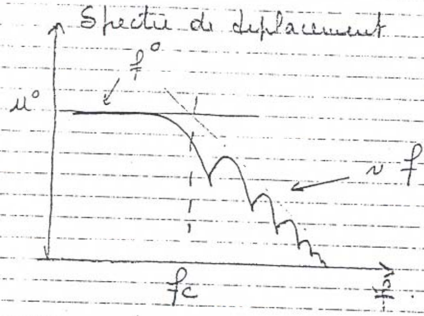
Comprendre les caractéristiques des signaux observés : modèles cinématiques



→ f_c varie inversement avec la magnitude

→ signaux digitaux → u^0, f_c

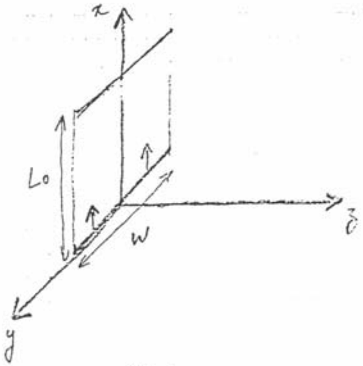
→ f_c varie avec l'azimut / faille.
≠ P et S

⇒ modèle simple faille étendue

modèle cinématique = déplacement imposé

Etude rayonnement champ lointain

Un modèle simplifié: Haskell

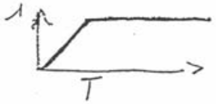


glissement simultané sur toute la largeur W se propage à V_R jusqu'à $x = L_0$

$$\Rightarrow \quad D(x,t) = D_0 \, f\left(t - \frac{x}{V_R}\right)$$

$$\begin{cases} f(t) = 0 & \text{si } t < 0 \\ f(t) = 1 & t \text{ grand} \end{cases}$$

<u>exemple</u> $\quad f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t/T & t < T \\ 1 & t > T \end{cases}$



T = temps de montée

≠ durée du séisme

Radiation de chaque point de la feuille:

$$du = du^P + du^S$$

avec $\quad du_i^P = \frac{1}{4\pi\rho\alpha^3} \, \frac{1}{r} \, R_{ijk}^P \, \dot{M}_{jk}\left(t - \frac{r}{\alpha}\right)$

$$du^S = \frac{1}{4\pi\rho\beta^3} \, \frac{1}{r} \, R_{ijk}^S \, \dot{M}_{jk}\left(t - \frac{r}{\beta}\right)$$

→ prendre en compte la géométrie

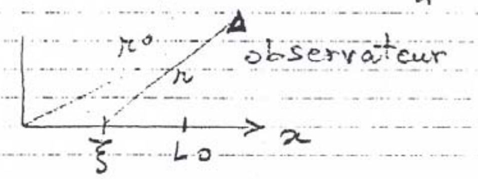
→ intégrer sur la surface..

Champ lointain $\Rightarrow$ Expansion Fonction Green valable sur toute la faille

$\Rightarrow$ Diagramme de radiation idem -

Forme déplacement

$$\overrightarrow{du}^P = \frac{1}{4\pi\rho\alpha^3}\,\frac{1}{r_0}\,\overrightarrow{R_\alpha}\,\mu\,W\,d\xi\,D_0\,\dot{f}\left(t - \frac{r(\xi)}{\alpha} - \frac{\xi}{V_R}\right)$$



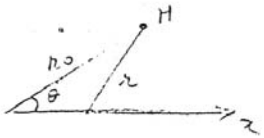
$\Rightarrow$

$$u^P = \frac{1}{4\pi\rho\alpha^3}\,\frac{1}{r_0}\,\overrightarrow{R_\alpha}\,\mu\,W\,D_0\int_0^{L_0}\dot{f}\left(t - \frac{r(\xi)}{\alpha} - \frac{\xi}{V_R}\right)d\xi$$

$$u^S = \frac{1}{4\pi\rho\beta^3}\,\frac{1}{r_0}\,\overrightarrow{R_\beta}\,\mu\,W\,D_0\int_0^{L_0}\dot{f}\left(t - \frac{r(\xi)}{\beta} - \frac{\xi}{V_R}\right)d\xi$$

