

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

- sur la période de 5 ans : 2007-2011 -

Co-responsables : Gabriel Vargas (U-Chile, Géologie), Jaime Campos (U-Chile-Géophysique), Jean-Pierre Vilotte (IPGP), Christophe Vigny (ENS)

Ce rapport reprend les éléments essentiels de ce qui a été fait sur la période initiale de 5 ans de vie du LIA, en vue de son renouvellement. L'accent est mis sur les actions qui entrent précisément dans le cadre de la coopération franco-chilienne et de son développement grâce au laboratoire, plutôt que sur l'activité scientifique déjà décrite dans chaque rapport annuel.

Sur cette première période de 5 ans, le LIA a tenté la mise en place d'un processus d'échanges et d'interactions entre les laboratoires Français et Chiliens contribuant au LIA. C'est dans ce cadre que plusieurs missions de longue durée (4-5 mois) ont été effectuées par des chercheurs français au Chili, et que des étudiants chiliens en co-tutelle ont effectué des séjours en France. Toujours dans ce cadre, une série de cours (en géodésie) a été officiellement intégrée dans le cursus de l'Université du Chili au niveau master (en 2008, et malheureusement pas reconduits ensuite par manque de volonté essentiellement). Enfin une ouverture vers les sciences sociales a eu lieu dans le cadre des études menées par B. Soulé sur les crises de Puerto Aysen (2007) et Maule (2010). En continu, le LIA a conduit sa tâche essentielle : assurer le développement et la maintenance des réseaux d'observation (GPS, sismo, inclinométrie). Le LIA a assuré la liaison entre les différents partenaires de plusieurs projets financés par l'ANR en France et le CONYCIT au Chili, ainsi que la coordination de cet ensemble avec des acteurs étrangers de la recherche au Chili en sciences de la Terre : Le Caltech, USA et le GFZ Potsdam. Le CNRS a d'ailleurs signé un accord de coopération avec le GFZ qui dépasse largement le LIA mais qui a identifié la coopération franco-allemande au Chili sur les thèmes du LIA comme un axe fort.

A la fin de cette première période, l'activité du LIA a été évaluée très positivement par son conseil scientifique.

Faits marquants

Echanges franco-chiliens

- séjour de longue durée (5 mois : mars-juillet 2008) de C. Vigny (ENS) à l'U-Chile
- séjour de longue durée (4 mois : mars-juin 2010) de A. Socquet (IPGP) à l'U-Chile
- séjour de longue durée (4 mois : mars-juin 2010) de B. Soulé (U. Caen) à l'U-Chile
- post-doc Daniel Carrizo
- séjour Patricio Toledo
- Thèse co-tutelle Sergio Ruiz
- Thèse master Gianinia Meneses
- Cours de géodésie-géodynamique (mars-juin 2008) : un module de 30h a été introduit dans le cursus de master de géosciences de l'U-Chile (cours 764), et réalisé par un intervenant français (C. Vigny).

Crises & Interventions

- Crise et Tsunami d'Aysen (Janvier-Avril 2007) : déploiement d'un réseau GPS de suivi de la déformation dans le Fjord
- Séisme de Tocopilla Mw 7.7 (14 Novembre 2007) : mesures post-sismiques en Juin 2008 et Décembre 2008
- Crise sismo-volcanique de Chaiten (Mai 2008) : déploiement en urgence d'un réseau de monitoring du volcan.
- Séisme de Maule Mw 8.8 (27 Février 2010) : mesures post-sismiques et déploiement en urgence (3 jours après le séisme) d'un très important réseau sismo/géodésique (~50 stations, 1 ½ tonne de matériel, 12 personnes plusieurs semaines)

Collaborations internationales et structuration

Parallèlement, les collaborations avec le GFZ Potsdam ont été structurées au travers d'un accord cadre (MOU) associant le CNRS/INSU et le GFZ. Cet accord officialise la création du réseau IPOC, son opération et sa maintenance. Ce réseau comprend aujourd'hui 4 stations françaises et 20 stations allemandes. Cet accord a également pour but de renforcer nos échanges scientifiques en organisant des réunions régulières (scientifiques ET techniques) entre les participants au LIA et le GFZ. L'accord initial a abouti à la création (convention en cours de signature en mars 2013) d'un Laboratoire Européen Associé CNRS/GFZ.

Les collaborations avec nos collègues chiliens et allemands ont été matérialisées par la coordination de plusieurs sessions consacrées à la zone de subduction chilienne dans les congrès de l'EGU et de l'AGU. Sessions dans lesquels nous avons pu faire des présentations communes ; et des publications communes en cours dans revues internationales.

Réseaux instrumentaux et bases de données

1. Instrumentation et infrastructure

Réseaux GPS/sismo/inclino (voir tables et cartes en annexe)

Le réseau cGPS a été porté de 16 stations existantes avant le projet (6 dans le Nord et 10 dans le centre) à 54 stations, **dont 46 sont opérationnelles aujourd'hui** (8 vandalisées ou abandonnées). Par ailleurs, nous avons réalisé la jouvence d'un certain nombre de stations existantes de manière à améliorer la capacité et la cohérence du réseau. En particulier, 42 stations acquièrent maintenant des données à haute fréquence (1 Hz), du type de celle qui se sont révélées si spectaculaires lors du séisme de Maule. Les réseaux sGPS de répétition ont également été développés, portant le total à **221 marqueurs mesurables aujourd'hui** de Arica à Concepcion.

Une composante d'un inclinomètre longue base a été installé dans le Nord (région d'Iquique).

En collaboration avec le GFZ Potsdam et l'Université du Chili, la région Nord Chili a été instrumenté avec la création du réseau sismologique IPOC en enregistrement continu. Le réseau IPOC comporte aujourd'hui 15 sites instrumentés (large bande, accéléromètre, inclinomètre) dont 4 sites français financés dans le cadre de l'ANR. Dans un premier temps, sept sites ont été équipés en transmission continue (HMBCX, PSGCX, MNNCX, PB01, PB04, PB07, PB09), puis un quatrième site français (PATCX) courant 2009, puis une vingtaine de stations allemandes (PB ??) ont été déployées ensuite. Le réseau IPOC est complété par la station IRIS/Geofon de Limon Verde. Ce réseau a permis d'enregistrer le séisme de Tocopilla et toutes ses répliques, et fournir pour la première des observations large bande et accélérométriques en champ proche au Chili.

Bases de données et distribution

Les données GPS continues sont rassemblées et archivées en plusieurs endroits :

- au Chili, sur le serveur GPS du DGF (<http://www.dgf.uchile.cl>)
- en France,
 - sur le serveur GPSCOPE qui rassemble toutes les données GPS des équipes françaises (<http://gpscope.dt.insu.fr>)
 - sur un serveur ftp du laboratoire de Géologie de l'ENS (<ftp://ftp.geologie.ens.fr>), qui est synchronisée toutes les 24h sur la base de données chilienne. Les données sont redistribuées aux centres de calculs partenaires (ENS, IPGP, IsTerre, IRD, GFZ, ...) à partir de ce point.
 - Sur le serveur de calcul (coherisis) de l'IPGP
- en Allemagne, sur le serveur IPOC du GFZ (<http://kg3-dmz.gfz-potsdam.de/ipoc>), synchronisé avec la base de données chilienne

Les données sont accessibles sur ces serveurs avec des modes opératoires différents. Toutefois, seules 24 stations (sur 46) sont télémetrées et envoient des données chaque jour. Les données des 22 autres sont stockées sur place, puis récupérées lors de visites irrégulières aux stations et enfin archivées et diffusées sur la base avec un délai de l'ordre de plusieurs mois (Voir table en annexe).

