

Géophones vs. accéléromètres : principes de fonctionnement, applications et limites

Patrick Andrieux

Consultation Itasca Canada, Inc., Sudbury, Ontario

www.itasca.ca

29^{ième} Session d'étude sur les techniques de sautage

Québec, les 23 et 24 novembre 2006



Composantes du monitoring des vibrations

- Capteurs
 - Type/construction
 - Montage/couplage
 - Nombre de stations
 - Localisation
- Lignes de transmission
 - Type (blindées, etc.)
 - Longueur (pertes)
- Système d'acquisition
 - Conversion A/D
 - Architecture et caractéristiques du hardware
 - Taux d'échantillonnage
 - Nombre de bits
 - Gain et portée
 - Portée dynamique
 - Filtres
 - Mémoire
 - Déclenchement



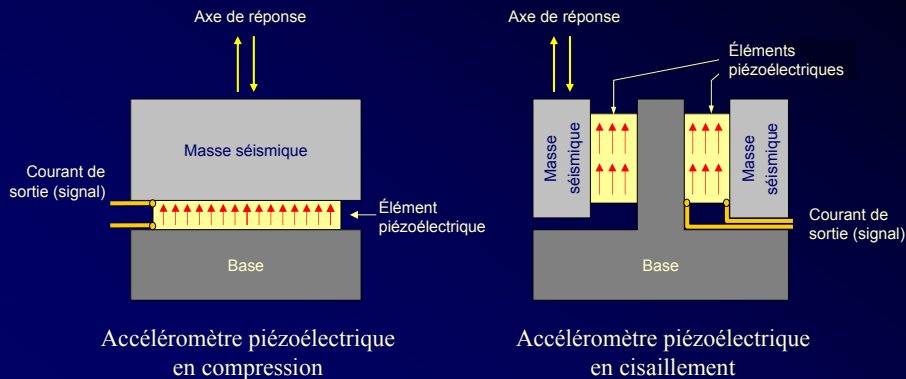
Capteurs vibratoires

- Deux types principaux sont communément utilisés:
 - Des accéléromètres — mesurent l'accélération des vibrations
 - Des géophones — mesurent la vitesse des vibrations
- Quel type utiliser dépend de l'application...



Accéléromètre — Élément piézoélectrique

Un matériel piézoélectrique a la propriété de générer un courant électrique lorsqu'il est déformé. La quantité d'électricité générée est proportionnelle à la déformation.



↑ Direction de la polarisation

D'après Dowding, 1987



Accéléromètre — Élément piézoélectrique

- Force exercée sur la masse sismique = masse \times accélération
 - La masse est connue
 - L'électricité produite par l'élément piézoélectrique est proportionnelle à la force exercée sur lui par la masse, qui est elle-même proportionnelle à l'accélération du système
- Le courant de sortie du système est donc proportionnel à l'accélération
- La mesure est exprimée en unités d'accélération (g)
- La sensibilité est exprimée soit en mV/g (mesure du voltage) soit en pC/g (mesure de la charge)



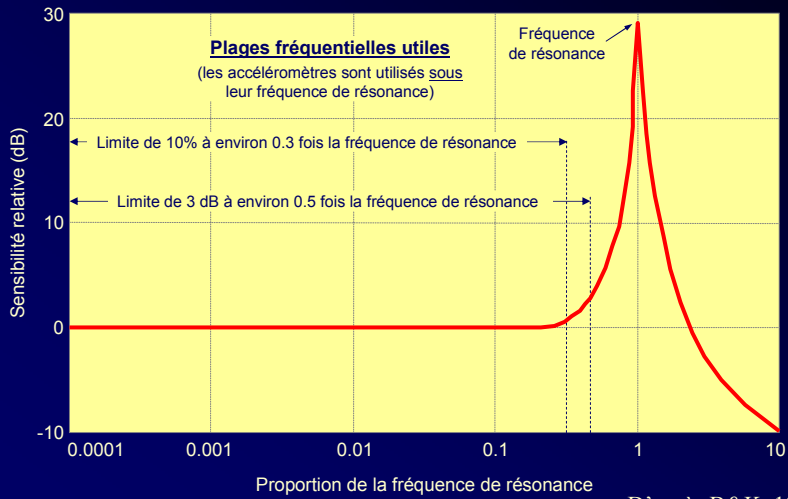
Accéléromètre — Élément piézoélectrique

- Grande portée dynamique — peut enregistrer aussi bien des hautes que des basses amplitudes
- Large plage fréquentielle
 - Peut enregistrer de hautes fréquences (pas de pièces mobiles, faible inertie)
 - Limité dans les basses fréquences (faible inertie)
- Besoin d'une source électrique pour alimenter l'amplificateur de charge
- Plus onéreux et plus compliqué à utiliser

