

LE TIR EN RAFALE : UNE MÉTHODE POUR RÉDUIRE CERTAINES NUISANCES DUES AUX VIBRATIONS DES TIRS

Par :
Wilfrid Comeau, consultant

RÉSUMÉ : Certains terrains géologiques peuvent prolonger, voire augmenter, la nuisance causée par les vibrations de tir. Ceci est manifeste lors de l'examen des sismogrammes. Ce récit présente une expérience où le « tir en rafale » a réussi à éliminer une réaction prolongée, basse fréquence du terrain, de l'ordre de 6 HZ.

INTRODUCTION : Le potentiel pour exciter une masse à sa fréquence naturelle est bien connu. Par exemple : faire briser le pas des soldats qui traversent un pont est une pratique historique. Ceux qui ont pu voir les oscillations d'un pont (Galloping Gertie, chevauchant le Tacoma Narrows), de la côte Ouest des Etats-Unis, excitées par le vent en sont conscients. Il paraît que certains tirs d'envergure effectués dans des terrains géologiques particuliers peuvent également causer une excitation semblable.

THÉORIE : Une formation géologique reposant sur une couche inférieure relativement molle, par rapport à celle-ci, peut être mise en résonance moyennant suffisamment d'énergie. La fréquence de résonance pourra dépendre de la rigidité de cette formation dans les trois axes. Au Canada, les formations en surface ont subi des contraintes et déformations causées par les glaciers. Un exposé à ce sujet a été présenté à cette assemblée en 1997 (1) (Schroeder & Comeau, 1997). Ce dernier faisait principalement référence aux effets des glaciers sur des rochers cristallins durs. Toutefois, certains exemples, dans cette présentation, ont démontré l'effet dévastateur que les glaciers peuvent avoir sur les formations sédimentaires en surface. Dans le présent cas, on a affaire à une formation géologique sédimentaire d'environ 35 mètres d'épaisseur reposant sur une couche relativement molle. Dans son sens vertical, cette formation peut avoir retenu sa rigidité, mais horizontalement, il peut y avoir eu une déstabilisation des joints et diaclases. L'exemple le plus frappant, localement, est les fissures béantes dans la fondation du Vélodrome pour les jeux Olympiques de Montréal. Cette déstabilisation a pour effet de rendre la formation moins rigide dans le sens horizontal. Une équation empirique qui détermine la fréquence naturelle d'une formation géologique telle que décrite est;

$$N_f = C_s / 4 H$$

où : N_f = fréquence naturelle

C_s = vitesse sismique en cisaillement

H = épaisseur de la formation

Il est également reconnu que la vitesse sismique est une mesure de la rigidité.

SITUATION : On est dans une exploitation houillère de grande envergure. Les trous de mine ont un diamètre de 317 mm, la maille de tir est d'environ 8 m X 8 m en quinconce. La distance à l'emplacement du sismographe est de l'ordre du kilomètre et plus, et le chargement maximal d'un trou de mine peut atteindre 2200 kg. Chaque trou de mine est tiré à une date (délai) individuelle.

La formation géologique de surface, d'une épaisseur d'environ 35 à 36 mètres, repose sur une formation de houille grasse (charbon bitumineux).

La figure 1 illustre un plan de tir de 70 trous de mine, d'une durée d'environ 4.2 secondes. Chaque trou de mine détonne à un temps particulier. Les sismographes sont posés derrière le front à plus d'un kilomètre. La figure 2 est le sismogramme de ce tir type. On notera : 1. que les vibrations durent beaucoup plus longtemps que le tir (environ 2 secondes), 2. qu'à un certain point pendant le tir, une excitation de basse fréquence se fait sentir (5.5 à 6 Hz, d'autres tirs ont donné des fréquences résonnantes jusqu'à 11 Hz), 3. que cette basse fréquence est celle qui perdure après le tir, et 4. que la valeur maximale de vitesse particulière résultante pour ce tir est produite après la fin du tir. On peut noter également que la vitesse particulière n'est pas élevée, mais le déplacement à cette basse fréquence est relativement considérable, de l'ordre de 0.14 mm. À une fréquence de 40 Hz, ce déplacement donnerait une vitesse particulière de 35 mm/s. Lors des études pour une conférence antérieure (2) (Comeau & Jannoulakis, 1998), à la même opération, cette réaction du terrain n'avait pas été observée.

DÉVELOPPEMENT D'UNE SOLUTION : On remarque que l'excitation de la réponse du terrain à basse fréquence ne se fait pas instantanément au début du tir. Ceci est, tout à fait, conforme à la théorie d'excitation d'un milieu dit élastique. On peut, pour régler le problème, décider de réduire la durée des tirs en deçà de ce temps que prenne le processus d'excitation. Toutefois, ceci va réduire le rendement de chaque tir et augmenter considérablement le nombre de tirs. Cette solution ne nous paraît pas acceptable, ni du point de vue de l'entreprise ni celui des riverains. La possibilité d'étager les charges des trous de mine n'est pas considérée pratique à cause de la complication que cela entraîne pour le chargement des tirs.

