

Le séisme de Bhuj

Le séisme intraplaque du 26 janvier 2001, prémisse d'une cassure du continent indien en avant de l'Himalaya?

A la nouvelle qu'un séisme catastrophique de magnitude 7,6, résultant d'une compression Nord-Sud, venait de se produire en Inde, beaucoup de personnes ont pensé que l'épicentre devait se situer dans la zone très sismique de l'Himalaya. En effet, le front de cette chaîne est jalonné par une grande faille de chevauchement qui cause périodiquement des séismes destructeurs, en faisant avancer les reliefs sur le continent indien. Or, le séisme de Bhuj s'est produit à environ 1 000 kilomètres plus au Sud, dans une région de faibles reliefs. L'emplacement du séisme est étonnant, mais est-ce une première? Comment expliquer ce séisme qui paraît inhabituel?

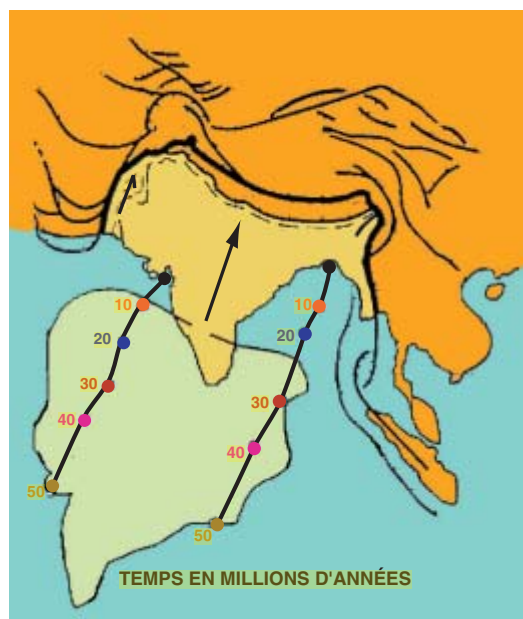
Remarquons d'abord que l'épicentre se trouve dans ce qu'on nomme la «plaque indienne» et que l'Inde correspond à un vieux continent analogue à l'Australie (à laquelle elle était accolée, il y a plus de 120 millions d'années). Le continent est constitué, pour l'essentiel, de roches très anciennes (allant de 600 millions d'années à 2 500 millions d'années), difficiles à déformer, ce qui explique la rigidité et l'apparente stabilité de

cette plaque continentale où les séismes sont rares.

Toutefois, nous savons que les grands continents «stables» peuvent être touchés par des séismes très importants, mais aussi très espacés dans le temps. Un bilan sur ce type de séismes a été présenté il y a dix ans par Arch Johnston et Lisa Kanter (*Pour la Science*, mai 1990) ; ils signalaient qu'un très important séisme s'était produit en Inde, en 1819, à Kutch, situé à 200 kilomètres au Nord-Ouest du séisme de Bhuj. Lors de ce séisme de magnitude 7,7, il s'était formé, sur une longueur de près de 100 kilomètres, un escarpement en faille inverse (c'est-à-dire de compression), d'une hauteur de six à neuf mètres, qui fut dénommé le «Mur de Dieu.»

Ainsi, en presque 200 ans, la plaque indienne a été affectée dans la même région par deux séismes majeurs. Quelle est leur signification? Pour essayer de répondre, situons-nous dans le contexte général de la collision Inde-Asie représenté sur la figure 1.

