

CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN COTIER PAR APPROCHE MULTI-GEOPHYSIQUE

GRANDJEAN G.², THIRARD G.^{1,2}, THIERY Y.², MAQUAIRE O.¹, FRANÇOIS B.², LISSAK C.¹, COSTA S.¹

¹ NORMANDIE UNIV, UNICAEN, CNRS, LETG, 14000 CAEN, France

²Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), 3 avenue Claude Guillemin - BP 36009 - 45060 Orléans Cedex 2, France, g.grandjean@brghm.fr

RESUME

Cette étude porte sur la compréhension du fonctionnement hydrogéologique d'un glissement de terrain complexe affectant la commune côtière de Villerville (Normandie, France). Une approche géophysique multidisciplinaire a été mise en œuvre afin de proposer un modèle conceptuel du comportement d'écoulement interne. L'utilisation de mesures de polarisation spontanée, de nouveaux levés géoélectriques comparés à d'anciennes données fournissent des informations sur la structure et la saturation du milieu en profondeur.

Mots clés : glissement de terrain, polarisation spontanée, géoélectrique, hydrogéologie

HYDROGEOLOGICAL ASSESSMENT OF A DEEP-SEATED COASTAL LANDSLIDE BY MULTI-GEOPHYSICAL APPROACH

ABSTRACT

This study focuses on understanding the hydrogeological functioning of a complex landslide affecting the coastal town of Villerville (Normandy, France). A multidisciplinary geophysical approach has been carried out in order to propose a conceptual model of the internal flow mechanisms. Using spontaneous polarization measurements, new geoelectric surveys compared to old data provide information on the structure and saturation of the medium at depth.

Key words: landslide, spontaneous polarization, geoelectrics, hydrogeology

INTRODUCTION

L'utilisation conjointe de méthodes géophysiques pour étudier les glissements de terrain s'est largement démocratisée au cours des dernières décennies (Jomard et al, 2007). En particulier la tomographie électrique (ERT) et la polarisation spontanée (SP) sont fréquemment utilisées ensemble pour délimiter des chemins d'écoulement préférentiels (Santoso et al., 2019). D'un point de vue spatial, la couverture d'un levé ERT 2D est souvent limitée à des transects - le plus souvent discontinus - mais il permet une imagerie en profondeur des structures de la zone vadose. En complément, la SP permet de caractériser la dynamique d'écoulement du glissement sur une zone continue. Cependant, ces informations doivent être considérées avec d'autres observations de natures géologiques, géotechniques, géomorphologiques afin d'améliorer la fiabilité des interprétations (Jongmans et Garambois, 2007). Notre site d'étude est localisé à Villerville, en Normandie. C'est un cas typique de glissement de terrain complexe sous contrôle hydrologique avec une sensibilité élevée due à la présence d'argiles et à son caractère côtier (Maquaire, 1990 ; Lissak, 2012). Si l'influence de l'hydrologie sur l'activité du glissement est avérée, son fonctionnement hydrogéologique pose encore de nombreuses questions. La présente étude vise à améliorer la compréhension des flux hydriques internes par l'exploitation conjointe de diverses données (données géophysiques, géotechniques et géomorphologiques). Ainsi, à travers une approche multidisciplinaire, il est possible de proposer un nouveau modèle hydrogéologique conceptuel. Les résultats attendus sont multiples : (1) identifier les emplacements de rejet préférés de la nappe phréatique continentale, (2) comprendre les flux d'eau préférentiels dans le glissement de terrain, (3) mettre en évidence le degré d'hétérogénéité du fonctionnement hydrogéologique du site, et (4) établir un lien entre les spécificités morpho-structurelles et le comportement du glissement de terrain vis-à-vis des écoulements internes.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

Le Cirque des Graves est situé dans la partie nord du Pays d'Auge (Normandie, France), le long de la côte de la Manche. C'est le plus important des quatre grands glissements de terrain affectant le littoral entre les communes de Trouville et Cricquebœuf (Fig.1). Ces glissements de terrain sont tous profonds, rotation-translationnels, et initialement déclenchés lors des dernières glaciations weichséliennes (Fressard, 2013). Ils sont également tous actifs du fait de l'action érosive de la mer, qui exerce un affaiblissement continu et ne permet pas à la pente d'atteindre un profil d'équilibre (Maquaire, 1990). Ce glissement de terrain de 47 ha (1600 m de long et 450 m de large) est adjacent au plateau du Pays d'Auge et entouré de deux cours d'eau non permanents à ses limites sud-ouest et nord-est. Son anthropisation est récente puisqu'elle date de la fin du XIX^e siècle (Lissak, 2012).

