

## Le séisme du Sichuan du 12 mai 2008

Le séisme du 12 mai 2008, de magnitude  $M_w$  7.9 d'après l'USGS, s'est produit à la bordure est du plateau du Tibet, dans la province chinoise du Sichuan (Fig. 1). L'épicentre, localisé dans le district de Wenchuan sous la chaîne du Longmen Shan (ou Lungmen Shan), est situé à environ 80 km à l'ouest-nord-ouest de Chengdu, capitale du Sichuan. Avec un bilan d'au moins 70 000 décès et plus de 370 000 blessés, il s'agit d'un des séismes les plus meurtriers des quelques dernières dizaines d'années, et le plus grave survenu en Chine depuis le séisme de Tangshan en 1976, qui fit au moins 240 000 victimes. A ce jour, la géométrie détaillée des failles activées et des traces de ruptures cosismiques en surface n'est pas connue de façon précise, mais les données sismologiques, géologiques et l'imagerie satellitaire anté et post-séisme, permettent de décrire et discuter au premier ordre le cadre sismotectonique de cet événement.

### Contexte tectonique

Le contexte tectonique à grande échelle est celui de la collision Inde-Asie, active depuis environ 50 millions d'années. Depuis lors, l'Inde se rapproche et emboutit l'Asie à une vitesse de plusieurs centimètres par an : la convergence actuelle Inde-Sibérie est estimée entre 4 à 5 cm/an suivant les modèles. Si l'Himalaya absorbe 1,5 à 2 cm/an de convergence, une proportion importante de ce mouvement chasse le plateau du Tibet vers le nord-est et l'est le long de grands décrochements, tels les failles de l'Altn Tagh et du Kunlun (Fig. 1). Cette extrusion du Tibet induit du raccourcissement sur les bordures nord-est et est du plateau (Qilian Shan, Longmen Shan, Fig. 1 et 2), raccourcissement qui se traduit par des chevauchements actifs, tel celui qui a rompu lors du séisme du 12 mai 2008 au Sichuan.

La structuration du cœur de la chaîne du Longmen Shan s'est principalement effectuée lors de l'orogénèse indosinienne au Trias. Entre 220 et 200 Ma environ, l'épais prisme sédimentaire de Songpan-



Fig. 1. Localisation du séisme du 12 Mai 2008 dans le contexte tectonique asiatique. La convergence Inde-Sibérie est absorbée en partie par le chevauchement frontal himalayen, en partie par la déformation et l'extrusion de la croûte tibétaine qui est découpée en blocs par de grands décrochements (tels les Failles de l'Altn Tagh, Kunlun ou Haiyuan). © R. Lacassin, IPGP, Paris.

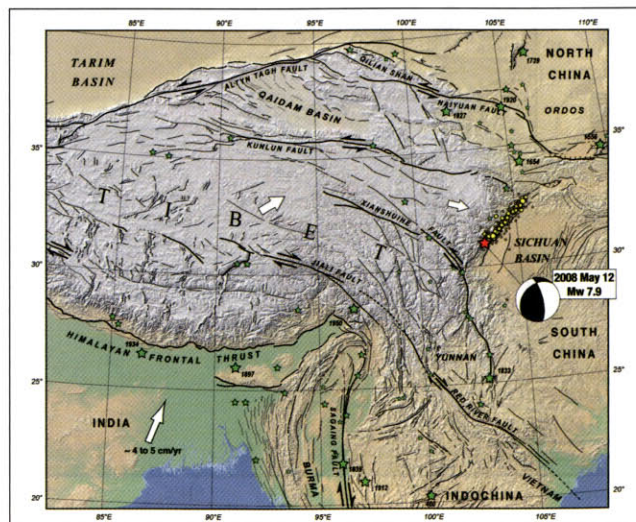


Fig. 2. Structure du plateau du Tibet et des régions avoisinantes d'après Tapponnier et al. [4]. Le séisme du 12 Mai 2008 s'est produit à la bordure E du plateau face au bassin du Sichuan (localisation de l'épicentre : étoile rouge). Les répliques (points jaunes) s'étendent vers le NE depuis l'épicentre sur environ 300 km. Mécanisme au foyer (CMT) d'après Harvard Global CMT project [9]. Les étoiles vertes localisent les séismes historiques (trois tailles correspondant respectivement à des magnitudes de 7 à 7.5, 7.5 à 8 et supérieures à 8 ; catalogue NGDC-NOAA). © R. Lacassin, IPGP, Paris.

