

SUMATRA, DEUX ANS APRÈS

J. GUILBERT, H. HÉBERT
CEA - DAM - Île-de-France

Le 26 décembre 2004 s'est produit à Sumatra (Indonésie) l'un des plus forts séismes jamais enregistrés, de magnitude 9,2. Il fut suivi d'un tsunami catastrophique qui a affecté l'ensemble de l'Océan Indien. La quantité et la variété des mesures des deux événements, séisme et tsunami, ont apporté un éclairage sur les mécanismes mis en jeu lors de ruptures sismiques majeures et sur la génération des tsunamis qui en résultent.

D'un point de vue tectonique, le séisme du 26 décembre 2004 a rompu, sur plus de 1 000 km, la zone de confrontation des plaques australienne et eurasiatique, comme le montrent les inversions des données géophysiques. En termes d'énergie libérée, ce séisme représente à lui seul l'équivalent de plus d'une année de sismicité mondiale cumulée. Apprendre à caractériser rapidement, en cas d'alerte, l'ampleur de tels événements, afin de localiser les zones fortement touchées par le séisme, ainsi que le potentiel "tsunamigénique", représente un défi important pour les sciences de la Terre.

C'est la première fois qu'un tsunami de cette ampleur a été enregistré par des instruments très divers, répartis sur l'ensemble des océans, depuis les marégraphes installés dans les ports, jusqu'aux satellites altimétriques, sans oublier les stations sismiques et hydroacoustiques de l'Océan Indien. Les enregistrements marégraphiques ont été peu nombreux et ne permettent pas toujours de discuter des caractéristiques du tsunami. En revanche, les données altimétriques révèlent en détail un tsunami exceptionnel au large, enregistré deux heures après le séisme. L'inversion de ces données a fourni une distribution des glissements pour le séisme à l'origine des vagues, soulignant les glissements supérieurs à 15 m sur presque la moitié de la faille. Les simulations en champ lointain, à La Réunion, ont permis de tester les méthodes de simulation qui sont appliquées pour l'évaluation de l'aléa tsunami, notamment en Polynésie française.

L'exploitation et la modélisation de l'ensemble des données recueillies seront à la base des futurs systèmes d'alerte aux tsunamis qui se mettent en place depuis cet événement majeur de 2004.

Un séisme majeur

Le séisme de Sumatra est le premier de magnitude supérieure à 9 bénéficiant de nombreux enregistrements numériques dans différentes technologies (*sismologie, GPS, marégraphique, et satellitaire*). Cependant, la grande difficulté rencontrée dans les minutes qui ont suivi l'initialisation de la rupture a été d'interpréter l'ensemble des informations en termes de longueur et de vitesse de rupture, et de déplacements relatifs le long de la faille. Ces informations sont essentielles pour appréhender facilement l'ampleur d'un tel séisme, contrairement à la magnitude qui intègre tous les paramètres physiques de la rupture en une seule valeur.

Pour pallier cette difficulté, nous avons analysé la rupture grâce aux antennes de capteurs installées dans le cadre du Traité d'Interdiction Complète des Essais. Une antenne est un réseau dense de capteurs qui permet de déterminer l'azimut et la vitesse de passage des ondes qui le traversent. Nous avons appliqué ce traitement pour des antennes hydroacoustique (*H08S*) et sismologique (*CMAR*) (*figure 1*). L'inversion de ces données permet d'obtenir de façon robuste la longueur (1 235 km) et la durée (8 min 35 sec) de la rupture (*figure 2a*). Ces informations indiquent que la totalité de la rupture est sous-marine, avec une vitesse de rupture de 2,4 km.s⁻¹.

Une mesure exceptionnelle des vagues du tsunami

En plein océan, l'amplitude d'un tsunami notable excède rarement 10 cm. Le 26 décembre 2004, lors de leur survol de l'Océan Indien, deux heures après le séisme, plusieurs satellites ont mesuré des amplitudes atteignant jusqu'à 120 cm, crête à creux, pour le satellite Jason, soulignant le caractère exceptionnel de ce tsunami. Ces données satellitaires ont été inversées pour décrire le séisme à l'origine du tsunami. Le tsunami au large est un phénomène linéaire qui est simplement la somme

pondérée de contributions de sous-failles, chacune caractérisée par un glissement. Chaque contribution est calculée par la méthode de simulation des tsunamis développée au CEA - DAM - Île-de-France. Le modèle obtenu (figure 2b) montre des concentrations de glissement supérieures à 10 m au large de Sumatra (localement jusqu'à 30 m). Sous les îles Andaman, cette inversion, comme l'analyse d'antenne, montre un glissement important inaccessible aux inversions classiques en sismologie.

