton.

Les sondes utilisées jusqu'à présent ont toutes au moins un pied de longueur. En utilisant des résistances de plus faibles valeurs et des distances plus grandes entre les résistances, on envisage la possibilité de construire des sondes beaucoup plus longues. Quoique flexible le tubage de laiton est relativement robuste, tant qu'on prend soin de ne pas dépasser sa résistance à la flexion. On a déjà utilisé avec succès du tubage en acier inoxydable mince pour remplacer le tubage en laiton dur.

### ESSAIS SUR LA NOUVELLE INSTALLATION DE CONTRÔLE ET DE SOURCE DE COURANT CONSTANT.

Pour les premiers essais de la source de courant constant, on a placé une chaîne de quatorze résistances de 22 ohm aux bornes où la sonde de courant est normalement placée. Un nombre variable de résistances furent court-circuitées périodiquement en plaçant aux bornes de celles-ci les conducteurs connectés aux contacts d'un relais à mercure; la bobine du relais à mercure était activée par un oscillateur à 40 cps. Le relais à mercure fournissait des contacts « sans rebondissement », allant de l'ab-

sence de contact jusqu'à la fermeture en moins d'une microseconde. Au cours de ces essais on détermine le temps requis pour que les appareils de contrôle et de source de courant constant répondent à un changement de la résistance de la sonde. Pour simuler les conditions réelles sur le terrain, on utilisa 2000 pieds de câble entre l'installation de contrôle et de source de courant constant et la résistance terminale de 10 Kohm, où étaient contrôlés les signaux en forme de gradins résultant du court-circuit de divers nombres de résistances. La **figure 6** est une photographie de signaux en forme de gradins, produits à travers une résistance de 10 kohm à la suite du court-circuit de résistances dans la chaîne. Ces photographies correspondent aux conditions extrêmes du court-circuit de (a) l'ensemble des quatorze résistances ou bien (b) l'une seulement des quatorze résistances. Le temps initial de la remontée dans les deux cas est d'environ 2 microsecondes suivi d'un dépassement, de forme et de durée variables. Dans ce cas cependant, ce dépassement n'a pas d'importance, et un temps de remontée de 2 microsecondes est considéré comme excellent.

Pour une seconde série d'essais avec cette installation quelques-unes des sondes de mesure du type original furent introduites dans des cartouches de Geogel à 60 %. La nouvelle source de courant constant avec 2000 pieds de câble coaxial la reliant à l'oscilloscope de contrôle et à la caméra fut utilisé pour produire

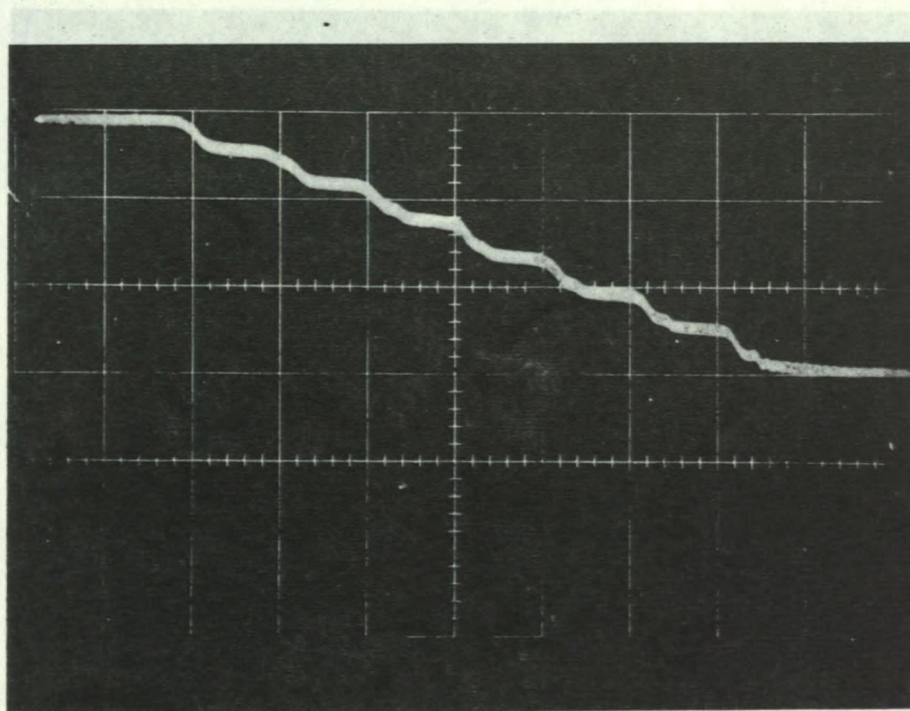


Figure 7. — Profil d'onde typique produit avec l'ancienne sonde d'explosif et la nouvelle installation de contrôle et la source de courant constant avec le Geogel 60 %. (Définition : 5  $\mu$ sec/cm).

les signaux en forme de gradin résultant de la détonation de l'explosif. La **figure 7** montre un profil d'onde en gradin typique produit dans cette série d'essais.