Les données acquises lors de campagnes GPS intermittentes ont été recensées, ordonnées et archivées. La base de données ainsi constituée comprend 41 campagnes réalisées entre 1991 et 2013.

Les données sismologiques en transmission continues sont aujourd'hui distribuées en temps quasi-réel par Geofon (Potsdam) (<http://geofon.gfz-potsdam.de/geofon/status/index.html>), et prochainement par Geoscope (<http://geoscope.ipgp.jussieu.fr/>). Par ailleurs, l'ensemble des données sont également rassemblées sur plusieurs serveurs de base de données au GFZ Potsdam, IPG Paris et DGF Santiago. Ces serveurs de base de données sont en passe d'être inter-opérés dans le cadre du LIA.

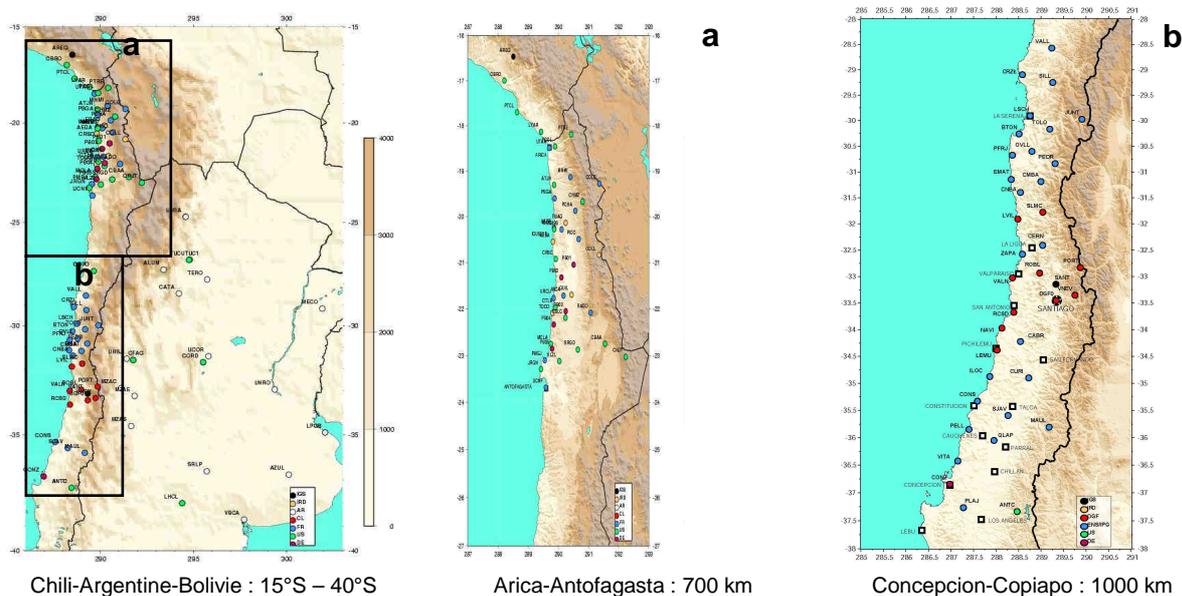
Traitement des données et Calculs

Les données **géodésiques** provenant du réseau de stations permanentes sont traitées et calculées de différentes manières par les différents centres qui les hébergent et les reçoivent.

- en France,
 - DT-INSU. Un calcul automatique de l'ensemble du réseau est effectué régulièrement à la DT-INSU sur le serveur GPScope () sous la responsabilité d'O. Charade. Ce calcul (logiciel GAMIT/GLOBK) a pour objet de fournir des séries temporelles consultables en ligne rapidement, avec le délai le plus court possible entre l'acquisition de la donnée et l'affichage de la position de la station. Il ne s'agit pas d'un calcul « scientifique » destiné à fournir les séries les plus précises et les plus complètes possibles.
 - ENS. Un calcul réunissant toutes les données Chiliennes (LIA, Caltech, GFZ, OSU), Argentines (RAMSAC) et Brésiliennes (RBMC) et IGS disponibles sur la plaque Amérique du Sud est effectué à l'ENS sous la responsabilité de C. Vigny. L'objet de ce calcul (logiciel GAMIT/GLOBK) est de fournir en temps largement différé (le temps de rassembler toutes les données, y compris celle des stations non télé-transmises) les séries temporelles les plus complètes et les plus précises possibles, y compris à grande échelle (celle de la plaque) pour la modélisation des déformations post-sismiques à Maule.
 - IPGP. Le calcul des données spécifiques du nord-Chili est effectué en temps différé (logiciel GAMIT/GLOBK) sur le serveur de l'IPGP sous la responsabilité d'A. Peltier. En réalité plusieurs calculs sont réalisés : un calcul immédiat avec les données télé-transmises par satellite (latence 24h, ~1/3 des stations), un calcul différé avec les données Chiliennes parvenues dans les semaines suivantes (latence 1 mois, ~2/3 des stations), un re-calcul final, une fois toutes les données parvenues (latence variable de 6 à 18 mois).
- en Allemagne, sur le serveur IPOC du GFZ, (<http://kg3-dmz.gfz-potsdam.de/ipoc>), un calcul automatique de l'ensemble des données disponibles au Chili est effectué à l'aide du logiciel GIPSY/OASIS sous la responsabilité de M. Batsch). Une interface graphique assez élaborée permet la visualisation et manipulation des séries temporelles calculées.
- au Chili, des calculs automatiques sous la responsabilité du Service Sismologique de l'Université du Chili sont en train d'être mis en place.

