

Rapport Scientifique sur les activités menées par le LIA « Montessus de Ballore »

- 2017 -

Co-responsables : Gabriel Vargas (U-Chile-Géologie), Christophe Vigny (ENS)

En 2017, les activités coordonnées dans le cadre du LIA ont porté essentiellement sur les suites d'un grand séisme de subduction (Illapel Mw 8.3 du 17 Septembre 2015) et l'étude d'une crise sismique (Valparaiso Juin 2016). En parallèle, les opérations de maintenance de la contribution française au réseau IPOC du grand Nord Chilien ont été poursuivies.

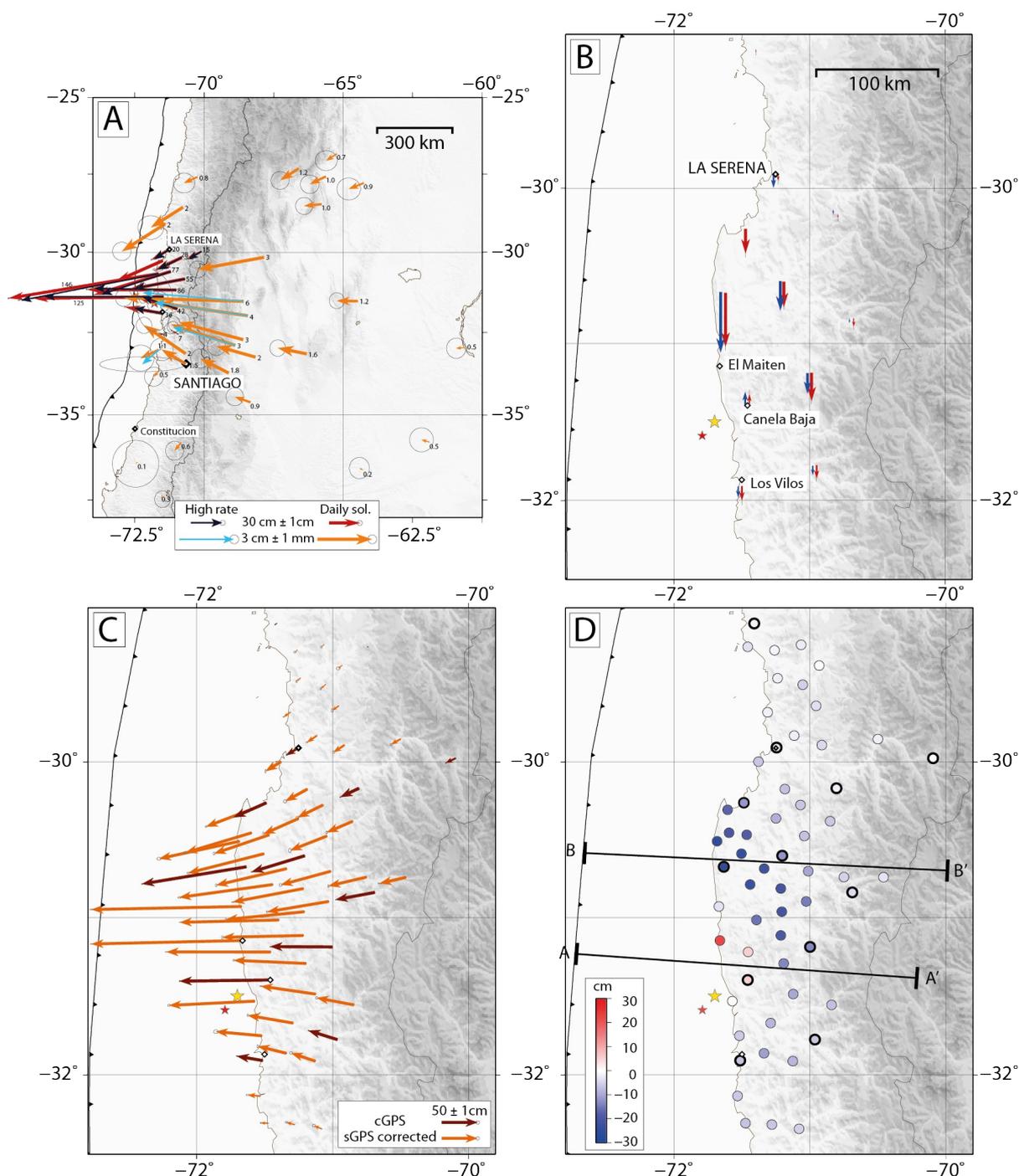
L'occurrence du séisme d'Illapel qui vient combler un gap de 70 ans, est l'occasion d'étudier le déclenchement des segments les uns après les autres et les phénomènes de propagation des contraintes suites au séisme géant de Maule de 2010. Les ruptures successives de 2010, 2014 et 2015, sont inhabituellement proche dans le temps pour la subduction chilienne qui produit usuellement un séisme de magnitude largement supérieure à 8 par décennie. « L'activation » de la sismicité devant la zone de Valparaiso, entre les segments sismiques de Maule 2010 et Illapel 2015, et donc dans une zone de déformation post-sismique consécutive aux deux séismes maximum, s'inscrit dans ce contexte particulièrement « tendu ». La question se pose de la mise en place d'une séquence de ruptures (sismiques et a-sismiques, sous forme de grandes ruptures singulières et/ou d'essaims de sismicité) destinées à rompre la quasi totalité de l'interface tout au long du Chili, ou à tout le moins sur la longueur d'un séisme historique géant : la rupture de 1730...

