

Contrôle de l'hétérogénéité de contrainte sur la sismicité

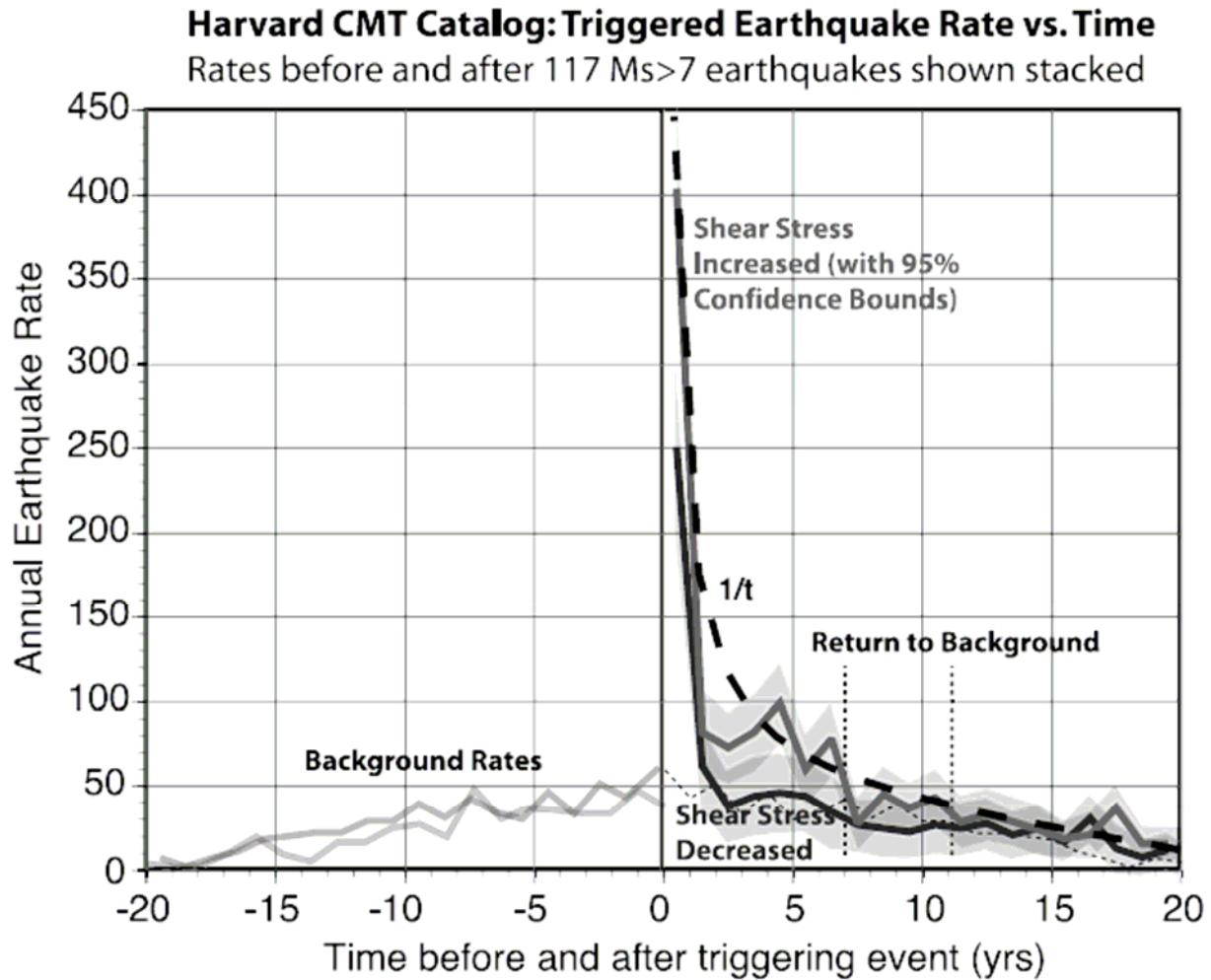
- Le cas des quiescences sismiques -

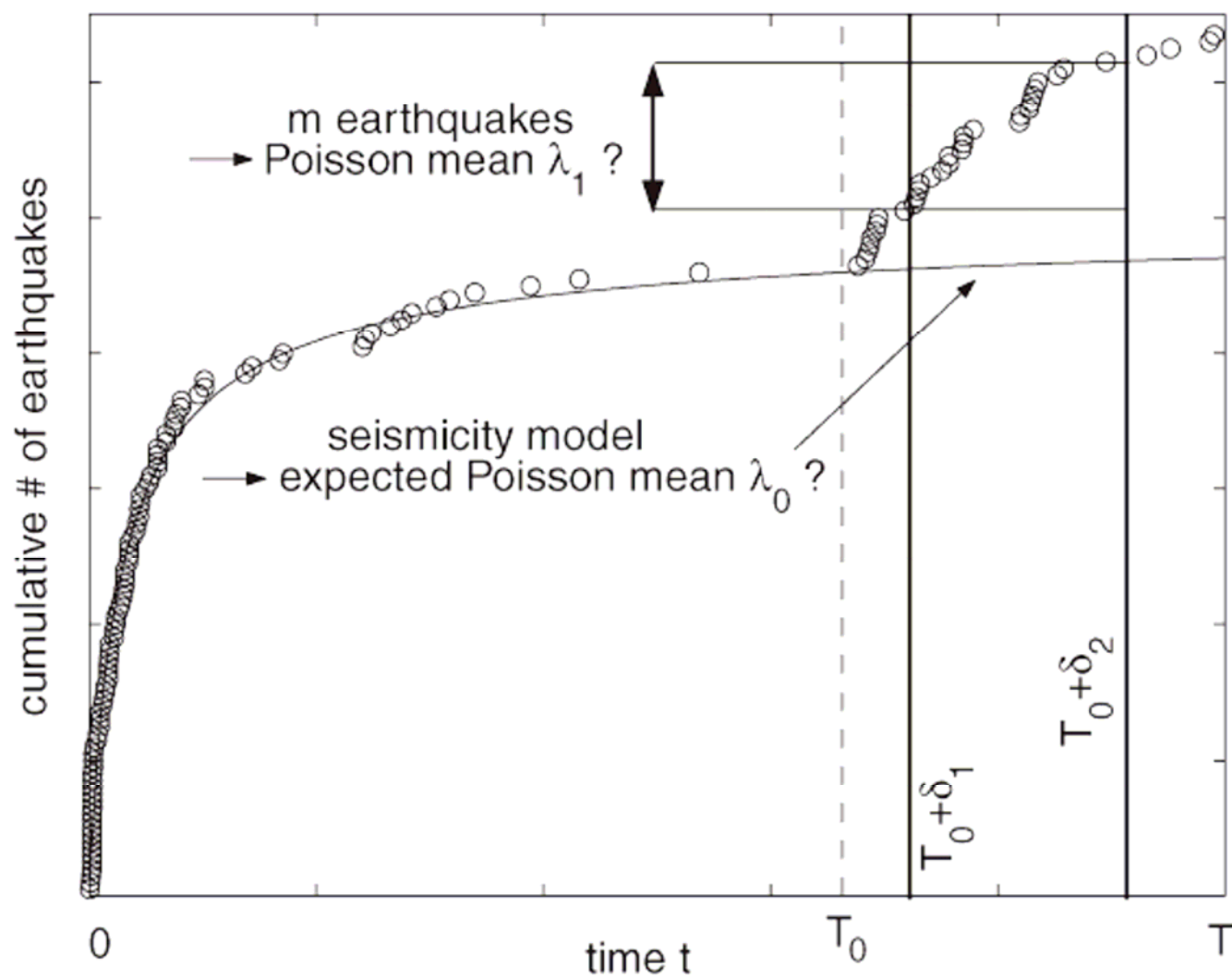
David Marsan ¹, Guillaume Daniel ², Michel Bouchon ²

¹ LGIT, Université de Savoie

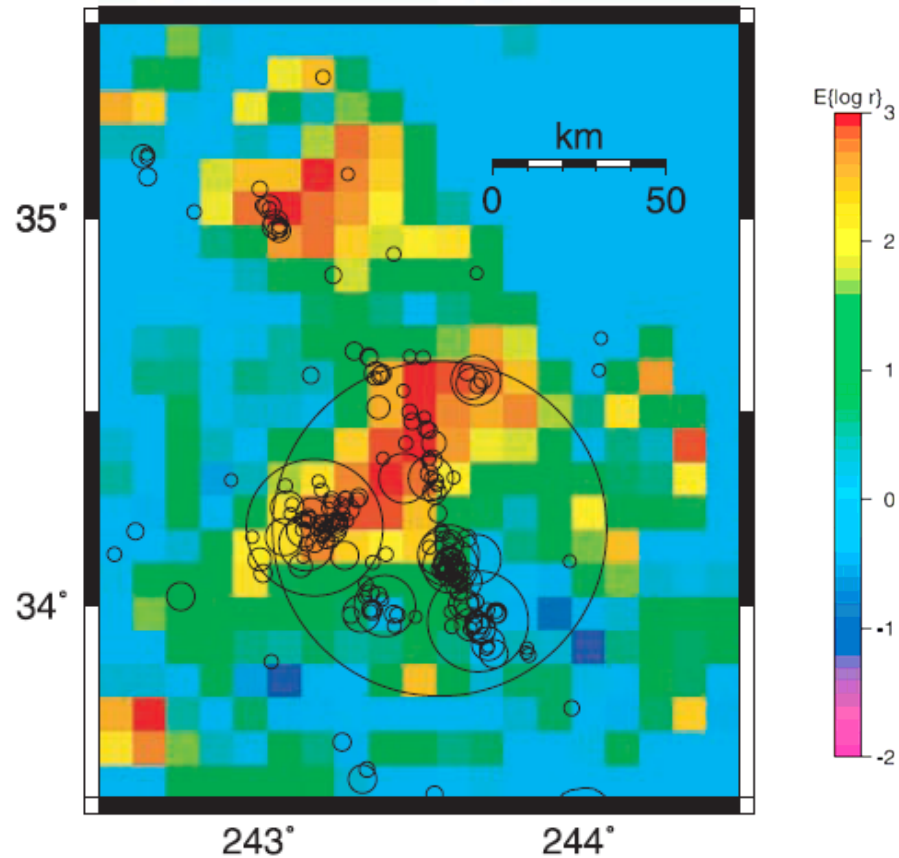
² LGIT, Observatoire de Grenoble

Parsons (2002)



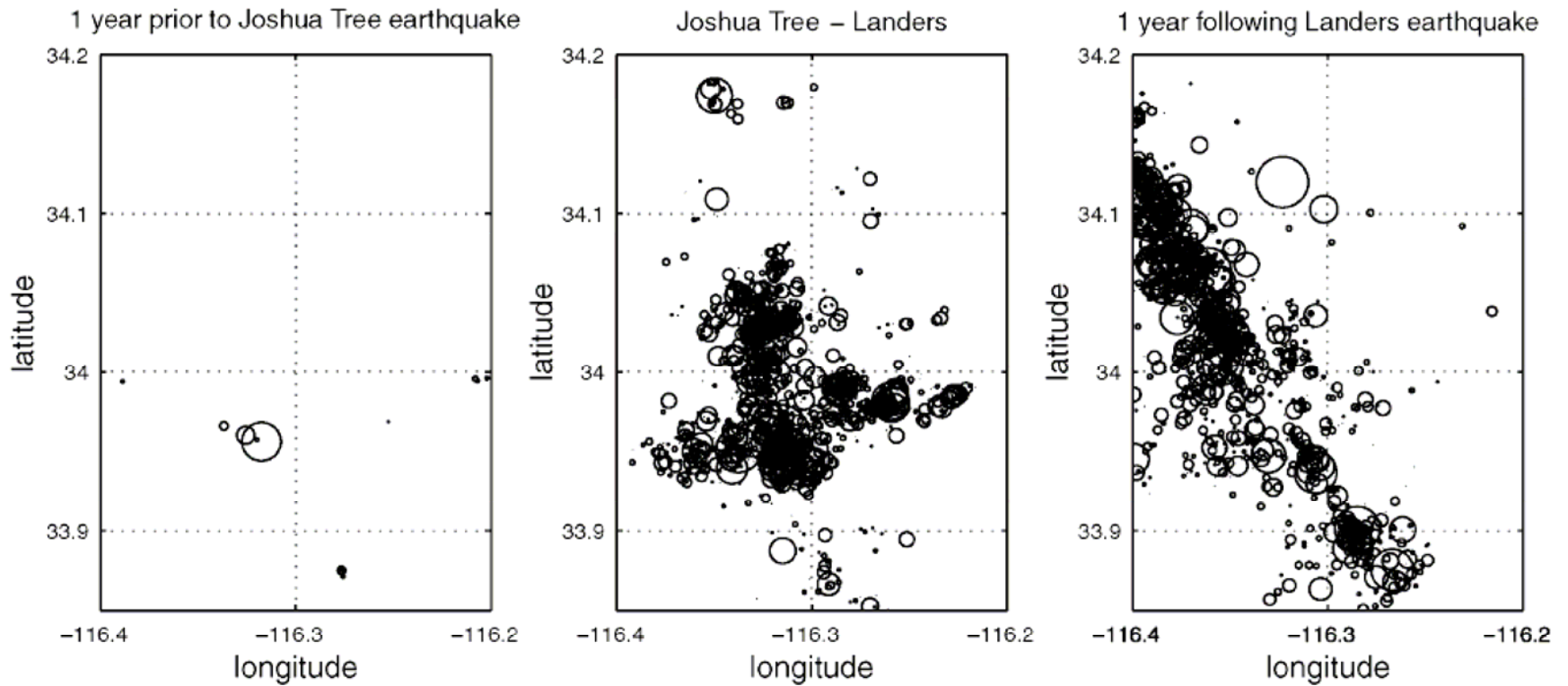


Marsan (2003)

