

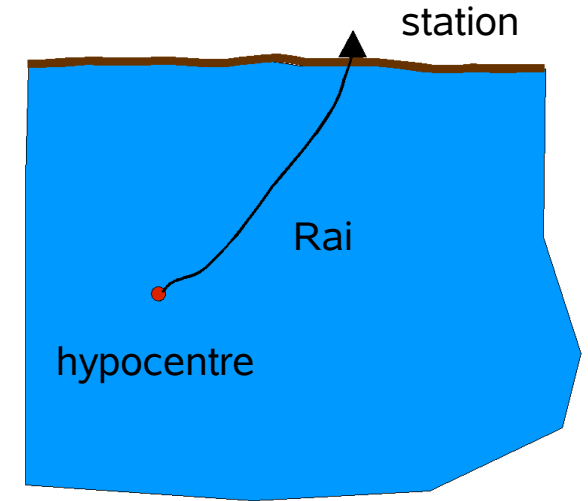
Tomographie par ondes P : apport des décalages temporels

Vadim Monteiller (LGIT Université de Savoie)

tomographie par temps de première arrivée

Données : temps de première arrivée

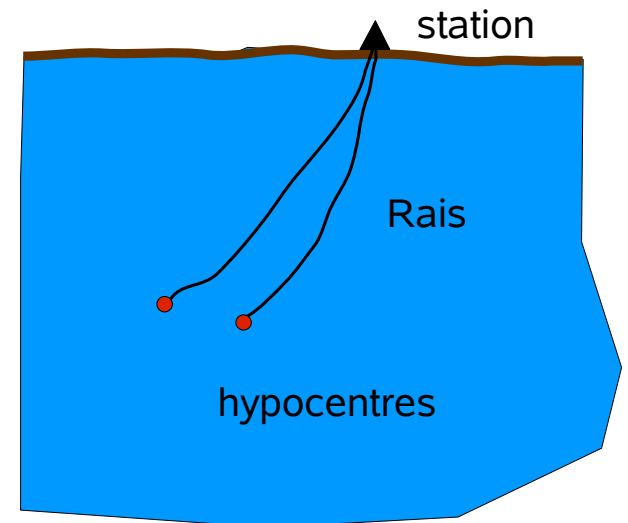
paramètres: position, temps origine des séismes,
modèle de vitesse



Tomographie par décalages temporels

Données : différence de temps d'arrivée

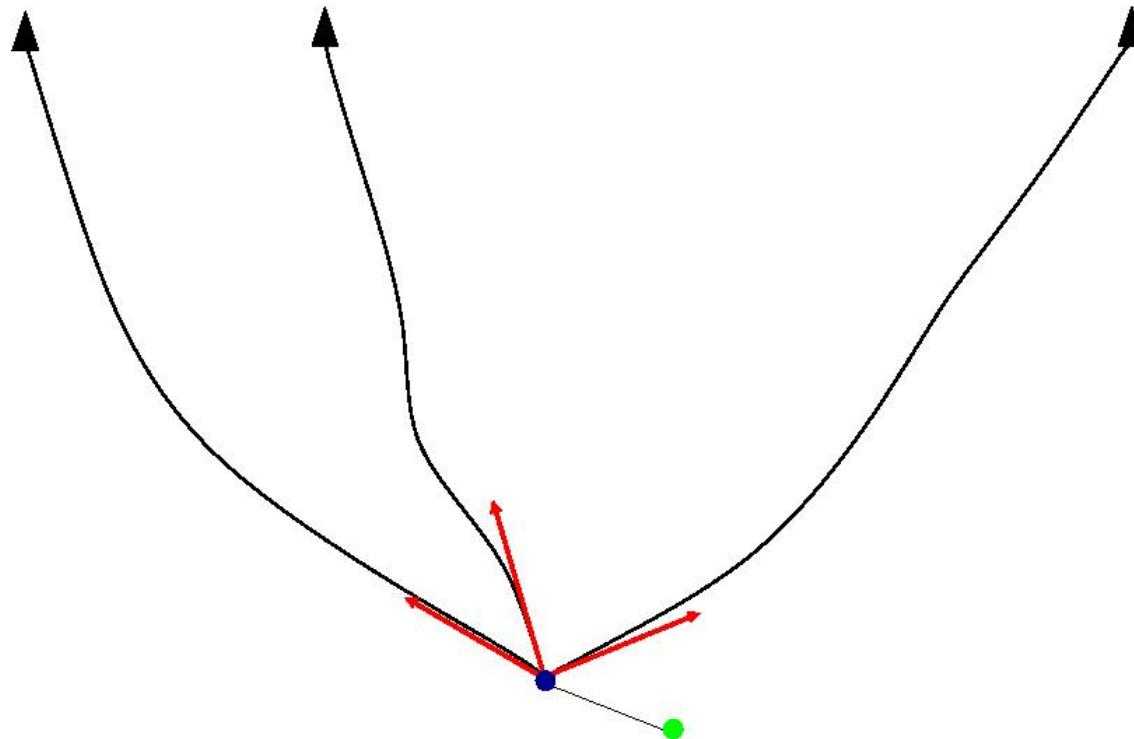
paramètres: position, temps origine des séismes,
modèle de vitesse



Localisation JHD (Joint Hypocenter Determination) Douglas, Freedman (1967)

Localisation d'un essaim de séismes relativement par rapport à un événement maître.

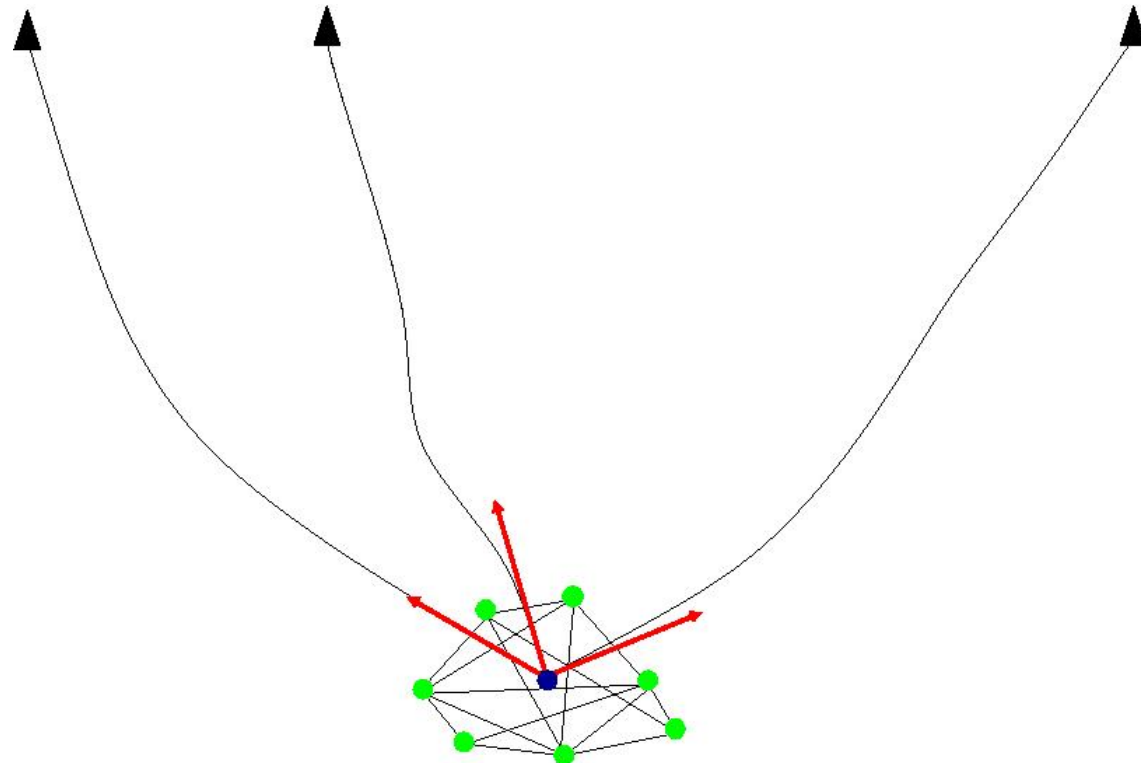
- problème direct linéarisé autour de l'événement maître
- amélioration des positions relatives
- la position de l'essaim dépend de l'événement maître
- l'événement maître doit être enregistré par toutes les stations

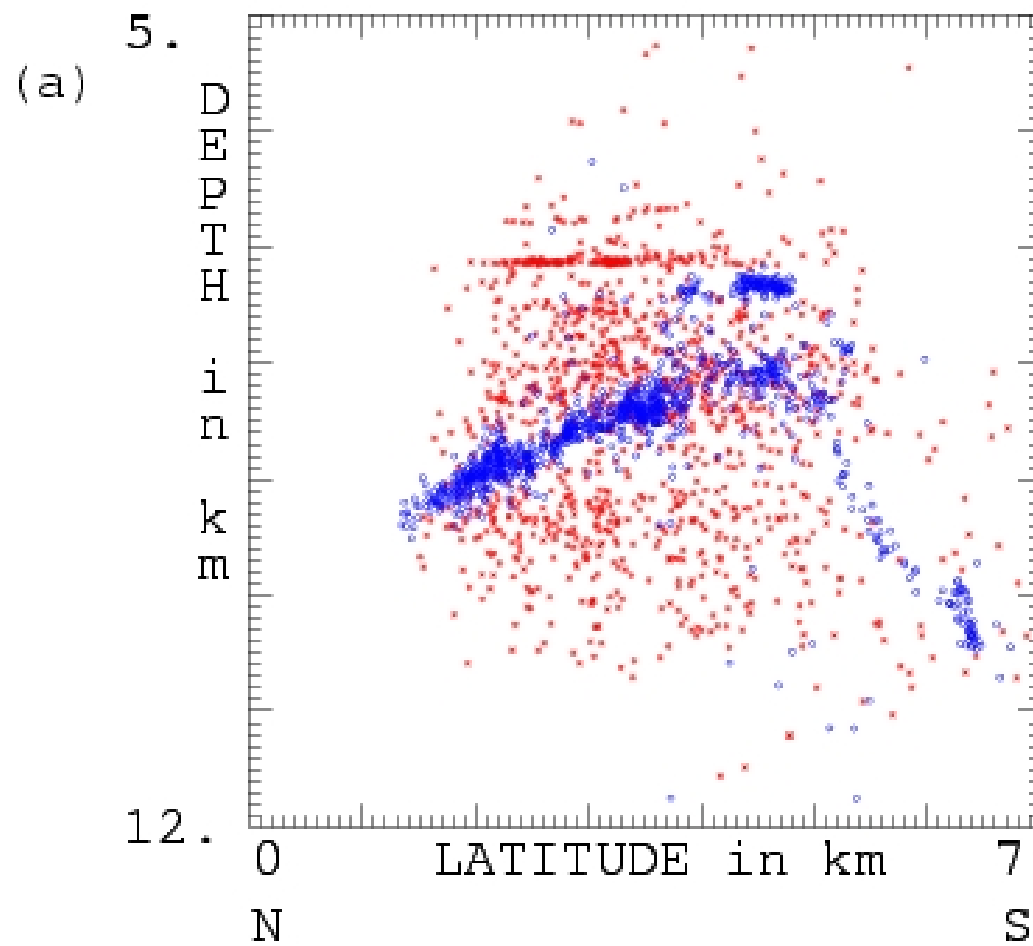


Relocalisation relative (Fréchet (1985), Got et coll (1994))

Relocalisation relative d'un essaim de séisme.

