

BENCHMARK ALEA CHUTE DE BLOCS CAS DE LA DEVIATION D'AX-LES-THERMES

ROCK FALL HAZARD BENCHMARK AX-LES-THERMES DIVERSION ROAD CASE

Véronique MERRIEN-SOUKATCHOFF¹, Muriel GASC-BARBIER²

¹GeF - EA 4630, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France

²Cerema, Toulouse, France

RÉSUMÉ – De nombreuses mesures ont été effectuées pour dimensionner les talus de grandes hauteurs nécessaires au passage de la déviation routière d'Ax-les-Thermes, ce qui en fait un cas d'étude très documenté. Nous présentons, dans cet article, les données et les analyses déjà effectuées sur ce cas afin que ces informations puissent servir à une comparaison nationale puis internationale sur le risque chute de blocs.

ABSTRACT – Many measurements have been carried out to design the great height cuttings of Ax-Les-Thermes diversion road making it a particularly well-documented case study. This article presents all data and analyses done in order to use this information for national and international comparisons on rock fall hazard.

1. Introduction

À partir de données de fracturation et une géométrie d'ouvrage à ciel ouvert (ou souterrain) les estimations de l'aléa chute de blocs peuvent s'opérer selon diverses méthodologies, en utilisant divers logiciels. Dans cet article nous nous proposons de présenter en détail un cas de talus de déblais de grande hauteur sur lequel et autour duquel de nombreuses mesures ont été effectuées. Ces mesures ont servi au dimensionnement du talus et de son renforcement, mais elles pourraient être utilisées par d'autres pour comparer des méthodes, des logiciels, etc.

Le cas est celui de la déviation d'Ax-les-Thermes auquel plusieurs articles font déjà référence : Gasc-Barbier et al. (2008), Godefroy et al. (2009), Nguyen et al. (2016), mais ces articles n'avaient pas pour but de fournir les données de manière exhaustive.

2. La déviation d'Ax-les-Thermes

Ax-les-Thermes est située dans les Pyrénées, à environ 130 km au sud de Toulouse et 30 km de la frontière entre la France et l'Andorre. La route vers l'Andorre est la route nationale 20, une voie très fréquentée, à la fois par les usagers locaux, le transport de marchandise et les touristes. Ainsi, la construction d'une déviation de la ville a été envisagée depuis les années quatre-vingt.

Ax-les-Thermes se trouve dans la zone primaire axiale des Pyrénées composée de roches essentiellement hercyniennes (gneiss, granitoïdes et micaschistes) et délimitée au nord par la faille nord-pyrénéenne. La voie de contournement d'Ax rencontre successivement du granite et des gneiss, très fracturés, datant de l'orogénèse hercynienne et, dans la vallée, des dépôts fluvio-glaciaires du Quaternaire d'épaisseur variable.

La déviation de la ville a nécessité la création de 5,8 km de route et l'excavation de déblais rocheux de hauteur importante (1,2 million de m³ à bouger dont 500 000 m³ à

miner). Des photos ont été réalisées par PhotosTP (2004), un blog illustré de photosréalisé par un particulier

L'ensemble des travaux de terrassement ont été réalisés entre 2004 et 2009. En effet, après quelques semaines de travaux, ils ont été interrompus jusque mi 2007, avec changement d'entreprise pour la réalisation des déblais. La déviation est orientée Est-Ouest au Nord puis Nord-Sud au Sud (Figure 1). Le passage d'Esquiroulet, sur lequel l'article se focalise est positionné sur la figure 1. À son endroit, la route, orientée N95°, traverse la montagne et excave une quarantaine de mètres de profondeur sur 270m en créant: un talus aval incliné à 76°, de hauteur comprise entre 0 et 30 m et un talus amont incliné à 76° de 42 m de hauteur au maximum (Figure 2).



Figure 1. Situation de la déviation d'Ax-les-Thermes (modifié de Géoportail).

