

# Résumé

Depuis une vingtaine d'années, un effort considérable a été effectué dans le développement d'outils dédiés à la caractérisation rapide de la source sismique. Jusqu'à récemment, plusieurs heures étaient encore nécessaires pour obtenir une information fiable sur la source des grands tremblements de terre. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail, dont l'objectif principal est le développement et la mise en oeuvre d'une méthode de détermination rapide du tenseur moment sismique centroid (CMT) basée sur l'utilisation de la phase W pour les grands séismes.

La phase W est une phase sismique correspondant essentiellement à la superposition des modes normaux supérieurs à très longue période (entre 100 s et 1000 s) arrivant entre l'onde P et les ondes de surface. Nous montrons que la phase W a l'avantage de ne pas être affectée par les hétérogénéités latérales superficielles puisque la majeure partie de son énergie se propage en profondeur. De par son caractère longue période, la phase W est particulièrement bien adapté à la caractérisation de la source pour les événements de  $M_w \geq 7.5$ . Pour les grands séismes en effet, la complexité de la source apparaît de plus en plus évidente aboutissant inévitablement à une variabilité des scénarios de sources estimés à courte période dans des bandes fréquentielles étroites. Les "séismes tsunami" et les séismes "outer-rise" sont des exemples extrêmes illustrant bien ce problème (Kanamori, 1972; Lay et al., 2009).

Nous démontrons la robustesse de l'algorithme phase W développé pendant ce travail pour effectuer la caractérisation rapide et systématique de la source sismique. Il est aujourd'hui implémenté en temps réel dans plusieurs centres d'alerte à l'échelle globale et à l'échelle régionale. A des distances téléseismiques, la méthode permet l'obtention du CMT dans la première demi-heure après le temps origine. A des échelles régionales, les résultats sont disponibles beaucoup plus rapidement, entre 6 et 12 minutes après le temps origine. Les résultats obtenus en temps réel à l'United States Geological Survey (USGS) au Pacific Tsunami Warning Center (PTWC), à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS) et à l'échelle régionale du Mexique montrent clairement la robustesse et la fiabilité des solutions CMT obtenues en utilisant la phase W.

En suivant une formulation bayésienne, nous proposons une analyse d'erreur formelle lors de l'inversion de la source sismique à longue période. La prise en compte plus réaliste de l'erreur sur les données permet non-seulement une estimation fiable de l'incertitude sur le modèle de source mais aussi l'amélioration de la solution elle même. Nous développons également une approche pour estimer l'erreur sur la profondeur du centroid. Ce paramètre est important étant donné son influence sur le moment sismique scalaire et le pendage du plan de faille déterminés lors des inversions CMT.

# Abstract

Considerable effort has been made in the last two decades regarding the design and implementation of tools aimed at fast characterization of earthquake sources. As a fruitful harvest, a preliminary magnitude estimation is often available within fifteen minutes for a  $M_w = 6.0$  earthquake occurring anywhere in the world. But until recently, it still took several hours to determine the first order attributes of a great earthquake (e.g.  $M_w \geq 8.0$ ) even in a well instrumented region. Our goal here is to develop a method providing fast centroid moment tensor (CMT) estimates for large earthquakes based on the *W* phase.

The *W* phase is a very long period phase (100 – 1000 s) arriving at the same time as the *P*-wave. It is conspicuous on broadband displacement records before the surface waves arrivals and can then be used for fast characterization of the source. We show that the *W* phase is not affected by shallow heterogeneities since a significant part of its energy is propagating deep into the mantle. Because of its long period nature, the *W* phase algorithm is particularly well suited for robust determination of CMT parameters for  $M_w \geq 7.5$  earthquakes. For large earthquakes indeed, the source complexity is more evident which translates into significant variations of narrow-band magnitude estimations performed at short period. Tsunami earthquakes and outer-rise events provide good examples of this problem (Kanamori, 1972; Lay et al., 2009).

In the last three years, several international collaborations have been established to use and test the algorithm online either at global or at regional scale. At teleseismic distances, the *W* phase method allows CMT estimates within half an hour after the earthquake origin time. At the regional scale, the CMT solutions are available between 6 min and 12 min after the origin time. The results obtained in real-time at the United States Geological Survey (USGS), the Pacific Tsunami Warning Center (PTWC), the Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS) and in the region of Mexico clearly indicate the robustness and the accuracy of CMT solutions computed using the *W* phase.

Using a bayesian formulation, we propose a formal error analysis for seismic source inversion based on long period seismological data. Taking into account more realistic data uncertainties allows us to improve error estimates on the source model parameters but also to improve the solution itself. In this study, we also develop a method to estimate the uncertainty on the centroid depth. This parameter has a strong influence on the scalar seismic moment and on the fault dip estimated during CMT inversions.