

Diagnostic de stabilité d'une écaïlle rocheuse dans les gorges de la Bourne

O. Brenguier & H. Cadet
ADRGT, Grenoble France

A. Mathy
SAGE, Grenoble France

RESUME: En vue de réaliser un diagnostic précis relatif à la stabilité d'une écaïlle rocheuse menaçant une route départementale, une prospection radar couplée à des observations de terrain ont été réalisées au niveau de la falaise qui la domine directement. Cette prospection a été confrontée au plan de recollement des forages ainsi qu'aux mesures endoscopiques. Suite à cette étude des ancrages et clous passifs ont été préconisés puis réalisés.

1 INTRODUCTION

La stabilité d'une écaïlle rocheuse dépend fortement de la distribution des fractures ou fissures qui délimitent le bloc instable ainsi qu'à l'état d'endommagement du contact de l'écaïlle avec le massif stable (ouverture et remplissage des fractures). Pour connaître l'état interne d'un massif rocheux on peut utiliser conjointement des méthodes intrusives comme un forage, et des méthodes non destructives comme les prospections géophysiques. Deparis et al (2007) ont montré que le georadar est une méthode géophysique bien adaptée au milieu rocheux relativement compact. Ils mettent en évidence les fractures, leur étendue en profondeur et éventuellement leur ouverture. L'application de cette technique à un cas réel est présentée dans cet article.

2 PRESENTATION DU SITE

2.1 Localisation

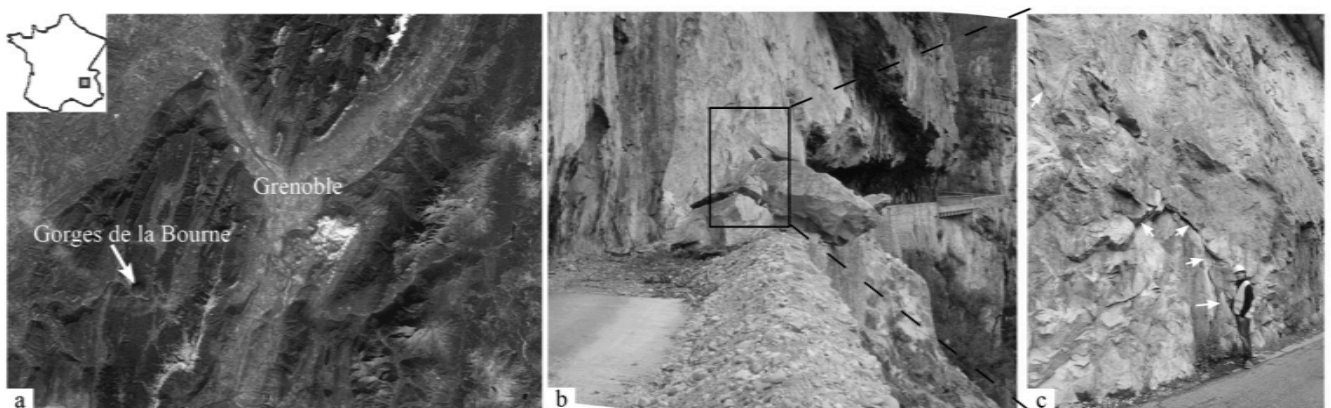


Figure 1. a) Localisation des gorges de la Bourne dans le massif du Vercors (Isère, France) ; b) Eboulement mortel du 30 janvier 2004 sur la RD531 ; c) Nouvelles fissures repérées fortuitement en octobre 2012 dans le secteur de l'éboulement de 2004

Le site d'étude se situe à 25 km au sud-ouest de Grenoble dans les gorges de la Bourne (massif du Vercors, Isère, France ; Fig. 1a). Il concerne la RD531 qui relie Pont-en-royans à Villard-de-Lans et qui a été construite à flanc de falaise dans un cadre naturel exceptionnel. Elle fut élargie au cours des années face à une demande croissante de déplacements. Ces élargissements ont impliqué l'aménagement de mur de soutènements et des recalibrages. Les nombreux encorbellements rocheux surplombant la voie réduisent la RD531 tant en hau-

teur qu'en largeur, de plus elle est soumise à des risques naturels de type éboulement pouvant provenir des talus immédiats mais aussi de falaise de plusieurs centaines de mètre. En cas de coupure l'itinéraire de déviation ajoute 50 km au trajet ou passe par des voies communales aussi soumises aux risques d'éboulement et aux intempéries en période hivernale.