# Regards sur...

Garzê s'est fortement plissé au-dessus d'un décollement majeur, et a été intrudé par de nombreux granites syn à post-tectoniques. Le front de la chaîne, face au bassin du Sichuan, est marqué par un très fort gradient topographique ; on passe de plus de 4 000 m à 500 m d'altitude moyenne en quelques dizaines de kilomètres. Sa structuration s'est faite au Cénozoïque en réponse à la convergence Inde-Asie et deux types de modèles sont en compétition pour expliquer le soulèvement récent : chevauchements crustaux comme sur la bordure nord du Tibet ou bien soulèvement induit par un flux chenalisé de la croûte profonde ductile.

Sur le front du Longmen Shan, entre la faille de Wenchuan et le bassin du Sichuan, plusieurs failles ont des traces très nettes dans la topographie et montrent des indices de décalages de marqueurs géomorphologiques impliquant leur activité quaternaire (failles de Beichuan et de Pengguan en particulier, Fig. 3). Les vitesses actuelles sur ces failles ne sont pas déterminées de façon fiable mais sont probablement assez faibles (quelques mm/an ou moins). Au niveau du Longmen Shan, les données GPS publiées suggèrent en effet une convergence très faible entre l'est du Tibet et le bassin du Sichuan, qui seraient tous deux extrudés vers l'est-sud-est à ~1cm/an comme l'ensemble de la Chine du Sud.

## Mécanisme du séisme

Les premières données sismologiques (localisation des épicentres par les réseaux mondiaux, mécanismes au foyer, modèles de source sismique) et géodésiques (InSAR) rapidement mises en ligne sur internet, ainsi que les premières informations parcellaires sur les ruptures observées sur le terrain, donnent un bon aperçu de la géométrie des failles activées et du mécanisme du séisme.

Les différentes localisations déterminées pour le séisme du 12 mai placent l'épicentre sous la chaîne du Longmen Shan, à ~25 km au nord-ouest du front montagneux, avec une

