

De l'occurrence des gros séismes au Bhoutan

À la découverte de la structure lithosphérique et de l'aléa sismique régional dans le pays du bonheur, situé au cœur de l'Himalaya. Compte rendu d'un projet franco-suisse en cours.

GYÖRGY HETÉNYI, THÉO BERTHET, RODOLPHE CATTIN

L'Himalaya, cette chaîne de montagnes d'environ 2500 km de long, est le résultat de la collision de deux plaques, l'Inde et l'Eurasie. La première pénètre sous le Plateau Tibétain en glissant de quelques centimètres par an en moyenne. Dans certains secteurs de l'Himalaya, ce taux moyen de glissement se traduit par de nombreuses années d'inactivité sismique suivies par de très gros séismes rattrapant le déplacement manquant. Cependant, de tels tremblements de terre (magnitude 8

et au-delà) ne sont documentés que le long des deux-tiers de la chaîne, le reste constituant des zones de lacune sismique. Au niveau de l'ouest du Népal et du Royaume du Bhoutan, nous n'avons aucune connaissance sur le comportement des plaques : sont-elles silencieuses à cause de l'accumulation de fortes contraintes pour les relâcher lors d'un séisme exceptionnel, ou parce qu'elles glissent de manière continue produisant de nombreux séismes à peine perceptibles ?



Attendre : À la fois sur la route et lors de chaque mesure 20 à 30 minutes, la patience est un élément clé de la mission. (Photo: György Hetényi)

Une approche nouvelle

L'analyse de l'aléa sismique est l'étude de l'occurrence des tremblements de terre. Dans les approches classiques, plusieurs facteurs entrent en jeu : le contexte tectonique, la structure géologique, l'évolution temporelle de la sismicité, des mesures sismologiques, etc. En les combinant avec des informations sur la vulnérabilité, les spécialistes peuvent estimer le risque sismique à l'échelle de quelques kilomètres, par exemple à l'échelle d'une ville. Une étude scientifique publiée en 2003 dans la revue *Science* propose une approche complémentaire. Les auteurs Song et Simons ont étudié les zones de subduction océaniques, en analysant les reliefs sous-marins et le champ de pesanteur. Par rapport à un profil moyen perpendiculaire à l'arc de la subduction, ils ont mis en évidence des variations le long de l'arc, à la fois dans la topographie et dans le champ de gravité. Celles-ci montrent une très bonne corrélation avec l'occurrence des gros séismes : les tremblements de terre de magnitude plus que 7 sont autour des minima de ces champs, et il n'y a aucun événement majeur autour de leurs maxima.

Couplage entre les plaques

L'explication se trouve dans le couplage mécanique, c'est-à-dire dans les forces de friction entre les deux plaques. Quand la plaque en subduction est fortement couplée à la plaque chevauchante, elle l'entraîne vers le bas en produisant les minima des champs, et des contraintes plus importantes s'accumulent. Au contraire, à couplage faible, les structures sont relativement plus élevées, et le glissement est moins spasmodique. Bien que cette approche donne des estimations de l'aléa plutôt à l'échelle régionale par rapport aux approches classiques, elle correspond parfaitement aux questions posées ci-dessus dans le contexte himalayen.