2.2 Historique

Un éboulement en masse de 2000 m³ s'est produit le 30 janvier 2004 au niveau du PR 17+700 de la route des gorges de la Bourne dans le Vercors (Fig. 1b). Un véhicule et ses deux occupants ont été écrasés par un encoorbellement qui surplombait la voie et qui s'est brutalement détaché. Suite à cet événement dramatique, le Conseil Général de l'Isère a engagé des travaux de confortement pour un montant de 2 M€. La circulation a dû être coupée durant 10 mois pendant lesquels une étude générale de diagnostic sur les 22 km des gorges de la Bourne a été menée. Cette étude a permis de reconnaître les zones les plus exposées aux risques d'éboulement rocheux et de traiter ces zones en priorité. Dans le secteur de l'éboulement de 2004 des travaux de sécurisation importants ont été réalisés pour conforter les compartiments rocheux situés en périphérie de la cicatrice de l'éboulement. Après une première phase de travaux préalables de mise en sécurité (purges, minages, installation de protections linéaires par filets), les travaux de sécurisation ont consisté en un confortement systématique des bancs rocheux situés principalement en périphérie de la zone de l'éboulement. La partie centrale de la cicatrice de l'éboulement devait apparaître relativement saine puisqu'aucun ancrage n'a été réalisé dans ce secteur.

En octobre 2012, quelques signes d'activité ont été perçus de manière fortuite, en bord de route au droit de l'éboulement de 2004 (chutes de pierres semblant provenir de l'intérieur de la falaise...). Cette activité semblait se manifester au voisinage d'une fracture présentant une ouverture de 2 à 3 cm. Par mesure de précaution, le service XPR a souhaité la réalisation d'une prospection radar couplée à des observations de terrain en vue de réaliser un diagnostic précis relatif à la stabilité de cette écaille.

2.3 Contexte géologique

La route est dominée par un versant rocheux constitué par une succession de 3 falaises calcaires datées de l'Urgonien, séparées entre-elles par des vires marneuses recouvertes d'éboulis. Au droit de l'éboulement de 2004 les bancs sont très épais, l'orientation globale de la stratification est soulignée par le toit rocheux mis en surplomb par l'éboulement. Ponctuellement, on observe un joint de stratification très fin d'orientation N10° penté de 10° vers l'Est qui parcourt la falaise près de 7 mètres de dénivelée au-dessus de la route.

On relève sur le terrain trois principales familles de fractures :

- F1 : plans de fractures N170° pentés de 80° vers l'Ouest à verticaux. Le plan de fracture N170° qui intercepte la route (figure 2 en pointillé) correspond à la limite latérale Ouest de l'éboulement de 2004.
- F2 : plans de fractures N90 à 100° verticaux. Ils constituent la surface arrière le long de laquelle l'éboulement de 2004 s'est produit.
- F3 : plan de fracture N40 à 45° penté de 60 à 75° vers le SUD, localement vertical. Ce plan de fracture correspond à la fracture qui délimite la base de l'écaille étudiée. Cette fracture était déjà visible sur les photographies prises en 2004 et avait dû jouer un rôle important lors de la rupture (plan de discontinuité le long duquel de gros blocs se sont détachés).