Une autre solution est de faire des tirs en rafale avec un temps mort entre les rafales équivalent à celui nécessaire à l'amortissement de la basse fréquence. La durée de chaque rafale doit être tel que l'excitation du terrain n'arrive pas à augmenter les vibrations. La figure 3 illustre un plan de tir en quatre rafales, de 45 trous de mine et d'une durée d'environ 5.8 secondes. La figure 4, le seismogramme de ce tir, indique que le tir en rafale a manifestement presque éliminé la basse fréquence, à la fin du tir.

Puisqu'on connaît la fréquence de la réaction du terrain, de 5.5 à 6 Hz, et l'épaisseur moyenne de la formation en surface entre le tir et le sismographe, de 35 à 40 m, on peut évaluer la vitesse sismique en cisaillement pour vérifier notre hypothèse. Soit :

$$C_s = 4 H \times N_f$$

La vitesse sismique en cisaillement est alors de 835 à 900 m/s. Cette vitesse est plausible pour une formation sédimentaire en surface ayant subi les effets de la glaciation. Ceci implique alors une vitesse sismique en compression d'environ 1500 m/s. À 11 Hz, les vitesses sismiques seraient d'environ 1600 et 2700 m/s respectivement. Ceci nous indique que les vitesses sismiques ne sont pas pareilles pour toutes les directions de propagation. Vraisemblablement, ceci dépendrait des directions des joints et diaclases majeures et de l'effet qu'a eu la glaciation en fonction de ces directions. Il ne faut pas oublier que l'équation utilisée est empirique.

CONCLUSION : Malheureusement, l'auteur n'a pas été impliqué dans un processus qui aurait pu optimiser cette solution. Il existe plusieurs pistes.

1. Faire varier les séquences de tir chaotiquement pour « briser le pas », en employant la précision des détonateurs électroniques.
2. Dans la présente exemple, réduire le temps sans diminuer le nombre de trous de mine d'une rafale.
3. Augmenter le nombre de rafales pour maintenir le nombre de trous de mine d'un tir.
4. Voir si en diminuant le temps d'une rafale, il est possible de diminuer le temps mort entre les rafales.

REMERCIEMENTS : L'auteur aimerait remercier monsieur Roger Lafrance, consultant pour la mine en question, qui a impliqué l'auteur dans ce problème fort intéressant.

RÉFÉRENCES :

1. Schroeder, J. et Comeau, W., (1997), « La glaciectonique : un fleau pour les entrepreneurs en minage, une solution logique pour les consultants et les promoteurs, » 20^e session d'études sur les techniques de sautage, SEEQ – Université Laval – Ministère des transports du Québec.
2. Comeau, W., et Jannoulakis, E., (1998), « A Blasting Efficiency Descriptor - BED », 24th Conference on Explosives and Blasting Technique, ISEE, New Orleans