Fin 2016, le groupe de chercheurs impliqués dans le projet ANR « MEGA CHILE » a organisé un mini colloque de prospective sur la thématique de la sismo-tectonique au Chili. Le symposium a eu lieu à Santiago, le 24 Nov. 2016 où il a réuni une cinquantaine de personnes. Il a été suivi d'un « field trip » d'une semaine, suivit par une douzaine de chercheurs.

Comme d'habitude, il convient de noter que la plus grande part des activités menées dans le cadre du LIA sont soutenues par des financements extérieurs : projets ANR (MEGA-Chile sur 2013-2015), projets CONYCIT, BQR ENS [IDEX PSL], BQR IPGP et LABEX UNIVEARTH Paris-7 [IDEX Sorbonne Paris Cité]; soutien chantier instrumenté labélisé INSU, ITN Européen ZIP, etc ... Le financement du LIA stricto-sensu permet l'animation scientifique et une participation à la maintenance des infrastructures d'observation, il ne représente que quelques % des sommes totales engagées. Pour autant, ces financements extérieurs s'épuisent, en particulier avec l'échec d'un projet coopératif soumis à l'ANR à l'appel d'offre 2017.*

1. **Post-sismique du séisme d'Illapel du 17 Septembre 2015, Mw 8.3 (Vigny, Klein, ...)**

Le réseau de marqueurs géodésiques de la région affectée par le séisme d'Illapel a été re-mesuré partiellement en Novembre 2017. les données sont en cours de traitement et seront assimilées aux données de stations permanentes de la région. L'objectif est d'augmenter la densité de points de mesure, en particulier au plus proche de la côte où les gradients de déformation sont les plus importants et où, dans les premiers temps, l'after-slip prévaut sur la relaxation visco-élastique.



2. Observation inclinométrique de la phase post-sismique du séisme majeur d'Iquique du 1er avril 2014. Et observation de plus de 10 ans de donnée à la station inclinométrique pendulaire de Pisagua (Boudin, Bernard, ...)

1 Observations courtes périodes

Début juin 2014, nous avons pu remettre en route la station inclinométrique longue base (~50 m) de Santa Rosa se trouvant à quelques kilomètres d'Iquique. Elle s'était arrêté de fonctionner correctement juste après le séisme d'Iquique Mw8.2. Les capteurs en silice n'étaient pas cassés mais les flotteurs les composant avaient coulés dans le niveau, certainement du aux fortes ondes verticales générées par le séisme. Elle possède 2 composantes NS et EW. Leur résolution a pu être améliorée et peut être désormais proche de quelques 0.1 nrad grâce à un échange standard du système d'enregistrement 18 bits (type Datalogger) par une REFTEK S130s-01, 24 bits. Nous avons également augmenté la cadence d'échantillonnage en passant de 1/30 Hz à 20 Hz, ce qui nous permet de beaucoup mieux interpréter les événements lents ou où les événements cosismiques de très faibles amplitudes quelques nrad et de très faible durée inférieure à 30 secondes (voir figure1).

