

L'essai de cisaillement de discontinuité rocheuse

Procédure et interprétation

Gérard MAZZOLENI

Ingénieur

Groupe Mécanique des roches

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon

Introduction

Les discontinuités jouent un rôle essentiel dans le comportement mécanique des massifs rocheux, puisqu'elles en constituent les zones fragiles.

Le mécanicien des roches utilise le terme « discontinuité » dans un sens très large pour désigner toute interruption physique de la continuité de la roche (fig. 1) ; il inclut tous les types de fractures (diaclases, failles), les plans de stratification, de schistosité, de foliation, etc. La présence de discontinuités peut constituer un facteur déterminant du comportement mécanique d'un massif rocheux. C'est pourquoi la plupart des études de dimensionnement nécessitent la détermination des caractéristiques mécaniques de ces discontinuités.

RÉSUMÉ

Le comportement mécanique des massifs rocheux est largement influencé par la présence de discontinuités. D'un point de vue mécanique, une discontinuité est une surface présentant une résistance à la traction très faible, même souvent nulle.

L'essai de cisaillement, objet du présent article, permet de déterminer les valeurs des caractéristiques de résistance au cisaillement des discontinuités naturelles. Toute la procédure de l'essai est décrite en abordant successivement le prélèvement, la préparation des éprouvettes, le matériel, le mode opératoire et l'expression des résultats. À titre d'exemple, des résultats d'essais réalisés sur différents types de roche sont présentés.

Les essais effectués montrent que, généralement, les paramètres résultant de l'interprétation des essais (angle de frottement et dilatance) évoluent pendant la sollicitation. Par conséquent, l'interprétation des résultats doit comporter des graphes décrivant l'évolution des paramètres en fonction du déplacement tangentiel à la discontinuité.

MOTS CLÉS : 43 - *Essai - Cisaillement - Comportement - Roche - Discontinuité - Matériel - Mesure - Prélèvement - Méthode d'essai - Éprouvette.*



Fig. 1 - Talus rocheux dans un massif calcaire très fracturé (Vaucluse).

Une discontinuité présente une résistance à la traction généralement très faible, même souvent nulle, la cohésion ne pouvant être réalisée que par les produits de remplissage, ou par d'éventuels ponts de matière. En fait, c'est le comportement au cisaillement qui va être déterminant pour certains phénomènes de rupture.

L'essai de cisaillement décrit dans cet article permet de déterminer l'angle de frottement, grandeur caractéristique de la roche, qui ne dépend pas de l'échelle considérée. Il fait apparaître également deux autres grandeurs : la résistance de pic et l'angle de dilatance qui sont étroitement liés à l'échantillon considéré (géométrie des surfaces en contact). Les notations utilisées sont définies dans l'annexe 1.

Principe de l'essai

L'essai de cisaillement de discontinuité rocheuse [1], [2], [3] et [4] est réalisé sur un échantillon présentant une discontinuité, dont le plan moyen est le plan de référence par rapport auquel l'effort normal N et l'effort tangentiel T sont définis (fig. 2).

L'échantillon est soumis à un effort normal N constant, tandis que l'effort tangentiel T croît jusqu'à l'obtention du mouvement relatif des deux épontes. On mesure alors les déplacements relatifs dans la direction normale et tangentielle au plan de référence, notés respectivement u_n et u_t . Les résultats de l'essai sont exprimés en termes de contrainte tangentielle moyenne $\tau = T/S$ et de contrainte normale moyenne $\sigma_n = N/S$, S représentant la surface de la discontinuité.

Cisaillement de discontinuités lisses

Les discontinuités naturelles lisses et planes sont rares, c'est pourquoi de telles discontinuités sont obtenues par sciage. Les épontes sciées ne présentent pas de cohésion, ni d'aspérités, mais possèdent une certaine rugosité due à la texture de la roche et à l'imperfection du sciage. La rugosité peut être atténuée par usinage (rectification).

L'examen du comportement au cisaillement d'une telle discontinuité (fig. 3), montre que, pour un effort normal constant, l'effort de cisaillement croît rapidement au début de l'essai, tant que la résultante des forces appliquées à l'échantillon reste à l'intérieur du cône de frottement. Puis, lorsque la valeur limite du frottement est atteinte, il y a glissement des deux épontes et l'effort de cisaillement ne varie pratiquement plus. Une légère variation peut avoir lieu lorsque le cisaillement provoque de l'abrasion ou du polissage selon la nature de la roche.

En répétant l'essai pour différentes valeurs de l'effort normal, on peut tracer (fig. 4) dans le repère (σ_n, τ) la droite de Coulomb d'équation :

$$\tau = \sigma_n \tan \phi$$

Cisaillement d'une discontinuité à indentation régulière

Les discontinuités naturelles présentent généralement de nombreuses aspérités et sont à l'origine d'une imbrication mécanique, qui modifie leur résistance au cisaillement. Pour en décrire le mécanisme, nous allons examiner le cas d'une discontinuité à indentation régulière.

Considérons une discontinuité à indentation régulière d'inclinaison δ par rapport au plan moyen des épontes (fig. 5). Si l'on soumet cette discontinuité à un essai de cisaillement, en appliquant un effort normal constant, le mouvement des deux épontes se produit suivant la pente des dents (pente d'angle δ), lorsque la résultante des forces sort du cône de frottement. Par rapport à une discontinuité plane et lisse, la surface de frottement est considérablement réduite en raison de l'orientation des facettes des dents : sous l'effet de l'effort de cisaillement, le contact entre épontes n'a lieu que sur une partie des facettes qui s'opposent au déplacement ; sur les autres faces, il y a décollement.

