INTERNATIONAL SOCIETY FOR
SOIL MECHANICS AND
GEOTECHNICAL ENGINEERING

SIMSG ISSMGE

This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

https://www.issmge.org/publications/online-library

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Classification et propriétés des enrochements: Le cas d'un grès

Rockfill classification and properties: A sandstone case study

J.J.FRY, Ingénieur, Electricité de France R.E.A.L., Chambery, France
M.MAMBA, Chercheur, Université de Lille 1, France
E.FLAVIGNY, Maître-Assistant, Institut de Mécanique de Grenoble, France

RESUME

A l'occasion de la construction du barrage de VIEUX-PRE, les propriétés mécaniques d'un grès sont comparées aux corrélations de MARSAL et THOMPSON. Le rôle de la matrice sableuse entourant les cailloux est mis en évidence, de même que l'effet de la taille des appareillages d'essai.

INTRODUCTION

Le projeteur de barrages en enrochements se heurte souvent à la difficulté de mesurer les propriétés de ces matériaux. Plus précisément il doit résoudre deux étapes importantes :

- une classification rapide de l'enrochement, donnant ses propriétés principales, les avantages et inconvénients de chaque classe, pour la définition de l'avant-projet,
- une connaissance beaucoup plus précise des propriétés de l'enrochement pour simuler l'avancement de la construction et l'état du barrage en fonctionnement par la méthode des éléments finis.

Ce problème s'est posé lors de la construction du barrage de VIEUX-PRE où un grès tendre a été utilisé. On présente ici les principales réflexions émanant de l'étude de ce matériau.

CLASSIFICATION ACTUELLE

Les travaux de référence de MARSAL (1979) ont débouché sur une classification particulièrement utilisée. WILSON et MARSAL (1979) proposent six types d'enrochement se différentiant par la dureté de leurs particules et leur granulométrie (Table 1).

Table 1 - Classification de MARSAL

DURETE	GRANULOMETRIE	
	ETALEE (W)	UNIFORME (U)
Forte	1W	1U
Moyenne	2W	2U
Faible	3W	3U

A partir de ces résultats, MAMBA (1987) propose des relations reliant l'angle de frottement effectif à la contrainte principale mineure et le module de compressibilité oedométrique tangent Moc à la contrainte verticale (fig. 1 et 2). Ces relations sont représentatives de la moyenne de chaque classe. En première approximations le coefficient de variation est respectivement 10 % pour l'angle de frottement et 30 % pour le module.

Ces relations permettent un dimensionnement rapide de l'ouvrage et justifie le choix de l'enrochement au niveau de l'avant-projet. Elles doivent ensuite être vérifiées pendant le projet par l'analyse du comportement in situ.

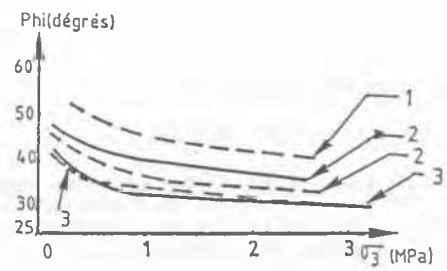

Figure:1 Angle de frottement en fonction de la contrainte principale mineure

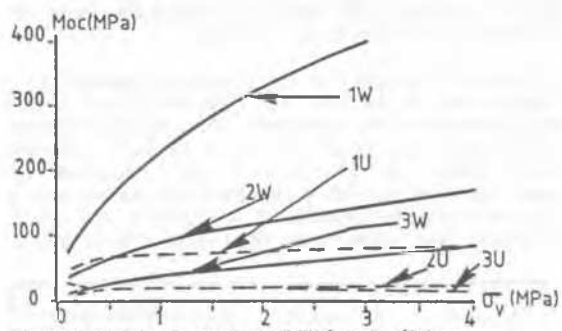

Figure:2 Module de compressibilité oedométrique tangent en fonction de la contrainte verticale

LE GRES DU BARRAGE DE VIEUX-PRE

Ce grès est très friable avec un ciment siliceux. Plus altéré en surface, il est exploité au ripper et il crée alors un fort pourcentage de sable (54 % < 2 mm) ; en profondeur, exploité à l'explosif il apparaît plus grossier (44 % < 2 mm). Le fuseau mis en place est représenté sur la figure 3. La faible dureté du grès, mise en évidence par des essais de compression simple (Rc sec de 32 MPa, Rc humide de 22 MPa) et les essais Los Angeles dont l'indice est de 98, classe ce grès en 3W.

Le grès est mis en place par quatre passes de rouleau vibrant lourd de masse linéaire supérieure à 50 kg/cm sur des couches de 50 et 60 cm suivant la zone considérée.

Lors des travaux, le matériau apparût plus rigide et plus résistant que prévu. Malgré les blocs, il était possible de creuser des tranchées à parois verticales de plus de 4 mètres de haut ; par ailleurs les tassements maximaux observés aux téléniveaux furent faibles : 25 cm à mi-hauteur pour un barrage haut de 75 m.

Enfin, en reportant les caractéristiques de cet enrochement sur les figures 1 et 2 on s'aperçoit que si les résistances concordent avec celle de la classe 3W, la rigidité apparaît supérieure à celle des corrélations.