Nous avons également concaténé plus de 10 ans de données inclinométriques pendulaire à la station de PSGA.

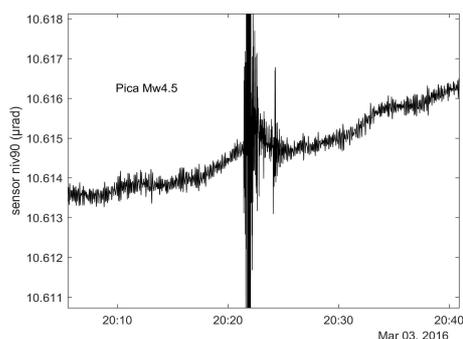


Figure 1a : observation d'un séisme profond proche de Pica. Mw4.5

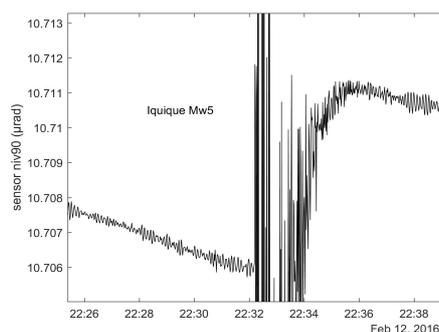


Figure 1b ; observation d'un séisme sur la zone de couplage proche de Iquique, Mw5.

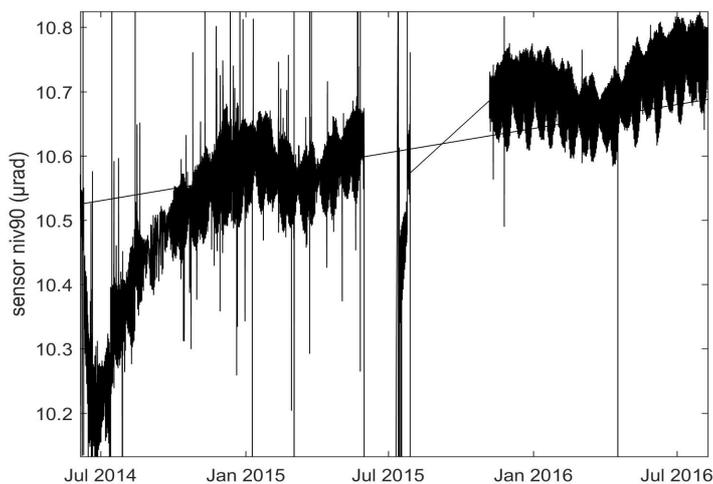
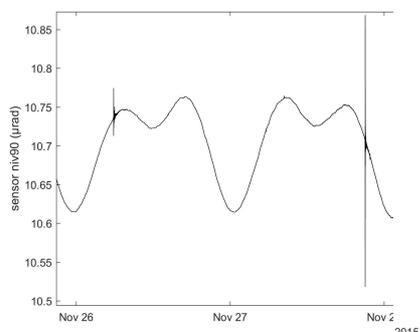
2 Observations longue période.

A) station inclinométrique longue base de Santa Rosa.

Nous avons traité l'ensemble des données des inclinomètres longue base de la station Santa Rosa de juin 2014 à novembre 2017. Nous pouvons voir la relaxation pendant la phase post-sismique enregistrée par la composante EW sur la figure 2.

Ces observations devront être comparées avec les déplacements enregistrés pendant la même période par les stations GPS se trouvant proche de la station inclinométrique de Santa Rosa.

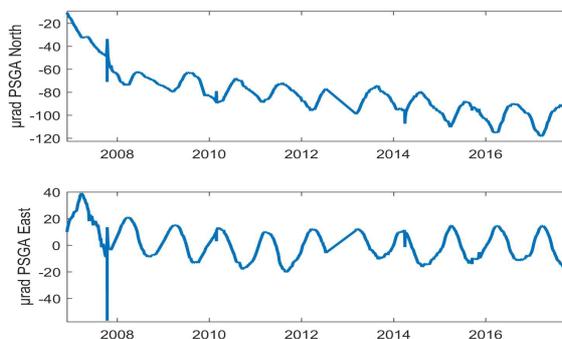
Figure2 droite : Observation de la phase post-sismique en direction EW sur l'inclinomètre longue base.
Figure2 gauche : zoom marée.



