

## SUIVI TEMPOREL GEOPHYSIQUE D'UN GLISSEMENT-COULEE ARGILEUX AVEC LES CAPTEURS SITUES HORS DE LA ZONE INSTABLE (GLISSEMENT DU PONT-BOURQUIN, SUISSE)

BIÈVRE G.<sup>1</sup>, JONGMANS D.<sup>1</sup>, LÉBOURG T.<sup>2</sup>, CARRIÈRE S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, IRD, Univ. Gustave Eiffel, ISTerre, 38000 Grenoble, France

<sup>2</sup> GEOAZUR, Univ. Nice Sophia Antipolis, France

### RESUME

*Le glissement-coulée du Pont-Bourquin (Alpes suisses) a été suivi temporellement à l'aide de deux paramètres géophysiques (ondes de surface, résistivité électrique) entre février et novembre 2015. Les capteurs (2 vélocimètres et 36 électrodes) ont été positionnés immédiatement de part et d'autre de la zone instable. La corrélation des séries temporelles géophysiques avec les paramètres environnementaux montre un effet réversible aussi bien à court terme (précipitations) qu'à plus long terme (effet saisonnier représenté ici par la température).*

**Mots clés :** glissement-coulée, suivi temporel, vitesse sismique, résistivité électrique

### GEOPHYSICAL MONITORING OF AN EARTHSLIDE WITH SENSORS LOCATED OUTSIDE THE UNSTABLE ZONE (PONT-BOURQUIN LANDSLIDE, SWISS ALPS)

### ABSTRACT

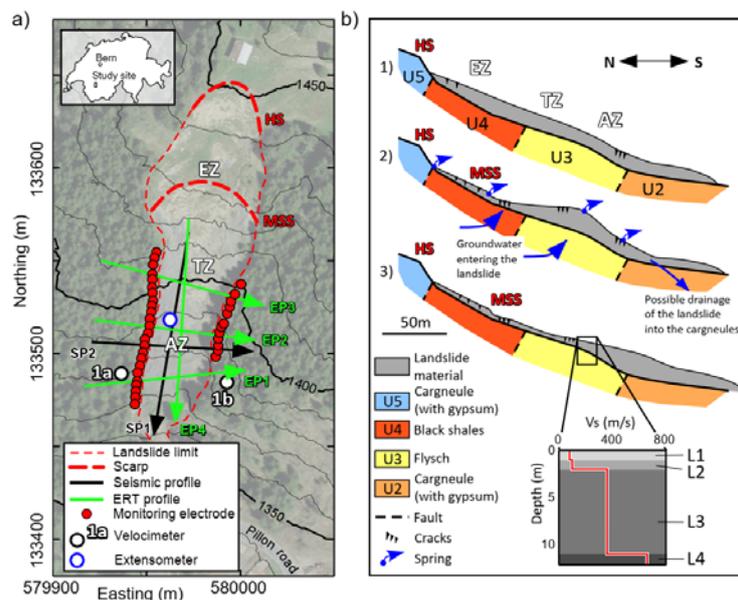
*The Pont-Bourquin earthslide (Swiss Alps) was monitored temporally using two geophysical parameters (surface waves, electrical resistivity) between February and November 2015. The sensors (2 velocimeters and 36 electrodes) were positioned immediately on either side of the unstable zone. The correlation of the geophysical time series with the environmental parameters shows a reversible effect both in the short term (precipitation) and in the longer term (seasonal effect represented here by temperature).*

**Key words:** earthflow, monitoring, seismic velocity, electrical resistivity

### INTRODUCTION

Les méthodes géophysiques en 2D et 3D sont utilisées depuis plusieurs années pour suivre temporellement l'évolution des glissements de terrain. Les méthodes sismiques sont sensibles aux variations de rigidité du matériau tandis que les méthodes électriques sont sensibles, notamment, aux variations hydrologiques. Le suivi temporel à l'aide de méthodes sismiques passives (vitesse des ondes de surface) a montré la capacité de la méthode à détecter des ruptures plusieurs jours avant leur occurrence sur deux sites (Mainsant et al., 2012; Fiolleau et al., 2020) et également à caractériser des variations saisonnières réversibles (Bièvre et al., 2018). Les méthodes électriques (résistivité) ont principalement été utilisées pour suivre les variations hydrologiques de la frange superficielle (quelques mètres au mieux, jusqu'à la nappe) au sein de masses instables. Toutefois, le déplacement relatif des électrodes durant des périodes longues de suivi temporel induit des variations de résistivité qui sont causées non seulement par des variations de résistance électrique mais également par des variations de facteur géométrique (Wilkinson et al., 2010). Il devient conséquemment difficile de suivre temporellement l'évolution hydrogéophysique de glissements de terrain sans recourir au monitoring géodésique des électrodes. Dans ce travail, nous avons testé le suivi temporel sismique passif (bruit de fond ambiant) et électrique (résistivité) d'un glissement-coulée (le glissement de Pont-Bourquin dans les Alpes suisses ; Fig. 1) avec des vélocimètres (1 couple de capteurs) et des électrodes (36 capteurs) situés de part et d'autre du glissement, immédiatement à l'extérieur de la zone instable. Les données ont fourni des séries temporelles qui ont ensuite été corrélées aux paramètres

environnementaux (pluie, température, etc.). L'objectif de ce travail est 1) d'évaluer la capacité d'un tel dispositif à détecter des changements au sein d'un glissement-coulée argileux et 2) de mettre en relation ces changements éventuels avec des variations environnementales.



