



Risques naturels - AAP 2019

Formulaire de candidature

Ce formulaire doit être libellé « RISQUES2019_Formulaire_Nomcandidat »
et obligatoirement être déposé par le porteur du projet sur [SIGAP](#) en format pdf.

Date limite de candidature : 21 janvier 2019 à midi (heure de Paris)

IDENTIFICATION

Civilité/NOM/Prénom du porteur du projet		M. VIGNY Christophe
Adresse mail du porteur		vigny@geologie.ens.fr
Etablissement de rattachement du porteur (CNRS, IRD, etc.)		CNRS
Code Unité (UMR, UPR, EA, etc.)/Numéro codique de l'Unité		UMR 8538
Nom de l'unité/du laboratoire		Laboratoire de Géologie de l'ENS
Eventuellement, nom de l'équipe		
Pour les unités rattachées au CNRS	Institut principal	INSU
	Délégation régionale	DR2
	Section du comité national de la recherche scientifique	18
Pour les unités rattachées à l'IRD	Département	
	Délégation régionale	
	Commission scientifique sectorielle	

Projet

Titre long du projet (150 caractères maximum)	COPIAPO 2020 - Slow Slip Hazard
Acronyme du projet	COP2020-SSH

Identification des équipes travaillant sur le projet

Etablissement de rattachement (CNRS, IRD, etc.)	Nom de l'unité, du laboratoire, éventuellement de l'équipe et code Unité (UMR, UPR, etc.)	Pour les unités rattachées au CNRS		Pour les unités rattachées à l'IRD		Civilité/NOM/Prénom des personnes impliquées
		Institut principal	Délégation régionale	Département	Délégation régionale	
IRD	GeoAzur / IPGP			DISCO	Sud-Est	M. Nocquet Jean-Mathieu
BRGM						M. Aochi Hideo
CNRS	ENS – UMR8538	INSU	DR2			Mme. Klein Emilie
CNRS	ENS – UMR8538	INSU	DR2			M. Boudin Frederik

Curriculum Vitae du porteur du projet (1 page maximum)



Christophe VIGNY

Né le 02 Mars 1964

Marié, 3 enfants

Directeur de recherches au **CNRS**

Laboratoire de Géologie, Ecole Normale Supérieure (**ENS**)

24 rue Lhomond 75231 PARIS cedex 05, France

Email: vigny@geologie.ens.fr

URL: <http://www.geologie.ens.fr/~vigny>

CURSUS / DIPLOMES

- 1975-1982 Lycée International de Saint-Germain-en-Laye, section Portugaise : Bac C
- 1982-1987 Université Paris XI – Orsay : DEUG A / Licence-Maitrise de Physique / DEA Geophysique
- 1987-1989 ENS : doctorat "Geoïd and internal dynamics of the Earth" (Dir. Y. Ricard / C. Froidevaux)
- 1989-1990 ONERA PostDoc "space gravimetric measurements: ARISTOTELES/GRADIO satellite" (P. Touboul)
- 1990-1991 MIT PostDoc "Spatial Geodesy (GPS) and plate tectonics" (B. Hager / R. King / T. Herring)
- 2006 Université Paris VI : HDR "GPS: from plate tectonics to seismology"
- 1991 -> Chargé de recherches puis directeur de recherches au CNRS

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

- 1999-2003 Chargé de mission INSU pour l'observation de la Terre par satellite
- 1999-2004 Responsable de l'équipe "Geophysique" du laboratoire de Géologie de l'ENS (8 chercheurs)
- 2002-2006 directeur du GDR « Géodesie-Géophysique
- 2007-2018 Co-Directeur du laboratoire International Associé (LIA) Franco/Chilien "Montessus de Ballore"
- 2011-2014 directeur-adjoint du laboratoire de Géologie de l'ENS
- 2014-2018 directeur du laboratoire de Géologie de l'ENS (~70 personnes)

ACTIVITE SCIENTIFIQUE

J'étudie la Tectonique des plaques et la déformation de la lithosphère autour des grandes failles tectoniques avant, pendant et après les séismes au moyen de la géodésie spatiale, essentiellement le GPS. Pour ce faire, j'ai installé des réseaux d'observations et réalisé des campagnes de mesures sur plusieurs grands chantiers de par le monde où l'aléa sismique est important : Asie du Sud-Est (Indonésie – Sumatra et Sulawesi, Malaisie, Thaïlande, Birmanie), Amérique du Sud (Chili), Rift Est Africain (Djibouti), etc... La mesure de la déformation permet par exemple de mettre en évidence les zones où elle s'accumule et de quantifier l'aléa sismique qui en résulte. Des résultats marquants ont été obtenus dans le cadre du séisme géant de Sumatra en 2004 ainsi que des grands séismes de subduction du Chili (Maule 2010, Iquique 2014, Illapel 2015). J'ai supervisé 12 thèses et publié environ 70 articles de recherche (liste complète sur <http://www.geologie.ens.fr/~vigny/biblio.html>).