3 PROSPECTION GEORADAR

3.1 Localisation

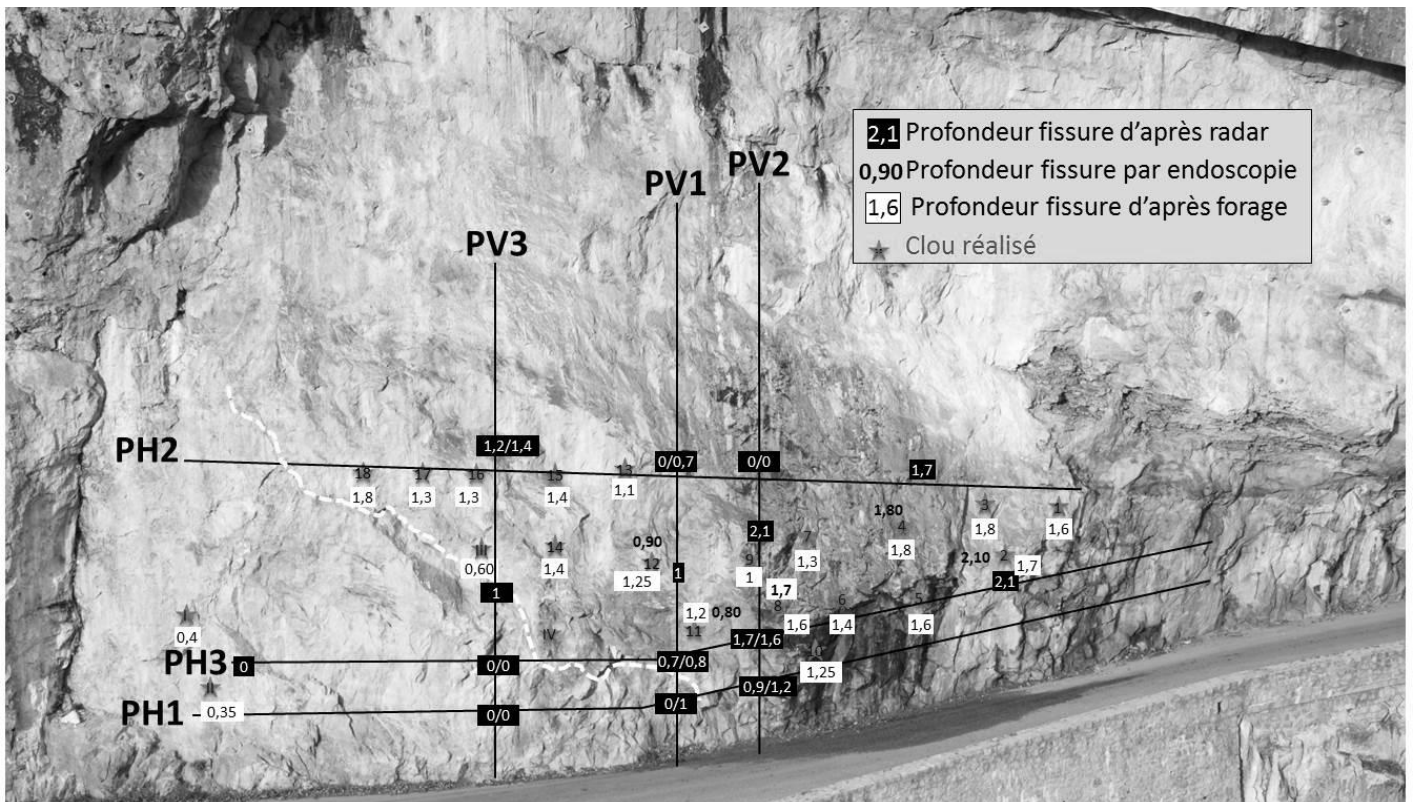


Figure 2. Localisation des profils géoradar au droit de l'éboulement de 2004 dans les gorges de la Bourne dans le massif du Vercors (Isère, France).

6 profils géoradar dont 3 verticaux (PV1, PV2 et PV3) et 3 horizontaux (PH1, PH2 et PH3) ont été acquis au droit de la zone d'éboulement de 2004 (Fig. 2).

3.2 Acquisition et traitements

Les mesures ont été effectuées avec un radar RIS MF HI-MOD de IDS. 3 antennes blindées 200, 600, 900 et 2000 MHz ont été utilisées.

Les traitements effectués ont été les suivants :

- suppression de la moyenne.
- correction du t_0 .
- filtrage passe-bande entre $f/4$ et $4*f$.
- application d'un gain ($g(t) = (1+a*t)*e(b*t)$).
- correction statique.
- migration de type Kirchhoff, la vitesse utilisée pour la migration est de 9 cm/ns. Elle est issue de la bibliographie (Deparis et al 2007) et du traitement des hyperboles sur les profils horizontaux.