Annexe 1 – Instrumentation

Réseaux GPS continus permanents



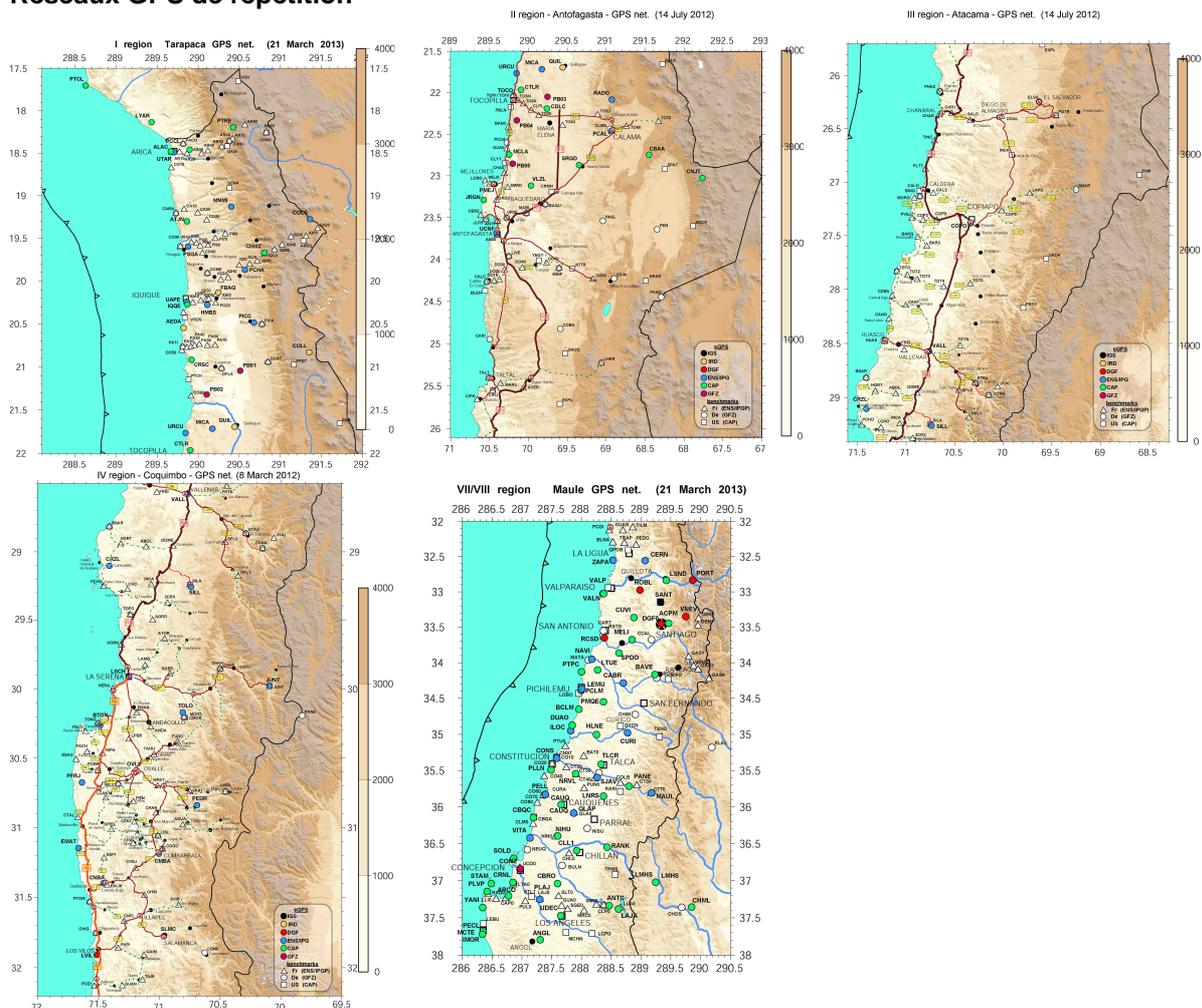
code	name	latitude (°)	longitude (°)	altitude	rec. type	sampling	data transfer	operational since
UTAR	Univ. Tarapaca, Arica	-18.490000	-70.296000	87.7	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	03-dec-2003 (up. Net-RS : 2009)
MNMI	MiniMini	-19.131409	-69.595660	2351.0	TopCon GB-1000	1Hz + 30s	VSAT	28-mar-2007
COLC	Colchane	-19.276239	-68.638618	3777.1	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	04-nov-2007 (up. Net-RS : 2009)
PSGA	Pisagua	-19.597379	-70.123014	1002.0	TopCon GB-1000	1Hz + 30s	VSAT	30-mar-2007
PCHA	Pachica	-19.869460	-69.432068	1682.7	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	03-jun-2003 (up. Net-RS : 2009)
UAPE	Univ. Arturo Prat, Iquique	-20.241667	-70.141389	56.1	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	21-may-2005 (init 1995; up. Net-RS : 2009)
HMBS	Humberstone	-20.278371	-69.887732	1208.0	TopCon GB-1000	1Hz + 30s	VSAT	29-mar-2007 - (vandalized and stopped december 2011)
PICC	Pica	-20.485000	-69.321000	1376.1	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	03-nov-2007 (init 1999; up. Net-RS : 2009)
MICA	Cerro Mica	-21.714760	-69.82728	1675.4	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	radio+VSAT	16-dec-2007
URCU	Punta Urcu	-21.763750	-70.15292	0.0	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	04-dec-2007 - (vandalized and stopped february 2009)
RADO	Radomiro tomic mine	-22.082950	-68.92680	0.0	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual - up. tel december 2011	08-dec-2007
PCAL	Calama	-22.456300	-78.929700	2300.2	Ashtech ZXtrem	----- 30s	manual	29-nov-2008 - (init 2003; abandoned 2009)
PMEJ	Punta Mejillones	-23.100000	-70.448000	48.9	Trimble Net-RS	1 Hz + 30s	internet	29-nov-2003 (up. Net-RS : 2009)
UCNF	Univ. Cat. Norte, Antofagasta	-23.680000	-70.410000	72.1	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	03-dec-2003 (up. Net-RS : 2008 ?)

code	name	latitude (°)	longitude (°)	altitude	rec. type	sampling	data transfer	operational since
FBAQ	Fuerte Baquedano	-20.134643	-69.755396	1099	Trimble Net-R9	1 Hz + 30s	manual	2003. Update Net-R9 dec 2012 - previously Ashtech ZXtrem (ant. Geod IV)
AEDA	Iquique Airport	-20.54614	-70.17770	60	Trimble Net-R9	1 Hz + 30s	internet	2003. Update Net-R9 dec 2012 - previously Ashtech ZXtrem (ant. Marine III)
COLL	Collahuasi (Mina Dona Ines)	-20.831355	-68.6498552	3913	Ashtech ZXtrem (ant. Geod IV)	----- 30s	manual	2003
QUIL	Quillagua	-21.692194	-69.557750	1230	Ashtech ZXtrem (ant. Geod IV)	----- 30s	manual	2003
TOCO	Tocopilla	-22.088848	-70.192431	93	Ashtech ZXtrem (ant. Geod IV)	----- 30s	manual	2003

code	name	latitude (°)	longitude (°)	altitude	rec. type	sampling	data transfer	operational since
VALL	Vallenar	-28,5720000	70,7643900	378,000	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	12-jun-2008