Problème : évaluer les intégrales

$$J = \int_0^{L_0} \dot{f}\left(t - \frac{r(\xi)}{c} - \frac{\xi}{V_R}\right) \cdot d\xi \qquad c = \alpha \text{ ou } \beta$$



r grand $\Rightarrow$ $r_0 - r \simeq \xi \cos\theta$

$r = r_0 - \xi \cos\theta$

$$J = \int_0^{L_0} \dot{f}\left(t - \frac{r_0}{c} + \frac{\xi}{c}\cos\theta - \frac{\xi}{V_R}\right) d\xi$$

$$= \int_0^{L_0} \dot{f}\left(t - \frac{r_0}{c} - \frac{\xi}{c}\left(\frac{c}{V_R} - \cos\theta\right)\right) d\xi$$

$$\left.\begin{aligned} \eta &= t - \frac{r_0}{c} - \frac{\xi}{c}\left(\frac{c}{V_R} - \cos\theta\right) \\ d\eta &= -\frac{1}{c}\left(\frac{c}{V_R} - \cos\theta\right) d\xi \end{aligned}\right\} =$$

$\xi = 0 \Rightarrow \eta = t - \frac{r_0}{c}$

$\xi = L_0 \Rightarrow \eta_L = t - \frac{r_0}{c} - \frac{L_0}{c}\left(\frac{c}{V_R} - \cos\theta\right)$

$= t - \frac{r_0}{c} - \tau_0$

$$J = -\frac{c}{\left(\frac{c}{V_R} - \cos\theta\right)} \int_{t - \frac{r_0}{c}}^{t - r_0/c - \tau_0} \dot{f}(\eta)\, d\eta$$

$$\Rightarrow \quad J = \frac{c}{\frac{c}{V_R} - \cos\theta}\left[f\left(t - \frac{r_0}{c}\right) - f\left(t - \frac{r_0}{c} - \tau_0\right)\right]$$

τ_0 = durée apparente du séisme $= \frac{L_0}{c}\left(\frac{c}{V_R} - \cos\theta\right)$

$\tau_0 =$ durée $= \frac{L_0}{V_R}$ si $\theta = \frac{\pi}{2}$.

$\tau_0 <$ durée réelle si $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$

$\tau_0 >$ durée réelle si $\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$

Effet de directivité

Les effets de directivité sont provoqués par un effet Doppler des ondes qui se propagent

L'effet de directivité conduit à une augmentation de l'amplitude et de la fréquence du mouvement du sol dans la direction de la rupture sismique