LANGUES

- Anglais: Fluent: 1 an au MIT, Boston, USA.
- Espagnol : Fluent: pratiqué au cours de nombreuses campagnes de terrain au Chili au cours des 20 dernières années, séjour de 4 mois et enseignement inclus.
- Portugais : toujours parlé/compris après 4 ans de séjour au Portugal (1969-1973)
- Italien : scolaire.
- Indonésien : notions (plus d'un an de missions de terrain cumulées entre 1994 et 2010)

PRIX & MEDAILLES

- Prix du " concours général" de Portugais, 1981
- Médaille de bronze du championnat de France Windsurfer 1984 (Brest)

PROJET DE RECHERCHE

1 - Résumé (10 lignes maximum)

Après 15 ans de mesures GPS intensives au Chili, nous disposons de cartes de couplage qui mettent en évidence des successions de longs segments sismiques, bordés de zones étroites où la déformation ne s'accumule pas (LCZ). Nous avons identifié et caractérisé dans la région Atacama un long segment complexe, susceptible de produire bientôt un séisme majeur ($M_w > 8.5$), possible répétition des séismes de 1819 (- 200 ans) et 1922 (- 100 ans). A l'extrémité Sud de ce segment, la LCZ de Copiapo a fait l'objet d'un glissement lent (SSE) en 2014, détecté par nos campagnes annuelles. L'unique station GPS continue de la région confirme cet événement et révèle des événements similaires en 2005 et 2009, suggérant une récurrence possible de l'ordre de 4 à 5 ans. Nous voulons instrumenter la zone (GPS, sismo, prototype d'inclinomètre) pour capturer un futur épisode de glissement lent susceptible de se reproduire aux alentours de 2020, et ce d'autant plus s'il devait déclencher le grand séisme attendu dans la région (comme Iquique 2014 ?). Nous voulons également caractériser/quantifier les scénarios possibles pour cet éventuel futur grand séisme

2 – Mots-clés (5 maximum)

Faïlle
Séisme
Géodésie
Aléa-Sismique
Subduction

3 - Exposé scientifique du projet explicitant les points suivants (5 pages maximum) :

Intérêt scientifique, situation et état de l'art

Les réseaux de marqueurs géodésiques nombreux, denses et étendus que nous avons déployé au Chili depuis 15 ans (figure 1) nous ont permis de cartographier avec un certain niveau de précision ce que l'on appelle le couplage : les zones où la déformation s'accumule dans la plaque supérieure à cause de la présence d'aspérités qui empêchent le glissement sur le plan de subduction. Les cartes de couplage établies montrent des successions de longs segments sismiques, bordés de zones plus ou moins étroites où la déformation ne s'accumule pas ou peu (figure 2). Dans ces zones, dénommées LCZ pour *Low Coupling Zone*, la sismicité est souvent anormale et se produit principalement sous forme d'essaims plus ou moins récurrents. La présence de ces LCZ pourrait correspondre à la subduction de rides

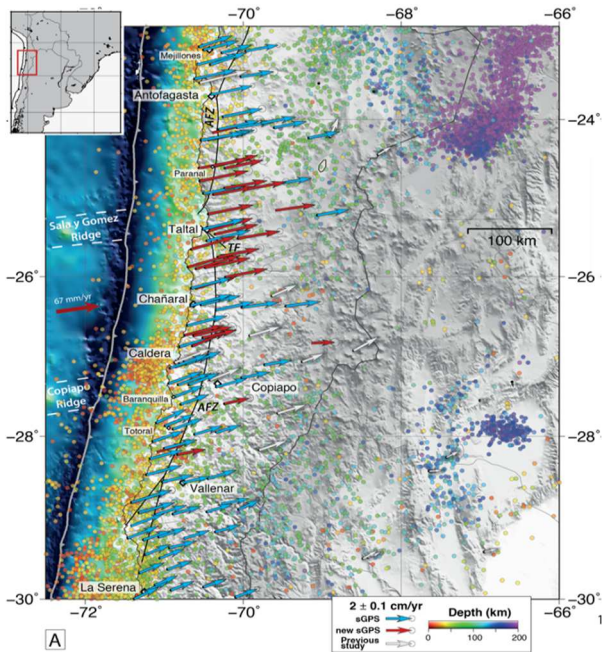


Figure 1 : Champ de vitesse intersismique (mm/an) estimé entre 2010 et 2016 exprimé dans un référentiel Amérique du Sud stable (Klein, Métois, et al. 2018). Catalogue de sismicité USGS (1973-2017)

