

Respect des limites vibratoires – mesures versus normes

Patrick Andrieux

40^{ième} Session d'étude sur les techniques de sautage
Québec, 16-17 novembre 2017



ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

Introduction

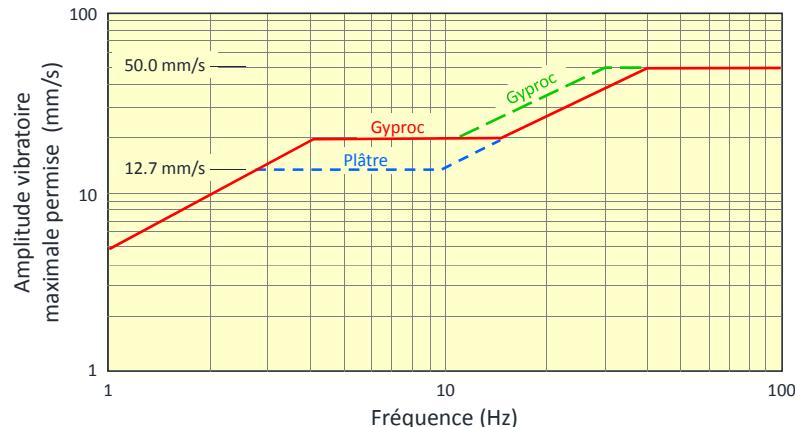
- Des normes vibratoires ont été établies à des fins environnementales
 - Pour éviter des dommages structuraux superficiels aux structures avoisinantes
 - Pour minimiser les nuisances associées aux sautages
- Ces normes sont sous la forme d'amplitudes maximales permisibles pour diverses fréquences. Pour être en conformité, il faut que les amplitudes vibratoires générées au point d'intérêt demeurent inférieures aux limites fixées.
- Les limites à respecter sont largement basées sur des travaux du USBM dans les années '70 et '80
- Il existe un grand nombre de normes : nationales, provinciales, municipales, état, comté, régionales, cantonales ... La norme locale à respecter est la plus restrictive.
- L'entité (contracteur, mineur) qui conduit les opérations de sautage est responsable de respecter ces normes. Ce respect est vérifié par des enregistrements séismiques effectués aux alentours du site.



ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

Norme la plus courante

Standard USBM¹ RI8507 / OSMRE²



¹ United States Bureau of Mines (É.-U.)

² Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement (É.-U.)