- linéarisation du problème direct autour du barycentre de l'essaim
- prise en compte de toutes les relations entre les séismes





d'après Got et Okubo (2003)

Localisation « double-différence » (Wauldhauser et Ellsworth (2000))

- problème direct non linéaire, tracé de rais dans un milieu à couches.
- contrainte d'invariance sur le barycentre de l'essaim

Tomographie « double-différence » (Zhang et Thurber (2003))

- données : temps de première arrivée et différences de temps
- amélioration des positions relatives dans le processus tomographique grâce aux différences des temps

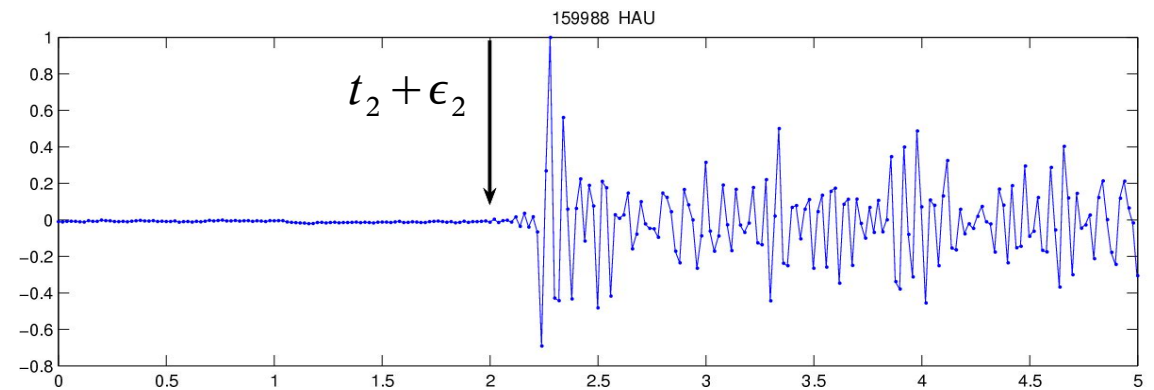
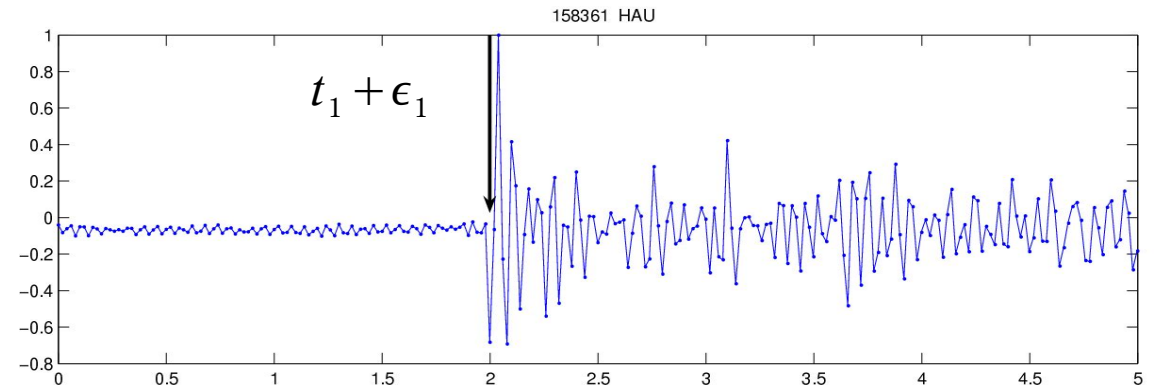
Décalage temporel:

$$\delta = (t_2 - t_1) + (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

différence des
temps d'arrivée

différence des
erreurs de pointé

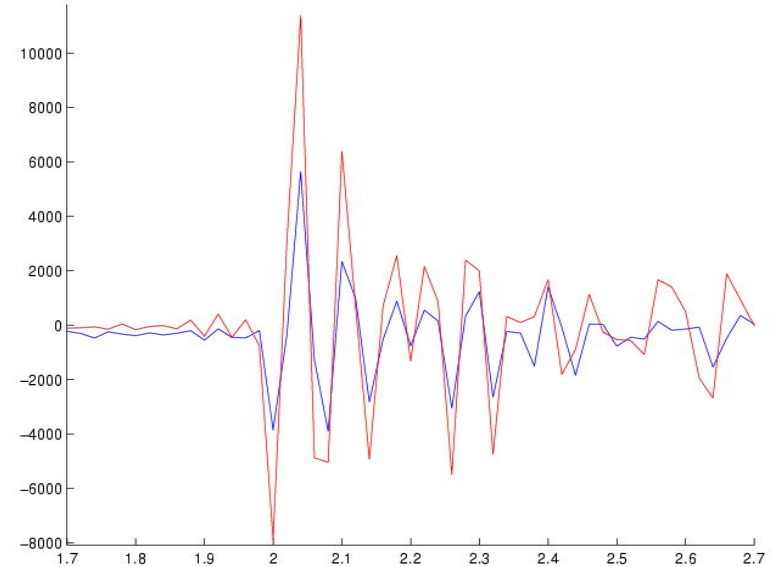
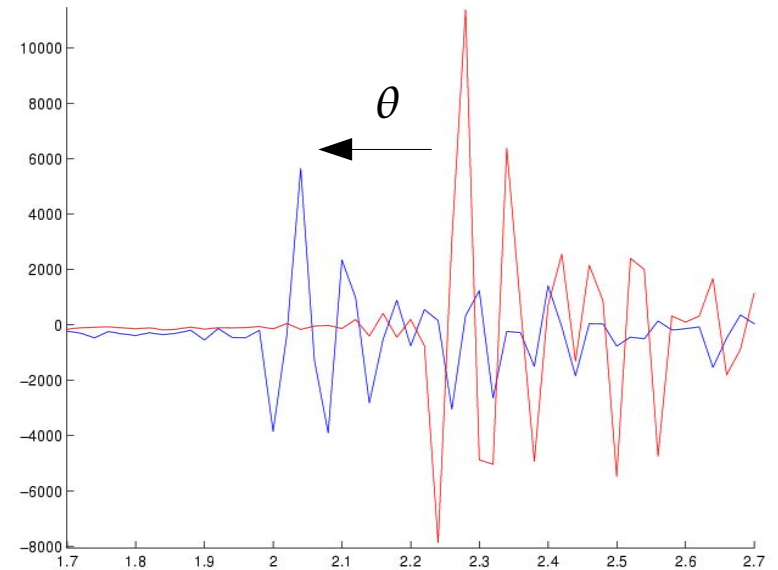
→ si $\epsilon_2 = \epsilon_1$: pas d'erreur sur δ



Calcul de θ par la méthode interspectrale

Correction du décalage: $\delta + \theta$

→ donnée sans erreur de pointé, ne subsiste
que l'erreur d'alignement des signaux
(inférieur au pas d'échantillonnage)

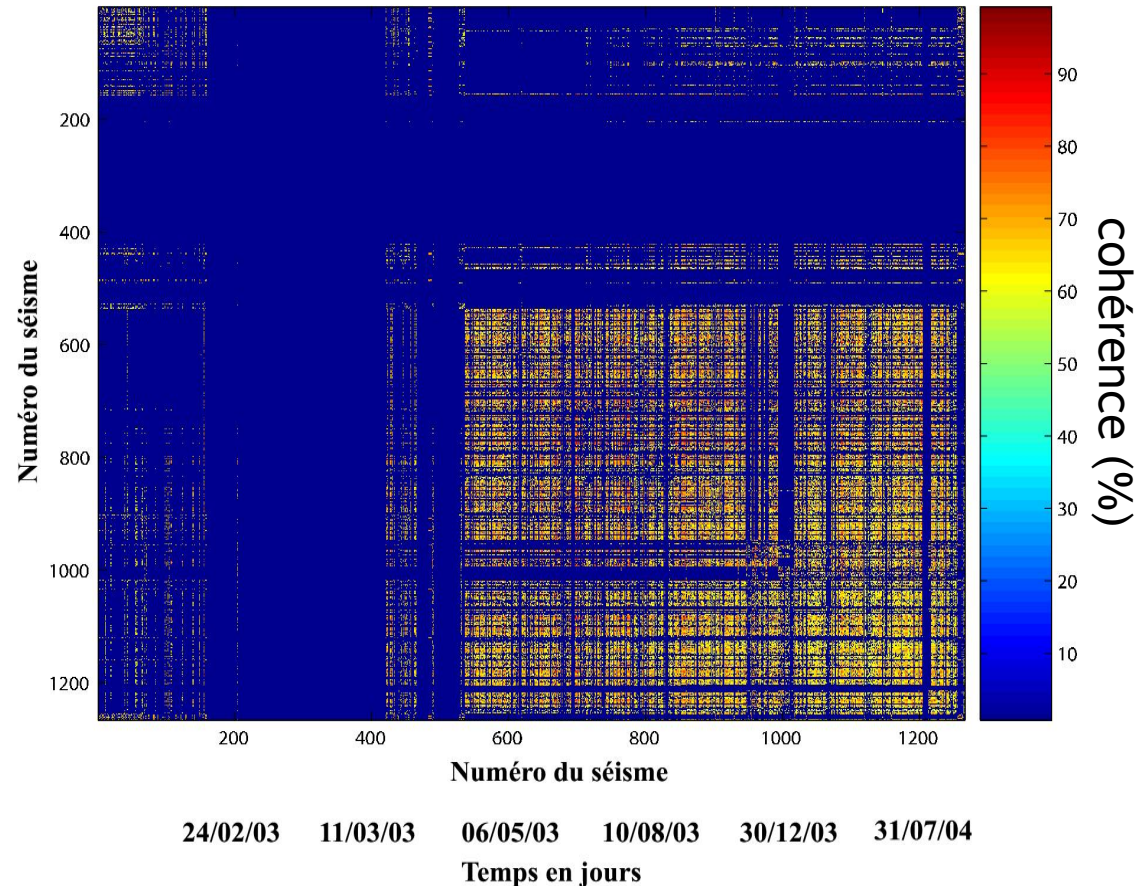


Identification des essais de séismes semblables.