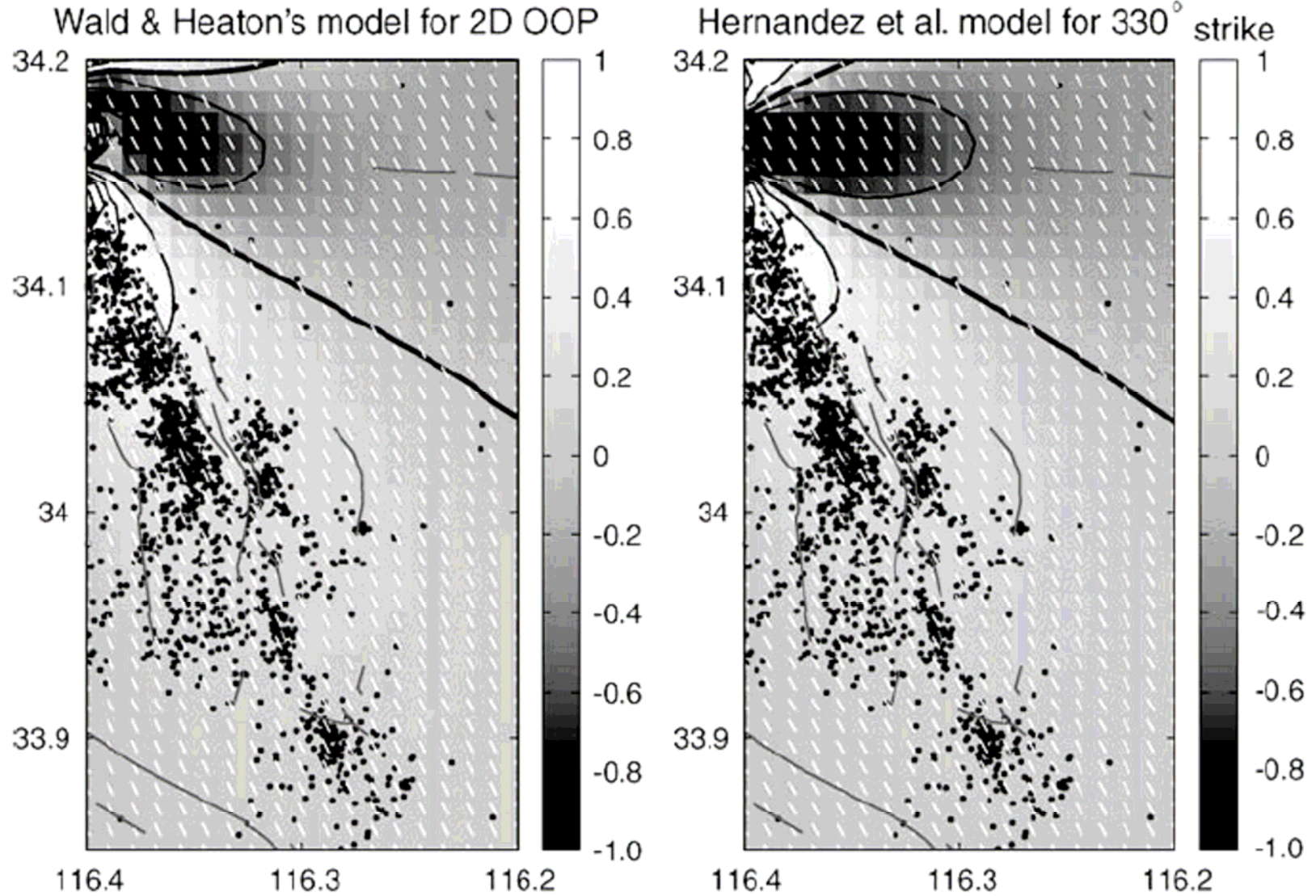


100 premiers jours après le séisme de Landers

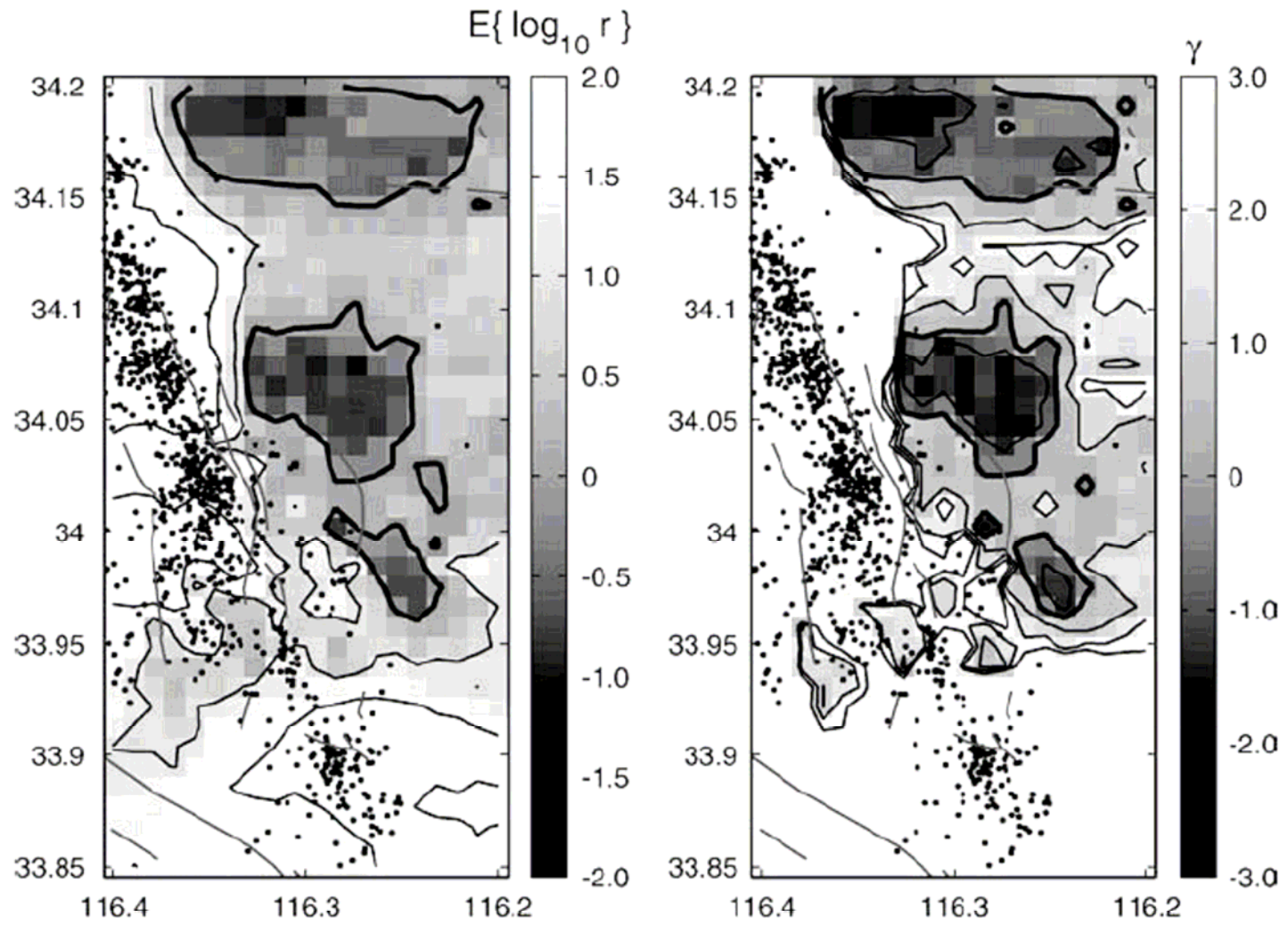
Marsan et Nalbant (2005)



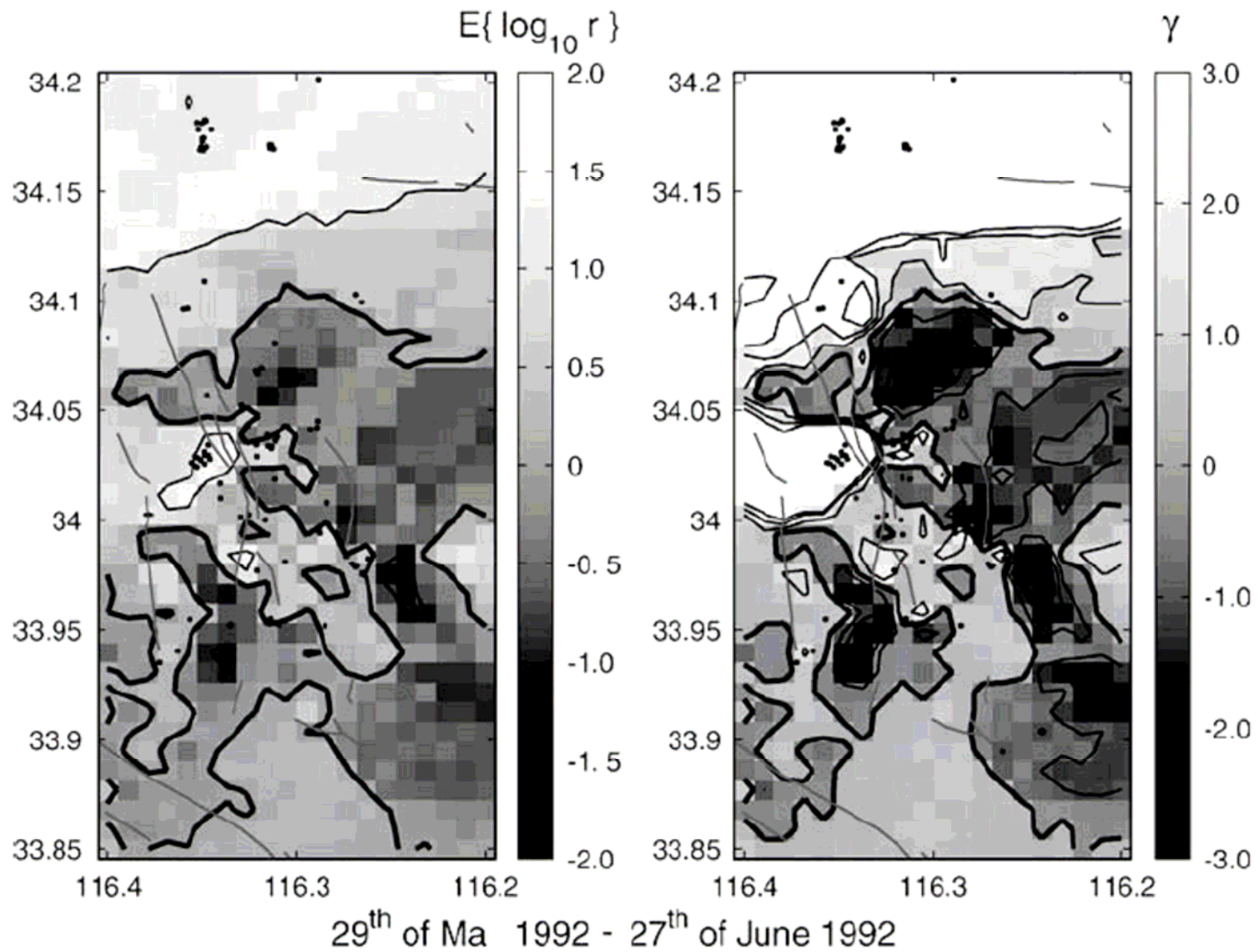
Zone de rupture du séisme de Joshua Tree



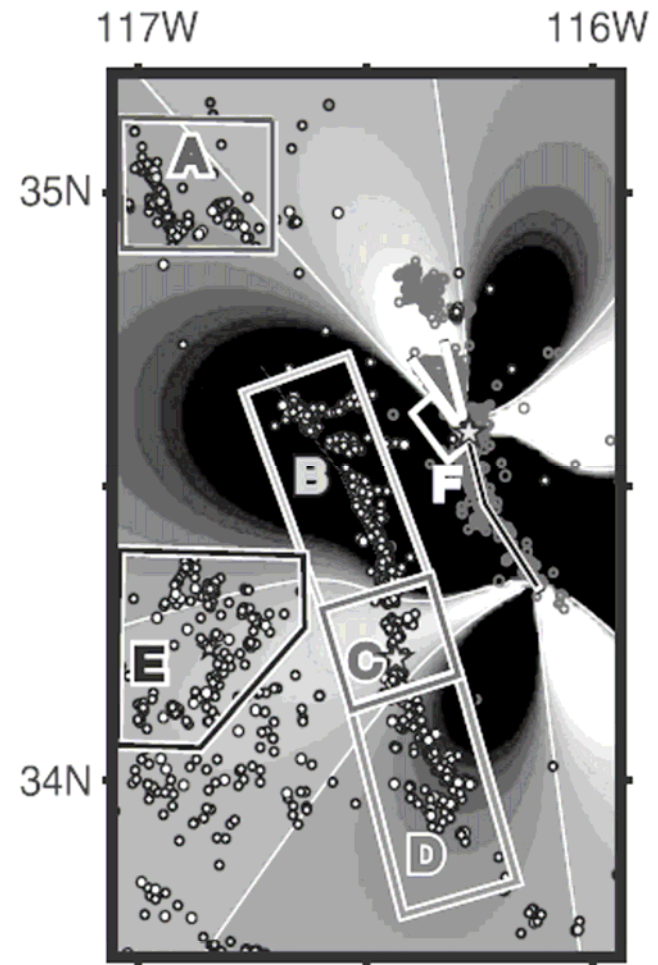
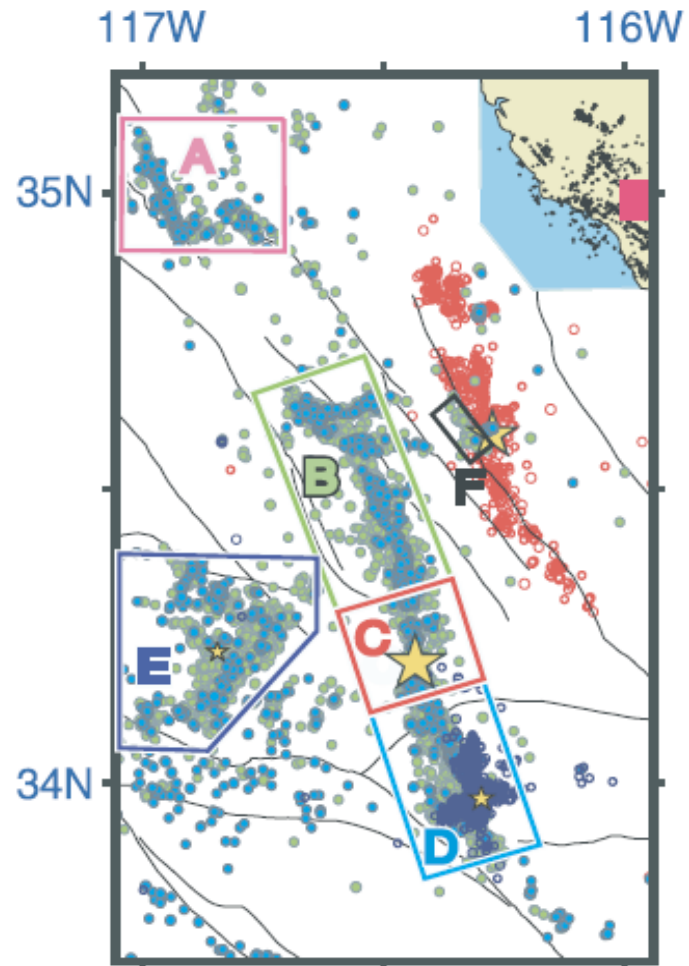
Zone de rupture du séisme de Joshua Tree



2 - 100 days after Landers



Ogata et al. (2003)



-0.01 0.0 0.01

Coulomb stress change (bar)

Aussi:

Toda and Stein (2002)

Mallman and Zoback (2003)

Felzer and Brodsky (2005) → *causalité?*

Ma et al. (2005)

Observations de quiescences « instantannées » :

Dieterich et al. (2000)

Toda and Stein (2003)

Woessner et al. (2004)

Donc :

- **Les quiescences sont rares**
- Elles peuvent émerger longtemps après le choc principal
- Elles pourraient être déclenchées par autre chose que le choc principal...
- Voire ne pas être corrélées du tout au choc principal

Quelques explications...