La diminution de la surface de contact entraîne une augmentation des contraintes et peut provoquer localement une concentration de contraintes. Les dents peuvent ainsi être écratées.

Ce modèle de discontinuité à indentation régulière montre l'importance de la géométrie des épontes vis-à-vis du comportement au cisaillement d'une discontinuité.

Le comportement du modèle à indentation régulière est régi par le frottement le long des facettes inclinées. Pour un effort normal constant, l'effort de cisaillement croît rapidement au début de l'essai, jusqu'à ce que la résultante des forces appliquées sur les surfaces de contact sorte du cône de frottement. Ensuite, le glissement des épontes autorise un déplacement longitudinal qui s'accompagne d'un déplacement dans la direction normale au plan moyen de la discontinuité. Ce déplacement normal est couramment désigné sous le terme de dilatance.

Le frottement le long des facettes inclinées est supposé conforme à la loi de Coulomb. On en déduit que les contraintes moyennes, normales et tangentielles, sur le plan moyen de la discontinuité, vérifient la relation :

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} (\phi + \delta)$$

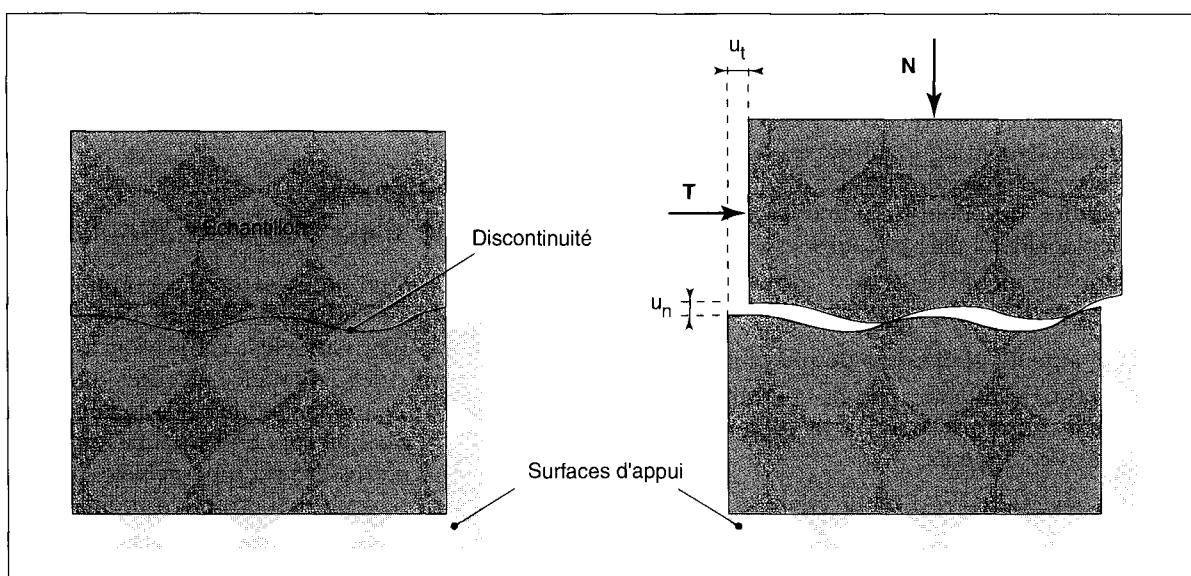


Fig. 2 - Représentation de l'essai de cisaillement.

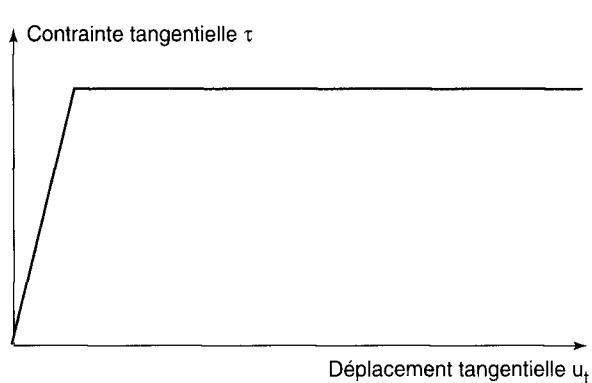


Fig. 3 - Courbe de cisaillement
sous contrainte normale σ_n constante.

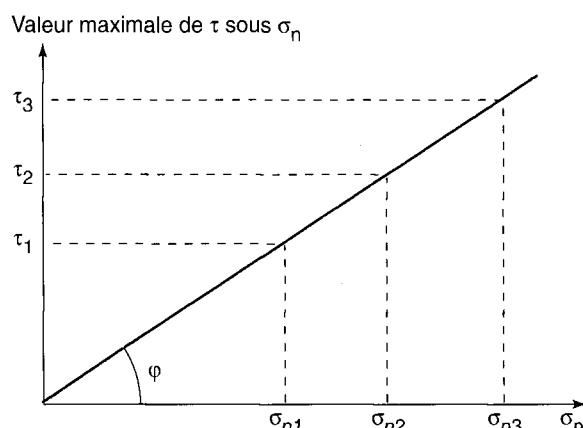


Fig. 4 - Droite de Coulomb.