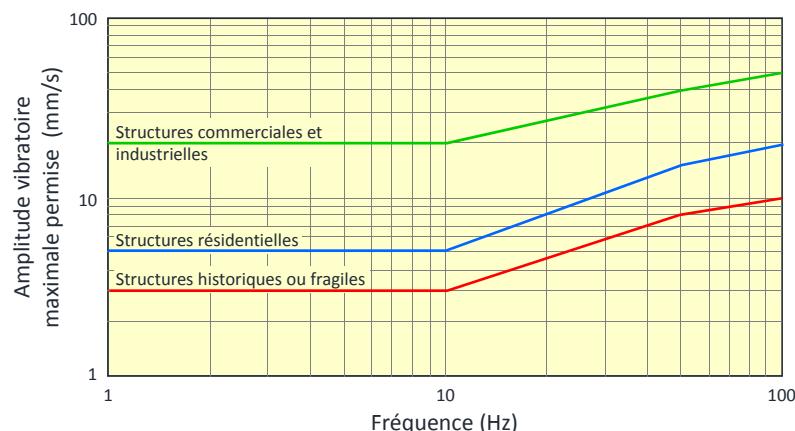


ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

3

Exemple d'une autre norme

Standard allemand DIN 4150

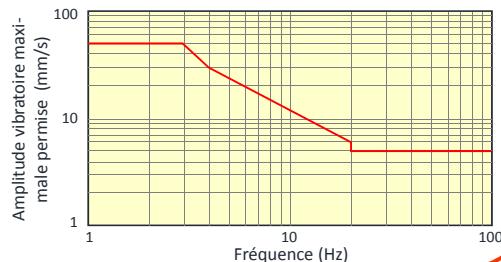


ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

4

Philosophie générale

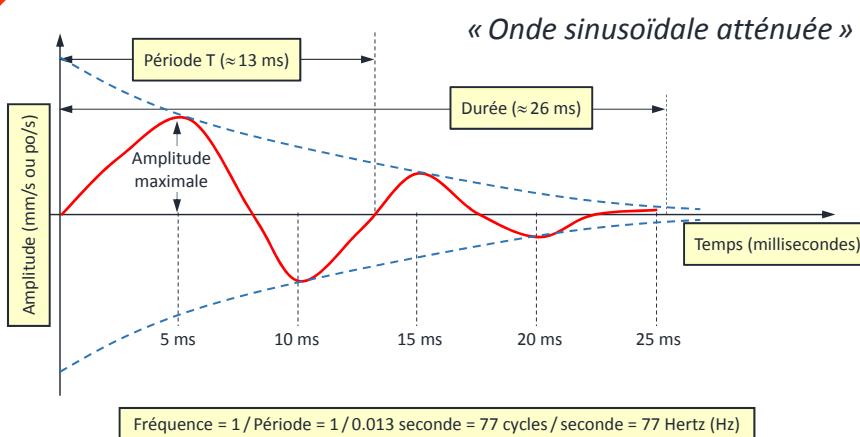
- Les normes vibratoires reconnaissent que le potentiel d'endommagement des vibrations augmente avec les basses fréquences. (Ces basses fréquences transportent plus d'énergie et sont associées avec de plus grandes longueurs d'ondes.)
- Donc, l'amplitude acceptable augmente à mesure que la fréquence augmente
- *Une exception est la norme néo-zélandaise NZS 4403 :*



ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

5

Quelques rappels ...

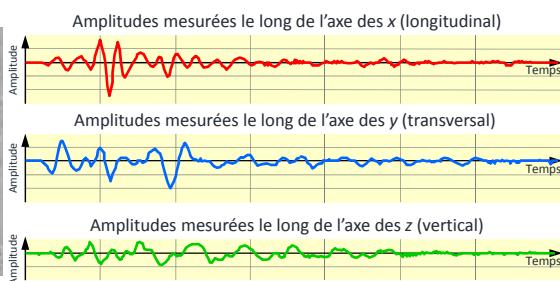
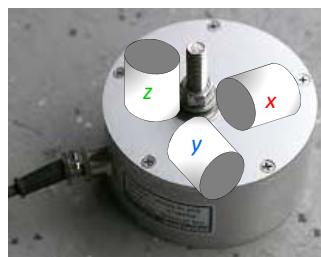


ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

6

Les amplitudes mesurées

- On s'intéresse donc aux amplitudes et aux fréquences
- Lors d'une mesure de vibrations, trois (3) enregistrements distincts (« séismogrammes ») sont effectués simultanément, par trois (3) géophones indépendants montés orthogonalement dans un boîtier commun

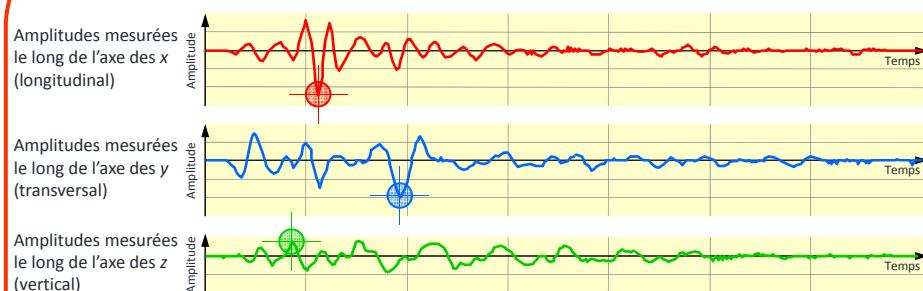


ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

7

Amplitudes maximales

- Ces trois enregistrements ont chacun leur maximum :