- Elles sont **difficiles à détecter** (biais dans l'estimation de changements positifs et négatifs de taux de sismicité).
- Elles peuvent être masquées par du **déclenchement dynamique**
- Elles peuvent être retardées par l'**hétérogénéité** spatiale du changement de contrainte

Frottement rate and state (Dieterich 1979, Ruina 1983) avec slowness law (Dieterich 1986)

$$\lambda = \frac{\mu}{\dot{\gamma}}$$

taux de sismicité

taux de « fond »

$d\gamma = d\tau - \gamma d\tau$

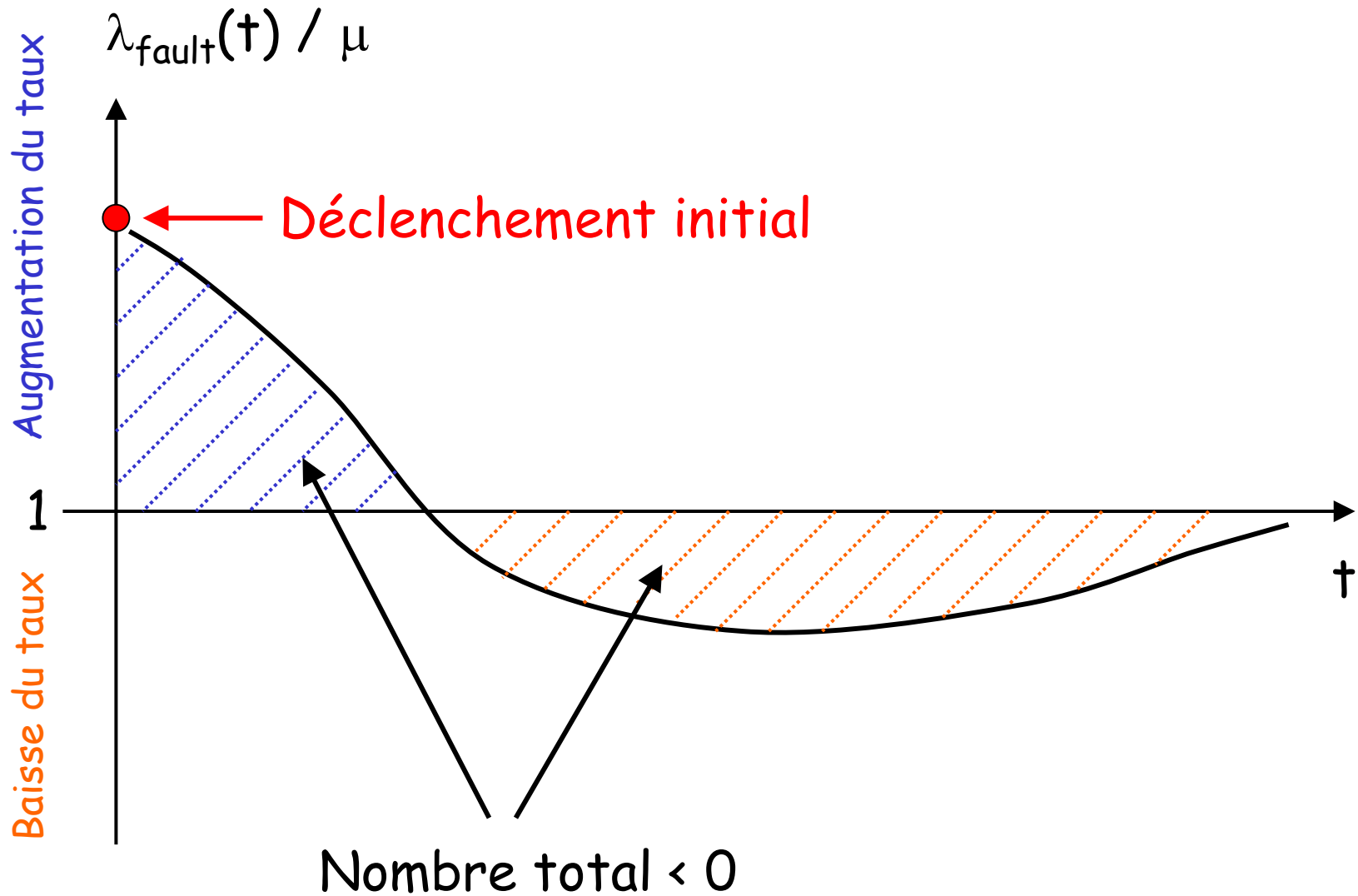
The diagram illustrates the relationship between seismicity rate and the ratio of background rate to slowness rate. It shows the equation $\lambda = \frac{\mu}{\dot{\gamma}}$ where λ is circled in red and labeled 'taux de sismicité', μ is circled in pink and labeled 'taux de « fond »', and $\dot{\gamma}$ is circled in green. An arrow points from the green circle to a green oval containing the differential equation $d\gamma = d\tau - \gamma d\tau$.

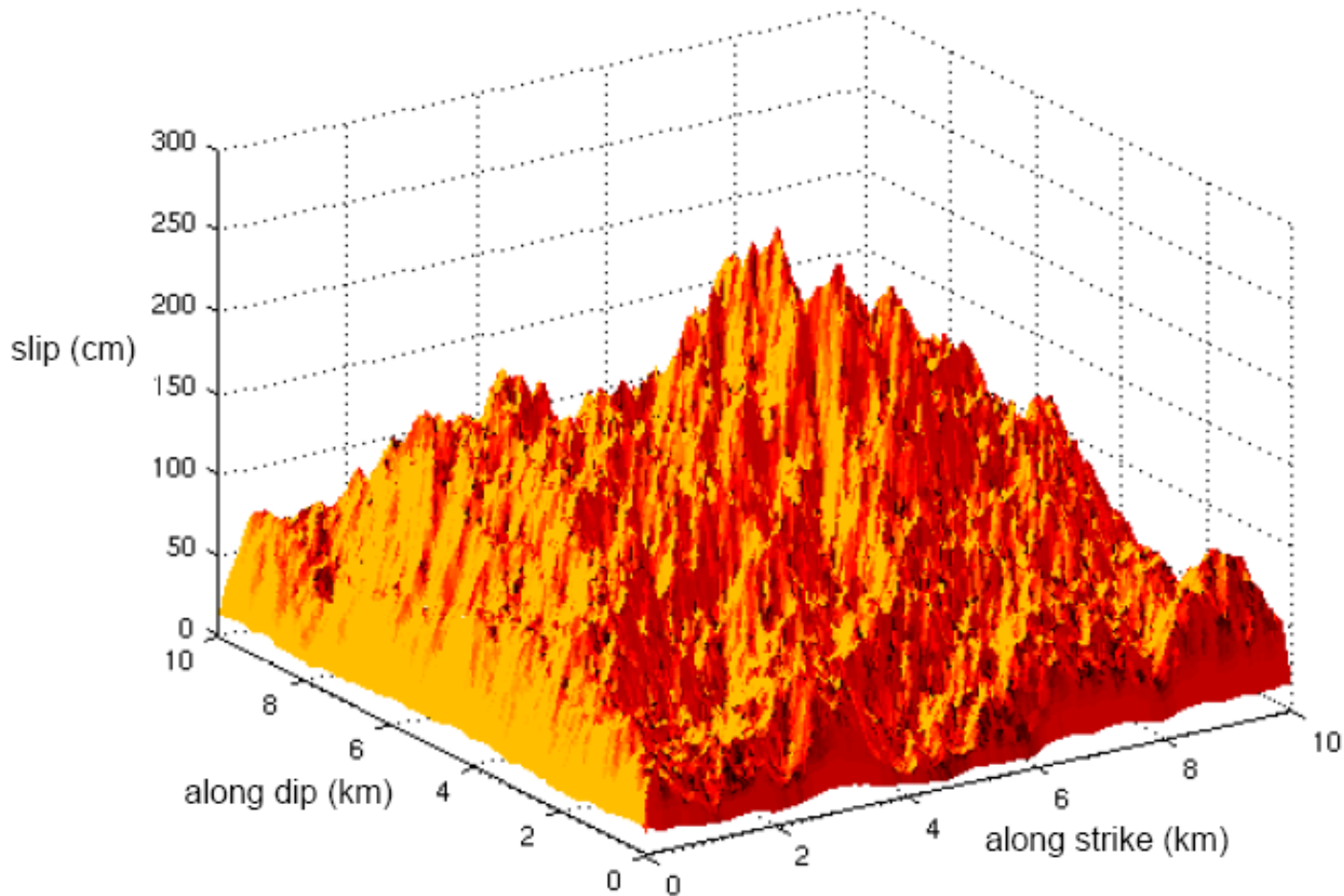
Frottement rate and state (Dieterich 1979, Ruina 1983) avec slowness law (Dieterich 1986)

- 1 Nombre total de séismes déclenchés par une distribution de marches de contrainte $\{\tau_i\}$ est proportionnelle à la moyenne de la distribution $\bar{\tau} = E\{\tau\}$
- 2 Pour une faille subissant un distribution gaussienne de marches $\mathcal{N}(\bar{\tau}, \sigma_\tau)$ au temps $t=0$ avec $\bar{\tau} = E\{\tau\} < 0$ et $\sigma_\tau \gg 1$:

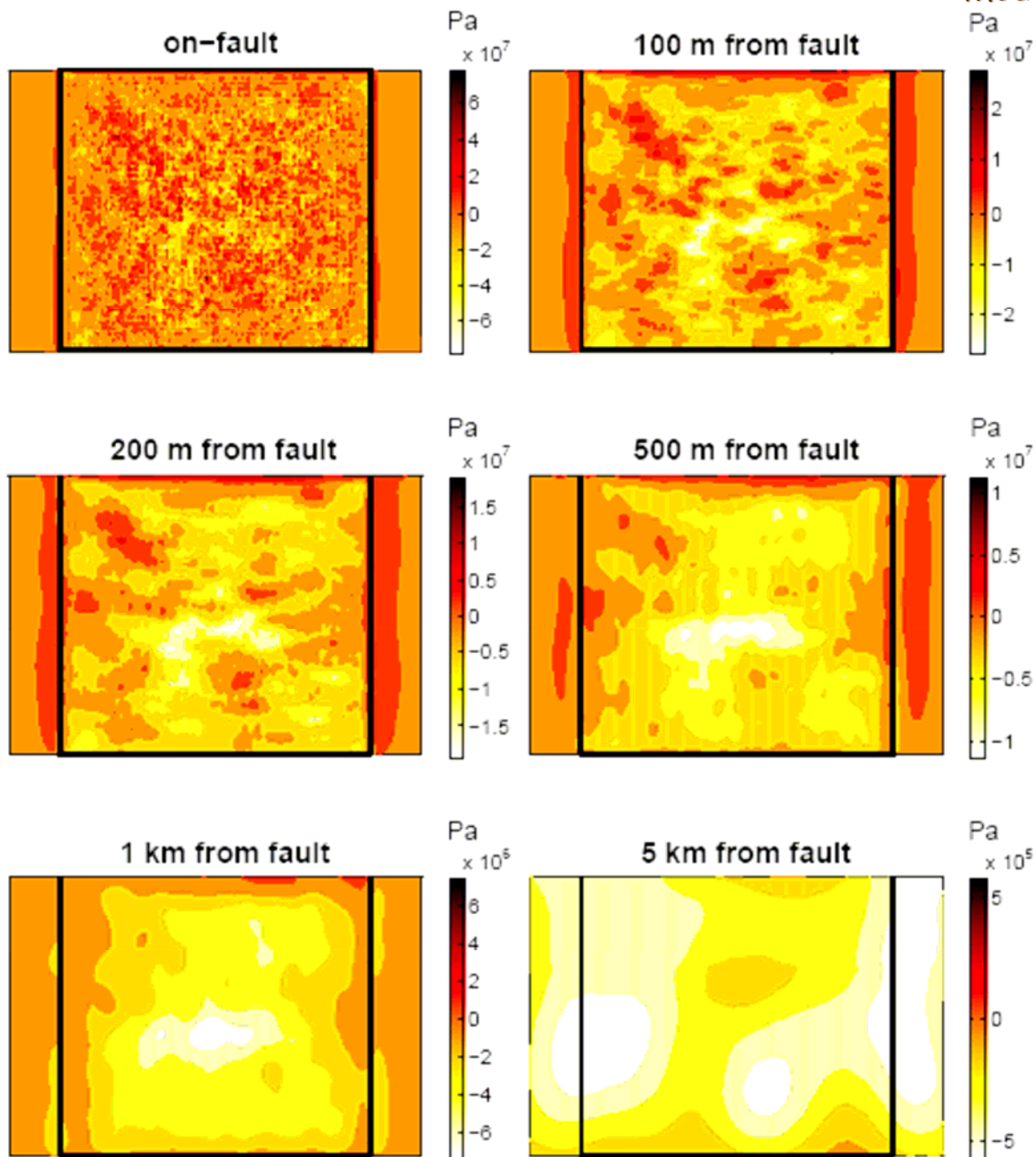
$$\lambda_{\text{fault}}(t) = \int d\tau \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\tau} e^{-(\tau-\bar{\tau})^2/2\sigma_\tau^2} \frac{\mu}{1 + e^{-t}(e^{-\tau} - 1)}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{fault}}(t = 0^+) &= \int d\tau \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\tau} e^{-(\tau-\bar{\tau})^2/2\sigma_\tau^2} \mu e^\tau \\ &= \mu e^{\bar{\tau} + \sigma_\tau^2/2} \end{aligned}$$