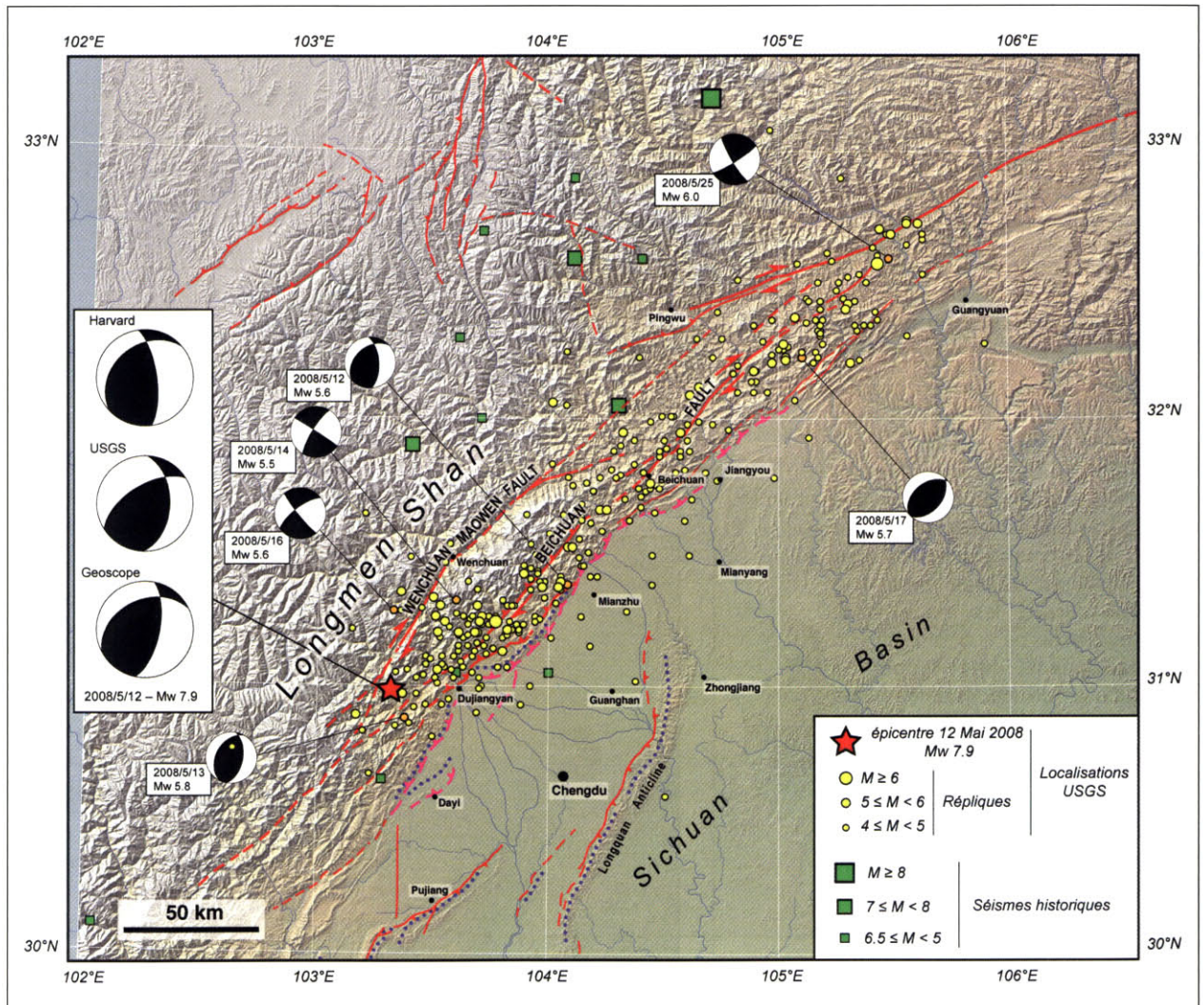


Fig. 3. Cadre sismotectonique du séisme du 12 Mai 2008. Localisation du séisme (étoile rouge) et des répliques (du 12/05 au 9/06, points jaunes) d'après l'USGS. Trois mécanismes au foyer pour le séisme principal sont donnés pour comparaison [9], ainsi que ceux de 6 répliques (d'après Global CMT project). Les failles en trait continu ont des traces nettes dans la morphologie et décalent généralement des marqueurs quaternaires. Le front montagneux, marqué par des plis affectant le Mésozoïque et localement le Tertiaire [6], correspond probablement à une rampe de chevauchement plus ou moins aveugle (tireté magenta). © R. Lacassin, IGP, Paris.

# Regards sur...

profondeur de l'ordre de 15 à 20 km. Il s'agit donc d'un séisme affectant la partie sismogénique de la croûte entre ~20 km et la surface. Les tenseurs des moments sismiques (ou CMT) calculés par trois organismes (Harvard Global CMT project, USGS, Geoscope) impliquent un mécanisme chevauchant pour le séisme principal, avec une composante décrochante assez importante (Fig. 2 et 3). Parmi les 2 plans nodaux déterminés, celui à pendage 30 à 40° vers le NW correspond à la rupture la plus probable car compatible avec le contexte tectonique. Sur ce plan de direction nord-est – sud-ouest, la composante décrochante est dextre, également compatible avec ce contexte.

De nombreuses répliques ont suivi le séisme : ainsi, plus de 300 événements de magnitude supérieure à 4 ont été localisés par l'USGS entre les 12 mai et 9 juin (Fig. 3). La magnitude des plus fortes répliques (Mw 6) est relativement faible au regard de celle du séisme principal, suggérant peut être que le relâchement des contraintes a été efficace dans la zone qui a rompu. Les épicentres de ces répliques se répartissent parallèlement au front du Longmen Shan et des failles principales (Fig. 3), sur une bande de ~30 km de large avec l'épicentre du séisme principal situé à son extrémité sud-ouest. La longueur de cette bande, environ 300 km, donne un bon ordre de grandeur de la longueur de faille rompue lors du séisme. Les quelques événements pour lesquels un mécanisme au foyer a pu être déterminé montrent soit un jeu en faille inverse, soit en décrochement dextre (Fig. 3). Parmi ces derniers, le séisme de Mw 6.0 du 25 mai, a peut-être rompu une partie de la faille décrochante qui limite le Longmen Shan au NE (Fig. 3). Les réseaux locaux chinois ont enregistré un nombre beaucoup plus conséquent de répliques (plusieurs milliers, la plupart de magnitude inférieure à 4), et permettront de les localiser et d'étudier leur mécanisme avec précision.

