

Au Chili : observer la Terre par satellite pour anticiper les grands séismes

En 1835, le «Beagle», vaisseau de Charles Darwin et du capitaine FitzRoy fait escale dans le Sud du Chili à Valdivia où ils ressentent une forte secousse. Les deux hommes remontent vers le Nord, d'où semble venir le choc et jettent l'ancre dans la ville de Concepcion, dévastée. Les survivants témoignent de l'arrivée de vagues géantes une demi-heure après le choc principal qui avait déjà affecté les constructions. Darwin consigne les phénomènes qu'il observe et les récits des Chiliens : c'est une des premières descriptions modernes d'un grand séisme de subduction.

Depuis, le Chili a connu plusieurs séismes d'ampleur comparable généralement associés à un tsunami. Le 22 mai 1960, la région de Valdivia est frappée par le plus grand séisme jamais



Fig. 1 - Photographie de Valdivia après le séisme du 22 mai 1960

enregistré (magnitude de Richter de 9.5) : c'est un cataclysme.

La théorie de la tectonique des plaques a permis d'avancer considérablement dans la compréhension de ces grands séismes localisés dans les zones de subduction. Au Chili, la plaque océanique Nazca se déplace de 7 cm par an vers le Nord Est par rapport à la plaque Amérique du Sud et s'enfonce sous celle-ci de façon discontinue, par à coups, comme lorsque l'on tire sur un ressort relié à un

patin. Les deux plaques ne coulissent l'une par rapport à l'autre que lorsque suffisamment de contraintes ont été accumulées sur l'interface de contact : lors du séisme, la rupture libère tout ou partie des contraintes et le cycle reprend.

Entre deux grands séismes, l'interface de subduction est bloquée et génère une forte déformation élastique des plaques mesurable en surface à proximité de la faille.

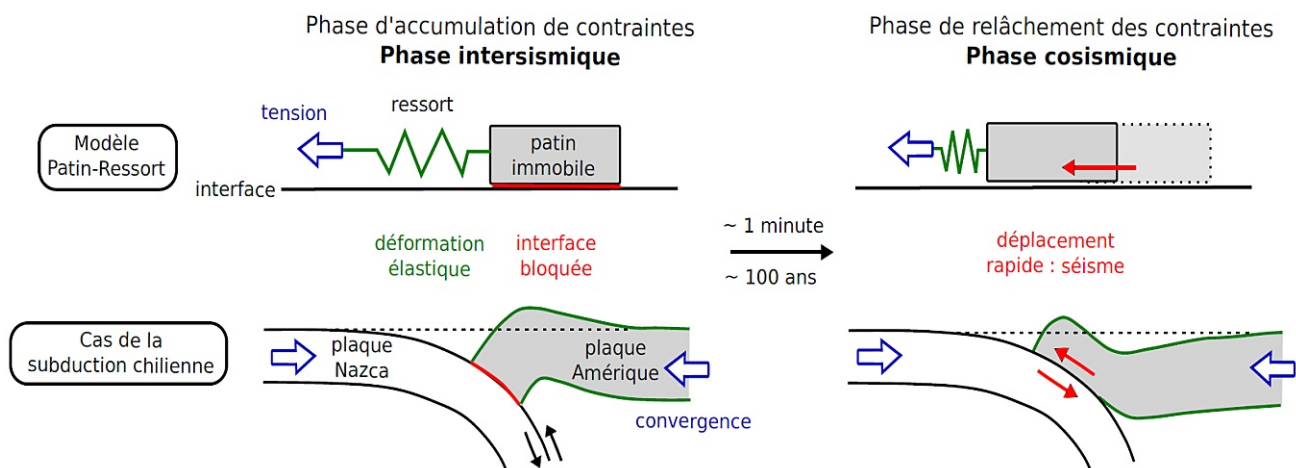


Fig. 2 - Analogie entre un système patin-ressort classique et le fonctionnement d'une zone de subduction