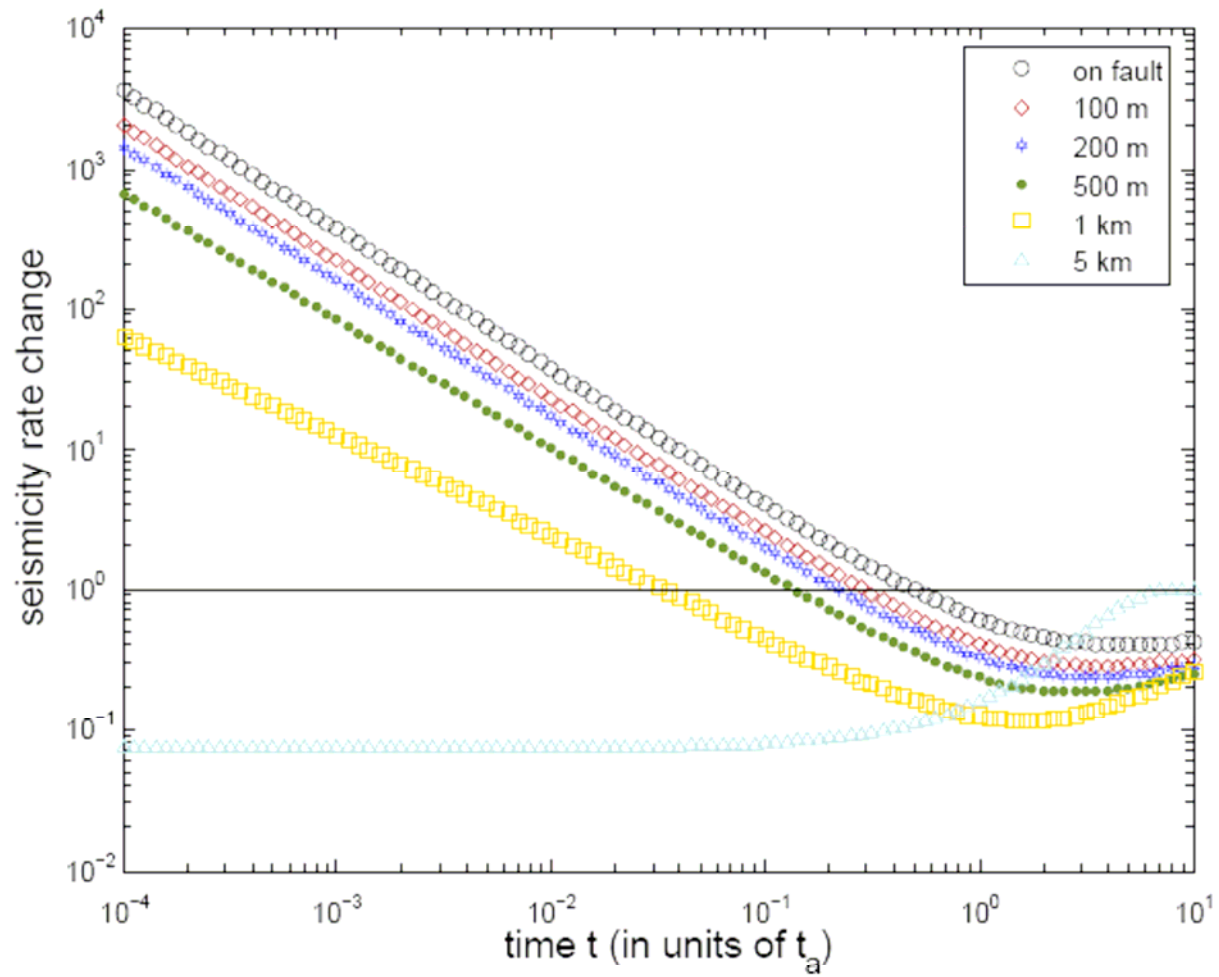




- Faille de $10 \times 10 \text{ km}^2$ avec un glissement auto-similaire résolu à 40 m
- Exposant de Hurst $H = 0.7$ (Mai et Beroza 2002)



Changement de
contrainte
cisailante statique
pour des failles
parallèles en
décrochement



La variabilité spatiale de la contrainte peut être due à :

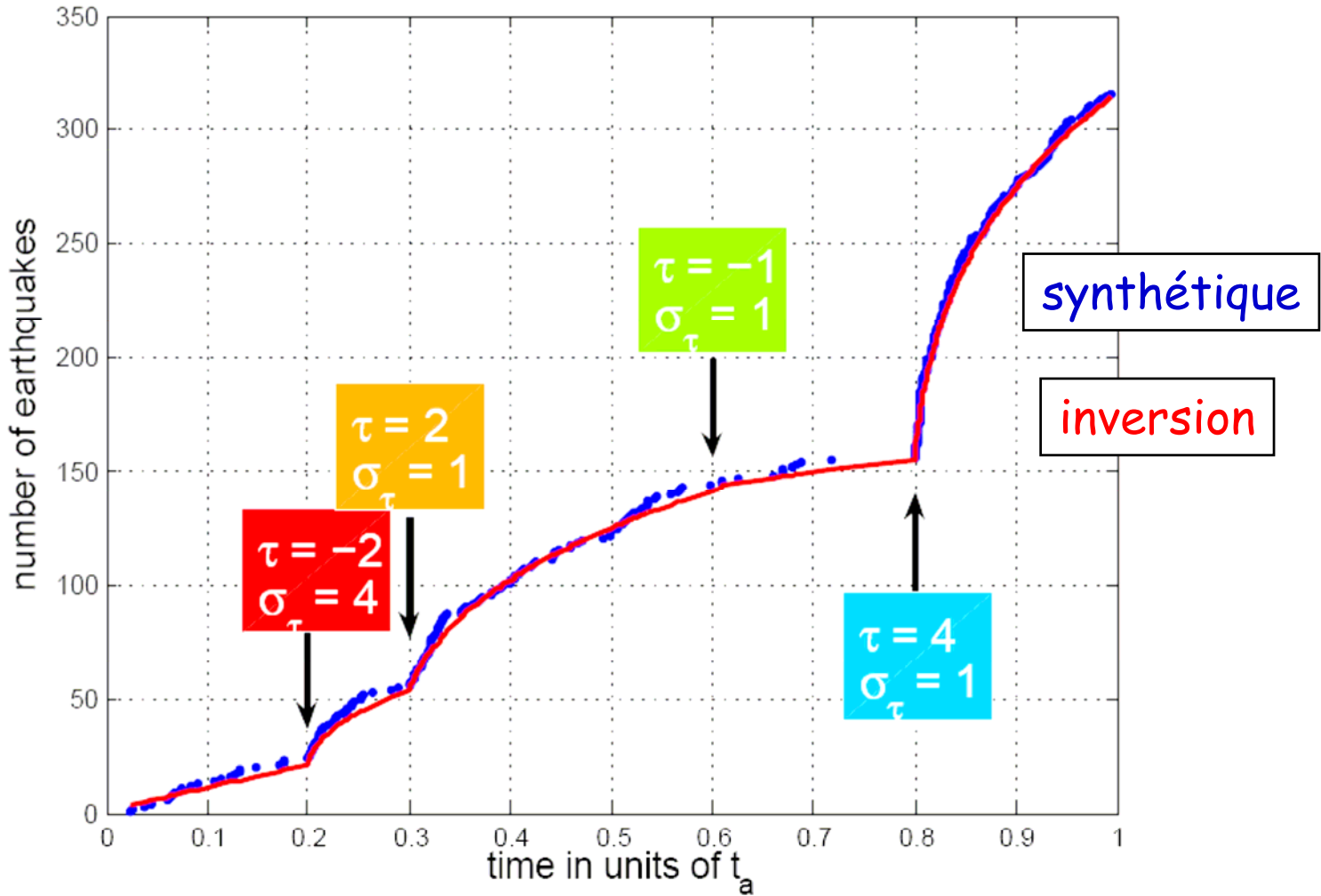
- l'hétérogénéité du glissement
- le glissement induit à distance
- la rugosité de la faille principale et des failles réceptrices
- l'hétérogénéité du milieu crustal
- l'opération de moyenner la contrainte sur de trop grands volumes.

On analyse deux séquences :

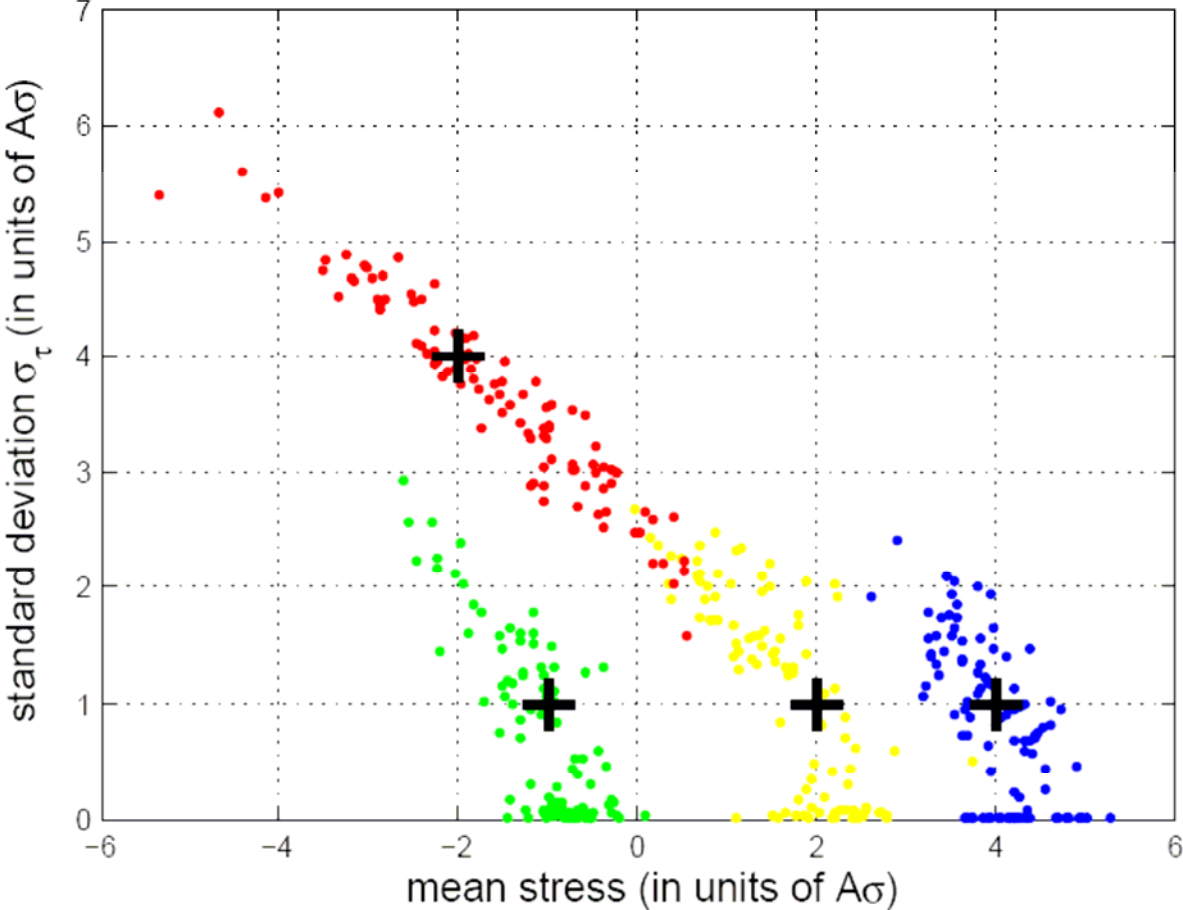
Le séisme de **Chi-Chi** (Taiwan, 1999)

Le doublet **Izmit - Düzce** (Turquie, 1999)

