

## Le séisme de Concepcion, Chili, du 27 février 2010 - Le point sur les informations scientifiques

Le 28-février-2010

Christophe Vigny

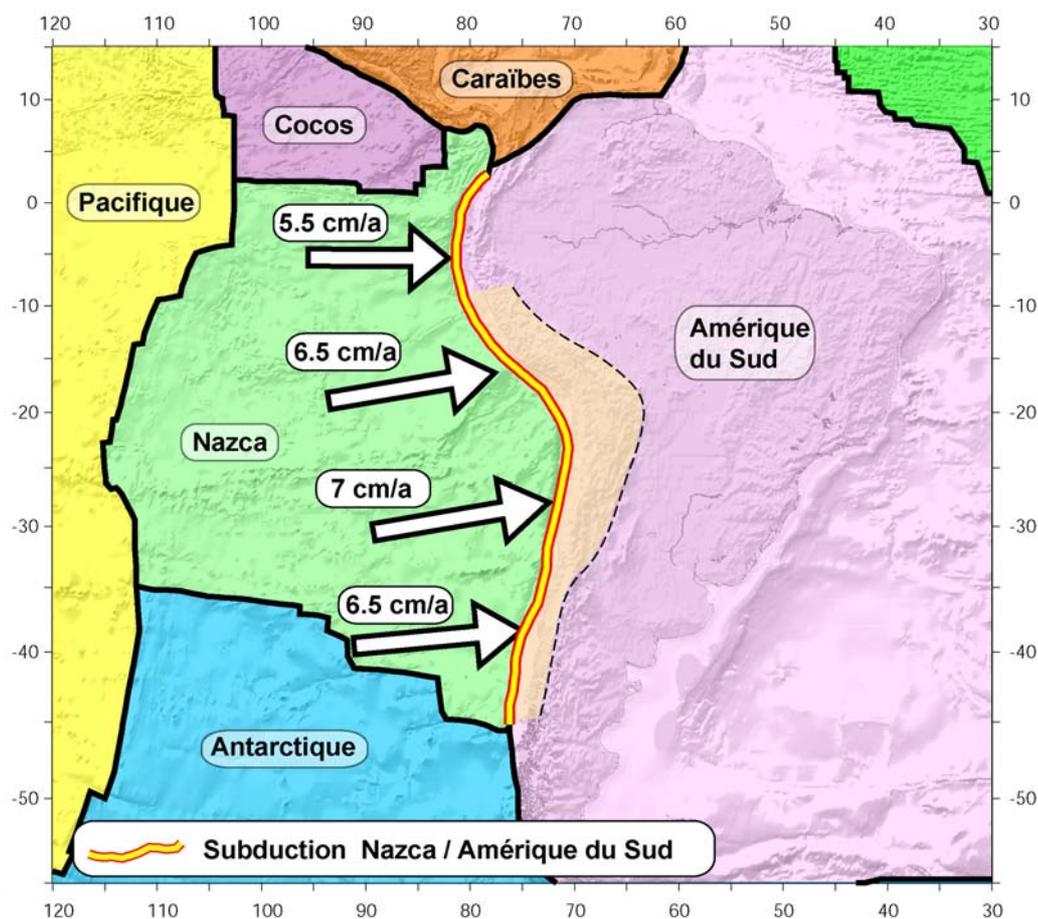
Directeur de recherches au CNRS

Laboratoire de Géologie de l'ENS, UMR8538 du CNRS

Au nom de la direction du Laboratoire International Associé (LIA) «Montessus de Ballore»<sup>(3)</sup>

Un séisme de magnitude 8.8 c'est produit sur la subduction Chilienne au niveau des villes de Concepcion, Constitucion et Valparaiso, le 27 février à 6h34 TU. Cet événement s'inscrit dans une longue liste de séismes qui se produisent tout au long de la subduction chilienne depuis des siècles.