- Construction de la matrice de cohérence
- Utilisation d'un algorithme de formation de classes d'équivalences:

deux séismes appartiennent
au même essai si leur
cohérence est supérieure
à un seuil fixé (~90 %)

Matrice de cohérence

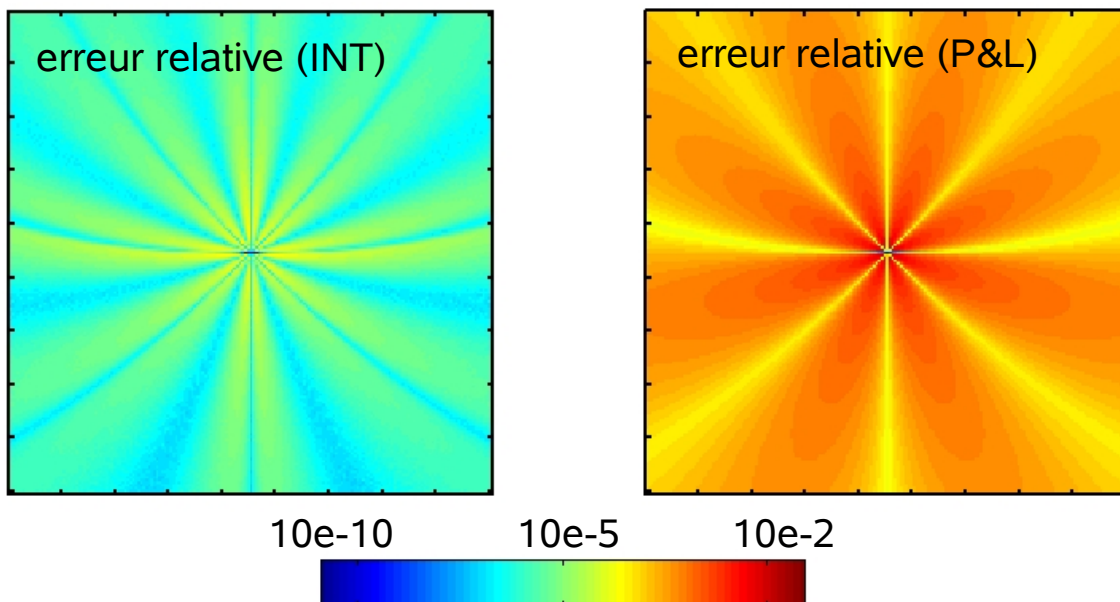
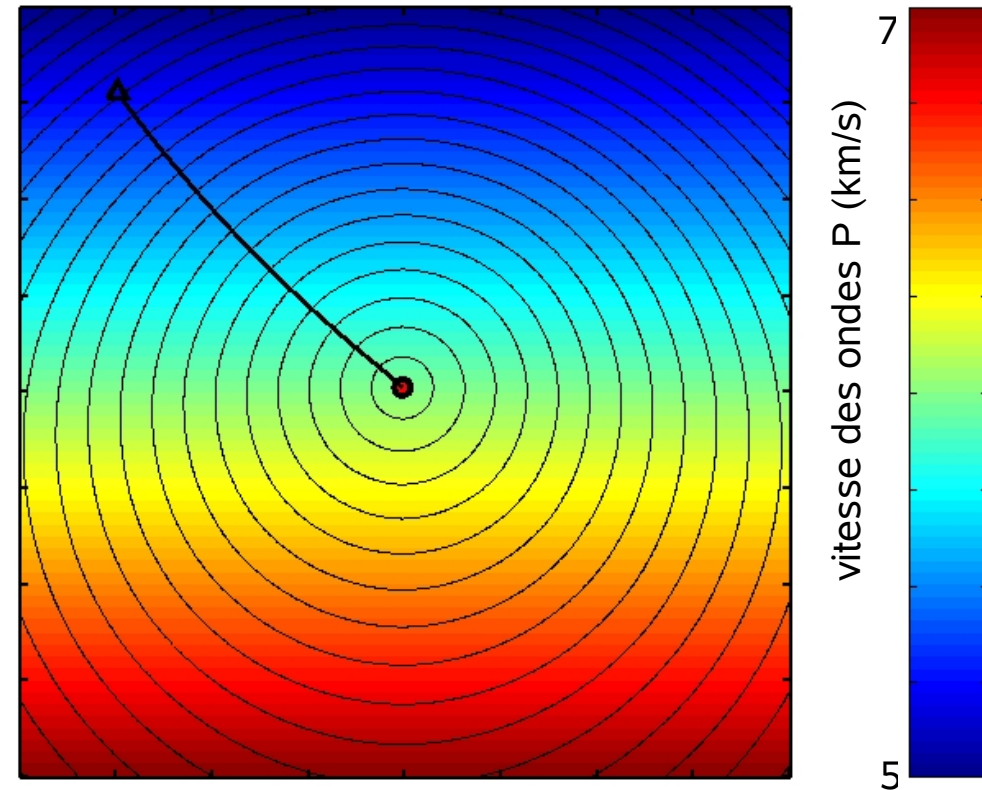


→ Pour cet exemple: 4 essais à plus de 90 % de cohérence

PROBLEME DIRECT

(1) Calcul des temps de parcours par résolution de l'équation de l'Eikonale par différences finies (Podvin-Lecomte)

(2) tracé de rais en utilisant la méthode d'optimisation du gradient à pas constant appliquée à la fonction temps de parcours



(3) calcul du temps de parcours le long du rai par intégration numérique de la fonction lenteur (formule de Simpson)

Problème inverse probabiliste

fonction coût: $J(m) = (d - g(m))^T C_d^{-1} (d - g(m)) + (m - m_0)^T C_m^{-1} (m - m_0)$

avec:

m_0 modèle a priori

d données

$g(m)$ problème direct

C_d matrice de covariance sur les données

C_m matrice de covariance sur le modèle

Résoudre le problème Inverse: minimiser la fonction coût

→ Gauss-Newton : $m_{k+1} = m_k + (G^T C_d^{-1} G + C_m^{-1})^{-1} (G^T C_d^{-1} (d - g(m_k)) + C_m^{-1} (m_0 - m_k))$

Problème inverse probabiliste

Matrice de covariance sur les données diagonale:

$$(C_d)_{ii} = \sigma_d$$

σ_d erreur de mesure

Matrice de covariance sur
le modèle de vitesse :

$$(C_m)_{ij} = \sigma^2 \rho(x_i, x_j)$$

$$\rho(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{|x_i - x_j|}{\lambda}\right)$$

x_i noeud i de la grille

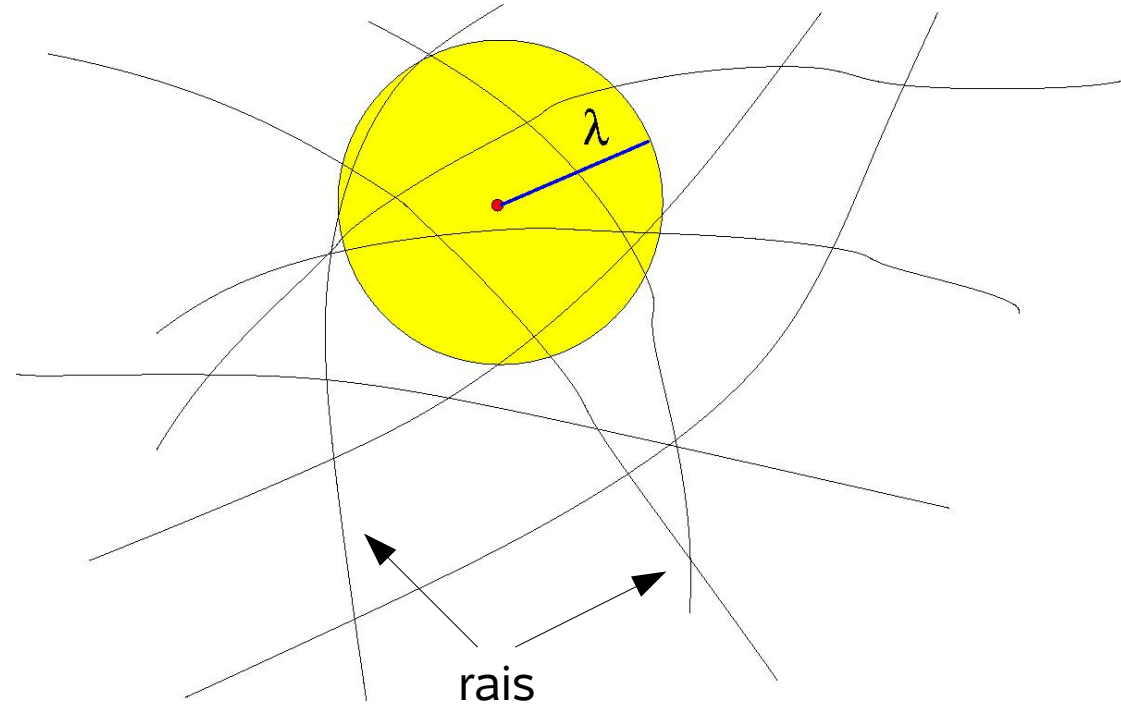
$\rho(x_i, x_j)$ fonction de corrélation

λ longueur de corrélation

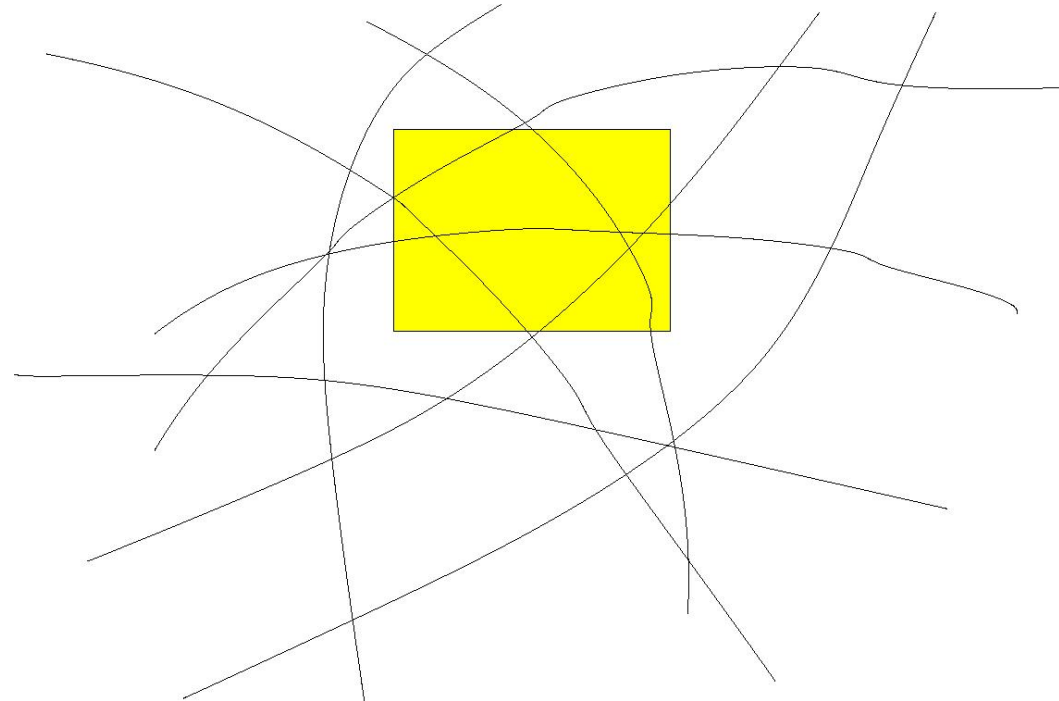
σ variance sur les paramètres de vitesses

Rôle de la fonction de corrélation

- La vitesse est déterminée par les portions de rais au voisinage du point.
- En fonction de la longueur de corrélation on fait intervenir plus ou moins de longueur de rais



