

**Bruno Hernandez**  
(étudiant en thèse 1997-2000)

**Fabrice Cotton**  
IPSN/DPRE/SERGD/Bureau  
d'Evaluation des Risques Sismiques  
pour la Sûreté des Installations  
Nucléaires  
Tél. : 01 46 54 90 07  
Fax : 01 46 54 81 30  
e-mail : bruno.hernandez@ipsn.fr

### Collaborations

Laboratoire de Géophysique Interne et  
Tectonophysique, Université de Grenoble  
(modélisation).  
Centre National d'Etudes Spatiales,  
Toulouse (séisme de Landers, interférométrie  
radar par satellite).  
National Geophysical Research Institute,  
Hyderabad, Inde (séisme de Chamoli).  
Géoscience Azur, Nice (séquence sismique  
d'Italie centrale).  
Istituto Nazionale di Geofisica, Rome  
(idem).  
Instituto de Geofísica, Université de  
Mexico (séisme d'Oaxaca).  
Instituto de Ingeniería, Université de  
Mexico (idem).

Pour évaluer le risque sismique auquel est soumise une installation, il faut estimer les caractéristiques des séismes les plus pénalisantes susceptibles de se produire au droit du site de l'installation, ainsi que les mouvements du sol engendrés par ces séismes, afin d'en tenir compte pour le dimensionnement des ouvrages.

Un séisme se produit quand les contraintes qui augmentent progressivement sur une faille dépassent un certain seuil, ce qui entraîne un déplacement brusque de la faille engendrant dans toutes les directions de l'espace des "ondes élastiques" qui s'atténuent avec la distance. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés au "terme source" c'est-à-dire à ce qui se passe au niveau même de la faille.

Afin de préciser comment se développe le séisme sur une faille, nous avons mis au point une méthode d'imagerie basée d'une part sur des données de déformation du sol mesurée au centimètre près par des satellites et d'autre part sur des sismogrammes enregistrés très près de la source. Nous avons validé notre méthode dans le cas du séisme de Landers (Californie, 28 juin 1992 ; magnitude 7,3).

Au cours de l'année 1999, nous avons appliqué cette méthode à 3 séismes, afin de préciser la localisation et les caractéristiques cinématiques des ruptures sismiques.

#### a) Séisme de Chamoli (Nord de l'Inde, 28 mars 1999)

Ce séisme de magnitude 6,8 a dévasté plusieurs districts des contreforts de l'Himalaya dans le nord de l'Inde, faisant plus de 100 morts et des milliers de sans-abri. Une collaboration avec le "National Geophysical

Research Institute" d'Hyderabad (Inde) a permis de comprendre comment ont été générées les ondes sismiques sur la faille, et d'en savoir plus sur la sismicité et les failles actives de cette région du nord de l'Inde où se trouvent de très gros barrages.

#### b) Séquence sismique d'Assise (Italie centrale, 1997-1998)

Cette séquence se compose de 3 séismes de magnitude supérieure à 5,6 et de plus de 2000 événements plus petits qui ont secoué la région entre la fin 1997 et le début 1998. Nous avons utilisé les données de Positionnement Global par Satellite (GPS) et des images d'interférométrie Radar pour préciser la localisation, la géométrie et la distribution du glissement sur les failles correspondant aux trois plus gros séismes de la séquence. Nous avons ensuite utilisé les données de mouvement fort pour interpréter le déroulement de ces trois événements ; il apparaît que les sismogrammes calculés par le modèle pour les stations localisées sur des sédiments meubles sous-estiment les mouvements réellement enregistrés par les stations sismologiques. Cette différence s'explique par une amplification superficielle du signal sismique : c'est l'effet de site, qui est dû essentiellement à la différence de rigidité entre les roches qui se trouvent en profondeur et le sol plus mou dans le bassin.