Du Nord de la Patagonie jusqu'au Pérou, cette zone sismique est relativement simple : c'est la frontière entre deux plaques tectoniques qui convergent l'une contre l'autre (figure 1). Ici, c'est la plaque Nazca qui converge à près de 7 cm/an vers la plaque Amérique du Sud. Le mouvement est légèrement oblique mais il est entièrement absorbé sur une seule faille en mer. Le long de cette faille, la plaque Nazca passe sous la plaque Amérique du Sud puis s'enfonce dans le manteau terrestre dans ce que l'on appelle un mouvement de subduction.



**Figure 1** : la tectonique des plaques de la région. Le trait épais rouge/jaune montre la subduction de la plaque Nazca sous la plaque AmduSud ; le trait en pointillé montre la zone de déformation Andine à l'intérieur de la plaque. Les flèches montrent la direction et la vitesse de convergence déterminée par GPS.

## Comment une faille fonctionne-t-elle?

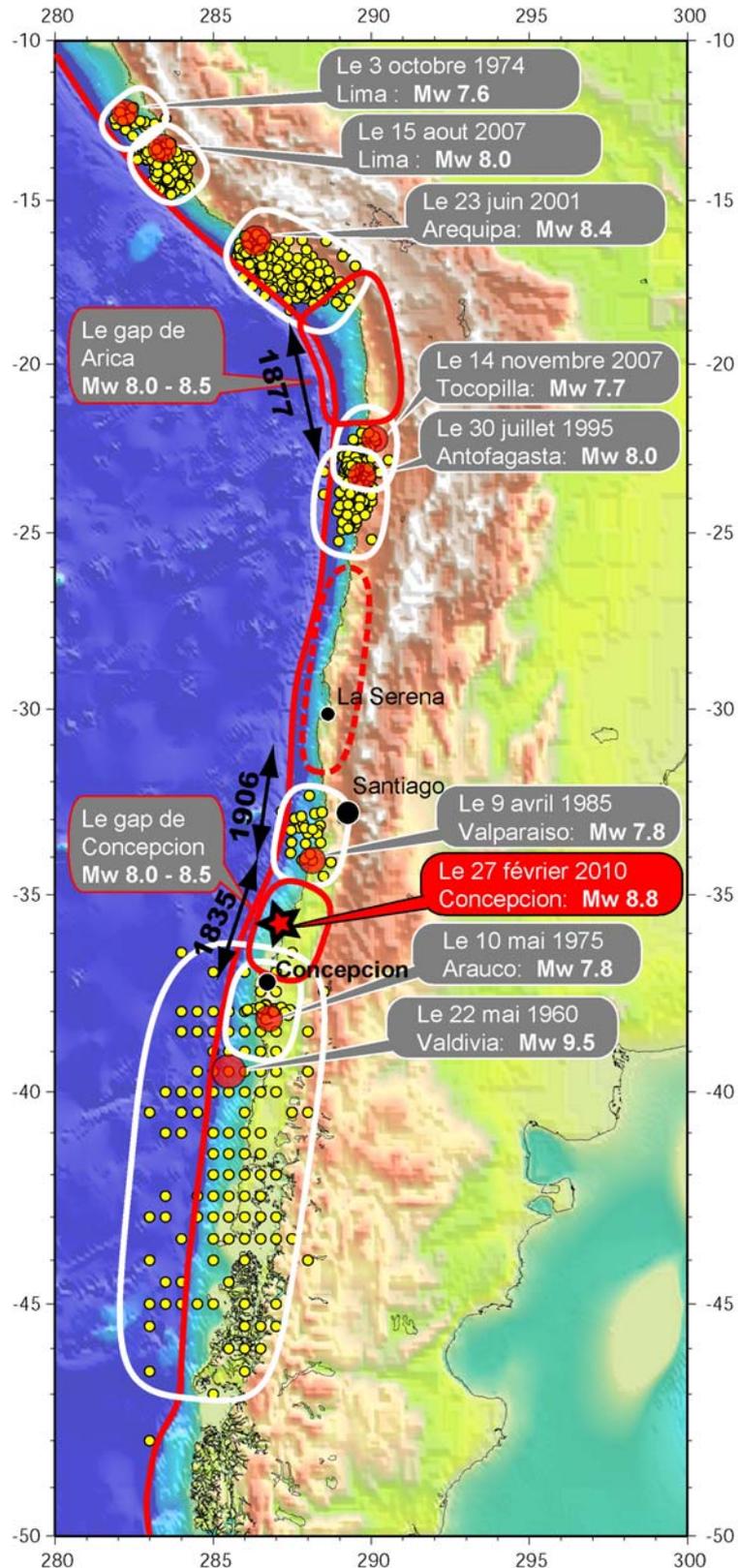
Une faille est simplement la limite entre deux plaques tectoniques (ou blocs) qui se déplacent l'un par rapport à l'autre. Ces blocs représentant d'énormes quantités de matière ont un déplacement lent (jusqu'à 10 cm/an) et régulier, très stable sur au moins des centaines de milliers d'années. Si le contact entre les deux plaques est assez « lisse », alors la faille va glisser en continu, on parle alors de fluage. A l'opposé, si la rugosité du contact empêche ce fluage, alors la faille ne glisse pas : elle est bloquée. Quoi qu'il se passe sur la faille, le déplacement des plaques ne change en rien : elles ne « voient » pas si le glissement est bloqué ou non sur la faille. C'est donc la bordure des plaques (en l'occurrence la bordure d'une seule des deux plaques : la plus faible, c'est-à-dire l'Amérique du sud) qui va se déformer en accumulant la déformation élastique créée par le déplacement en champ lointain et le blocage local. Comme un ressort qui se comprime, la bordure de la plaque va encaisser la déformation jusqu'à ce qu'elle soit suffisante pour faire sauter le blocage sur la faille : c'est à ce moment que se produit le séisme. Par la suite, la faille va de nouveau se bloquer et le cycle accumulation lente – rupture sismique se reproduira à l'infini. La déformation en bordure de faille présentera donc une courbe typique en « dent de scie » avec de longues périodes d'accumulation (des siècles) et entrecoupées de glissement brutaux : les séismes.

