

41^e

Session d'étude
sur les techniques de sautage



SNC • LAVALIN

Les pièges du dynamitage moderne

Par

Francis Trépanier, ing.

Marc-Alexandre Allard, géo.

Le 16 novembre 2018



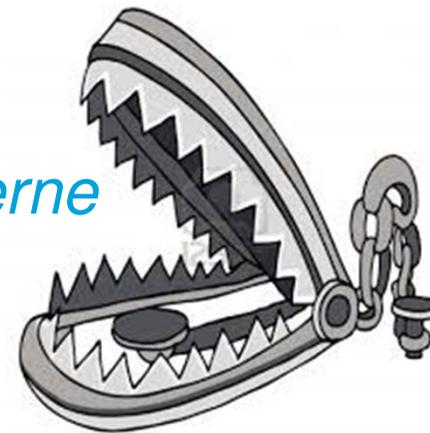
UNIVERSITÉ
LAVAL



Table des matières

1. Conception et réalisation d'un projet
2. Outils de conception
3. Comparaison et fonctionnement des explosifs
4. Positionnement et installation des sismographes
5. Interprétation des vibrations
6. Interprétation des surpressions d'air
7. Conclusion

Les pièges du dynamitage moderne



1. Conception et réalisation d'un projet

Visite sur terrain

Prendre compte de la géologie locale

Rencontre citoyenne

Communication entre le bureau et le terrain



1. Conception et réalisation d'un projet (suite)

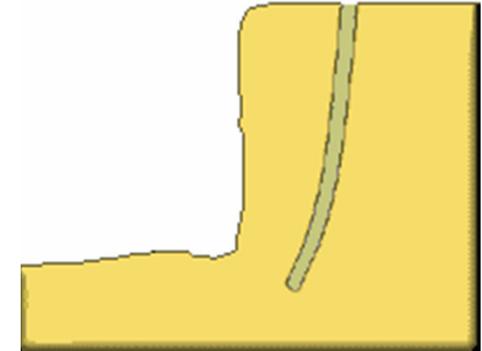
- › Évaluation des risques (limites de vibrations, stabilité du roc et des sols, chargement, etc.)
- › Choix des membres de l'équipe de design des sautages, de l'équipe de réalisation, de l'équipe de suivi et de contrôle de qualité



2. Outils de conception

Simulateur

- › Économie de temps
- › Rapport clé en main
- › Facilite les calculs (constante sismiques, déplacement, régression linéaire, etc.)
- › Adaptable aux conditions du terrain
- › Expérience et expertise de l'utilisateur



Équipement de profilage de face libre (et déviation des forages)

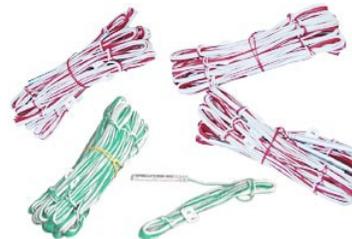
- › Permet un chargement et une séquence de mise à feu ajusté aux conditions réelles
- › Expérience et expertise de l'utilisateur

Trou signature

- › Permet d'évaluer le potentiel d'addition ou de soustraction d'onde dans UNE direction
- › Jusqu'à 40% de réduction selon la littérature
- › Expérience et expertise de l'utilisateur

Fournisseurs d'explosifs

- › Connaitre les informations clés



3. Comparaison et fonctionnement des explosifs

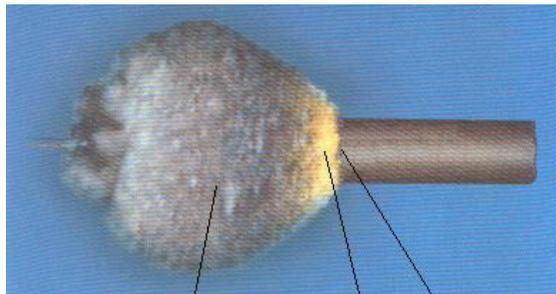
	Densité (g/cm ³)	Énergie (cal/g)	DxE (cal/cm ³)	RWS (Relative Weight Strenght)	RBS (Relative Bulk Strenght)
ANFO	0,84	890	747,6	100	100
TNT	1,65	1000	1650	112	221
Dynamite	1,51	1055	1593	119	213
Glucides		4000	Travail thermodynamique d'un explosif vs énergie total du glucide		

