

MAIS POURQUOI LA TERRE TREMBLE-T-ELLE SI LONGTEMPS ?

Des chercheurs du Laboratoire de physique et modélisation des milieux condensés¹ (LPM2C) et du Laboratoire de géophysique interne et tectonophysique¹ (LGIT) ont analysé les enregistrements de séismes pour étudier les propriétés des ondes sismiques. Les données ont été obtenues sur un réseau de sismographes déployé près de Chilpancingo au Mexique pendant une période de trois mois. Onze tremblements de terre locaux de magnitude supérieure à 4 sur l'échelle de Richter ont donné lieu à des enregistrements de coda sismique² d'une durée de plusieurs centaines de secondes et des analyses originales des signaux obtenus ont pu être réalisées.

¹ CNRS-Université Joseph Fourier.

² Voir encadré ci-dessous.



La ville de Bujh en Inde a été largement détruite par le récent séisme du Gujarat de janvier 2001. La durée des vibrations joue un rôle important quant aux dégâts sur les structures.

très réverbérant³. Pour un tremblement de terre, le processus de diffusions multiples mélange les différents modes de vibrations de la croûte terrestre et ceci indépendamment du fait que la source excite des modes bien particuliers. Chaque mode de vibration est alors « équiprobablement » présent. On parle d'*équipartition des modes de vibration* qui implique que des rapports d'énergies⁴ sont constants dans le temps et indépendants du tremblement de terre. Paradoxalement, l'équipartition des modes de vibration de la croûte terrestre qui naît du désordre en est indépendante.

Depuis environ 30 ans la coda² est généralement attribuée aux échos du tremblement de terre sur les inhomogénéités de la croûte terrestre, les échos sur les diffracteurs lointains expliquant l'arrivée tardive des ondes. Pourtant un autre modèle, supposant une croûte terrestre fortement hétérogène résultat de la longue histoire des déformations internes de la planète, permet d'en expliquer également bien les caractéristiques. Dans ce modèle, la coda est la marque de diffusions multiples d'ondes sismiques un peu comme lorsque l'on claque des mains dans un milieu

³ Dans une cathédrale, le son dû au claquement des mains est complètement altéré par les multiples réflexions sur les murs, statues, plafonds etc. Il nous parvient alors un brouhaha de sons de toutes les directions.

⁴ Énergie cinétique sur énergie potentielle ou énergie de cisaillement sur énergie de compression etc.

LA CODA SISMIQUE

Notre connaissance de la structure interne de la Terre repose en grande partie sur la sismologie. Dans une première approche, on considère que les ondes sismiques émises par les séismes se propagent dans la Terre suivant les lois de l'optique géométrique. Cette approche a permis l'identification des grandes structures de la Terre (noyau interne et externe, manteau et croûte) et a servi à localiser les épicentres des tremblements de terre.

Cependant, un signal sismique est bien plus complexe qu'une succession d'arrivées cohérentes. Après celles-ci, et durant plusieurs minutes, le sol continue à vibrer alors qu'une source sismique ne « dure » que quelques secondes. Cette partie des enregistrements sismiques est appelée la *coda sismique*, en référence à la coda musicale, marquant la fin d'un morceau de musique.