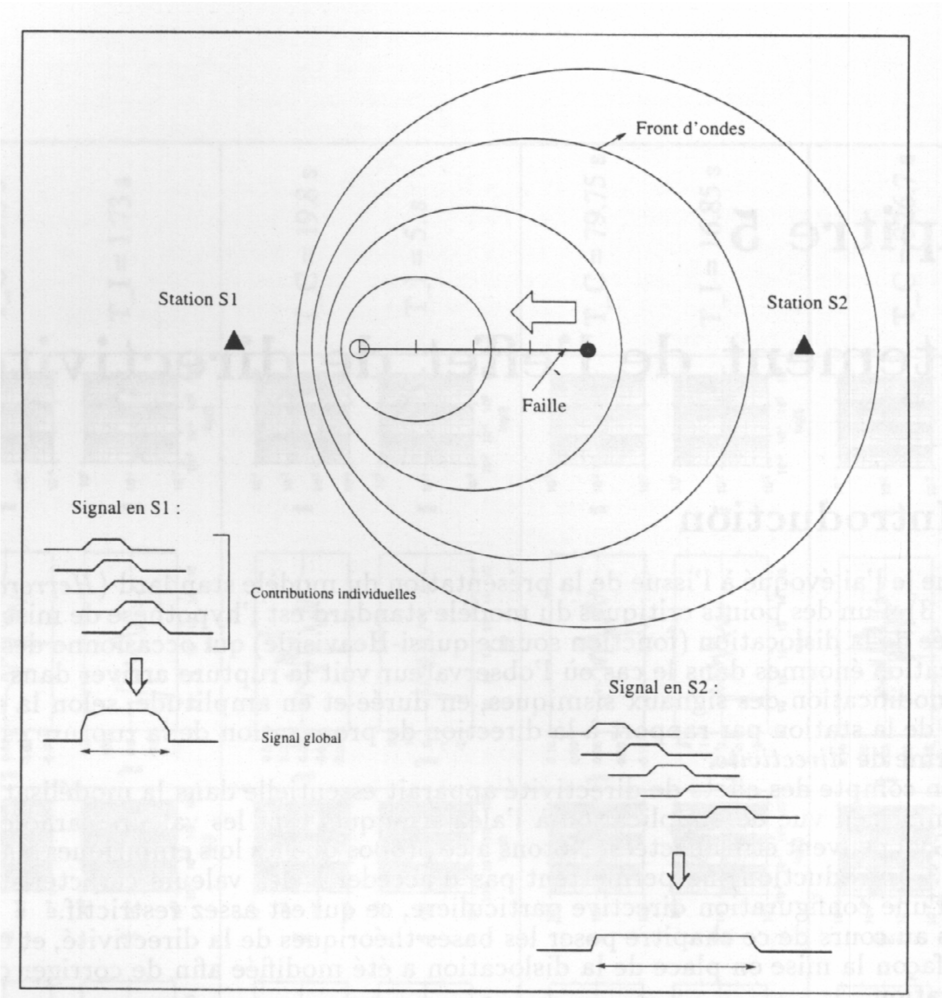


FIG. 5.1 – *Illustration de l'effet de directivité.*

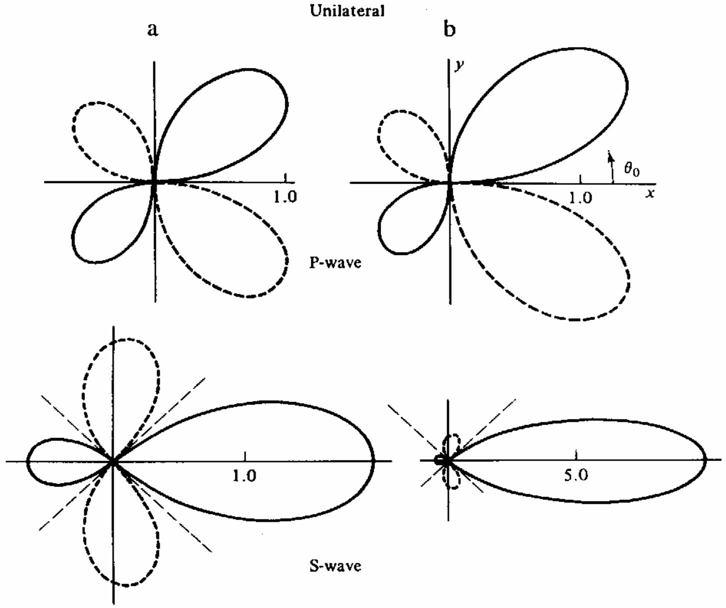
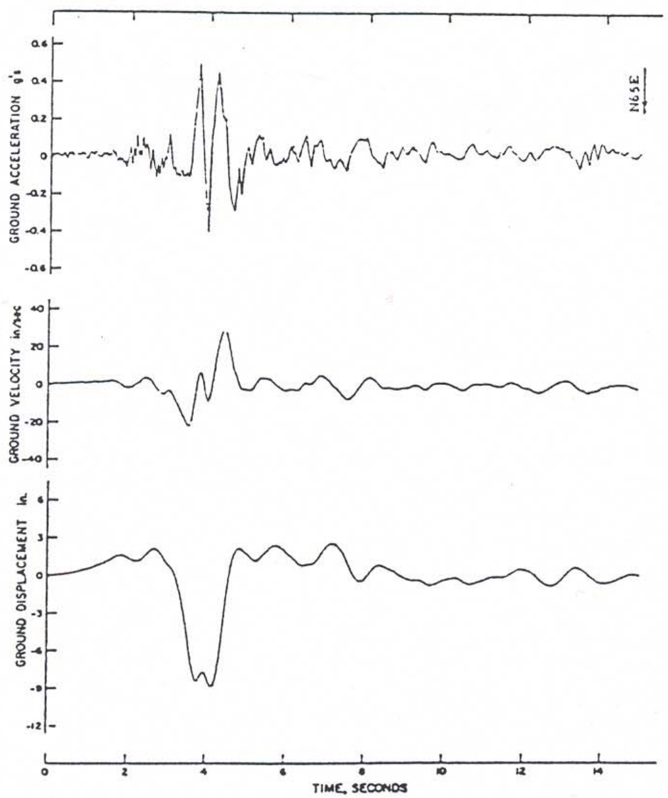


FIGURE 9.10 The variability of *P*- and *SH*-wave amplitude for a propagating fault (from left to right). For the column on the left $v_r/v_s = 0.5$, while for the column on the right $v_r/v_s = 0.9$. Note that the effects are amplified as rupture velocity approaches the propagation velocity. (From Kasahara, 1981.)

Lay et Wallace, 1995, Berge, 1996

Tranverse motion on the fault trace during the 1966 Parkfield earthquake.