Dans le cadre des études avant-projets et projet, 128 sondages verticaux ont été réalisés sur l'ensemble de la déviation entre 1999 et 2001, dont 2 sondages carottés (de 15,4 m et 42 m), un sondage destructif (de 54 m) et un sondage destructif avec essais pénétrométriques (de 42 m) dans le secteur d'Esquiroulet. Deux sondages ont été explorés par caméra optique (un des sondages carottés et le sondage correspondant aux essais pressiométriques). Ces sondages ont permis d'extraire des échantillons pour effectuer des essais de laboratoire

En automne 2005, l'interruption des travaux a également permis le relevé de nombreuses discontinuités.

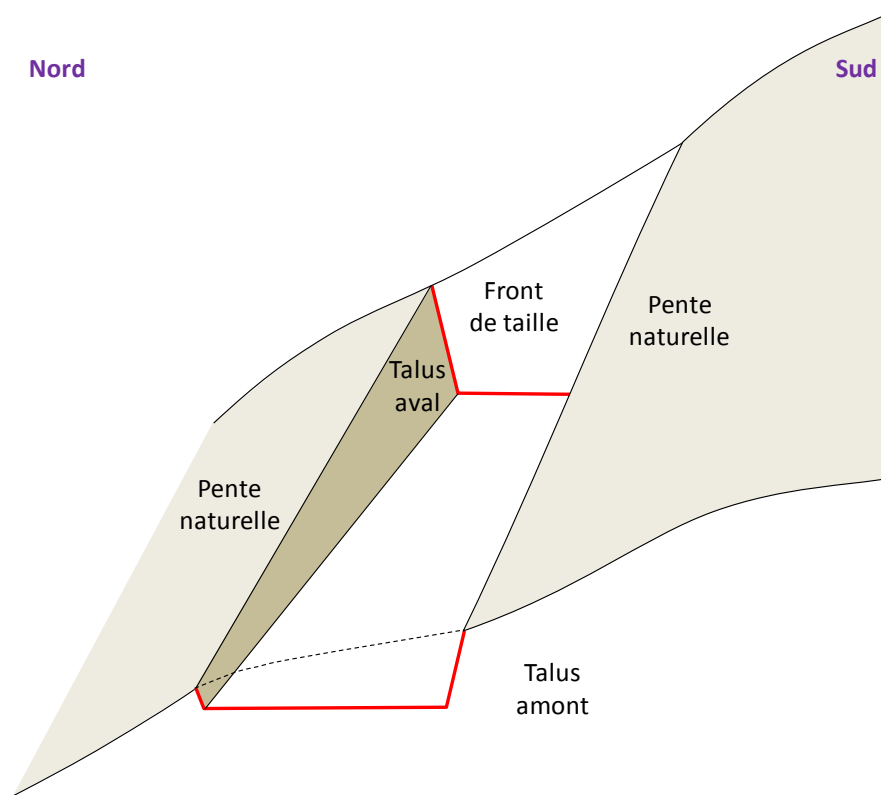


Figure 2. Vue schématique de l'excavation au niveau du d'Esquiroulet

3. Essais de laboratoire

Pour l'ensemble des travaux de terrassement, 26 essais de compression simples, 19 essais de traction indirecte et 5 essais sur discontinuités ont été effectués dans une roche migmatitique au sens large (gneiss et pegmatites).

Des essais de compression, de traction indirecte et de cisaillement sur discontinuité ont été également réalisés. L'ensemble des données est disponible sur Gasc-Barbier (2016).

3.1. Essais de compressions

26 essais de compression ont été réalisés sur des échantillons classés en 2 groupes : granite et gneiss. La presse utilisée à l'époque ne permettait ni d'enregistrer la courbe d'essai, ni de mesurer les modules; seules les valeurs de résistance à la compression R_c sont donc disponibles.

La résistance moyenne à la compression des échantillons est de 64,6 MPa avec un écart type de 29,8 MPa. Seuls les gneiss affleurent au niveau du passage d'Esquiroulet, leur résistance moyenne à la compression est de 83,7 MPa avec un écart type de 23,6 MPa, mais l'ensemble des résistances sont données dans les fichiers accessibles pour le Benchmark. Parmi les échantillons, seule une seule carotte provenait du talus Esquiroulet et sa résistance à la compression était de 77 MPa.

