

Le séisme de Sumatra

raconté par le GPS

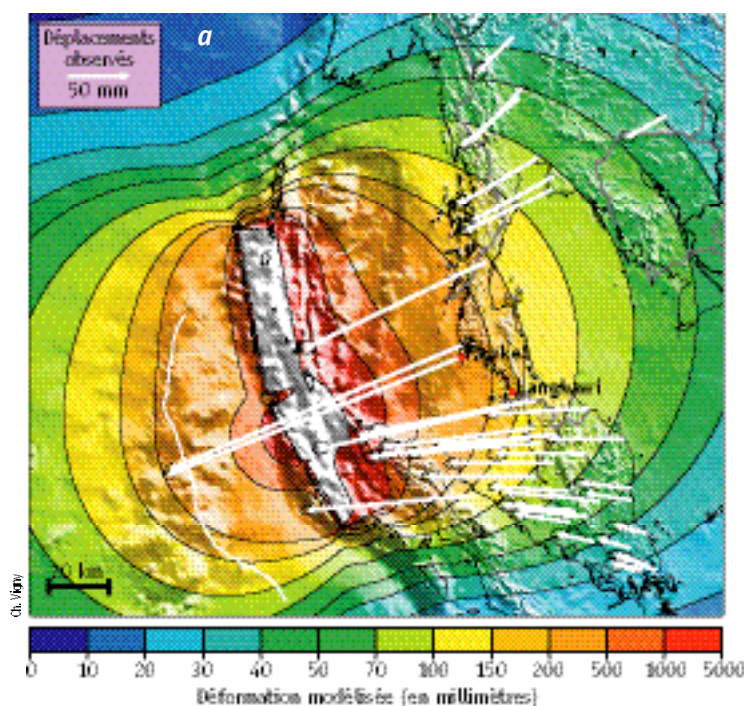
La précision offerte par le GPS est un précieux allié pour l'étude des déformations des bordures de plaques au moment du séisme mais aussi avant et après.

Christophe VIGNY et Anne SOCQUET

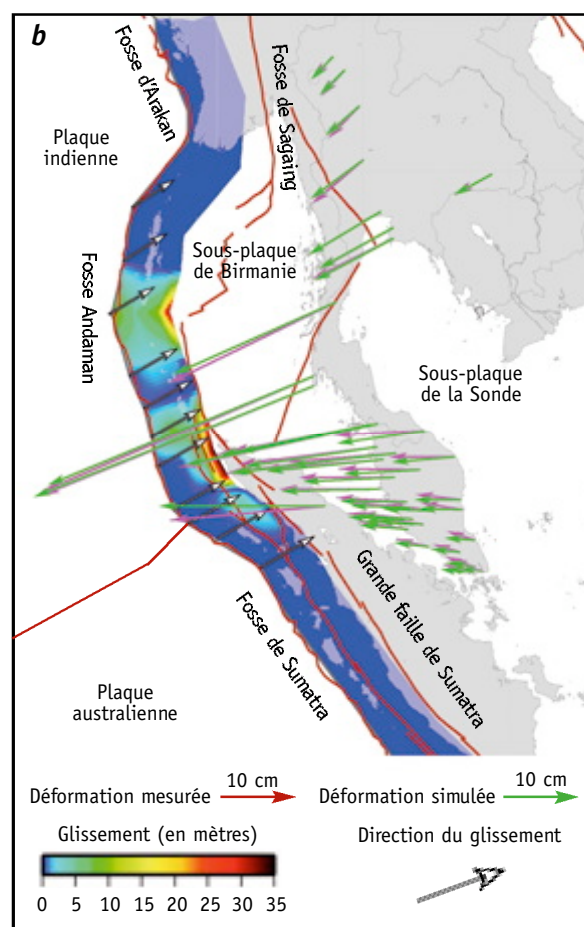
A lourdis par les énormes quantités de matière qui les constituent, les plaques se déplacent lentement (entre 3 millimètres et 15 centimètres par an) à une vitesse constante depuis des centaines de milliers d'années. Le contact entre deux blocs, le long d'une faille, est loin d'être lisse. Des rugosités ralentissent le coulissage au point que la faille se bloque. Insensibles à ce qui se passe à leurs frontières, les plaques continuent néanmoins leur mouvement d'ensemble. Comme un ressort qui se comprime, la bordure de plaque accumule la déformation élastique. La pression augmente jusqu'à être suffisante pour casser les aspérités : la faille décroche et un séisme est produit. Puis le cycle recommence inlassablement.