L'ensemble de ces constatations incitent à penser que les enrochements à matrice sableuse dans lesquels les blocs ne sont pas jointifs et dans lesquels la matrice est fortement compactée ont un comportement différent des enrochements étudiés par MARSAL. Même si la dureté de la roche est très faible, comme à VIEUX PRE, les tassements sont plus faibles que ceux des enrochements classiques. Ceci incite à définir comme le préconise MATHESON (1986) un axe de classification dépendant de l'importance de la matrice sableuse. A partir de 30 % de sable, on serait amené à changer de classe. Cela permettrait de mettre en garde le projeteur contre la rigidité de tels matériaux qui est un facteur de risque de claquage hydraulique.

ANALYSE DES PROPRIETES DU GRES

Deux types d'essais ont été réalisés :

- des essais de cisaillement direct dans des appareillages de 1 200 x 1 200 mm, et de diamètres 550 mm et 100 mm, où le rôle de taille de l'appareillage (lo) est comparé à celui du diamètre de la plus grosse particule (Dmax.),
- des essais triaxiaux de 300 mm de diamètre, élancement 2, et des essais triaxiaux de 100 mm de diamètre sur des chemins de sollicitation variés (DENDANI et al 1986). Ces essais ont servi au calage des lois de comportement utilisées dans le calcul.

Les premiers essais mirent en évidence la forte influence de la taille de l'appareillage. Les sols testés, issus de l'enrochement initial, sont représentés sur la figure 3. Les résultats des essais, exprimés en valeur d'angle de frottement, sont reportés sur la figure 4 en fonction de ψ représentant le rapport de la taille de l'appareillage Lo à la taille des plus gros grains Dmax. Les valeurs de ψ varient de 8 à 240.

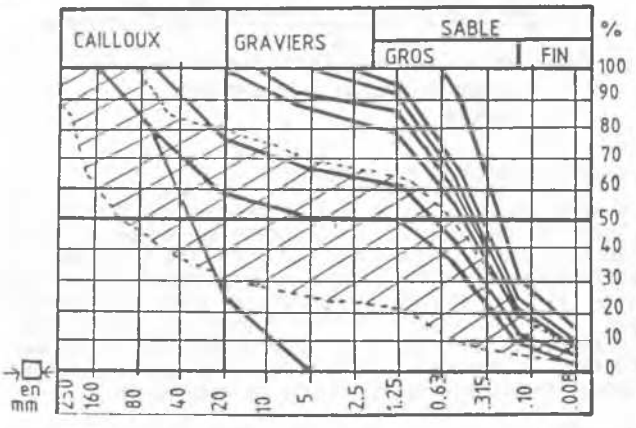

Figure:3 Courbes granulométriques des grès testés (densité sèche moyenne=19.3KN/m3, teneur en eau moyenne=6.2%)

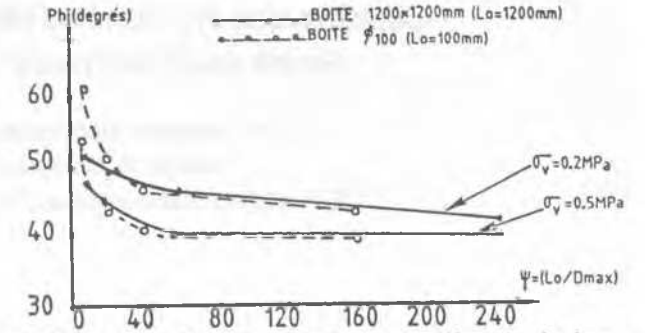

Figure:4 Angle de frottement en fonction du facteur d'échelle $\Psi=(LO/D_{max})$

L'angle de frottement est une valeur décroissante de ψ qui se stabilise pour des valeurs de ψ supérieures à 50 dans les deux appareillages ; on obtient une augmentation de l'angle de frottement lorsque l'on se trouve à des valeurs de ψ inférieures à 25. Ces tendances furent confirmées par les essais triaxiaux où des angles de frottement très forts furent obtenus pour $\psi = 6$.

Par contre, indépendamment de ψ, le module aux très petites déformations augmente avec Dmax.

La conclusion principale à tirer de ces essais concerne alors la représentativité des essais réalisés sur des appareillages de dimension trop modeste : on a alors une surestimation de l'angle de frottement. Ce résultat n'est pas contradictoire avec l'effet de la dimension maximum des particules sur l'angle de frottement : plusieurs auteurs ont démontré que l'angle de frottement augmentait avec la taille des particules.

CONCLUSION

Une première approche des relations liant angle de frottement et modules à la contrainte est proposée pour différents types d'enrochement, d'après les résultats de MARSAL. Le comportement du grès friable de VIEUX-PRE montre l'importance de la matrice sableuse qui mériterait une plus grande attention. Enfin la forte sensibilité de l'angle de frottement à la dimension de l'appareillage met en évidence la difficulté de mesurer et d'interpréter les propriétés des enrochements.

BIBLIOGRAPHIE

1 - DENDANI H., FLAVIGNY E., FRY J-J (1986)
Triaxial test for embankment dams : interpretation and validity. Symposium on advanced triaxial testing of soil and rock. Louisville. KENTUCKY ASTM S.T.P. 977 à paraître)

2 - MAMBA M. (1987)
Enrochement de Vieux Pré. Analyse et comparaison de ses propriétés. E.D.F. rapport interne.

3 - MATHESON G.O. (1986)
Relationship between compacted Rockfill Density and Gradation. Technical notes. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 12, p. 1119 - 1124.

4 - MARSAL R.J. et NUNEZ D.R. (1979)
Presas de tierra y enrocamiento.
Editorial Limusa Mexico.

5 - WILSON S.D. et MARSAL R.J. (1979)
Current trends in desigand construction of embankment dams. American Society of Civil engineers