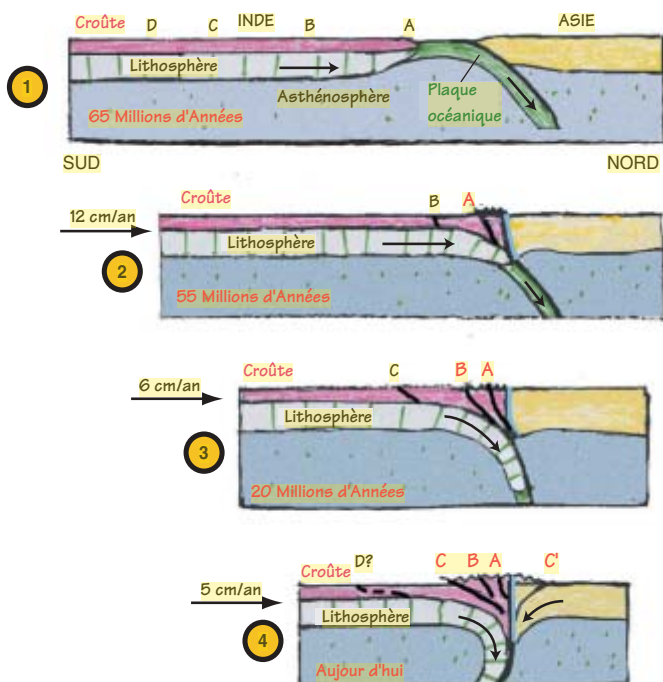
Il y a 65 millions d'années, le continent indien se trouvait à environ 5 000 kilomètres de sa position actuelle, et il était bordé au Nord d'une plaque océanique qui s'enfonçait sous l'Asie par une subduction (*phase 1 de la figure 2*). Il y a 55 millions d'années, la plaque océanique s'étant entièrement enfouie, les deux continents sont rentrés en collision (*phase 2*), et



1. Déplacement de la plaque indienne au cours des 50 derniers millions d'années.

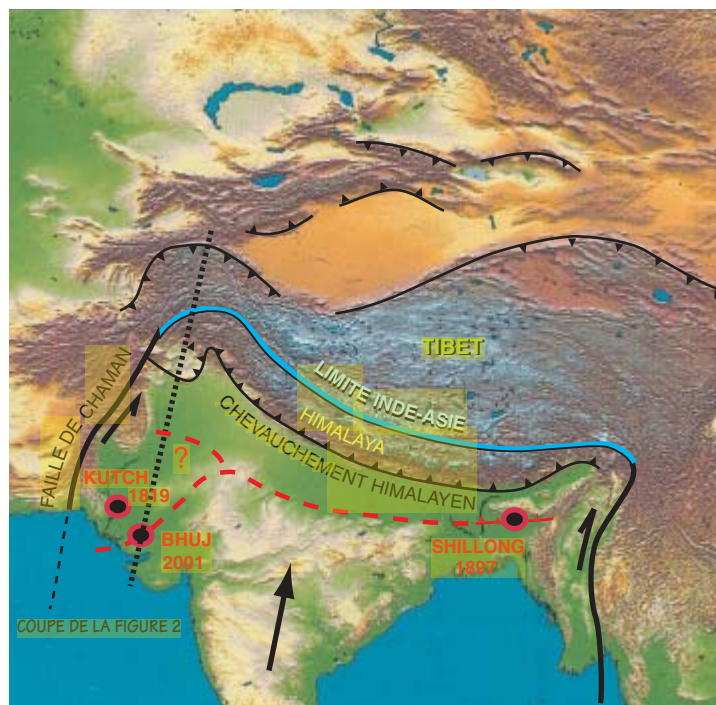
une chaîne de montagne a commencé à s'édifier au dépens de la croûte indienne, alors que la lithosphère était englobée dans l'asthénosphère (*voir la figure 2*). Dès le début, la chaîne montagneuse était limitée au Sud par un chevauchement (A). Il y a 20 millions d'années (*phase 3*), une grande partie de la plaque indienne est déjà enfouie dans l'asthénosphère, tandis qu'en surface, la chaîne himalayenne agrandie est limitée par un nouveau chevauchement (B).

Lors des derniers 20 millions d'années, la chaîne himalayenne continue



(La limite entre l'Inde et l'Asie a été supposée fixe)

2. Évolution, en coupe, de la collision entre l'Inde et l'Asie.