B) station inclinométrique pendulaire de Pisagua (PSGA).

Nous présentons ici l'ensemble des données obtenues à la station de Pisagua de 2006 à 2017 (voir figure 3. Soit au moins plus de 10 ans de données. Il s'agit d'une des plus longue série inclinométrique obtenue, sans grande coupure de donnée avec un pas d'échantillonnage de 2 minutes. Seule une coupure de mi juillet 2012 à début mars 2013 est arrivée. Tous les composants de la chaine de mesure de la station du début de l'enregistrement jusqu'à maintenant sont identiques.

Figure 3 : Enregistrement inclinométrique obtenu sur la station de Pisagua (PSGA) en direction NS et EW, de 2006 à fin 2017.



3) 1ère analyse des données des 2 stations (SANTA ROSA et PSGA).

Pendant la phase post-sismique, l'inclinaison enregistrée en direction EW sur les 2 stations se dirige vers l'Est. Mais il sera nécessaire de faire une analyse par ondelette ou une déconvolution du cycle annuel important enregistré sur PSGA produit par un stress thermique.

Sur la station inclinométrique longue base de Santa Rosa, la plus grande stabilité permet de mieux apprécier l'évolution long terme de la phase post-sismique. Il reste cependant un petit cycle annuel à comprendre.

3. Crise sismique de Valparaiso (Aden-Antoniow, Satriano, Poiata, Vilotte, ...)

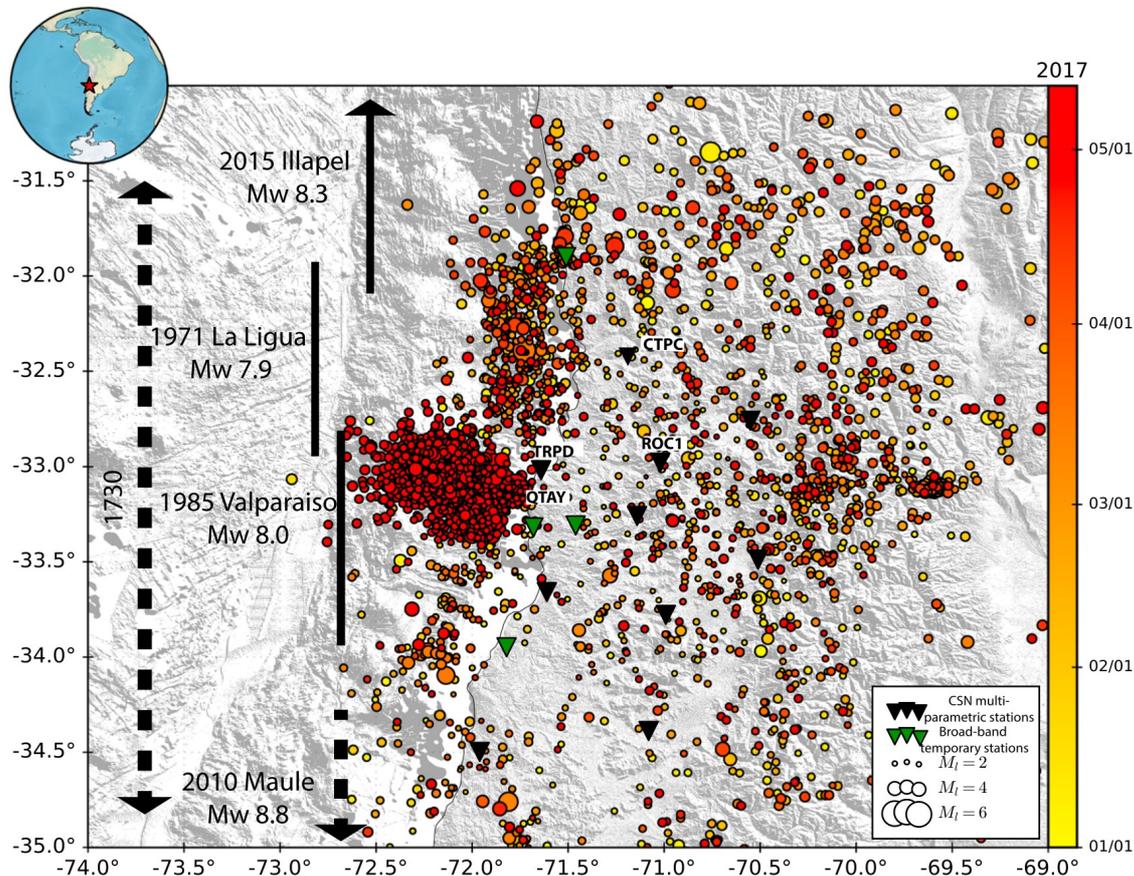


Figure 1. Sismicité détecté depuis le 1er Janvier jusqu'au 12 Mai 2017. La grande concentration de séisme autour de la latitude -33.0° et de la longitude -72.2° correspond à la séquence de Valparaiso. Les triangles inversés représentent les stations sismiques utilisées pour cette étude: en noir, les stations permanente et en vert les stations temporaires déployées pour l'étude et par le CSN. Les lignes pleines verticales montrent approximativement les longueurs de ruptures des derniers séismes ayant eu lieu sur l'interface de subduction, tandis que les lignes pointillées sont associées aux séismes de 2010 et 1730. Les noms de code indiquent les antennes GPS les plus proches de la séquence de Valparaiso.