3.2. Essais de traction

19 essais de traction indirecte par fendage (essais brésiliens) ont permis de déterminer une résistance à la traction moyenne de 6,15 MPa avec un écart type de 2,5 MPa. En ne prenant que les gneiss, la valeur moyenne est de 7 MPa avec un écart type de 2,5 MPa.

Un seul échantillon provenait du talus d'Esquiroulet et sa résistance en traction a été de 9,25 MPa (qui correspond à la valeur la plus élevée mesurée).

3.3. Essais sur discontinuités

Deux séries d'essais de cisaillement sur des discontinuités naturelles ont été réalisées, en 2005 et en 2007, selon la norme française XP P 94-424 (AFNIR, 2003).

La première série comportait 8 essais, dont deux sur des roches d'Esquiroulet qui ont conduit à une résistance au cisaillement de 675 kPa et 580 kPa pour des contraintes normales respectives de 550 kPa et 590 kPa.

La seconde série d'essai, en comportait 5, et a permis de tester une gamme plus importante de contraintes normales de 0,68 à 20 MPa (contraintes normales testées : 0,68; 2; 5; 10 et 20 MPa). Le processus de réalisation des essais a été présenté dans Gasc-Barbier et Guittard (2009) et l'ensemble des résultats disponibles sur Gasc-Barbier (2016) dans Gasc-Barbier et Marache (2010).

4. Orientation des discontinuités

4.1. Relevés de discontinuités sur ligne de mesures

En automne 2005, après excavation d'environ 1/3 de la profondeur du déblai, l'interruption des travaux a permis de relever 856 discontinuités au niveau du passage d'Esquiroulet, le long de 11 lignes horizontales mesurant de 6 à 30 m et représentant au total 181,5 m de relevés. Ces lignes étaient orientées selon 3 directions (Figure 2), le long du talus amont (lignes 3 à 8), le long du talus aval (lignes 9 à 11) et sur le front de taille (lignes 1 et 2)

La Figure 3 présente un extrait de relevés selon une ligne de mesure. Chaque ligne de mesure est orientée et la date du relevé est précisée.

Le type, l'orientation, la persistance, la rugosité et l'emplacement de chaque discontinuité coupant la ligne ont été répertoriés, ainsi qu'une distance perpendiculaire "estimée" en considérant une famille "a priori" pour chaque fracture et en estimant la distance perpendiculaire de cette fracture à la fracture la plus proche de la même famille. Les relevés ont été effectués selon les recommandations présentées dans Chantron et Zumbo (2002).

Sondage: _____ Affleurement: L1 Position début mesure (X,Y,Z ou PK): _____ Indicatif: _____ Géologue: Caro
 Orientation ligne de mesure (AFTES): N 177 Date: 17/08/2005 Page: 1

Morceaux			Description lithologique du massif	Orientation des plans (AFTES)		Type de discontinuité					Extension		Ouverture	Description des épontes				Remplissage		
N°	Cote (cm)	longueur (cm)		Azimuth	Pendage	Contact lithologique	Stratification	Schistosité	Déclasse	Faille	Filon	Persistance (m)	Espacement (cm)	1 = "oui"	Lustré	Lisse	Rugueux (1-3)	Sûre	1 = "oui"	Type
1	3 9	39	Gneiss	31	76			1			300	1								
2	6 0	21	Gneiss	271	43				1		300	43								
3	8 0	20	Gneiss	117	69				1		100	6								
4	8 1	1	Gneiss	246	65				1		15	8								
5	8 8	7	Gneiss	40	75			1			10	3								
6	9 2	4	Gneiss	249	68				1		14	1								
7	1 0 5	13	Gneiss	53	70			1			8	1								
8	1 1 5	10	Gneiss	112	64				1		50	17								
9	1 4 7	32	Gneiss	164	51				1		46	34							1	Qz - Fdp

Figure 3. Exemple de données pour la ligne de mesure n° 1.