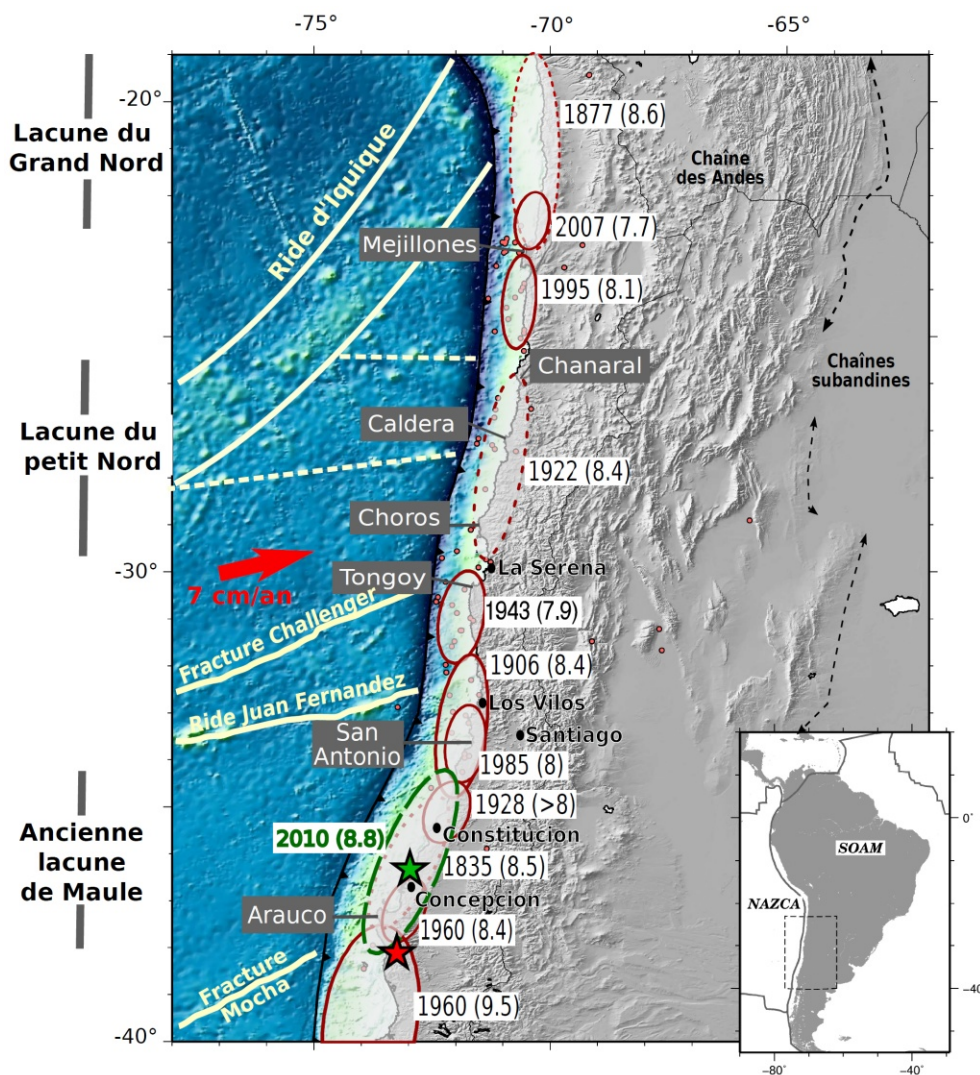


Fig. 3 - Contexte tectonique (rides et fractures océaniques, péninsules) et sismicité historique du Chili depuis 1860.

Face à l'ampleur de ces catastrophes, la communauté scientifique est confrontée à l'enjeu de leur prévision. Si la prédiction des séismes n'est pas à l'ordre du jour, on tente aujourd'hui d'estimer au mieux l'aléa sismique, c'est à dire la probabilité d'occurrence d'un séisme en une région donnée.