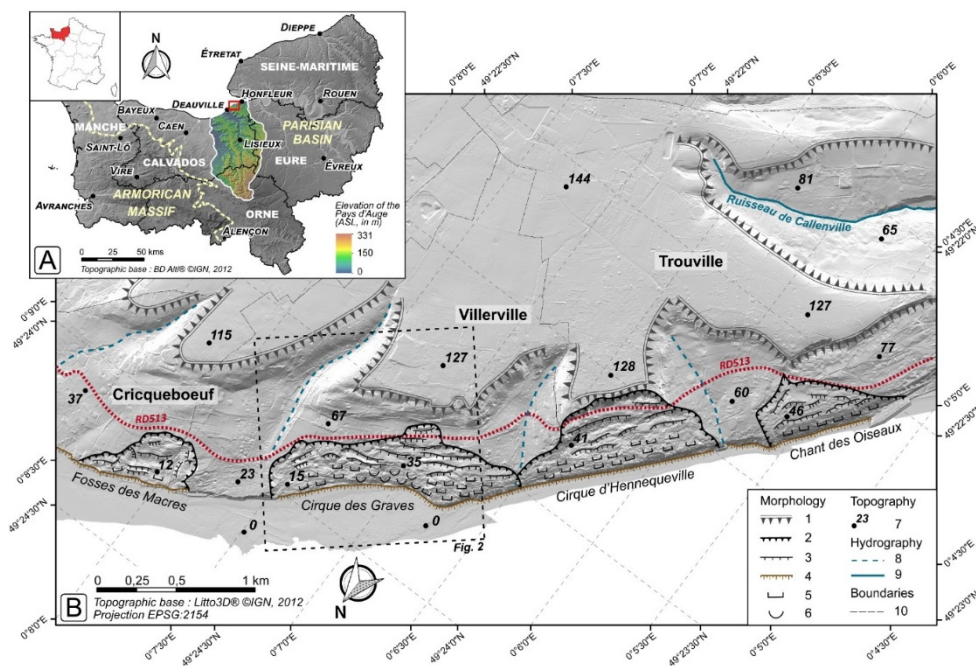


Fig. 1 – Localisation du domaine d'étude en Normandie; B: Esquisse morphologique des quatre grands coteaux côtiers du Pays d'Auge, entre Deauville et Honfleur. 1. Frontière du plateau d'Auge; 2. Escarpement principal des glissements de terrain; 3. Scarp secondaire; 4. Escarpement

basal; 5. Morphologie cahoteuse; 6. Morphologie des lobes de solifluction; 7. Hauteur du spot (en mètres); 8. Débit fluvial temporaire; 9. Débit fluvial permanent; 10. Limite de la municipalité.

Mesures SP

Une cartographie SP a été réalisée en avril 2018. Les mesures ont été effectuées en utilisant un multimètre à haute impédance Fluke175 et deux électrodes céramiques WM "Wolf LTD" impolarisables. Un total de 1 171 points de mesure a été réalisé avec une configuration de base fixe (une électrode de référence et une électrode mobile). L'espacement théorique du levé était de 10 m entre chaque point sur les profils amont / aval et de 25 m entre deux profils parallèles successifs. Afin d'éviter les dérives dues à une distance excessive entre les électrodes, l'emplacement de la station de base a été déplacé tous les 125 m. Les différences entre chaque station de base ont été mesurées et corrigées. Les mesures ont été interpolées par krigeage, le modèle régional a été filtré pour éliminer l'effet topographique et rendre les anomalies locales plus apparentes (Goto et al., 2012).

Mesures ERT

La campagne ERT menée en 2008/2009 (Lissak et al., 2014) a été utilisée pour comparer les valeurs de résistivité avec les informations hydrocinétiques issues de la SP. Les roches du Pays d'Auge sont généralement peu résistantes. La craie est supérieure à 60 Ω .m, tandis que les argiles, les sables et les matériaux retravaillés sont plutôt en dessous de 30 Ω .m. Cette légère distinction permet de discrétiser les lithofaciés rencontrés. Lissak et al. (2014) ont remarqué une augmentation de résistivité est-ouest

expliquée par la litho-stratigraphie. Cette observation est comparée aux valeurs et types d'écoulements souterrains mis en évidence par la surveillance SP.