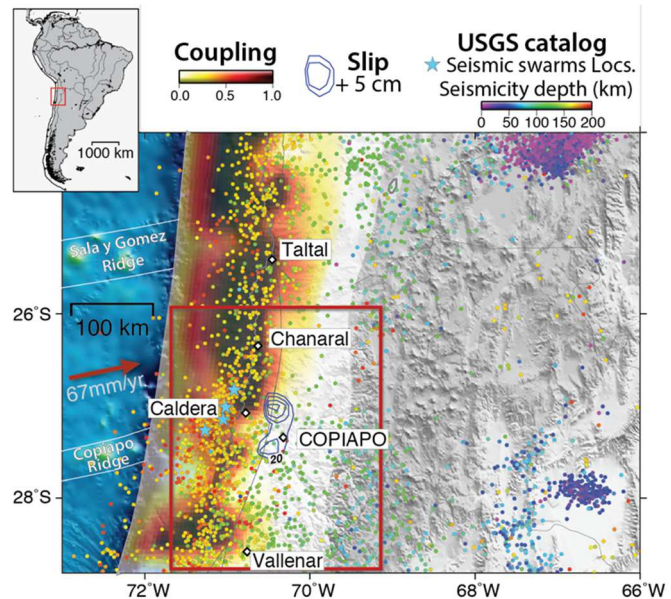


Figure 2 : Contexte sismo-tectonique de la région de Copiapo (Klein et al., 2018). Catalogue de sismicité de l'USGS (1973-2017), représenté en fonction de la profondeur. Modèle de couplage d'après (Klein, Métois, et al. 2018). Les contours de la distribution de glissement du SSE sont représentés en bleu (+5cm)

bathymétriques ou de monts sous-marins, ou encore à des failles dans la plaque supérieure. (e.g. Métois et al., 2012, 2013, 2014, 2016, Klein et al., 2018). Lors de nos derniers travaux, nous avons identifié et caractérisé dans la région Atacama un long segment complexe, susceptible de produire bientôt un séisme majeur ($M_w > 8.5$), répétition des séismes de 1819 et 1922 (Klein et al., 2018). Au bord Sud de ce segment, la LCZ de Copiapo a fait l'objet d'un glissement lent (*Slow Slip Event*, SSE) entre 2014 et 2016, glissement détecté par nos campagnes de mesures GPS annuelles (Klein et al., 2018; figure 2). Dans cette zone, des essaims de sismicité se produisent fréquemment, parfois associés à des séismes plus forts comme durant la crise de 2006 (2 séismes de $M_w \sim 6.5$). Il existe très peu de stations GNSS permanentes dans cette région reculée et difficile d'accès, une seule station située dans la ville de Copiapo (COPO-BN03) fonctionne depuis 2002. Les données collectées par ces deux stations révèlent également ce signal étalé sur plus d'un an et montrent que des événements similaires semblent s'être produits en 2005 et 2009 (Klein et al., 2018, figure 3).

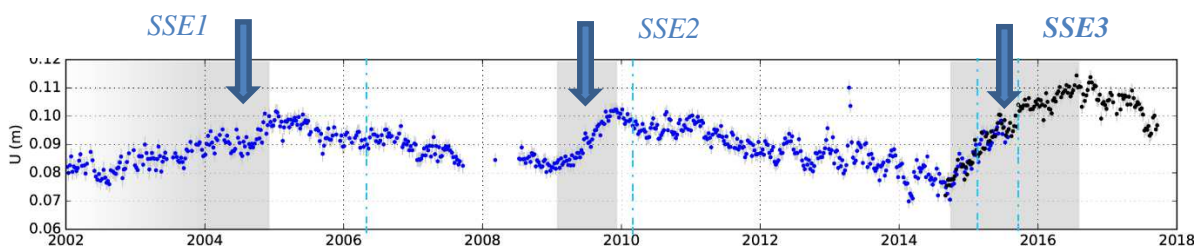


Figure 3 : Série temporelle hebdomadaire des stations cGPS COPO (bleue) et BN03 (noire) – composante verticale - (données traitées au Nevada Geodetic Laboratory, UNR), représentées en ITRF. Les zones grises représentent les SSEs, c'est-à-dire les périodes très anormale par rapport à la tendance long-terme (nb. Les variations sont petites).

De ce fait, nous anticipons une récurrence possible de l'ordre de 4-5 ans. Dans ce cas, serait-il possible d'anticiper la répétition de l'événement pour 2020 en déployant à l'avance des réseaux d'observation dans la région ? Nous pourrions ainsi capturer le futur glissement lent avec une bien meilleure résolution spatio-temporelle et, dans le cas où un grand séisme de subduction viendrait à se produire, le rôle potentiel du SSE dans son déclenchement. Cela permettrait d'étudier plusieurs questions en détails.