Ce travail a été réalisé au cours d'une mobilité internationale effectuée au laboratoire de Géophysique de l'Université du Chili à Santiago entre juin et juillet 2017. Ce projet a été financé par l'école doctorale de l'Institut de Physique du Globe de Paris. Il s'inscrit dans le cadre d'un article publié dans la revue *Geophysical Research Letter* (GRL) ([Ruiz, Aden-Antoniow et al. 2017](#)).

La séquence de Valparaiso d'avril 2017 se localise au niveau de la partie centrale de la subduction chilienne, une zone très active sismiquement où le dernier grand séisme est survenu en 1730. Une activité intense a commencé deux jours avant le séisme le plus puissant de la crise (Mw 6.9 – 22 Avril 2017), puis a migré vers le sud avant de progressivement s'éteindre après quelques jours.

Pour mieux étudier les mécanismes de déclenchement de cet essaim, nous avons construit un catalogue plus complet de la sismicité de la région depuis le 1er Janvier jusqu'au 15 Mai 2017. Nous avons utilisé la méthode BackTrackBB [Poiata et al. 2016], basée sur les temps de retard des ondes de volume (P ou S) observées pour chaque paire de stations que nous avons utilisées, issues du réseau Red Sismologico National (C1). Cette méthode permet la détection et la localisation automatiques de séismes à partir de sismogrammes continus.

Ce catalogue est composé de 4,356 séismes dont 2,329 uniquement pour la séquence de Valparaiso (Figure 1). Nous avons détecté un très grand nombre de séismes de magnitude inférieure à 3.8, qui était auparavant la limite de detection du catalogue du Centro Sismologico National (CSN) pour la même période et la même zone. Nous situons la limite de notre catalogue autour de 2.8. Pour près de 88 séismes de magnitude supérieure à 3.5, nous avons calculé le mécanisme au foyer associé de façon automatique en suivant la méthode de Vackář et al. [2017]. Cela permet notamment de contraindre l'orientation du plan de faille. Ainsi, nous avons pu observer que la majorité des séismes de l'essaim sismique de Valparaiso était située sur l'interface entre les plaques Nazca et Sud-Américaine (Figure 2).