**Fig. 1** – Localisation et présentation du site d'étude. a) Localisation du glissement de Pont-Bourquin et des expériences. HS : escarpement principal ; MSS : escarpement secondaire principal ; EZ : zone d'érosion ; TZ : zone de transport ; AZ : zone d'accumulation. 1a et 1b : vélocimètres. b) Modèle conceptuel d'évolution du glissement montrant 3 étapes : 1) état stable, 2) glissement de terrain dans EZ avec transport de matériaux vers AZ, 3) déclenchement d'une coulée de débris dans AZ après de fortes pluies.

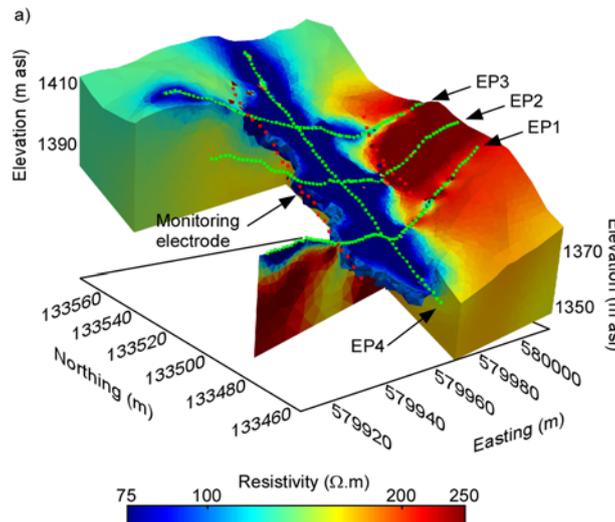
## MATERIEL ET METHODES

Le glissement a tout d'abord été reconnu à l'aide d'une prospection par tomographie de résistivité électrique. 4 profils 2D (EP1 à EP4 ; Fig. 1b) ont été inversés en 3D à l'aide du code BERT (Günther et al., 2006). Un couple de vélocimètres a été positionné de part et d'autre de la zone d'accumulation (Fig. 1a). Les données, enregistrées de façon continue depuis 2010, sont découpées en fichiers horaires. Ces données horaires sont ensuite inter-corrélées et une corrélation quotidienne moyenne est finalement calculée. Dans le cas du site d'étude, la bande de fréquence 8-12 Hz a été utilisée car elle est sensible aux changements qui s'opèrent en sub-surface mais également sur une bande de 2 m d'épaisseur située à la base du glissement à environ 10 m de profondeur (Mainsant et al., 2012). Les détails de la méthode appliquée au site sont fournis dans Bièvre et al. (2018).

Le suivi temporel de résistivité a été conduit au moyen de 36 électrodes (12 en rive gauche et 24 en rive droite ; Fig. 1a) entre février et novembre 2015. 235 séquences quotidiennes comprenant chacune 1654 mesures (moitié directes et moitié réciproques) en configuration dipôle-dipôle équatorial ont été enregistrées durant la période de suivi de 282 jours. Les données brutes ont été filtrées (répétabilité, réciprocité, tension minimum mesurée, etc.). Chaque séquence a ensuite été inversée en 3D en utilisant le modèle 3D comme modèle de départ. Finalement, les résistivités inversées ont été corrigées des effets de la température et séparées en deux zones en fonction de la profondeur (0-5 m et 5-11 m). Les séries temporelles géophysiques ont ensuite été corrélées aux paramètres environnementaux (température et précipitations).

## RESULTATS ET DISCUSSION

L'image 3D de résistivité (Fig. 1) permet d'identifier le corps du glissement qui présente des résistivités inférieures à 100  $\Omega\cdot\text{m}$  sur une épaisseur d'environ 10 m, en accord avec les reconnaissances ponctuelles précédentes (Mainsant et al., 2012).



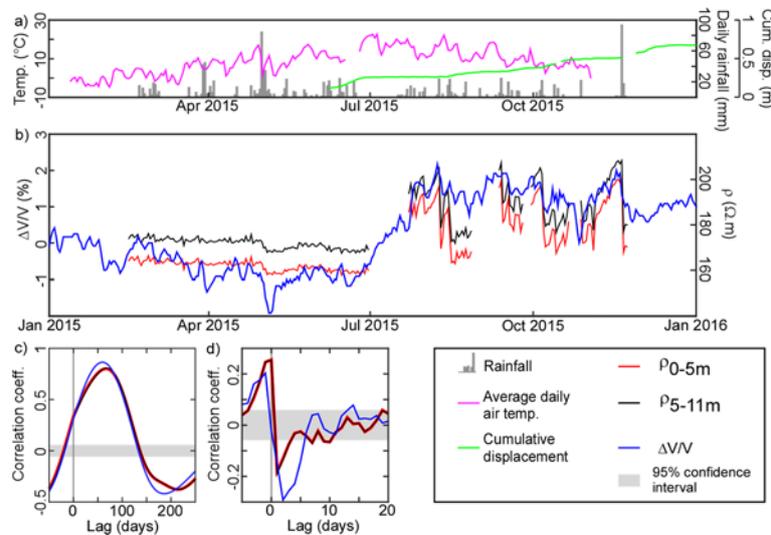
*Fig. 2 – Tomographie 3D de résistivité du glissement de Pont-Bourquin sous l'escarpement secondaire (voir la localisation des profils EP1 à EP4 sur la figure 1a).*