En premier lieu se pose la question des conséquences de ces épisodes de glissement lent : quelle est leur influence sur l'occurrence des séismes majeurs ? Un événement de glissement lent dans une zone faiblement couplée a déjà été observé plus au Nord dans la région de la ville d'Iquique (Ruiz et al., 2014, Socquet et al. 2017). Même si le débat est toujours ouvert, il est plausible que le glissement lent ait déclenché le séisme de magnitude 8.1 qui a rompu le segment bloqué juste à côté quelque semaines après le début de l'essai sismique (Ruiz et al., 2014, Boudin et al. In prep). Un mécanisme similaire a récemment été proposé au Mexique, où un événement de glissement lent en 2014 aurait déclenché le séisme de Mw7.3 de Papanao, soit par augmentation des contraintes statiques dans la zone couplée, soit en favorisant l'affaiblissement de la zone hypocentrale du séisme (Radiguet et al., 2016). A l'inverse, dans certaines régions (par ex. Nouvelle-Zélande), les SSE se produisent de manière quasi-périodique, indépendamment des grands séismes de subduction. Quel rôle le glissement lent, possiblement récurrent, de la LCZ de Copiapo pourrait-il jouer ? Déclencher le séisme d'Atacama que nous attendons ou au contraire le retarder ? c'est pourquoi nous souhaitons installer un réseau d'observation GPS & sismologique permanent dans la région de Copiapo afin de capturer en détail l'évolution spatio-temporelle du futur glissement lent et l'éventuelle nucléation d'un séisme déclenché.

En second lieu, le glissement lent que nous avons détecté est relativement profond - il se produit sous la côte, entre 40 et 60 km de profondeur, probablement dans la zone de transition de l'interface de subduction (Klein et al., 2018; figure 4). Par manque de résolution, les mesures GPS ne nous permettent pas de savoir s'il y a eu du glissement plus superficiel, sur les 10 premiers kilomètres de la fosse de subduction. Ce point est crucial en raison de l'aléa Tsunami qu'il implique, d'autant plus qu'une activité sismique atypique est connue à la même latitude. C'est pourquoi nous souhaitons installer également un inclinomètre longue base, beaucoup plus sensible que le GPS. Le projet serait l'occasion d'utiliser un prototype d'inclinomètre longue base optique développé au laboratoire de Géologie de l'ENS et déjà qualifié en conditions non-tectonique (CERN, LSBB).

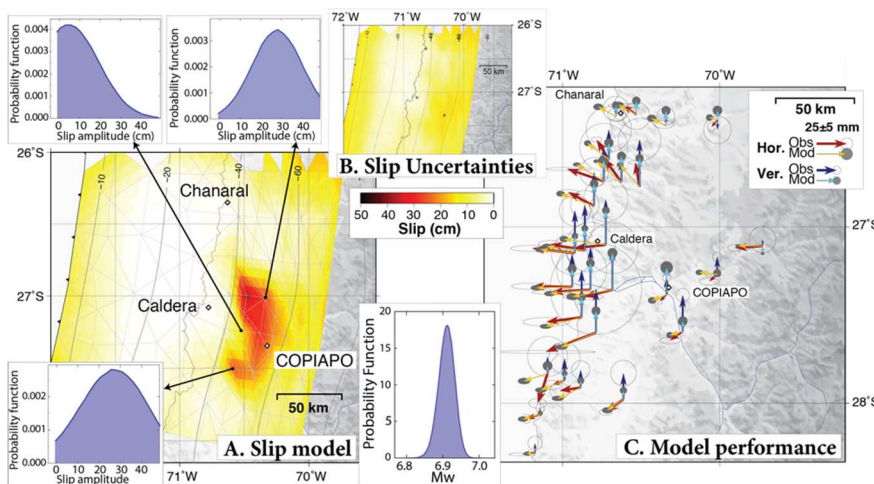


Figure 4 : Distribution de glissement du SSE de 2014-2016 inversé selon une approche probabiliste Bayésienne. A- Distribution de glissement moyenne (cm), les graphes montrent les PDF marginales pour 3 patches ainsi que la PDF marginale de Mw. B- Incertitudes prédites à 1-sigma (même échelle de couleur que A). C- Observations vs. Prédiction en surface du modèle (comp.).

En dernier lieu, celle de l'origine de ces SSE et de leur éventuelle période de récurrence. Les événements climatiques du type El Niño qui affectent la côte chilienne ont également une période d'environ 5 ans. Serait-il possible que le glissement lent sur l'interface de subduction soit déclenché par une modification des contraintes engendrées par une surcharge hydrologique ? Les premières constatations (comparaison entre les données GPS et l'*Oceanic Nino Index*) montrent qu'il n'y a pas vraiment de corrélation spatio-temporelle claire entre les épisodes de glissement lent d'une part et les événements climatiques à grande échelle (El Niño). Par ailleurs, nous avons exclu toute origine directe due à un forçage local océanique (à partir de prédictions du modèle ECCO), atmosphérique (prédictions du modèle ECMWF ERA-Interim) ou hydrologique (prédictions des modèles GLDAS/Noah v1 et NASA/GSFC) (Klein et al., 2018). Le forçage externe n'est donc pas évident et tester cette hypothèse nécessite de construire des modèles physiques de surcharges plus complexes que la simple analyse factuelle et capables d'expliquer les déphasages constatés. De tels modèles dépassent le cadre de ce projet « observationnels » mais seront développés ultérieurement au laboratoire de Géologie (collaboration avec L.Fleitout) dès la capture du prochain SSE.