Plusieurs modèles de source sismique obtenus par inversion des ondes de volume suggèrent une rupture complexe en deux stades successifs, de durée respective 50 et 60 secondes, et une propagation de la rupture vers le nord-est à partir de l'épicentre. Le glissement serait princi-

palement chevauchant dans la partie sud, sur une longueur d'environ 100 km, puis surtout décrochant dextre vers le nord-est, pour une longueur totale de ~300 km. Le déplacement maximum modélisé atteint 7 m dans la partie chevauchante au voisinage de l'épicentre. Ce schéma de rupture complexe est au premier ordre compatible avec les interférogrammes InSAR calculés à partir des acquisitions du satellite ALOS. Il est aussi en accord avec les premières informations sur les traces de ruptures observées en surface qui suggèrent que plusieurs failles ont rompu lors du séisme : des escarpements et décalages cosismiques sont observés à la fois sur la faille de Beichuan et sur les failles chevauchantes proches du front montagneux.

## Géométrie probable de la rupture cosismique et implications

Les données ou modèles préliminaires résumés ci-dessus impliquent donc une rupture combinant chevauchement et décrochement dextre (Fig. 4) sur environ 300 km de long. De part et d'autre du système de failles, un compartiment (ici l'est du Tibet) monte et se rapproche de l'autre compartiment (ici le bassin du Sichuan) et glisse aussi latéralement vers le nord-est. Cette géométrie des failles actives dans le Longmen Shan et sur son front (Fig. 4) suggère un partitionnement entre mouvement chevauchant et décrochant, du même type que celui

qui existe plus au nord sur les failles de Haiyuan et Gulang où s'est produit le séisme de magnitude 8 du 23 mai 1927. Au Sichuan, la rupture cosismique s'est apparemment propagée vers la surface sur plusieurs de ces failles (Fig. 4). Ces failles, à pendage vers le nord-ouest, s'enfoncent sous la chaîne du Longmen Shan et ce sont probablement leurs déplacements cumulés qui ont bâti cette chaîne sur les temps géologiques.

Ce tremblement de terre est le plus fort séisme chevauchant intra-continental enregistré avec des techniques modernes. En plus d'une meilleure compréhension de la bordure la plus mystérieuse du plateau du Tibet, son étude apportera sans aucun doute des informations cruciales sur l'aléa sismique au front des chaînes de montagnes, tel le front himalayen en Inde et au Népal où sont connus des événements historiques destructeurs de magnitude équivalente ou supérieure à 8 (par exemple Shillong 1897, Kangra 1905, Bihar-Népal 1934, Fig. 2).

R. LACASSIN

Pour plus d'informations en français sur le contexte du séisme et les études en cours :

<http://www.ipgp.jussieu.fr/pages/021704.php>

<http://www.geologie.ens.fr/spiplabocnrs/spip.php?article277>

<http://lstimage2.univ-lyon1.fr/herve/seisme-Sichuan/Intro-seisme-Sichuan.html>

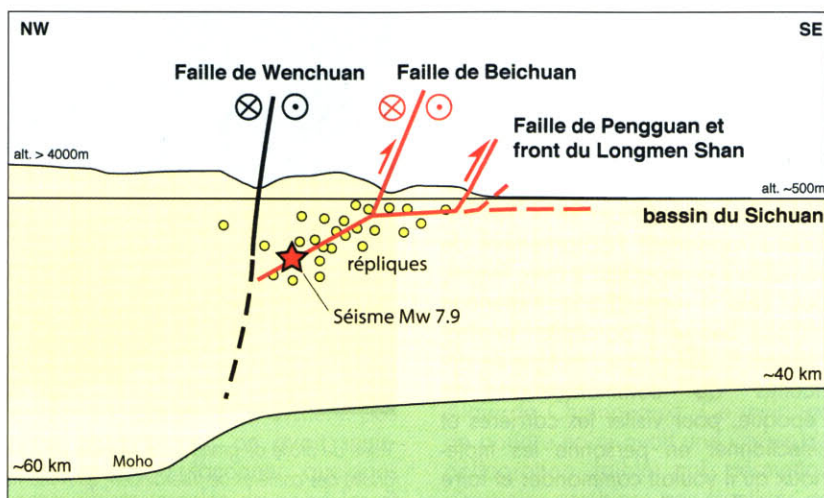


Fig. 4. Représentation schématique en coupe des failles majeures du Longmen Shan et géométrie hypothétique de la rupture cosismique du 12 Mai 2008 en rouge. © R. Lacassin, IPGP, Paris.