Quantité d'énergie semble faible

- Réaction incomplète en raison du manque d'oxygène (ratio 1/3 pour TNT)
- Vitesse de libération de l'énergie beaucoup plus rapide

ANFO versus Dynamite

- Dynamite est 213% plus puissant que l'ANFO à volume égale
- Dynamite est 19% plus puissant que l'ANFO pour un même poids



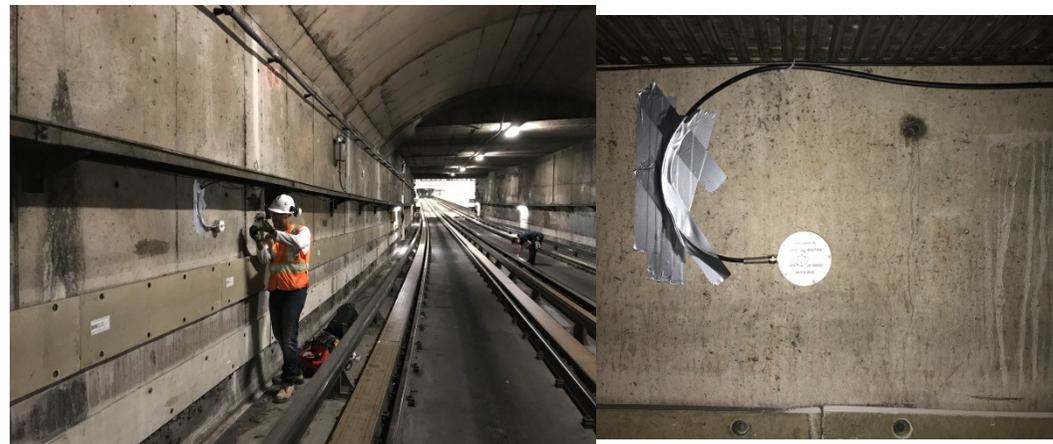
4. Positionnement et installation des sismographes

- › Choix des équipements selon les limites de vibrations applicables au projet (plage d'amplitude et de fréquence, géophone ou accéléromètre)
- › Choix des emplacements des points de mesures pour la protection des zones sensibles (bâtiments, tunnels, conduites sous-terraines, équipements sensibles, sols sensibles, etc)
- › Rapport détaillé d'installation (croquis, photo, date, type de sismographe, distance, fixation du capteur, etc.)
- › Expérience et expertise des membres de l'équipe

4. Positionnement et installation des sismographes (suite)

Mesures au sol et/ou sur les structures

- Approche des mesures au sol
 - Règlement carrières et sablières du Québec (RCS)
 - Directive 019 sur l'industrie minière
- Approche des mesures sur les structures
 - CCDG (Cahier des charges et devis généraux)
 - Ville de Montréal
 - Allemagne (DIN 4150-3), Angleterre (BS 7385-1 et 2), ISO 4866, etc.
- Carrières et mines versus construction
- ISEE; Guide pour l'installation des sismographes



4. Positionnement et installation des sismographes (suite)

Mesures au sol et/ou sur les structures

- Avantages de l'approche des mesures sur les structures
 - Permet un meilleur diagnostic de l'impact des vibrations sur les structures à protéger et sur les humains.
 - Éliminer les situations problématiques dans une zones urbaines densément peuplées, où l'installation de capteurs au sol naturel peut être difficile étant donné la variété des situations (sols perturbés, l'asphalte, l'herbe, les petits espaces, terrains privés).
 - Atteindre l'objectif de consistance et de précision dans les mesures.
 - Considérer le phénomène d'amplification de la structure qui peut se produire dans certaines conditions.
- Avantage de l'approche des mesures au sol
 - Les mesures de vibrations au sol sont nécessaire pour l'évaluation de la densification et la liquéfaction des sols, ainsi que pour déterminer la fonction de transfert entre la vibration au sol et celle dans la structure.