Une des façons de détecter les zones fortement exposées consiste à quantifier le degré de blocage (ou couplage) entre les plaques pendant la phase intersismique qui précède la rupture : plus le blocage est fort, plus le potentiel sismique est

important. Or, la déformation des plaques dépend de la valeur du couplage.

Mesurer la déformation du Chili entre deux grands séismes devrait donc donner accès au couplage actuel sur la subduction et au potentiel sismique. C'est l'hypothèse de départ de cette thèse.

La côte chilienne, proche de la zone de subduction, est fortement affectée par la déformation élastique liée au blocage. Pour la mesurer, des réseaux de marqueurs fixes ont été installés depuis les années 90 et leur position a

été mesurée au millimètre près à l'aide de récepteurs GPS (Global Positioning System). Il suffit de réitérer la mesure tous les ans et de suivre l'évolution de la position de chaque marqueur pour calculer sa vitesse de déplacement.

En 2009, on connaissait déjà les grandes lignes de la déformation du Chili mais les réseaux étaient lâches et les mesures peu précises. Nous avons cependant utilisé une partie de ces données anciennes pour obtenir la carte des variations du degré de blocage dans le centre du Chili.

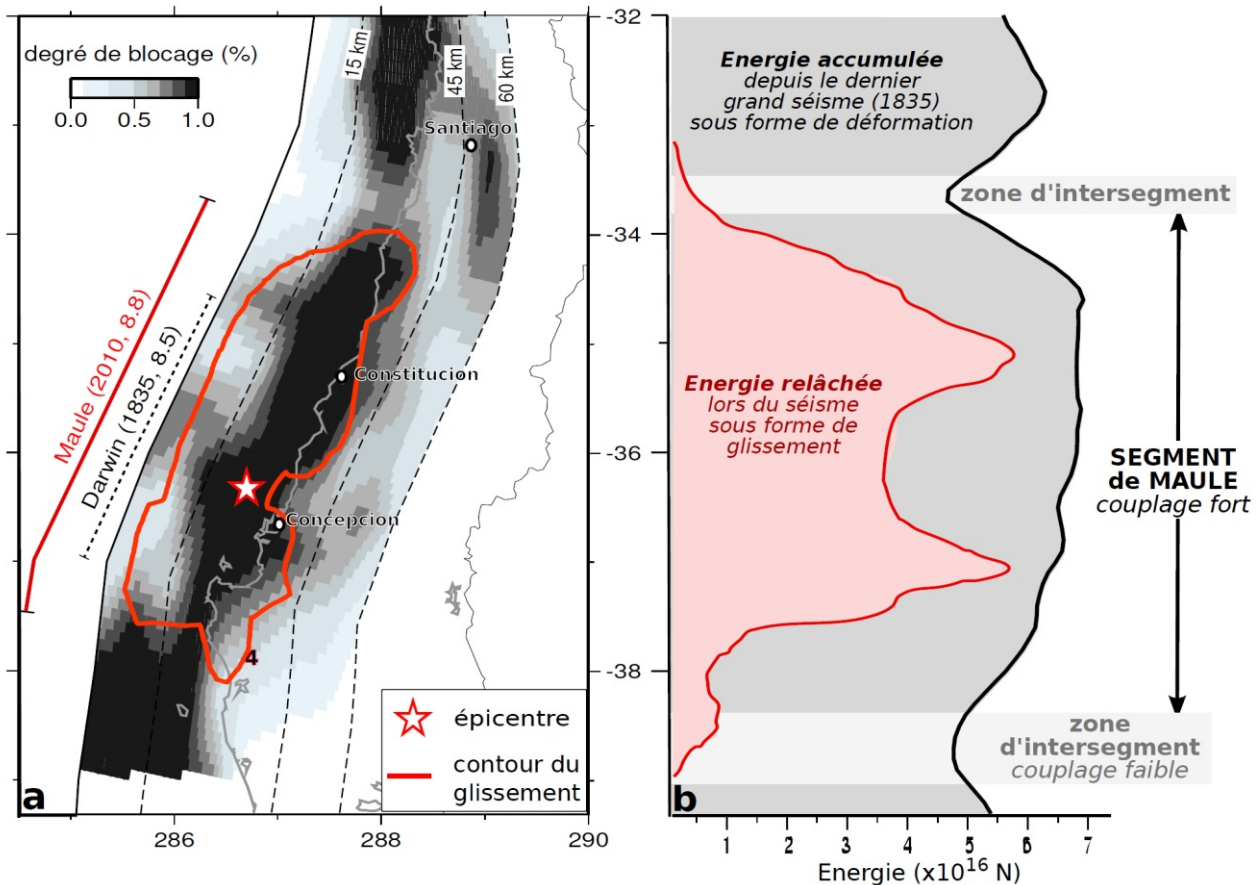


Fig. 4 - a- Comparaison entre le couplage intersismique et le glissement cosismique du séisme de Maule. b- Energie accumulée pendant la phase intersismique et relâchée pendant le séisme.

Nous venons de montrer que le couplage variait fortement avec la latitude et qu'une des zones les plus couplées du pays était la région de Maule (38-34°S) intacte depuis 1835, lorsqu'un fort séisme secoua cette région le 27 février 2010. Ce séisme majeur (Mw 8.8) a été suivi d'un tsunami qui a ravagé la ville de Constitución et causé de nombreuses victimes.

La correspondance entre le glissement cosismique et le couplage intersismique est

frappante : le séisme a rompu la portion de l'interface qui était préalablement bloquée et s'est arrêté là où le couplage diminuait fortement. Dans le détail, la corrélation est imparfaite mais le séisme de Maule constitue un solide point d'appui en faveur de

l'hypothèse voulant que les zones fortement bloquées détectées par GPS et intactes depuis longtemps ont une forte probabilité de rupture future.

Fig. 5 - Photographie du site de mesure GPS dans la baie de Constitución ravagée par le tsunami associé au séisme de Maule.