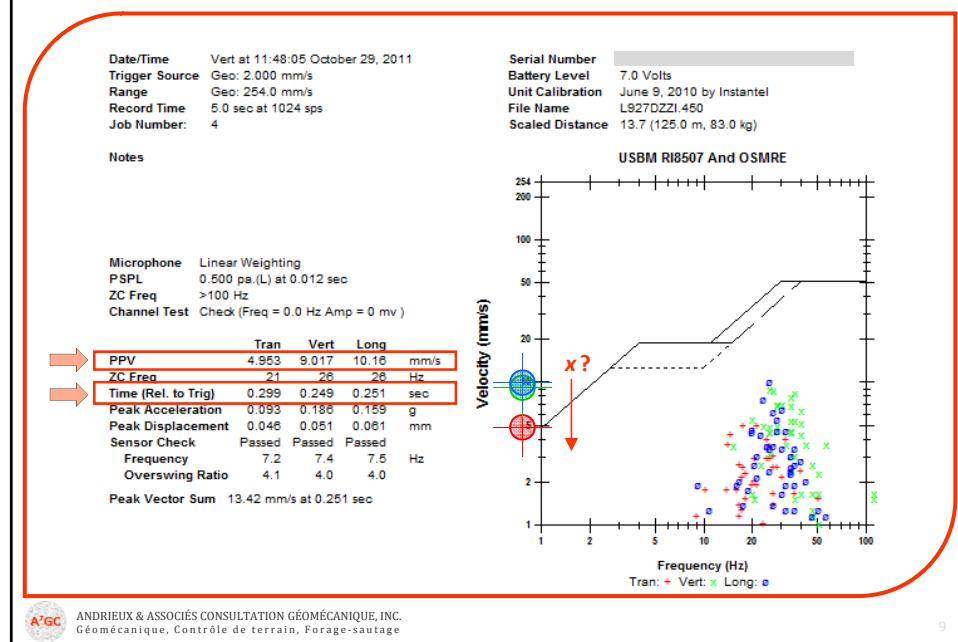
- Chacun de ces maxima est référencé comme étant le « PPV » (le « Peak Particle Velocity », ou l'amplitude vibratoire maximale) de cet axe
- Chacun de ces maxima s'est produit à un instant spécifique le long de l'enregistrement (référencé au zéro du déclenchement)



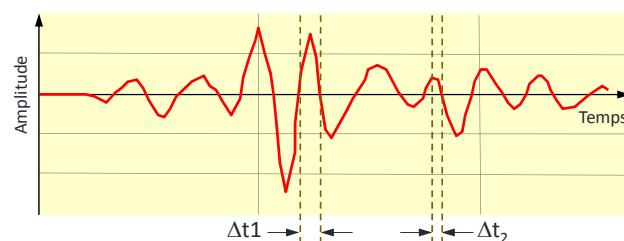
ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

8

Localisation sur la page de conformité



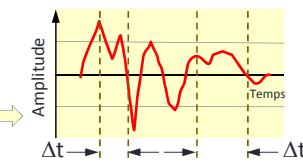
La « Zero Crossing Frequency »



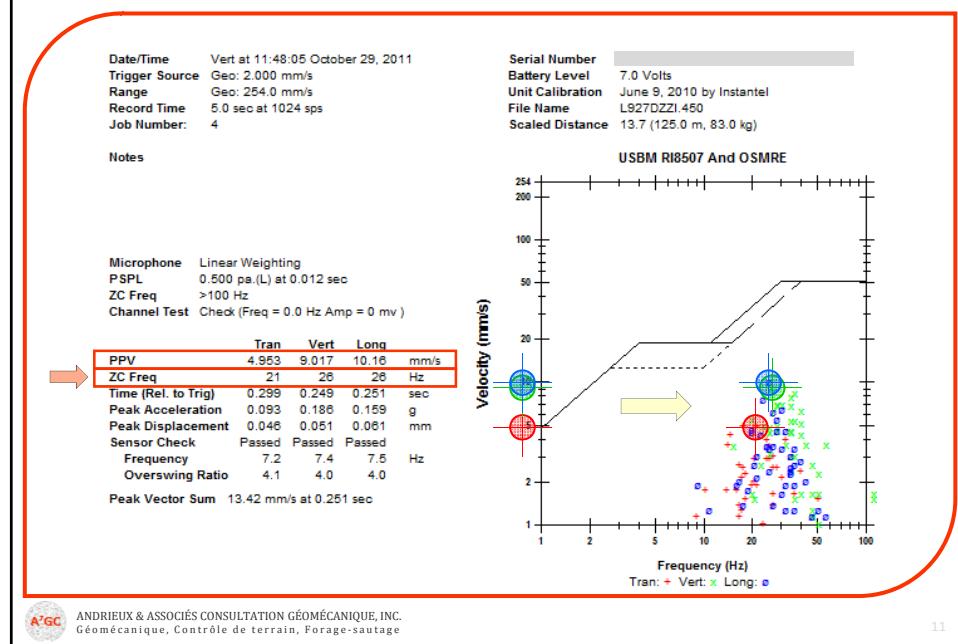
On a que : Δt = durée entre 2 croisements de l'axe des x; ou,
 Δt = durée entre 2 « Zero Crossings » successifs
Période T = 2 x Δt (durée assumée d'un cycle complet)
Fréquence pour le cycle considéré = $1/T = 1/2\Delta t$