Méthodologie, Plan de recherche et calendrier de réalisation

L'enjeu est donc de quantifier un épisode de glissement lent et de capturer éventuellement la nucléation d'un très grand séisme. Tout cela dans le but de comprendre mieux la friction dans des zones complexes du plan de subduction et le rôle de ces zones sur la segmentation sismique et donc sur la taille et les caractéristiques des tremblements de terre qui peuvent se produire. Cet enjeu a deux aspects : observationnel en premier lieu, modélisation de la source sismique en second lieu. En ce qui concerne l'aspect observationnel, on identifie 3 verrous.

Premier verrou : malgré une infrastructure qui atteint aujourd'hui près de 100 stations GNSS permanentes et autant de stations sismologiques (courtes périodes et larges bandes), le réseau permanent chilien installé et maintenu par le *Centro Sismológico Nacional* (CSN) de l'Université du Chili reste peu dense dans certaines zones compte tenu de l'immensité du pays. Dans la région de l'Atacama en particulier (3ème région du Chili), il y a très peu de cGPS et pratiquement aucune station n'est installée à la côte, ce qui limite la sensibilité du réseau pour des événements superficiels. Nous souhaitons densifier le réseau cGPS local afin de parvenir à une maille de l'ordre de 50km qui permettent localisation et quantification correcte d'un futur SSE. Du matériel appartenant au laboratoire de Géologie de l'ENS (10 récepteurs cGPS complets Trimble Net-RS + ant Zephyr II) est disponible pour cela. Une première mission d'installation (financée sur l'AO INSU-TELLUS -8k€ obtenus) aura lieu en mars 2019. Nous comptons transformer des marqueurs existants (cf carte sur www.geologie.ens.fr/~vigny/chili-f.html) et mesurés chaque année dans le passé en sites permanents à moindre frais. Nous demandons ici les moyens de réaliser plusieurs missions de développement et maintenance de ce réseau local sur 2019-2020.

Second verrou : le problème principal du GPS réside dans le bruit des séries temporelles à 1 point/jour. Le traitement de données standard (GAMIT DD ou GIPSY PPP) donne des positions quotidiennes à +/- 2-3 mm environ. Or, le SSE d'Iquique par exemple représente environ 14 mm de déplacement d'une station étalés sur 3 semaines, soit moins de 1 m/jour. Des filtres sophistiqués sont donc nécessaires pour éliminer le bruit « naturel » des séries temporelles GPS, mais les filtres usuels (moyennage pour estimation du mode commun par ex.) sont vulnérables aux erreurs et introduisent des biais en éliminant du signal avec le bruit. Nous proposons de ré-analyser toutes les séries temporelles existantes à l'aide de techniques adaptées spécifiquement aux données GPS (PYACS, JM Nocquet) et d'appliquer ce traitement aux futures données produites. PYACS permet aujourd'hui une "time-dependant slip inversion" utilisant directement les séries temporelles et nous souhaitons tester cette capacité.

Troisième verrou : le GPS est toujours exact : il donne le déplacement total de chaque station sur l'ensemble de la durée du SSE. Par contre, par manque de résolution il ne donne que peu d'information sur la structure du signal (début, fin à l'heure près, évolution temporelle au jour le jour) et donc sur sa corrélation avec la sismicité. Un instrument plus sensible est donc nécessaire, même au coût d'une éventuelle dérive (sur le modèle de ce qu'un gravimètre cryogénique relatif est à un gravimètre absolu). Nous proposons donc d'installer dans la région de Copiapo un inclinomètre longue base. Un tel instrument fonctionne dans le Nord du Chili et a permis de caractériser le SSE d'Iquique 2014 avec une grande finesse (Boudin et al, soumis au GJI). Le laboratoire de Géologie développe un nouveau prototype d'inclinomètre longue base optique (ILBI), sans aucune pièce mécanique en mouvement, plus robuste, plus fiable, plus performant et moins coûteux que l'inclinomètre « mécanique » installé à Iquique. Il fonctionne suivant le principe des vases communicants couplé à un capteur de déplacement interférométrique optique de type Fabry-Pérot. Il permet d'effectuer une mesure différentielle des déplacements du liquide à partir d'une source lumineuse laser commune. La technologie existe et deux prototypes fournissent d'excellent résultats au CERN et au LSBB (Boudin et al., en préparation). Grâce au déport de la mesure par fibre optique, l'ILBI fonctionne sans perturbation dans un environnement hostile radiatif et électromagnétique avec une stabilité de quelques nrad/mois. La comparaison montre une précision sur les déplacements mesurés pouvant être 100 fois meilleure que la précision micrométrique utilisée au CERN (Herty et al, 2016). Cela offre la possibilité de voir des déformations de 0.01 mm sur une base de 10 km, sur des durées d'observation longues (quelques mois) avec un pas d'échantillonnage pouvant monter à 20 kHz. Nous demandons les moyens d'installer et de faire fonctionner un tel instrument dans la région de Copiapo, le cout de construction et d'assemblage de l'instrument (~20k€) étant demandé à un AO interne de l'ENS.