Caractéristiques en champ lointain : exemple de La Réunion

À La Réunion, atteinte 7 heures après le séisme, des dommages modérés ont été constatés sur quelques infrastructures portuaires. Les modélisations soulignent la nécessité de considérer des glissements réalistes sur la faille. Un glissement homogène moyen ne permet pas de reproduire le niveau d'eau observé dans le port de La Pointe des Galets, alors que des glissements hétérogènes, plus forts au large d'Aceh, ajustent mieux ces observations. De tels modèles expliquent également mieux les variations d'impact sur les différentes côtes de l'Océan Indien : le modèle hétérogène concentre plus d'énergie vers le Sri Lanka, les Maldives, et la Thaïlande, conformément aux observations [3].

Conclusions et perspectives

Les données recueillies le 26 décembre 2004 ont permis de tester des méthodes originales pour caractériser le séisme et le tsunami. Les études de la source montrent qu'il est possible d'obtenir la géométrie et la cinématique de la source, sur des données accessibles quelques dizaines de minutes après l'initialisation de la rupture. Les résultats obtenus sont fondamentaux pour la compréhension de la physique de la rupture, et pour la mise en œuvre des futures structures d'alerte aux tsunamis pour les Océans Indien, Atlantique et pour la Mer Méditerranée.

Références

[1] J. GUILBERT, J. VERGOZ, E. SCHISSELÉ, A. ROUEFF, Y. CANSI, "Use of hydroacoustic and seismic arrays to observe rupture propagation and source extent of the Mw=9,0 Sumatra earthquake", *Geophys. Res. Lett.*, 32, p.15 (2005).
 [2] A. SLADEN., H. HÉBERT, "On the use of satellite altimetry to infer the rupture kinematic of the 2004 Sumatra earthquake", soumis à *Geophys. J. Int.*
 [3] H. HÉBERT, A. SLADEN, F. SCHINDELÉ, "Numerical modeling of the great 2004 Indian Ocean tsunami: focus on the Mascarene Islands", *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 97, p. S208 (2007).

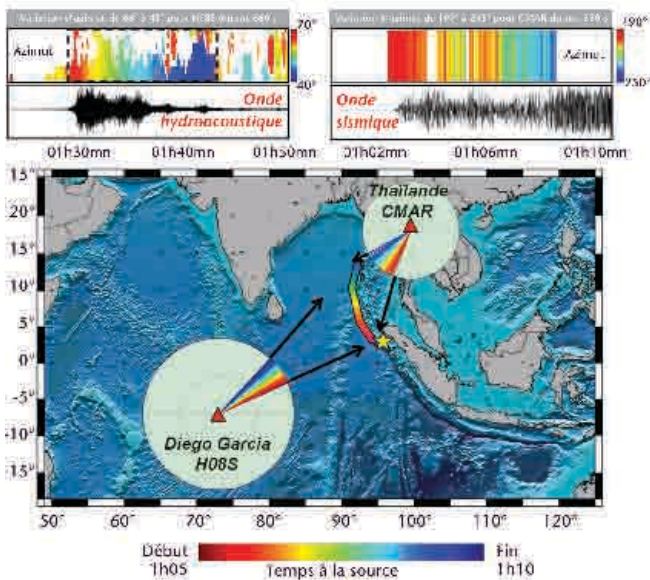


Figure 1 Exemples de traitement d'antenne pour une station hydroacoustique (Diego Garcia) et une station sismologique (Chang Mai). Pour ces deux stations, nous observons clairement une variation d'azimut avec le temps traduisant une propagation du sud vers le nord, sur plus de 1 200 km, de la rupture [1].

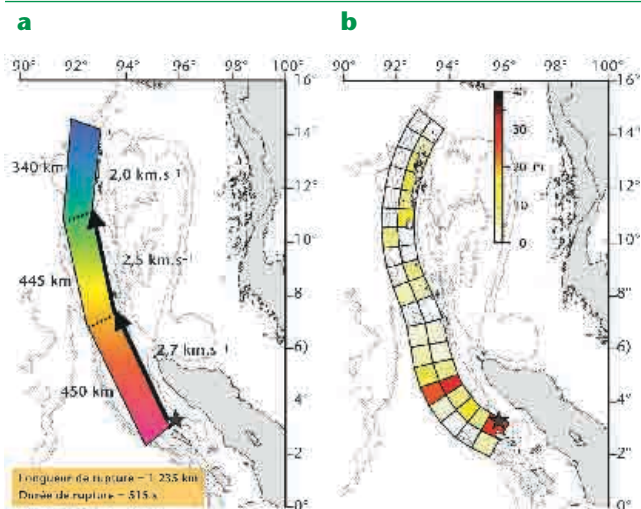


Figure 2 a L'analyse en traitement d'antenne fournit la géométrie ainsi que la cinématique de la rupture [1]. b Glissements obtenus sur chaque sous-faille, par inversion des données altimétriques [2].