CRZL	Carizalillo	-29,1016800	71,4098700	84,000	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	15-nov-2008
SILL	La Silla	-29,2548800	70,7387600	2323,000	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	13-jun-2008
LSCH	La Serena	-29,9081920	71,2460391	77,000	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	20-nov-2006
JUNT	Junta El Toro	-29,9766100	70,0936100	2138,393	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	14-dec-2007
TOLO	El Tololo	-30,1698922	70,8060515	2229,656	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	11-may-2005
BTON	Tongoy	-30,2632247	71,4872048	39,000	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	16-nov-2006
OVL	Ovalle	-30,6037465	71,2038965	248,758	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	26-avr-2004
PFRJ	Parc Fray Jorge	-30,6747473	71,6354344	206,000	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	18-nov-2006
PEDR	Pedregal	-30,8389697	70,6891289	881,000	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	21-nov-2006
EMAT	Caletta El Maiten	-31,1466756	71,6626612	46,380	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	08-may-2007
CMBA	Combarbala	-31,1882000	70,9989700	963,589	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	08-may-2007
CNBA	Canela Baja	-31,3982223	71,4579590	316,000	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	21-nov-2006
SLMC	Salamanca	-31,7770217	70,9627940	547,638	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	28-jul-2003 (up. to Net-Rs 23-mar-2010)
LVIL	Los Vilos	-31,9092399	71,5138463	29,302	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	28-jul-2003 (up. to Net-Rs 19-may-2010)
ZAPA	Zapalar	-32,5526717	71,4655889	32	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	07-mar-2010
CERN	Cerro Negro	-32,5581160	70,9289250	599	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	06-mar-2010
PORT	Portillo	-32,8352	70,130	2925,809	Ashtech UZ-12	----- 30s	internet	11-dec-2002
ROBL	Roble	-32,9765	71,015	2255,245	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	28-oct-2008
VALN	Valparaiso_SHOA	-33,0279	71,635	119,272	Ashtech ZXtrem	----- 30s	internet	01-jan-2005
VNEV	Valle Nevado	-33,3535	70,249	3097,758	Ashtech UZ-12	----- 30s	internet	08-jan-2003
DGFI	U-Chile, Santiago	-33,4570	70,664	581,397	Trimble Net-R9	1Hz + 30s	internet	01-jan-2004 (up. to Net-R9 06-Jul-2012)
RCSD	DGAC, Roca Santo Domingo	-33,65441	71,61345	66,000	Trimble Net-RS	1 Hz + 30s	internet	16-Oct-2008
NAVI	Navidad	-33,9528340	71,8247150		Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	08-mar-2010
CABR	Las Cabras	-34,2854700	71,2963100	263	Topcon GB-1000	1Hz + 30s	manual	09-mar-2010 (vandalized and stopped 20 September 2011)
LEMU	Pichilemu	-34,3910790	72,0035420	34	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	07-mar-2010
ILOCO	Iloca	-34,9487800	72,1789700	26	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	10-mar-2010
CURI	Curico	-34,9771800	71,2261000	248	Topcon GB-1000	1Hz + 30s	manual	09-mar-2010
CONS	Constitucion	-35,3300	72,412	39,819	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	29-avr-2003
SJAV	San Javier	-35,5950	71,733	119,449	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	internet	24-jun-2003
MAUL	Laguna del Maule	-35,8090	70,821	1184,431	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	22-dec-2003
PELL	Pelluhue	-35,8278800	72,6055500	20	Trimble Net-RS	1Hz + 30s	manual	10-mar-2010
QLAP	Quella, Cauquenes	-36,0845200	72,1254800	152	Trimble Net-R9	1Hz + 30s	manual	10-mar-2010 (up. to Net-R9 ??-Nov-2012)
VITA	Vegas de Itata	-36,4235600	72,8647000	16	Topcon GB-1000	----- 30s	manual	11-mar-2010
PLAJ	Laja	-37,2566667	72,695000	16	Topcon GB-1000	----- 30s	manual	16-mar-2010 (vandalized and stopped 9 January 2012)

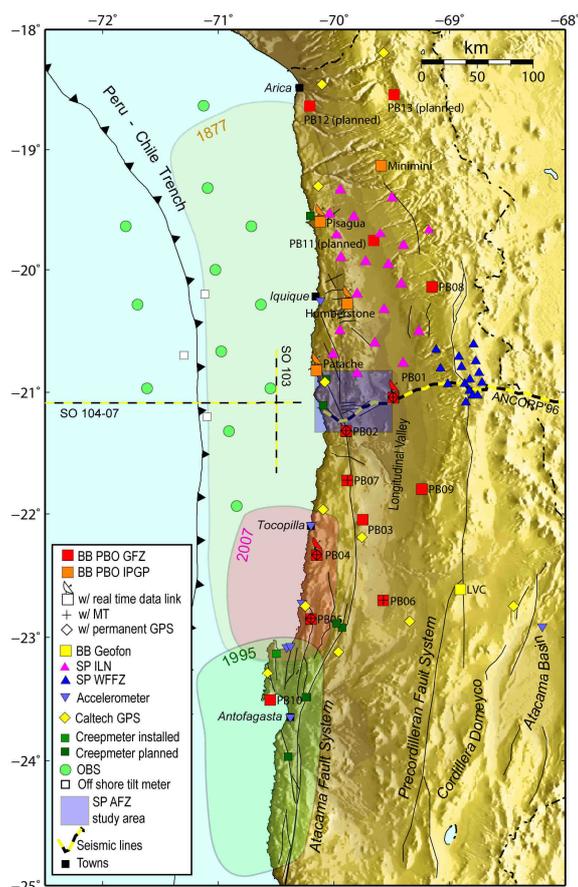
Réseaux GPS de répétition



Campagnes de mesure GPS (effectuées sur la durée du LIA)

Tocopilla	oct 2007 ()	Bejar/Carrizo/Delorme	21 points
Coquimbo	dec 2007 (15j)	Vigny	34 points
Coquimbo	avril/mai 2008 (15j)	Vigny	34 points
Tocopilla	juin 2008 (10j)	Carrizo/Vigny	21 points
Coquim+NChili	nov/dec 2008 (30j)	Bejar/Carrizo/Delorme/Vigny	71 points
Coquimbo	mai 2009 (10j)	Vigny	19 points
Coquimbo	dec 2009 (18j)	Delorme/Métois/Vigny	51 points
Maule	mars 2010 (15j)	Bondoux/Carrizo/Métois/Morvan/Pavez/Socquet/Vigny	37 points
Nord-Chili	mai/juin 2010 (33j)	Lancieri/Métois/Peyrat/Socquet/Vigny	117 points
Coquimbo	nov 2010 (17j)	Métois/Socquet/Vigny	53 points
Nord-Chili	mai/juin 2011 (33j)	Métois/Vigny	65 points
Coquimbo	nov 2011 (22j)	Vigny	47 points
Nord-Chili	avril 2012 (21j)	Carrizo/Métois/Peyrat/Socquet/Delorme	75 points
Copiapo	juin 2012 (21j)	Vigny	30 points
Coquimbo	nov/dec 2012 (15j)	Vigny	34 points

Réseau sismologique IPOC



Installation type d'un site

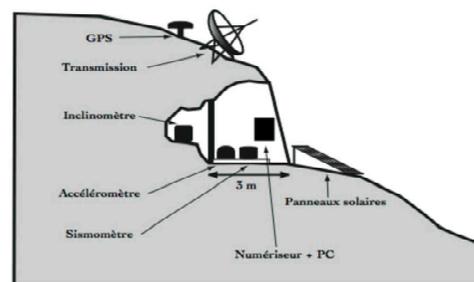
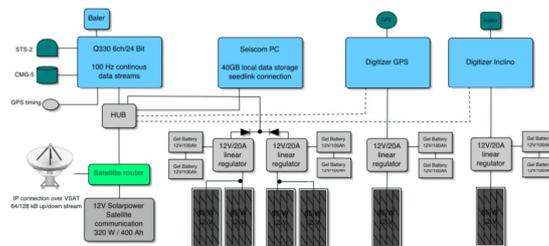


