

MONITORAGE PLUVIOGRAPHIQUE-TENSIOMÉTRIQUE ET GÉOPHYSIQUE POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES GÉOMORPHOLOGIQUES SUR LES VERSANTS

AJASSA R., BOSCO C., COMINA C., MASCIOTTO L., PERRONE L.

Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Torino, via Tommaso Valperga Caluso, 35, 10125 Torino [roberto.ajassa@unito.it]

Résumé – Dans la présente étude des données de précipitations relevées pour un an, de août 2013 à août 2014, et les respectives variations de succion (et donc d'humidité) dans le sol d'un versant affecté par un glissement de terrain, sont discutées et interprétées en intégrant des données de tomographie électrique. L'étude de ces données a nécessité un examen préliminaire des temps de saturation des couches supérieures du glissement de terrain et leur corrélation avec l'intensité et la durée des événements pluvieux. Le but du travail en sus de la poursuite de la surveillance et la relative augmentation de la signification statistique des données est de fixer des seuils d'alerte en corrélant les précipitations avec la teneur en eau du sol, parce que les conditions de saturation du sol sont prédisposant tant de glissements de terrain que des inondations, à l'occasion de fortes pluies ultérieures.

Mots-clés : pluviographe, tensiomètre, surveillance, risque géomorphologique.

Abstract – *Pluviometrical-tensiometric and geophysical monitoring for the assessment of geomorphological hazards on the slopes.* In the present study, monitoring data of precipitation and soil suction (soil moisture), collected for one year, from August 2013 to August 2014 on a slope affected by a landslide are discussed and interpreted together with geophysical data (electric tomography). The study of these data resulted in a useful preliminary examination concerning the saturation times of the upper layers of the landslide and their correlation with the intensity and duration of rainfall events. With the continuation of the monitoring and the related increase in the statistical significance of data, the ultimate goal of the work is to set alert thresholds correlating precipitation with the water content of the soil, because saturated soil conditions are prodromal as the danger of landslides as floods, on the occasion of further heavy rains.

Keywords: rain gauge, tensiometer, monitoring, geomorphological risk.

Introduction

Ce document traite de la surveillance météorologique et hydrologique d'un versant situé dans les collines d'Asti, à Cascina Gilli, à proximité de Castelnuovo Don Bosco (AT, Italie). La stratigraphie de la pente se compose d'une couverture de matériaux colluviaux, d'épaisseur variable, essentiellement limoneuse ou limon argileuse, recouvrant le substrat du Miocène (Marne de Mincengo). Globalement la perméabilité de ces dépôts semble être de moyen à moyen-douce. Cependant, le versant est affecté par un vaste et complexe phénomène gravitaire réactivé plusieurs fois au cours des dernières décennies (Toja *et al.*, 2014), surtout après les événements de précipitations avec des phases paroxystiques au cours des événements de novembre 1994, mars 2002, décembre 2008, avril 2009, mars 2011 et mars 2014 (Fig. 1).

Ci-dessous les résultats de la surveillance réalisée *in situ* grâce à une station météo et la corrélation des données de précipitations avec celles des saturations du sol (tensiomètres) sont discutés et interprétés. On compare également les données tensiométriques de surveillance avec les résultats d'une tomographie électrique « time lapse », réalisée *in situ* à la suite d'une simulation de pluie, mettant en évidence les corrélations entre les paramètres géophysiques et les données pluviométriques.

1. Le système de surveillance de la pente

En juillet 2013, le Département des Sciences de la Terre de l'Université de Turin a installé un système de surveillance sur un versant planté de vignes qui a subi des phénomènes récurrents d'instabilité liés à des précipitations intenses, pour établir une corrélation fiable entre la pluie et le degré de saturation des terrains. Le système installé est capable de collecter les données à travers un groupe intégré de capteurs et de les envoyer par radio à l'unité de réception.