4.2. Relevés de discontinuités en forage

Des diagraphies caméra (BIPS) ont été réalisées en 2000 dans 2 sondages verticaux: le sondage (SC43) carotté de 42 m et le sondage (SP47) de l'essai pressiométrique (cf. Figure 4). Dans le premier (SC43) les informations ne sont exploitables que jusqu'à 11 m. Ces logs de sondage seront disponibles sur Gasc-Barbier (2016).

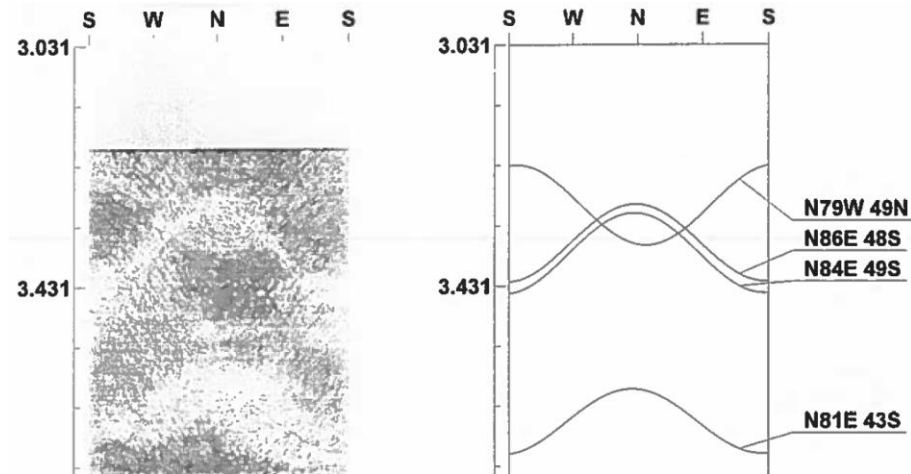


Figure 4. Extrait de diagraphie caméra et interprétation

5. Analyses suggérées

À partir des données présentées les estimations de l'aléa chute de blocs peuvent s'opérer selon diverses méthodologies, en utilisant divers logiciels. L'idée de ce Benchmark est de comparer les pratiques concernant :

- le regroupement des relevés en familles de fractures,
- la prise en compte des biais d'échantillonnage,
- les caractéristiques prises pour les discontinuités (déterministe ou stochastique),
- l'estimation de l'aléa chute de blocs,
- les indicateurs de stabilité donnés suite aux analyses de stabilité,
- la prise en compte d'un renforcement (boulonnage) et de la présence d'eau dans l'évaluation de l'aléa,
- les logiciels utilisés pour ces différentes étapes,
- la prise en compte des incertitudes géométriques et sur les propriétés mécaniques.

Précisons que le benchmark proposé se limite à estimer l'aléa instabilité de blocs rocheux et ne prend pas en compte la trajectographie qui fait déjà l'objet d'autres comparaisons sur d'autres sites.

5.1. Géométrie étudiée

Une topographie précise du versant (réalisée à partir de Géoportail) est proposée en Figure 5. La position de la coupe est accessible sur Gasc-Barbier (2016).

Nous proposons de comparer des analyses de stabilité du talus amont, en considérant l'orientation de l'horizontale de ce talus à $N95^\circ \pm 2^\circ$ (ces $\pm 2^\circ$ correspondent aux variations possible de l'orientation), une pente à 76° sur une hauteur de 40 m et au-delà une pente de terrain naturel à 27° (Figure 6).