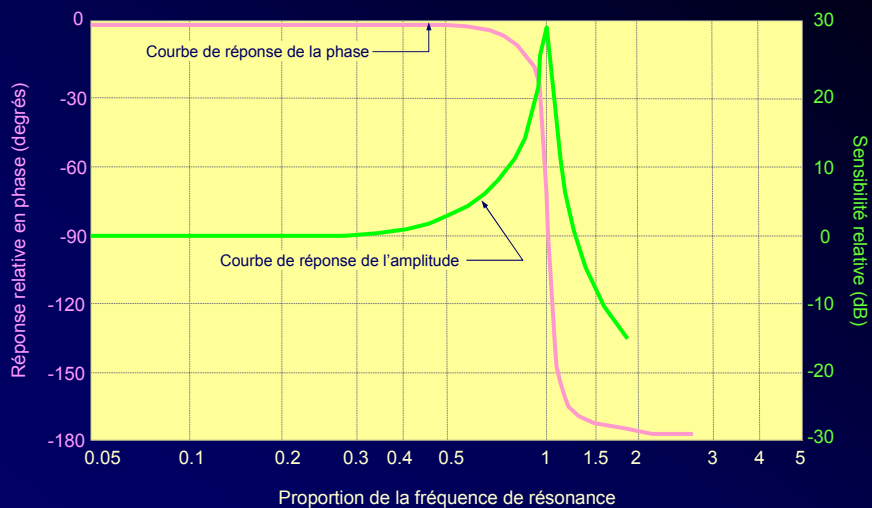


Réponse fréquentielle d'un accéléromètre

$$\text{Décibel} = \text{dB} = 20 \times \log_{10} (A / A_{\text{ref}})$$



Accéléromètre – Réponses de l'amplitude et de la phase

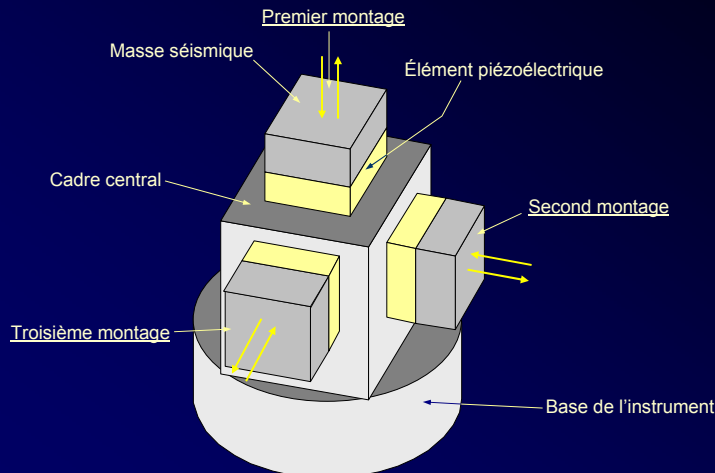


Directionnalité d'un accéléromètre

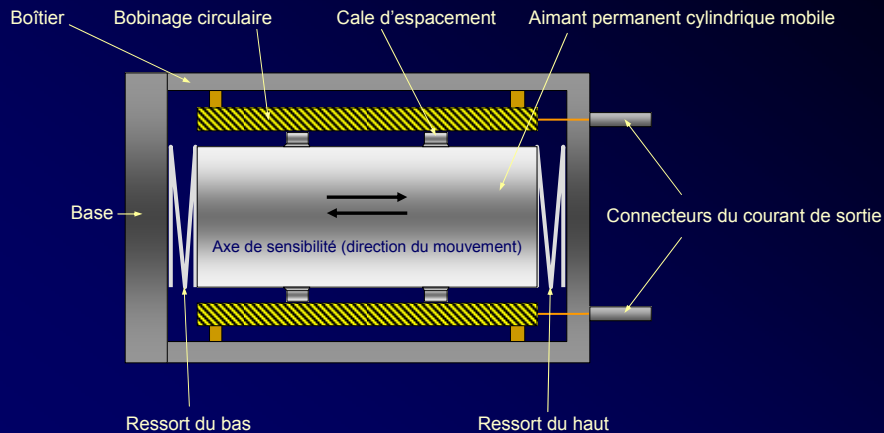
- Les accéléromètres piézoélectriques sont conçus pour répondre selon leur axe de sensibilité
- Idéalement, la sensibilité transversale devrait être nulle
- En pratique, la sensibilité transversale est généralement sous la barre des 10% de la sensibilité le long de l'axe principal (à ~ 15% de la fréquence de résonance de l'axe principal) — ce pourcentage augmente avec la fréquence