#### c) Séisme de Oaxaca (sud du Mexique, 30 septembre 1999)

Nous avons mis en évidence que ce séisme de magnitude 7,5 s'est produit à l'intérieur de la plaque Cocos et qu'il a cassé cette plaque tectonique. Ce séisme s'interprète par un phénomène gravitaire : la plaque Cocos, qui glisse sous le Mexique, se brise, car elle est plus dense et moins ductile que le manteau.

### Conclusion et perspectives

La suite logique de cette étude consisterait à passer du modèle actuel de propagation des ondes à une dimension, à un modèle à trois dimensions et à tenir compte de la complexité du milieu, afin de rendre compte des effets locaux d'amplification et des effets topographiques. Nous envisageons ensuite d'étudier la partie haute fréquence (supérieure à 1 Hz), du spectre des ondes sismiques, qui joue un rôle important dans le domaine du génie parasismique.

Ce travail de recherche a permis de mieux comprendre les phénomènes qui sont à la source des ondes sismiques et ainsi de prendre en compte ces effets sur le mouvement sismique. Les données ainsi acquises sont mises à la disposition des utilisateurs, en vue d'études sismotectoniques, ou de modélisations dynamiques de source,...

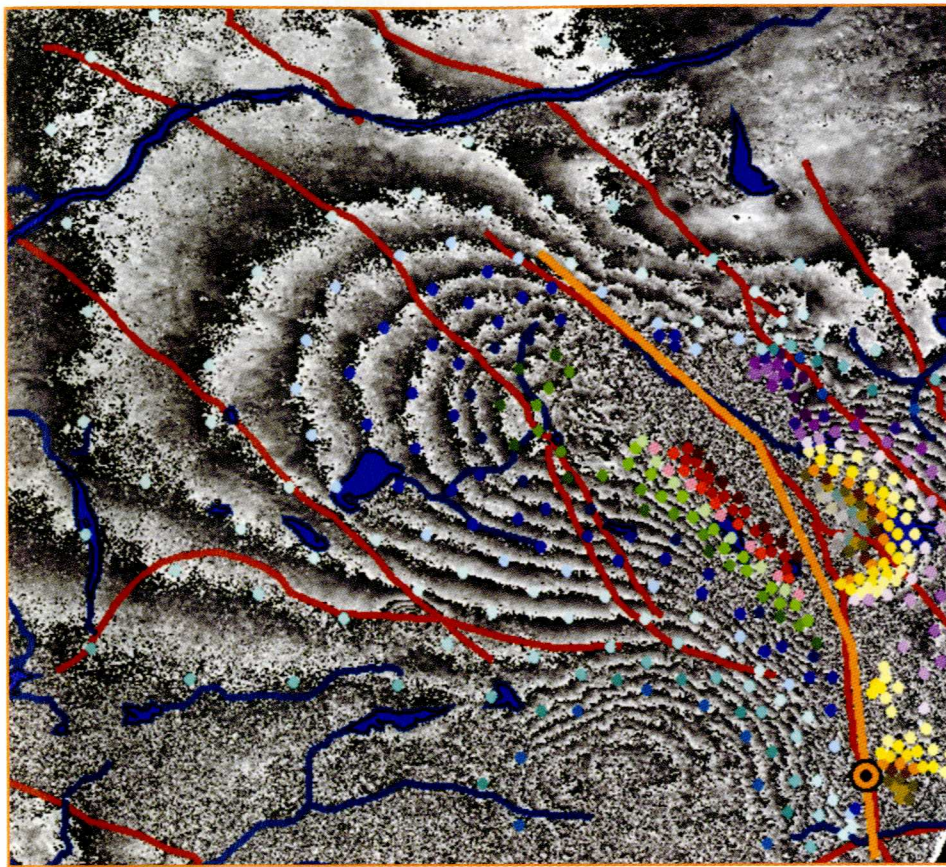


Figure 1 : Interférogramme radar du séisme de Landers ; chaque frange interférométrique représente un déplacement dans l'axe sol-satellite de 2,83 cm.

Nous avons superposé sur cette image les traces des failles en surface (marron) le réseau hydrographique (bleu), la géométrie des failles modélisées (orange) dont le résultat est représenté en figure 3. Les points de couleur représentent les données sur lesquelles nous nous sommes calés pour trouver notre solution (les points ayant la même couleur ont subi le même déplacement dans l'axe du satellite lors du séisme).