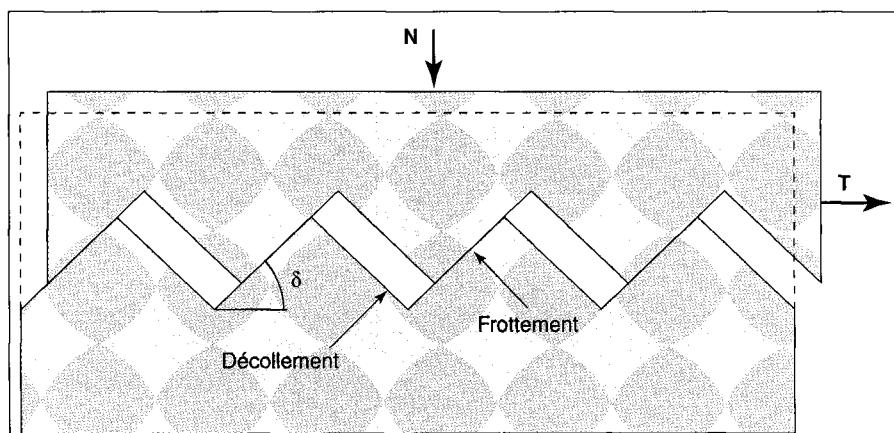


Fig. 5 - Schéma d'une discontinuité à indentation régulière.

Cette expression montre que l'angle de frottement mobilisé au début du mouvement est égal à la somme de l'angle de frottement φ de la roche et de l'angle δ d'inclinaison des facettes.

Au cours du déplacement longitudinal, la dilatance peut varier ; s'il y a écrêtement des dents, la dilatance diminue et le mouvement se poursuit parallèlement au plan moyen de la discontinuité. Pour des valeurs élevées de l'effort normal, la rupture des dents commence dès le début du déplacement. Sur la courbe $\tau = f(u_t)$, on observe alors un pic de résistance correspondant à la rupture de l'indentation (fig. 6).

On appelle **résistance de pic**, notée τ_p , la valeur maximale atteinte par la contrainte de cisaillement, qui correspond à la rupture des irrégularités des épontes.

La **résistance résiduelle** désigne la contrainte de cisaillement déterminée après la rupture des irrégularités ; elle caractérise le frottement des surfaces en contact.

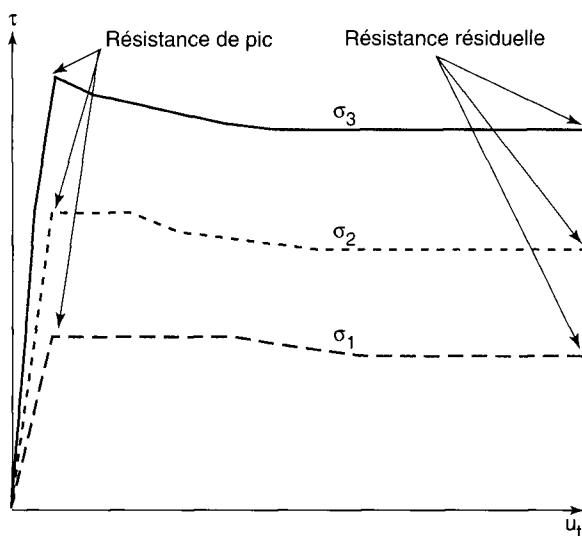


Fig. 6 - Courbes de cisaillement d'une discontinuité à indentation régulière ($\sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$).

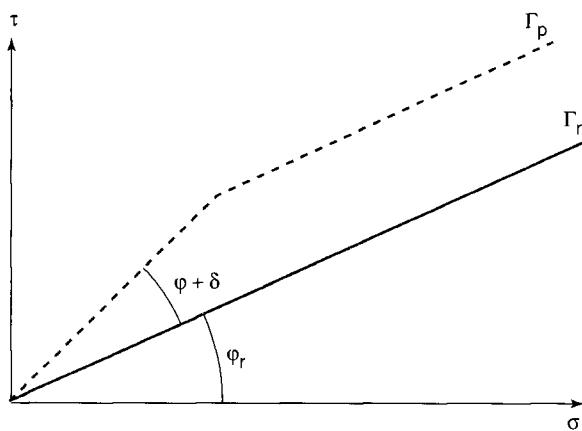


Fig. 7 - Cisaillement d'une discontinuité à indentation régulière ; lois de frottement de pic et résiduel.

En répétant l'essai pour différentes valeurs de la contrainte normale, on peut représenter dans le diagramme (σ , τ), deux courbes (fig. 7) :

- la courbe correspondant aux valeurs de pic Γ_p ,
- la courbe correspondant aux valeurs de la résistance résiduelle Γ_r .

Cisaillement d'une discontinuité naturelle

Les discontinuités naturelles comportent aux différentes échelles de nombreuses aspérités de formes très variables. La présence des aspérités engendre de la dilatance au cours du cisaillement, mais l'expérience montre que le déplacement initial n'a pas lieu suivant l'inclinaison des aspérités les plus redressées par rapport au plan moyen : il se produit suivant une direction moins inclinée. De plus l'écrêtement des aspérités entraîne une modification de l'angle de dilatance au cours du déplacement. Généralement les courbes (u_t , τ) permettent de distinguer, pour une même valeur de la contrainte normale σ_n , deux phases (fig. 8) :

- une phase de cisaillement primaire correspondant à l'accroissement de la contrainte tangentielle jusqu'à une valeur de pic, puis à sa stabilisation à une valeur résiduelle ; au cours de cette phase la dilatance subit de fortes variations ; la résistance de pic τ_p caractérise cette phase de cisaillement primaire ;
- une phase de cisaillement secondaire correspondant à une contrainte tangentielle stable représentative du frottement des surfaces ; la résistance résiduelle $\tau_r = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_r$ caractérise cette phase de cisaillement secondaire.

Pour une discontinuité naturelle, il est plutôt rare de pouvoir prélever des échantillons d'une même famille avec des géométries d'épontes identiques. Cela suppose qu'une analyse structurale très détaillée ait mis en évidence des familles de discontinuités parfaitement identifiables.