Accéléromètre — Montage triaxial



Géophone — Principe de base



Géophone — Principe de base

- L'électricité produite par le système est proportionnelle à la vitesse relative de l'aimant qui se déplace dans le bobinage
- Puisque le bobinage est fixé au boîtier et que le boîtier est solidaire du roc, cette vitesse peut être considérée comme étant celle générée dans le roc, au point d'observation, par l'onde vibratoire
- La mesure est en millimètres par seconde (mm/s) ou en pouces par seconde (po/s)
- La sensibilité est exprimée soit en $\text{mV}/(\text{mm/s})$ soit en $\text{mV}/(\text{po/s})$

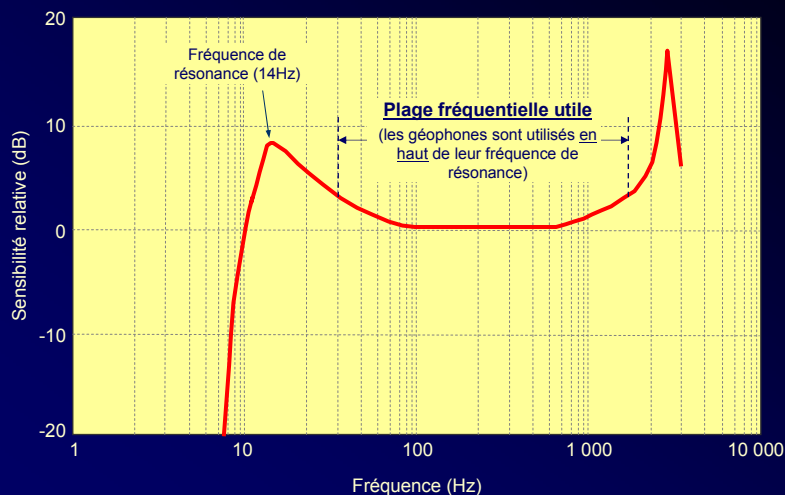


Géophone — Caractéristiques de base

- Capteur purement passif (aucun signal lorsqu'immobile)
- Portée dynamique limitée
 - Ne peut capter de très basses amplitudes à cause de la rigidité des ressorts et de la friction des cales d'espacement
 - Ne peut capter de très hautes amplitudes à cause du jeu limité de l'aimant mobile à l'intérieur du boîtier
- Plage fréquentielle limitée
 - Ne peut capter de très hautes fréquences (en général supérieures à $\sim 1\,500$ Hz) à cause de l'inertie des pièces mobiles internes
 - Bonne réponse aux basses fréquences (à cause de cette même inertie)
- Pas besoin d'alimentation extérieure en courant
- Typiquement moins coûteux et plus facile à utiliser



Géophone — Réponse fréquentielle



D'après OYO GeoSpace, 1991

(Pour un géophone OYO GeoSpace LT-101 de 14Hz)

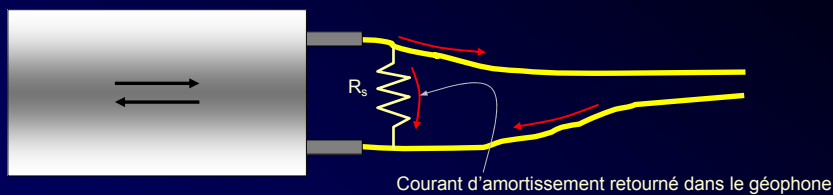


Géophone — Amortissement et shunting

- L'amortissement (“damping”) naturel ramène éventuellement l'aimant à sa position d'équilibre
- L'amortissement naturel est toutefois insuffisant — il permet à l'aimant de continuer à osciller longtemps après le passage de l'onde vibratoire, ce qui brouille l'enregistrement
- Un amortissement supplémentaire “artificiel” est requis, qui est fourni par un pont (un “shunt”) placé en parallèle à la sortie de l'instrument



Géophone — Amortissement et shunting



$$h = h_0 + [K \times \{ R_C / (R_C + R_S) \}]$$

Avec:

- h , le rapport d'amortissement — varie entre 0 (pas d'amortissement) et 1 (amortissement “critique”)
- h_0 , le rapport d'amortissement intrinsèque, en circuit ouvert
- K , une constante caractéristique du senseur (fournie par le manufacturier)
- R_C , la résistance du bobinage du géophone (en ohms)
- R_S , la résistance du shunt (en ohms)



Géophone — Amortissement et shunting

- La réponse linéaire la plus longue est atteinte avec des rapports d'amortissement compris entre 0.5 et 0.7
- Puisque l'amortissement affecte la quantité de courant qui circule dans le géophone, il affecte également le voltage du courant de sortie et, donc, la sensibilité de l'instrument

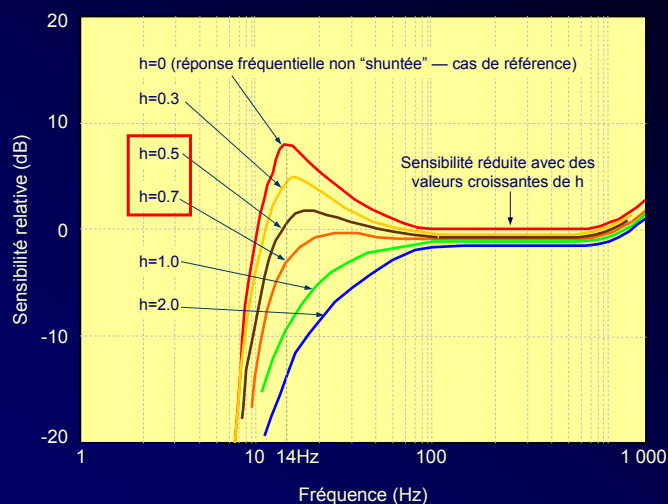
$$S_r = S_i \times [R_S / (R_C + R_S)]$$

Avec:

- S_r , la sensibilité résultante (en mV/unité de vitesse)
- S_i , la sensibilité intrinsèque (en mV/unité de vitesse)
- R_S , la résistance du shunt (en Ω)
- R_C , la résistance intrinsèque du bobinage du géophone (en Ω)



Géophone — Amortissement et shunting

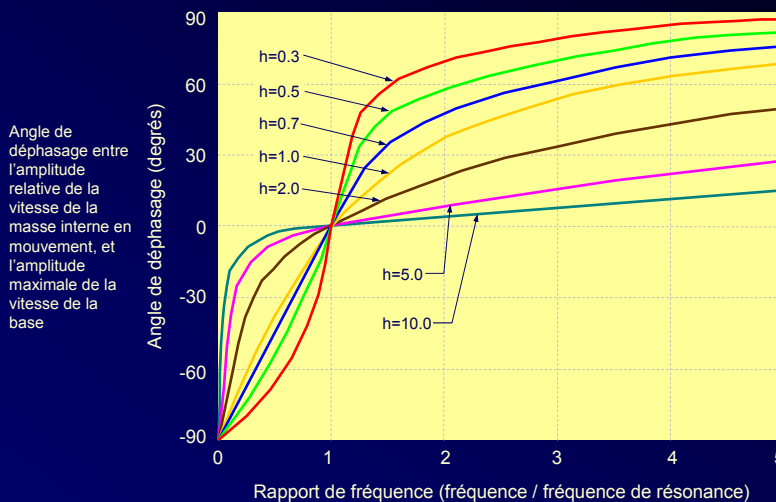


Géophone — Réponse en phase

- La réponse en phase d'un géophone est affectée par l'inertie de ses parties mobiles internes
- À mesure que le taux d'amortissement augmente le système devient plus "raide" et la réponse en phase s'améliore



Géophone — Réponse en phase



D'après Harris & Crede, 1976

Géophone — Autres considérations

- Les géophones avec des fréquences de résonance plus basses (conçus pour opérer à de plus basses fréquences) doivent être plus sensibles aux faibles vibrations
 - Une construction plus délicate (pour minimiser les forces de friction internes) doit être utilisée pour atteindre cette augmentation de sensibilité
 - L'inertie du système doit être augmentée (senseur plus gros)
- Les forces de friction peuvent être maintenues au minimum seulement si les capteurs sont utilisés soit horizontalement soit verticalement, selon leur construction
- Certains capteurs (généralement à haute fréquence) sont toutefois omni-directionnels

