

ÉVALUATION DE LA PERMEABILITE DE LA MASSE ROCHEUSE-ÉTUDE
COMPARATIVE - CAS DE LA MASSE ROCHEUSE DU SITE DU BARRAGE DE
BENI HAROUN (MILA-ALGERIE)

KEBAB HAMZA *, **BOUMEZBEUR ABDERRAHMANE ****, **BAGHDAD
ABDELMALEK***, **BOUKAOUD EL-HHACHEMI***, **BOUBAZINE LAILA*****
keb_geologie@yahoo.fr, F080263@hotmail.com, leila.str@hotmail.fr

* : Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département des sciences de la terre et l'univers,
Université Mohammed Seddik Ben Yahia, Jijel
Laboratoire de Génie Géologique, Jijel « LGG »

** : Institut des sciences de la nature et de la vie, Département des sciences de la terre et de l'univers,
Université de Tébessa.

*** : Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre, Département des sciences de la terre et de
l'univers, Université de Sétif 2.

Résumé : La perméabilité de la masse rocheuse peut s'évaluer généralement directement sur place par les essais in-situ tels que : Lugeon, Lefranc, Packer, mais ces essais, d'une part, estiment la perméabilité seulement en profondeurs, et d'autre part, leurs coût reste toujours assez élevé. Pour cela, plusieurs auteurs ont proposé comme choix alternatif une estimation indirecte de la perméabilité de la masse rocheuse par des méthodes empiriques. Ces dernières sont basées notamment sur l'étude des discontinuités et sur le concept des systèmes empiriques de la classification géomécanique des masses rocheuses RMR et RQD. La perméabilité de la masse rocheuse du site du barrage de Beni Haroun est évaluée directement par les essais Lugeons et indirectement par l'étude et l'analyse des caractéristiques des discontinuités et l'exploitation des résultats de la classification géomécanique par les deux systèmes RMR et RQD. Les résultats trouvés, par les deux méthodes, ont montré que la masse rocheuse en question est de faible à moyenne perméabilité. En effet, la comparaison entre les résultats obtenus, nous a permis de faire une corrélation raisonnable entre les deux méthodes. Cette comparaison tient à confirmer l'efficacité de la méthode empirique, et qui reste comme méthode alternative efficace surtout pour des faibles profondeurs.

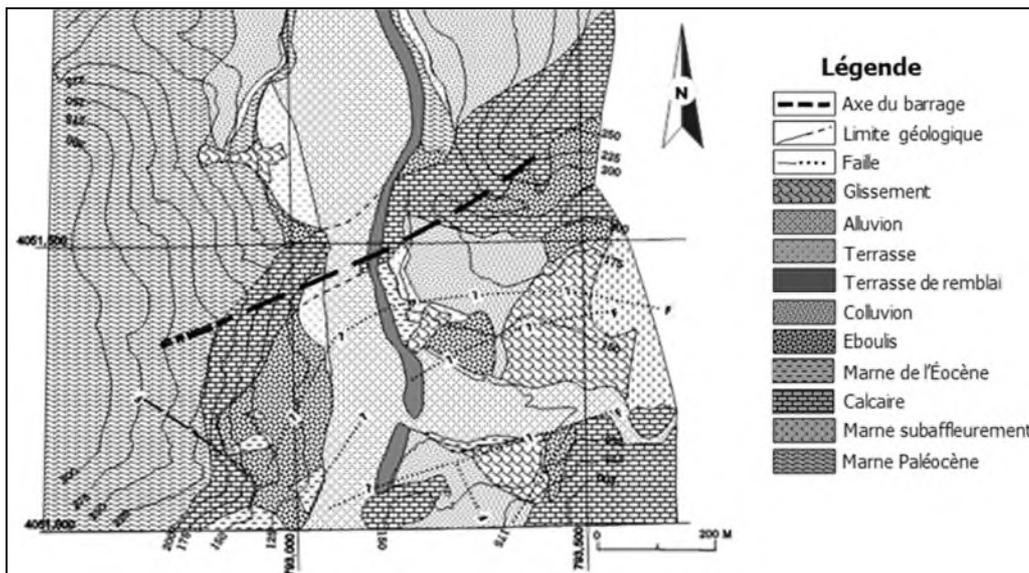
Mots clés : masse rocheuse, discontinuité, perméabilité, empirique