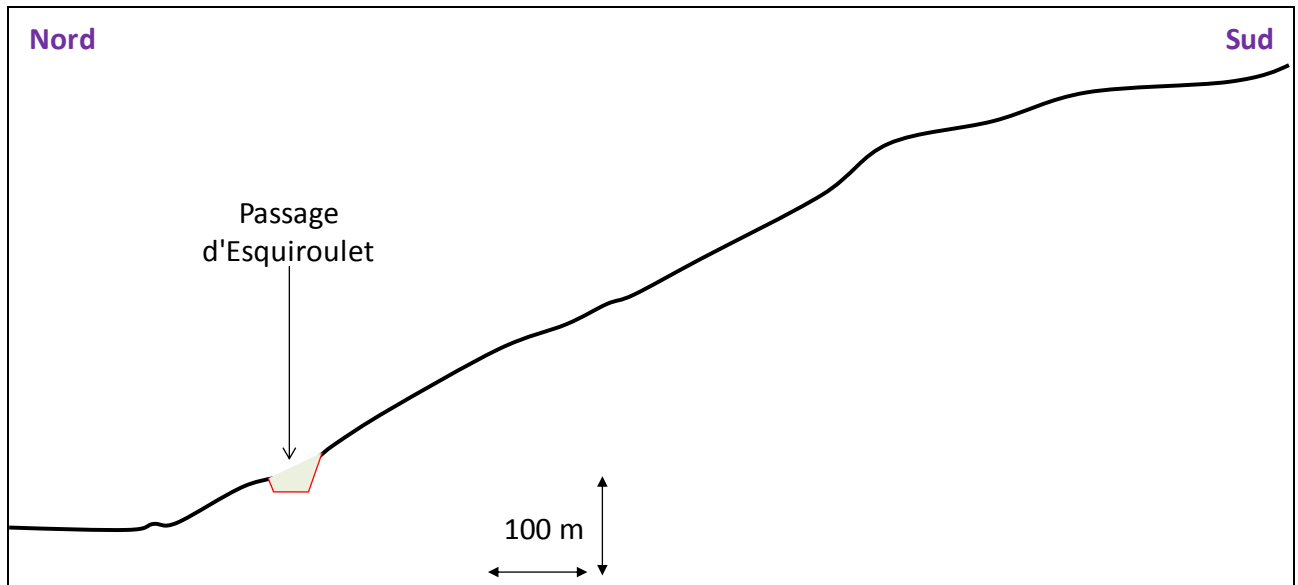


Figure 5. Topographie initiale, modifiée de Géoportail

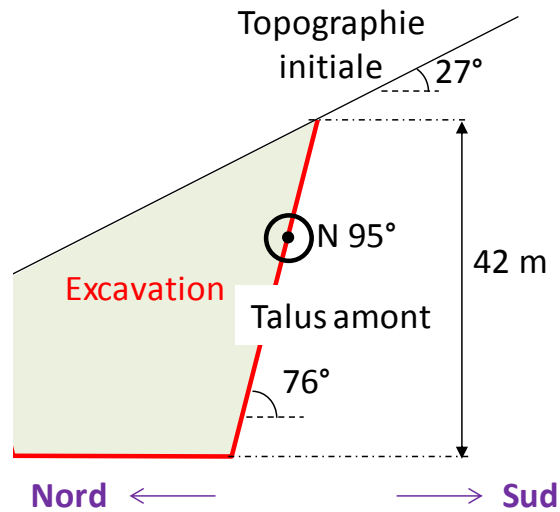


Figure 6. Coupe proposée

5.2. Regroupement des discontinuités et prise en compte des biais d'échantillonnage

Les informations relatives aux discontinuités ont déjà été exploitées et, selon les traitements adoptés, regroupées en 3 ou 4 familles par Gasc-Barbier et al. (2008) et Nguyen et al. (2016). Notons que dans Nguyen et al. (2016), les analyses de stabilité effectuées correspondent au front de taille et donc à une orientation à 90° par rapport au talus amont d'Esquiroulet. Par ailleurs, les biais liés à l'orientation des lignes de mesures n'ont pas été pris en compte dans ces traitements.

Les participants à ce benchmark sont invités à utiliser leur méthode usuelle pour effectuer ce regroupement.

5.3. Propriétés des discontinuités

Les informations fournies sur les essais de cisaillement ainsi que la bibliographie peuvent permettre de discuter des propriétés à introduire dans l'analyse de stabilité de talus. Nous ne donnons pas d'indications sur ce choix, mais souhaitons que les participants nous précisent les propriétés retenues.

5.4. Méthodes et logiciels utilisés

Les participants à ce Benchmark, sont invités à préciser la(es) méthode(s) choisi(es), le(s) logiciel(s) utilisé(es) et les paramètres nécessaires aux méthodes et logiciels.