Bien évidemment les choses sont un peu plus complexes que ce modèle simple. En particulier, le déplacement co-sismique n'est peut être pas si instantané que cela. Le séisme proprement dit ne relâche peut-être qu'une partie de la déformation accumulée, le reste se faisant par du glissement a-sismique avant ou après le séisme. D'autre part, la faille ne rompt pas sur toute sa longueur (plusieurs milliers de km) d'un seul coup. Elle rompt par morceaux : des segments séparés par des barrières. Ces segments produisent des séismes plus ou moins gros (suivant qu'ils sont plus ou moins longs), plus ou moins souvent (suivant que leur glissement est complètement ou partiellement bloqué) et interagissent avec leurs voisins, rompant parfois seuls, parfois ensemble, parfois successivement. Chaque segment a donc une histoire compliquée, donnant une apparence plus ou moins chaotique ou régulière à la sismicité d'une région donnée. Un segment qui n'a pas rompu depuis longtemps, alors qu'il y a des évidences de ruptures passées (historiques ou archéologiques) constitue une lacune (ou « gap » sismique : une zone qui rompra plus tard, et qui accumule de la déformation en attendant cette rupture.

## La sismicité du Chili

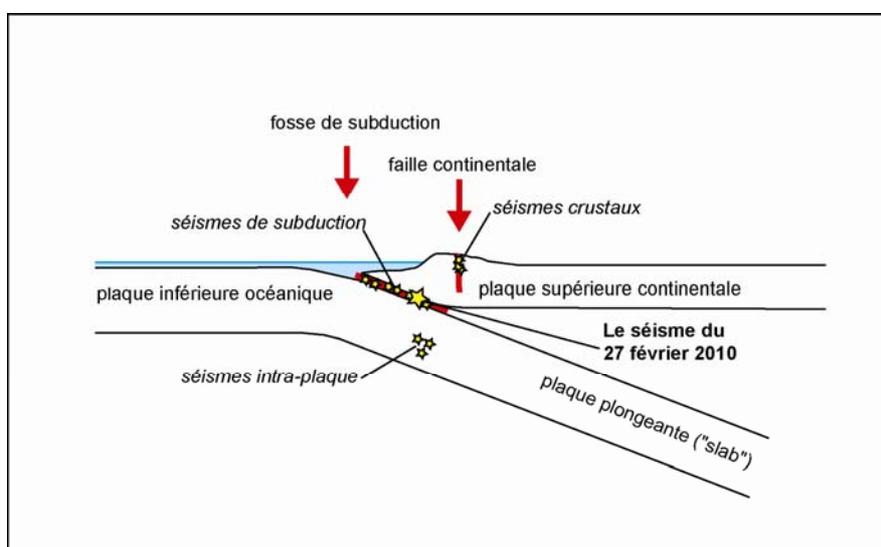
A cause de la convergence Nazca-Amérique du Sud rapide, La zone de subduction du Chili a une forte activité sismique avec, en moyenne, un séisme de magnitude 8 tous les dix ans et un tremblement de terre de  $M > 8.7$  au moins une fois par siècle. Enfin, le plus grand séisme jamais enregistré (depuis que nous disposons de sismographes) de magnitude environ 9.4-9.5, c'est produit au Chili en 1960, juste au sud de Concepcion.

A partir des études que nous menons au Chili depuis plusieurs décennies, nous avons identifié deux lacunes sismiques au Nord et au Centre/sud du Chili qui nous semblaient mures pour une rupture prochaine (les zones entourées en rouge de la figure 2). La lacune d'Arica au Nord, siège d'un séisme géant en 1877 et qui a commencé à rompre en partie lors du séisme de Tocopilla en 2007 ; et précisément la lacune de Concepcion, siège d'un séisme de magnitude largement supérieure à 8 en 1835, décrite par Darwin. Cette lacune était bordée au sud par la rupture géante de 1960 et au nord par les séismes de Valparaiso en 1906 et 1985. Dans cette région, nos mesures GPS montraient une accumulation « normale » de la déformation, sans aucun glissement a-sismique. En 175 ans et à 7 cm/an, c'est au moins 12 m de déformation qui avaient été accumulés sur ce segment de 400km de long. En conséquence, dans un article récent à PEPI, nous avons évoqué la très forte probabilité dans cette région d'une rupture imminente, de magnitude entre 8 et 8.5.

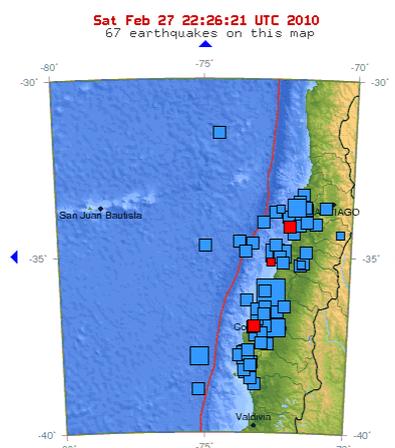


**Figure 2** : Les séismes chiliens et le séisme du 27 février 2010. Les cercles rouges montrent les Epicentres des gros séismes passés, les points jaunes leurs répliques enregistrées pendant 1 mois après le choc principal. Elles dessinent la surface de la faille qui a rompu lors du séisme : les ellipses blanches. Les ellipses rouges montrent les zones qui n'ont pas (ou n'avait pas) rompu depuis longtemps : les « gaps » ou « lacunes ». L'étoile rouge bordée de noir montre l'épicentre du séisme de Concepcion du 27 février.