5. Interprétation des vibrations

Méthode simplifiée

Ce signal qui représente un dynamitage n'est pas parfaitement sinusoïdale. Cependant, la méthode simplifiée « approximation sinusoïdale » donne une bonne approximation de la vraie évaluation. Les appareils de vibrations utilisent cette méthodes pour le sommaire des résultats.

VIBRATION	Long	Tran	Vert	Vsum	
PPV	2.73	2.56	1.85	3.89	mm/s
Frequency	61.8	78.9	73.5	-	Hz

APPROXIMATION SINUSOÏDALE (PSEUDO VELOCITY)

$$V_{particule} = \frac{dA}{dt} = 2 \pi A f$$

$$a_{particule} = \frac{dV}{dt} = 4 \pi^2 f^2 A$$

où:

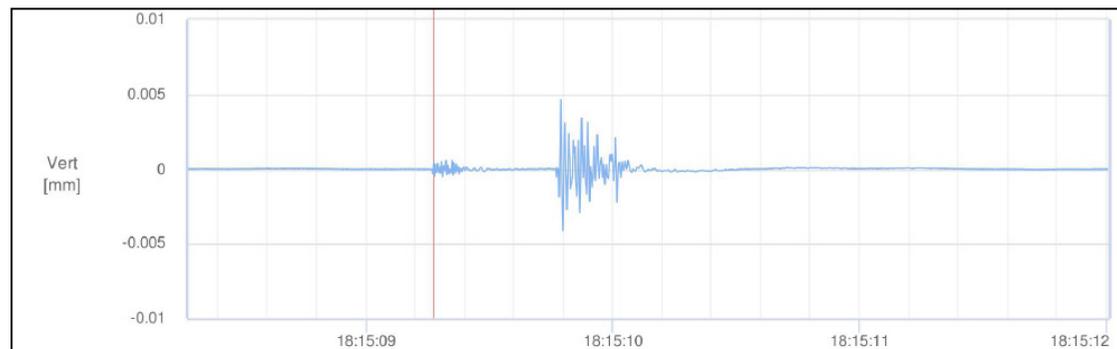
- A: Amplitude (mm)
- V: Vitesse de particules (mm/sec)
- a: Accélération (mm/sec²)
- f: Fréquence (Hz)

$$V_{résultante} = \sqrt{L^2 + T^2 + V^2}$$

Analyse détaillée du signal

FFT, déplacement en mm,

Accélération en mm/s²



5. Interprétation des vibrations (suite)

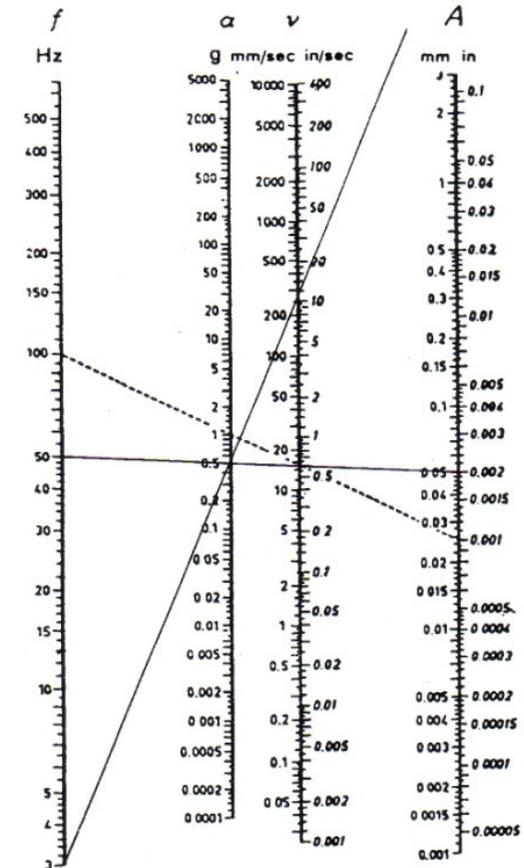
Effet de la fréquence (Hz) sur la vitesse (mm/s), le déplacement (mm) et l'accélération (mm/s²)

Relation entre la fréquence (Hz), ainsi que la vitesse (mm/s), le déplacement (mm) et l'accélération (mm/s²) de particules.