À première vue, la bordure de la faille se déforme par à coup et émet des ondes sismiques à hautes fréquences audibles et destructives. Dans la réalité, les mécanismes sont plus subtils. Le séisme n'absorbe qu'une partie de la déformation accumulée et le reste des contraintes se relâche tout doucement. Les ondes émises par ces ruptures lentes sont dans les basses fréquences : on ne les entend ni ne les ressent.

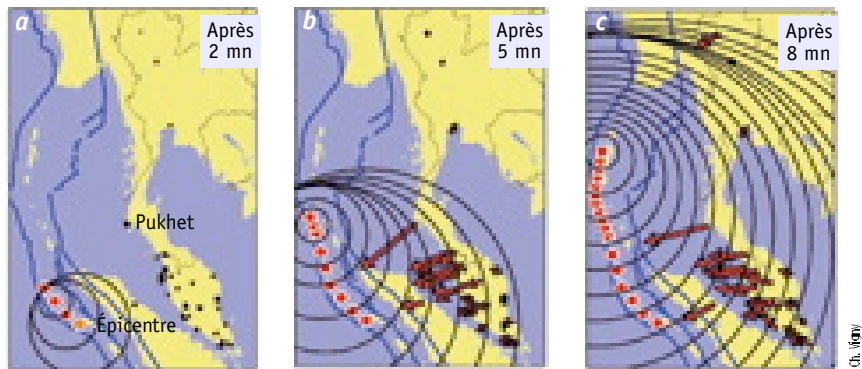
Pour mieux comprendre ces déformations « douces », nous devons les mesurer. Pour cela, le GPS est l'outil idéal, et le séisme de Sumatra un cas d'école : par sa taille exceptionnelle et sa magnitude, il a engendré des déformations mesurables sur plusieurs milliers de kilomètres autour de l'épicentre.



1. LES DÉFORMATIONS DES BORDS DE PLAQUE (a) sont modélisées à partir des déplacements des stations GPS (flèches blanches) et des données sismographiques. La ville de Phuket (Thaïlande) s'est déplacée de 27 centimètres et l'île de Langkawi (Malaisie) de 17 centimètres. La faille est la partie grise au centre de la figure et est redessinée en b : elle a rompu sur 1 200 kilomètres et a glissé en moyenne de 12 mètres (en jaune) en certains endroits jusqu'à 35 mètres (en rouge sombre).



2. LE DÉPLACEMENT DES STATIONS GPS au cours du temps montre la propagation de la déchirure. Les points rouges indiquent la position de la rupture à un instant donné, les cercles noirs la propagation des ondes sismiques et les flèches rouges le déplacement des stations GPS. En (a), la rupture se propage depuis l'épicentre, mais les ondes de surface ne sont pas encore arrivées jusqu'aux stations. Phuket se déplace à l'origine vers le sud-ouest, vers le début de la rupture (b). Le vecteur déplacement de Phuket tourne dans le sens des aiguilles d'une montre à mesure que la rupture monte vers le nord et ralentit (c).



Une précision millimétrique

Nous connaissons la position de n'importe quel point à la surface du globe grâce aux satellites de positionnement global (GPS) : une station GPS mesure le temps écoulé entre l'émission du signal par le satellite et sa réception. Elle en déduit la distance qui la sépare du satellite. La même mesure répétée avec deux autres satellites détermine les coordonnées géographiques du point.