Cette approche a des limites :

- Elle ne remplace pas une FFT, qui donne le vrai contenu en fréquence du signal
- Il peut y avoir plusieurs pics successifs sans croisement de l'axe des x



Localisation sur la page de conformité



11

Amplitudes maximales vs Maximum absolu

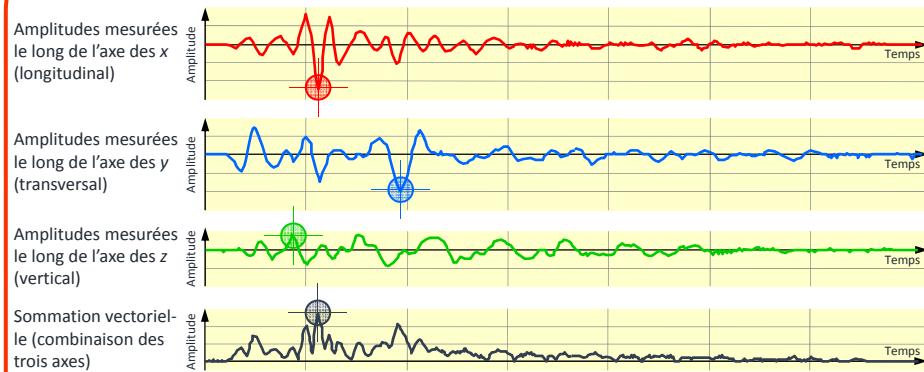
- Toutefois, ces trois enregistrements doivent être combinés pour obtenir l'amplitude maximale absolue associée au sautage
- Cette combinaison se fait par une opération de sommation vectorielle, qui donne l'amplitude instantanée absolue de la vibration à chaque instant :

$$\text{Sommation vectorielle } (t) = \sqrt{[V_x(t)]^2 + [V_y(t)]^2 + [V_z(t)]^2}$$

- La vitesse maximale absolue est le **maximum de cette fonction** de sommation vectorielle. C'est un point unique.
- La sommation vectorielle ne renferme aucune information sur le contenu en fréquence du signal. Tous les points étant positifs, elle n'est plus une fonction sinusoïdale périodique oscillant de part et d'autre d'une valeur d'équilibre.

Amplitudes maximales vs Maximum absolu

- Combinaison des trois enregistrements pour obtenir le maximum absolu :



- = vitesse maximale absolue (« Peak Vector Sum ») – la valeur absolue légiférée



ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

13

Localisation sur la page de conformité

Date/Time Vert at 11:48:05 October 29, 2011
Trigger Source Geo: 2.000 mm/s
Range Geo: 254.0 mm/s
Record Time 5.0 sec at 1024 sps
Job Number: 4

Serial Number [REDACTED]
Battery Level 7.0 Volts
Unit Calibration June 9, 2010 by Instantel
File Name L927DZL450
Scaled Distance 13.7 (125.0 m, 83.0 kg)