Fonction 'carrée'

$$J = \frac{L_0}{\tau_0}\left(f\left(t-\frac{r_0}{c}\right) - f\left(t-\frac{r_0}{c}-\tau_0\right)\right) = \varphi_c(t, r_0, \tau_0)$$

$\Rightarrow$

$$u^x = \frac{1}{4\pi\rho c^3}\,\frac{1}{r_0}\,\vec{R}_c\,\underbrace{\mu W D_0 L_0}_{M_0}\,\frac{1}{\tau_0}\,\varphi_c(t, r_0, \tau_0)$$

$x = P \quad c = \alpha \quad ; \quad x = S \quad c = \beta$

$\Rightarrow$ f° de directivité $\frac{1}{\tau_0}$ concentration de l'énergie

Spectre de u^x :

$$F(\omega) = TF\, f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\, e^{-i\omega t}\, dt$$

$$\left.\begin{array}{l} TF\left(f\left(t-\frac{r_0}{c}\right)\right) = e^{-i\omega\frac{r_0}{c}}\, F(\omega) \\ TF\left(f\left(t-\frac{r_0}{c}-\tau_0\right)\right) = e^{-i\omega\frac{r_0}{c}-\tau}\, F(\omega) \end{array}\right\}$$

$$TF(\varphi) = F(\omega)\, e^{-i\omega\frac{r_0}{c}}\left[1 - e^{-i\omega\tau_0}\right]$$

Module : $|\tilde{\varphi}(\omega)| = |F(\omega)|\; 2\; \left|\sin\left(\frac{\omega\tau_0}{2}\right)\right|$

$\Rightarrow$

$$|\tilde{u}^x(\omega)| = \frac{1}{4\pi\rho c^3}\,\frac{1}{r_0}\,\vec{R}_c\; M_0\; \omega \left|\frac{\sin\frac{\omega\tau_0}{2}}{\frac{\omega\tau_0}{2}}\right|\; |F(\omega)|$$

avec $f(t)$ = rampe $\Rightarrow F(\omega) = \frac{1}{\omega^2 T}\left(e^{-i\omega T} - 1\right)$

$$\Rightarrow |F(\omega)| = \left|\frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2}\right| \frac{1}{\omega}$$

d'où

$$|u^x(\omega)| = \frac{1}{4\pi\rho c^3}\,\frac{1}{r_0}\, R_c\, M_0 \left|\frac{\sin\left(\frac{\omega\tau_0}{2}\right)}{\frac{\omega\tau_0}{2}}\right| \left|\frac{\sin\frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}}\right|$$

dépend de T temps de montée

τ_0 : durée apparente $f(\theta, L_0, V_R)$

Forme du spectre

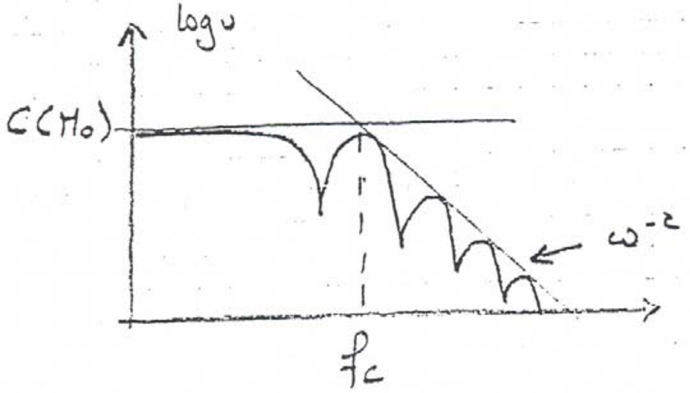
$\underline{\omega \text{ petit}}$ $\rightarrow$ $\dfrac{\sin(\omega T/2)}{\omega T/2} \rightarrow 1$