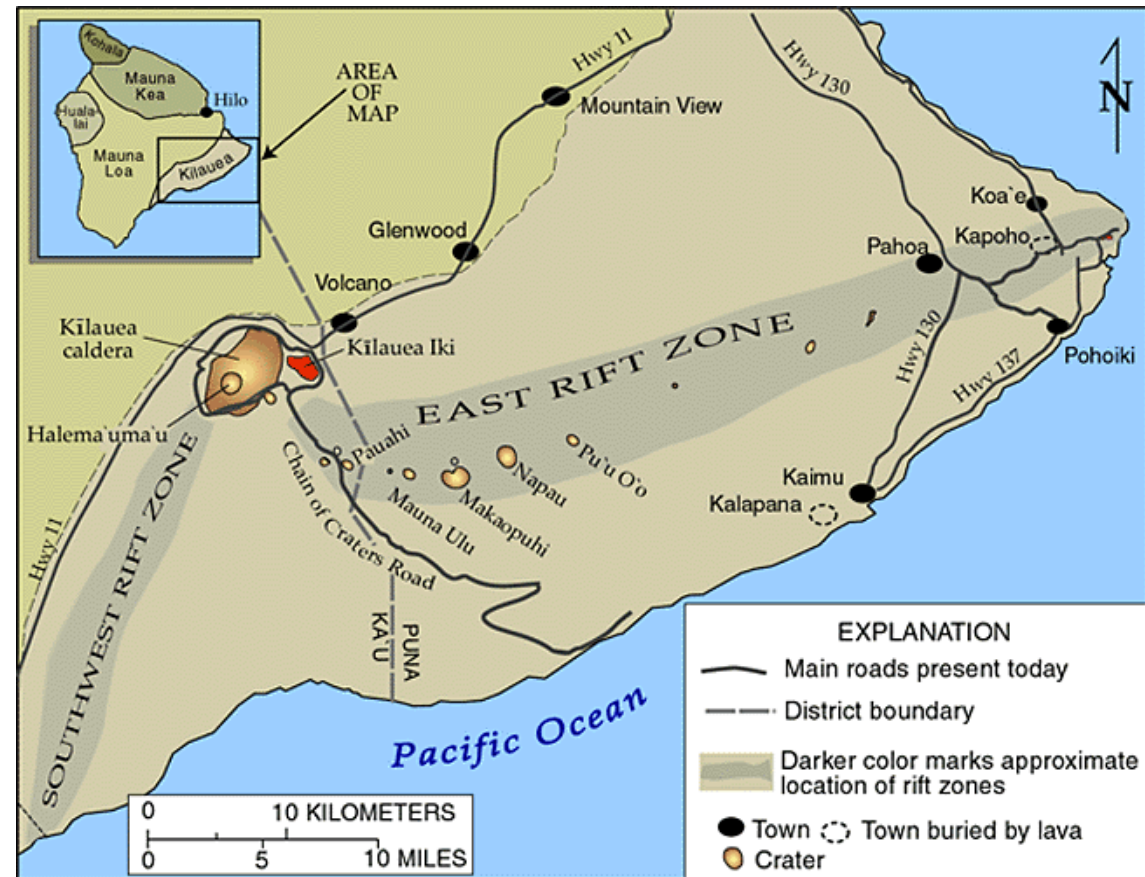
- En tomographie classique, c'est les portions des rais qui traversent un bloc qui contraignent la vitesse moyenne dans le bloc.



Tomographie de l'île d'Hawaïi

1. Tomographie avec les temps de première arrivée à l'échelle régionale.

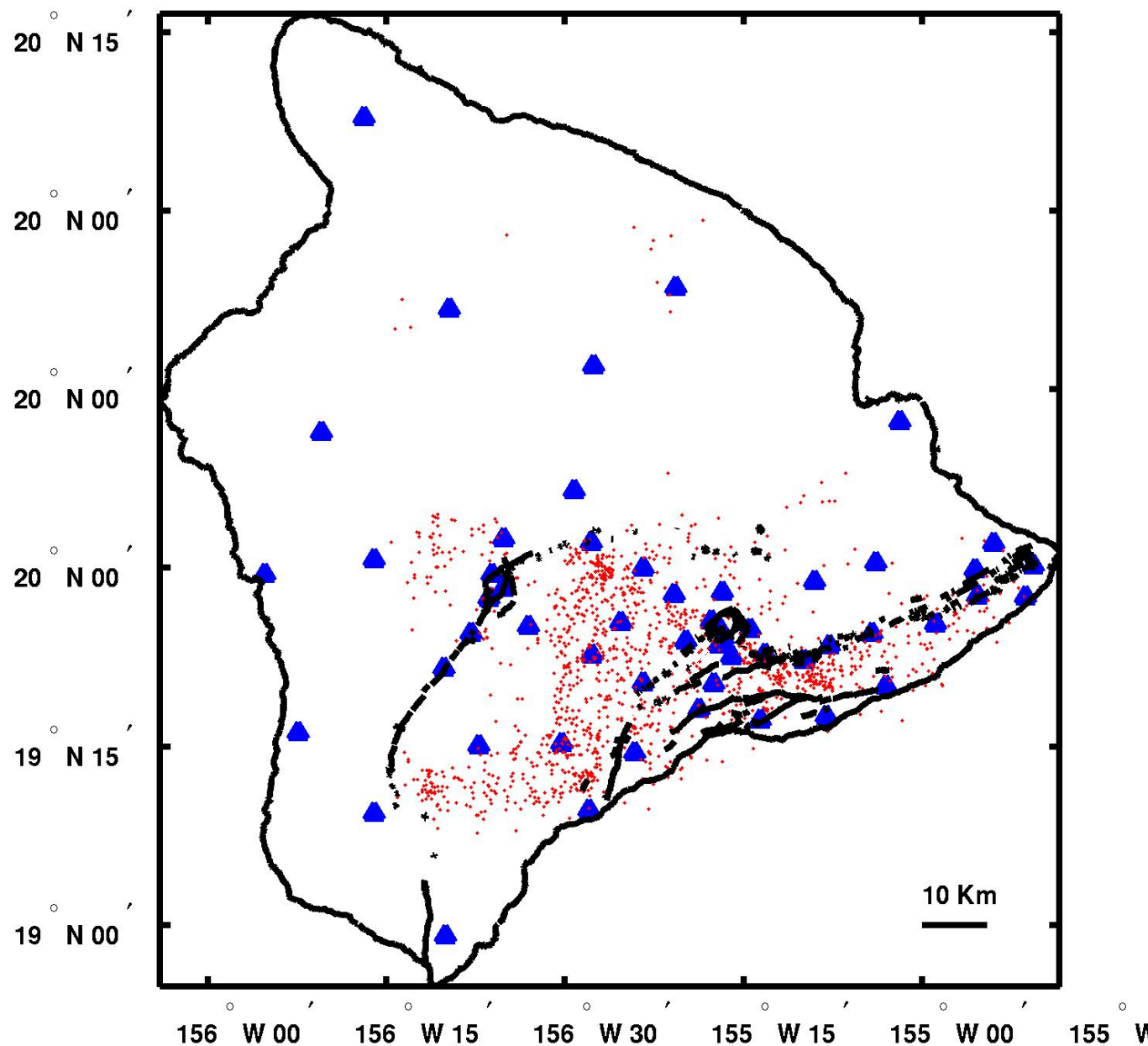
2. Tomographie par décalages temporels à l'échelle du flanc sud du volcan Kilauea.



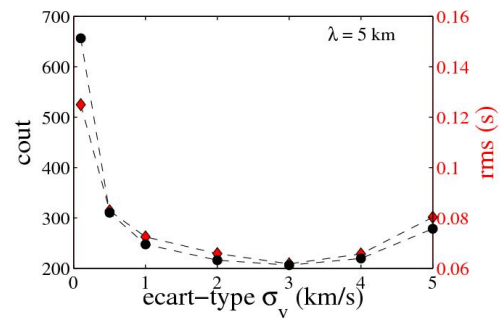
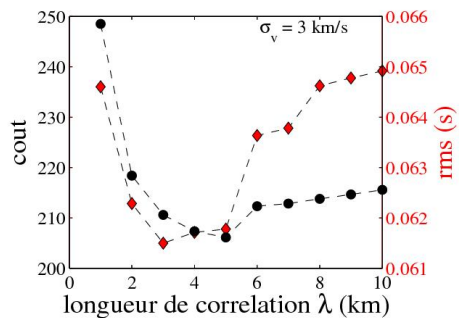
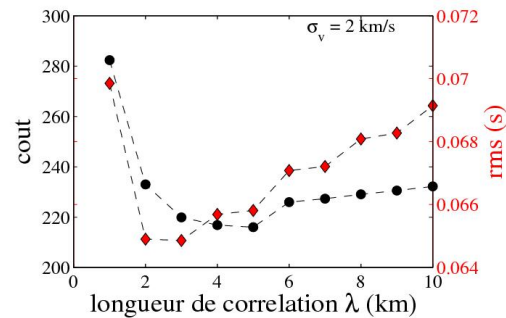
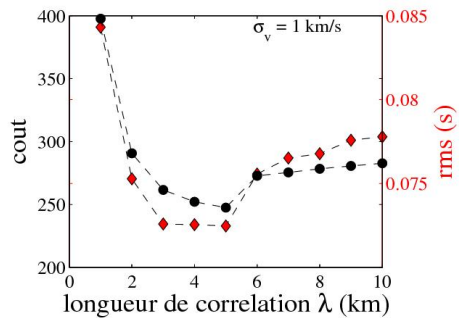
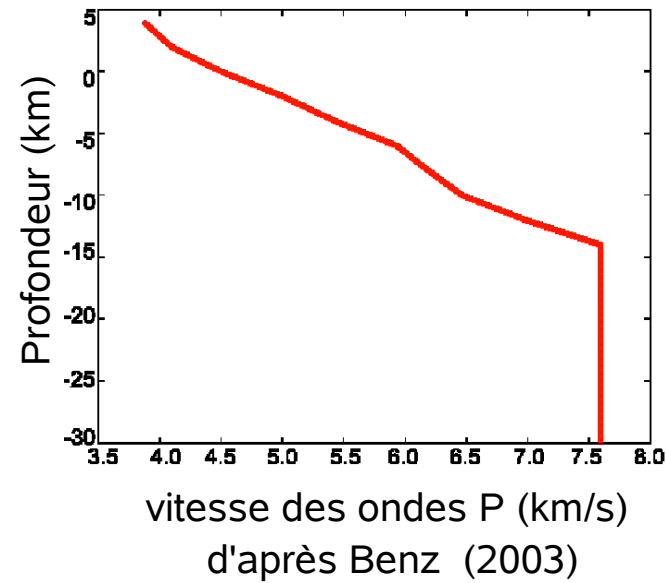
TOMOGRAPHIE A L'ECHELLE REGIONALE

Sismicité.

1358 séismes,
> 30 temps d'arrivées
par évènement.



Modèle *a priori* pour la tomographie avec les temps de première arrivées.