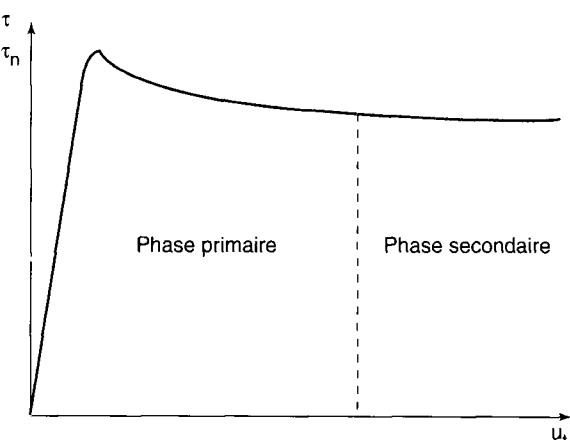


Fig. 8 - Cisaillement d'une discontinuité naturelle.

Pour une famille donnée, un nombre suffisant de prélèvements doit permettre de procéder à un échantillonnage. Ensuite les essais sont réalisés sur des échantillons identiques, avec différentes valeurs de l'effort normal.

Dans la plupart des cas, nous disposons d'échantillons prélevés par carottage, lors des opérations de reconnaissance, et ces échantillons ne sont jamais identiques. C'est pour cette raison que, dans le mode opératoire présenté ci-après, trois valeurs de l'effort normal sont appliquées successivement au cours d'une même translation. Il est possible ainsi de tracer la courbe Γ_r correspondant aux valeurs de la résistance résiduelle, dans le diagramme (σ , τ).

La courbe Γ_p correspondant aux valeurs de pic ne peut évidemment pas être obtenue avec un seul échantillon. Elle ne peut être déterminée qu'avec plusieurs échantillons possédant des épontes de même géométrie. Or, les échantillons répondant à ce critère sont le plus souvent artificiels, car il est extrêmement difficile de prélever des discontinuités naturelles d'une même famille avec des géométries d'épontes identiques. C'est pourquoi la courbe des valeurs de pic est très peu utilisée dans la pratique.

Le matériel d'essai

La machine d'essai de cisaillement du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon

Les essais sont effectués au moyen d'une machine de cisaillement direct du type boîte de Casagrande (fig. 9).

La capacité nominale du bâti de la machine est de 1MN pour l'effort normal et de 1MN pour l'effort de cisaillement.

L'échantillon est placé dans deux demi-boîtes de section plane 200 mm × 150 mm. La hauteur totale des deux demi-boîtes en place est de 250 millimètres.

La demi-boîte inférieure est fixe et la demi-boîte supérieure est mobile. Elle est guidée dans le sens longitudinal, ce qui interdit le basculement transversal (perpendiculaire au sens du cisaillement). Par contre, une articulation autorise les basculements dans le sens du cisaillement. La course maximale de la demi-boîte mobile est de 20 millimètres.

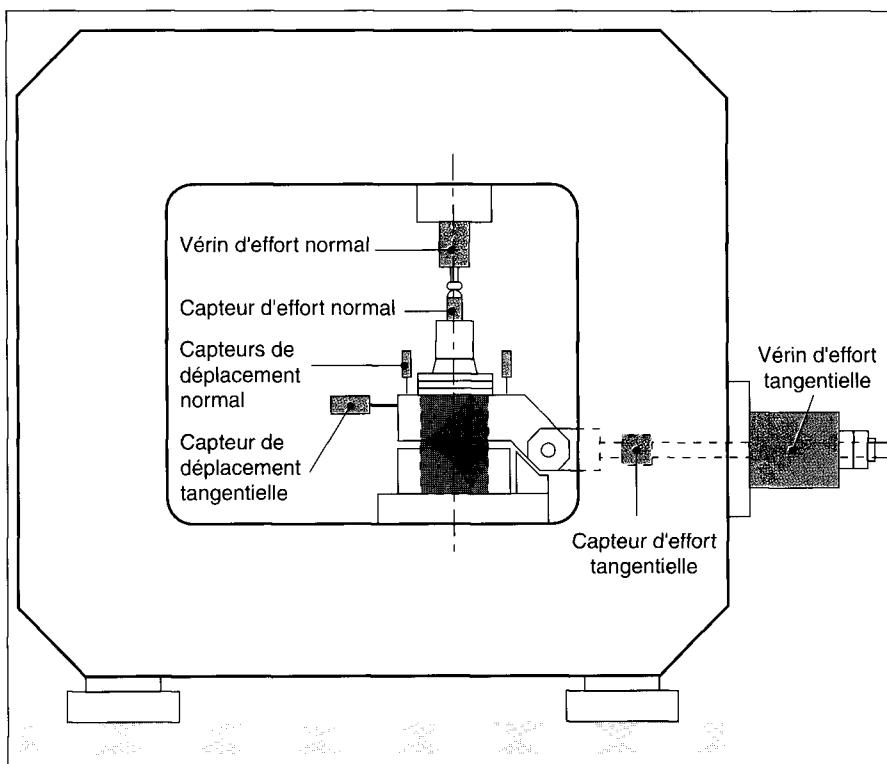


Fig. 9 - Machine de cisaillement
du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon.

Les dispositifs de mesure

L'effort normal et l'effort de cisaillement sont mesurés à l'aide de capteurs de force. La gamme des capteurs est adaptée aux valeurs des efforts mis en jeu, selon les types d'essais.

Le **déplacement tangentiel** u_t de la demi-boîte supérieure est mesuré à l'aide d'un capteur de déplacement.

Le **déplacement normal** u_n est mesuré à l'aide de deux capteurs de déplacement situés symétriquement de chaque côté de la demi-boîte supérieure, ce qui permet de mesurer la dilatance (en considérant la moyenne des deux capteurs) et le basculement.