La plupart des applications du GPS en géophysique nécessite une précision de l'ordre du centimètre, ce qui est bien inférieur à la précision donnée par le GPS civil, de l'ordre de dix mètres. Pour palier à cette insuffisance, nous mesurons la phase du signal reçu par le détecteur un grand nombre de fois. À partir de l'évolution du déphasage du signal détecté, nous calculons les coordonnées géographiques du point, et décelons ainsi des vitesses de plaques de quelques millimètres par an en un mois. L'inconvénient de cette méthode est la durée du traitement des données, qui rend impossible l'observation instantanée.

Un carrefour de plaques

La région de Sumatra n'est pas une simple zone de subduction où la plaque australo-indienne passe sous la plaque eurasiatique : la collision à l'origine du relief tibétain a ralenti la remontée de la plaque australo-indienne. La plaque indienne s'est désolidarisée de la plaque australienne et a créé une frontière active entre l'Inde et l'Australie. Cette dernière croise la fosse de subduction qui marque la frontière entre le nord de Sumatra et le sud des Îles Andaman, à l'ouest de la plaque de la Sonde (voir la figure 1b). La zone où deux frontières de plaque se croisent est appelée point triple. Cette configuration est fréquente à la surface du globe. L'une des plus connues est celle au croisement de l'Anatolie (la Turquie), l'Arabie et l'Eurasie (voir article de R. Amijo). Une question se pose : un séisme franchit-il le point triple comme s'il n'existait pas, ou s'arrête-t-il ?

Le 26 décembre 2004, les failles bougent, les aiguilles des sismographes s'affolent. La lecture des enregistrements des ondes sismologiques est aussi complexe que la situation tectonique. Les stations GPS disséminées dans toute l'Asie du Sud-Est vont être d'un grand secours : la déformation s'étale du sud de la Malaisie (Singapour) au nord de la Thaïlande (ChiangMai). Les données indiquent une rupture sur 1 200 kilomètres de long, et la faille a glissé en moyenne de 12 mètres. Nous en déduisons une magnitude de 9,2. Le glissement de

la faille n'est pas homogène : nous déterminons deux déplacements importants (en rouge sombre sur la figure 1b) séparés par une zone de 100 kilomètres de long. Cette dernière région n'a pas glissé et correspondrait à la frontière de plaque entre l'Inde et l'Australie : le point triple.

Les deux ruptures ont généré deux trains d'ondes qui ont interféré constructivement. Ce phénomène expliquerait l'amplitude exceptionnelle des vagues qui se sont abattues sur Phuket et le Sri Lanka.

Un ou deux séisme(s) ?

Nous l'avons vu, la rupture de faille n'est pas instantanée : elle se propage comme une déchirure ou une fermeture éclair qui s'ouvre. L'analyse fine des déplacements des stations au cours du temps détermine la vitesse de propagation de la rupture (voir la figure 2) : le premier segment s'est « déchiré » à près de quatre kilomètres par seconde et le second à environ deux kilomètres par seconde. La rupture s'est même arrêtée un bref instant, de l'ordre de quelques secondes à une minute, au passage d'un segment à l'autre.

L'énigme semble résolue : la rupture s'est arrêtée au point triple, puis a déclenché un second séisme de l'autre côté. Le premier séisme a fragilisé le segment voisin au point de le casser lui aussi.

Le séisme du 26 décembre en a déclenché un autre, plus au sud, le 28 mars 2005. Les failles adjacentes risquent de rompre plus au sud encore en face de Sumatra, plus au nord en Birmanie, ou plus à l'ouest sur la grande faille de Sumatra. Cette observation soulève une autre question qui reste encore sans réponse : comment expliquer que le déclenchement soit tantôt instantané, tantôt retardé de quelques mois, voire de quelques années ? La configuration du séisme de Sumatra est loin d'être anecdotique. Chaque plaque tectonique a plusieurs voisines. Les résultats obtenus avec les données GPS de Sumatra ouvrent de nouvelles perspectives intéressantes sur la compréhension de la propagation des séismes.

Christophe VIGNY est chargé de recherches au Laboratoire de géologie de l'École normale supérieure de Paris et **Anne SOCQUET** est en postdoctorat à l'Université de Californie, dans le Département des sciences de la Terre et de l'Espace.

Ch. VIGNY et al., *Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia*, in *Nature*, vol. 436, 2005.