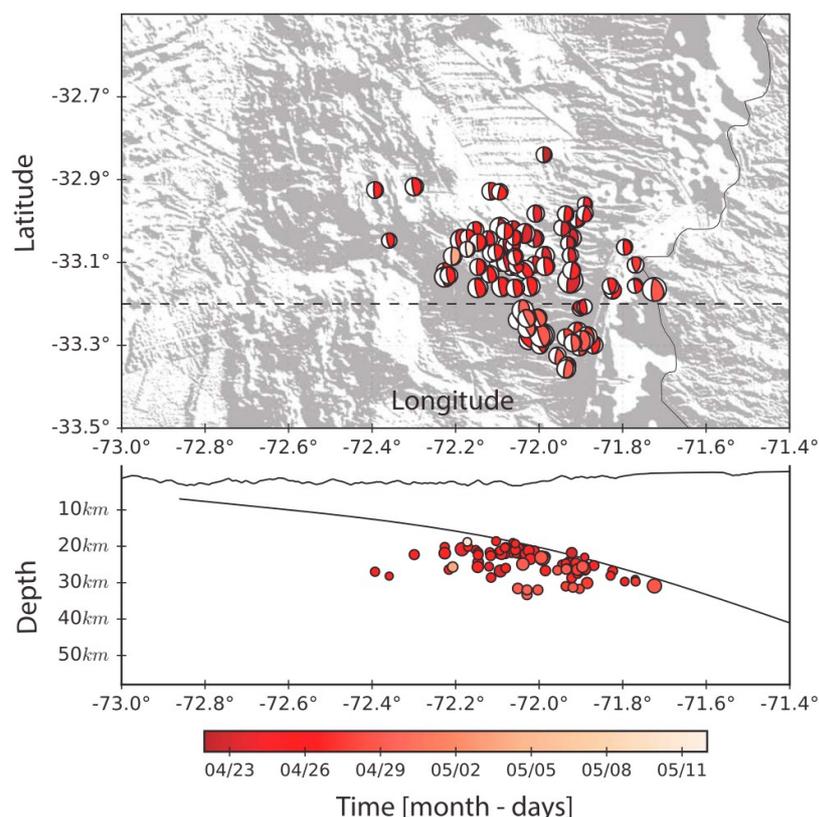


Figure 2. Mécanismes au foyer pour 88 séismes avec une magnitude supérieure à 3.5. La sismicité a commencé à une latitude d'environ 31.10°S, puis après le choc principale du 22 Avril, celle-ci a migré vers le sud à environ 33.30°S. Une grande majorité des mécanismes correspondent à une rupture sur l'interface entre les deux plaques.

À partir de ce catalogue, notre groupe de travail a cherché des séismes présentant des formes d'ondes similaires à chaque station, pouvant être interprétés comme les multiples ruptures d'un même segment de la faille. 93 séismes ont ainsi été identifiés, dont 39 entre le 20 avril

et le séisme de magnitude 6.9 du 22 avril 2017. Nous expliquons cela par la présence d'un glissement transitoire dans le temps et l'espace le long de l'interface de subduction, qui a pu forcer une même portion de la faille à rompre plusieurs fois. Les relevés GPS des stations à proximité confirment l'existence d'un glissement précurseur le long de la faille, ne pouvant être expliqué que par le grand nombre de séismes que nous avons détectés.

Enfin, cet essaim sismique peut être le début d'une phase de nucléation, beaucoup plus longue, d'une rupture majeure potentiellement équivalente au séisme de 1730. Il est d'un intérêt capital d'étudier ce type de séquences sismiques "anormales" en détail, en associant tous les observables à notre disposition telles que les données géodésiques et sismologiques pour mieux comprendre leurs mécanismes et leurs caractéristiques.

Site web / bases de données : le site WEB du LIA est consultable sur :

<http://www.lia-mdb.net>

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

Echanges/visites: le LIA coordonne une activité scientifique basée sur des échanges, des visites et des séjours de plus ou moins longue durée d'étudiants et de chercheurs français et chiliens, au Chili ou en France.