Les informations fournies par les capteurs d'effort et de déplacement sont saisies à l'aide d'une chaîne d'acquisition de données.

Prélèvement des échantillons

Les échantillons de discontinuité rocheuse sont le plus souvent prélevés par carottage. Plus rarement, ils peuvent être prélevés par découpage au niveau d'un affleurement ou d'une excavation.

Les dimensions des éprouvettes sont liées à la dimension des boîtes de cisaillement et des carottiers utilisés couramment pour les prélèvements (diamètre compris entre 90 et 150 mm). La surface des épontes doit être suffisante pour limiter l'effet d'échelle ; une surface d'au-moins $5\ 000\ mm^2$ est nécessaire, mais une surface d'environ $8\ à\ 10\ 000\ mm^2$ est beaucoup plus satisfaisante. À titre indicatif, la section d'une carotte de 100 mm de diamètre, orthogonale à l'axe, a une aire d'environ $7\ 850\ mm^2$. Les irrégularités doivent être comprises dans une bande de 5 mm de large environ. Si les irrégularités sont trop importantes par rapport à la surface des épontes, la rupture risque de se propager suivant un plan oblique par rapport au plan de cisaillement, et l'essai n'est pas exploitable.

Pour tracer une courbe intrinsèque, il est préférable de disposer d'au moins cinq points correspondant à des essais réalisés sur des échantillons d'une même famille, avec des valeurs différentes de la contrainte normale à chaque essai.

Cependant, lorsque le nombre d'échantillons est insuffisant, on se contente de faire varier la contrainte normale au cours d'un essai : en appliquant un effort normal constant sur un tiers du déplacement total, avec une valeur différente pour chaque palier, il est d'usage de déterminer l'angle de frottement résiduel d'un échantillon.

Ainsi en répétant l'essai (avec les mêmes paliers de contrainte normale) sur plusieurs échantillons d'une même famille, on détermine la dispersion des résultats d'un échantillon à l'autre.

Mode opératoire de l'essai

Préparation des éprouvettes

Pour les essais portant sur des discontinuités ouvertes, l'éprouvette est scellée dans deux coquilles de mortier. Ces coquilles parallélépipédiques sont ajustées dans les demi-boîtes de la machine de cisaillement puis bloquées par serrage.

L'éprouvette est scellée en deux fois :

- l'une des deux épontes est placée dans un moule rempli de mortier peu plastique ; cette éponte est centrée et le plan moyen de l'éponte est disposé parallèlement au plan supérieur du moule, à environ 5 mm de celui-ci ;
- lorsque le mortier a atteint une résistance convenable, des liens ancrés dans la coquille ainsi obtenue permettent de fixer la seconde éponte sur la première et de procéder à son scellement par retournement sur un moule rempli de mortier.

Ensuite l'éprouvette est placée dans les demi-boîtes de la machine et les liens sont sectionnés avant le démarrage de l'essai.

Déroulement de l'essai

L'essai comporte trois paliers, au cours desquels l'effort normal est constant. Par conséquent, pour des ruptures dilatantes, il y a soulèvement de la demi-boîte supérieure.

Les trois valeurs de l'effort normal sont appliquées dans l'ordre décroissant.

Lorsque la résistance de pic est atteinte, la vitesse de déplacement de la demi-boîte supérieure devient alors imposée. Les vitesses habituellement utilisées sont comprises entre 0,3 et 1,1 millimètre par minute.

L'essai consiste à mesurer l'évolution de la contrainte tangentielle τ en fonction du déplacement relatif des épontes (u_t , u_n) et à maintenir l'effort normal constant. L'effort normal ne doit pas s'écartez de plus de 5 % de la valeur nominale.

L'enregistrement des mesures s'effectue à une fréquence d'acquisition permettant d'obtenir au moins quinze points avant d'atteindre la résistance de pic. Une acquisition toutes les cinq secondes est généralement suffisante.

Expression des résultats

À partir des tableaux de mesures, les résultats sont présentés sous forme de plusieurs graphes :

- graphique des efforts (normal et tangentiel) en fonction du déplacement tangentiel u_t ,
- graphique du déplacement normal u_n en fonction du déplacement tangentiel u_t ,

- graphique de l'angle de frottement φ et de l'angle de dilatance δ en fonction du déplacement tangentiel u_t .

Pour des raisons pratiques, l'angle $\beta = \varphi + \delta$ est représenté également ; l'angle de frottement φ est obtenu à partir de la mesure de β et δ .

Rappelons que :

$$\beta = \arctan(T/N)$$

$$\delta(i) = \arctan[u_n(i) - u_n(i-1)] / [u_t(i) - u_t(i-1)]$$

$\delta(i)$ représente l'angle de dilatance calculé au $i^{\text{ème}}$ enregistrement.

Exemples

Il s'agit de résultats d'essais de cisaillement réalisés par le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon, sur des échantillons de gneiss. Dans l'exemple 1, l'essai porte sur une discontinuité orientée suivant la foliation et présentant des marques d'altération. Dans le second exemple, la discontinuité correspond à une fracture.

Sur les graphiques on distingue :

- l'évolution du chargement, caractérisée par les paliers d'effort normal et la présence ou l'absence de pic d'effort tangentiel, qui n'est évidemment visible qu'au premier palier (fig. 10 et 13) ;
- l'évolution de l'angle de frottement au cours de la translation (fig. 12 et 15), qui peut rester stable ou varier en raison de l'arrachement de grains qui viennent modifier le frottement des surfaces.