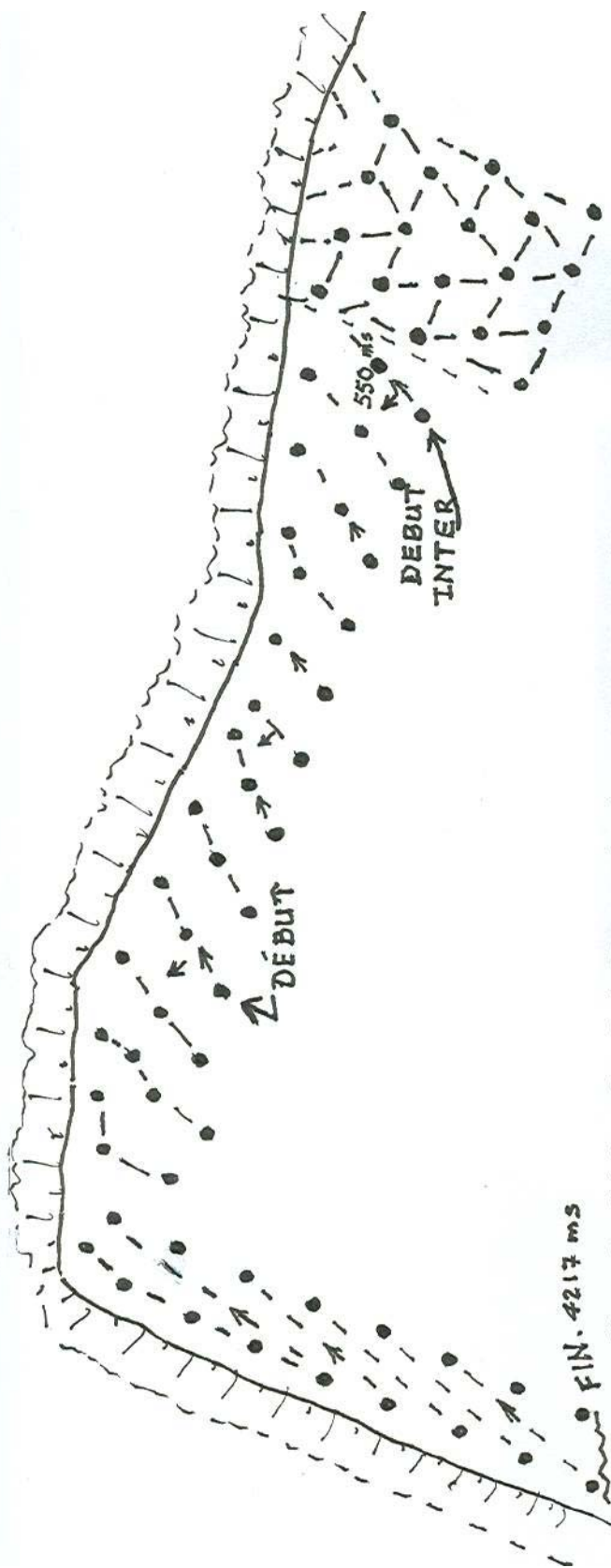


Figure 1. Schéma d'un tir de 70 trous de mine — Un trou par délai — Jusqu'à 2200 kg/trou

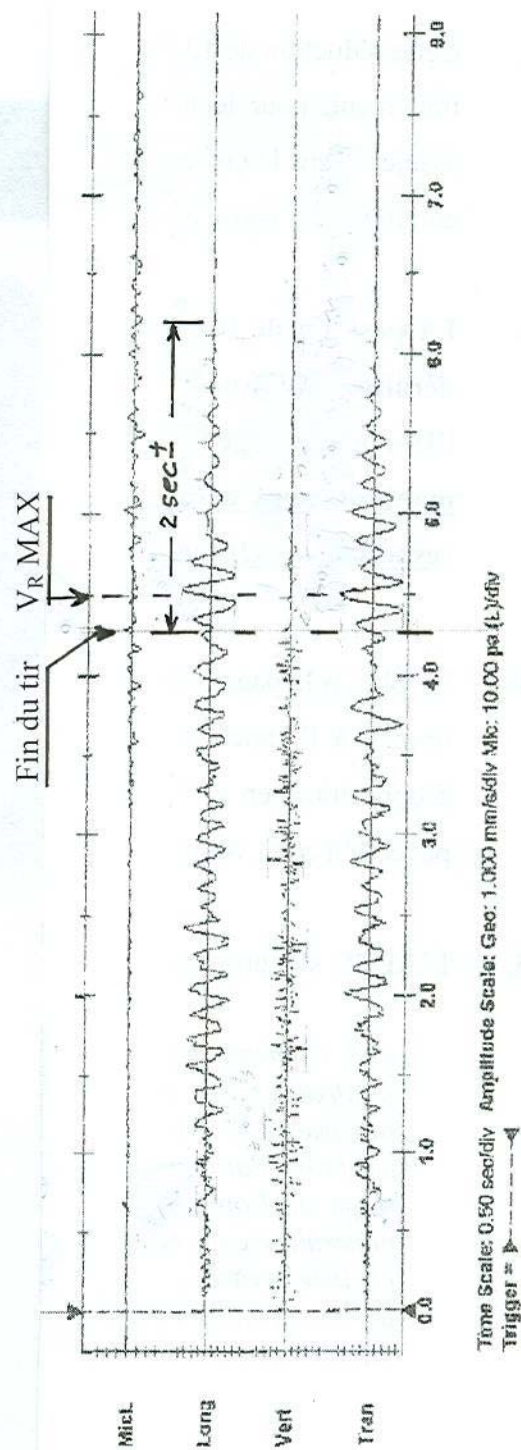


Figure 2. Sismogramme du tir Figure 1.