L'épicentre du séisme du 27 février (étoile rouge sur la figure 2) est localisé en plein milieu de la lacune de Concepcion. Sa profondeur et son mécanisme ne laissent aucun doute sur le fait que c'est un séisme de subduction « normal », sur l'interface de contact entre les deux plaques (figure 3). Comme le montrent la répartition des répliques, la rupture s'est propagée à la fois vers le Sud et vers le Nord, de manière à rompre la totalité du segment de la lacune de Concepcion, et même au delà vers le Nord, puisqu'elle semble avoir franchi la baie de San Antonio et avoir repris, au moins en partie, le segment de Valparaiso qui avait rompu en 1906 et 1985 (figure 4). C'est probablement la reprise de ce segment avec la lacune principale qui explique la très forte magnitude de ce séisme. Le fait que l'épicentre soit un peu profond (35-40 km) peut expliquer la magnitude somme toute modérée du Tsunami qui s'en suit : la rupture arrive faiblement en surface et le déplacement du fond de l'océan reste modéré. Par contre, cela place l'hypocentre juste sous la côte (plutôt que plus loin au large), ce qui peut avoir engendré des destructions importantes à sa proximité, et donc en particulier aux alentours de la ville de Cauquennes.



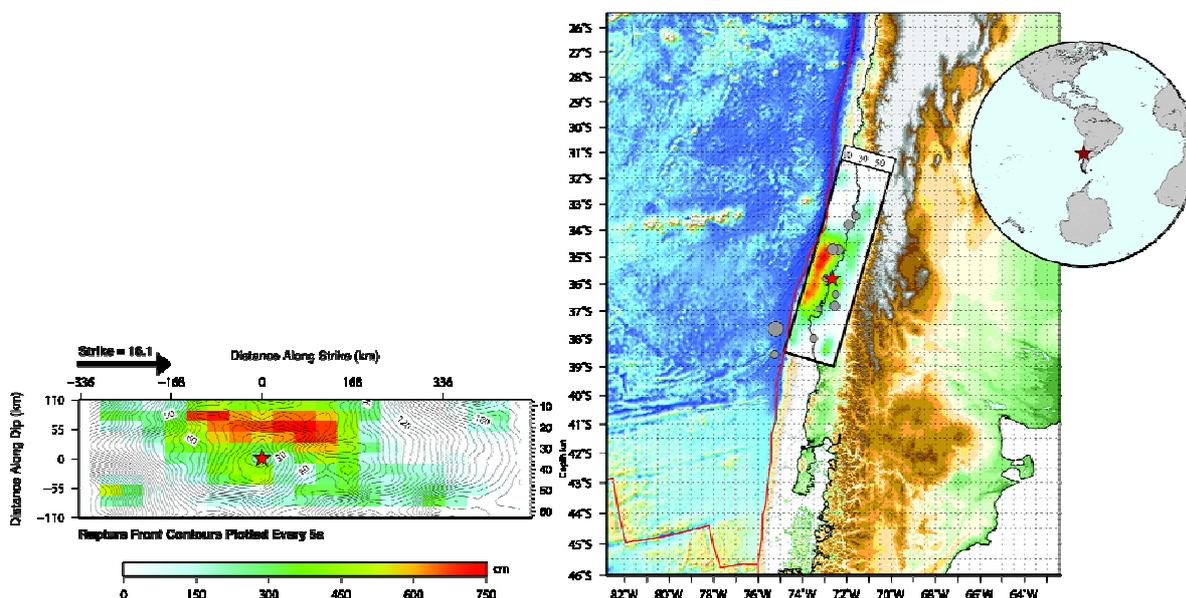
**Figure 3 :** détail schématique en coupe de la localisation des séismes et du type des séismes en fonction de la profondeur et de la distance à la fosse océanique.



**Figure 4 :** premières répliques localisées par le réseau mondial à l'USGS (rectangles bleus). Elles montrent clairement une extension de la rupture sur près de 600 km, soit beaucoup plus que les 350-400 km de la lacune de Concepcion.

[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Maps/10/285\\_-35.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Maps/10/285_-35.php)

La distribution des premières répliques pose un problème. Elle semble indiquer une rupture longue, de l'ordre de 600km de long, ce qui expliquerait la magnitude élevée de 8.8. Par contre, cela paraît peu compatible avec les premières inversions de la source sismique réalisée par G. Hayes (NEIC) qui indique une longueur de rupture de l'ordre de 350km seulement, exactement localisée dans la lacune de 1835 (figures 5).