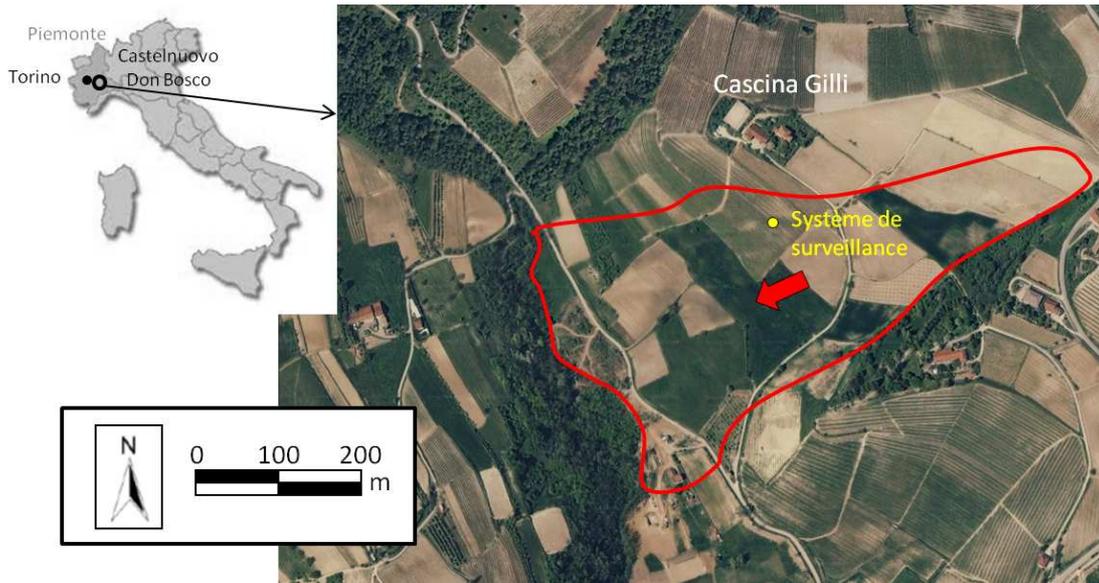


Figure 1. Le versant de Cascina Gilli, à proximité de la ville de Castelnuovo Don Bosco (AT) avec la délimitation de l'éboulement et la position du système de surveillance météorologique-tensiométrique.

L'unité météo comprend un pluviomètre à auget basculeur ; un thermo-hygromètre ; baromètre; un anémomètre ; un capteur de direction et de vitesse du vent ; un capteur de détection du rayonnement solaire global ; un capteur de détection du rayonnement UV (Fig. 2).



Figure 2. Pluviomètre à bascule installé sur le côté d'étude. Encadré en rouge le détail de l'instrument.

L'unité de surveillance hydrologique se compose de quatre tensiomètres (2 à 20 cm et 2 à 50 cm) pour évaluer l'humidité du sol et d'un capteur thermique pour la température (Fig. 3). Avant l'installation, cette dernière unité a été calibrée dans le laboratoire, notamment en termes de courbe tension - contenu d'eau. Une fois installée, elle a aussi été soumise à un essai de mouillage artificiel, suivi étape par étape grâce à enregistrement géophysique en continu (tomographie électrique).

2. Corrélation précipitations - variation de l'humidité du sol

La surveillance combinée des précipitations et de la saturation du sol a permis d'acquérir une quantité importante de données dans la période 2013-2014 et de corréler l'intensité des précipitations avec le degré de saturation du sol, les temps de réponse d'infiltration et les mouvements de la pente. Ci-dessous, par souci de concision, sont décrites les variations

d'humidité dans le sol par rapport à la précipitation après l'événement météorologique plus intense enregistré pendant la période de surveillance du 27 juin 2014, caractérisé par une pluie de 22,8 mm en 15 minutes et de 40,6 mm en 48 heures.

