

Création, transmission et divers aspects du comportement des ondes vibratoires

Patrick Andrieux

Consultation Itasca Canada, Sudbury, Ontario

31^{ième} Session d'étude sur les techniques de sautage
Québec, 4-5 décembre 2008



www.itasca.ca

Plan de la présentation

- Création et transmission des ondes vibratoires
 - Ondes P (“Primaires” – ondes de compression)
 - Ondes S (“Secondaires” – ondes de cisaillement)
 - Ondes R (de “Raleigh” – ondes de surface)
- Caractéristiques (principales) des ondes
 - Amplitude
 - Fréquence
 - Longueur d’onde
 - Durée



L'importance des ondes vibratoires

- On enregistre et analyse les vibrations causées par les sautages car elles sont une représentation commode (bien qu'indirecte) de la performance des tirs
- Les objectifs peuvent être nombreux:
 - S'assurer que les règlements environnementaux sont respectés (requis par la loi, ou fait par précaution), et calibrer les paramètres d'atténuation des ondes vibratoires
 - Estimer le niveau de dommage infligé au roc avoisinant (en référence à la dilution et la stabilité des pentes/murs)
 - Diagnostiquer le tir (détonation de toutes les charges, respect de la séquence de tir, contribution relative de chaque charge, etc.)
 - Caractériser les “ondes unitaires” (“seed waves”)



Les ondes P (de compression) et S (de cisaillement)



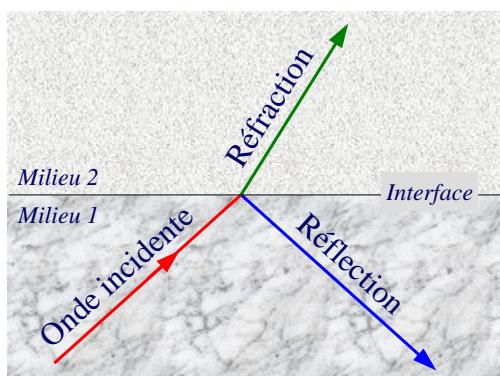
Caractéristiques des ondes P et S

- Les ondes P se créent et se propagent dans tous les milieux (solides, liquides et gazeux)
- Les ondes S se créent et se propagent seulement dans les milieux solides
- Les ondes P ont une vitesse de propagation supérieure à celle des ondes S
 - $V_s \approx 60-70\% \text{ de } V_p$
 - Il y a augmentation de la séparation entre les deux trains d'ondes avec la distance au tir



Les ondes de surface R (ondes de Raleigh)

Réflexion et réfraction à l'interface entre deux matériaux



Les proportions de l'énergie transmise et reflétée dépendent du rapport des *impédances acoustiques* des deux milieux:

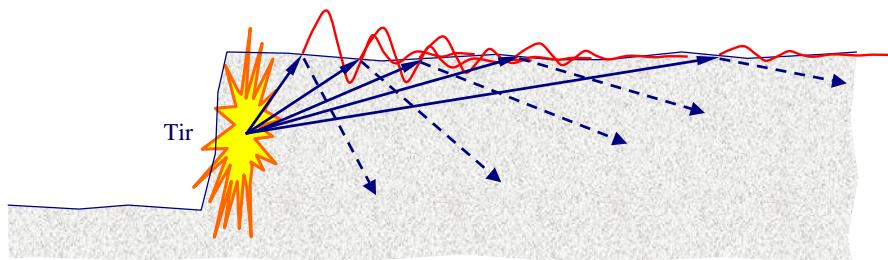
$$Z_1/Z_2 = (\rho_1 \times V_{p1}) / (\rho_2 \times V_{p2})$$

Dans le cas d'une interface rocair (ou sol-air) les différences de ρ et de V_p sont immenses et, donc, les impédances acoustiques sont très différentes – la presque totalité de l'énergie est donc reflétée dans le roc (ou le sol), et très peu est transmise à l'air