Exemple 1

La figure 10 présente l'évolution de l'effort normal (imposé) et de l'effort tangentiel (mesuré) en fonction du déplacement tangentiel relatif des demi-boîtes. On observe que la courbe d'effort tangentiel ne présente pas de valeur de pic en raison de la faible imbrication initiale des épontes. L'effort tangentiel reste constant au cours de la translation ; il ne varie qu'aux changements d'effort normal.

En début d'essai, l'angle de dilatance est nul ; il croît ensuite jusqu'à 5° , puis il varie légèrement entre 4 et 6° au cours de la translation (fig. 11 et 12). La géométrie des épontes est à l'origine de ces variations.

L'angle de frottement n'atteint que 25° en début d'essai, puis décroît jusqu'à 21° au cours du premier palier. Il augmente ensuite progressivement pour se stabiliser à environ 27° . L'examen de la surface des épontes montre qu'un broyage important s'est produit au cours de la translation. Ce broyage modifie l'état des surfaces de contact et entraîne une modification de l'angle de frottement.

Cet exemple montre que l'angle de frottement résiduel peut parfois représenter l'angle de frottement maximal.

Exemple 2

Sur la figure 13, on observe une valeur de pic bien marquée par suite de la bonne imbrication des épontes. L'effort tangentiel décroît ensuite au fur et à mesure de la translation.

L'angle de dilatance passe également par un pic d'une valeur de 14° , puis décroît progressivement jusqu'à la fin de la translation, pour atteindre une valeur de 1 à 2° (fig. 14 et 15).

L'angle de frottement reste compris entre 39 et 40° (fig. 15). Cette valeur est bien supérieure à la valeur mesurée pour une discontinuité orientée suivant la foliation (exemple précédent).

Dans cet exemple, on observe une forte variation de l'angle de dilatance au cours du déplacement. La valeur de pic de l'angle de dilatance correspond au franchissement des aspérités.

Tableau de résultats

Le tableau I regroupe un ensemble de résultats extraits de diverses campagnes d'essais. Sans être exhaustif, il montre dans quelle proportion les caractéristiques de cisaillement peuvent varier.

Les premières colonnes fournissent une description succincte des discontinuités testées. Dans les colonnes suivantes, pour chaque palier sont indiquées les valeurs de la contrainte normale, de l'angle de frottement et de la dilatance. La valeur de pic de la contrainte tangentielle apparaît s'il y a lieu, pour le premier palier.

Annexe 1 - Notations

- S Surface de la discontinuité
- T Effort tangentiel
- T_{\max} Maximum de l'effort tangentiel
- N Effort normal
- τ_r Résistance résiduelle
- φ_r Angle de frottement résiduel
- φ Angle de frottement
- β Angle de frottement apparent $\tan\beta = T/N$
- τ Contrainte tangentielle $\tau = T/S$
- τ_p Résistance de pic $\tau_p = T_{\max}/S$
- σ_n Contrainte normale $\sigma_n = N/S$
- u_n Déplacement normal
- u_t Déplacement tangentiel
- δ Angle de dilatance
- $\beta = \varphi + \delta$
- $\operatorname{tg}\delta = u_n/u_t$

Essai de cisaillement de discontinuité sur un gneiss
EXEMPLE 1

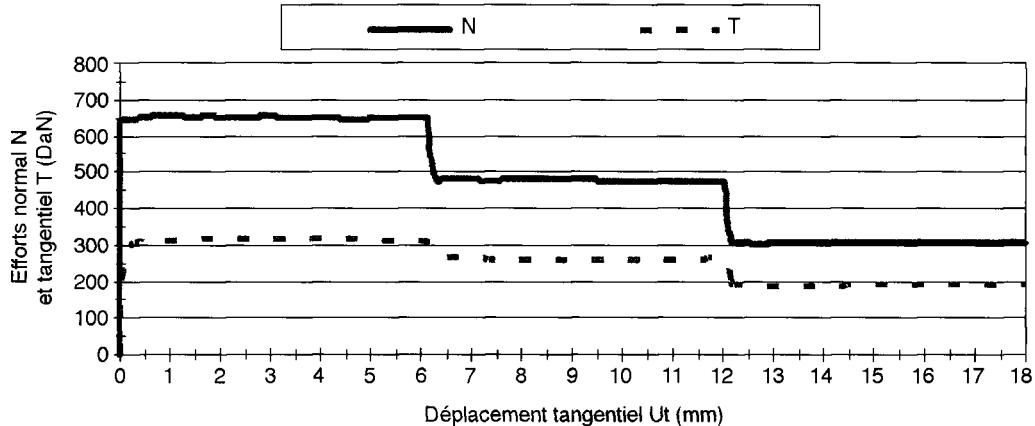


Fig. 10 - Évolution des efforts en fonction du déplacement relatif des demi-boîtes.

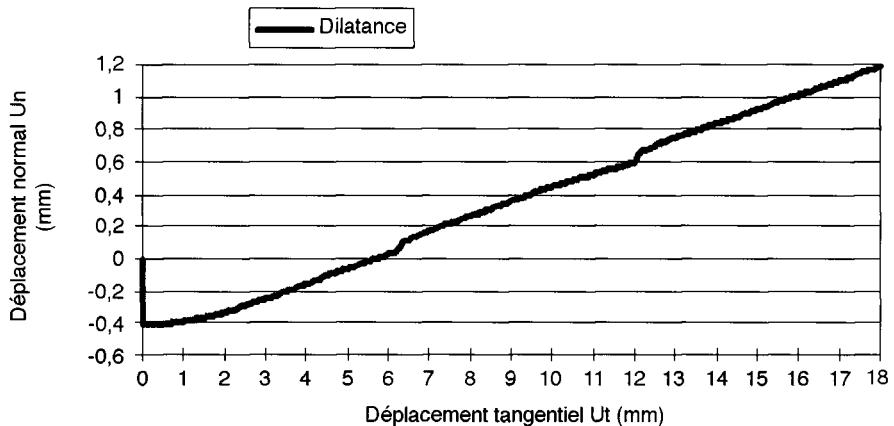


Fig. 11 - Courbe de dilatance.