**Figure 5 :** modèles préliminaires de la rupture effectués par Gavin Hayes, NEIC-USGS, indiquant un épïcentre vers 35-40 km de profondeur, parfaitement localisé sur le plan de subduction, et une rupture confinée à environ 350 km de long.

[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/finite\\_fault.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/finite_fault.php)

Un certain nombre de questions se posent maintenant:

- Est-ce que ce séisme du 27 février a relâché toute la déformation accumulée depuis au moins 175 ans. Si oui, des répliques se produiront mais de plus en plus petites et de moins en moins. Si non, il faut s'attendre à d'autres séismes très forts dans la même région, désormais fragilisée par cette première rupture.
- Est-ce l'augmentation des contraintes aux bouts de cette rupture va déclencher d'autres ruptures, au Nord et au Sud. Au sud, cela semble peu probable : c'était le lieu du séisme géant de 1960 qui n'avait pas encore commencé à ré-accumuler de la déformation depuis. Au Nord, c'est possible, les séismes de Valparaiso (1985), La Serena (1943) et Vallenar (1922) n'ayant probablement relâché qu'une partie des contraintes accumulées depuis le séisme géant de cette région en 1730.
- Pourquoi les répliques montrent-elles une rupture s'étalant sur 600 km, alors que les premières inversions de la source sismique semble montrer une rupture de seulement 350km, s'intégrant bien dans la lacune connue de 1835 ? y a-t-il eu séisme lent au Nord ?
- Pourquoi y a-t-il des répliques au Sud de la péninsule d'Arauco ?

Les mesures Géodésiques et sismologiques permettent de quantifier et comprendre certains aspects de ces séismes, et donc d'apporter des éléments de réponse. En particulier, les stations GPS permanentes installées dans la région permettent de savoir combien exactement de déformation est relâchée par le séisme qui vient de se produire (tout ou partie de ce qui est disponible), si de la déformation est relâchée de manière lente et a-sismique, si elle se propage aux terminaisons de cette rupture, si les segments adjacents se mettent eux aussi à glisser lentement ou si au contraire, rien ne glisse tant qu'il n'y a pas de séisme. Les réseaux sismologiques, en localisant les centaines de petites répliques permettent de dessiner le plan de rupture du séisme. Le tout alimente les calculs de transfert de contrainte d'une zone à l'autre avec des éléments géométriques précis (taille de la rupture, quantité de glissement, orientation, etc..)

Notre équipe<sup>(1)</sup>, en coopération avec des instituts et agences Chiliennes<sup>(2)</sup> effectue des mesures géodésiques (GPS) et sismologiques depuis 1996 dans la région. Dans le cadre du laboratoire international associé « Montessus de Ballore »<sup>(3)</sup>, nous allons remesurer le réseau de bornes géodésiques afin de quantifier précisément la déformation crustale générée par ce séisme, et effectuer la maintenance des stations permanentes dont certaines (en particulier celles de Constitucion et San Javier) ont sans doute souffert. Nous participerons également à l'installation de sismographes destinés à localiser précisément les répliques, en coordination avec le GFZ-Potsdam allemand.

Plus d'infos : <http://www.geologie.ens.fr/~vigny/chili-f.html>

- 
- (1) Le laboratoire de Géologie de l'ENS et l'Institut de physique du globe de Paris, UMR 8538 et 7154 du CNRS : P. Bernard, A. Fuenzalida, M. Lancieri, A. Lorme, R. Madariaga, M. Métois, S. Morvan, J.C. Ruegg, S. Ruiz, A. Socquet, J.P. Vilotte, C. Vigny
  - (2) L'Université du Chili à Santiago et l'Université de Concepcion : J.C. Baez, S. Barrientos, K. Bataille, J. Campos, S. Peyrat.
  - (3) Le LIA « Montessus de Ballore » est une structure internationale consécutive à un accord signé en 2006 entre l'université du Chili à Santiago et le CNRS/INSU. Il comprend un certain nombre de chercheurs Chiliens et Français, et son objectif principal est l'étude de la sismo-tectonique du Chili. Plus d'infos sur le LIA : <https://www.lia-mb.net/>