Introduction

L'estimation de la perméabilité des masses rocheuses est une étape nécessaire dans la construction des ouvrages de génie civil tel que les tunnels, les barrages ...etc. La masse rocheuse est constituée de blocs de la roche intacte séparés par des discontinuités, ce qui résulte que sa perméabilité englobe deux types, celle de la roche intacte dite primaire et considérée négligeable et celle dite secondaire et se produit au niveau des discontinuités et considérée la plus importante. Généralement la perméabilité est estimée par des essais in-situ tels que Lugeon, Lefranc ...etc. Plusieurs chercheurs (Snow, 1965 ; Louis, 1974 ; Carlsson & Olsson, 1992, Ali Naqa, 2000) ont proposé et vérifié également une méthode empirique, comme choix alternatif, estime indirectement la perméabilité de la masse rocheuse. Cette méthode se base principalement sur les caractéristiques et les propriétés géologiques des discontinuités (analyse structurale, nombre de familles, ouverture, espacement, rugosité des épontes, persistance...etc.) et le concept des systèmes empiriques de la classification géomécanique des masses rocheuses tel que : RMR, RQD...etc. Dans cet article, la perméabilité de la masse rocheuse, du site du Barrage poids de Beni Haroun, va estimer aussi par la méthodologie proposée par Snow (1968) et Carlsson et Olsson (1992).

Géologie du site

Le site du barrage poids de Beni Haroun se situe dans le Nord-Est de l'Algérie sur l'Oued El-Kébeir à une quarantaine de kilomètres (40 km) de son embouchure dans la mer méditerranéenne. Il est constitué essentiellement par les marnes du Paléocène et les calcaires de l'Éocène [A.N.B.T, 1998] (Fig.1). Le Paléocène est représenté par des marnes noires, celles dernières se débitent aisément pour former des colluvions argilo-silteux et montrent localement des traces de calcite en remplissage des joints. Ces marnes sont surmontées par les calcaires de l'Yprésien. L'Éocène est représenté principalement par deux formations : calcaires de l'Yprésien et des marnes attribuées au Lutétien. Dans les calcaires on distingue trois termes principaux du bas au haut : calcaires de base, calcaires à silex et calcaires marneux. Ces calcaires représentent l'appui du barrage. Les marnes attribuées au Lutétien sont des marnes se débitent en plaquette admettant à la base des passées gréseuses donnant un aspect flyschöide.



L'investigation géotechnique du site du barrage est faite par le bureau d'étude d'Harza Engineering Company (USA) (fig.1).

Fig. 1. Carte géologique du site du barrage de Beni Haroun [Harza E. C., 1985]

Étude et analyse des discontinuités

La masse rocheuse du site du barrage est traversée par différents types des discontinuités naturelles et artificielles. L'étude des discontinuités est effectuée selon les recommandations d'ISRMet (Anon, 1977). L'espacement et la fréquence des discontinuités sont déterminés par la technique du scanline (Piteau, D.R, 1973). L'analyse structurale de la masse rocheuse a montré qu'elle a traversé par trois familles prédominantes de discontinuités (Fig. 2).

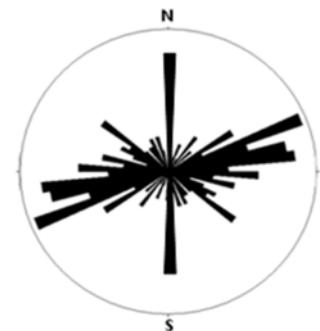


Fig. 2. Les rosaces de

directions

Le tableau (1) résume les caractéristiques des discontinuités recoupant la masse rocheuse

Tab 1. Les caractéristiques des discontinuités de la masse rocheuse de site (Kebab, 2008)

Paramètres	Description
Orientation des familles	N-S, N 70° à 85 °E et N 125° à 130°E
Persistance	Faible à moyenne de 1 m à 10 m
Ouverture	≤ 1 mm
Remplissage	Vide et parfois remplie par la calcite
surface des épontes	Légèrement rugueuses et faiblement altérées.
Espacement	0.30 à 0.62 m
Fréquences	1.36 à 2.72 par mètre
RQD	57% (classe moyenne)

Évaluation quantitative de la qualité de la masse rocheuse

La masse rocheuse du site est classifiée par deux les systèmes RMR (Bieniawski, 1989) et RQD (Deere, 1968), à partir du scanline et à partir des sondages.