3.3 Résultats

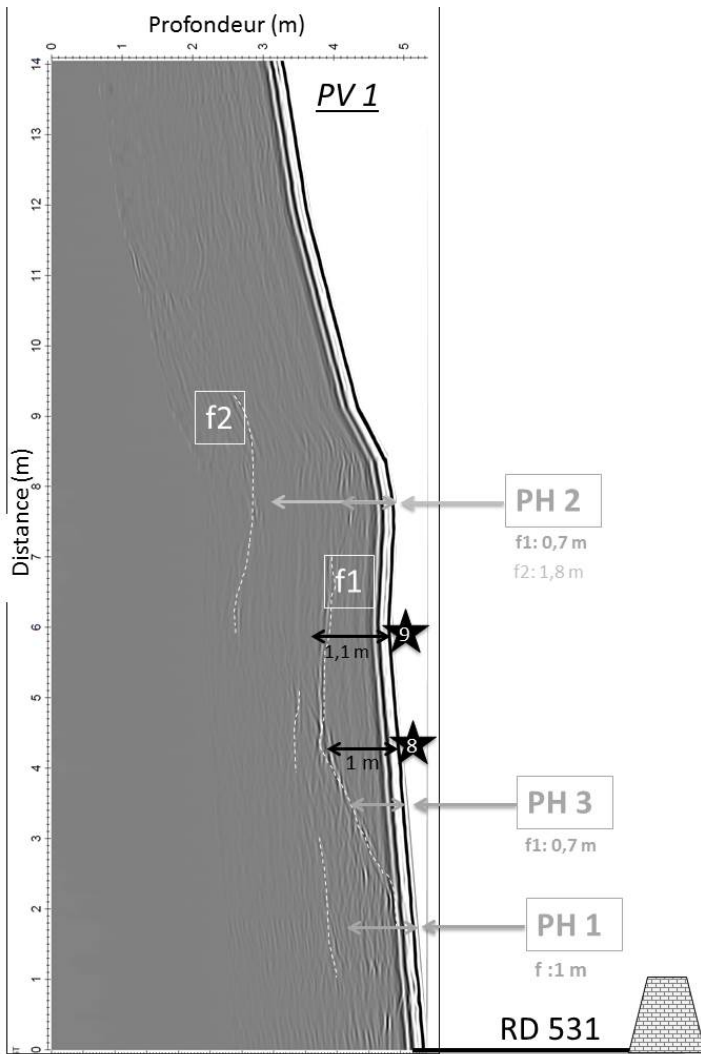


Figure 3. Profil vertical PV1, antenne 900 MHz

Les profils verticaux PV1 (Fig. 3) et PV3 montrent des plans de fractures redressés (70° , 74° , 80° à verticaux) pentés vers l'aval. Plus particulièrement, on constate la présence de zones fracturées au-dessus de la route. Ces zones fracturées sont localisées :

- entre 5 et 8 mètres par rapport à la route sur PV3 (à 1 mètre de profondeur),
- entre 1 et 7 mètres par rapport à la route sur PV1 (à 1 mètre de profondeur),
- jusqu'à 6,5 mètres par rapport à la route sur PV2 (entre 0,8 et 2,1 mètres de profondeur),

Le profil horizontal PH2 (Fig. 4) réalisé à 8 mètres au-dessus de la route permet d'observer une discontinuité importante repérée au droit de l'abscisse 3 mètres (direction $N55^\circ$) et la présence de réflexions marquées et continues entre les abscisses 3 et 10 mètres qui pourraient correspondre à la présence de fractures ouvertes situées à 1,2 mètres de profondeur dans la falaise,