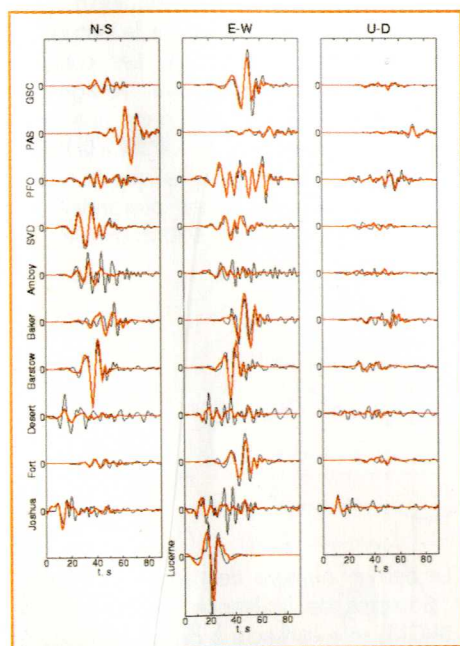


Figure 2 : Comparaison entre les sismogrammes enregistrés près de la faille lors du séisme de Landers (noir) et le mouvement du sol calculé avec le modèle de rupture (rouge) représenté en figure 3.

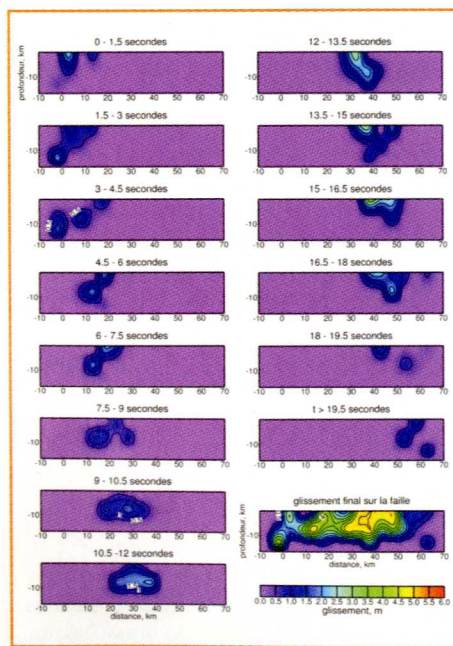


Figure 3 : Bande dessinée montrant le développement spatio-temporel de la rupture lors du séisme de Landers avec un pas de 1,5 secondes.

## Publications :

B. Hernandez, F. Cotton, M. Campillo  
Contribution of radar interferometry to a two step inversion of the kinematic process of the 1992 Landers earthquake  
*J. Geophys. Res.*, 104, 13083-13099, 1999.

F. Courboulex, S.K. Singh, B. Hernandez, A. Deschamps, B. Castello, M. Cocco  
Source of moderate size events during the 1997 Umbria-Marche seismic crisis  
*In European Geophysical Society, XXIV General Assembly, Den Haag, Pays-Bas, SE25.*, 1999.

B. Hernandez, F. Cotton, M. Campillo, F. Courboulex, M. Cocco, S. Stramondo  
Rupture History of the 1997 Umbria-Marche (Central Italy) Largest Earthquakes from Inversion of GPS, SAR and Near Field Seismological Data  
*In American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Etats-Unis, S42C-07.*, 1999.

B. Hernandez, N. Shapiro, S.K. Singh, J. Pacheco, F. Cotton, M. Campillo, A. Iglesias, V. Cruz, J.M. Gomez, L. Alcantara  
Rupture History of Sep 30, 1999 Intraplate Earthquake of Oaxaca, Mexico (Mw=7.5) from Inversion of Strong-Motion Data in the Frequency Domain  
*Poster présenté au 95ème congrès annuel de la Seismological Society of America, San Diego, Etats-Unis, 9-13 avril 2000.*