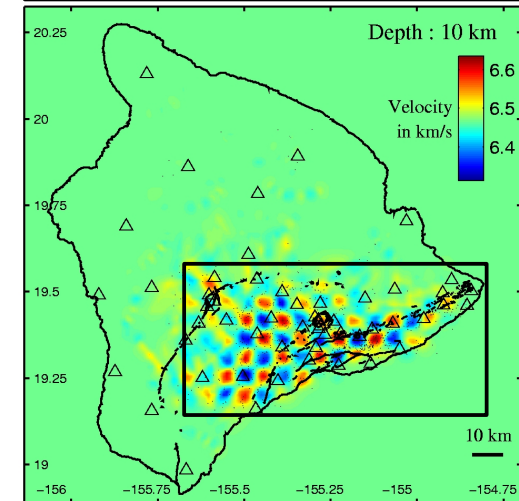
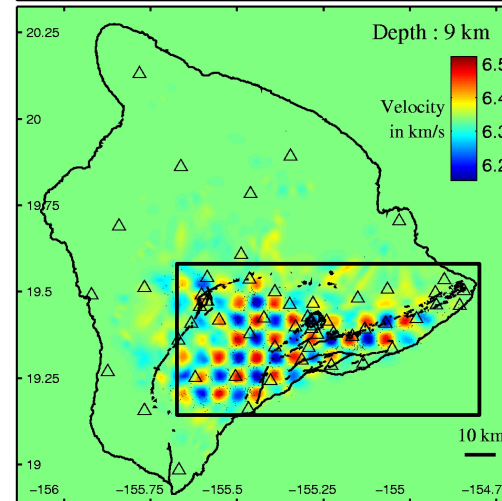
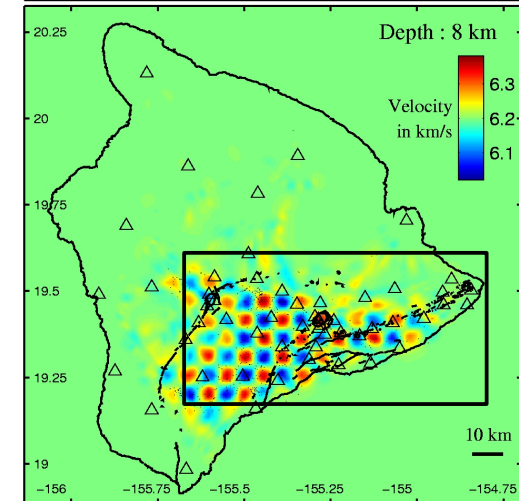
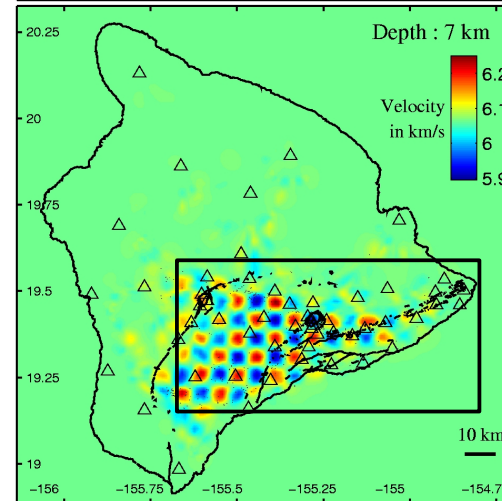
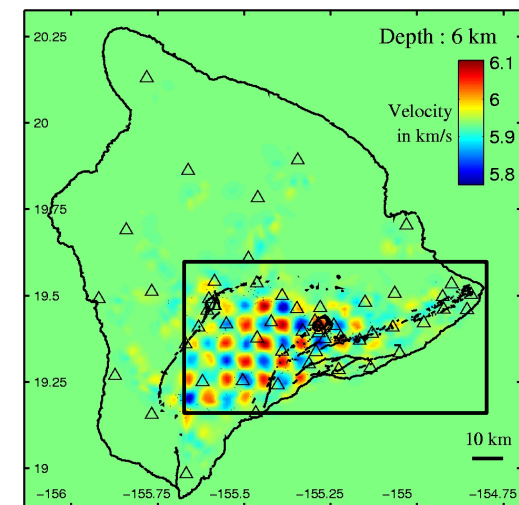
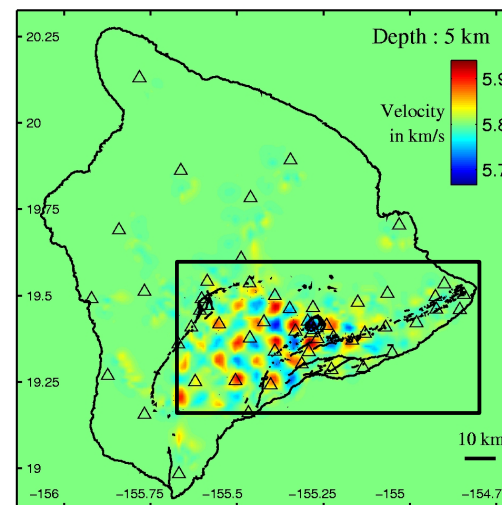
$$E(m) = (d - g(m))^t C_d^{-1} (d - g(m)) + (m - m_0)^t C_m^{-1} (m - m_0)$$

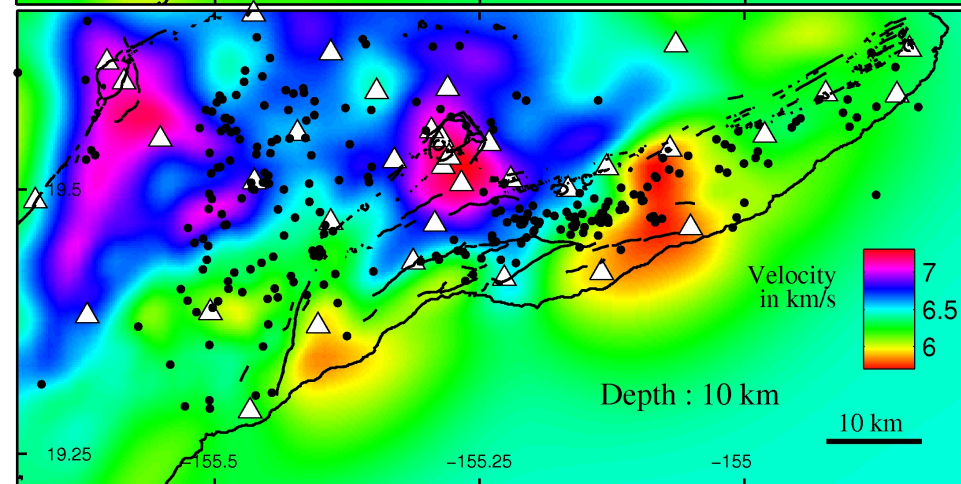
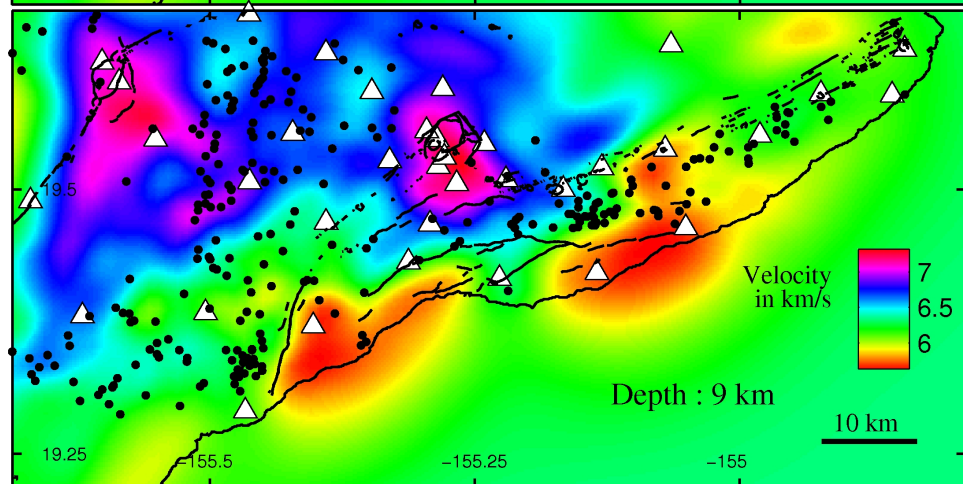
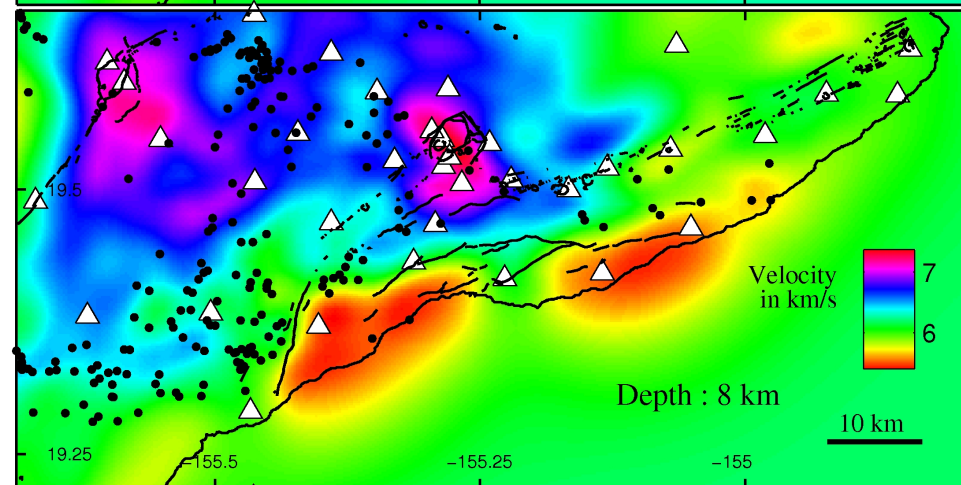
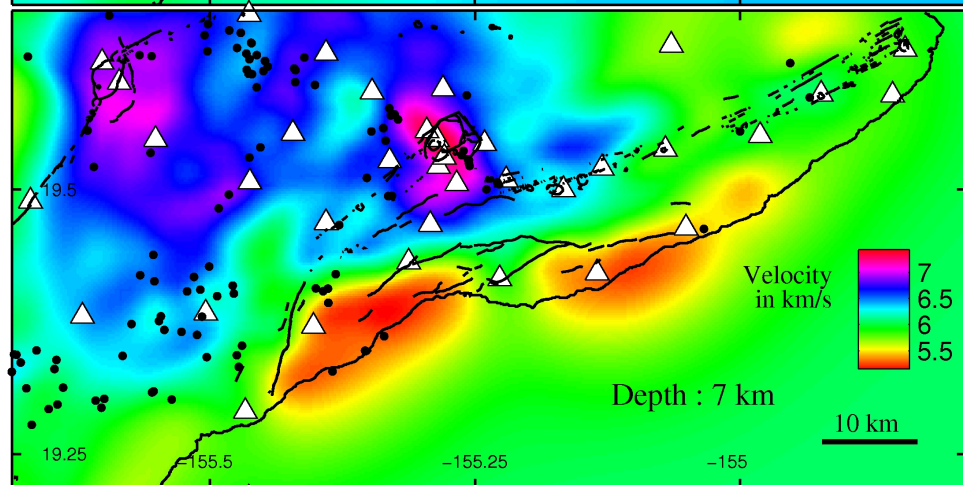
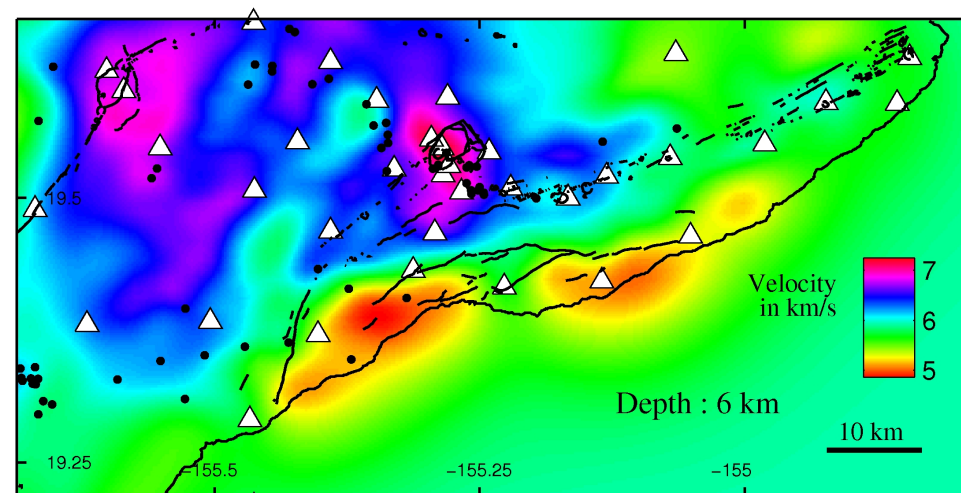
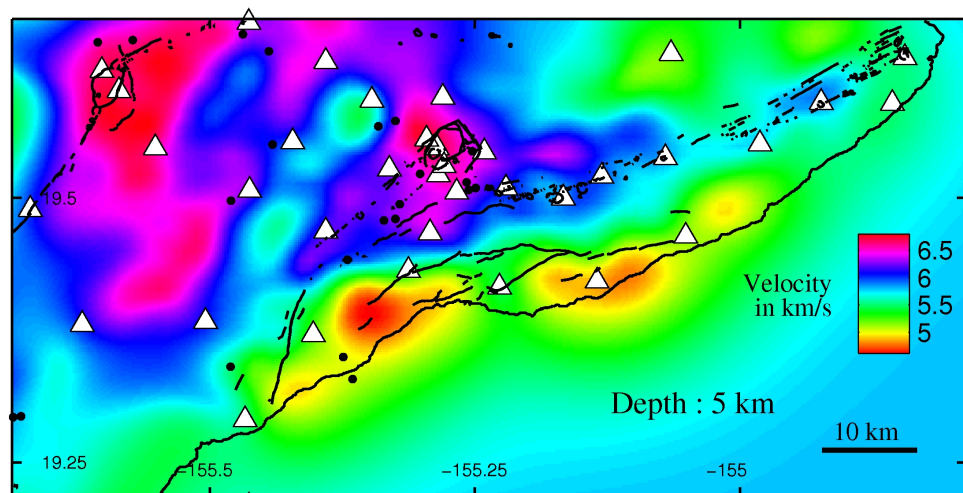
coût = ajustement + variance du modèle