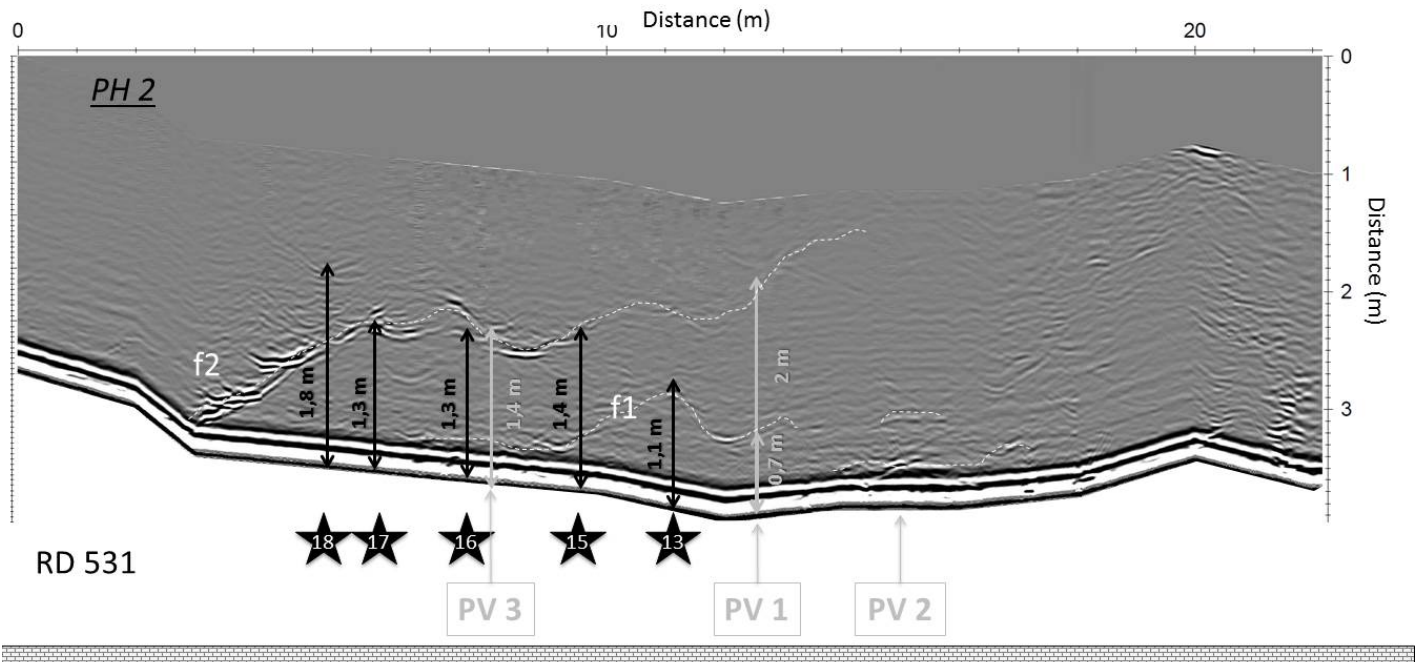


Figure 4 Profil radar PH2 réalisé avec l'antenne de 900 MHz

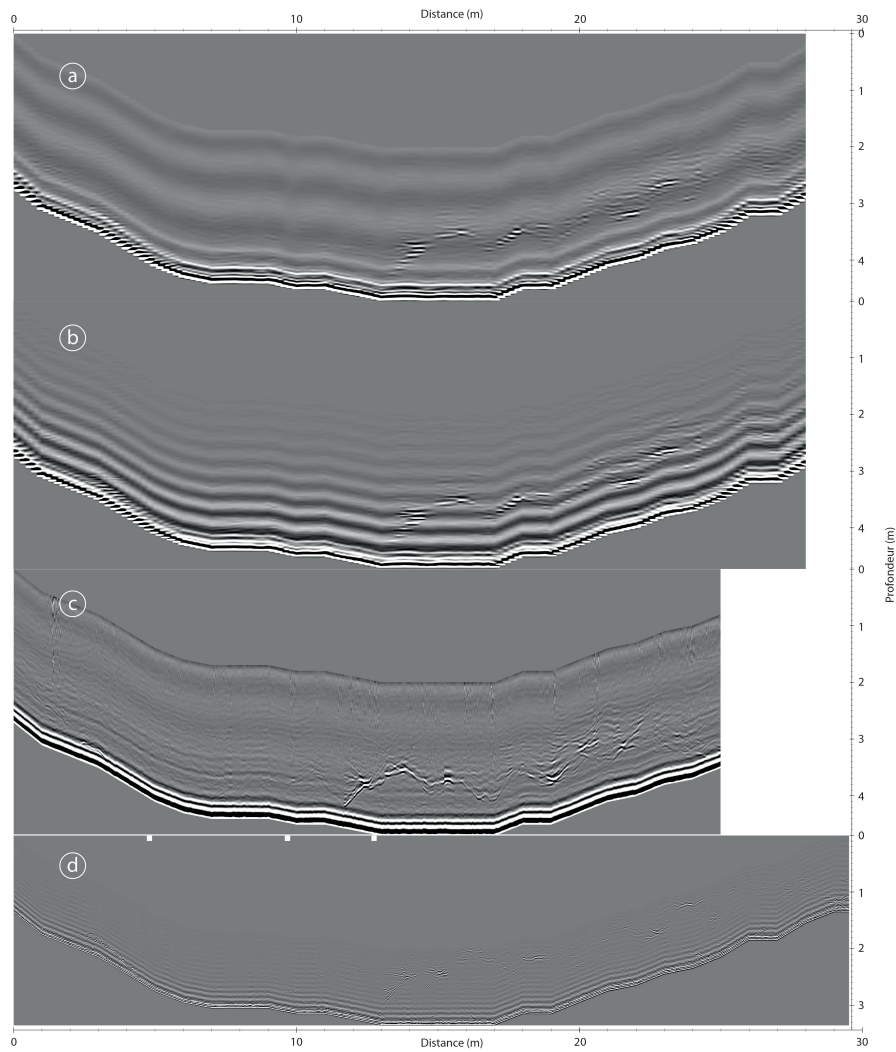


Figure 5. Profil radar PH1 avec l'antenne : a) 200 MHz, b) 600 MHz, c) 900 MHz, d) 2 GHz.