$$\frac{\sin \omega \tau/2}{\omega T/2} \rightarrow 1$$

$$|u^x(\omega)| \rightarrow \frac{1}{4\pi\rho c^3} \frac{1}{r_0} R_c M_0$$

$\Rightarrow$ mesure du moment. M_0

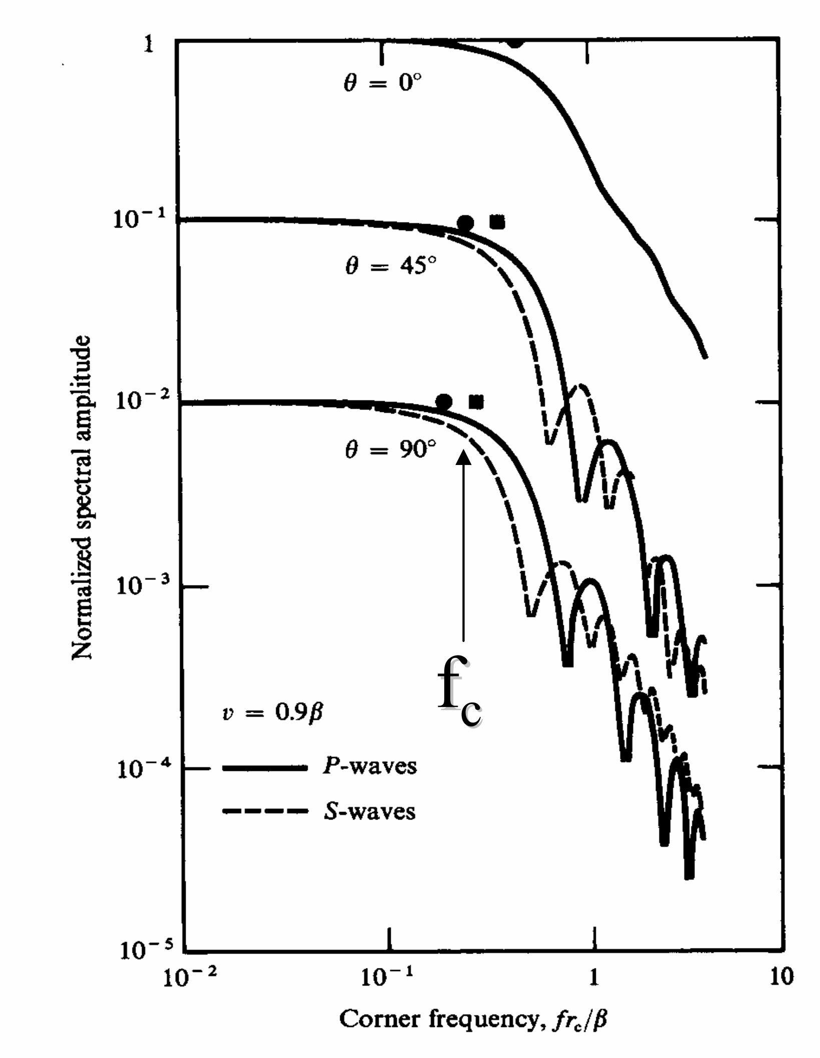
$\underline{\omega \text{ grand}}$ sous l'asymptote $\dfrac{1}{4\pi\rho c^3} \dfrac{1}{r_0} R_c M_0 \dfrac{4}{\tau_0 T} \dfrac{1}{\omega^2}$



f_c dépend de T et τ_0

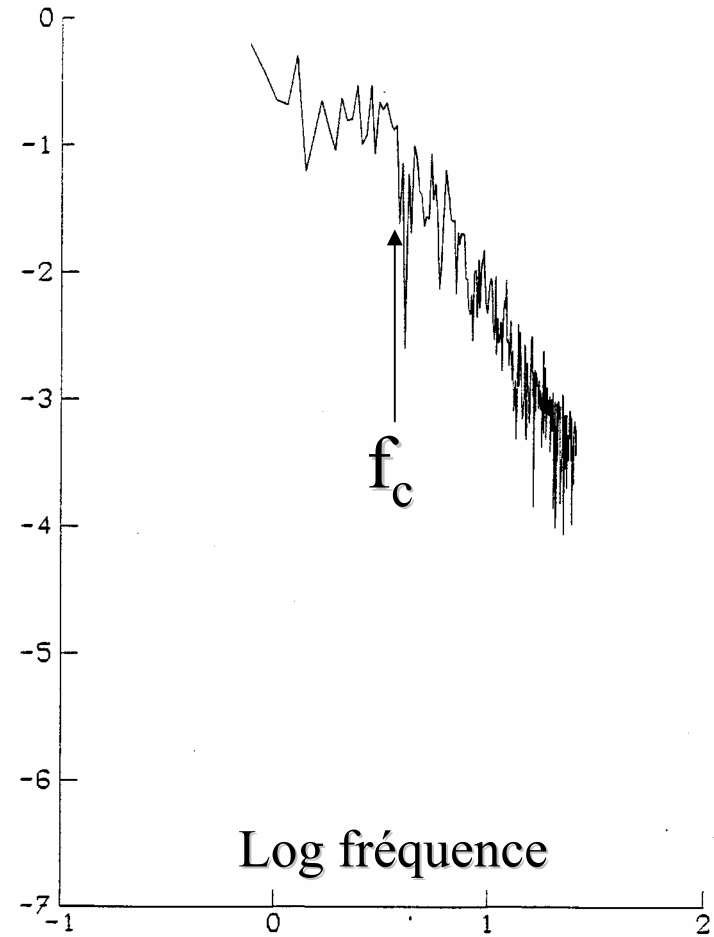
$\Rightarrow$ durée $\approx$ <u>dimension</u>