Checkerboard test

Modèle de vitesse reconstruit dans les régions :

- Mauna Loa
- Kilauea
- Zone du Rift Est



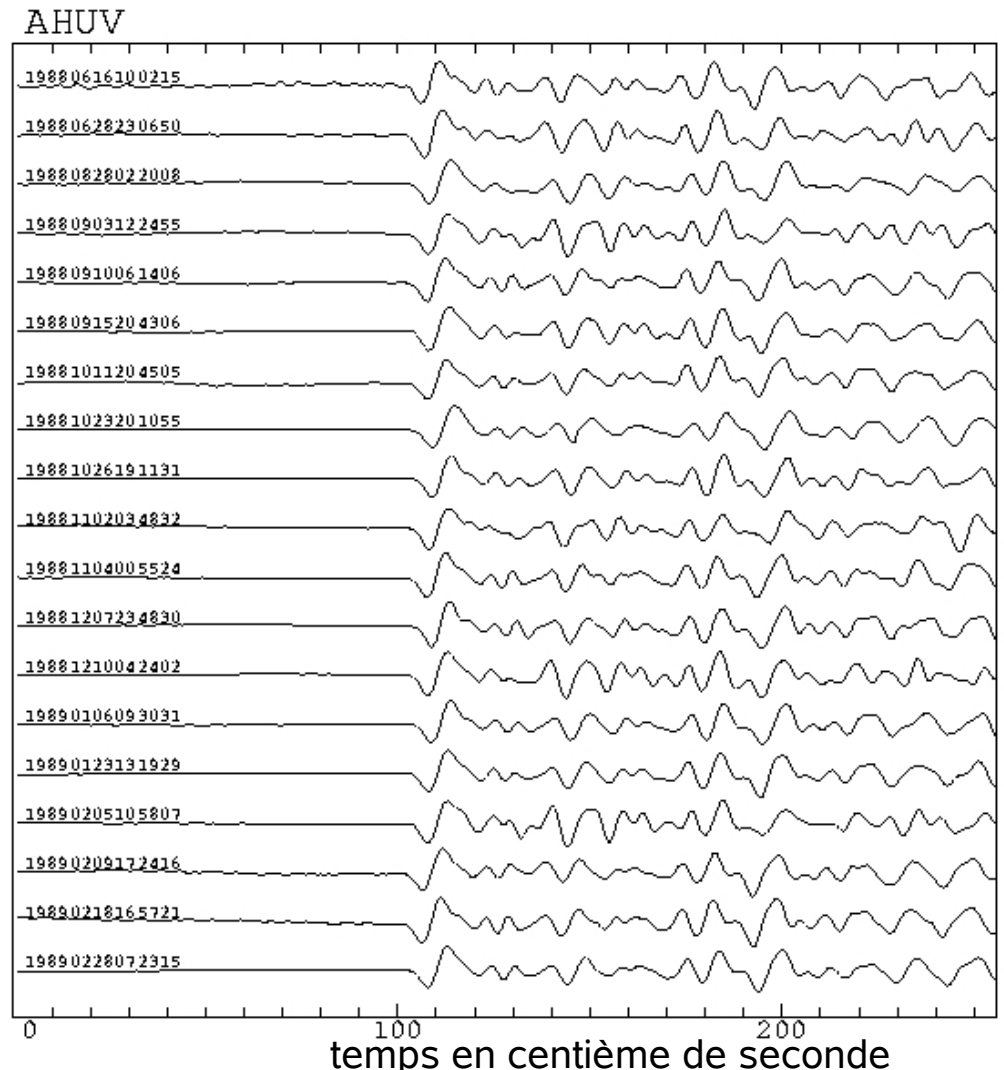


Hawaiian Volcano Observatory (HVO).

Catalogue de 1988 à 1999 : ~30 000 séismes, $M \sim 2$ à 5.

- temps de première arrivée des ondes P
localisation temps origine.

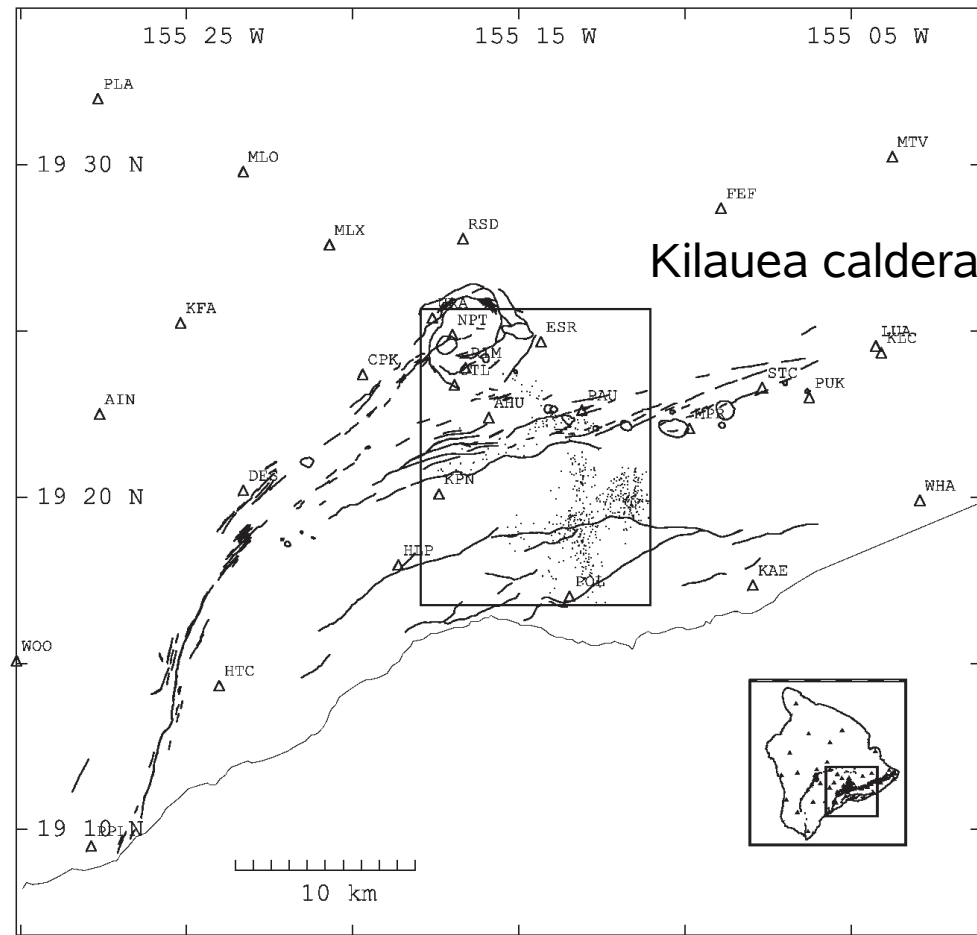
- formes d'ondes => décalages interspectraux pour
des essais de séismes situés dans le sud de l'île.



Tomographie par décalages temporels

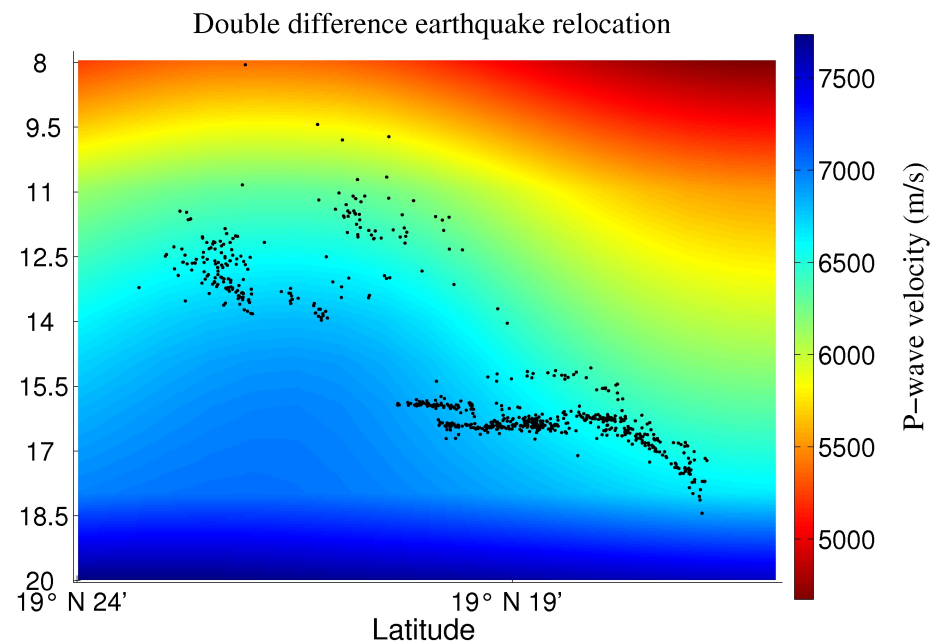
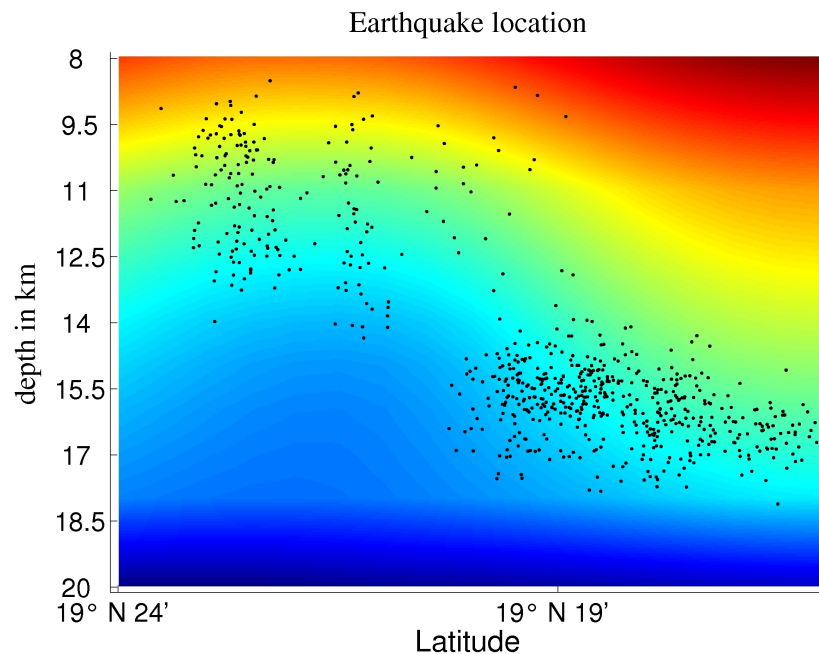
Essaim: 614 séismes.
→ 600 000 décalages
→ 80 000 paires