Le profil horizontal PH1 (Fig. 5) réalisé au niveau du talus rocheux de bord de route à 1,7 mètres de hauteur au-dessus de la chaussée fait apparaître une zone superficielle de 1 mètre d'épaisseur caractérisée par la présence de nombreuses réflexions entre les abscisses 10 et 24 mètres. Les 4 antennes donnent le même résultat ce qui montre la fiabilité des mesures. La résolution pour l'antenne de 200 MHz dans ce milieu à 9cm/ns est d'environ 11 cm. On en déduit que la fracture ainsi détectée est très ouverte. Le profil acquis avec l'antenne de 2GHz à une résolution de l'ordre du centimètre. L'analyse de ce radargramme permet de détecter les deux surfaces de la fracture et d'en déduire qu'elle présente une ouverture significative comprise entre 3 et 10 cm sans aucun remplissage.

4 SONDAGES DESTRUCTIFS

4.1 Localisation

Le positionnement des sondages destructifs est donné sur la Figure 2.

4.2 Résultats

Le plan de récolement ainsi que des mesures endoscopiques réalisées par le CG38 sont comparés aux résultats des radargrammes. L'ensemble de ces mesures et observations sont présentées sur la Figure 2. Les valeurs d'épaisseur de l'écaille sont similaires avec des écarts des différentes mesures réalisées variant de 0 à 80 cm au maximum. Le profil PH2 recoupe le maximum d'ancrage. Les écarts de mesure sont de l'aval vers l'amont: 0.8m, 0.1m, 0m, 0.1m et 0m soit un écart type moyen de 20 cm.

5 SYNTHÈSE

Les observations de terrain et l'analyse stéréoscopique ont permis de repérer de manière claire la présence d'un réseau de fracture dense entre les abscisses 3 et 24 mètres (variable selon la position au-dessus de la route). Avec une zone anormalement fracturée subissant des contraintes importantes en pied de falaise entre les abscisses 13 et 18 mètres. La limite latérale Ouest (aval) de l'écaille (fracture F3 : N40°-60°S) est observable depuis la surface. Un joint de stratification subhorizontal a été identifié près de 7 mètres au-dessus de la route entre les abscisses 18 et 24 mètres.

Par ailleurs, les sondages radar confirment premièrement que la fracture N40° est ouverte jusqu'à au moins 2 mètre de profondeur. De plus, les sondages montrent que cette fracture est probablement fermée au-delà de 2 m puisque sa trace n'est plus visible. Par contre, les sondages montrent que ce plan F3 ouvert en surface est connecté avec une succession de fractures ouvertes en relai (combinaison de plans F1 et F2) localisées entre 1 et 2,5 mètres en arrière de la falaise. D'après les réflexions obtenues, les fractures se caractérisent par des ouvertures comprises entre 3 et 10 cm et ne possèdent aucun remplissage. Deuxièmement l'extension verticale de la zone fracturée jusqu'à 6,5 et 8 mètres au-dessus de la route est clairement identifiée. La limite sommitale de cette zone plus fracturée correspond vraisemblablement à un joint de stratification au-dessus duquel plus aucune réflexion n'est décelée. Enfin l'extension horizontale de la zone fracturée semble ne pas dépasser l'abscisse 24 mètres. Par contre, la limite latérale à l'aval de l'écaille semble correspondre à un plan de fracture N100° situé au voisinage de l'abscisse 20 mètres.

6 CONCLUSION

L'aléa mis en évidence concerne une écaille rocheuse de 180 m³ peu épaisse et fragile (0,8 à 2,5 mètres d'épaisseur au maximum), délimitée à l'arrière par une fracture ouverte de plusieurs centimètres et dont la base présente des signes de fatigue. La rupture de cette écaille pourrait entraîner la formation d'un surplomb volumineux potentiellement instable difficile à stabiliser.

Le suivi de l'ensemble des opérations est un atout qui nous a permis de valider les interprétations des données radar. Grâce à l'utilisation du géoradar en complément des méthodes d'étude plus traditionnelles, la SAGE a acquis une bonne connaissance de la structure de l'écaille ce qui lui a permis de proposer des travaux très ciblés et optimisés : 18 ancrages passifs de 6 ml et 5 clous passifs de 3ml.

7 BIBLIOGRAPHIE

Deparis, J., Garambois, S. & Hantz, D. 2007. On the potential of Ground Penetrating Radar to help rock fall hazard assessment of a limestone scale. *Engineering Geology*, 94, 89-102.