Figure 7. Schéma d'un site



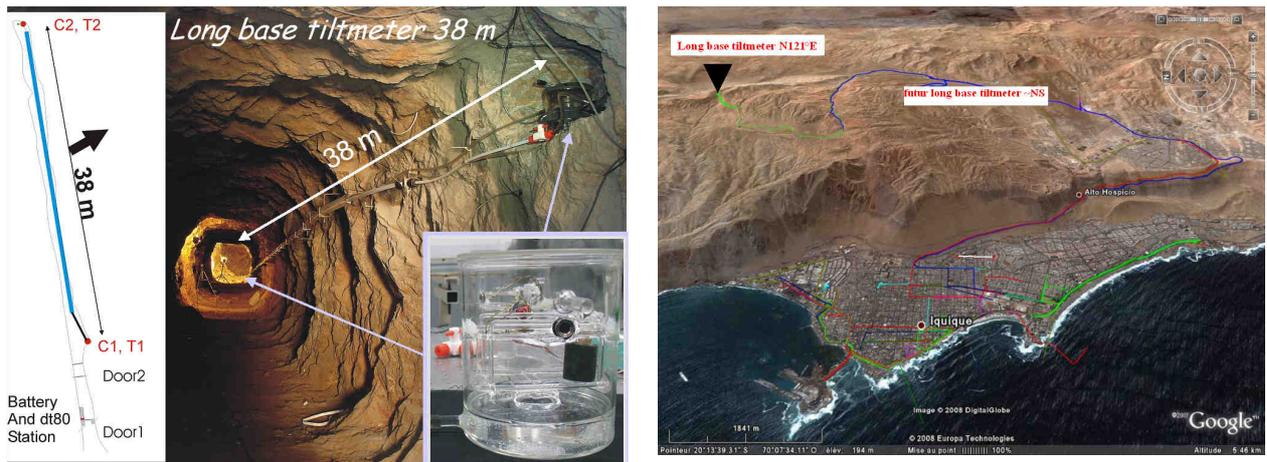
Figure 8. Site de Minimiñi (MNMEX)



Réseau Integrated Plate Boundary Observatory (IPOC) (CNRS/INSU-GFZ-IRIS) de stations multi-paramètres (sismologie large-bande, accéléromètre, inclinomètre pendulaire) dans le Nord-Chili. Sont indiqués également les développements en cours avec le GFZ (campagne OBS en demande et le réseau complémentaire ILN qui sera déployé en Mars 2009).

Stations multi-paramètres : chaque site est équipé d'une station large bande STS2, d'un capteur accélérométrique 24bits CMG5 et d'un numériseur Quantera Q330. L'enregistrement est en continu. Les 15 stations accélérométriques complètent le réseau chilien de 10 stations à déclenchement. Deux des quatre stations françaises sont équipée en plus d'un inclinomètre pendulaire en silice, de type Blum. Les données de 8 stations (4 françaises, 4 GFZ) sont transmises par satellite en temps quasi réel via une connexion seed-link sur le DGF, GFZ et IPGP.

Inclinomètre longue base



Inclinomètre longue base dans le tunnel de la mine de Neuquén, installé au mois d'Aout 2007.

Un inclinomètre longue base a commencé à être installé en Août 2007 et intégré au réseau IPOC. Cet instrument a été développé par F. Boudin (IR Geosciences Montpellier) dans le cadre d'une thèse. Plusieurs prototypes sont aujourd'hui opérationnels. Cet appareil, qui fonctionne sur le principe du niveau hydrostatique, avec des flotteurs en silice et des capteurs de déplacement de type LVDT, a une résolution 100 à 1000 fois meilleure que celle du GPS. En contre partie, cette grande résolution le rend extrêmement sensible aux influences météorologiques (pression, pluie, température), nécessitant une installation souterraine soigneusement contrôlée et isolée. Au Nord Chili, une première installation a été réalisée à 10 km au NNE de la ville d'Iquique, dans un tunnel de lamine de Neuquén (Lat : -20.172075, Long : -70.073134). Pour des raisons budgétaires, seule la composante EW du capteur, 35 m de long, a pu être installée, en août 2007. Les mesures depuis 17 mois montrent le succès de cette installation avec : une stabilisation très rapide de l'instrument (en moins d'un mois); un cycle annuel simple lié au thermostress, dont la mesure de tilt peut être corrigée; une dérive très faible, de l'ordre de 1.25×10^{-7} radians par an; une grande résolution de 10^{-9} radians aux courtes périodes jusqu'à celles de la marée terrestre (amplitudes 10^{-7}).

Annexe 2 – Publications (2008-)

Articles parus, sous-presse, soumis:

2008

1. Site effect evaluation in the basin of Santiago de Chile using ambient noise measurements, Bonnefoy-Claudet, S., S. Baize, L.F. Bonilla, C. Berge-Thierry, C. Pasten, J. Campos, P. Volant, and R. Verdugo
Geophys. J. Int., doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.04020.x., 2008

2009

2. Earthquakes in subduction zones: A multidisciplinary approach Introduction
Montagner, J.-P., V. Clouard, J. Campos, A. Cisternas, M. Grbault and B. Romanowicz
PEPI, 175, 1-2 SI, pp: 1-2, [doi: 10.1016/j.pepi.2009.03.001], 2009
3. Upper plate deformation measured by GPS in the Coquimbo gap, Chile
Vigny, C., A. Rudloff, J.C. Ruegg, R. Madariaga, J. Campos, M. Alvarez
PEPI, Vol 175, issue 1-2, June, 10.1016/j.pepi.2008.02.013 , 2009.
4. Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitucion and Concepcion in Chile
Ruegg, J.C., A. Rudloff, C. Vigny, R. Madariaga, J.B. DeChabalier, J. Campos, E. Kausel, S. Barrientos, D. Dimitrov
PEPI, Vol 175, issue 1-2, June, 10.1016/j.pepi.2008.02.015 , 2009.

2010

5. Central Chile finally breaks
Madariaga, R., M. Métois, C. Vigny; J. Campos
Science; 9 April 2010: 181-182. [doi:10.1126/science.1189197], 2010.
6. Asperities and barriers on the seismogenic zone in North Chile: state-of-the-art after the 2007 *M*_w 7.7 Tocopilla earthquake inferred by GPS and InSAR data
M. Bejar-Pizarro, D. Carrizo, A. Socquet, R. Armijo, S. Barrientos, F. Bondoux, S. Bonvalot, J. Campos, D. Comte, J. B. de Chabalier, O. Charade, A. Delorme, G. Gabalda, J. Galetzka, J. Genrich, A. Nercessian, M. Olcay, F. Ortega, I. Ortega, D. Remy, J. C. Ruegg, M. Simons, C. Valderas and C. Vigny
Geophys. J. Int., doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04748.x, 2010.
7. The West Andean Thrust, the San Ramon Fault and the Seismic Hazard for Santiago Chile
Armijo, R., R. Rauld, R. Thiele, G. Vargas, J. Campos, R. Lacassin and E. Kausel
Tectonics, 29, TC2007, [doi: 10.1029/2008TC002427], 2010
8. Reply to the comment by R. A. Astini and F. M. Davila on "The West Andean Thrust, the San Ramon Fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile"
Armijo, R.; R. Rauld; R. Thiele; et al.
Tectonics, 29, TC4010, [doi: 10.1029/2010TC002692], 2010
9. Kinematic rupture process of the 2007 Tocopilla earthquake and its main aftershocks from teleseismic and strong-motion data
Peyrat, S., R. Madariaga, E. Bufforn, J. Campos, G. Asch and J.-P. Vilotte
Geophys. J. Int., 182,2,pp1411-1430, [doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04685.x], 2010

10. Kinematic and spontaneous rupture models of the 2005 Tarapaca intermediate depth earthquake
Peyrat, S. and P. Favreau
Geophys. J. Int., 181, 1, pp 369-381, [doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04493.x], 2010