En ce qui concerne la modélisation de la source sismique, nous souhaitons construire des scénarios réalistes des megatremblements de terre ($M > 8$) possibles dans la région de Copiapo. L'objectif est de construire le modèle « quantitatif » des aspérités sismogènes dans la subduction chilienne, d'Illapel à Copiapo, en prenant en compte les grands séismes récents, la sismicité et le couplage d'interface. Nous proposerons les scénarios des séismes vraisemblables à travers la simulation dynamique de rupture afin d'améliorer la compréhension de la mécanique et de l'évaluation d'aléa sismique régional. Une question posée est de savoir si un tel séisme résulte d'une nucléation a-sismique (visible – mesurable) ou d'une rupture en mode « cascade » ? De manière notable, les séismes de 1819 et 1922 semblent tous deux avoir

fait l'objet de plusieurs chocs principaux (Willis, 19229), ce qui impliquerait une interaction dynamique entre aspérités pendant un grand séisme. Le couplage inter-sismique révélant plusieurs aspérités dans la zone de Copiapo, Cela doit-il se reproduire ? Sur ce point, l'étude se fera en deux étapes :

En premier lieu, la modélisation dynamique d'un séisme similaire et qui a déjà eu lieu et sur lequel nous disposons d'un jeu de données abondant : le séisme d'Illapel de septembre 2015, Mw 8.3. Grâce aux données accélérométriques en champ proche et aux données cGPS à haute fréquence (1 Hz) il est possible de déterminer la caractéristique des aspérités sismogènes. D'après l'étude préliminaire d'Aochi & Ruiz, 2018, la plus grande aspérité fait environ 8000 km² avec une énergie de fracture de l'ordre de 1×10^{17} J et s'étend jusqu'à la surface. Des petites aspérités sont localisées plutôt en profondeur et semblent correspondre à la sismicité de magnitudes modérées. L'extension de la rupture peut avoir une forte corrélation (à démontrer) avec le couplage intersismique révélé par les mesures GPS.

En second lieu, l'établissement de scénarios de séisme pour la région d'Atacama. Nous proposons de construire des cartes d'aspérités sismogènes sur la base des cartes de sismicité et de couplage d'interface associées à la détection d'éventuels glissement asismique. Sur la base des paramètres de friction obtenus pour le séisme d'Illapel, différents scénarios seront étudiés et des probabilités leur seront associées si possible. Nous tenterons également de reconstruire le séisme de 1922 à partir des témoignages de ce séisme collectés par Willis (1929). Ces témoignages permettent de préciser la durée des secousses, la directivité de la rupture et l'existence des aspérités. En termes de prévention du risque, il est important de montrer la possibilité de prévoir comment une rupture commence, grandi et s'arrête à cause des interactions entre aspérités sismogènes et asismiques. La reproduction du séisme historique est un challenge, et devra être très utile aux prévisions du séisme futur. Ces scénarios basés sur la mécanique complèteront les scénarios cinématiques standards qui sont utilisés dans le plan d'évaluation d'aléa sismique. Les analyses des mouvements sismiques en champ proche complèteront cette étude en application en génie civil.

Fonctionnement du groupe de travail

Le groupe de travail est organisé de manière simple et pratique :

- Le partenaire LG-ENS (C. Vigny, E. Klein, F. Boudin) organise et réalise les mesures de déformation, qu'elles soient GPS ou inclinométriques. Seul le coût des campagnes d'installation et de maintenance du réseau local est demandé dans le cadre de ce projet, le matériel (stations GPS, station ILBI - 2 composantes) étant financé par d'autres projets (ressources propres, action incitative ENS)
- Le partenaire IRD (J.M Nocquet) réalise et coordonne la ré-analyse des données GPS disponibles dans le but d'obtenir les séries temporelles les moins bruitées possibles
- Le partenaire LG->ENS/BRGM (H. Aochi) réalise les modélisations de sources sismiques et l'établissement de scénarios probabilistes de ruptures

Toutes ces actions sont menées en partenariat avec les collègues du département de géophysique de l'Université du Chili à Santiago (S. Ruiz, J. Campos) et l'aide logistique du Centre Sismologique National (CSN) (S. Barrientos).

Résultats attendus et perspectives

Après les séismes de Maule 2010 dans la région Centre-Chili, Iquique 2014 au Nord-Chili et Illapel 2015 dans la région Métropolitaine, il nous semble maintenant impératif de concentrer nos efforts sur la région d'Atacama, où un séisme de magnitude supérieure à 8.5 est susceptible de se produire bientôt. La séquence de grandes ruptures qui a commencé en 2010 au centre-Sud du Chili pourrait fort bien continuer avec cet événement attendu, tout comme la subduction de Sumatra a rompu tout du long lors de la décennie précédente, au cours d'une séquence initiée par le séisme d'Enganno en 2000 et « conclue » par le séisme de Mentawai 2010 (avec bien sur les séismes géants de Banda-Aceh en 2004 et Nias en 2005).