« ω^{-2} » décroissance haute fréquence au-delà de la fréquence de coin f_c



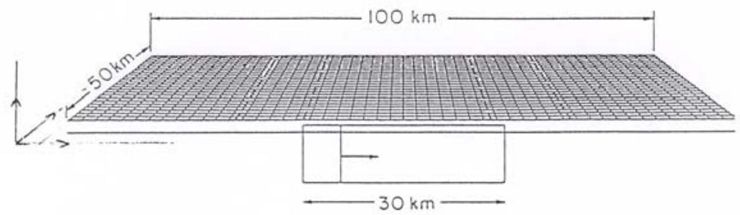
Théorie

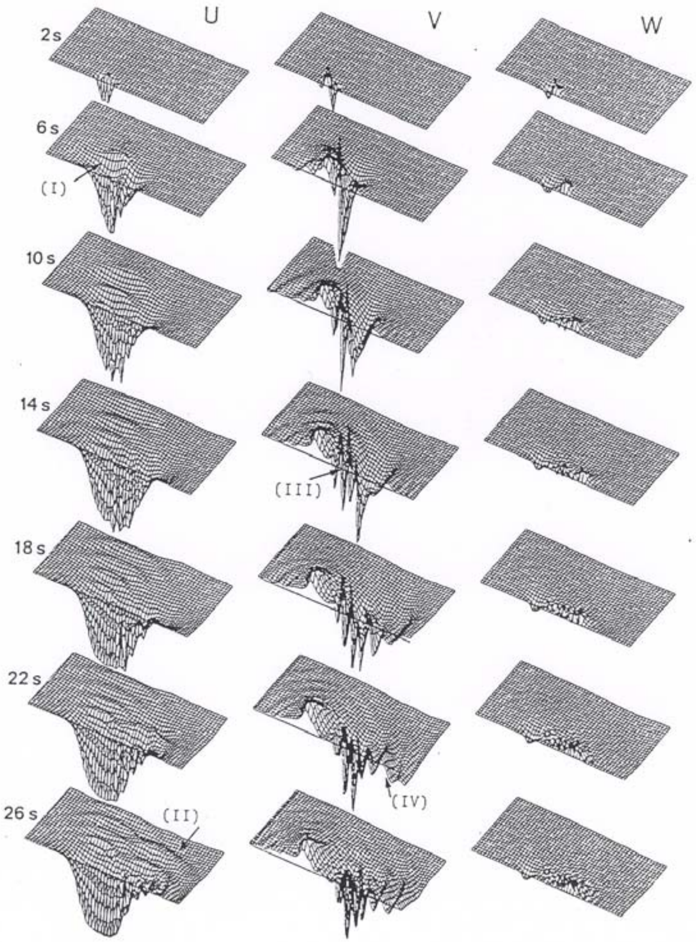
amplitude spectrale du déplacement



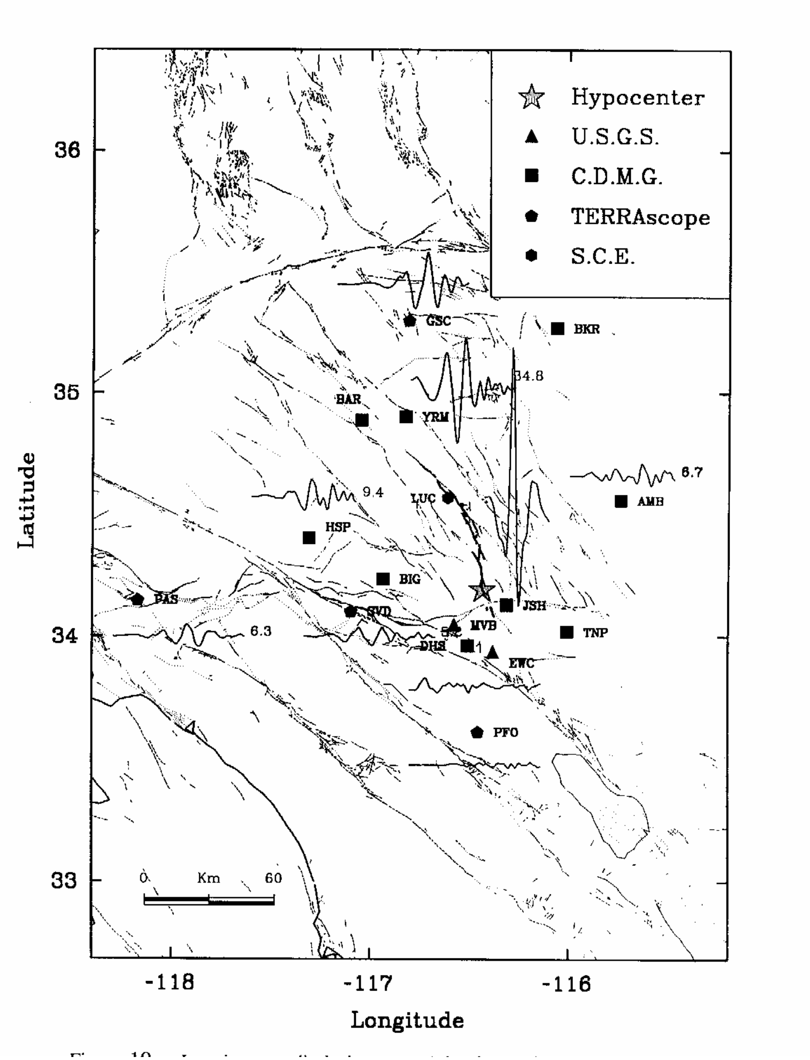
Données brutes d'un séisme local

$f_c \sim \beta/a$ ➔ longueur caractéristique


100 km
50 km
30 km


U
V
W
2s
6s
10 s
14 s
18 s
22 s
26 s
(I)
(II)
(III)
(IV)