RESULTATS

La carte SP interpolée montre aussi un gradient croissant d'ouest en est (Fig.2). La plage de valeurs est assez limitée (-14,1 à +32,6 mV). Des valeurs élevées sont observées dans le parc des Graves (+3 à +32 mV) et correspondent aux zones de sources et aux étangs. Dans la section centrale, le gradient augmente également d'amont en aval, avec des valeurs négatives marquées le long de la RD513 (-5 à -14 mV) et des anomalies positives (+12 à +15 mV) au contact des coulées argilo-marneuses en bas de la pente. La zone amont de la RD513 (au centre du glissement de terrain) correspond aux anomalies négatives les plus fortes, à proximité de l'escarpement principal.

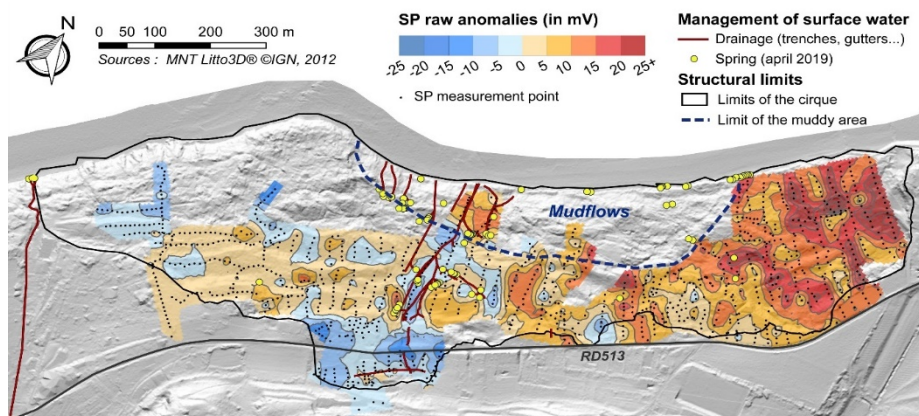


Fig. 2 - Carte interpolée du potentiel propre sur le Cirque des Graves et localisation des principaux drains dans la partie médiane du glissement de terrain

Sur le profil ERT ouest (Fig.2 ; A), le gradient SP diminue aux ruptures de pente. La rupture amont montre une diminution d'environ 20 mV et l'anomalie atteint -18,5 mV en aval. La zone aplatie au milieu du profil présente également des anomalies négatives légèrement moins prononcées (-8 à -10 mV). A l'inverse, une anomalie positive située en haut du profil atteint presque +12 mV dans une zone humide. Les résistivités les plus élevées près de la surface du sol (50 à 500 Ω .m) sont corrélées à une couche de craie assez épaisse, de l'ordre de la dizaine de mètres. Le contact avec les marnes, limite inférieure des formations aquifères, est identifié à environ 15 m de profondeur dans le forage SC3 et coïncide avec des résistivités inférieures à 30 Ω .m. Sur le profil est (Fig. 2 ; B), de faibles anomalies négatives (jusqu'à -4,7 mV) sont observées en amont du profil, dans une zone située sous l'escarpement principal. Les anomalies deviennent alors positives pour atteindre +10,6 mV, dans le dernier tiers de la pente. Lithologiquement, cette zone est caractérisée par le fendage de panneaux de craie altérés (forages SD4 et SD5), d'épaisseur de 2 à 5 m. Ces fragments de panneaux sont entrecoupés de formations hétérométriques de talus argilo-limoneux (forages E et C1). L'ERT indique également des couches assez conductrices (<20 Ω .m) proches de la surface du sol.

CONCLUSIONS

Notre étude a permis d'améliorer la compréhension des flux hydriques internes par l'exploitation conjointe de diverses données (données géophysiques, géotechniques et géomorphologiques). Nous avons montré que la pente est divisée en trois compartiments, avec une division est-ouest. La partie Est (parc) est caractérisée par une matrice hétérogène avec des panneaux de craie altérés et fracturés favorisant le mélange des deux nappes phréatiques de craie et de sable. Ces observations sont vérifiées par (1) les diagraphies de forage, (2) une faible conductivité électrique de la matrice vers la surface proche, (3) le faible nombre de résurgences malgré une nappe phréatique élevée, (4) une conductivité de l'eau homogène de l'amont vers l'aval, et (5) les anomalies SP assez positives malgré quelques petites zones d'infiltration identifiées après la suppression de l'effet topographique régional.