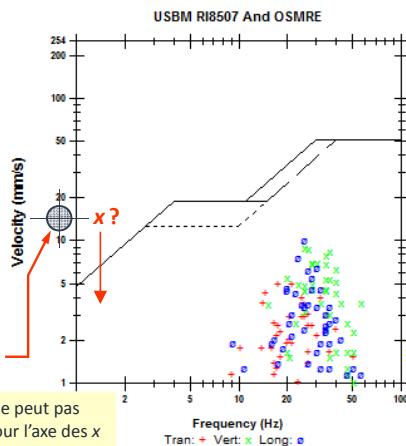
Notes

Microphone Linear Weighting
PSPS 0.500 pa (L) at 0.012 sec
ZC Freq >100 Hz
Channel Test Check (Freq = 0.0 Hz Amp = 0 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.953	9.017	10.16	mm/s
ZC Freq	21	26	26	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.299	0.249	0.251	sec
Peak Acceleration	0.093	0.188	0.159	g
Peak Displacement	0.046	0.051	0.061	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.2	7.4	7.5	Hz
Overswing Ratio	4.1	4.0	4.0	

Peak Vector Sum 13.42 mm/s at 0.251 sec

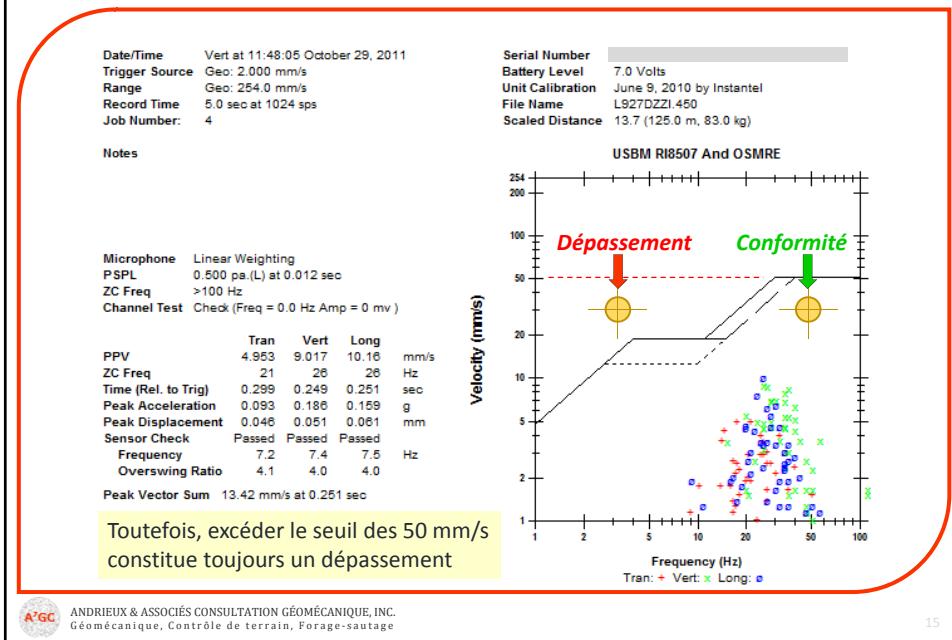
Cette valeur n'étant associée à aucune fréquence, elle ne peut pas être représentée sur le graphe – il n'y a pas de valeur pour l'axe des x



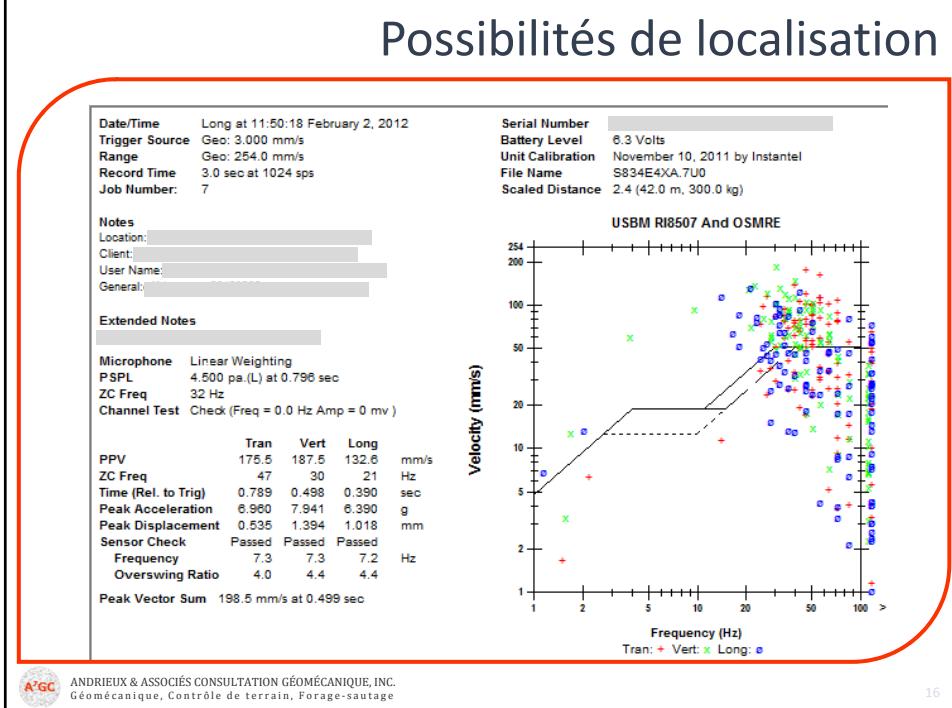
ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