Les ondes de surface R (ondes de Raleigh)

- Chaque onde incidente (P et S) qui rencontre la surface réfléchit la majeure partie de son énergie vers le massif
- L'interface étant moins confinée, elle subit un fort déplacement autour de son point d'équilibre



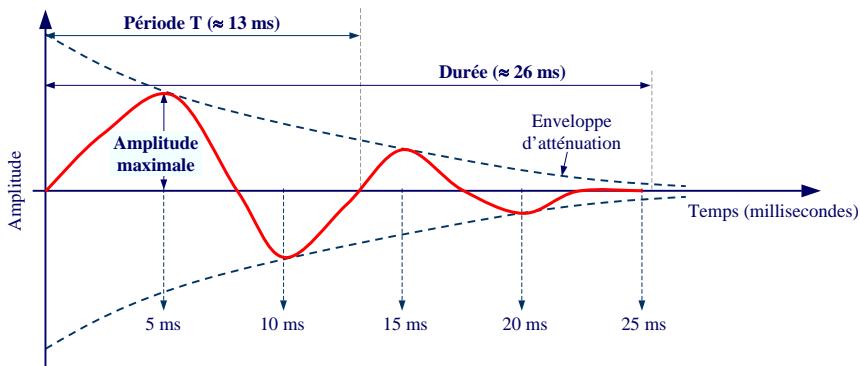
Caractéristiques des ondes R

- Les ondes R ne se créent et ne se propagent qu'en surface
- Les ondes R ont une vitesse de propagation inférieure à celle des ondes P et S
 - $V_R \approx 50\%$ de V_p , ou $\approx 90\%$ de V_s
 - Il y a augmentation de la séparation entre les ondes P, S et R avec la distance au tir
 - Les ondes R ont généralement la plus forte amplitude des trois types d'ondes, et créent généralement le plus de dommages aux structures



Caractéristiques physiques des ondes

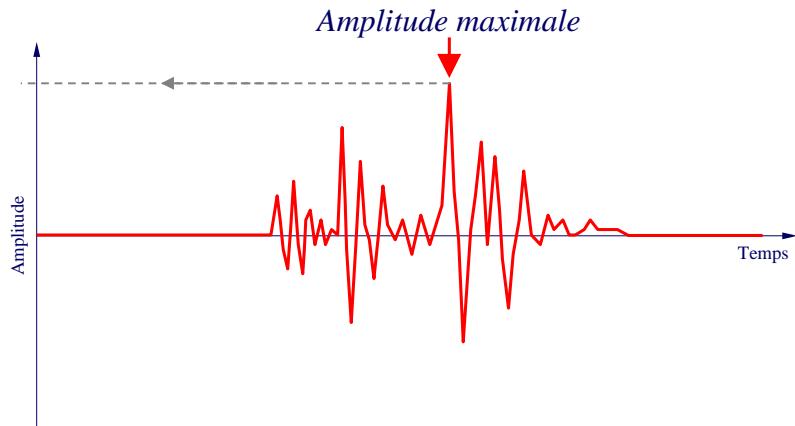
- Une onde vibratoire est surtout caractérisée par:
 - Son amplitude
 - Sa longueur d'onde
 - Sa fréquence/période
 - Sa durée



$$\text{Fréquence} = 1 / \text{Période} = 1 / 0.013 \text{ seconde} = 77 \text{ cycles/ seconde, ou 77 Hertz (Hz)}$$