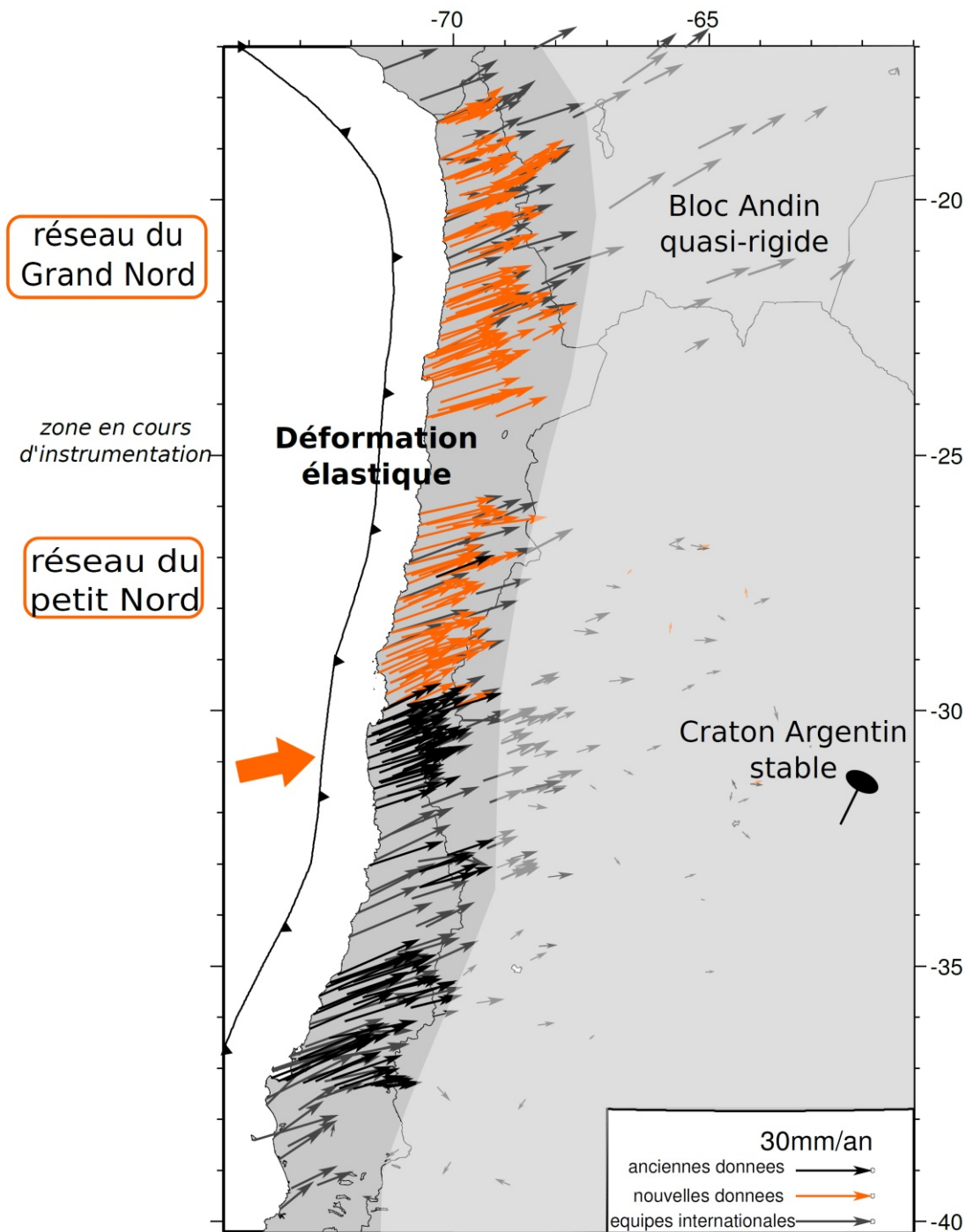


Fig. 6 - Carte de la déformation intersismique mesurée sur la marge chilienne avant et après 2009.

Nous sommes donc face à un défi de taille. Si cette hypothèse est valable, il est urgent de cartographier le couplage sur l'ensemble du Chili notamment dans deux régions qui n'ont pas rompu depuis au moins 90 ans : le grand Nord et le petit Nord.

A partir de juin 2010 nous commençons un long travail

d'installation et de mesure de nouveaux réseaux de marqueurs GPS dans ces deux régions très peu instrumentées. Cinq missions de terrain ont été nécessaires pour collecter suffisamment de données brutes que nous traiterons par la suite afin d'extraire une position précise au millimètre près, puis une vitesse.

Enfin, en juin 2012, les vitesses obtenues sont suffisantes pour inverser les variations du couplage sur l'ensemble de la zone de subduction.

