

RÉSUMÉ :

Les glissements de terrain développés en roches argilo-marneuses se produisent dans de nombreuses régions du monde et constituent des menaces sérieuses aux populations et aux infrastructures. Si ces glissements de terrain sont généralement « lents », ils peuvent subir des accélérations brutales sous l'action de facteurs de déclenchement divers et évoluer en coulées boueuses visqueuses ou laves torrentielles. Ce projet de recherche a pour but d'améliorer nos connaissances sur les processus qui contrôlent les glissements de terrain lents à l'aide de méthodes passives d'écoute sismique. Nous installons à cet effet des dispositifs d'écoute sismique sur les glissements de terrain de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France) et de Valoria (Nord des Apennins, Emilie-Romagne, Italie). Ces glissements sont déjà fortement étudiés en termes de suivi des déplacements, d'imagerie géophysique de proche surface et de comportement rhéologique. Nous cherchons dans notre cas à détecter, localiser et caractériser les signaux sismiques endogènes propres à leur dynamique (chutes de blocs, cisaillements, ouvertures / fermetures de fissures, transport de matériaux rigides en surface ou en profondeur) malgré les caractères dispersif et atténuant des matériaux argilo-marneux qui les constituent. À Super-Sauze, des campagnes de mesure complémentaires sont réalisées (tomographie sismique 2D, tirs de calibration).

Nous proposons un catalogue de trois types de signaux sismiques issus de l'analyse de trois périodes de mesures, caractérisées par des vitesses de déplacement différentes. La plupart des signaux observés durent en moyenne de 2 à 20 s et ont une fréquence dominante variant de 2 à 50 Hz. Ces signaux sismiques sont ensuite localisés afin de contraindre l'interprétation des sources à l'aide de plusieurs méthodes de localisation en introduisant un modèle de vitesse sismique et par techniques d'inversion de type beam-forming. Un type de signal sismique externe à la dynamique propre des glissements de terrain (tremblements de terre régionaux) est mis en évidence. Les deux autres types de signaux sismiques sont localisés dans des foyers de fissures ou à proximité des escarpements et des ruptures de pente observés en surface des glissements. On observe une augmentation de la quantité de signaux sismiques détectés avec une migration spatiale des foyers de localisation lors d'une accélération sur le glissement de Valoria. Nous suggérons que le premier type est associé à des phénomènes d'écroulements et de chutes de blocs / clastes depuis l'escarpement principal du glissement et à des phénomènes de transport de blocs / clastes en surface de la coulée, tandis que le second type est associé à des phénomènes de fractures et de cisaillements. L'analyse est ensuite étendue aux observations acquises sur le glissement de Super-Sauze jusqu'en septembre 2010. Les sources sont localisées au niveau des mêmes foyers mais le nombre de signaux sismiques varie avec les mois. On montre qu'il existe des corrélations entre ces variations, les déplacements mesurés et les précipitations. On détecte en effet plus ou moins de signaux sismiques en réponse aux variations météorologiques, qui influencent successivement les taux de déplacements mesurés.

Les incertitudes rencontrées dans l'interprétation des sources devraient être palliées par l'installation de nouvelles antennes d'écoute sismique concentrées au niveau des foyers identifiés pour une surveillance à plus long terme. En effet, l'ajout de ces antennes pourrait renforcer la localisation. La difficulté des analyses résidera cependant dans le fait que nous nous intéressons en termes d'études de l'aléa gravitaire à des volumes (de matériaux argilo-marneux) variables dans le temps et dans l'espace et susceptibles d'endommager les systèmes d'acquisition mis en place sur les terrains. De tels phénomènes continueront d'imposer une maintenance régulière des équipements sismiques et complexifieront l'acquisition de données permanentes sur les parties actives des glissements de terrain.

Mots clés : glissement de terrain argileux, écoute sismique, tomographie sismique, géomorphologie

ABSTRACT:

Clay-shale landslides might happen in a lot of regions all around the world and seriously threaten local populations and infrastructures. Should landslides evolve “slowly” (a few centimetres to decimetres per year), they are likely to accelerate suddenly under several triggering factors (earthquakes, porewater pressure), or a part of the whole mass might become fluid under specific conditions and trigger mud slides or even debris flows. The research project presented in this PhD thesis aims at improving our knowledge regarding slow-moving landslide evolution processes by means of passive seismic methods. Seismic arrays have been installed on two landslides (Super-Sauze in the south French Alps and Valoria in the north Apennines), whose geomorphologies are already well known. In our case, we intend to detect, to locate and to characterise the seismic signals directly induced by the dynamics of the landslides (rock fall, shearing, fissure opening) in spite of the high attenuation power of the clay materials they are made of. The acquisition has been completed at Super-Sauze by tomography and shot test measurements to complete the geological model.

A catalogue of three types of seismic signals detected within three acquisition periods characterised by different velocity rates is proposed. Detected seismic signals happen to be generally defined between 2 and 50 Hz for a 2-to-20-s duration. Seismic signals are located by testing several location techniques (beam-forming type) to constrain the source interpretation. One type is actually corresponding to the regional earthquakes. The two others are located into clusters close to fractured or scarp zones within the landslides or may spatially migrate with the acceleration phenomena. The first type of these seismic signals is interpreted as rock falls or brittle material propagating along the slide, while the second type is interpreted as fracture or shearing phenomena. The detection and location methodologies are validated with the extension of the application until September 2010 at Super-Sauze landslide. Seismic signals are located at the same clusters within the landslide. We calculate the cross-correlation of the seismic signals with external parameters such as the rainfall and the piezometric level. We evaluate that they might have an impact on the seismic behaviours and the displacement variations.

We conclude that it is possible to apply seismic monitoring techniques for the dynamics characterisation of clay-shale landslides. Identification limitations should be compensated by the use of several antennas, specifically close to the identified clusters, to increase the location evaluation. A so short acquisition period does not yet enable us to fix long-term statistics regarding the landslide spreading. A solution should be to consider, if possible, the following years. This would require a continuous maintenance and monitoring of the acquisition equipment on the field. The remaining difficulty we will need to keep in mind is that landslides are composed of materials, which are likely to move and to mechanically change in space and time. Hence, sudden acceleration or collapsing events might bury the sensors and interrupt the acquisition and consequently damage the acquisition systems. Such events will require a continuous monitoring of the seismic equipment and will limit the acquisition on the most active part and, in a longer term, the evaluation of eventual crisis precursors.

Key-words: clay-shale landslide, seismic monitoring, seismic tomography, geomorphology