volume d'inversion:
12 km x 16 km x 12 km
au sud du Kilauea



Localisation de l'essaim dans le milieu tomographique 3-D

Amélioration des positions grâce aux décalages temporels



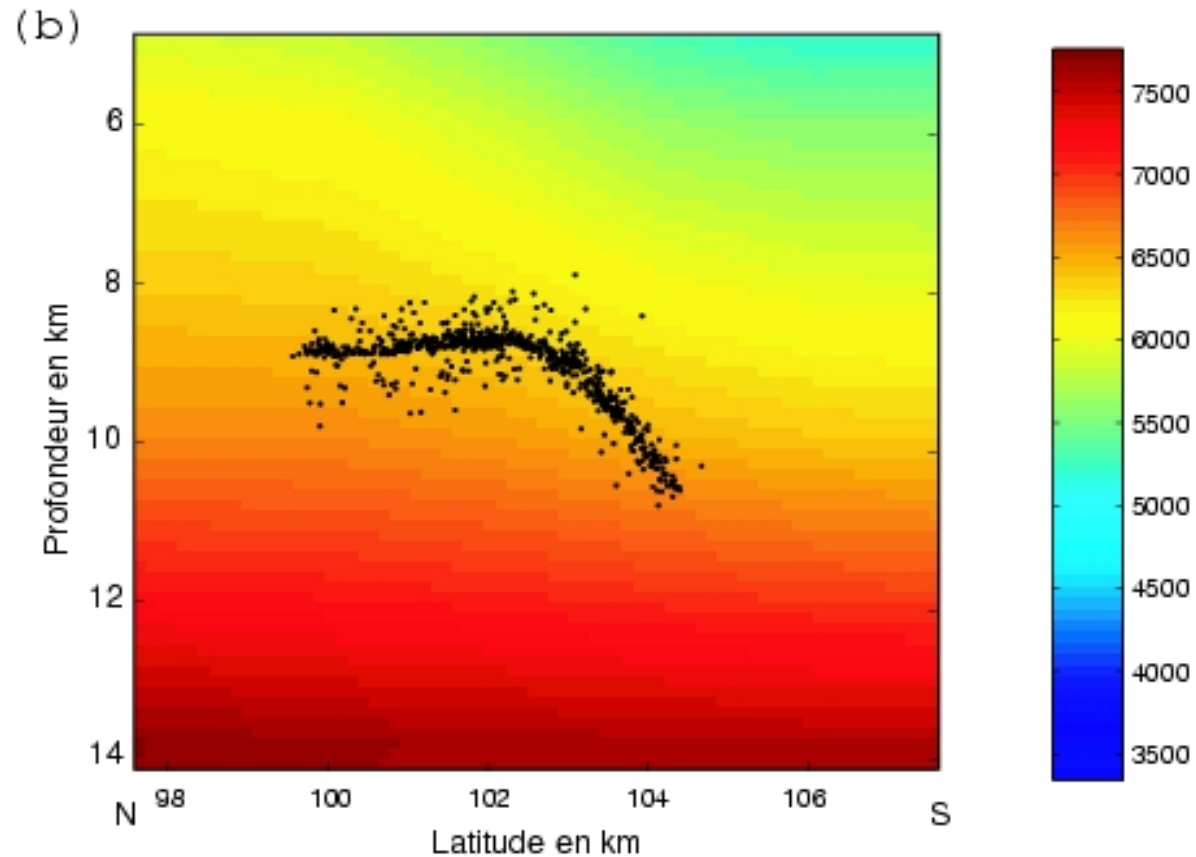
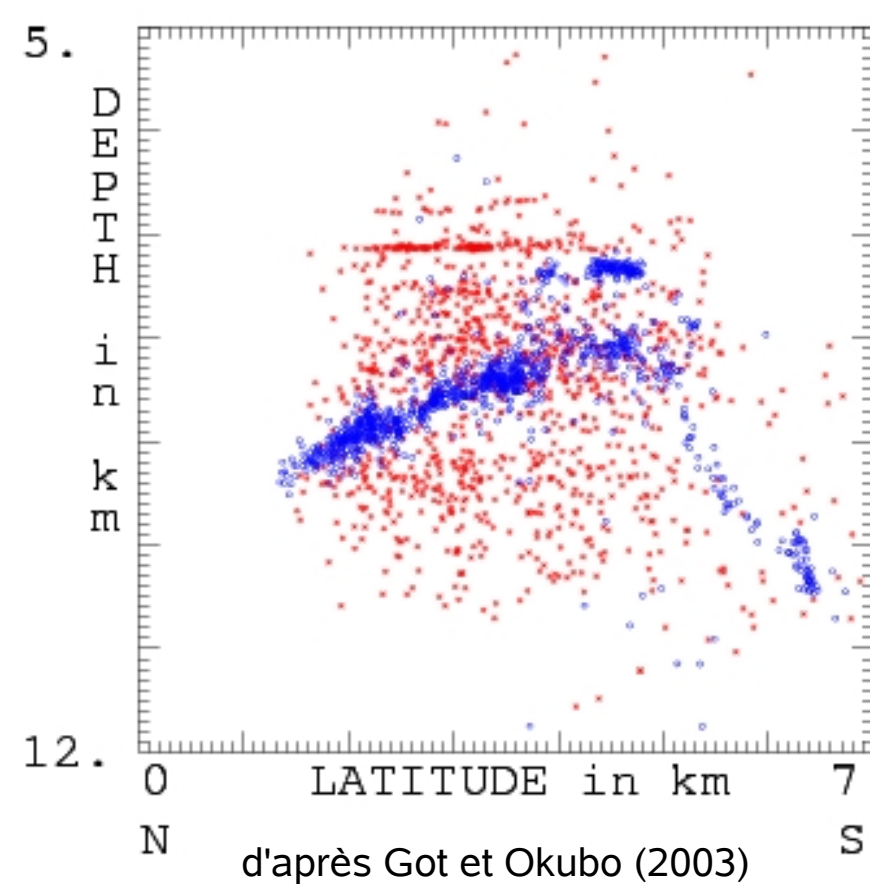
Etude de la sismicité à l'aide des décalages temporels.

Localisation relative :

- (a) problème direct linéaire
- (b) modèle de vitesse 1D

Localisation 3-D :

- (a) problème direct non linéaire
- (b) modèle de vitesse hétérogène 3D

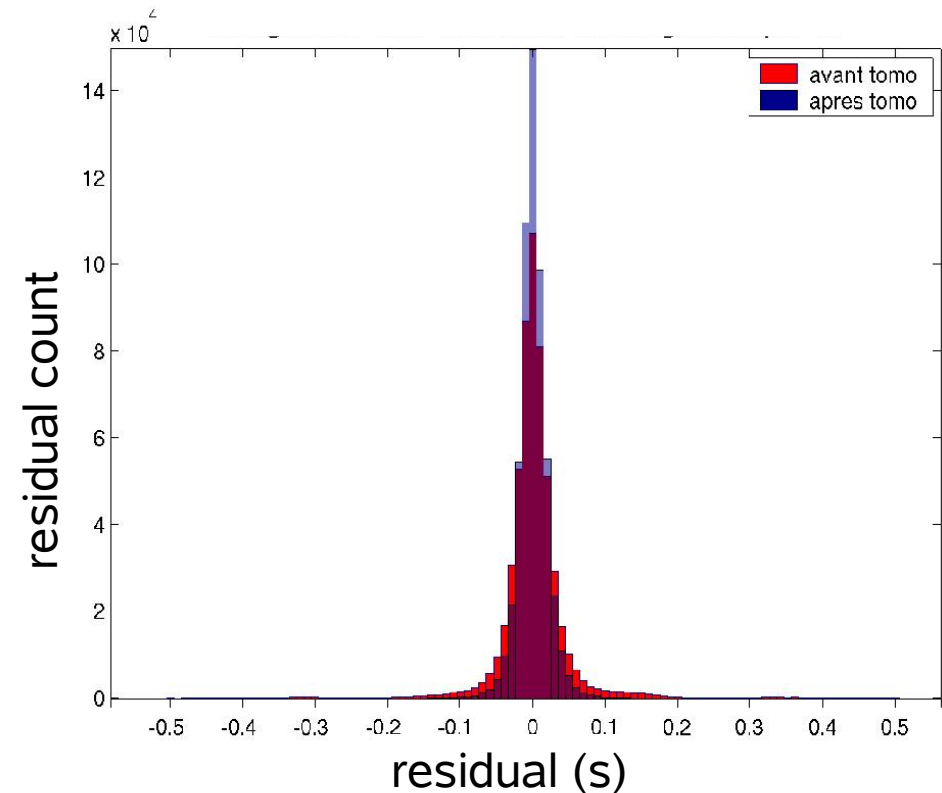
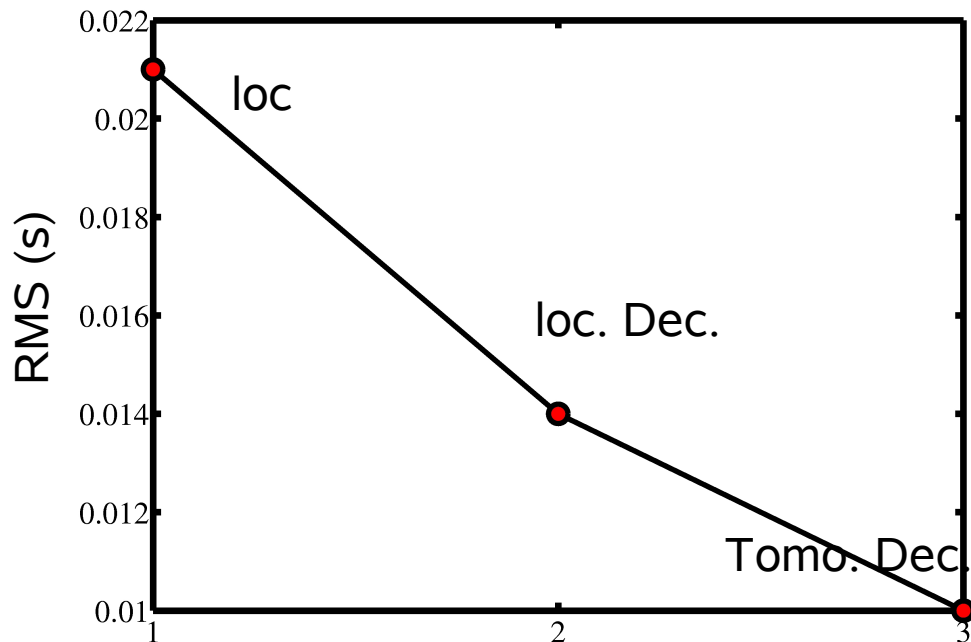


Tomographie par décalages temporels.