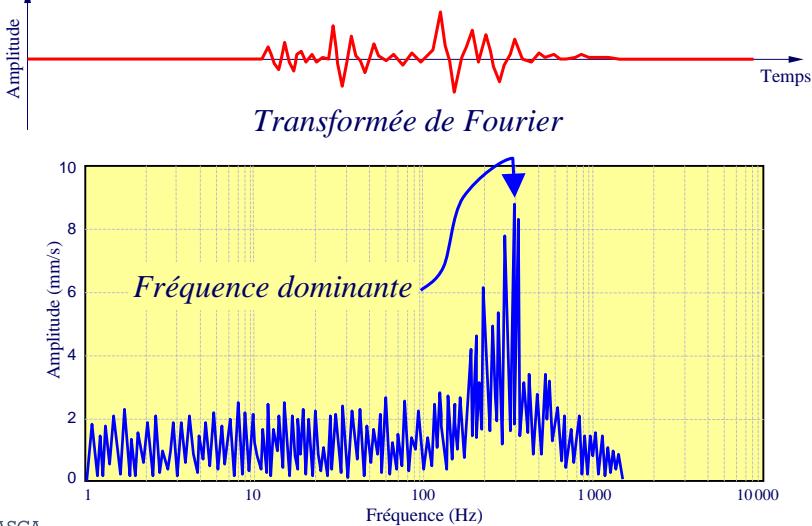


Amplitude – exemple



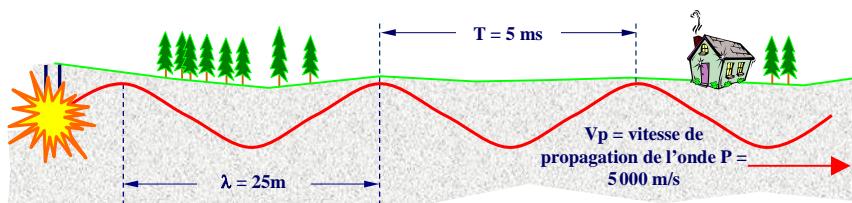
Fréquence, ... de *nombreuses* fréquences

Le contenu en fréquence dans une onde vibratoire réelle est généralement complexe et comprend un grand nombre de fréquences

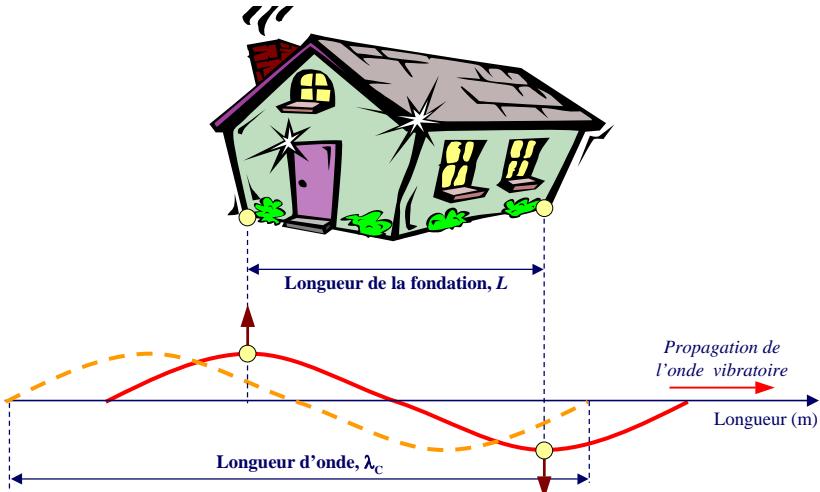


Longueur d'onde

- C'est la longueur, dans l'espace (exprimée en mètres), d'un cycle de l'onde vibratoire
- Longueur d'onde = $\lambda = V_p \times T = V_p / F$
- Par exemple, pour $V_p = 5\,000\text{ m/s}$ et une fréquence dominante de 200 Hz, la longueur d'onde serait de $5\,000/200 = 25\text{m}$



Importance de la longueur d'onde



Une longueur d'onde λ_c de $2 \times L$ résulte en un moment instantané maximum appliqué à la fondation



Mot de la fin...

- Ondes P, S (“Body Waves”) et R (de surface)
- Amplitude... À quelle fréquence dominante?
- Fréquence dominante... À quelle amplitude?
- Durée?
- Longueur d'onde? (Non fournie par les séismogrammes.)