Effet de directivité : exemple du séisme de Landers



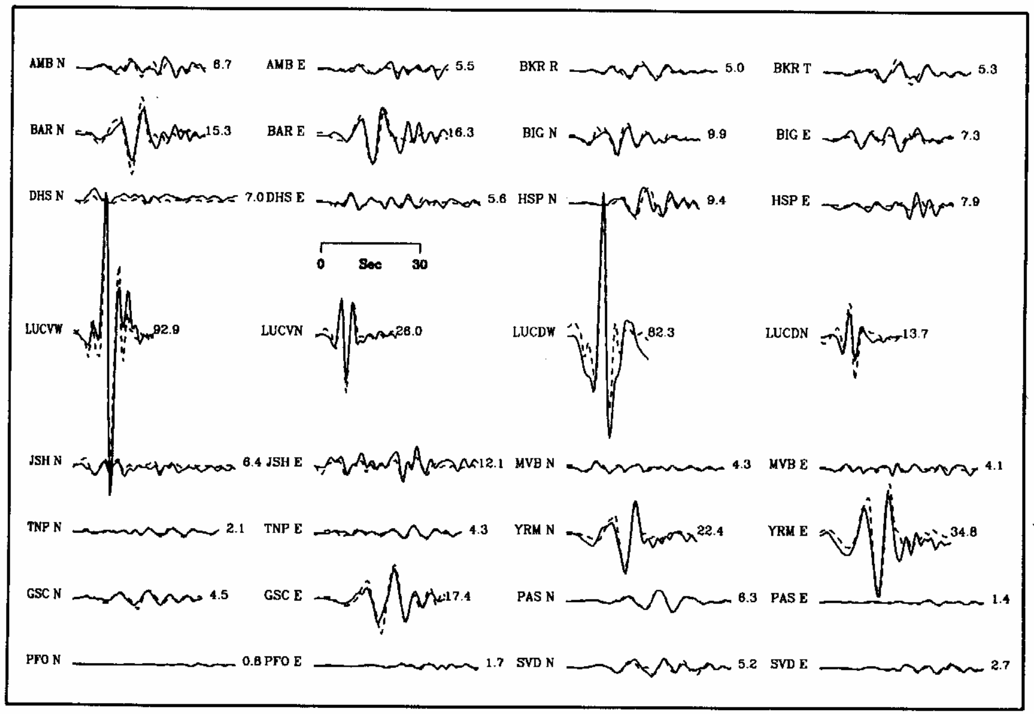
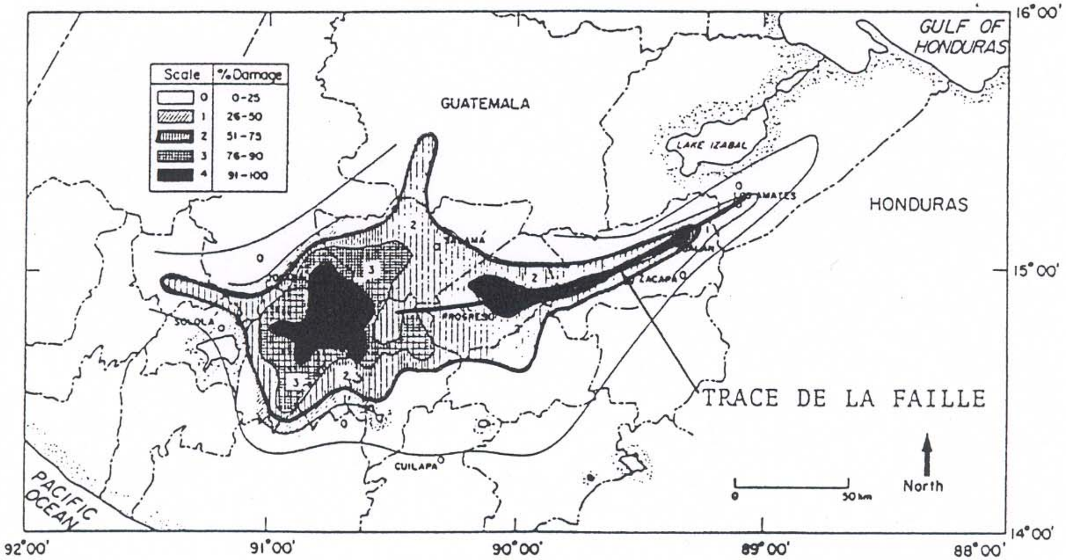
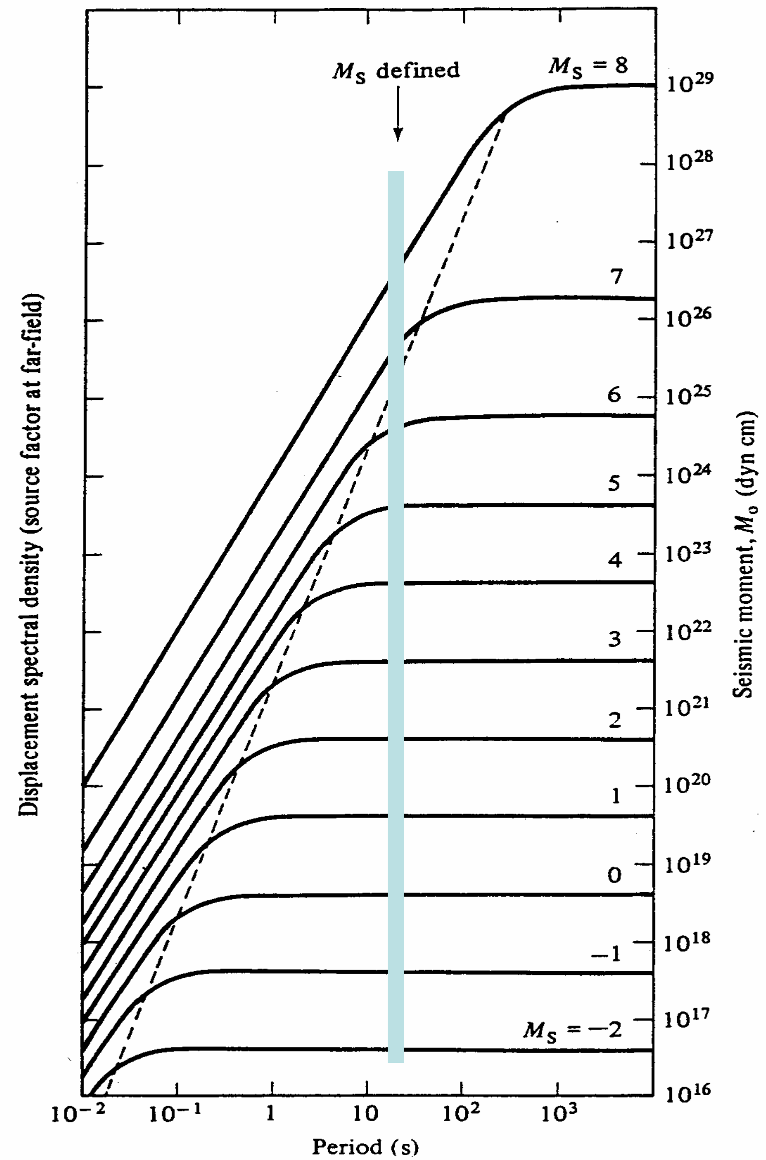


Figure 11. Strong-motion displacement observations (solid lines) and synthetics (dashed lines) for the strong-motion dislocation model. Observed amplitudes are given to the right of each trace in centimeter, and all have a common scale. For station LUC (Lucerne Valley), both velocity (LUCVW, LUCVN) and displacement (LUCDW, LUCDN) data and synthetics are presented, with the velocity amplitudes in cm/sec.

Wald et Heaton, 1994

Damage map during the 1976 Guatemala earthquake.





Biais de la magnitude 'instrumentale'

Aki, 1967