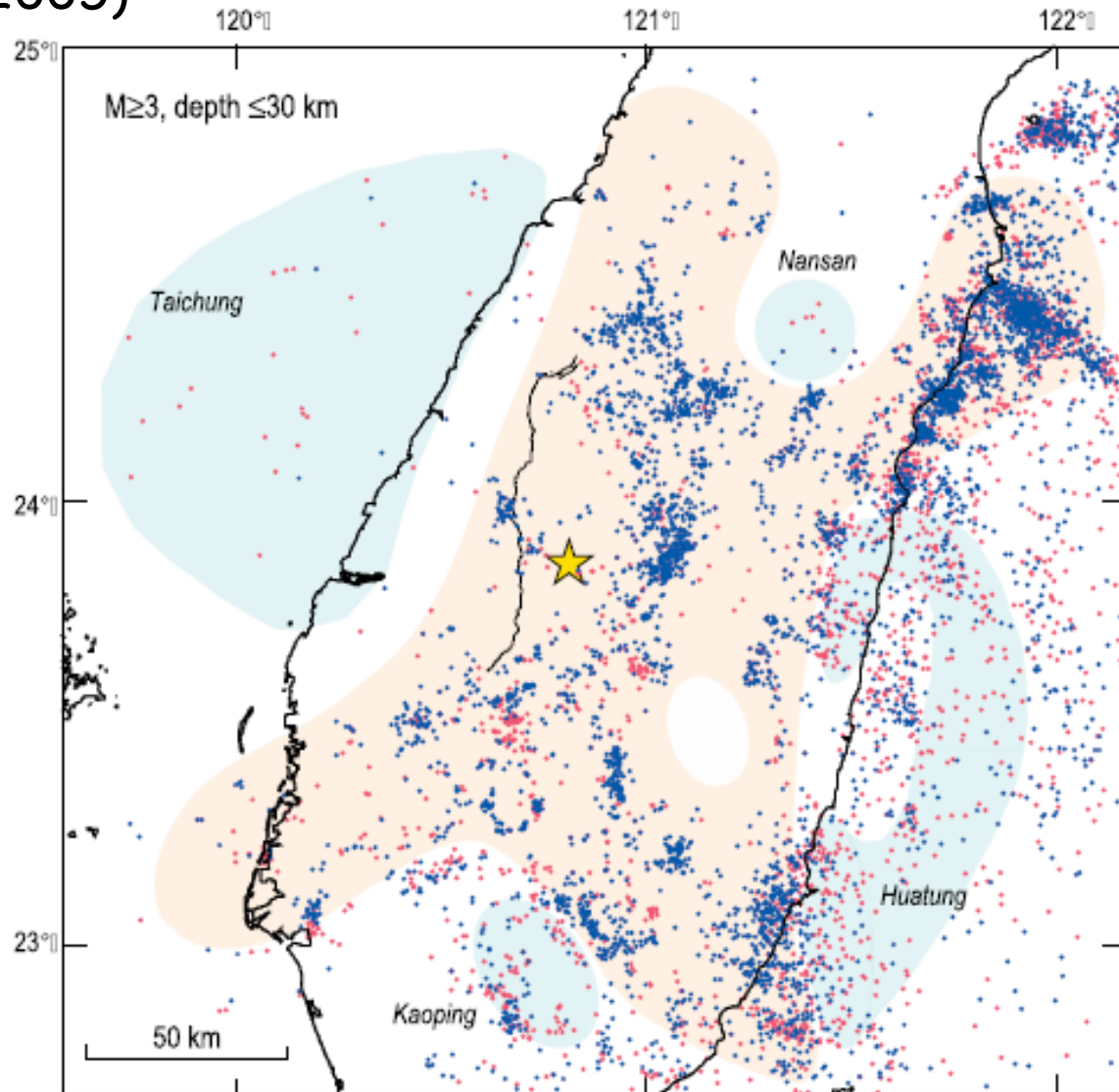
- Sismicité modélisée comme un processus de Poisson non-stationnaire (\Rightarrow fonction coût).
- N déclencheurs ayant lieu aux temps $\{t_i\}$
- Chaque déclencheur exerçant une distribution normale $\mathcal{N}(\bar{\tau}, \sigma_{\tau})$ de changement de contrainte statique
- Inversion des $2 \times N$ paramètres $\{\bar{\tau}_i\}$ et $\{\sigma_{\tau_i}\}$



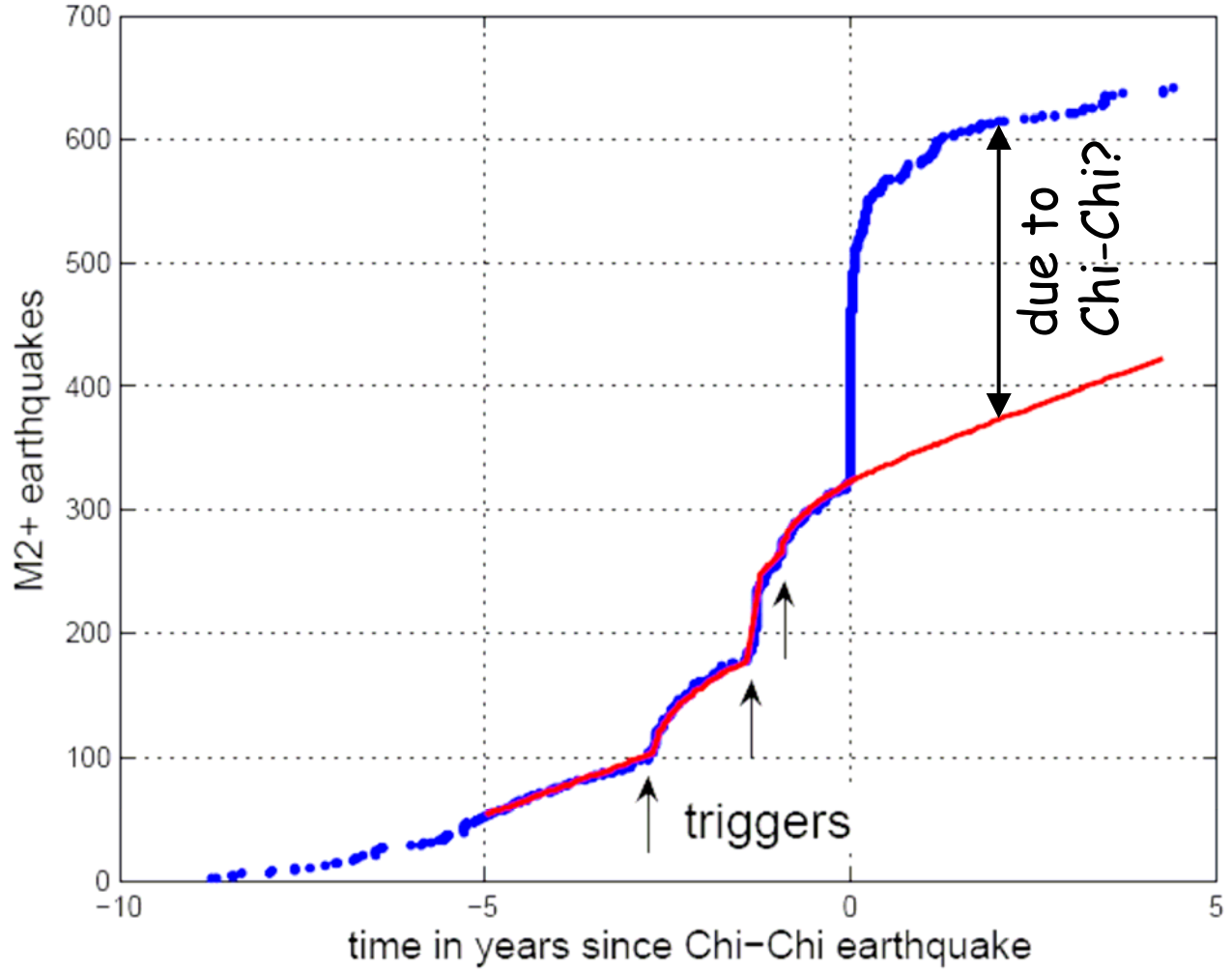
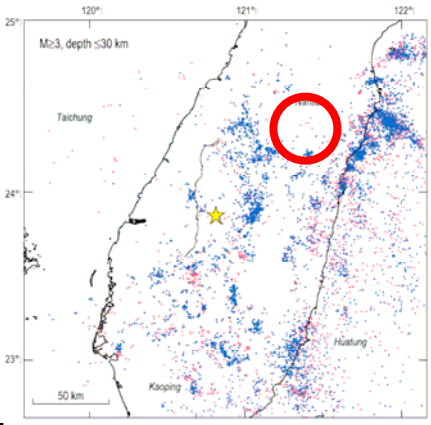
100 essais de synthétique + inversion

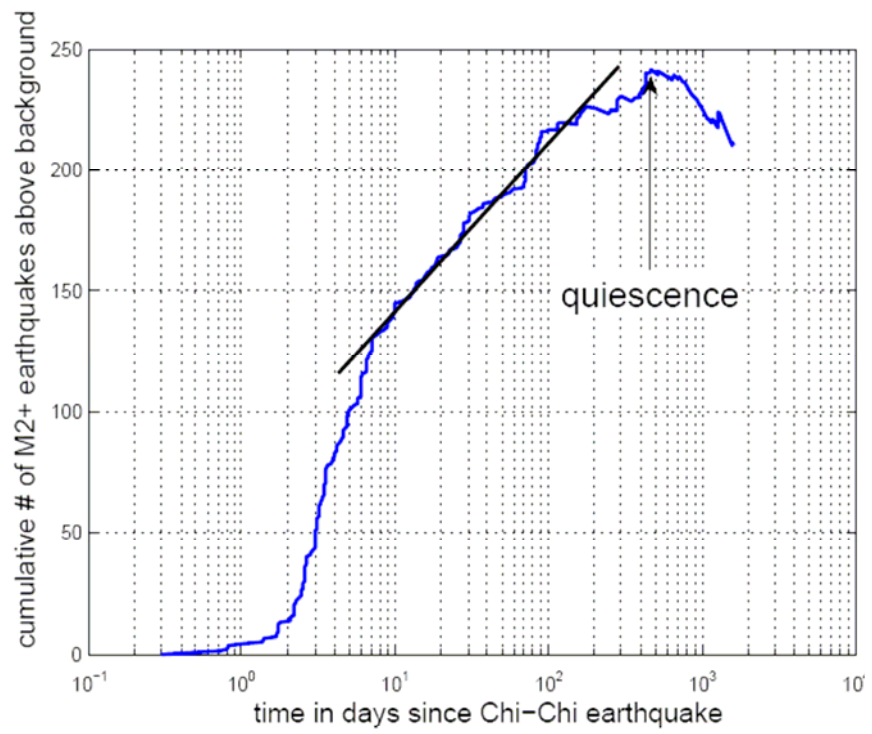
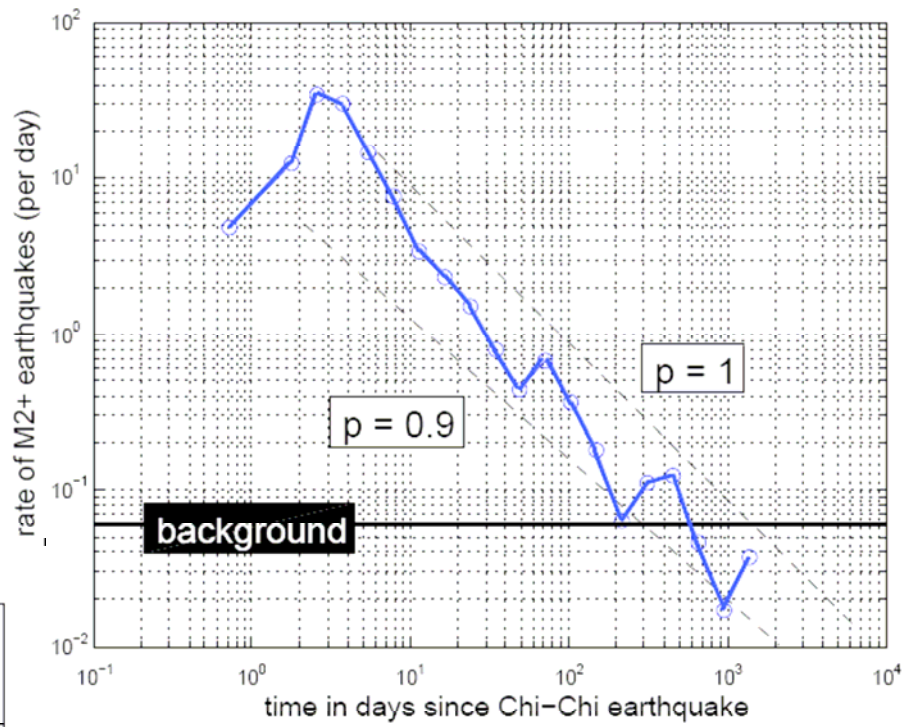
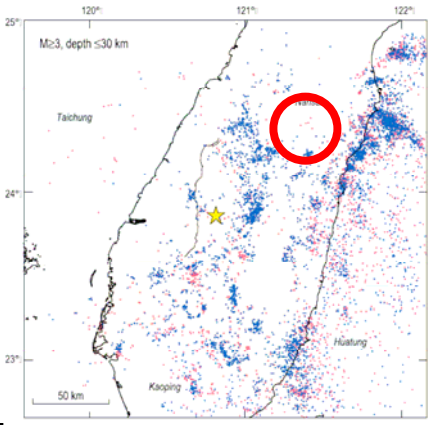


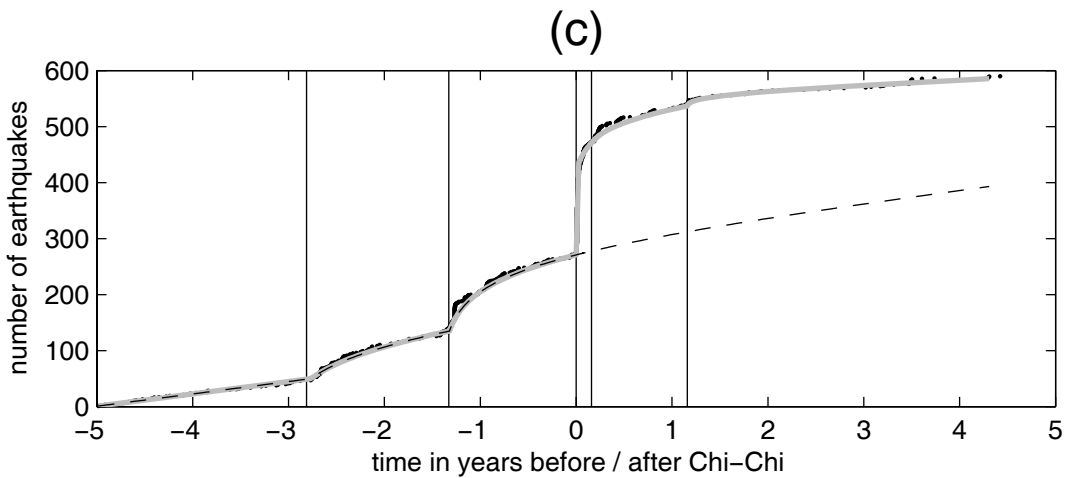
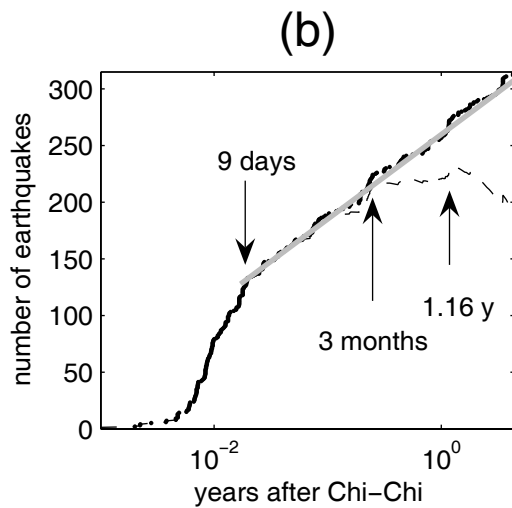
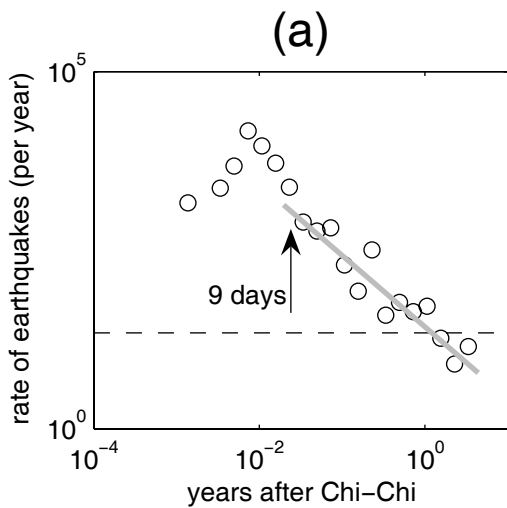
Ma et al. (2005)