3. Les séismes récents présagent peut-être d'une cassure de la plaque indienne.

de s'élargir et de progresser vers le Sud par sauts successifs ; elle est limitée par le chevauchement (C). Ainsi, depuis le début de sa formation, l'Himalaya a fonctionné comme un prisme d'accrétion crustal (accumulation de lambeaux de croûte dans une zone triangulaire, voir la figure 2). Et pour la première fois, la déformation affecte l'Asie, avec un chevauchement (C') vers le Nord, qui correspond à une subduction continentale qui plonge vers le Sud. La chaîne s'est donc encore élargie et présente une allure en éventail dissymétrique.

Quel est le mécanisme qui a permis d'aboutir à cette structure générale de la chaîne ? Dès le début de la collision, le continent indien a été soumis à des forces compressives d'autant plus importantes que l'on se rapprochait du contact Inde-Asie. En raison de sa faible densité (2,7) par rapport à celle du manteau (3,3), la croûte ne peut être entraînée à grande profondeur, et elle se désolidarise du manteau plus dense et plus rigide. En avant du chevauchement himalayen, à intervalles réguliers, les forces tectoniques atteignent le seuil de rupture des roches en provoquant des séismes. De nouvelles failles apparaissent par cassures successives, et le prisme d'accrétion s'élargit.

Actuellement, au stade 4, le continent indien n'est ébranlé que par quelques séismes rares, mais de forte puissance, tels ceux de Kutch et de Bhuj. Un séisme encore plus puissant s'est produit en 1897 dans l'Est du continent indien, sur le versant Sud du massif de Shillong, à 200 kilomètres du front de l'Himalaya. Ce séisme de magnitude 8,7 s'est manifesté par une faille de chevauchement Est-Ouest et un ressaut de plus de dix mètres de haut (plus haut que le Mur de Dieu !)

Comme, aujourd'hui, le front himalayen s'avance vers le Sud à une vitesse de deux centimètres par an, il ne tardera pas à absorber le massif de Shillong, dans à peine cinq millions d'années. Revenons à l'Ouest ; les séismes de Kutch et de Bhuj sont à environ 1 000 kilomètres du front himalayen ; celui-ci n'avancera pas aussi loin, mais cette partie de l'Inde sera profondément modifiée, car le continent indien aura certainement continué sa marche tranquille à la même vitesse qu'aujourd'hui, soit cinq centimètres par an, 500 kilomètres en 10 millions d'années.

Les failles de Kutch et de Bhuj pourraient être une préfiguration d'une grande faille (nouvelle cassure D) qui coupera le Nord-Ouest de l'Inde et qui finira par rejoindre vers l'Est le front d'une chaîne himalayenne qui aura beaucoup changé et qui aura bien avancé vers le Sud.

Hervé PHILIP et Maurice MATTAUER

Nouveau thermomètre intergalactique

Des astrophysiciens ont mesuré la température du fond diffus cosmologique dans un nuage intergalactique lointain.

La théorie du Big Bang stipule que notre univers est issu d'une gigantesque explosion primordiale et que, depuis, son rayon croît et sa température diminue. Il y a environ 15 milliards d'années, cette température est passée au-dessous d'une valeur critique telle que les électrons et les protons ont pu se combiner. L'Univers est devenu transparent, car les photons ont cessé d'interagir avec le mélange des particules qui emplissait l'Univers primordial. Un gaz de photons s'est maintenu dans tout l'espace. Ce gaz que les astrophysiciens nomment le fond diffus cosmologique se refroidit selon une loi décrite par la relativité générale : la température du cosmos décroît comme l'inverse du rayon de l'Univers. Une nouvelle évaluation de cette température vient d'être réalisée par Patrick Petitjean de l'Institut d'astrophysique de Paris, Cédric Ledoux de l'Observatoire européen austral et Raghunatan Srianand du Centre interuniversitaire pour l'astronomie et l'astrophysique de Pune, en Inde.