14

Possibilités de localisation

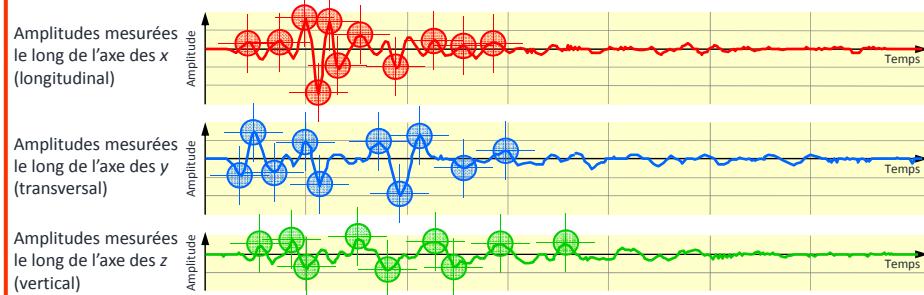


Possibilités de localisation



Autres amplitudes « maximales »

- Les trois enregistrements de base ont chacun de nombreux autres pics :



- Pour chacun de ces maxima, la fréquence associée est calculée avec la méthode du ZC afin de s'assurer qu'aucune de ces amplitudes n'est jumelée à des fréquences qui les placeraient en haut des normes



ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

17

Autres amplitudes « maximales »

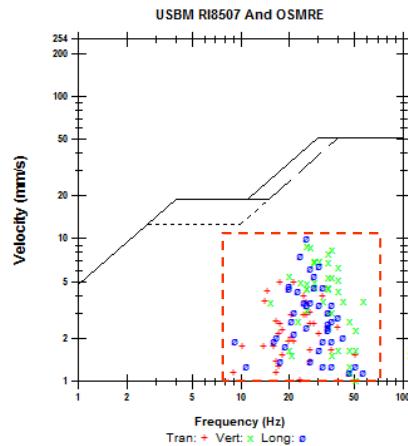
Date/Time Vert at 11:48:05 October 29, 2011
Trigger Source Geo: 2.000 mm/s
Range Geo: 254.0 mm/s
Record Time 5.0 sec at 1024 sps
Job Number: 4

Serial Number [REDACTED]
Battery Level 7.0 Volts
Unit Calibration June 9, 2010 by Instantel
File Name L927DZL450
Scaled Distance 13.7 (125.0 m, 83.0 kg)

Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 0.500 pa (L) at 0.012 sec
ZC Freq >100 Hz
Channel Test Check (Freq = 0.0 Hz Amp = 0 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.953	9.017	10.16	mm/s
ZC Freq	21	26	26	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.299	0.249	0.251	sec
Peak Acceleration	0.093	0.188	0.159	g
Peak Displacement	0.046	0.051	0.061	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.2	7.4	7.5	Hz
Overswing Ratio	4.1	4.0	4.0	
Peak Vector Sum	13.42 mm/s at 0.251 sec			



ANDRIEUX & ASSOCIÉS CONSULTATION GÉOMÉCANIQUE, INC.
Géomécanique, Contrôle de terrain, Forage-sautage

18