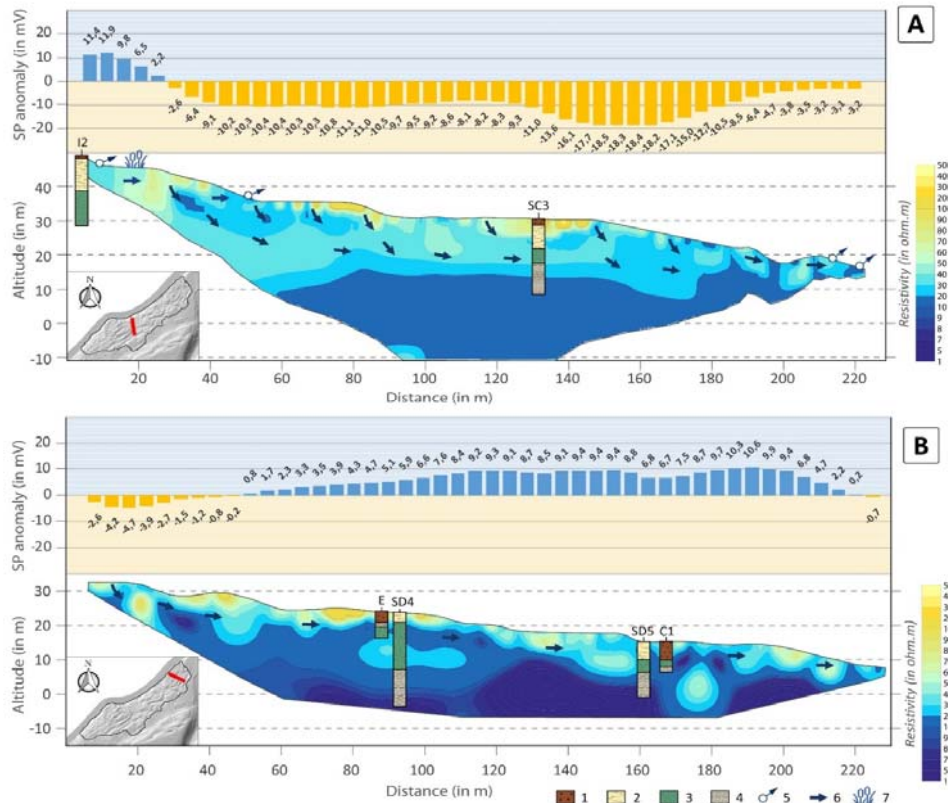


Fig.3 - Corrélation entre les données filtrées SP (2018) et les profils ERT (2007/2008) dans (A) la partie centre-ouest du Cirque et (B) la partie est du Cirque (parc). (1) Formation de pente hétérogène, (2) Craie +/- altérée, (3) Sable glauconitique, (4) Argile et marne, (5) Source, (6) Sens d'écoulement, (7) Eau stagnante.

Remerciements

Cette recherche a été soutenue par le projet ANR «RICOCHET: Évaluation multi-risques sur le territoire côtier dans un contexte de changement global (2017-2021)» (ANR-16-CE03-0008), financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FRESSARD, M., 2013.** Les glissements de terrain du Pays d'Auge continental (Normandie, France) Caractérisation, cartographie, analyse spatiale et modélisation. PhD. Univ. de Caen, 337p.
- GOTO, T., KONDO, K., ITO, R., ESAKI, K., OUCHI, Y., ABE, Y., TSUJIMURA, M., 2012.** Implications of Self-Potential Distribution for Groundwater Flow System in a Nonvolcanic Mountain Slope. International Journal of Geophysics 2012, 1–10.
- JOMARD, H., LEBOURG, T., BINET, S., TRIC, E., HERNANDEZ, M., 2007.** Characterization of an internal slope movement structure by hydrogeophysical surveying. Terra Nova 19, 48–57.
- JONGMANS, D., GARAMBOIS, S., 2007.** Geophysical investigation of landslides : a review. Bulletin de la Société Géologique de France 178, 101–112.
- LISSAK, C., 2012.** Les glissements de terrain des versants côtiers du Pays d'Auge (Calvados) : Morphologie, fonctionnement et gestion du risque. Thèse de géographie. Université de Caen, 317p.
- LISSAK, C., MAQUAIRE, O., MALET, J.-P., BITRI, A., SAMYN, K., GRANDJEAN, G., BOURDEAU, C., REIFFSTECK, P., DAVIDSON, R., 2014.** Airborne and ground-based data sources for characterizing the morpho-structure of a coastal landslide. Geomorphology 217, 140–151.
- MAQUAIRE, O., 1990.** Les mouvements de terrain de la côte du Calvados. Ed. BRGM, 431p.
- SANTOSO, B., HASANAH, M.U., SETIANTO, 2019.** Landslide investigation using self-potential method and electrical resistivity tomography (Pasanggrahan, Indonesia). IOP Conf. Ser.: Earth Env. Sci. 311, 012068.