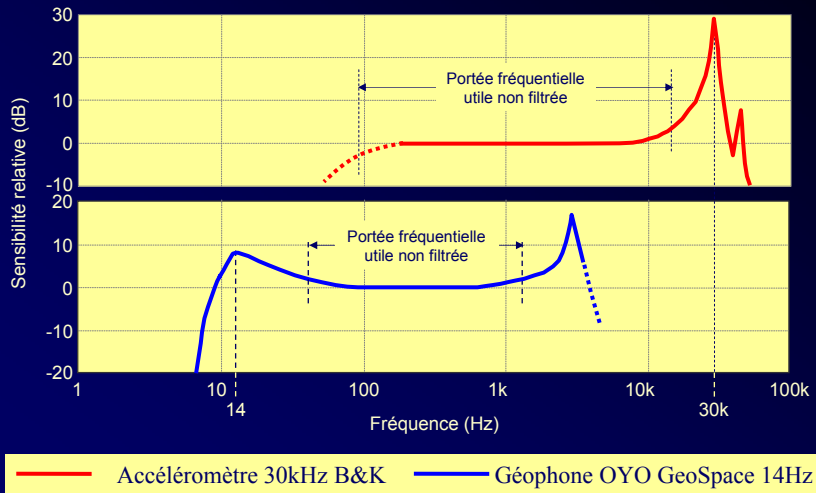


Choix du capteur vs. situation

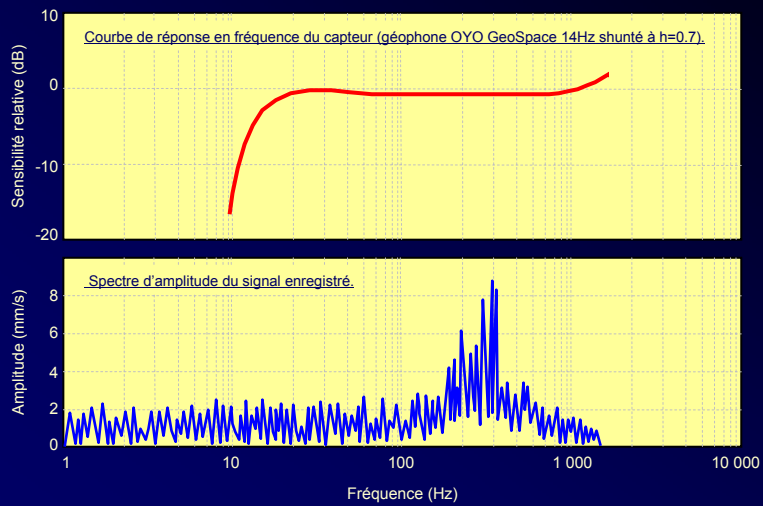
- Le choix du capteur doit être basé sur les caractéristiques de l'onde vibratoire à enregistrer
 - Contenu fréquentiel
 - Plage d'amplitude
- Ces caractéristiques dépendent elles-mêmes de la situation
 - Distance au tir
 - Type de roc (caractéristiques d'atténuation)
 - Ampleur et conception du sautage



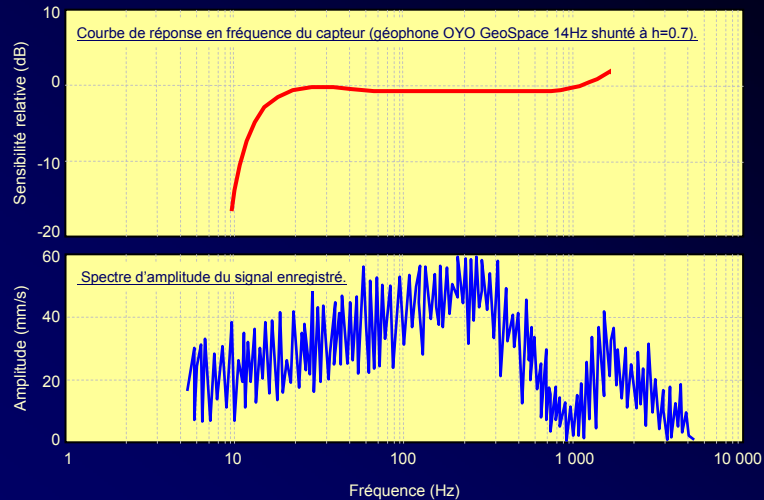
Choix du capteur vs. contenu en fréquences



Bonne concordance capteur — signal



Mauvaise concordance capteur — signal



Conclusions

- Pour des fins “scientifiques”, ou à très courte distance d’une charge (où les hautes fréquences et hautes amplitudes dominant) — accéléromètre
- Pour des fins pratiques et à une distance de plus d’une longueur de charge — géophone
- Lorsque possible, utiliser un géophone de préférence

Merci de votre attention...