### ESSAIS AVEC LA NOUVELLE SONDE D'EXPLOSIF.

Le premier essais avec la nouvelle sonde de mesure avait pour but de s'assurer qu'elles étaient étanches. Pour cela cinq sondes furent immergées dans un bain salé pendant trois jours, en faisant de temps en temps des mesures de conductivité. On n'observa aucune détérioration quant à l'étanchéité de ces sondes. Dans une seconde série d'essais avec la nouvelle sonde d'explosif, les sondes furent introduites dans des cartouches avec de la dynamite ordinaire à 50 % (sans nitrate d'ammonium). On détermina la vitesse de détonation de l'explosif en utilisant la nouvelle sonde de mesure avec un dispositif expérimental semblable à celui utilisé précédemment avec l'ancienne sonde de courant et la nouvelle installation de contrôle et de source d'énergie de courant constant. Comme vérification indépendante de la vitesse de détonation de l'explosif, des sondes à ionisation furent placées dans l'explosif, distantes d'un espacement connu. Un compteur fut utilisé avec ces sondes à ionisation pour obtenir une vérification indépendante

de la vitesse de détonation de l'explosif. La **figure 8** montre un profil d'onde en gradin typique obtenu dans ces essais et la **table 1** fournit

TABLEAU I

Comparaison des vitesses de détonation mesurées avec la sonde et avec la méthode des espacements ioniques.

Spécimen n°	Vitesse (m/s) Sonde de courant	Vitesse (m/s) Compteur
1	4.700	4.500
2	4.500	4.500
3	4.700	4.600
4	4.700	4.800
5	4.500	4.700
6	4.600	4.600
7	4.500	4.300
8	4.400	4.600
Moyenne	4.600	4.600

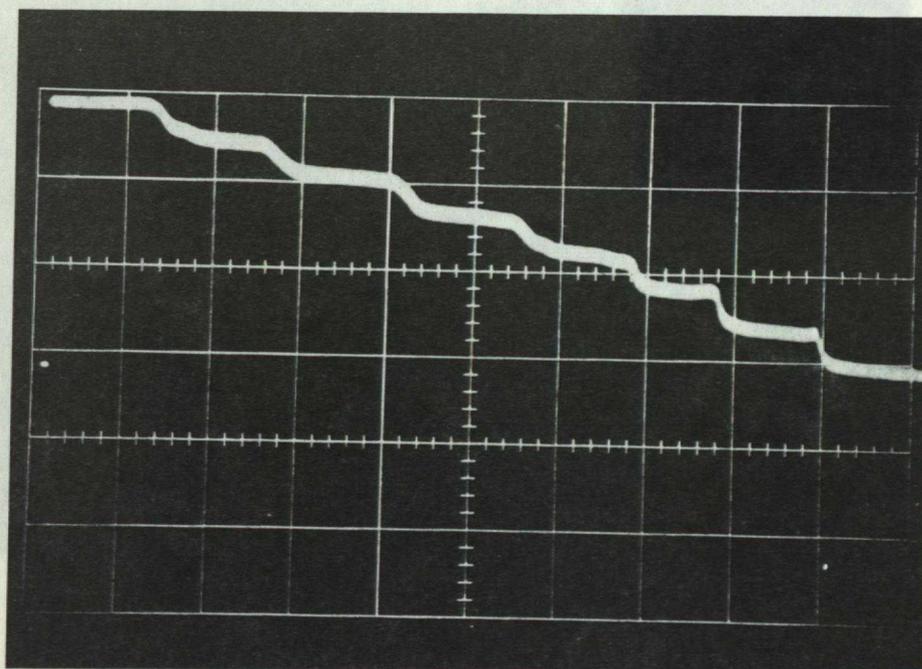


Figure 8. — Profil d'onde de voltage en gradin typique produit avec la nouvelle sonde d'explosif et la nouvelle installation de contrôle et la source de courant constant avec de la dynamite ordinaire à 50 % (sans nitrate d'ammonium).

Définition : 5  $\mu$ sec/cm).

un moyen de comparaison des vitesses de détonation déterminées par les deux méthodes, qui sont en excellent accord, bien que la sonde fournisse une représentation plus complète du comportement des explosifs. Il y a lieu de noter la variation de longueur de gradin. Apparemment la vitesse de détonation de l'explosif varie par suite de l'irrégularité de la densité du bourrage.

### CONCLUSION.

Le système qu'on a décrit ici, est considéré comme satisfaisant pour le contrôle à distance de fortes charges d'explosif. La sonde de courant est telle que, par un choix judicieux des composants, on peut déterminer les vitesses

moyennes de détonation ou bien les vitesses de détonation de longueurs données de charges explosives.

### BIBLIOGRAPHIE

- (1) GIBSON, F.C., BOWSER, M.L., SUMMERS, C.R. and SCOTT, F.H., « An electrical Method for the Continuous Measurements of Propagation Velocities in Explosives and Propellants », U.S. Bureau of Mines Report of Investigations RI 6207 (6963).

### REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur reconnaissance à Mademoiselle M. Ellis pour sa contribution à la préparation de ce mémoire.