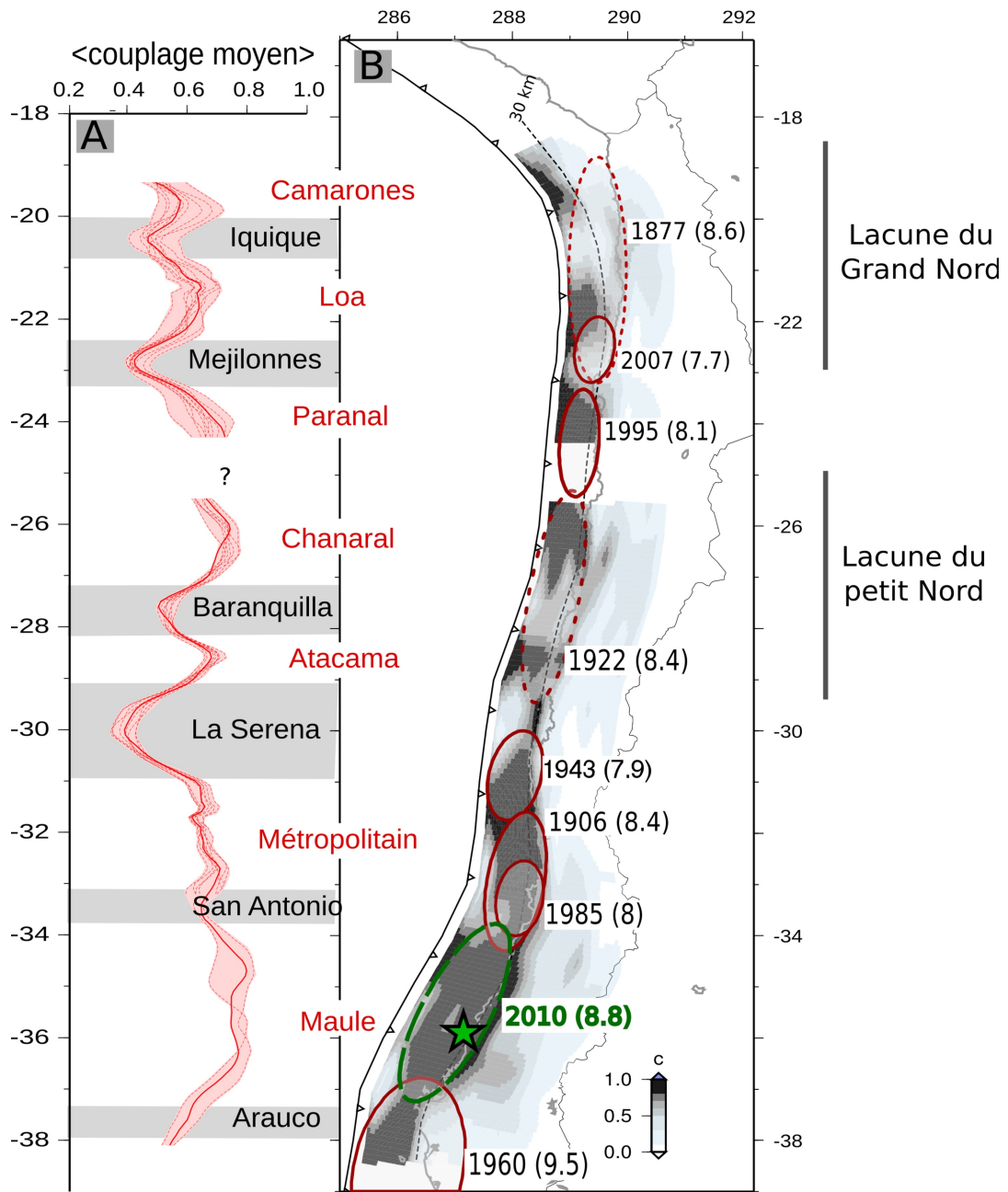


Fig. 7 - Carte du couplage pendant la phase intersismique (B) et courbe de variation du couplage moyen (A). La segmentation est indiquée par la succession de segments (rouge) et intersegments (noir).

La carte du couplage intersismique au Chili qui est l'aboutissement de mon travail de thèse montre d'abord qu'il existe une alternance de larges zones fortement couplées et d'étroites zones découplées : on parle de segmentation de la subduction. L'étendue des segments fortement couplés correspond bien à celles des grands séismes historiques qui semblent

limités par les zones intersegments.

Chaque segment ainsi imagé est suffisamment couplé et ce sans doute depuis assez longtemps pour pouvoir rompre lors d'un séisme de magnitude 8 environ. Les deux lacunes sismiques du Chili (grand et petit Nord) correspondent à des zones complexes composées de plusieurs segments dont la

rupture conjointe pourrait conduire à des séismes de magnitude proche de 9.

Si de nombreuses questions persistent sur les facteurs contrôlant le couplage, ou sa stabilité dans le temps, son interprétation est une piste prometteuse pour estimer au mieux l'aléa sismique dans les zones de subduction.