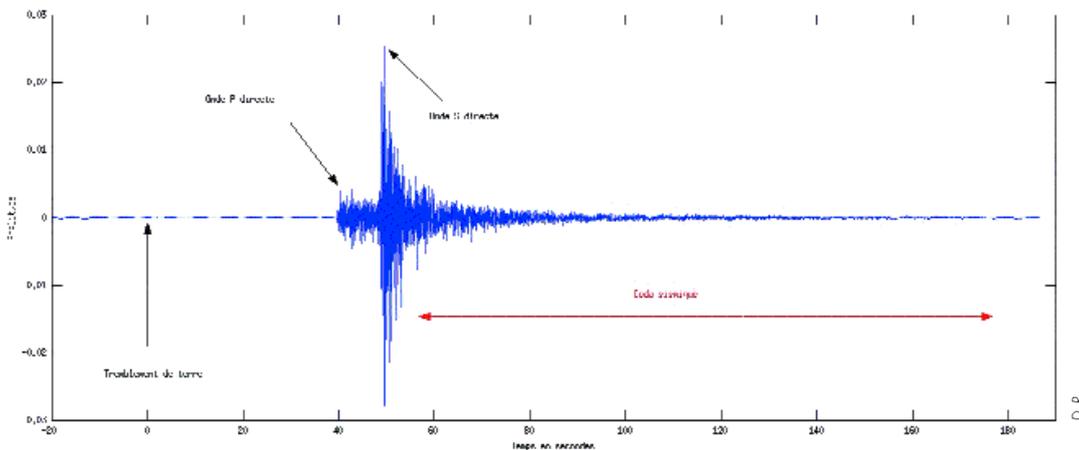
Bien que composée d'ondes incohérentes, la coda n'est en rien assimilable à du bruit. Par exemple, deux tremblements de terre situés en un même site mais à des années d'intervalle produisent des codas sismiques parfaitement identiques. De plus, l'évolution temporelle de l'énergie dans la coda est indépendante de la source, de sa nature, position et magnitude et reflète les propriétés locales du milieu dans lequel se propagent les ondes.



Capteur sismique de type CMG40T utilisé au cours des enregistrements au Mexique.

L'analyse des données recueillies à Chilpancingo montre que les différents rapports énergétiques fluctuent énormément lors des arrivées des ondes cohérentes et se stabilisent dans la coda. Durant les quelques minutes de la coda, les rapports énergétiques fluctuent de quelques pourcents alors que l'énergie décroît d'un facteur 10 000. Par ailleurs, ces rapports sont indépendants des différents tremblements de terre et en parfait accord avec les valeurs prédites théoriquement. La croûte terrestre, au Mexique, est donc suffisamment hétérogène pour mettre les ondes sismiques dans le régime de la diffusion multiple.

Outre l'aspect de simple connaissance, le fait d'avoir montré que les ondes sismiques sont rapidement diffusées constitue à la fois une bonne et une mauvaise nouvelle. Une mauvaise nou-



Enregistrement sismique d'un des 11 séismes. La coda sismique s'étend sur plusieurs minutes.

velle, dans la mesure où les chercheurs ne pourront pas utiliser les techniques habituelles pour imager la Terre avec la coda sismique, qui représente pourtant, en volume, la principale part des observations. Une bonne nouvelle, car les méthodes d'imagerie en milieu hétérogène ont connu de grands progrès en optique et que ces méthodes, qui utilisent le caractère extrêmement simple des propriétés des champs diffus, pourront être développées en sismologie. Un champ nouveau est à explorer.

Références :

- Observation of Equipartition of Seismic Waves. R. Hennino, N. Trégourès, N. Shapiro, L. Margerin, M. Campillo, B. van Tiggelen and R. Weaver. *Physical Review Letter*. (2001) Vol. 86, pp. 3447-3450.
- The energy partitioning between P and S waves and the diffusive character of the seismic coda. N. Shapiro, M. Campillo, L. Margerin, S.K. Singh, V. Kostoglodov and J. Pacheco. (2000) *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 90, pp. 655-665.

Contacts chercheurs :
 • Bart VAN TIGGELEN,
 Laboratoire de physique
 et modélisation des milieux
 condensés (LPM2C),
 CNRS-Université Grenoble 1,
 tél. : 04 76 88 12 76
 mél : tiggelen@
 belledonne.polycnrs-gre.fr

• Michel CAMPILLO,
 Laboratoire de géophysique
 interne et tectonophysique (LGI),
 CNRS-Université Grenoble 1-
 Observatoire de Grenoble,
 tél. : 04 76 82 80 36
 mél : campillo@
 obs.ujf-grenoble.fr

**Contact département
 des Sciences physiques
 et mathématiques du CNRS :**
 Frédérique LAUBENHEIMER,
 tél. : 01 44 96 42 63
 mél : frederique.laubenheimer@
 cnrs-dir.fr

**Contact département
 des Sciences de l'Univers
 du CNRS/INSU :**
 Christiane GRAPPIN,
 tél. : 01 44 96 43 37
 mél : christiane.grappin@
 cnrs-dir.fr