L'installation des nouvelles stations permanentes dans la région nous permettra :

- a) De vérifier notre hypothèse de récurrence du SSE, en capturant le prochain événement qui se produira.
- b) De disposer d'un réseau dense cGPS de monitoring de tous les signaux dans la région, complétant les observations de campagnes, afin d'étudier les corrélations spatio-temporelles avec la sismicité.
- c) De démontrer l'efficacité des méthodes « géodésiques » de stabilisation des séries temporelles GPS par opposition aux méthodes de filtrage classique, non adaptées.
- d) De disposer de données cGPS à haute fréquence en cas de séisme important (les motogrammes) qui permettent d'étudier la nucléation du séisme et la vitesse de propagation de la rupture sous un angle nouveau et complémentaire de celui des données sismologiques seules.

L'installation d'un nouveau prototype d'inclinomètre longue-base optique (ILBI) dans la région nous permettra :

- a) De démontrer les capacités de ce nouvel instrument en milieu tectonique actif après les démonstrateurs du CNES et du LSBB (brevets possibles sur divers aspects).
- b) De réaliser un transfert de technologie vers les pays concernés à terme : la technologie de l'inclinomètre, en particulier optique, est nouvelle et ce projet peut être un levier pour des déploiements plus systématiques.
- c) De corroborer les séries temporelles GPS et de démontrer l'efficacité des mesures conjointes GPS / inclinométrie grâce à leur complémentarité (exactitude / sensibilité).
- d) De caractériser et quantifier un SSE avec une précision jamais atteinte.

L'ensemble de ces données acquises permettra d'étudier l'évolution spatio-temporelle du prochain SSE, ce qui n'a pas été possible pour celui de 2014-2016. Nous pourrions ainsi mieux imager et comprendre les interactions entre la partie superficielle sismogène de l'interface, a priori bloquée, et la partie profonde où se produisent les SSE, et l'éventuel transfert de contrainte. Nous pourrions aussi détecter et étudier des potentiels signaux précurseurs au prochain grand séisme et étudier si l'occurrence des SSE profonds a pu avancer celle du méga-séisme. Nous pourrions aussi et enfin observer la nucléation de ce séisme grâce à un meilleur réseau permanent, à l'appui des données sismologiques qui pourront être rassemblées.

Effet d'amorçage / futurs projets :

1. L'inclinométrie longue base est encore en démonstration, le prototype optique n'a jamais été utilisé en contexte tectonique. La capture simultanée par inclinomètre et GPS d'un nouveau glissement lent permettrait de démontrer l'efficacité de ce nouvel instrument et de l'introduire systématiquement dans les projets d'études de la subduction.
2. Dans l'hypothèse où un nouveau glissement lent se produirait autour de 2020, démontrant ainsi une récurrence régulière, cela deviendrait un argument fort pour que cette zone devienne une zone cible pour des projets ambitieux de mesures de géodésie de fond de mer.
3. La quantification spatio-temporelle fine d'un éventuel SSE permettra de se lancer des l'étude du forçage climatique sur les épisodes de glissement et le déclenchement de grands séismes.

Projets collaboratifs :

1. Projet **ANR S5 "Synchronous Slow Slips & Seismic Swarms"** (PI J.M. Nocquet). Tous ces SSE & swarms sismiques semblent être relativement communs à toute la subduction andine. En ce sens, notre projet s'inscrit dans une démarche d'étude conjointe impliquant l'Equateur, le Pérou et le Chili et les chercheurs locaux (objet du projet S5)
2. Projet **IRD/CNRS** (PI Q. Blettery) sur l'application des techniques de Machine Learning pour détecter, localiser et classifier les événements qui pourraient être synchrones d'un glissement lent. Notre projet, qui s'intéresse à la caractérisation de la déformation mesurée en surface (CGPS & inclino) est complémentaire des études sismologiques qui elles caractériseront la partie sismique.

BUDGET

1 – Budget détaillé et justifié par poste de dépenses et par équipe pour l'année 2019

(une demi-page maximum). Ce budget ne doit pas inclure la gratification de l'éventuel stage demandé si le porteur appartient à une unité CNRS. Si le portage est assuré par une unité IRD, la gratification de stage doit être intégrée dans le budget global demandé.

NB : le budget pourra intégrer les frais de mission relatifs à la présentation des résultats début 2020, voir le texte de l'appel.

