

# Création, transmission et divers aspects du comportement des ondes vibratoires

Patrick Andrieux

*Consultation Itasca Canada, Sudbury, Ontario*

31<sup>ème</sup> Session d'étude sur les techniques de sautage  
Québec, 4-5 décembre 2008



[www.itasca.ca](http://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)

▽ Surface

1. État initial. Dans cette analogie en 2D, toutes les particules dans la maille sont immobiles.
2. Impact en surface. L'onde compressive pousse la 1<sup>ère</sup> particule vers le bas, ce qui lui fait pousser la 2<sup>ème</sup>, localisée directement en dessous.
3. Transmission de la compression. L'onde de compression se transmet vers le bas, par propagation de proche-en-proche. Pas encore de cisaillement.
4. Déplacement de la particule-clé. La compression atteint la particule-clé. L'initiation d'une composante en cisaillement va commencer.
5. Initiation de la composante en cisaillement. La cohésion entre les particules dans la matrice solide cause l'initiation d'une composante en cisaillement.

▶

6. Début de la propagation de l'onde S. La composante en cisaillement se propage vers l'extérieur dans une direction perpendiculaire au mouvement des particules.
7. Propagation des deux types d'ondes. Les ondes P et S se propagent dans le solide.
8. Note sur les ondes S. Les particules dans la rangée horizontale se "cisailent" les unes par rapport aux autres, d'où le nom donné à ces ondes.
9. Note sur les ondes P. Le point de compression maximale se déplace dans la direction de la force compressive générée par l'impact, ce qui produit l'onde P.
10. Continuation de la propagation. Le processus de propagation continue tant que l'énergie vibratoire n'est pas complètement dissipée.

Direction de propagation de l'onde S

D'après Davis *et al.* (1976)



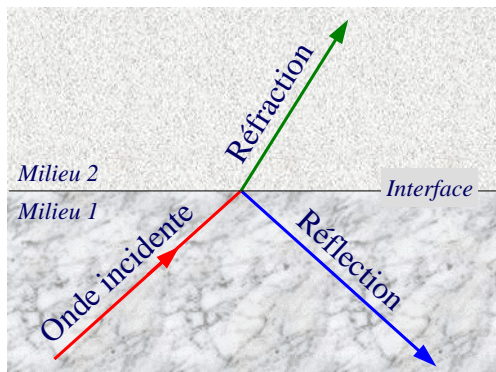
## Caractéristiques des ondes P et S

- 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
  - $V_s \approx 60-70\%$  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:

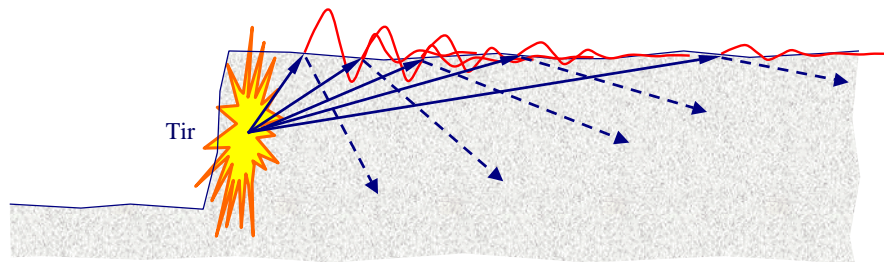
$$Z_1/Z_2 = (\rho_1 \times V_{p1}) / (\rho_2 \times V_{p2})$$

Dans le cas d'une interface roc-air (ou sol-air) les différences de  $\rho$  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