5.5. Indicateurs de stabilité

Les "indicateurs de stabilité" issus des analyses, peuvent être variés, Nguyen et al. (2016) en a proposé quelques-uns. On peut, par exemple considérer les résultats en terme de :

- Plus gros bloc instable
- Bloc moyen le plus probable (avec éventuellement un intervalle de confiance) en terme de volume et de poids
- Volume (poids) total instable le plus probable, dispersion autour de ce volume
- Nombre de blocs instables
- Déplacement des blocs
- Indicateur local ou global de la stabilité (facteur de sécurité, de fiabilité, etc.)

Le maximum d'information fournie par les outils et méthodes est souhaité afin de pouvoir faire des comparaisons les plus exhaustives possibles.

5.6. Prise en compte éventuel du renforcement

Afin d'éviter les glissements plans ou en dièdre, lors de l'étude d'avant-projet il avait été préconisé un boulonnage du talus par des clous inclinés de 5° par rapport à l'horizontale. Les participants peuvent proposer un schéma de boulonnage (préciser la maille, la longueur, le diamètre, la résistance, la longueur de scellement, etc. des clous).

6. Conclusions

Nous avons présenté le site du passage d'Esquiroulet de la déviation routière d'Ax-les-Thermes où de nombreuses mesures ont été effectuées pour dimensionner les talus de grandes hauteurs nécessaires au passage de la route. Ces informations sont mises à la disposition de la communauté géologique et géotechnique afin d'effectuer des comparaisons sur les méthodes de synthèses des informations, d'analyse de la stabilité des talus et de dimensionnement du renforcement.

Le but de ce benchmark n'est pas d'établir un palmarès de la meilleure analyse de stabilité, mais de comparer les méthodes et d'enrichir l'expérience des participants par des suggestions croisées. Les auteurs de l'article s'engagent à effectuer des synthèses des informations qu'elles auront reçues. L'identité des participants sera précisée, mais a priori les résultats seront anonymes dans les synthèses. Ce point pourra évoluer en fonction des réponses, des demandes et des désidératas des participants. Une date de réunion sera proposée à l'issu des JNGG21016.

7. Références bibliographiques

Chantron, L. and Zumbo, V. (2002) Formalisation des critères descriptifs d'un massif rocheux - mise au point d'une feuille de saisie des discontinuités, *JNKG*, Nancy, France, 12 pages.

Gasc-Barbier (2016) ResearchGate network dedicated to science and research. Connect, collaborate and discover scientific publications, jobs and conferences, https://www.researchgate.net/profile/Muriel_Gasc-Barbier/publications dernière consultation le 09/05/2016.

Gasc-Barbier, M. and Guittard, J. (2009) Comportement au cisaillement d'un joint rocheux naturel, *Revue Française de Géotechnique*, pp. 5-13.

Gasc-Barbier, M. and Marache, A. (2010) Comportement mécanique des joints rocheux, in: S. Lambert and F. Nicot (Eds.), *Géomécanique des instabilités rocheuses du déclenchement à l'ouvrage - Traité MIM Mécanique et ingénierie des matériaux*. Hermes science publ. Lavoisier, Paris, 27 pages.

Gasc-Barbier, M., Ballion, A. and Virely, D. (2008) Design of large cuttings in jointed rock, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, pp. 227-235.

Géoportail (2016) l'information géographique de référence : cartes, photographies aériennes, bases de données géographiques, <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil> dernière consultation le 09/05/2016.

Godefroy, J., Merrien-Soukatchoff, V. and Gasc-Barbier, M. (2009) Stabilité de pentes rocheuses fracturées. Recherche des conditions aux limites pour un calcul à l'équilibre limite 3D. , *Journées AUGC 2009*, Saint Malo, France, 17 pages.

Nguyen, A. T., Merrien-Soukatchoff, V., Vinches, M. and Gasc-Barbier, M. (2016) Grouping discontinuities in representative sets: influence on the stability analysis of slope cuts, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-16.

PhotosTP (2004) RN20 : Déviation d'Ax-les-Thermes (09), <http://photostp.free.fr/phpbb/viewtopic.php?f=8&t=13> dernière consultation le 09/05/2016.