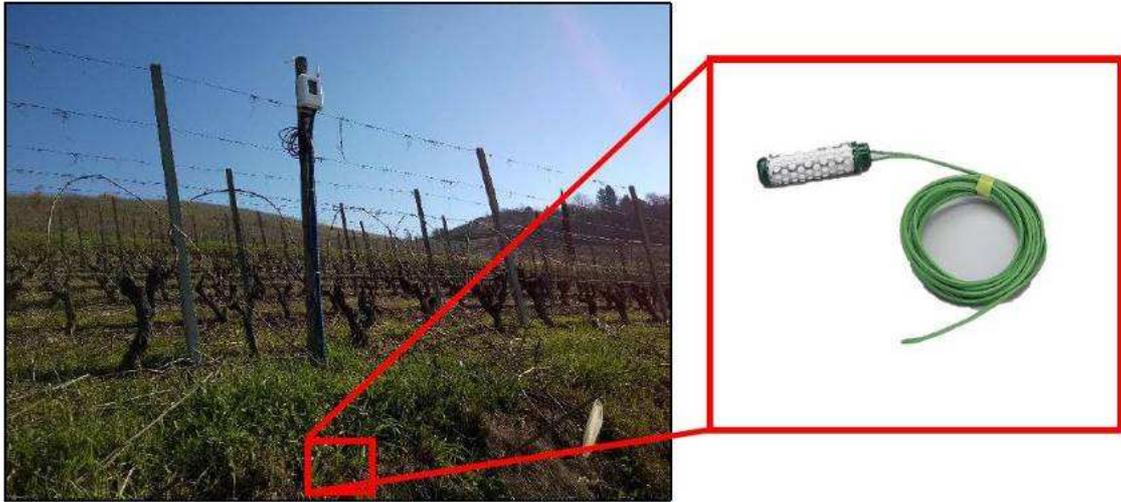


Figure 3. Station hydrologique « wireless » installée. Encadré en rouge le détail de l'un des quatre capteurs d'humidité.

Lors de l'événement, la succion a baissé de 142 à 22 cbar à 20 cm et de 103 à 46 cbar à 50 cm de profondeur. Ces valeurs de succion correspondent à une valeur d'humidité de l'air passant de 35% à 90%, en 20 cm, et de 40% à 70%, à 50 cm. Dans les jours après, l'humidité du sol à 20 cm a baissé à 55% (54 cbar) jusqu'au suivant événement pluvieux du 7 juillet, alors que à 50 cm de profondeur, l'humidité du sol, dans le même intervalle de temps, est restée inchangée (fig. 4 et 5).

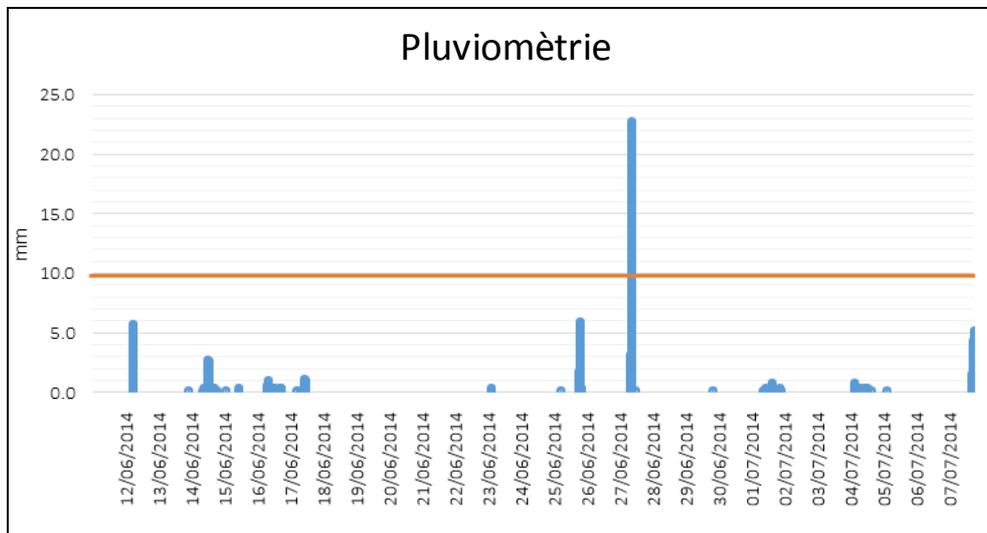


Figure 4. Données pluviométriques du 12/06/2014 au 07/07/2014.

À partir des courbes de réponse des tensiomètres, on observe un mouillage soudain du sol dans sa partie la plus superficielle (20 cm de profondeur) et une l'augmentation rapide de la saturation qui ont lieu quasi immédiatement après les précipitations, alors que la réponse du détecteur plus profond (50 cm de profondeur) est plus lente avec une saturation retardée dans le temps. On note également la très lente libération de l'humidité dans le temps en raison des faibles précipitations subséquentes. Les événements suivants comparables à l'événement

principal pourraient alors provoquer un aléa considérable car le sol se trouve dans des conditions de saturation déjà critiques.