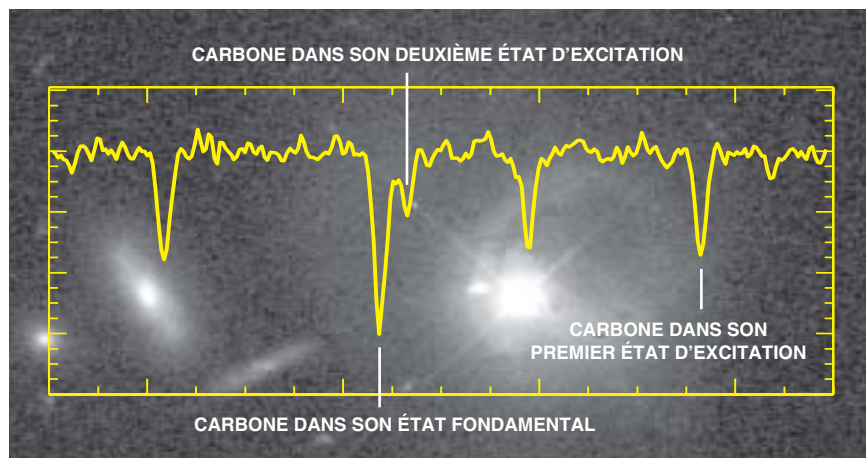
La loi de refroidissement constitue l'un des piliers du modèle cosmologique standard, la théorie cosmologique acceptée aujourd'hui. Découvert fortuitement par

Arno Penzias et Robert Wilson en 1965, ce « rayonnement fossile » a pu être mesuré il y a une dizaine d'années par le satellite COBE, et le résultat était en parfait accord avec ce que prévoit le modèle cosmologique standard.

Toutefois, il n'a été testé qu'au voisinage immédiat de la Terre. Il se pourrait que le rayonnement perçu sur la Terre n'existe que dans son voisinage, ou dans celui de la galaxie. Il s'agirait alors non pas d'un fond cosmologique, qui, par définition, doit être présent dans tout l'Univers, mais d'un fond local qui créerait, dans notre voisinage, l'illusion d'une explosion primordiale. P. Petitjean et ses collègues viennent de lever le doute.

Ils ont découvert un moyen indirect de mesurer la température du fond diffus cosmologique dans les nuages du milieu intergalactique situés sur le chemin qui nous sépare des quasars. Les quasars (en anglais *quasi stellar objects*, c'est-à-dire objets quasi stellaires) sont des objets très lumineux situés aux confins de l'Univers observable, qui seraient en cours d'effondrement dans un trou noir. Pour évaluer cette température, les astrophysiciens utilisent le fait que des nuages de gaz composés d'éléments divers se trouvent sur l'axe qui nous relie à ces géants éloignés. Ainsi, ils ont découvert la présence de raies d'absorption dans le rayonnement qui nous parvient du quasar PKS1232+0815. Ces raies sont les signatures spectrales des éléments chimiques présents dans le nuage intergalactique analysé.

Les électrons superficiels des atomes responsables de ces raies ont subi des transitions qui les ont fait passer de leur



Les trois formes du carbone présent dans le nuage intergalactique analysé (neutre et dans deux états d'excitation) ont des raies d'absorption différentes : au centre, la plus grande des raies est celle du carbone dans son état fondamental ; les trois raies de taille voisine qui entourent la grande raie sont celles du carbone neutre excité dans son premier niveau d'énergie. Deux petites raies, l'une à droite de la grande raie centrale et l'autre à l'extrême droite, sont celles du carbone neutre excité dans un deuxième état d'énergie. Ces mesures montrent que le fond diffus cosmologique micro-onde a l'énergie et, par conséquent, la température adéquate pour faire passer les atomes de carbone présents dans ce nuage de leur état fondamental (raie principale) à leurs deux premiers états d'excitation. Ce spectre a été obtenu avec le spectrographe à haute résolution du télescope KUYEN de l'Observatoire européen austral au Chili.