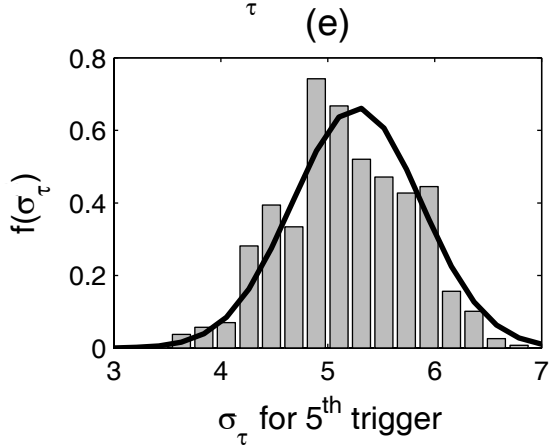
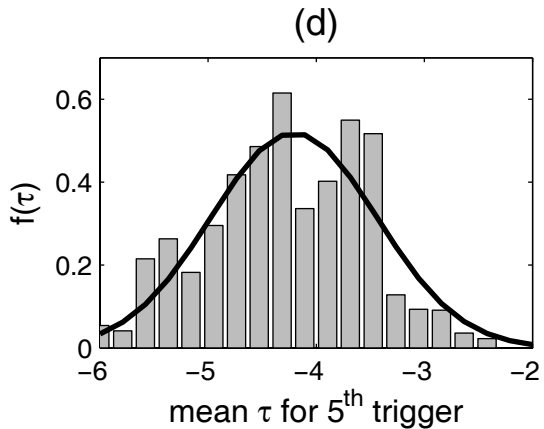
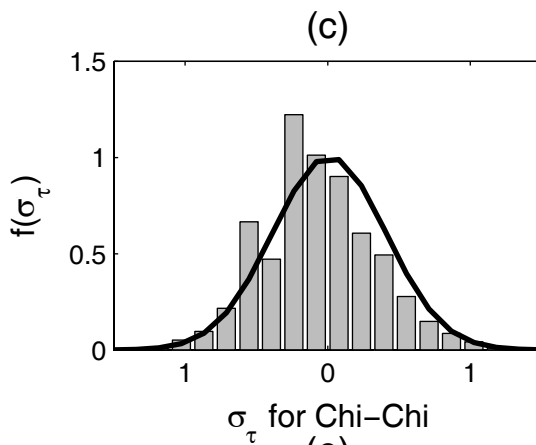
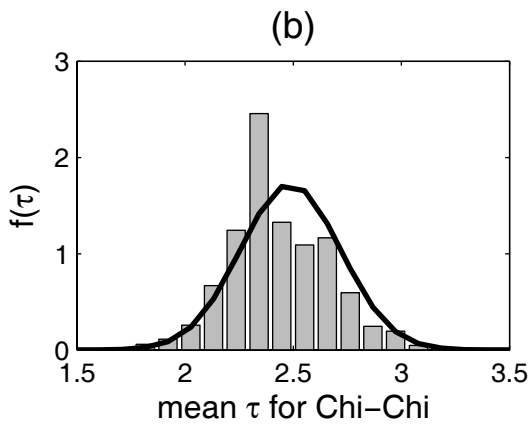
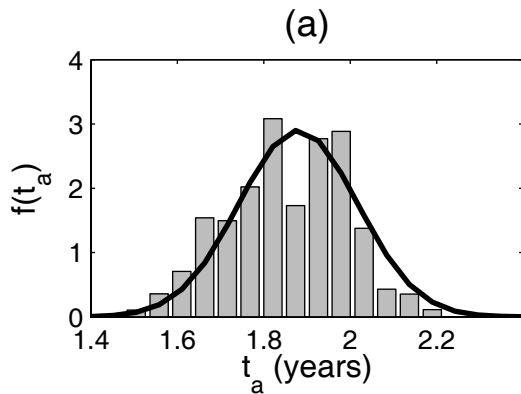


- ★ 1999 Chi Chi epicenter
- 50 mo. pre-Chi Chi, ending at mainshock
- 50 mo. post, starting 3 months after mainshock
- 1999 Chelengpu fault rupture
- Orange shaded area: Observed seismicity rate gains
- Light blue shaded area: Observed seismicity rate drops

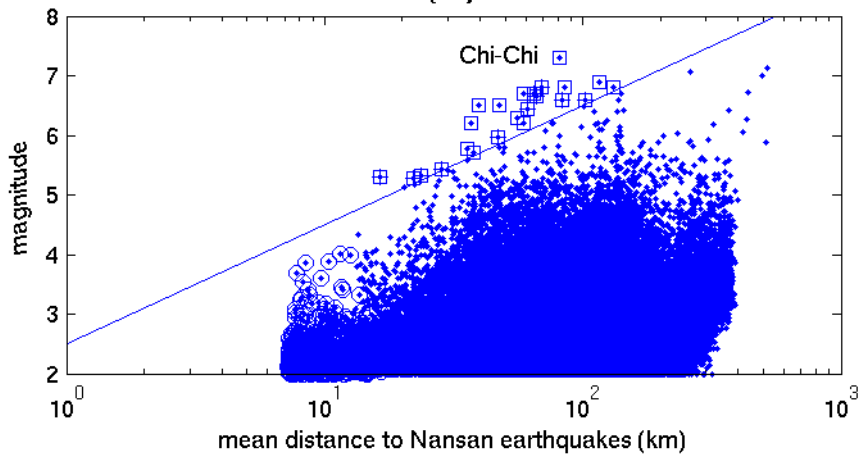




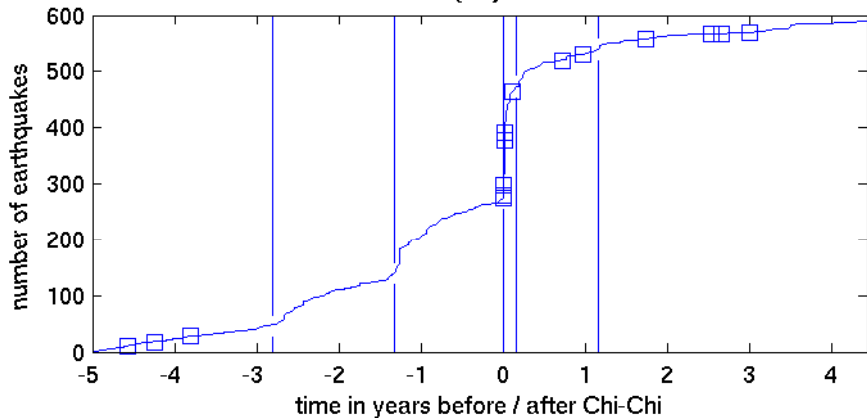




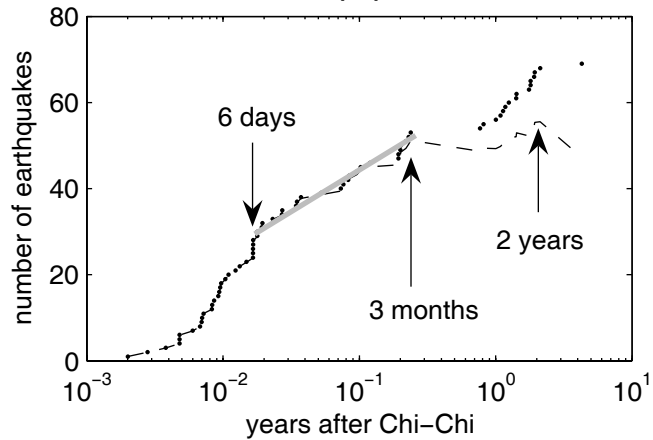
(a)



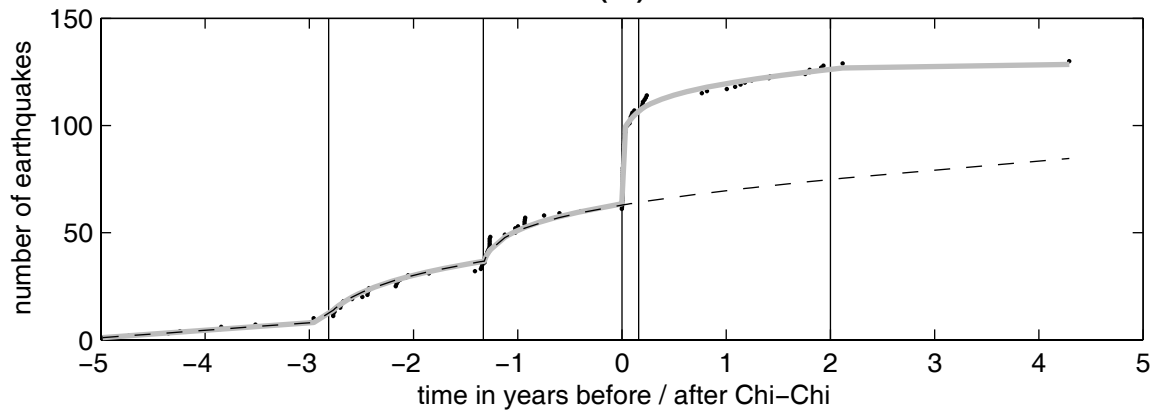
(b)

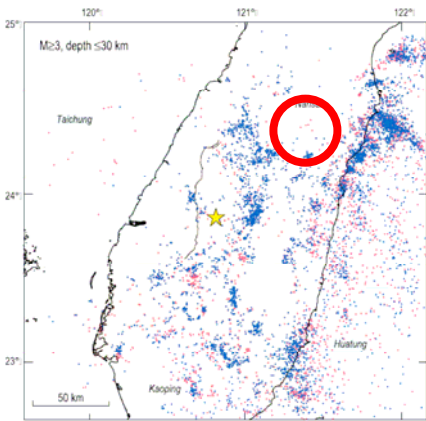


(a)



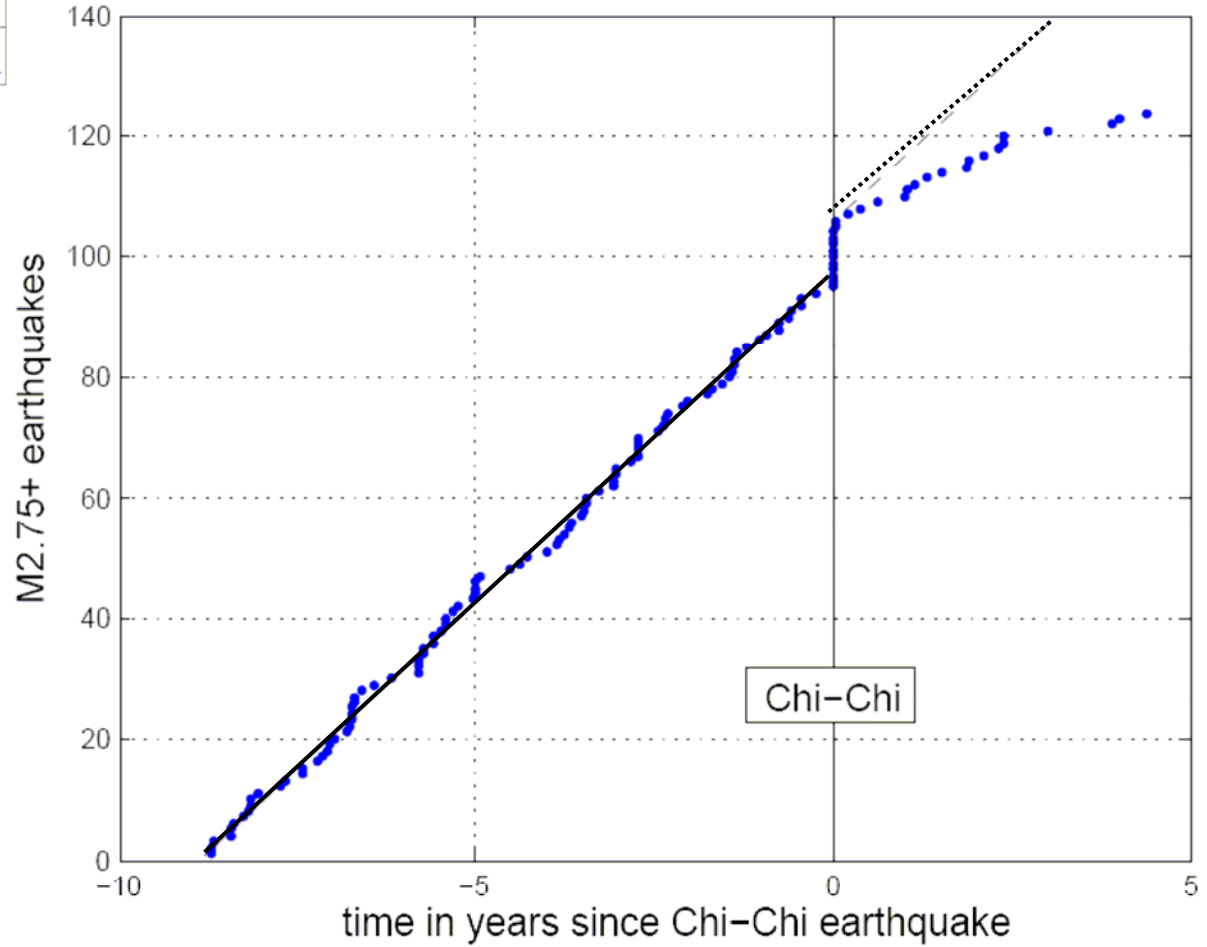
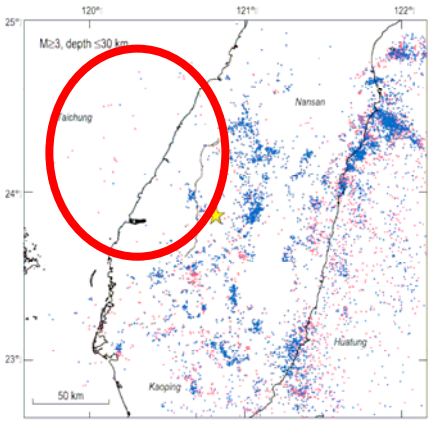
(b)