2011

11. Coseismic slip distribution of the February 27, 2010 Mw 8.8 Maule, Chile earthquake
Pollitz, F. F., B. Brooks, X. Tong, M. G. Bevis, J. H. Foster, R. Bürgmann, R. Smalley Jr., C. Vigny, A. Socquet, J.-C. Ruegg, J. Campos, S. Barrientos, H. Parra, J. C. B. Soto, S. Cimbaro, and M. Blanco
Geophys. Res. Lett., 38, L09309, doi:10.1029/2011GL047065, 2011
12. The 2010 (Mw 8.8) Earthquake of central Chile, monitored by GPS
Vigny, C., A. Socquet, S. Peyrat, J.-C. Ruegg, M. Métois, R. Madariaga, S. Morvan, M. Lancieri, R. Lacassin, J. Campos, D. Carrizo, M. Bejar-Pizarro, S. Barrientos, R. Armijo and the SSN team, the LIA-MdB team, the CAP team
Science, 332, 17 June 2011, pp 1417-1421 [doi:10.1126/science.1204132], 2011
13. Identification of High Frequency Pulses from Earthquake Asperities Along Chilean Subduction Zone Using Strong Motion
Ruiz, S., E. Kausel, J. Campos, G.R. Saragoni and R. Madariaga
PAGEOPHY, 168, 1-2 SI, pp 125-139, [doi: 10.1007/s00024-010-0117-x], 2011

2012

14. Large extensional aftershocks in the continental forearc triggered by the 2010 Maule earthquake, Chile,
Ryder, I., A. Rietbrock, K. Kelson, R. Bürgmann, M. Floyd, A. Socquet, C. Vigny, and D. Carrizo
Geophys. J. Int., doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05321.x, 2012
15. Toward understanding tectonic control on the Mw 8.8 2010 Maule Chile earthquake
Moreno, M., D. Melnick, M. Rosenau, J. Baez, J. Klotz, O. Oncken, A. Tassara, J. Chen, K. Bataille, M. Bevis, A. Socquet, C. Vigny, B. Brooks, I. Ryder, V. Grund, B. Smalley, D. Carrizo, M. Bartsch and H. Hase.
Earth and Planetary Science Letters, 321-322, pp 152-165 [doi:10.1016/j.epsl.2012.01.006], 2012.
16. Interseismic coupling, segmentation and mechanical behavior of the central Chile subduction zone
Métois, M., A. Socquet and C. Vigny
Journal of Geophysical Research, Vol. 117, B03406, [doi:10.1029/2011JB008736], 2012.
17. Short Period Rupture Process of the 2010 Mw 8.8 Maule Earthquake in Chile
Ruiz, S., R. Madariaga, M. Astroza, G. R. Saragoni, M. Lancieri, C. Vigny and J. Campos,
Earthquake Spectra, Vol 28, special issue 1, pp S1-S18, [doi 10.1193/1.4000039], 2012.
18. The 2007 M7.7 Tocopilla northern Chile earthquake sequence: Implications for along-strike and downdip rupture segmentation and megathrust frictional behavior
Schurr, B., G. Asch, M. Rosenau, R. Wang, O. Oncken, S. Barrientos, P. Salazar and J.-P. Vilotte
Journal of Geophys. Res., 117, B05305, [doi: 10.1029/2011JB009030], 2012
19. Aftershock seismicity of the 27 February 2010 Mw 8.8 Maule earthquake rupture zone
Lange, D., F. Tilmann, S. Barrientos, E. Contreras-Reyes, P. Methe, M. Moreno, B. Heit, H. Agurto, P. Bernard, J.-P. Vilotte and S. Beck
Earth and Planetary Science Letters, 317, pp 413-425, [doi: 10.1016/j.epsl.2011.11.034], 2012
20. The seismic coupling of subduction zones revisited
Scholz, C. and J. Campos
Journal of Geophys. Res., B05310, [doi: 10.1029/2011JB009003], 2012

21. Coupled seismic and socio-political crises: the case of Puerto Aysen in 2007
Soulé, B.
Journal of Risk Research, 15, 1, 21-37., 2012

2013

22. Interpretation of interseismic deformations and the seismic cycle associated with large subduction earthquakes
Trubienko, O., L. Fleitout, J.-D. Garaud and C. Vigny
Tectonophysics, [DOI: 10.1016/J.tecto.2012.12.027], 2013
23. Andean structural control on interseismic coupling in the North Chile subduction zone
Béjar-Pizarro, M., A. Socquet, R. Armijo, D. Carrizo, J. Genrich and M. Simons
Nature Geoscience, 28 April, [DOI: 10.1038/NGEO1802], 2013
24. The Constitución earthquake of 25 March 2012: a large aftershock of the Maule earthquake near the bottom of the seismogenic zone
Ruiz, S., R. Grandin, V. Dionicio, C. Satriano, A. Fuenzalida, C. Vigny, E. Kiraly, C. Meyer, J.-C. Baez, S. Riquelme, R. Madariaga and J. Campos
EPSL accepted, 2013
25. Coseismic and Postseismic Slip Associated with the 2010 Maule Earthquake, Chile: Characterizing the Arauco Peninsula Barrier Effect
Lin, Y.N., A. Sladen, F. Ortega, M. Simons, J.P. Avouac, E.J. Fielding, B.A. Brooks, M. Bevis, J. Genrich, A. Rietbrock, C. Vigny, R. Smalley, A. Socquet
JGR accepted, 2013
26. Revisiting the North Chile seismic gap segmentation using GPS-derived interseismic coupling
Métois, M., A. Socquet, C. Vigny, D. Carrizo, S. Peyra, A. Delorme, E. Maureira, M.C. Valderas-Bermejo and I. Ortega
GJI accepted, 2013
27. Post-crisis Analysis of an ineffective Tsunami Alert: the Case of the 27 February 2010 Maule Earthquake (Chile).
Soulé, B.
Disasters (accepted), 2013

Communications en colloques & congrès:

1. The Mw=7.7 Tocopilla Earthquake (North Chile) of November 14, 2007: First results from space geodesy (InSAR).
Béjar-Pizarro, M., A. Socquet, R. Armijo, J.B. de Chabaliér.
VII Congreso Geológico de España, 2008.
2. The Mw 7.7 Tocopilla, Chile, Earthquake of 14 November 2007: A Comprehensive Study Using Teleseismic, Local and InSAR data
Campos, J., S. Peyrat, M. Bejar, A. Socquet, G. Meneses, A. Perez, R. Madariaga, P. Favreau, P. Bernard, S. Barrientos, R. Armijo, G. Asch, M. Sobesiak, and J.-P. Vilotte
Eos Trans. AGU, 89(23), Jt. Assem. Suppl., Abstract S24A-01, may 2008
3. Rupture Geometry and Slip Associated With the 2007 November 14 Mw = 7.7 Tocopilla (Chile) Earthquake, as Preliminary Determined by InSAR and GPS Observations
Béjar-Pizarro, M., D. Carrizo, A. Socquet, R. Armijo, J.-B. DeChabaliér, A. Nercessian, O. Charade, J.-C. Ruegg, S. Barrientos, and J. Campos
Eos Trans. AGU, 89(23), Jt. Assem. Suppl., Abstract S24-A02, may 2008
4. Detailed source process of the 2007 Tocopilla earthquake.
Peyrat, S., R. Madariaga, J. Campos, G. Asch, P. Favreau, P. Bernard, J.-P. Vilotte
Eos Trans. AGU, 89(23), Jt. Assem. Suppl., Abstract S24-A03, may 2008
5. The M 7.7 Tocopilla earthquake and its aftershock sequence: deployment of a Task Force local network
Sobiesak, M., S. Eggert, H. Woith, H. Grosser, S. Peyrat, J.-P. Vilotte, E. Medina, J. Ruch, T. Walter, P. Victor, S. Barrientos, and G. Gonzales
Eos Trans. AGU, 89(23), Jt. Assem. Suppl., Abstract S24A-04, may 2008, invited
6. Transient measurement with a silica long base tiltmeter
Boudin, F., P. Bernard, L. Longuevergne, O. Bour
Jena, 2008
7. The 2007 November 14 Mw = 7.7 Tocopilla (Chile) Earthquake: preliminary results from InSAR and GPS.
Béjar-Pizarro, M., D. Carrizo, A. Socquet, R. Armijo, J.C. Ruegg, J.B. de Chabaliér, A. Nercessian, O. Charade, S. Bonvalot.
7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG);, Nice, France, September 2008
8. The 2007 november 14 Mw=7.7 Tocopilla earthquake: contribution of InSAR and GPS observations in the understanding of Chile-Peru subduction process.
D. Carrizo, Bejar-Pizarro, M., Socquet, A., Armijo, R., Ruegg, J-C., de Chabaliér, J-B., Nercessian, A., Charade, O., Barrientos, S., Campos, J.
4th Alexander von Humboldt International Conference - The Andes: Challenge for Geosciences, Santiago November 2008.
9. Potentiality of microtremor to evaluate site effects at shallow depths in the deep basin of Santiago de Chile,
Bonnefoy-Claudet, S., F. Leyton, S. Baize, C. Berge-Thierry, L.F. Bonilla, and J. Campos
In Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, paper 07-0094, 2008.
10. Upper plate deformation is dominated by varying interface coupling in the chilean subduction context
Vigny, C., A. Socquet, R. Madariaga, J.-C. Ruegg, J. Campos, and S. Barrientos
Eos trans. AGU, Fall Meeting Suppl., Abstract G33D-03, invited, dec. 2008
11. Accommodation of convergence in North Chile seismic gap : questions raised by 2007 Mw 7.7 Tocopilla earthquake
Socquet, A., M. Bejar, D. Carrizo, R. Armijo, C. Vigny, J.-C. Ruegg, J.-B. deChabaliér, A. Nercessian, O. Charade, M. Simons, and S. Bonvalot
Eos trans. AGU, Fall Meeting Suppl., Abstract G33D-04, dec. 2008
12. Observation of transient measurement with a silica long base tiltmeter
Boudin, F., P. Bernard, L. Longuevergne, N. Florsh, J. Chery, M. Olcay, C. Larmat, J. Boy, M. Esnault, M. Kammenthaler, T. Vincent
Eos trans. AGU, Fall Meeting Suppl., Abstract S43B-1892, dec. 2008
13. Tsunami modelling and source constraints from regional tide-gages and tilt measurements for the 2008 M=7.5 Tocopilla subduction earthquake

- Hebert, H., F. Boudin, P. Bernard, S. Peyrat, M. Béjar-Pizarro
Eos trans. AGU, Fall Meeting Suppl., Abstract OS43D-1338, dec. 2008
14. Upper plate deformation is dominated by varying coupling on the Chilean subduction.
 M. Métois, A. Socquet, and C. Vigny.
French-Japanese International Workshop on Earthquake Source, oct. 2009.
 15. Upper plate deformation is dominated by varying coupling on the Chilean subduction zone
 Vigny, C.; Métois, M.; Socquet, A.
AGU Chapman Conference on giant earthquakes and their Tsunamis, Valparaiso 16-24 May, 2010
 16. The Maule Mw8.8 earthquake monitored by continuous and survey mode GPS
 Vigny, C.; Socquet, A.; Campos, J.; Carrizo, D. Ruegg, J.-C.; Métois, M.; Morvan, S.; Aranda, C.
AGU Chapman Conference on giant earthquakes and their Tsunamis, Valparaiso 16-24 May, 2010
 17. The Maule Mw 8.8 earthquake: Modelling using 1 Hz cGPS and seismic data
 Madariaga, R.; Vigny, C.; Ruiz, S.; Buforn, E.; Pro, C.; Lancieri, M.; Ruegg, J.-C.; Fuenzalida, A.;
 Peyrat, S.; Campos, J.; Socquet, A.
AGU Chapman Conference on giant earthquakes and their Tsunamis, Valparaiso 16-24 May, 2010
 18. Modelling the source of the the Maule Mw 8.8 earthquake and early afterslip using GPS and InSAR
 data
 Socquet, A.; Bejar Pizarro M.; Vigny, C.; Doin, M.-P.; Ducret, G.; Carrizo, D.; Métois, M.; Peltzer,
 G.
AGU Chapman Conference on giant earthquakes and their Tsunamis, Valparaiso 16-24 May, 2010
 19. Rupture process of the Maule Mw 8.8 earthquake of 27 February 2010 (*Invited*)
 Madariaga¹, R I, Ruiz¹, S., Lancieri¹, M., Buforn², E., Vigny¹, C., and S. Peyrat³, (2010),
Eos Trans. AGU, 91(26), Meet. Am. Suppl., Abstract U44B-03
 20. First seismological investigations of the main shock and aftershocks of the 2010 Chilean earthquake off-
 shore Maule.
 Satriano¹, C., Clévéde¹, E., Buchkin¹, B., Buforn², E., Peyrat¹, S., Lancieri³, M., Fuenzalida³, A.,
 Vilotte¹, J.-P., Bernard¹, P., Lyon-Caen³, H., Vigny³, C., Socquet¹, A., Aranda⁴, C., and J. Campos⁵,
 (2010),
Eos Trans. AGU, 91(26), Meet. Am. Suppl., Abstract U44B-05
 21. Modelling the source of the Maule Mw 8.8 earthquake and early afterslip using GPS and InSAR data.
 Socquet¹, A., Bejar-Pizarro¹, M., Doin², M.-P., Peyrat³, S., Ducret², G., Vigny², C., Carrizo⁴, D.,
 Métois^{1,2}, M., and G. Peltzer⁵, (2010)
Eos Trans. AGU, 91(26), Meet. Am. Suppl., Abstract U44B-08
 22. The Maule Mw 8.8 earthquake and its consequences monitored by continuous and survey mode GPS
 (*Invited*).
 Vigny¹, C., Socquet², A., Campos³, J., Carrizo⁴, D., Ruegg², J.-C., Métois^{1,2}, M., Morvan¹, S., and C.
 Aranda⁵, (2010),
Eos Trans. AGU, 91(26), Meet. Am. Suppl., Abstract U44B-06
 23. Investigation of the 27 February 2010 Mw 8.8 Chilean earthquake integrating aftershock analysis, back-
 projection imaging and cGPS results.
 Clévéde, E., Satriano, C., Bukchin, B., Lancieri, M., Fuenzalida, A., Vilotte, J.-P., Lyon-Caen, H.,
 Vigny, C., Socquet, A., Aranda, C., and J. Campos. (2010)
 Abstract G33A-0822, poster *presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 Dec*
 24. Near Source Rupture Modeling of the February 27, 2010 Mw 8,8 Maule Earthquake using cGPS and
 Strong Motion Data
 Lancieri, M., Vigny, C., Ruiz, S., Madariaga, R., and E. Buforn. (2010)
 Abstract G31B-06, *presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 Dec.*
 25. The February 27, 2010 Mw 8.8 Maule Earthquake as Observed by cGPS and Strong Motion Instruments
 (*Invited*).
 Madariaga, R I, Vigny, C, Lancieri, M, Ruiz, S, and J. Campos. (2010).
 Abstract U21B-03, *presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 Dec*
 26. Variable coupling controls the seismic segmentation and transient creep on the central Chile subduction.
 Métois, M., Socquet, A., and C. Vigny. (2010)
 Abstract T44B-04 *presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 Dec*
 27. Source process of the 2010 Chilean earthquake using strong-motion and geodetic data.
 Peyrat, S., Socquet, A., Vigny, C., Ruiz, S., and C. Aranda. (2010).
 Abstract G33A-0818, poster *presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 Dec*

