



ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA TERRE



Sujet proposé pour un début de contrat en Septembre 2012

TITRE du SUJET : Détection et caractérisation des sources sismiques d'origine glaciaire (icequakes): modélisation numérique et analyse des ondes sismiques générées

Directeur (trice) : MANGENEY Anne (Pr), mangeney@ipgp.fr

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) : MONTAGNER Jean-Paul (Pr), jpm@ipgp.fr

Equipe d'accueil : à préciser et supprimer la ligne inutile

IPGP- Equipe de Sismologie – UMR7154

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission**

*Plus de renseignement voir : <http://ed109.ipgp.fr>, Rubrique : Offres_de_thèse
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

Développement du Sujet : (1 à 2 pages)

La détection et la caractérisation des sources sismiques d'origine environnementale (glissements de terrain, vagues dans l'océan, mouvement des glaciers,...) sont en plein développement avec des implications aussi bien en recherche fondamentale (sismologie, glaciologie, océanographie..) qu'en recherche appliquée en particulier dans le domaine de la défense. En effet, le transfert et l'évolution des connaissances, méthodes et outils développés en sismologie, en traitement du signal et en modélisation de la propagation d'ondes vers l'étude de sources différentes des tremblements de terre permettront d'améliorer considérablement l'analyse des ondes sismiques enregistrées à la surface de la Terre ou en mer aux échelles locales, régionales et globales.

Des études récentes ont montré que les mouvements des glaciers génèrent des signaux sismiques enregistrés par les réseaux régionaux et globaux, fournissant une base de données unique sur la dynamique et l'évolution temporelle de ces processus. Au Groenland environ 200 séismes d'origine glaciaire (icequakes) ont été récemment identifiés et localisés au niveau des glaciers émissaires, dans les zones côtières (*Ekström et al.*, 2003). Plusieurs processus physiques ont été proposés pour expliquer leur origine : vêlage des icebergs, ouverture de crevasses, ou encore glissement basal mais aucun des modèles simples proposés dans la littérature ne permet de reproduire les observations sismologiques. Par leur lien avec l'évolution du climat, ces processus d'instabilités des calottes polaires sont au coeur des préoccupations de la communauté scientifique. De plus, l'intérêt stratégique des zones polaires nécessite une bonne connaissance des propriétés acoustiques des zones côtières dans ces régions du globe.

Nous proposons ici d'aborder ce problème par une étude couplant des modèles mécaniques de pointe d'écoulement de la glace (**comportement élasto-visco-plastique** avec un **fort couplage thermo-mécanique**) et des **méthodes de propagation d'ondes et de retournement temporel**.

Concernant l'écoulement de la glace, il s'agira d'utiliser le modèle SICOPOLIS, classiquement utilisé en glaciologie, puis des modèles plus complexes incluant des **processus physiques susceptibles d'émettre des ondes sismiques** (fracturation, frottement, etc.), prenant en compte la vraie topographie du Groenland, et des conditions aux limites réalistes en collaboration avec l'Université d'Hokkaido au Japon. Les premiers résultats que nous avons obtenus montrent l'importance du choix de la loi de comportement à la base du glacier dans la modélisation des processus d'instabilités. Ces modèles permettent de calculer le système de forces ou le tenseur des moments à l'origine des ondes sismiques émises.

Ces développements seront guidés par la comparaison entre le système de forces simulé numériquement et les données caractérisant la source à l'origine des icequakes calculées en inversant les signaux sismiques (*Larmat et al.*, 2008). Nous utiliserons les principes de réciprocity spatiale et d'invariance temporelle des équations d'ondes, qui nous ont permis de mettre au point une méthode de renversement temporel des données sismiques qui permet de **localiser en temps et en espace les événements sismiques de toute nature**, aussi bien d'origine tectonique qu'environnementale, tels que les séismes glaciaires (Figure 1). Les séismes glaciaires sont de bons exemples d'événements sismiques de faible magnitude (<5 à l'instar des explosions nucléaires) souvent noyés dans le bruit. L'application de la méthode de renversement temporel permet d'augmenter le rapport signal sur bruit de façon significative (par interférences constructives) et ainsi de caractériser ces sources sismique de façon quantitative en les couplant avec des simulations numériques. L'objectif consistera ici à utiliser cette méthode pour contraindre le système de forces en jeu dans de tels événements.

Nous analyserons les **caractéristiques des signaux observés** (contenu spectral, système de force, durée, etc.) en les reliant aux **caractéristiques de la source** (type d'instabilités, durée, énergie relâchée, etc.) en s'inspirant des travaux récents de *Hibert et al.*, 2011 sur les ondes sismiques émises par les glissements de terrain. L'influence de l'**hétérogénéité du milieu traversé** sera également étudiée en utilisant des codes de propagation d'ondes d'éléments spectraux développés dans notre équipe en collaboration avec Yann Capdeville (LPG Nantes).

L'équipe de sismologie de l'IPGP effectue une recherche de pointe reconnue internationalement dans ces domaines (ondes/bruit sismique généré par des glissements de terrain, des glaciers, les vagues dans l'océan, etc.). Anne Mangeney est directrice de l'équipe de Sismologie de l'IPGP et Jean-Paul Montagner est professeur Institut Universitaire de France et a reçu plusieurs médailles ou prix au cours de sa carrière. Olivier Castelnau figure parmi les experts les plus reconnus dans la modélisation du comportement mécanique des glaces polaires.