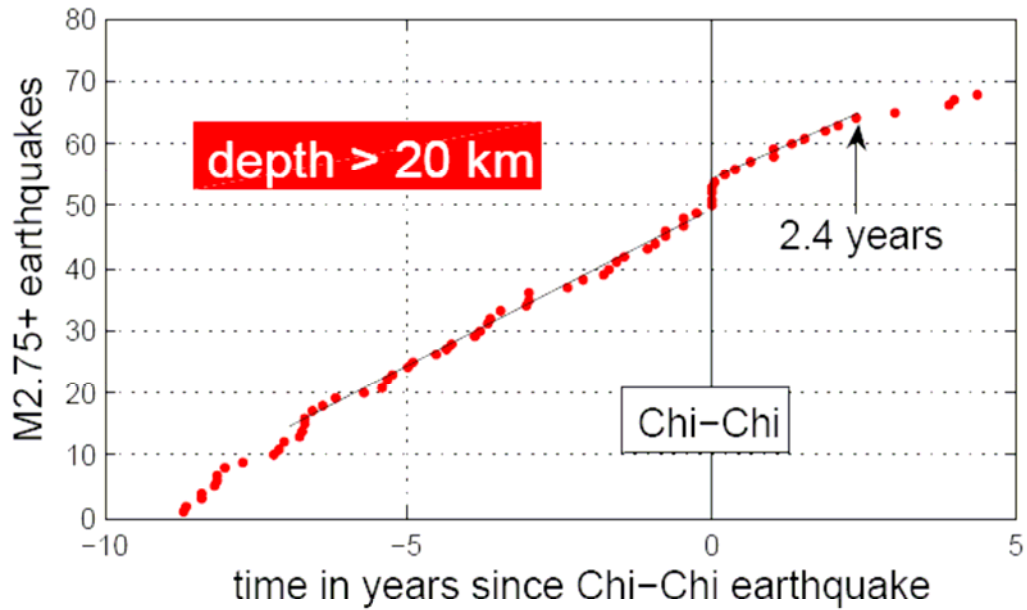
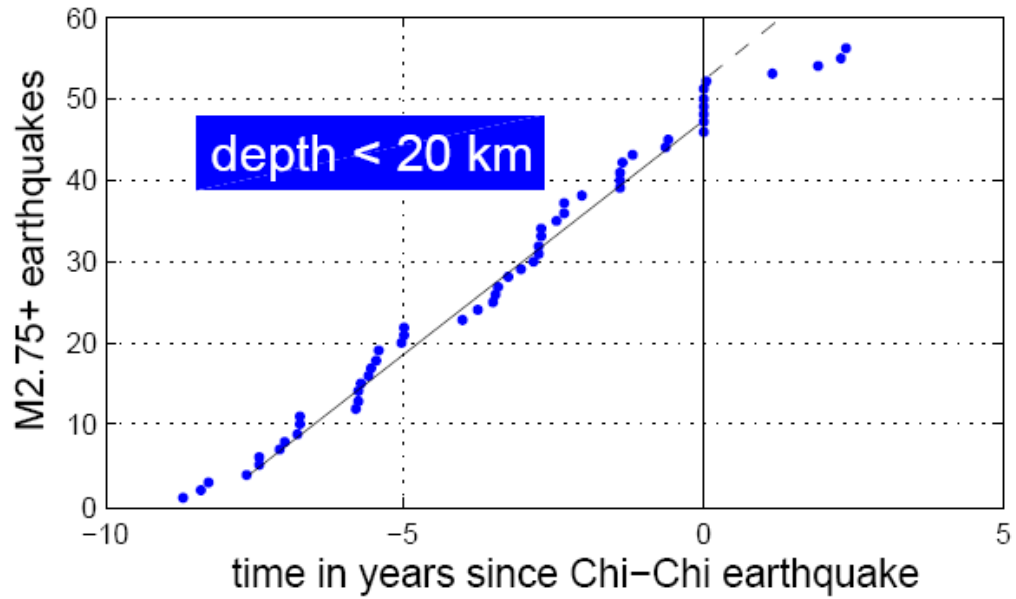
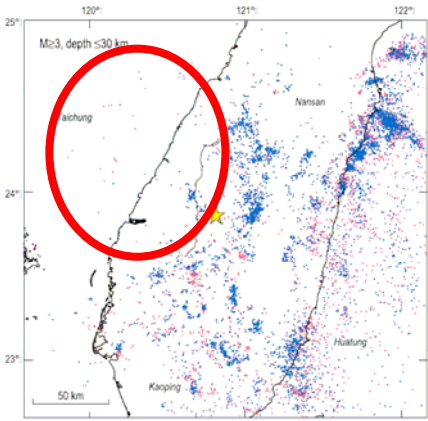


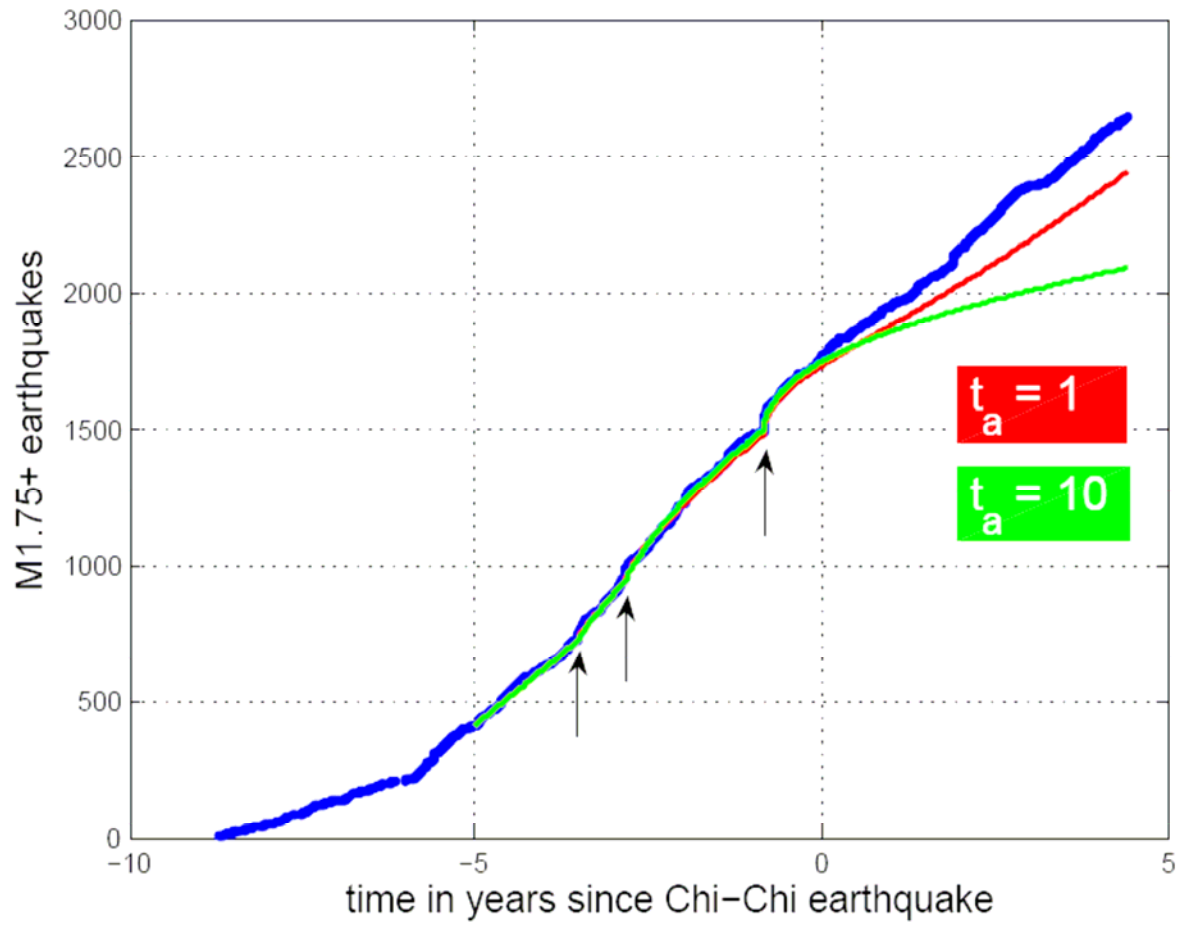
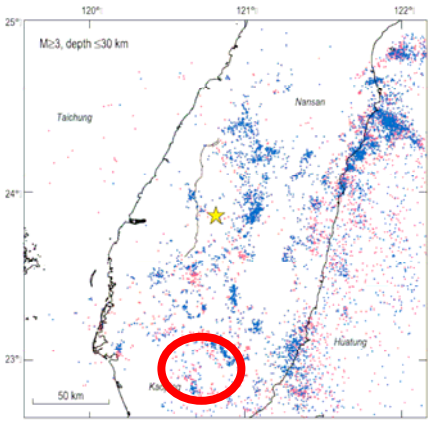


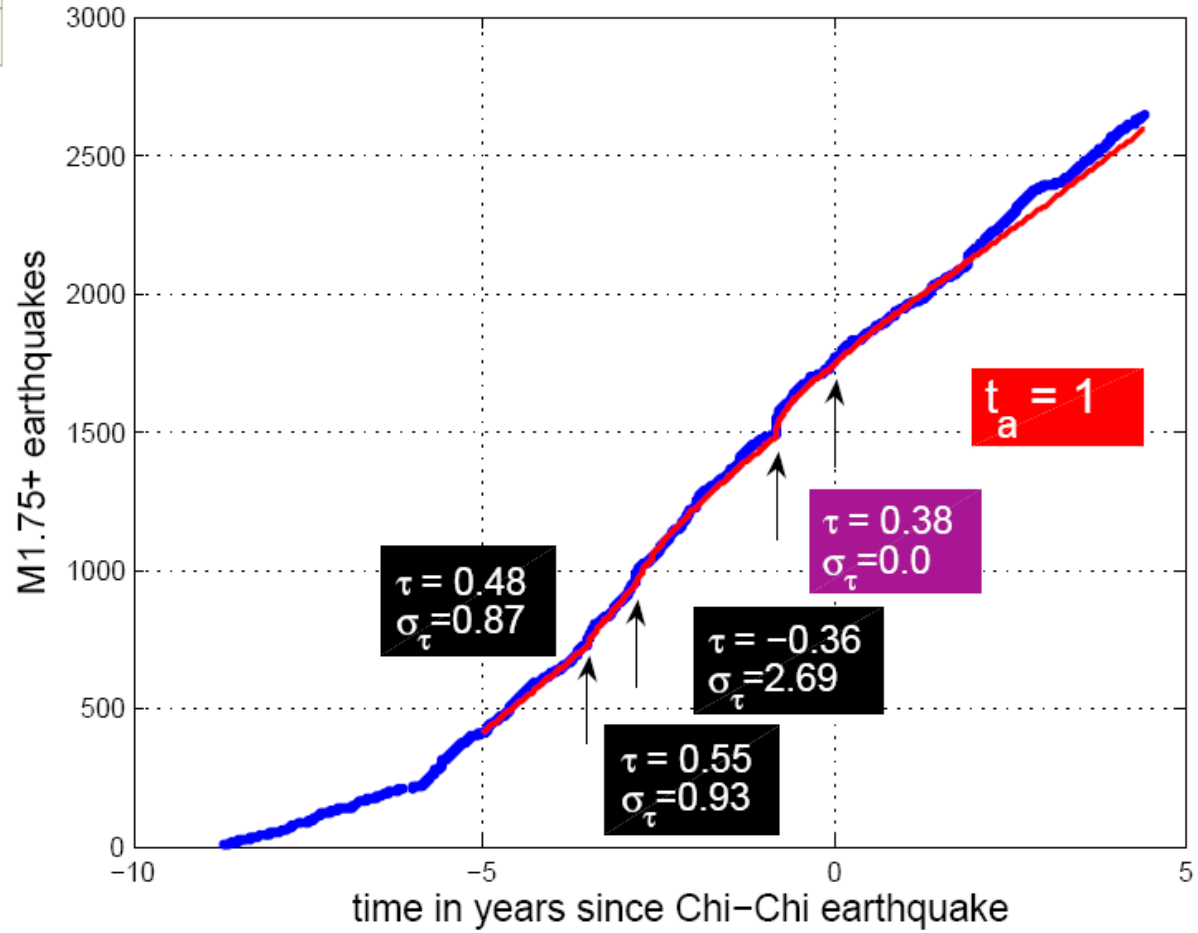
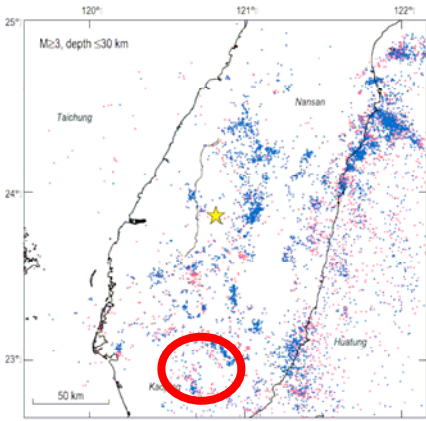
Quiescence effectivement observée, mais :

