



ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA TERRE



001

Modélisation du signal sismique généré par les instabilités gravitaires : un nouvel outil pour détecter les glissements de terrain et comprendre leur dynamique

Directeur de thèse : Anne Mangeney, Maître de Conférence à l'Université Paris Diderot 7, Equipe de Sismologie IPGP

Co-directeur : Yann Capdeville, Chargé de Recherche, Equipe Sismologie IPGP/LPG Nantes.

Equipe d'accueil : Sismologie IPGP

Résumé : Les glissements de terrain jouent un rôle clé dans l'évolution du relief et représentent un risque majeur pour les populations en domaine volcanique, montagneux, sismique et côtier. Un des freins important à la compréhension et à la prévention de ces instabilités gravitaires est le manque de données sur leur dynamique. Des études récentes en sismologie montrent que le signal sismique généré par les instabilités gravitaires représente une source unique d'information sur les caractéristiques de ces processus. L'analyse du signal généré permet non seulement de détecter les événements mais également de retrouver leur masse, leur localisation et même de contraindre leur dynamique. L'analyse des données sismologiques permettrait ainsi de constituer une base de données sur l'évolution temporelle et spatiale des instabilités gravitaires et d'étudier leur lien avec l'activité volcanique, sismique et climatique.

L'objectif de cette thèse est d'utiliser les connaissances récentes en modélisation des effondrements gravitaires et en sismologie pour mieux comprendre et inverser le signal sismique généré par ces instabilités. Le couplage entre les modèles d'écoulement et de propagation d'ondes, associé au développement de méthodes inverses, nous permettra notamment de répondre aux questions majeures suivantes: Quel est l'effet de la topographie, du volume de la masse déstabilisée et du comportement mécanique de l'écoulement sur le signal généré ? Comment peut-on remonter aux caractéristiques des instabilités gravitaires à partir de leur enregistrement sismique ? A quelle distance peut-on détecter une instabilité gravitaire ? Enfin, un point clé sera de quantifier l'effet de la vibration du sol sur la mobilité de l'écoulement, un processus proposé dans la littérature pour expliquer la grande mobilité de certains écoulements naturels. Dans le cadre de cette thèse, nous étudierons notamment les avalanches de débris d'origine volcanique récentes liées aux déstabilisations de flancs de la Soufrière Hills, Montserrat, dont le signal sismique a pu être détecté depuis 1995 (début de la crise volcanique) sur les stations sismiques locales et régionales, fournissant ainsi une base de données unique jusque-là inexploitée. Les résultats obtenus seront utilisés pour améliorer les cartes d'aléas liés aux effondrements gravitaires sur les îles volcaniques.

Modélisation du signal sismique généré par les instabilités gravitaires : un nouvel outil pour détecter les glissements de terrain et comprendre leur dynamique

Directeur de thèse : Anne Mangeney, Maître de Conférence à l'Université Paris Diderot 7, Equipe de Sismologie IPGP, **co-directeur :** Yann Capdeville, Chargé de Recherche, Equipe Sismologie IPGP/LPG Nantes. **Equipe d'accueil :** Sismologie IPGP

Présentation détaillée du sujet de thèse:

Les glissements de terrain jouent un rôle clé dans l'évolution du relief et représentent un risque majeur pour les populations en domaine volcanique, montagneux, sismique et côtier. Un des freins importants à la compréhension et à la prévention de ces instabilités gravitaires est le manque de données sur leur dynamique. En effet, le caractère destructeur et imprévisible de ces événements rend les mesures sur le terrain extrêmement difficiles.

Des études récentes en sismologie montrent que le signal sismique généré par les instabilités gravitaires comme les glissements de terrain ou les écoulements pyroclastiques représente une source unique d'information sur les caractéristiques de ces processus. L'analyse du signal généré permet non seulement de détecter les événements mais également de retrouver leur masse, leur volume, leur localisation et même de contraindre leur dynamique (vitesse, frottement au cours du temps...). Ainsi, une analyse systématique des données sismologiques en terme d'instabilités gravitaires permettrait de constituer une base de données sur l'évolution temporelle et spatiale des événements et d'étudier leur lien avec l'activité volcanique, sismique et climatique.

L'objectif de cette thèse est d'utiliser les connaissances récentes en modélisation des effondrements gravitaires et en sismologie pour mieux comprendre et inverser le signal sismique généré par les instabilités gravitaires. Il s'agira dans un premier temps de modéliser par une approche directe l'avalanche ainsi que la propagation des ondes sismiques qu'elle génère et de comparer le signal simulé aux données sismologiques enregistrées sur les réseaux locaux et mondiaux [Mangeney *et al.*, 2007 ; Capdeville *et al.*, 2003]. Les nouveaux résultats obtenus par notre équipe montrent en effet que la modélisation du signal sismique permet de contraindre fortement la dynamique du glissement et de donner une estimation des paramètres rhéologiques mis en jeu [Favreau *et al.*, 2010]. Le couplage entre les modèles d'écoulement et les modèles de propagation d'ondes, associé au développement de méthodes inverses, nous permettra notamment de répondre aux questions majeures suivantes: Quel est l'effet de la topographie, des caractéristiques géométriques de la masse déstabilisée et du comportement mécanique de l'écoulement sur le signal généré ? Comment peut-on remonter aux caractéristiques des instabilités gravitaires à partir de leur enregistrement sismique ? A quelle distance peut-on détecter une instabilité gravitaire ? Enfin, un point clé sera de quantifier l'effet de la vibration du sol sur la mobilité de l'écoulement, un processus proposé dans la littérature pour expliquer la grande mobilité de certains écoulements naturels. Ce problème sera abordé en collaboration avec des expérimentateurs de l'EOST, Strasbourg et de l'Institut de Physique de Rennes.