1^{ère} année :		19.5 k€
1.	mission maintenance réseau cGPS ⁽¹⁾ – Juin/Juillet 2019	6 k€
2.	mission maintenance réseau cGPS – Novembre/Décembre 2019	6 k€
3.	Mission reconnaissance et installation ILBI ⁽²⁾ -Juin/juillet 2019	7.5 k€
2^{ème} année ⁽³⁾ :		9 k€
1.	mission maintenance ILBI – Mars 2020	3 k€
2.	mission maintenance réseau cGPS – Mars 2020	6 k€

⁽¹⁾ Mission « maintenance GPS » = 2 personnes (IJ = 50€/j/pr) x 15 jours + Billets avion 1k€ + 1 camionnette 4x4 (100€/j) + carburant (500€) + consommables (colle, marqueurs, cables,..) = 6k€

⁽²⁾ Mission «Reco-Instal ILBI » = 2 personnes (IJ = 50€/j/pr) x 28 jours + Billets avion 1k€ + 1 camionnette 4x4 (100€/j) + carburant (300€) = 7.5k€

⁽³⁾ Si programmation sur 2 ans acceptée. A défaut le financement nécessaire sera demandé sur d'autres AO, y compris interne et ressources propres du laboratoire de Géologie de l'ENS.

Co-financements :

	Nom du projet	Organisme financeur	Objet du projet	statut	montant
0.	Plateforme LG-ENS	RP lab.Geologie ENS	10 rec. GPS (Net-Rs)	disponible	- NA -
1.	Copiapo2020-SSTrigger	INSU-TELLUS-Aléa	Install réseau cGPS	obtenus	8 k€
2.	Copiapo2020-SSTilt	Action Incitative ENS	Construction ILBI	demandés	20 k€
3.	Copiapo2020-SSHazard	AO IRD/CNRS	Maintenance réseaux	demandés	19.5 k€

2 – Demande exceptionnelle d'un stage de Master. Durée : 3 à 6 mois. Cette demande doit être argumentée et le laboratoire d'accueil doit être clairement indiqué.

Déplacements : missions, conférences, etc.	19 500 + 9 000 €
Organisation de manifestations : colloques, ateliers, etc.	€
Fonctionnement	€
Équipement non-amortissable (montant unitaire inférieur à 800 € HT)	€
Équipement amortissable (montant unitaire supérieur à 800 € HT)	€
Prestations de service étroitement liées à la mise en œuvre du projet	€
TOTAL	28 500 €

Visa du directeur d'unité du porteur

Cf page suivante

BUDGET

1 – Budget détaillé et justifié par poste de dépenses et par équipe pour l'année 2019

(une demi-page maximum). Ce budget ne doit pas inclure la gratification de l'éventuel stage demandé si le porteur appartient à une unité CNRS. Si le portage est assuré par une unité IRD, la gratification de stage doit être intégrée dans le budget global demandé.

NB : le budget pourra intégrer les frais de mission relatifs à la présentation des résultats début 2020, voir le texte de l'appel.

1^{ère} année :		19.5 k€
1.	mission maintenance réseau cGPS ⁽¹⁾ – Juin/Juillet 2019	6 k€
2.	mission maintenance réseau cGPS – Novembre/Décembre 2019	6 k€
3.	Mission reconnaissance et installation ILBI ⁽²⁾ – Juin/juillet 2019	7.5 k€
2^{ème} année ⁽³⁾ :		9 k€
1.	mission maintenance ILBI – Mars 2020	3 k€
2.	mission maintenance réseau cGPS – Mars 2020	6 k€

⁽¹⁾ Mission « maintenance GPS » = 2 personnes (U = 50€/j/pr) x 15 jours + Billets avion 1k€ + 1 camionnette 4x4 (100€/j) + carburant (500€) + consommables (colle, marqueurs, cables,..) = 6k€

⁽²⁾ Mission « Reco-Instal ILBI » = 2 personnes (U = 50€/j/pr) x 28 jours + Billets avion 1k€ + 1 camionnette 4x4 (100€/j) + carburant (300€) = 7.5k€

⁽³⁾ Si programmation sur 2 ans acceptée. A défaut le financement nécessaire sera demandé sur d'autres AO, y compris interne et ressources propres du laboratoire de Géologie de l'ENS.

Co-financements :

	Nom du projet	Organisme financeur	Objet du projet	statut	montant
0.	Plateforme LG-ENS	RP lab.Géologie ENS	10 rec. GPS (Net-Rs)	disponible	- NA -
1.	Copiapo2020-SSTrigger	INSU-TELLUS-Aléa	Install réseau cGPS	obtenus	8 k€
2.	Copiapo2020-SSTilt	Action Incitative ENS	Maintenance réseaux	demandés	20 k€
3.	Copiapo2020-SSHazard	AO IRD/CNRS	Construction ILBI	demandés	19.5 k€

2 – Demande exceptionnelle d'un stage de Master. Durée : 3 à 6 mois. Cette demande doit être argumentée et le laboratoire d'accueil doit être clairement indiqué.

Déplacements : missions, conférences, etc.	19 500 + 9 000 €
Organisation de manifestations : colloques, ateliers, etc.	€
Fonctionnement	€
Équipement non-amortissable (montant unitaire inférieur à 800 € HT)	€
Équipement amortissable (montant unitaire supérieur à 800 € HT)	€
Prestations de service étroitement liées à la mise en œuvre du projet	€
TOTAL	28 500 €

Visa du directeur d'unité du porteur

M. Alexandre SCHUBNEL
Directeur UMR 8536