Si vous avez deux d'entre elles, vous trouverez tout simplement les autres.

Vous pouvez voir aussi la différence d'amplitude entre un dynamitage et un tremblement de terre pour une même accélération.

Exemple avec un nomogramme



- 1 Dynamitage: 0,5 g à 50 Hz
- V = 15 mm/s et A = 0,05 mm
- 2 Séisme: 0,5 g à 3 Hz
- V = 220 mm/s et A = 12 mm

5. Interprétation des vibrations (suite)

Exemples de l'effet de la fréquence (Hz) sur la vitesse (mm/s) et le déplacement (mm)

DÉPLACEMENT (mm) SELON LA VITESSE DE PARTICULES (mm/s) ET LA FRÉQUENCE (Hz)								
Vitesse	Fréquence	Déplacement	Vitesse	Fréquence	Déplacement	Vitesse	Fréquence	Déplacement
(mm/s)	(Hz)	(mm)	(mm/s)	(Hz)	(mm)	(mm/s)	(Hz)	(mm)
10	2	0.7958	25	2	1.9894	50	2	3.9789
10	10	0.1592	25	10	0.3979	50	10	0.7958
10	20	0.0796	25	20	0.1989	50	20	0.3979
10	30	0.0531	25	30	0.1326	50	30	0.2653
10	50	0.0318	25	50	0.0796	50	50	0.1592
10	100	0.0159	25	100	0.0398	50	100	0.0796
10	200	0.0080	25	200	0.0199	50	200	0.0398
10	300	0.0053	25	300	0.0133	50	300	0.0265
10	400	0.0040	25	400	0.0099	50	400	0.0199
10	500	0.0032	25	500	0.0080	50	500	0.0159