Les paramètres environnementaux mesurés durant la période d'étude sont présentés sur la figure 3a en même temps que les déplacements cumulés, qui montrent une activité relativement constante du glissement. Les séries temporelles géophysiques (Fig. 3b) présentent des allures semblables. Plus particulièrement, les deux séries temporelles de résistivité (0-5 m et 5-11 m) montrent uniquement une différence en terme de valeur absolue, ce qui suggère une faible résolution du système de suivi temporel. Différentes corrélations ont ensuite été calculées et les résultats sont présentés sur les figures 3c à 3f. À basse fréquence, les paramètres géophysiques sont corrélés positivement avec la température (Fig. 3c) et présentent un décalage de 60 à 70 jours. Dans le cas présent, et puisque les séries temporelles de résistivité ont été corrigées de la température, la corrélation illustre une variation saisonnière réversible, représentée ici par la température, des paramètres géophysiques. Pour de plus courtes périodes, les paramètres géophysiques sont corrélés négativement avec les précipitations (Fig. 3d) et indiquent une diminution de vitesse sismique et de résistivité très rapidement après des événements pluvieux et un retour à des seuils non significatifs (plus d'effet des précipitations sur les paramètres géophysiques) 2 à 3 jours après les précipitations. Cet effet à court terme suggère une grande sensibilité du système expérimental aux changements en proche surface.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Deux paramètres géophysiques (vitesse des ondes de surface et résistivité électrique) ont été suivis temporellement à l'aide de capteurs disposés immédiatement de part et d'autre d'un glissement-coulée argileux situé dans les Alpes suisses. Les résultats indiquent que, malgré un manque de sensibilité dans la zone instable en raison du dispositif de suivi sans capteur sur la zone instable, les deux méthodes sont sensibles aux variations environnementales et présentent des variations a priori réversibles. Les corrélations fournissent des informations comparables entre sismique et électrique et suggèrent que les deux paramètres physiques sont fortement affectés par les précipitations, avec un effet qui ne dure pas plus de 2 à 3 jours. Ces résultats indiquent que les couches superficielles peu/pas

saturées (premiers mètres) ont une influence majeure sur les paramètres géophysiques par rapport aux couches plus profondes, proches de la saturation et/ou saturées.



**Fig. 3 – Analyse des séries temporelles de résistivité, vitesses sismiques et des précipitations. a) Température quotidienne moyenne de l'air, précipitations quotidiennes et déplacements cumulés quotidiens. b) Série temporelle de résistivité et de la vitesse sismique relative. c) Corrélogrammes de résistivité et de vitesse sismique non filtrée avec la température. d) Corrélogrammes des séries temporelles de la résistivité et de la vitesse sismique avec les précipitations filtrées par un filtre passe-haut (période correspondante de 30 jours).**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**BIÈVRE G., FRANZ M., LAROSE E., JONGMANS D., JABOYEDOFF M., CARRIÈRE S., 2018** - Influence of environmental parameters on seismic velocity variations in a clayey mudflow (Pont-Bourquin, Switzerland). *Engineering Geology*, 245, 248-257. doi:10.1016/j.enggeo.2018.08.013

**FOLLEAU S., JONGMANS D., BIÈVRE G., CHAMBON G., BAILLET L., VIAL B., 2020** - Seismic characterization of a clay-block rupture in Harmalière landslide, French Western Alps. *Geophysical Journal International*, 221, 1777-1788. doi:10.1093/gji/ggaa050

**GÜNTHER, T., RÜCKER, C., SPITZER, K., 2006** - Three-dimensional modelling and inversion of dc resistivity data incorporating topography — II. Inversion, *Geophysical Journal International*, 166, 2, 506–517. doi:10.1111/j.1365-246X.2006.03011.x

**MAINSANT G., LAROSE E., BRÖNNIMANN C., JONGMANS D., MICHOU D., JABOYEDOFF M., 2012** - Ambient seismic noise monitoring of a clay landslide: Toward failure prediction. *Journal of Geophysical Research*, 117, F01030. doi:10.1029/2011JF002159

**WILKINSON P.B., CHAMBERS J.E., MELDRUM P.I., GUNN D.A., OGILVY R.D., KURAS O., 2010** - Predicting the movements of permanently installed electrodes on an active landslide using time-lapse geoelectrical resistivity data only. *Geophysical Journal International*, 183, 543-556. doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04760.x