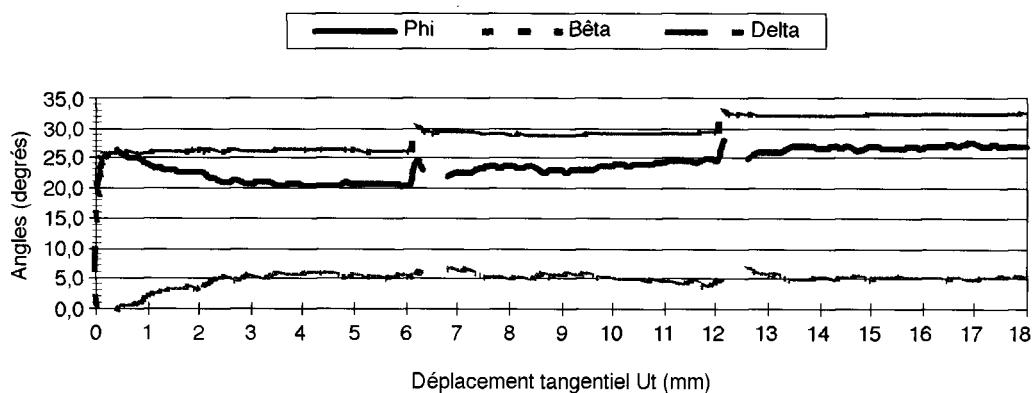


Fig. 12 - Interprétation en termes d'angles de frottement ϕ , de dilatance δ et de frottement apparent $\beta = \phi + \delta$

Essai de cisaillement de discontinuité sur un gneiss

EXEMPLE 2

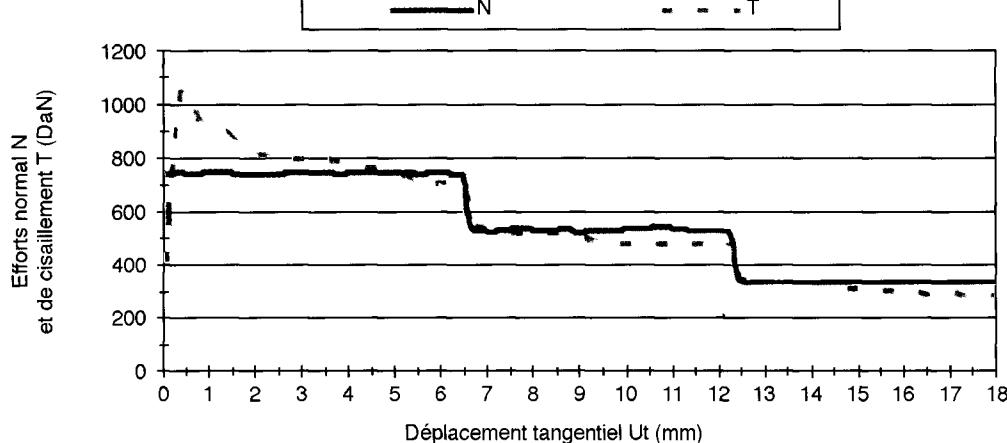


Fig. 13 - Évolution des efforts en fonction du déplacement relatif des demi-boîtes.

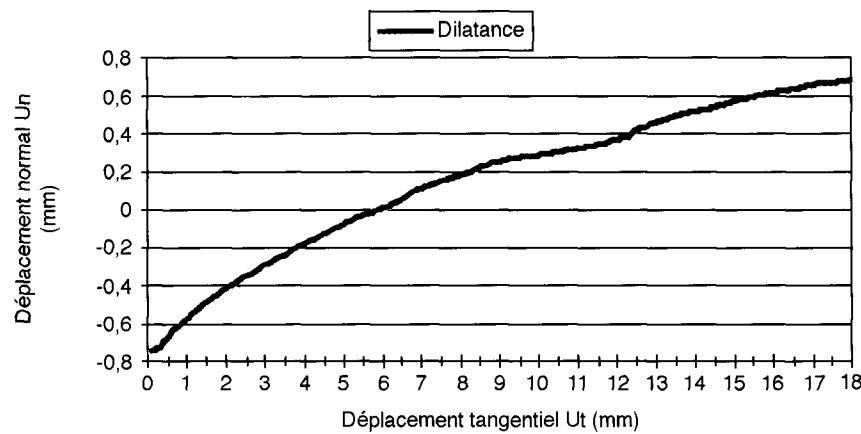


Fig. 14 - Courbe de dilatance.