Note: L'épaisseur d'une feuille de papier est d'environ 0.1 mm

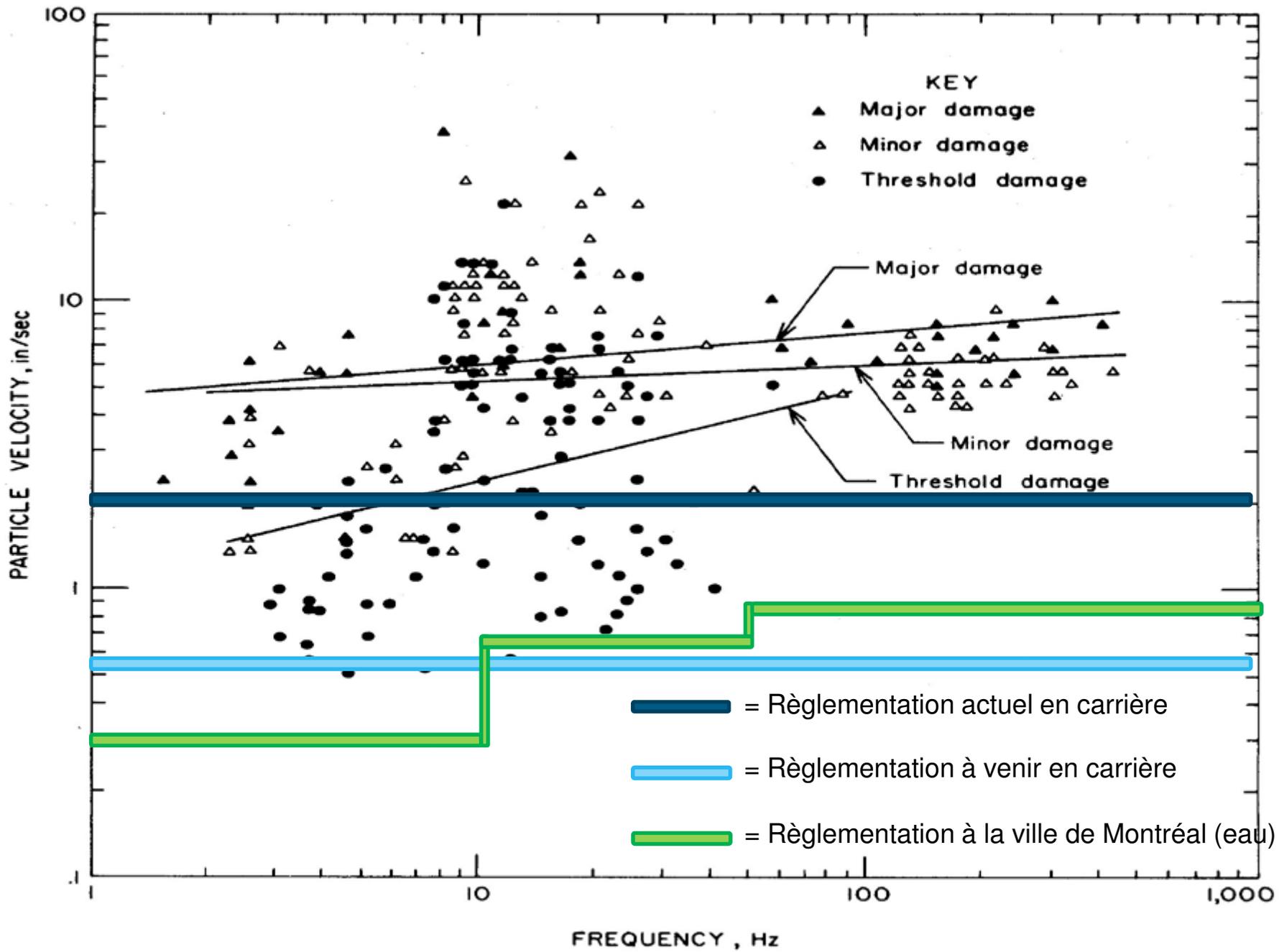


Figure 54.—Velocity versus frequency summary, set 7 mean and variance analysis.

5. Interprétation des vibrations (suite)

Atténuation des vibrations (formule empirique)