Dans le cadre de cette thèse, nous étudierons notamment les avalanches de débris d'origine volcanique liées aux déstabilisations de flancs de la Soufrière Hills, Montserrat, Antilles en collaboration avec l'équipe Géologie des Systèmes Volcaniques et les Observatoires Volcanologiques de l'IPGP. En effet, plusieurs avalanches du même type ont eu lieu depuis le début de la crise volcanique en 1995 et leur signal sismique a pu être détecté sur les stations sismiques locales et régionales, fournissant une base de données unique jusque-là inexploitée. Les résultats obtenus seront utilisés pour améliorer les cartes d'aléas liés aux effondrements gravitaires sur les îles volcaniques.

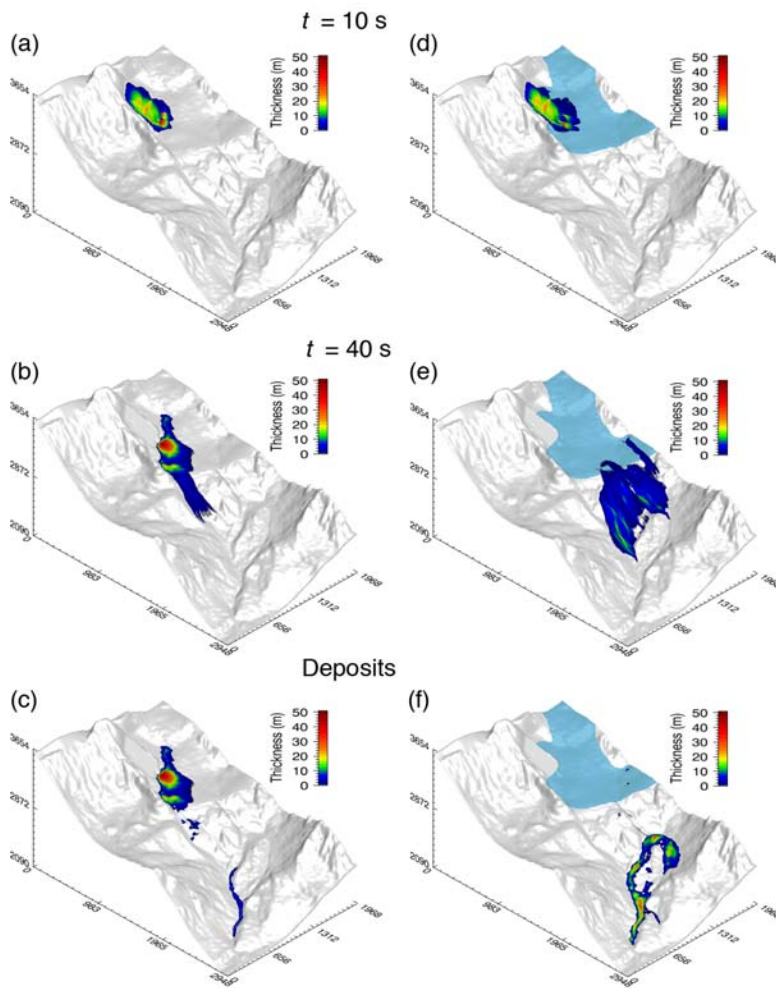


Figure 1 : Modélisation numérique de l'avalanche de Thurwieser, Italie impliquant un volume de 2.5 Mm^3 : (a-c) sans prendre en compte la présence du glacier situé à l'amont de la pente, (d-f) en prenant en compte la réduction de friction liée à la présence du glacier (représenté en bleu clair sur les figures d-f). La dynamique de l'écoulement varie significativement d'un scénario à l'autre, conduisant à des signaux sismiques générés très différents (Figure 2).

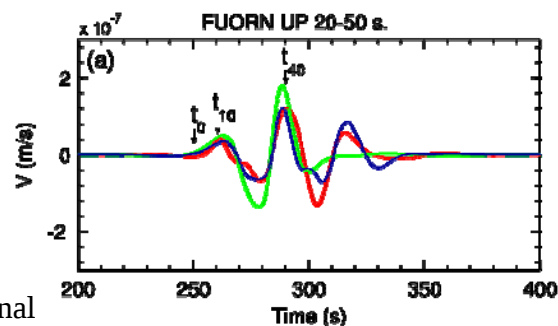


Figure 2 : Signal sismique généré par le glissement de terrain de Thurwieser, Italie : vitesse verticale du sol, filtrée entre 20 et 50 secondes, enregistrée à la station FUORN localisée à 25 km du glissement de terrain. Le signal enregistré sur les stations est représenté en rouge et les signaux sismiques calculés à partir des simulations avec et sans le glacier sont représentés respectivement en bleu et en vert. Le scénario avec glacier reproduit beaucoup mieux le signal observé. Les temps $t_0=0s$, $t_{10}=10s$ et $t_{40}=40s$ représentent le temps écoulé depuis le début de la destabilisation.

Références :

- Capdeville Y., E. Chaljub, J.P. Vilotte and J.P. Montagner, 2003. Coupling spectral elements and modal solution: a new efficient tool for numerical wave propagation in laterally heterogeneous earth models. *Geophys. J. Int*, 152, 34-66.
- Favreau, P., Mangeney, A., Lucas, A., Crosta, G., and F. Bouchut, 2010. Numerical modeling of landquakes, soumis à *Geophys. Res. Lett.*
- Mangeney, A., Bouchut, F., Thomas, N., Vilotte, J.P., and Bristeau, M.O, 2007. Numerical modeling of self-channeling granular flows and of their levee-channel deposits *J. Geophys. Res.*, 112, F02017
- ttait d'approfondir quelques questions importantes en planétologie