modèle de vitesse a priori : modèle tomographique régional

Longueur de corrélation : $\lambda = 1.75$ km

Variance sur les paramètres : $\sigma = 2$ km/s

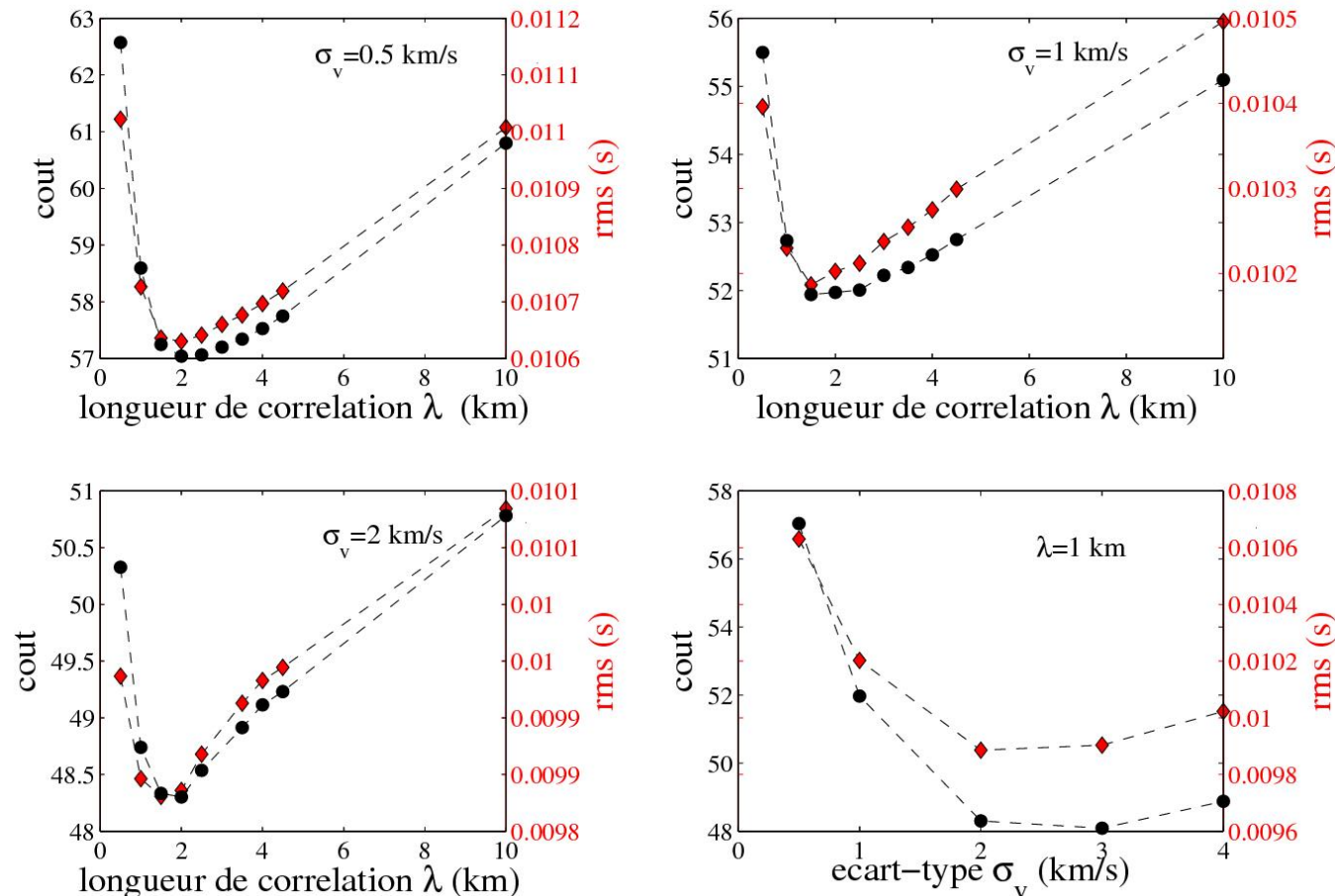


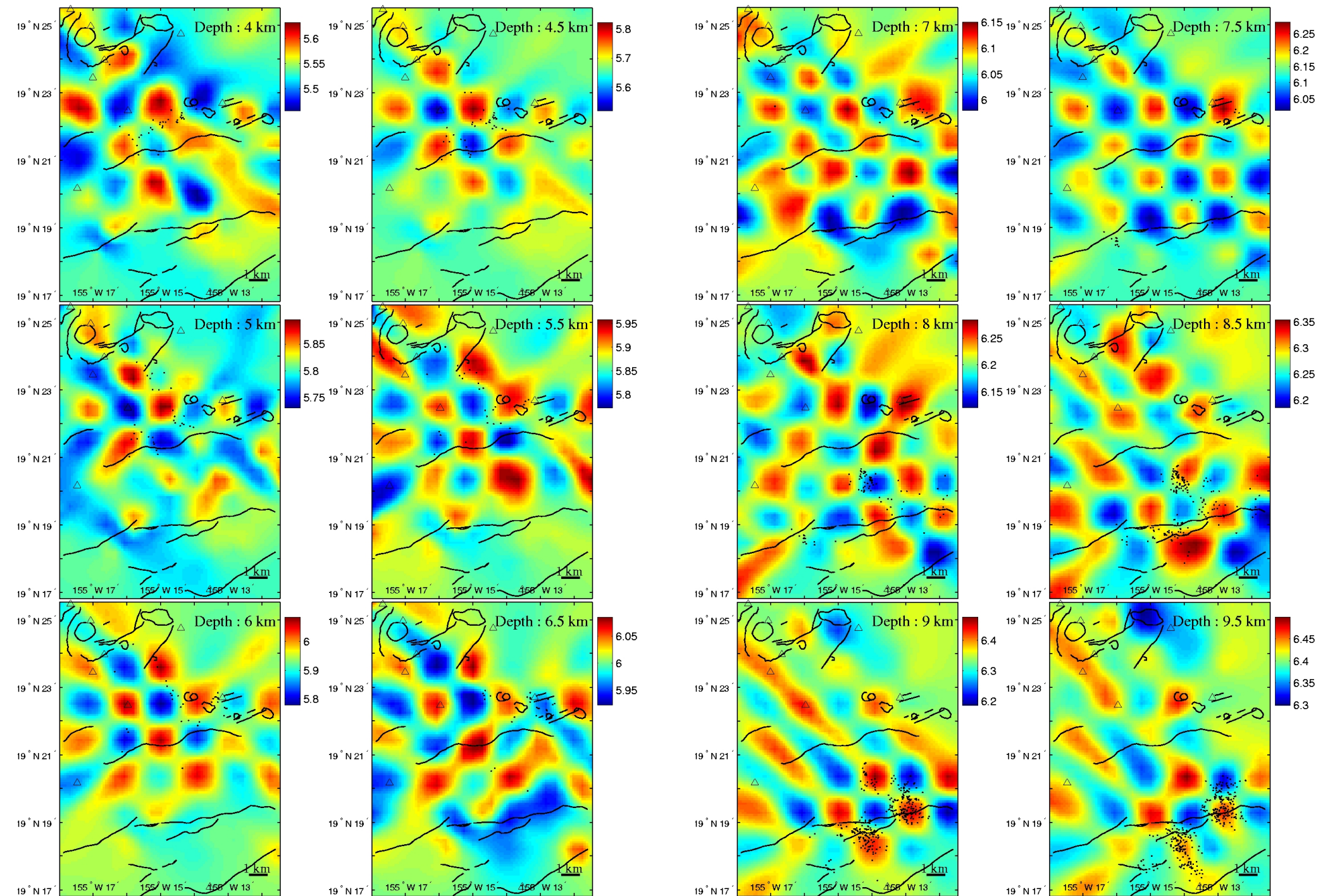
Tomographie par décalages temporels.

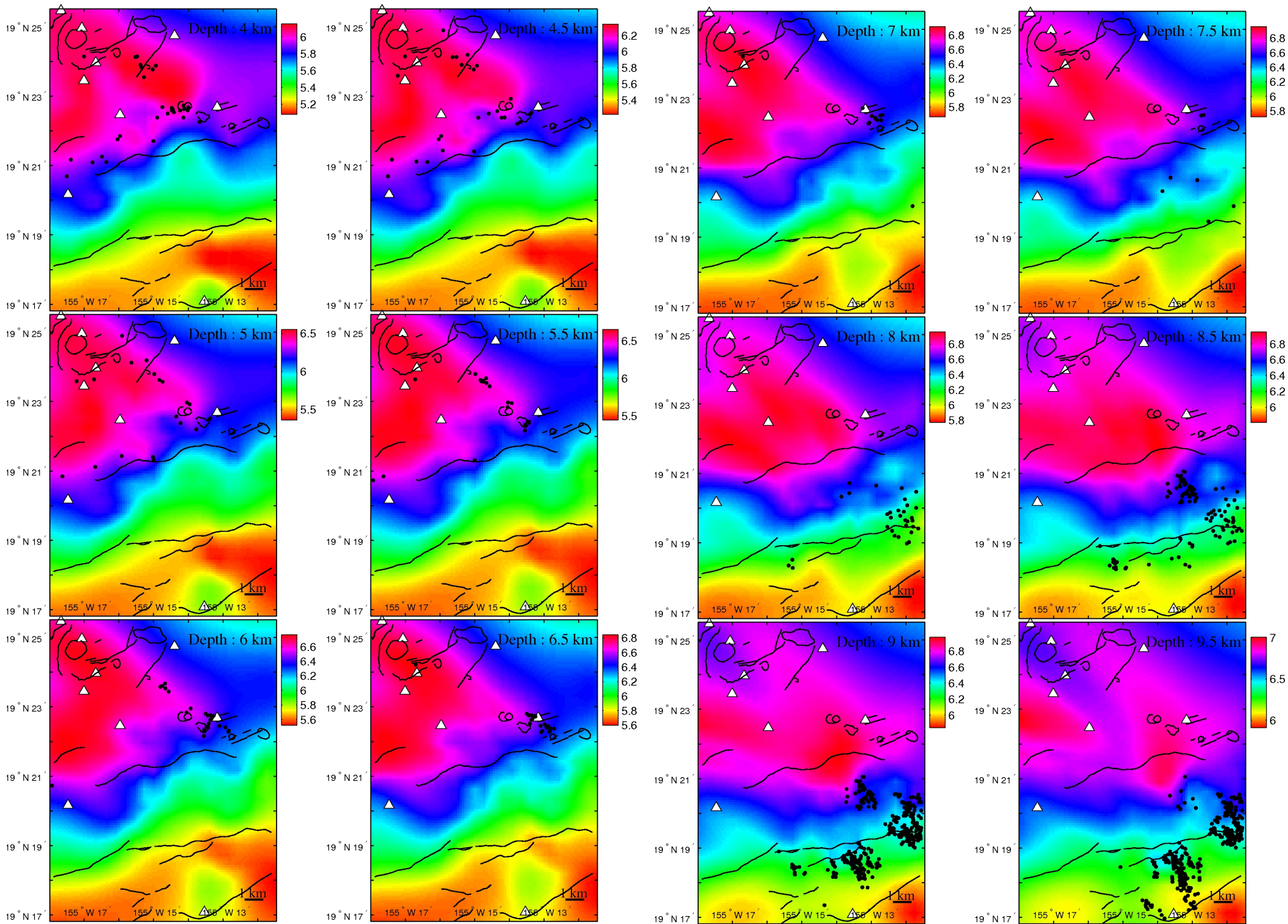
modèle *a priori* = modèle tomographique régional.

$$E(m) = (d - g(m))^t C_d^{-1} (d - g(m)) + (m - m_0)^t C_m^{-1} (m - m_0)$$

coût = ajustement + variance du modèle







FIN