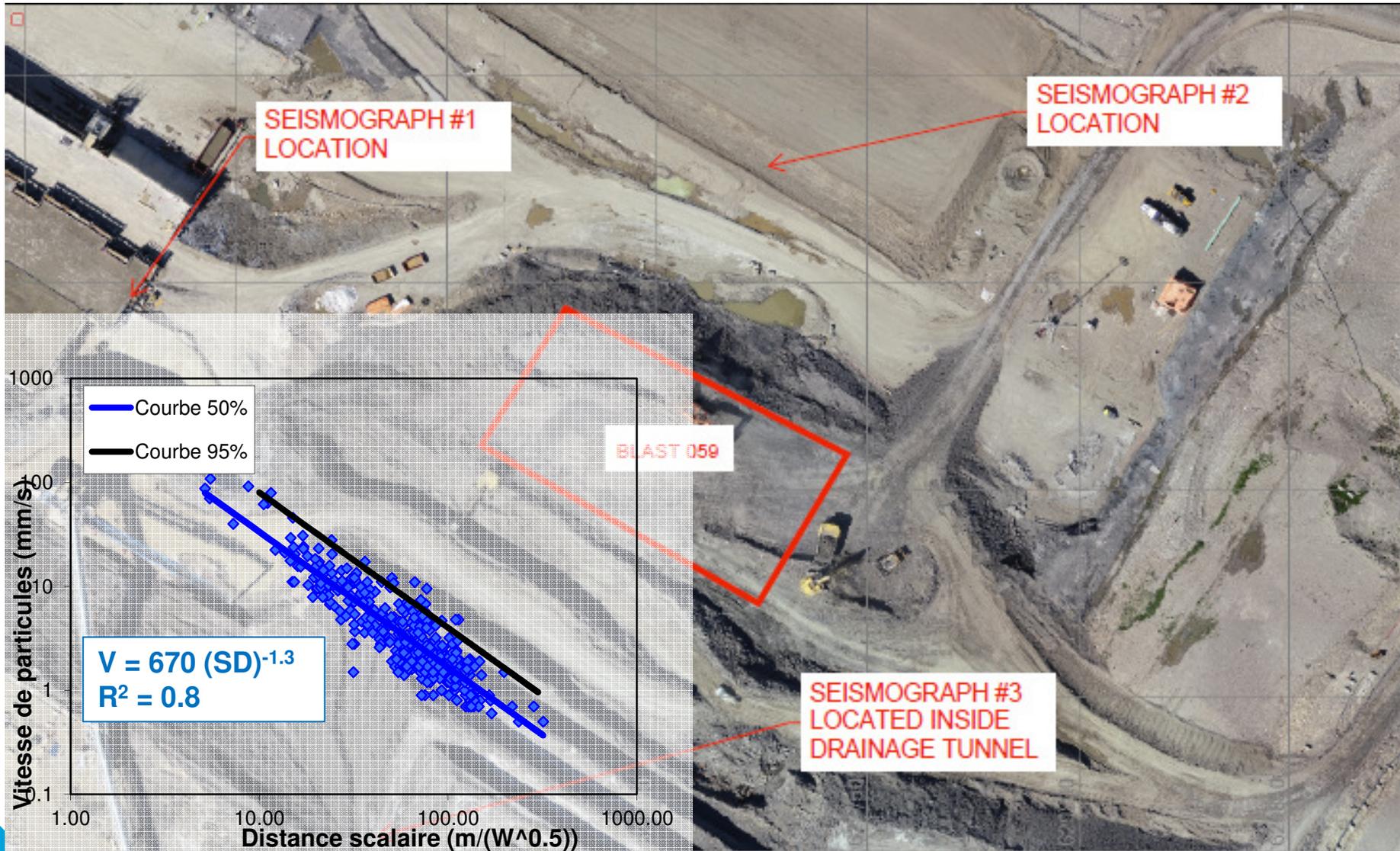
$$V = K [d/w^{1/2}]^{\beta}$$

- › *V: Vitesse de particules (mm/s)*
- › *W: Charge max. par délai (kg)*
- › *d: Distance (m)*
- › *k : Constante de transmission (type de sautage, confinement, type d'explosifs, orientation du tir, réussite du sautage, etc.)*
- › *β: Constante de site (roc et géologie)*

Note: Formule de Comeau; $\beta = -1$

$$V=K [w^{1/2} / d]$$

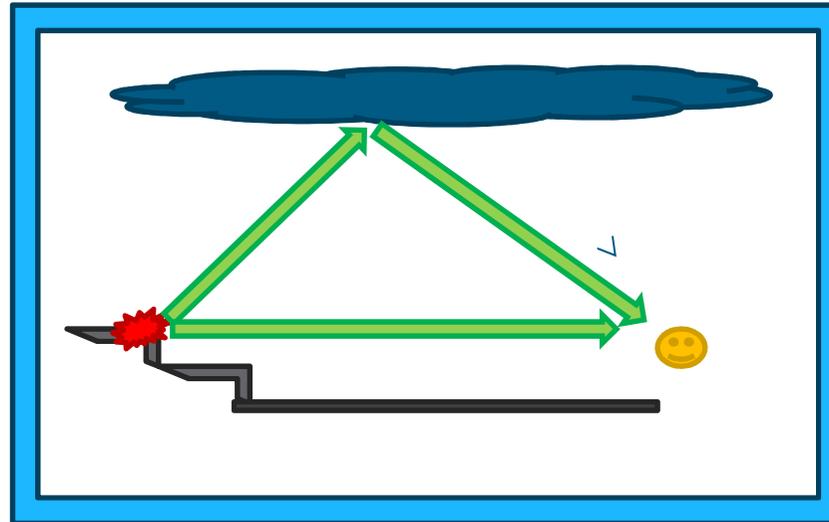
5. Interprétation des vibrations (suite)