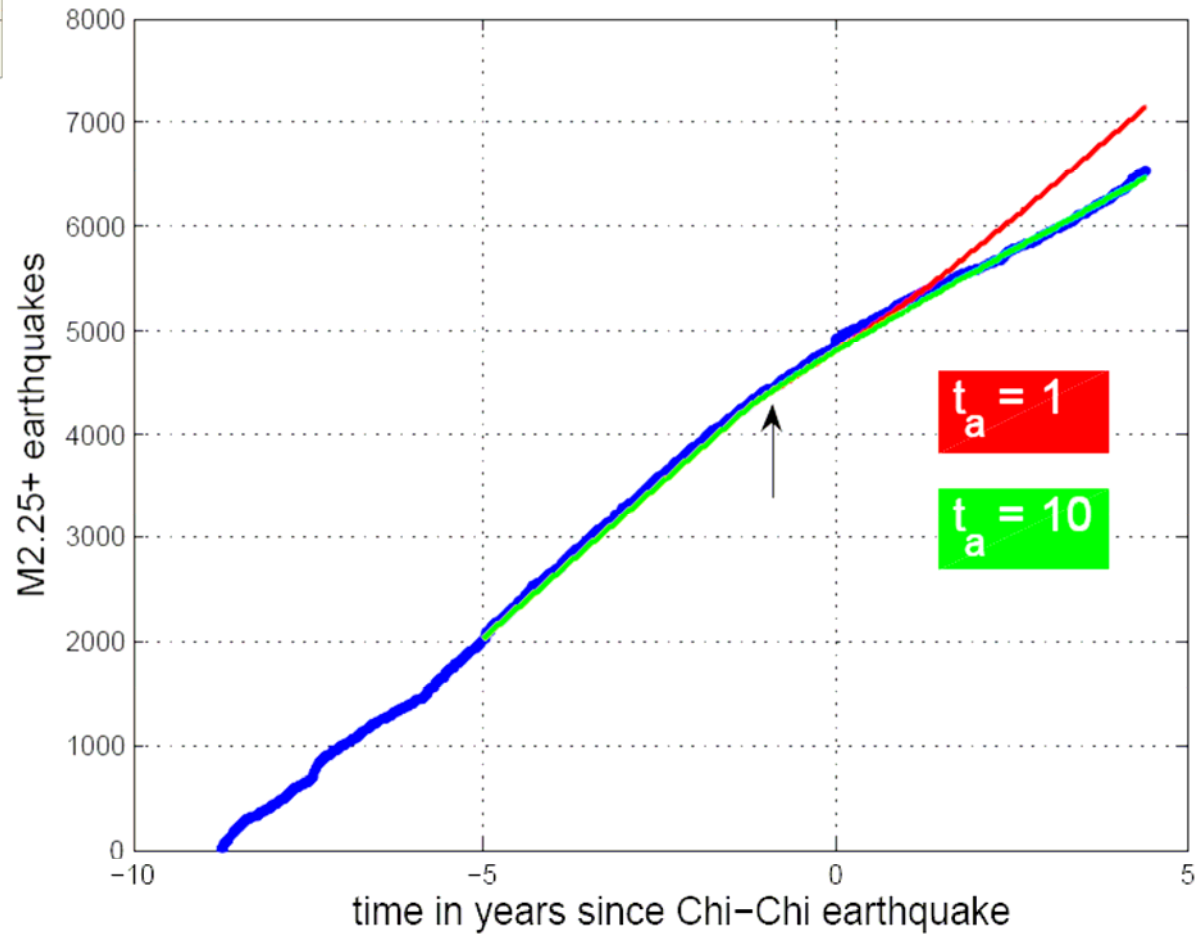
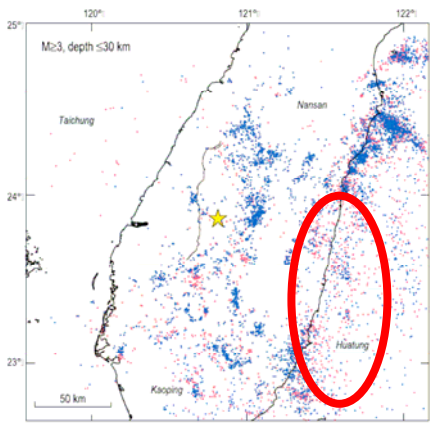
- **commence tard** (> 1.5 ans après Chi-Chi)
- plus vraisemblablement causée par un autre déclencheur (éventuellement asismique ?) que par l'hétérogénéité de contrainte
- de plus : déclenchement dynamique fort



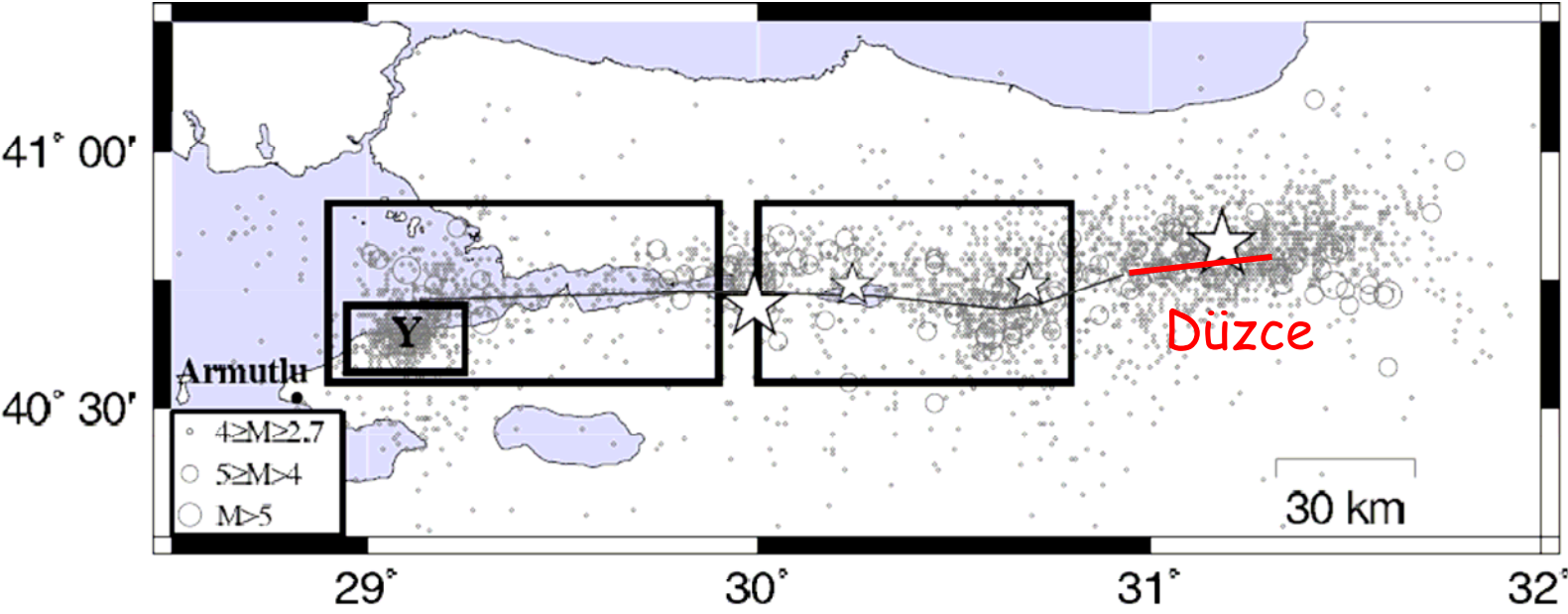


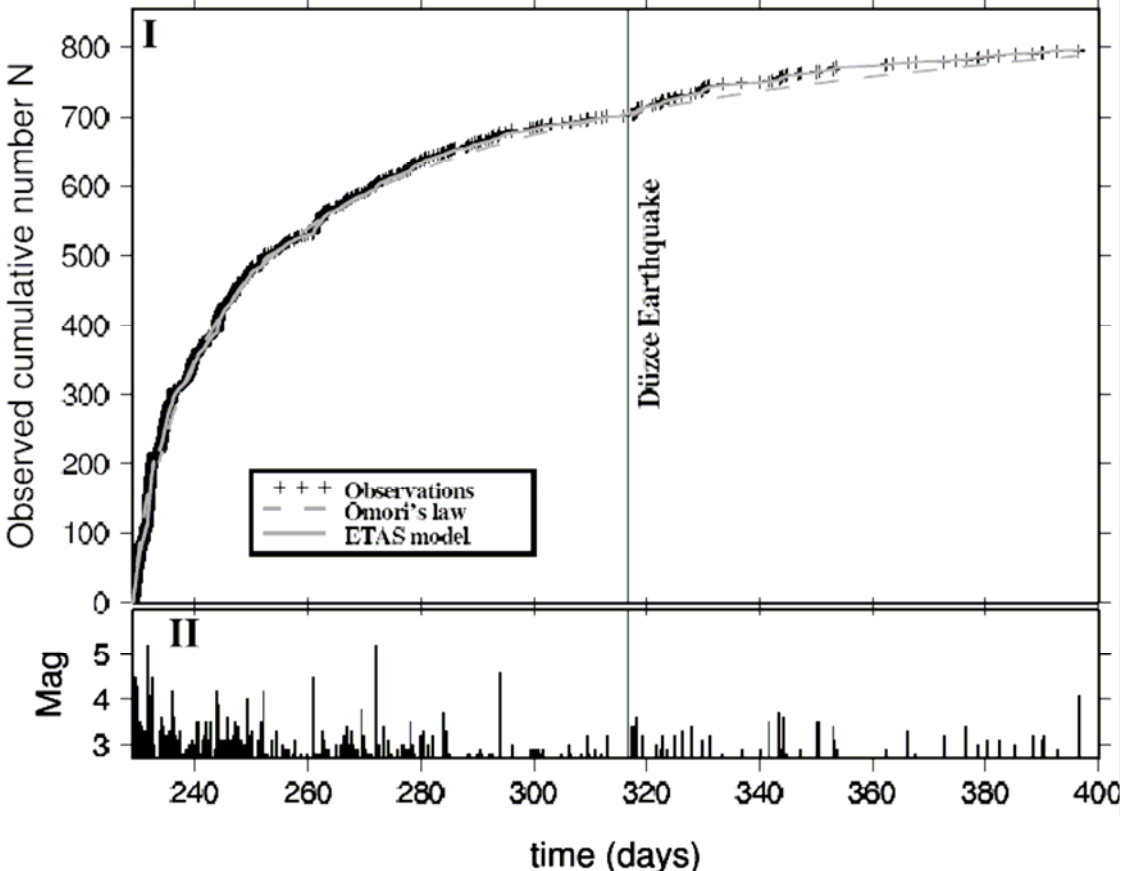


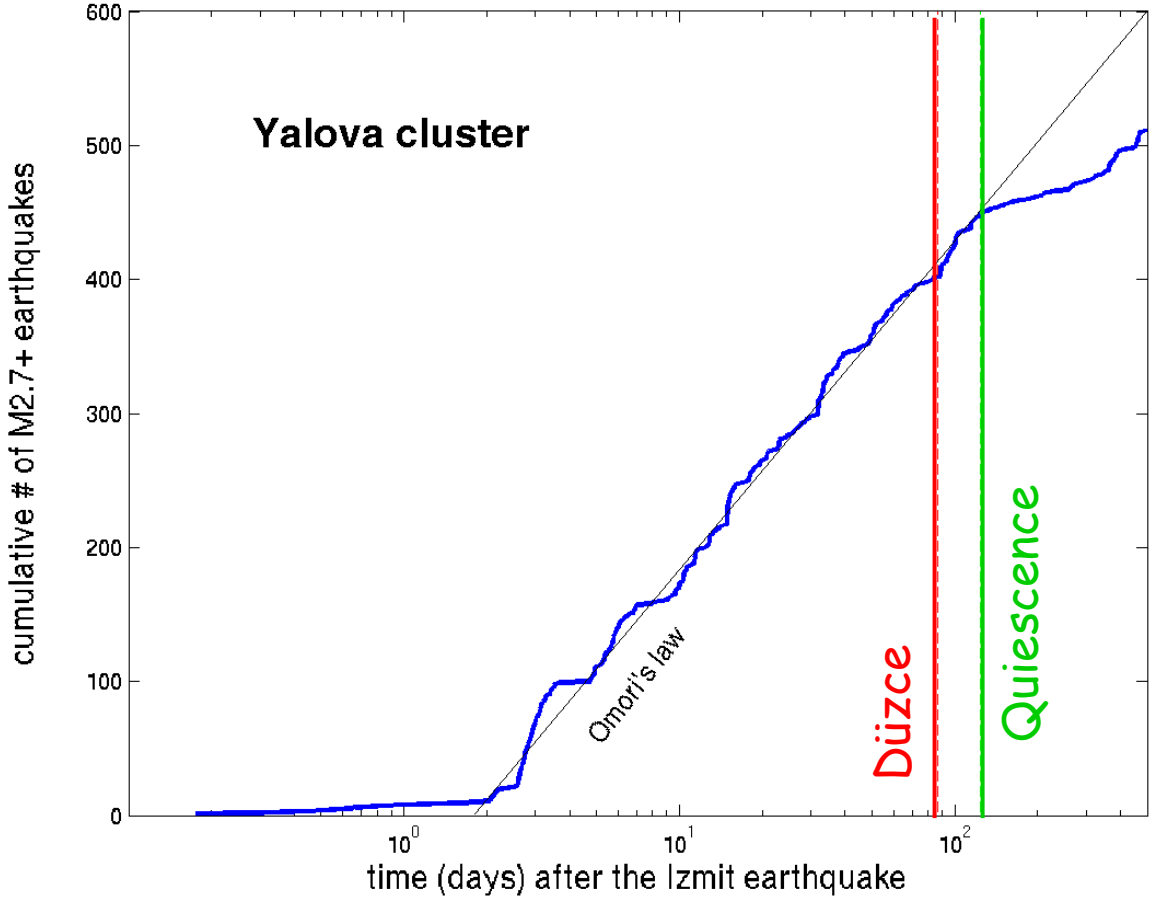




Daniel et al. (sous presse, JGR 2006)







Pour **Chi-Chi**, on observe 2 (+1 ?) cas de quiescence, mais :

- Les deux émergent après une phase initiale de déclenchement (dynamique) qui dure +sieurs jours
- Une commence plus de 1.5 ans après le choc principal, et pourrait être causée par autre chose que Chi-Chi.
- Une autre apparaît tard (>2.4 ans) en profondeur

Pour **Düzce**, pas d'observation de quiescence sauf à Yalova, mais :

- La sismicité est probablement activée dynamiquement...
- ... et s'auto-entretient pendant des mois.
- La quiescence apparaît tard (> 1 mois après Düzce, > 4 mois après Izmit)

Les quiescences hors-faille principale ont plus de chances d'être observées

- Proche de la surface,
- Après un retard de +sieurs semaines / mois,
- Et pourrait être déclenchées par des chargements ultérieurs au choc principal (éventuellement d'origine asismique).