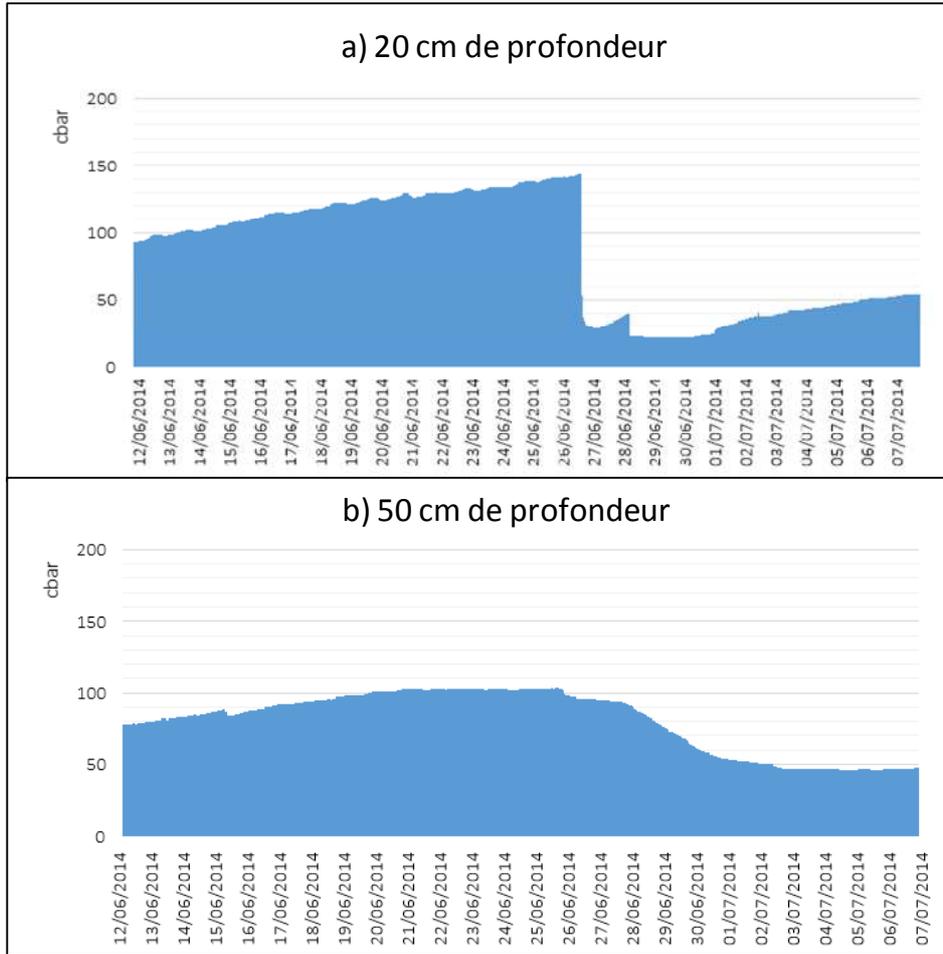


Figure 5. Mesures des tensiomètres du 12/06/2014 au 07/07/2014: a) à 20 cm de profondeur, b) à 50 cm de profondeur.

3. Test géoélectrique “time lapse”

Pour mieux comprendre la dynamique de l'infiltration des précipitations au détriment des parties les plus superficielles, un sondage géoélectrique *time lapse* a été réalisé suite à un test d'infiltration. Les tomographies électriques *time lapse* ont été effectuées afin de déterminer les changements de résistivité non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps, en rapport à l'évolution des conditions météorologiques, et elles ont été utilisées pour évaluer les caractéristiques d'infiltration dans le sol en réponse à divers événements pluvieux (Barker et Moore, 1998; Cassiani *et al.*, 2009 ; Clément *et al.*, 2009). Le cordage a été effectué parallèlement aux courbes de niveau, le long de la rupture de pente immédiatement au-dessous de la station de surveillance ; l'acquisition a été réalisée avec le tomographe SYSCAL (Iris-Instruments) et 48 électrodes avec un pas de 0,5 m, avec une séquence de mesure Wenner-Schlumberger. Les données ont été interprétées avec les logiciels Res2Dinv® (Loke et Barker, 1996).

Une fois implantés les électrodes et leur cordage, une excavation de 40 x 50 x 10 cm a été réalisée au centre, et, un total de 150 L d'eau a été déversé au cours de l'essai. Des tomographies ont été acquises à différents intervalles de temps. La figure 6 montre les résultats des mesures tomographiques, pour six intervalles de temps, en indiquant les différences de résistivités rapport aux résistivités initiales. Dans les images présentées, vous

pouvez clairement remarquer le mécanisme d'infiltration et les temps de réponse de l'infiltration dans les sols les plus superficiels de la station (Fig. 6).