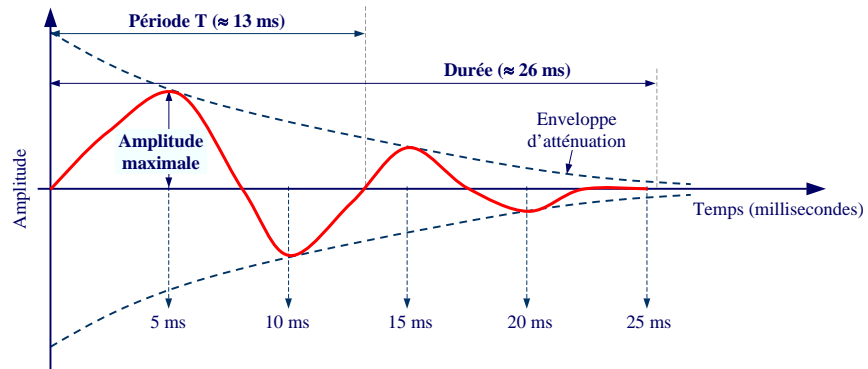
## Caractéristiques des ondes R

- 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

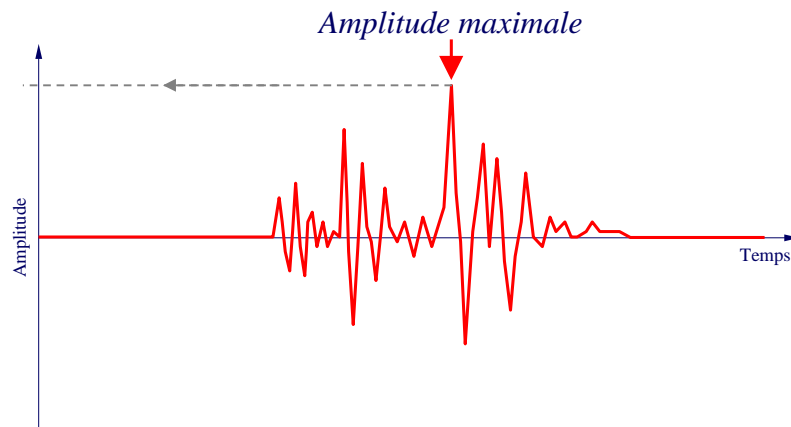
- Une onde vibratoire est surtout caractérisée par:
  - Son amplitude
  - Sa fréquence/période
  - Sa longueur d'onde
  - Sa durée



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

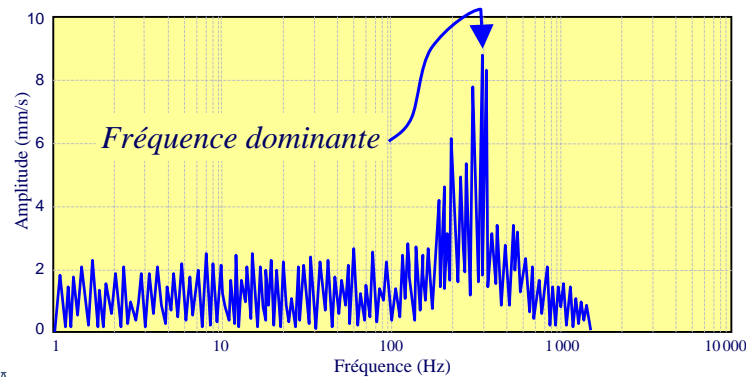


## Amplitude – exemple



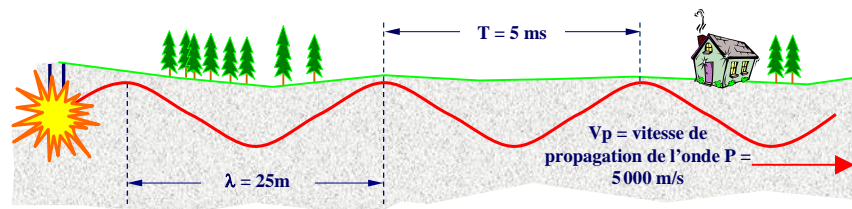
## Fréquence, ... de nombreuses fréquences

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

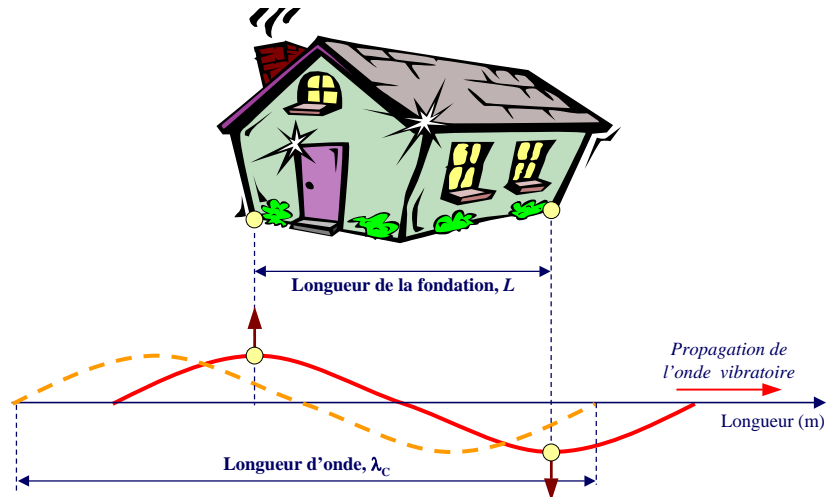


## Longueur d'onde

- 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  $V_p = 5000$  m/s et une fréquence dominante de 200 Hz, la longueur d'onde serait de  $5000/200 = 25$ m



## Importance de la longueur d'onde



Une longueur d'onde  $\lambda_c$  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.)