Ekström, G., M. Nettles, and G. A. Abers, Glacial earthquakes, *Science*, 302, 622--624, 2003.

Hibert, C., Mangeney, A., Grandjean, G., and Shapiro, N. 2011. Slopes instabilities in the Dolomieu crater, la Réunion island : from the seismic signal to the rockfalls characteristics, *J. Geophys. Res. - Earth Surface*, 116, F04032.

Larmat, C., J. Tromp, Q. Liu and J.-P. Montagner, Time reversal location of glacial earthquakes, 2008, *J. Geophys. Res.*, 113, B09314.

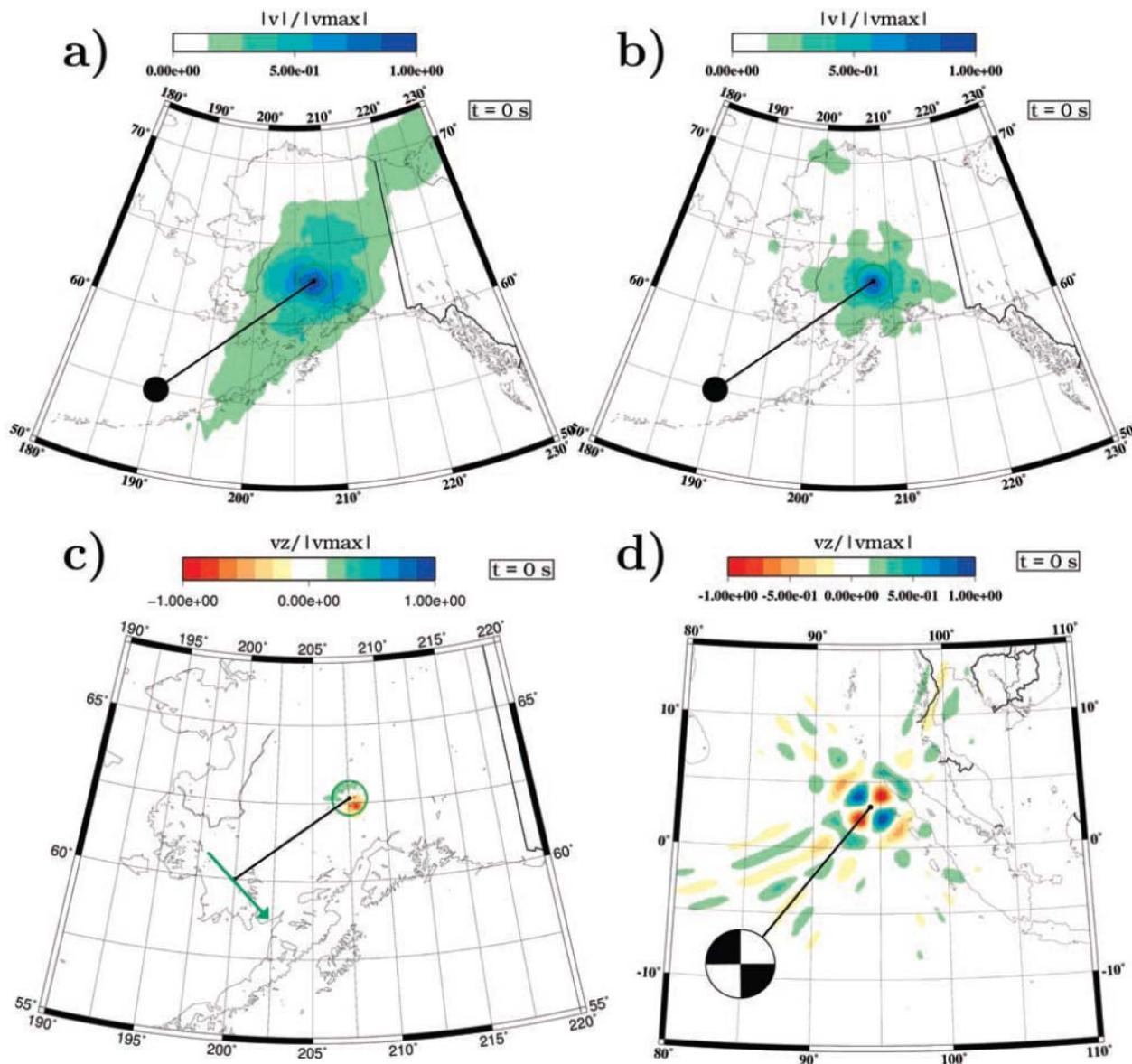


Figure 1 : (a) and (b) Tests with an explosion. In Figure 2a, the shape of the focal spot that appears in the maps of the norm of the adjoint velocity wavefield at the focus time is not perfectly circular around the actual source location due to the high density of stations in North America. In Figure 2b, the focal spot becomes circular when stations are weighted through a Voronoi tessellation. (c) Map of the vertical component of the velocity wavefield when the original source is a single point force (dip 45° ; azimuth: 138°). The reconstructed radiation pattern has a two-lobed shape. (d) Same as Figure 2c except for a strike-slip source. The reconstructed radiation pattern has a four-lobed shape. From Larmat et al. (2008)