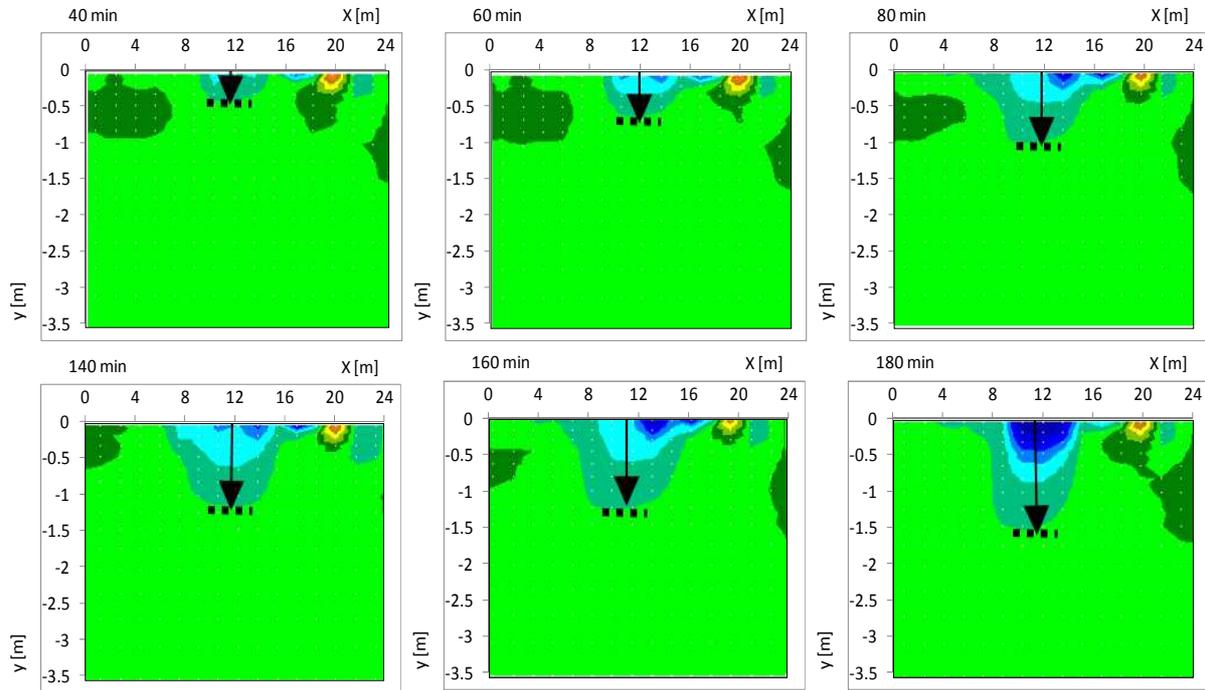


Figure 6. Tomographie électrique *time lapse*: différences de résistivité dans les différents instants de temps par rapport à la valeur du terrain non perturbé. La ligne pointillée indique le front d'infiltration.

4. Discussion: corrélation des résultats

Afin d'évaluer l'affinité des deux techniques de surveillance proposées, on a comparé la variation de succion enregistrée par des tensiomètres à 50 cm de profondeur (Fig. 5b), avec la variation de la résistivité mesurée dans le niveau de surface (Fig. 6). Ceci permettra d'évaluer si les données de tomographie électrique peuvent être utilisées pour une surveillance longue d'une section de terrain des variables d'intérêt.