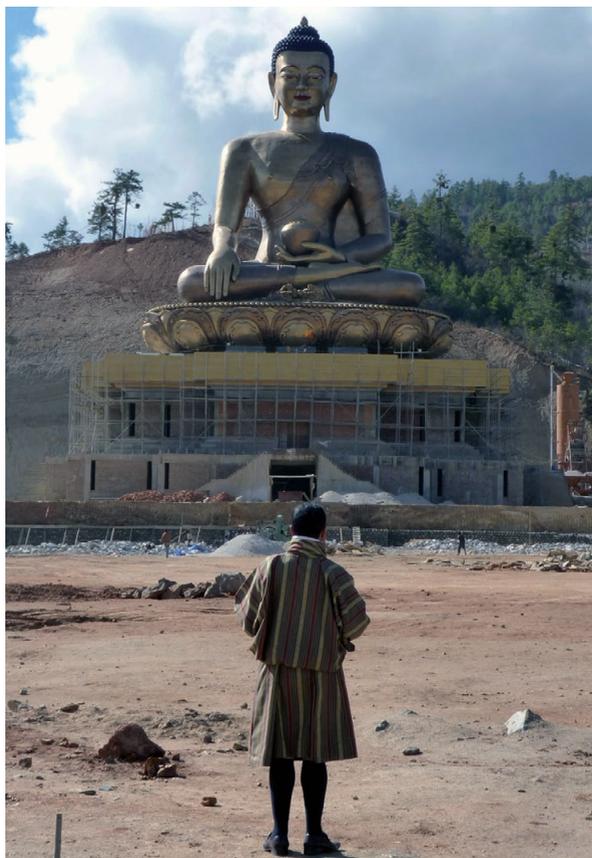
Le Bhoutan

Avez-vous entendu parler du bonheur national brut ? D'un roi qui introduit la démocratie et un parlement ? Des frais de visa de 250 USD/jour accordés à seulement quelques milliers de touristes par an, contraints de voyager en groupe ? De l'interdiction de l'ascension des sommets au-delà de 6000 m pour des raisons religieuses ? De l'interdiction de fumer dans tout le pays ? Tout ça, c'est le Bhoutan ; pays du dragon tonnerre, du bouddhisme et des traditions respectées, des textiles et des oiseaux rares. Cachée dans les pentes de l'est-Himalaya, entre les plaines de l'Inde et les hauts-plateaux du Tibet, cette série de vallées profondes et de crêtes abruptes couvertes par une végétation dense constitue un royaume coupé du monde. Ni les tibétains ni les anglais n'ayant réussi à le conquérir, le Bhoutan s'isole pendant longtemps, à la limite du possible. Pas de télévision jusqu'en 1999, pas d'internet libre avant 2003. Aujourd'hui, les frontières se desserrent lentement, mais de nombreuses règles restent en place, comme celle du port obligatoire des vêtements traditionnels (dans les lieux publics) dont le style date du 17^{ième} siècle.

Campagnes de mesure

Dans le but d'estimer l'aléa sismique à l'échelle régionale le long de l'Himalaya, nous avons compilé des données de topographie et de gravité. Nous nous sommes très vite aperçus que les zones où des données de gravité manquent sont quasiment identiques aux zones de lacune sismique. Une expérience de travail au Népal nous avait permis de prendre conscience des difficultés d'entrer et de travailler au Bhoutan.

Deux ans plus tard, un séisme de magnitude 6.1 a secoué l'est de l'Himalaya. Douze morts et des dégâts conséquents au



Bhoudda au Bhoutan : Malgré la pauvreté relative du pays, des donations permettent de construire la statue de Bouddha assis la plus grande au monde.
(Photo: György Hetényi)

Bhoutan ont mené à un appel à l'aide internationale. A côté des projets de reconstruction de l'ONU et de l'aide financière, notre initiative scientifique pour estimer l'aléa sismique régional a également été la bienvenue. Côté suisse, c'est grâce aux soutiens du Centre Nord-Sud et de l'EPF Zurich que nous avons pu monter notre projet et commencer à acquérir les données nécessaires.

Une expérience culturelle

Les campagnes de mesure sur le terrain se sont déroulées en 2010 et 2011, et ont été une expérience culturelle (et logistique)

très enrichissante. De vallée en vallée, la végétation, le paysage et la langue parlée par la population changent. Parallèlement, on y trouve beaucoup de valeurs constantes : le bouddhisme et les gens qui se disent heureux, l'admiration du roi et une identité nationale forte, les bâtiments traditionnels, le riz rouge et les piments qu'on mange comme légume dans une sauce au fromage. Nos mesures avançaient sans soucis dans cet environnement calme et paisible, le plus grand défi était de tenir sur la route. En effet, elles sont tellement sinueuses qu'il faut deux jours de voiture pour traverser ce pays

grand comme la Suisse. Au bout de 40 jours de mesures, les équipes avaient fait quelques 9000 km de route à 30 km/h de moyenne, et ont mesuré le champ de pesanteur en 284 points. Nous avons couvert tout le réseau routier goudronné du pays, et nous nous sommes lentement immergés dans l'environnement et l'esprit bhoutanais, jusqu'au point de ressentir une certaine autonomie.

Travaux en cours

À l'heure actuelle nous vivons l'étape du traitement des données et de l'interprétation. Il nous reste encore du chemin jusqu'à l'estimation de l'aléa sismique régional, mais nous pouvons déjà dire qu'il y a des différences importantes entre le Bhoutan et l'est du Népal. Celles-ci sont dues à des changements majeurs dans la structure et/ou dans les propriétés phy-

siques de la plaque indienne. Il faudra encore attendre pour savoir quelle est l'ampleur et surtout le rôle de ces changements ; mais le fait que la situation au Bhoutan soit différente de celle au Népal, régulièrement ravagé par de grands séismes (la dernière fois en 1934), pourrait être une bonne nouvelle pour le Bhoutan.

Dr. György Hetényi
Maître assistant
Service Sismologique Suisse, EPF Zürich
gyorgy.hetenyi@sed.ethz.ch
www.seismo.ethz.ch



Gangkhar Puensum (7570 m), la montagne inaccessible : Le plus haut sommet du monde jamais escaladé. Avec les lois actuelles, il a de bonnes chances de le rester. (Photo: György Hetényi)