1. Réunion fin d'ANR MEGA-Chile à Santiago – 24 Novembre 2016
<http://megachile.blogspot.fr/2016/11/fallas-y-sismos-en-chile-workshop.html>
2. Field-trip préparation projet ANR (11 participants) - Novembre 2016

Campagnes de mesures et maintenance réseaux :

cGPS : Coquimbo	Nov. 2016.	7j	Vigny/Klein	LIA
cGPS : Coquimbo	Avril 2017	7j	Vigny	LIA
GPS : Illapel	Nov. 2017	18j	Vigny	LIA
IPOC	Oct/Nov 2017	25j	Assaoui El Madani/ F. Boudin	LIA

Rapports internes consultables sur la page web du LIA

1. [Rapport-missions-cGPS-Choros-2016_2017.pdf](#) Rapport de maintenance et d'installation de stations cGPS dans la région de Coquimbo/Choros 2016-2017 [Emilie Klein & Christophe Vigny, Novembre 2016 - Avril 2017 - Novembre 2017].
2. [Rapport_IPOC_2017.pdf](#) Rapport maintenance du réseau sismologique IPOC (Nord Chili) - activités 2017 [El-Madani Assaoui & Frédéric Boudin, Novembre 2017].
3. [CR-missionsGPSnov2017.pdf](#) Rapport sur la remesure partielle du réseau de la région d'Illapel [Christophe Vigny , Novembre 2017].

Communications à divers congrès et colloques

1. Recent GPS surveys reveal coupling complexities in the TalTal area, Chile (24°S-26°S) : Consequences on seismic hazard in the Atacama region
Vigny, C., E. Klein, M. Métois, G. Meneses and A. Delorme
abstract S53C-0728 , AGU Fall Meeting 2017, New Orleans.
2. Transitory signal in the Copiapo region of the Chilean subduction zone
Klein, E., C. Vigny, D. Zigone, Z. Duputel, C. Doubre and G. Meneses
abstract S51G-04, AGU fall meeting 2017, New Orleans
3. The rigid Andean sliver hypothesis challenged: impact on interseismic coupling on the Chilean subduction zone
Métois, M.,
abstract S51G-05, AGU fall meeting 2017, New Orleans
4. Analysis of the intermediate-depth seismicity during the year preceding the 2014 Mw 8.2 Iquique earthquake and its possible implication in the megathrust triggering process
Aden-Antoniow, F., C. Satriano, P. Bernard, N. Poiata, E. Aissaoui and J.-P. Vilotte
abstract S53C-0725, AGU fall meeting 2017, New Orleans

Les abstracts sont disponibles en ligne sur le site Web du LIA, à la rubrique «[publications] – [Talks and presentations]

Articles publiés/soumis

1. A Comprehensive analysis of the Illapel 2015 Mw8.3 earthquake from GPS and InSAR data
Klein, E., C. Vigny, L. Fleitout, R. Grandin, R. Jolivet, E. Rivera, and M Métois
Earth and Planetary Science Letters, April 2017, [doi:10.1016/j.epsl.2017.04.010]
2. Nucleation Phase and Dynamic Inversion of the Mw 6.9 Valparaíso 2017 Earthquake in Central Chile
Ruiz, S., F. Aden-Antoniow, J. C. Baez, C. Otarola, B. Potin, F. del Campo, P. Poli, C. Flores, C. Satriano, F. Leyton, R. Madariaga and P. Bernard
Geophysical Research Letters, October 2017, [doi : 10.1002/2017GL075675]
3. Bridging the gap between North and Central Chile : insight from new GPS data on coupling complexities and the Andean sliver motion
Klein, E., M. Métois, G. Meneses, C. Vigny and A. Delorme.
Submitted to *Geophysical Journal International*, September 2017

Annexe A – Bilan financier

DATE	N° Cde	FOURNISSEUR/AGENT	OBJET	TOTAL FACTURE €	commentaires
NOTIFICATION 2017 : 15 000 €					
MISSIONS					
22/10->06/11		Assaoui, El Madani Boudin, Frederik	Mission maintenance IPOC	7 000,00	forfaitisé
13/11->28/11		Vigny, Christophe	Mission GPS Illapel	3 989,72	BT+IJ
10/12 - 18/12		Vigny, Christophe	AGU – NO, USA	3 372,31	BT+IJ+inscription
Sous-Total Missions				6 732,39	
AUTRES DEPENSES FONCTIONNEMENT					
Sous total dépenses fonctionnement				14 362,03	
TOTAL DES DEPENSES 2017				14 362,03	