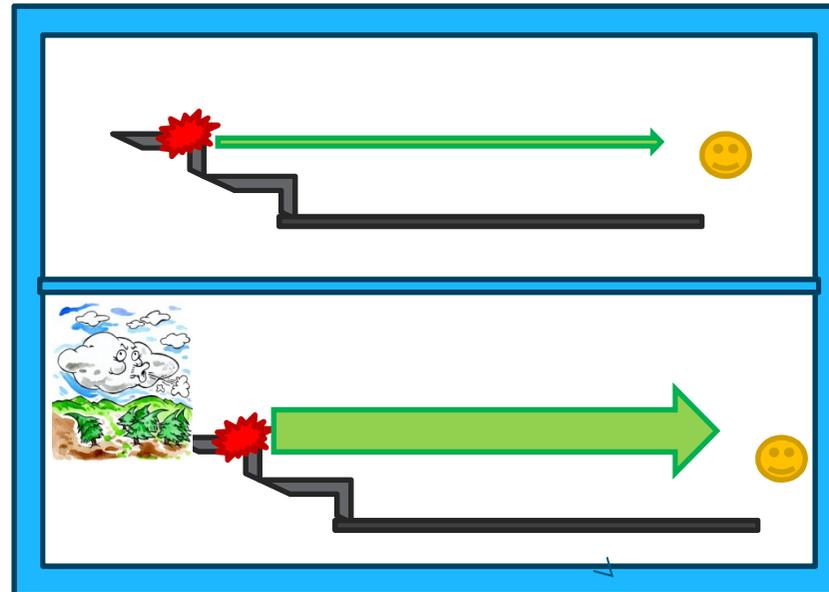
6. Interprétation des surpression d'air

Mythe de la propagation des surpressions d'air

Réflexion sur les nuages

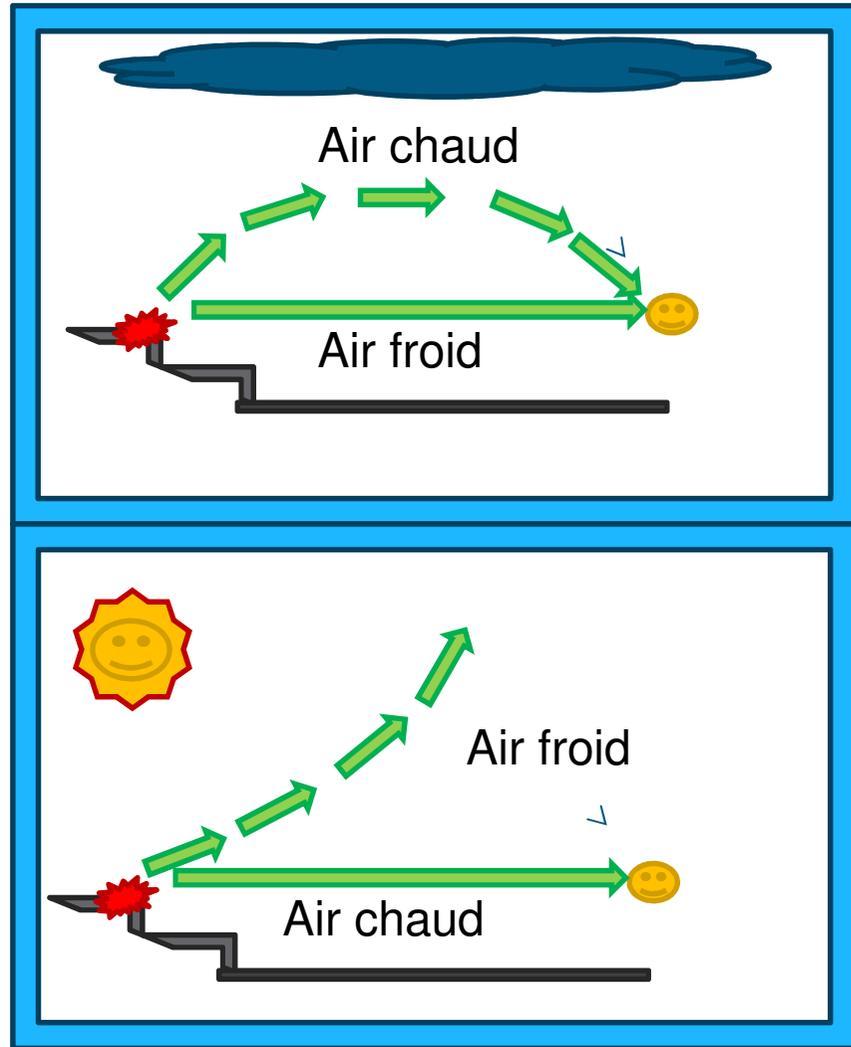
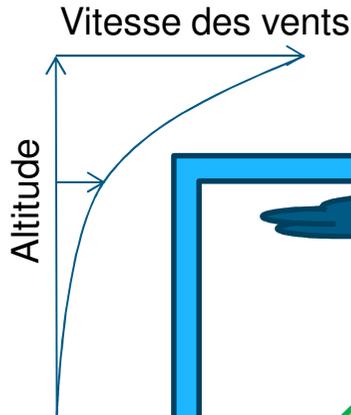
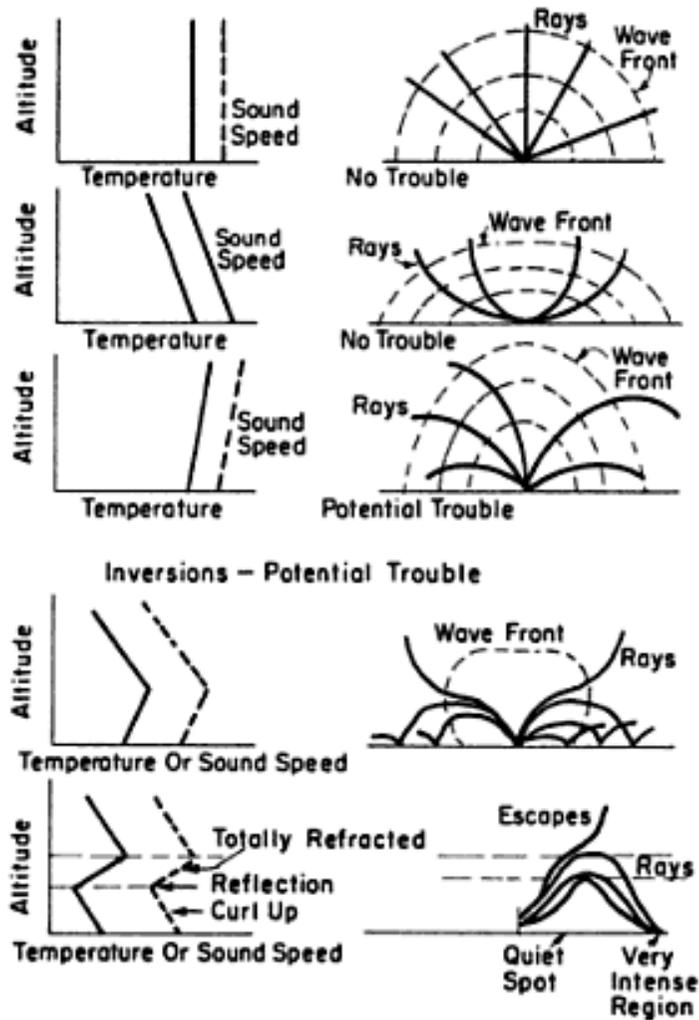


Tirs entre 2 rafales de vents



6. Interprétation des surpression d'air (suite)

Surpression vs température



7. Conclusion

- 💣 EXPERTISE ET EXPÉRIENCE DES MEMBRES DE L'ÉQUIPE
- 💣 TRAVAIL EN ÉQUIPE
- 💣 COMMUNICATION ENTRE LES MEMBRES DE L'ÉQUIPE
- 💣 SUCCÈS D'UN DYNAMITAGE = TECHNOLOGIE ET SURTOUT ÉQUIPE DE TRAVAIL
- 💣 LIMITES DE VIBRATIONS BASÉES AUSSI SUR LE DÉPLACEMENT
- 💣 CONTRÔLE DE QUALITÉ
- 💣 PERMETTRE ENCORE LONGTEMPS LE DYNAMITAGE EN MILIEU URBAIN