28. The M 8.8 2010 Maule, Chile, Earthquake: GPS Seismology Comes of Age (*Invited*).
Larson, K M, Agnew, D C, Akos, D, Axelrad, P, Barrientos, S, Campos, J A, Ellsworth, W L, Hase, H, Madariaga, R, Nocquet, J.-M ; Ueno, M, and C. Vigny. (2010).
Abstract G31B-05 presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 Dec.
29. Varying coupling along the central Chilean subduction zone.
M. Métois, A. Socquet, and C. Vigny.
Congrès des doctorants, IPGP, Paris, France, Feb. 2010.
30. Interseismic coupling, segmentation and mechanical behaviour of the central Chile subduction zone.
M. Métois, A. Socquet, and C. Vigny.
Congrès des doctorants, IPGP, Paris, France, Feb. 2011.
31. Interseismic coupling, segmentation and mechanical behaviour of the central Chile subduction zone.
M. Métois, A. Socquet, and C. Vigny.
Congrès des doctorants, IPGP, Paris, France, Feb. 2011.
32. Interseismic coupling, segmentation and mechanical behaviour of the central Chile subduction zone
M. Métois, A. Socquet, C. Vigny.
Today Forum, IPGP, October 2011.
33. New insights on interseismic coupling along North-Central Chile (32°S-26°S) from GPS measurements,
M. Métois, A. Socquet, and C. Vigny.
Congrès des doctorants, IPGP, Paris, France, Feb. 2012.
34. Interseismic coupling, segmentation and mechanical behaviour of the central Chile subduction zone.
M. Métois, A. Socquet, and C. Vigny.
Solicited talk, Geophysical Research Abstracts, EGU annual meeting, Vienna, Austria, Avril 2012.
35. Revisiting the North Chile seismic gap segmentation using GPS-derived interseismic coupling
M. Métois, A. Socquet, C. Vigny, Daniel Carrizo, and Sophie Peyrat.
EGU Fall meeting, April 2013.
36. Broadband characterization of the 2010 Mw 8.8 Maule earthquake combining coherent rupture imaging and kinematic modeling
V. Dionisio et al.
Workshop on the 2010 Maule Earthquake, Concepcion Chile, 4-8 March 2013
37. Interseismic coupling in the North Chile seismic gap, from space geodesy.
A. Socquet et al.
Workshop on the 2010 Maule Earthquake, Concepcion Chile, 4-8 March 2013

28. Cours et conférences (disponibles sur le Web U-Chile et Laboratoire de Géologie de l'ENS)

- [Curso 764 abstract](#)
- [Curso 764-part 1 : Introduction to geodesy](#)
- [Curso 764-part 2 : Monitoring the earth from space](#)
- [Curso 764-part 3 : Basics of GPS measurements: uncertainties/precision/errors](#)
- [Curso 764-part 4 : Rigid plate tectonics](#)
- [Curso 764-part 5 : Deformation pattern in elastic crust](#)
- [Curso 764-part 6 : Seismic cycle](#)

- [Exercise 1 : Computing Strain and Rotation rates in a GPS network](#)
- [Exercise 2 : Finding and applying a rigid rotation pole to a velocity field](#)
- [Exercise 3 : Inverting a velocity field around a strike-slip fault](#)
- [Exercise 4 : Surface deformation generated by an elastic dislocation buried a depth](#)

- [GPS: from plate tectonics to seismology; what did we learn from a decade of advances in techniques and methodology](#) - Conférence DGF U-Chile Santiago 3 Juin 2008
- [Plate tectonics measured by GPS in Chile; what do we know... and don't know after more than a decade of measurements](#) - Conférence DGF U-Chile Santiago 8 Juin 2008

Rapports internes (disponibles sur le Web Laboratoire de Géologie de l'ENS)

1. [Rapport07IPOC](#) Rapport sur l'installation d'instrumentation géophysique dans la lacune du Nord Chili. [**Sophie Peyrat, courant 2007**].
2. [Rapport cGPS IV](#) Rapport sur l'installation de stations GPS permanentes dans la lacune du Coquimbo. [**Christophe Vigny, période 2006-2007**].
3. [GPS: Intervention séisme Tocopilla 1](#) Rapport sur l'installation de stations GPS permanentes et semi-permanentes pour la crise sismique de Tocopilla. [**Anne Socquet, Nov-Dec. 2007**].
4. [Rapport cGPS IV CBI](#) Rapport sur la maintenance des stations GPS permanentes dans la lacune du Coquimbo. [**Carolina Valderas-Bermejo, février 2008**].
5. [Crise sismo-tectonique et Tsunami d'Aysen \(Sud Chili\), du 21 Avril 2007](#) Rapport sur l'intervention dans le cadre de la crise sismotectonique du Fjord d'Aysen. [**Christophe Vigny, Juin 2007**].
6. [CR-missionsGPSavrmai2008.pdf](#) Rapport sur la campagne de mesures GPS dans la région du Coquimbo [**Christophe Vigny, avril/mai 2008**].
7. [CR-mission Tocopilla Chaiten mai08.pdf](#) Rapport sur la maintenance des stations GPS/sismo Nord Chili et Tocopilla et intervention sur la crise du volcan Chaiten [**Alexandre Necessian & Sophie Peyrat, mai 2008**].
8. [GPS: Intervention séisme Tocopilla 2](#) Rapport sur la remesure du réseau GPS de répétition de la région Antofagasta/Iquique pour le post-sismique de Tocopilla [**Daniel Carrizo & Christophe Vigny, Juin 2008**].
9. [Profils topo pour transmissions radio](#) Etude de faisabilité des transmissions radio pour les stations cGPS [**Arthur Delorme, Octobre 2008**].
10. [Inclinomètre longue base d'Iquique \(Nord Chili\)](#) Rapport sur l'installation et la première année de mesure de l'inclinomètre LBT [**Frédéric Boudin & Pascal Bernard, période 2007-2008**].
11. [rapport-GPS-cellule-post-sismique-300310.pdf](#) Rapport d'activités GPS suite à l'intervention post-sismique sur le séisme du 27 février 2010 [**Christophe Vigny, Mars 2010**].
12. [Rapport cGPS VII.pdf](#) Rapport sur l'installation et le durcissement des stations cGPS post-sismique de la 7eme région [**Jean-Claude Ruegg & Arthur Delorme, Avril 2010**].
13. [rapport cGPS nord 2010.pdf](#) Rapport sur la maintenance des stations cGPS du Nord Chili [**Arthur Delorme & Eduardo Moreira Juin 2010**].
14. [CR-missionsGPSmaiJun2010.pdf](#) Rapport sur l'extension du réseau de bornes GPS [**Christophe Vigny & Anne Socquet & Marianne Métois, Juin-Juillet 2010**].
15. [CR-missionsGPSavr2012.pdf](#) Rapport sur la remesure des réseaux GPS grand nord [**Marianne Métois, Avril 2012**].