Le RQD est égale à la somme des longueurs des tronçons (pièces) intacts de plus de 100 mm de longueur divisées par la longueur totale du sondage. La note finale du RMR (Rock Mass Rating) est la somme des notes de six paramètres en % : (a) la résistance à la compression uniaxial de la roche intacte, (b) le RQD, (c) l'espacement des discontinuités, (d) les conditions des discontinuités, (e) les conditions de l'eau souterraine, et (f) l'orientation des discontinuités par rapport à l'ouvrage.

Tab 2. Classification géotechnique de la masse rocheuse du site (Kebab, 2008)

Systèmes	À partir du scanline			À partir du sondage		
	Note du Sys			Classe	Note du Sys.	Classe
RQD (%)	75 ≥ RQD ≥ 50			Moyenne	90 ≥ RQD ≥ 75	bonne
RMR (%)	Paramètres	Notes	Note du Sys.	Classe	Note du Sys.	Classe
	σ_c (Point Load) : 06 MPa	12				
	RQD ≥ 50 %	13				
	Espacement des discontinuités	10				
	Surface des épontes	25				
	Condition de l'eau souterraine	10				
Ajustement de l'orientation des joints	- 25					
	60 ≥ RMR ≥ 40			Moyenne	80 ≥ RMR ≥ 60	Bonne

Perméabilité de la masse rocheuse

La perméabilité de la masse rocheuse du site du barrage est déterminée directement par les essais Lugeons et indirectement par la méthode empirique.

Tab 3. Estimation de la perméabilité par les essais Lugeon (Bell, 2007).

Sondage	Prof	RQD (%)	RMR (%)	K×10 ⁻⁷ m/s moyenne
BH - 01	26-48	88	75	5
BH - 07	45-86	77 - 80	65-70	11
BH - 08	45-96	85-89	75-80	7
BH - 11	27-80	88	77	3
BH - 12	31-80	92	78	1
BH - 15	20-80	76 - 81	62-71	9
BH - 16	35-80	79-88	75-79	6
BH - 38	29.5	93	78	3
BH - 39	25-72	85-90	81	8
K×10 ⁻⁷ m/s moyenne				5.88

Tab 4. Estimation de la perméabilité selon la fréquence des discontinuités (Bell, 2007).

État des discontinuités	Fréq. (m)	Description de perméabilité	K (m s ⁻¹)
Très rapprochées à faiblement espacées	< 0.2	Très perméable	10 ⁻² -1
Faiblement à modérément espacées	0.2-0.6	Modérément perméable	10 ⁻⁵ -10 ⁻²
Modérément à largement espacées	0.6-2.0	Légèrement perméable	10 ⁻⁹ -10 ⁻⁵
Pas de discontinuités	> 2.0	Effectivement imperméable	< 10 ⁻⁹

La perméabilité de la masse rocheuse est estimée empiriquement par la formule suivante (Snow, 1968 ; Carlsson et Olsson, 1992) :

$$K = (\gamma_w / 6\mu) (e^3 / S)$$

Avec : **S** : espacement des discontinuités, **e** : l'ouverture entre les épontes de la fracture.