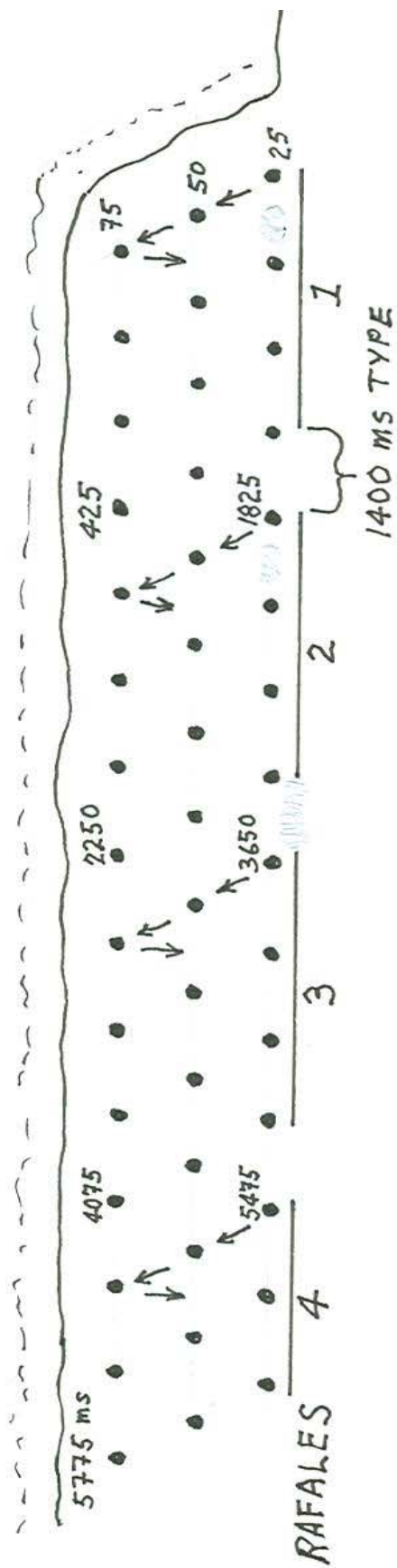


Figure 3. Schéma de tir en rafales – 45 trous de mine –

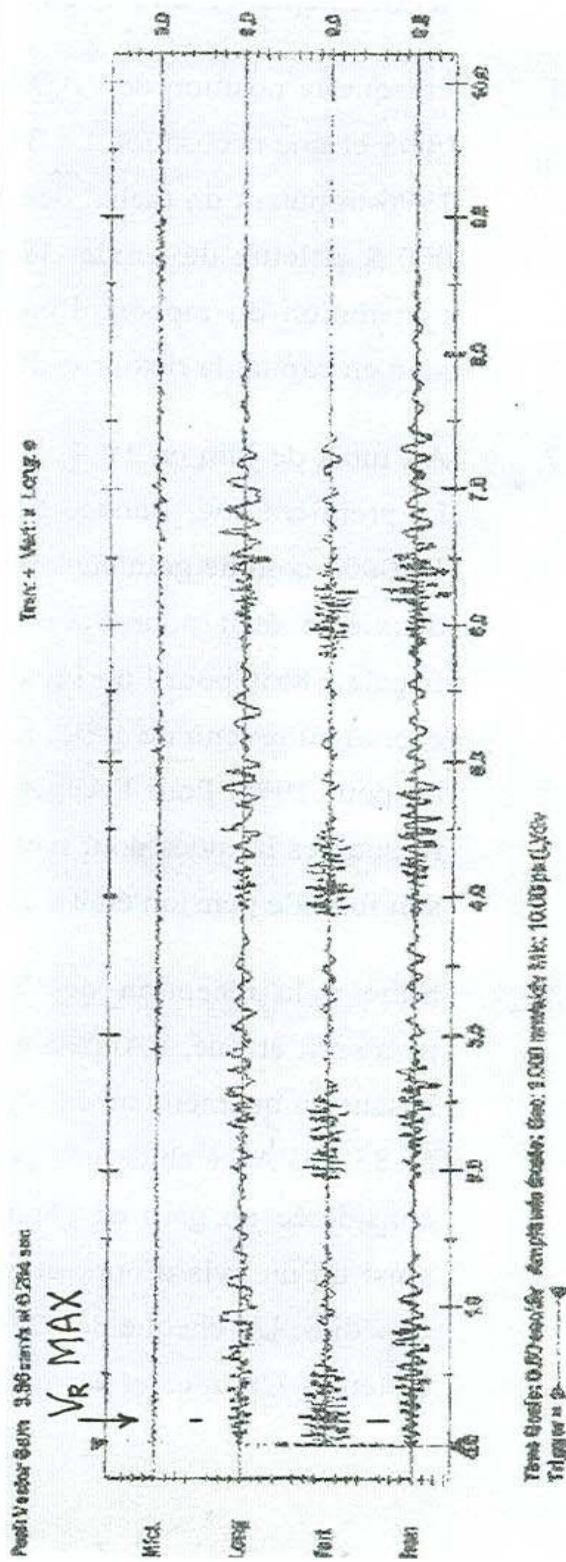


Figure 4. Sismogramme du tir en rafales