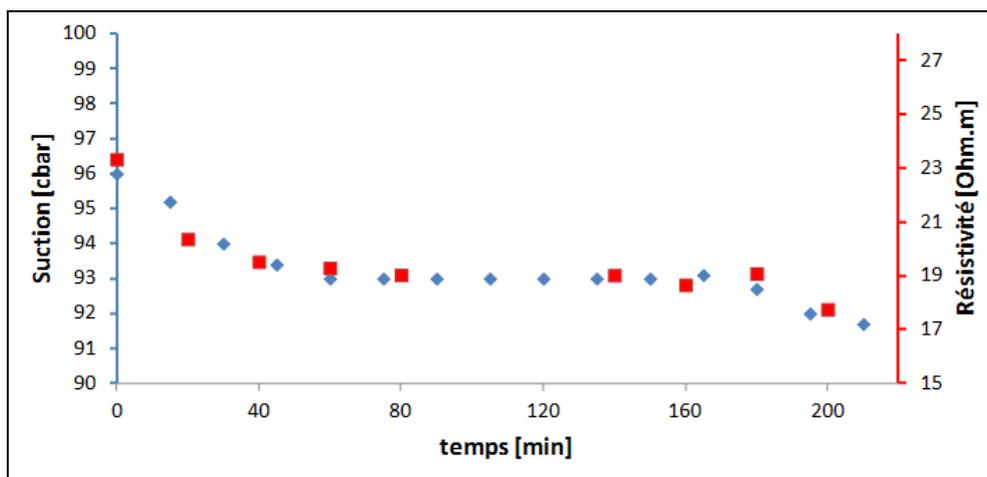


Figure 7. Corrélation entre la résistivité, mesurée pendant le test *time lapse*, et la succion, mesurée après l'important épisode de pluie du 27 juin 2014. En rouge sont représentés les points du test *time lapse*, en bleu sont représentés les points relatifs à la surveillance tensiométrique.

La variation de la résistivité, mesurée pendant 200 minutes de test *time lapse*, se révèle cohérente avec la variation de la succion mesurée dans les 200 minutes immédiatement après un événement pluvieux. On remarque un changement net dans les 20 premières minutes suivi d'un second plus progressif dans le temps avant une forte nouvelle diminution dans les 20 dernières minutes (Fig. 7).

Cette comparaison révèle que les mesures indirectes de variations de l'humidité, effectuées au moyen de la tomographie électrique, sont plus précises que les valeurs de succion. À ce stade, il faudrait aussi comparer les résultats des corrélations entre la succion et l'humidité avec les corrélations entre la résistivité et l'humidité, afin de pouvoir utiliser les observations concernant le processus d'infiltration, menées à travers le test *time lapse*, aux processus d'infiltration qui se produit à la suite d'un événement de précipitation. Dans des sols argileux il n'est cependant pas possible de corrélérer, au moyen de formulations théoriques (E.G. Archie, 1942), la variation de la résistivité mesurée avec un relatif changement d'humidité. Il serait donc nécessaire de mener d'autres tests expérimentaux afin de corrélérer les deux mesures.

Conclusion

Dans ce travail, nous avons remarqué l'importance de la surveillance combinée de précipitations-saturation du sol, aussi avec l'utilisation de techniques innovantes telles que le test géo-électrique *time lapse*.

Un test d'humidification artificielle a permis une évaluation des temps d'infiltration qui est de l'ordre de 10⁻⁴ m/s dans la partie superficielle des terrains. Ce résultat est confirmé à la fois par la surveillance tensiométrique et par la géophysique. Dans la suite de cette recherche, nous cherchons à suivre les précipitations simultanément avec les deux méthodes de façon à répéter les mesures dans des conditions naturelles.

Cette étude ne concerne que les cinq premiers pieds de terre directement étudiés ; cependant, le fait que la pente en général glisse dans la période immédiatement postérieure à des précipitations intenses suggère que les taux de filtration restent élevés encore plus en profondeur probablement à cause de la fissuration des roches marneuses.

Références bibliographiques

Archie G.E., 1942 : The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Petroleum Transactions of AIME*, **146**, 54-62.

Barker R, Moore J., 1998 : The application of time-lapse electrical tomography in groundwater studies. *The Leading Edge*, **17**, 1454-1458.

Cassiani G, Godio A, Stocco S, Villa A, Deiana R, Frattini P, Rossi M., 2009 : Monitoring the hydrologic behaviour of a mountain slope via time-lapse electrical resistivity tomography. *Near Surface Geophysics*, **7**, 475-486.

Clément R, Descloitres M, Günther T, Ribolzi O, Legchenko A., 2009 : Influence of shallow infiltration on time-lapse ERT. Experience of advanced interpretation. *C. R. Geoscience*, DOI: [10.1016/j.crte.2009.07.005](https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.07.005).

Loke M.H. & Barker, R.D., 1996 : Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophys. Prospect.*, **44**, 131-152.

Toja M., G. Ricca, A. Piano, A. Menegon, L. Masciocco, S. Ghigliano, L. Di Martino, C. Comina, A. Colasuonno, C. Bosco, R. Ajassa, 2014 : La frana di Nevissano nel Comune di Castelnuovo Don Bosco. Atti e contributi del convegno "L'alluvione del 5-6 novembre 1994 in Piemonte". *GEAM – Associazione Georisorse e Ambiente*. ISBN: 978-88-6378-003-1, 255-260.

Cette étude a été réalisée grâce au projet italien MIUR (PRIN 2010-11): "Réponse du système dynamique morpho-climatique aux changements globaux et risques géomorphologiques connexes" (coordinateur national C. Baroni).