μ : est la viscosité dynamique de l'eau **γ_w** : le poids spécifique de l'eau

Le tableau 5 présente les résultats de la perméabilité obtenus par les différentes méthodes

Tab 5. Perméabilité de la masse rocheuse du site du barrage

Méthode	RQD	RMR	(k) m/s	Description
Fréquences des discontinuités (tab II)	50-75	40-60	10 ⁻⁵ à 10 ⁻²	Modérément perméable
Formule empirique			0.26 à 0.55 × 10 ⁻⁵	
Essai lugeons	75-90	60-80	3 à 11×10 ⁻⁷	Légèrement perméable

À l'image des résultats trouvés, on constate que la perméabilité de la masse rocheuse augmente contrairement à sa qualité, alors pour des notes faibles des deux systèmes RQD et RMR faible, la perméabilité est forte

Les résultats trouvés des perméabilités par les deux méthodes montrent que la masse rocheuse est légèrement perméable en profondeur à modérément perméable en surface.

Conclusion

La masse rocheuse du site du barrage est nature calcaireuse et traversées par trois familles dominantes de discontinuités. La perméabilité de cette masse rocheuse est évaluée directement par les essais Lugeon et indirectement par une méthode empirique. Les résultats de la perméabilité trouvés, par les deux méthodes, ont montré que la masse rocheuse en question est de faible à moyenne. Par conséquent, ces résultats nous a

permis de conclure que la perméabilité de la masse rocheuse est quasiment contrôlée par les discontinuités qui la traversent.

En effet, la comparaison entre les deux méthodes (directe et indirecte), qui ont abouti aux mêmes résultats, tient à confirmer l'efficacité, la rapidité, la simplicité et la facilité de la méthode empirique, et qui reste comme méthode alternative efficace.

Cette comparaison, nous a permis d'effectuer une corrélation entre les résultats des deux systèmes RMR, RQD et les résultats de la perméabilité et ce qui résulte que plus que la perméabilité de la masse rocheuse est faible plus que cette masse est de bonne qualité.

Références bibliographiques

- A.N.B.T. (1998) : Agence Nationale des Barrages ET Transfert (1998):« Barrage de Beni Haroun en béton compacte en rouleau ». Avant-projet détaillé. Volume 1: rapport de synthèse.
- Ali El-Naqa (2000): "The hydraulic conductivity of the fractures intersecting Cambrian sandstone rock masses, central Jordan" cases and solution, Environmental Geology DOI 10.1007/s002540100266
- Anon, 1977 Anon : "Geological Society of London The description of rock masses for engineering purposes " Engineering Group Working Party Report, Q. J. Eng. Geol., Vol. 10 p.p. 355 - 388.
- Bell, F. G. (2007) : Engineering geology (Second edition).Butterworth-Heinemann publications, ELSEVIER, ISBN-13 : 978-0-7506-8077-6.581p.
- Bieniawski Z. T (1989): Engineering rock mass classifications».John Wiley & Sons, New York, 251p
- Carlsson A, Olsson T (1992) : The analysis of fractures, stress and water flow for rock engineering projects. Comprehensive rock engineering, vol 2. Pergamon Press, Oxford
- Deere, D. U. (1968): «Geological considerations. In: Rock mechanics in engineering practice, (R. G. Stagg and D. C. Sienkiewicz. (Eds.)) ». Division of Civil Engineering, School of Engineering, University of Wales, Swansea, John Wiley & sons, New York, 1-20.
- Harza E. C. (1985) (Harza Engineering Company): « Etude d'avant-projet détaillé sur l'oued El-Kebeir ou l'un de ses affluents. Mission 3 : Etude comparative des variantes ». Vol. 1 : Rapport de synthèse
- ISRM: International Society for Rock Mechanics Commission on classification of rocks and rock masses, Int. J. Rock Mech. Min.,
- KEBAB H. (2008):« Caractérisation géologique et géomecanique de la masse rocheuse du site du barrage (Mila, Algérie) et étude de stabilité ». Mémoire de Magistère. Université de Jijel-Algérie, 153p.
- Louis C (1974) : Introduction à l'hydraulique des roches. Bull BRGM, sect III, 4:283-356
- Piteau (1973):«Characterizing and extrapolating rock joint properties in engineering practice». Rock Mech Suppl 2:5-31
- Snow DT (1965): A parallel plate model of fractured permeable media. PhD Thesis, University of California, Berkeley