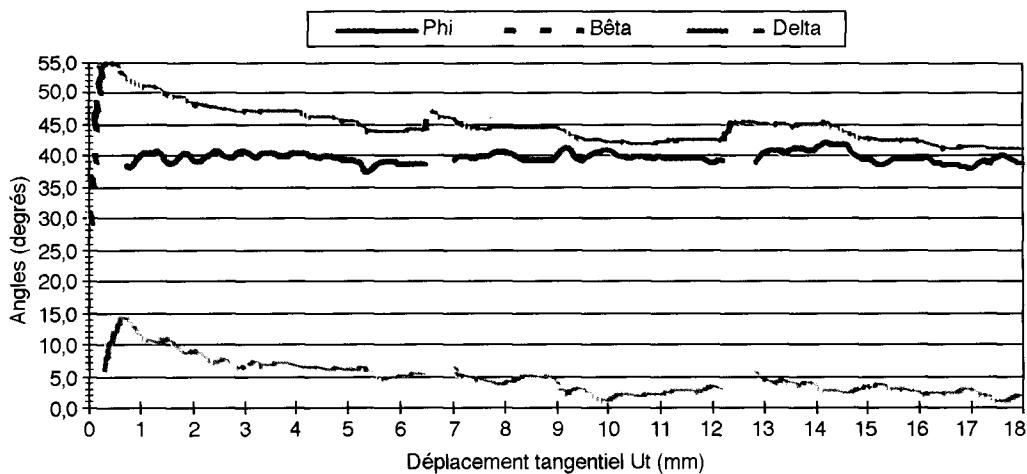


Fig. 15 - Interprétation en termes d'angles de frottement ϕ , de dilatance δ et de frottement apparent $\beta = \phi + \delta$

TABLEAU I
Comportement au cisaillement de quelques discontinuités rocheuses

Roche	Discontinuité	État de surface	Surface (cm ²)	1 ^{er} palier de σ_n				2 ^e palier de σ_n				3 ^e palier de σ_n			
				σ_n (MPa)	τ_p (MPa)	φ (degré)	δ (degré)	σ_n (MPa)	φ (degré)	δ (degré)	σ_n (MPa)	φ (degré)	δ (degré)	φ_r (degré)	
Basalte		Lisse	72	1,24	1,11	35-37	9-3	0,76	35-33	5-3	0,47	33	3-1	33	
Basalte		Rugueux	111	0,95	1,24	37	13-4,5	0,54	35	5	0,32	37-36	4-3	36	
Basalte		Rugueux	133	0,86	1,71	37-39	21-1	0,51	39-35	3-1-3	0,28	37-36	3-1	36	
Gneiss	Diaclase	Rugueux	174	0,61	0,52	29-32	11-7	0,39	35-37	7-6	0,20	37	6-4	37	
Gneiss	Diaclase	Rugueux	124	0,63	0,48	22-26	12-6	0,49	25	7-5	0,28	25-27	5-0	27	
Gneiss	Schistosité	Micacé	134	0,61	-	25-28	14-12	0,41	29-31	15-12	0,26	31-30	14-7	30	
Schistes	Schistosité	Lisse	160	1,91	-	30-31	3	1,55	30-32	4-3	0,98	33	4-3	33	
Schistes	Schistosité	Lisse	162	1,93	-	28	1-3	1,39	28-29	4-3	0,94	29	3	29	
Schistes	Diaclase	Rugueux	152	2,01	2,08	27	18-9	1,42	25	9-8	0,98	25	8	25	
Schistes	Schistosité	Lustré	82	1,01	-	22-24	1	0,64	25-23	0-0,5	0,40	23-22	0,5-1	22	
Schistes	Schistosité	Lustré	65	1,19	-	15-17	1-0	0,81	17	1-0	0,50	16	0,5-0	16	
Schistes houillers	Schistosité	Lustré	95	0,23	-	22	0,6	0,49	22	0	0,67	22	0	22	
Schistes houillers	Schistosité	Lustré humidifié	95	0,23	-	16	0	0,47	16	0	0,64	16	0	16	
Schistes houillers	Avec remplissage	Lustré	95	0,23	-	14	0	0,48	13	0	0,63	13	0	13	
Calcaire	Stratification	Lisse	71	1,03	-	33-35	-1	0,72	35	2-1	0,44	35	2	35	
Calcaire	Stratification	Rugueux	112	0,76	0,82	45-42	2-5	0,50	41	5	0,31	40-37	8	37	
Calcaire	Stratification	Rugueux	95	0,84	1,75	43	20-10	0,56	43-42	9-5	0,33	42-40	7-5	40	
Calcaire	Stratification	Rugueux	85	0,89	-	36-37	0-2	0,63	36	5-7	0,35	36-38	8-7	38	
Calcaire	Stratification	Lisse	76	1,05	-	25-26	2-1	0,69	27	2-0,5	0,41	27	1-0	27	
Calcaire	Joint marneux	Lisse	72	0,98	0,40	20	2-1,5	0,63	20	2-1,5	0,40	19-20	2-0,5	20	

Conclusion

En théorie, l'essai de cisaillement réalisé sur une famille de discontinuités permet de déterminer l'angle de frottement résiduel, l'angle de frottement au pic et la dilatance. On constate en pratique que l'on obtient des résultats fiables pour deux des trois paramètres : l'angle de frottement résiduel et la dilatance. Selon le présent mode opératoire, ces deux paramètres peuvent être déterminés pour chaque échantillon avec plusieurs paliers d'effort normal au cours d'un même essai. L'exploitation d'un ensemble de résultats relatifs à une famille met en évidence la dispersion des valeurs et les extrêmes.

Dans certains cas, il est utile d'évaluer l'influence de l'eau ou d'un remplissage, en humidifiant les épontes ou en reconstituant le remplissage avant l'essai. Ces facteurs peuvent être déterminants pour les valeurs minimales à prendre en compte.

En ce qui concerne l'angle de frottement au pic, plusieurs échantillons identiques sont

nécessaires pour obtenir une valeur de l'angle. Or, l'importance de la géométrie des épontes est telle qu'il est très difficile de prélever des discontinuités pouvant être considérées comme semblables. Ce paramètre est donc peu utilisé dans la pratique.

Par ailleurs, limiter l'exploitation des résultats d'un essai à une valeur d'angle de frottement résiduel et de dilatance, est une présentation trop réductrice. L'usage de graphes, représentant l'évolution des paramètres φ et δ en fonction du déplacement tangentiel, permet d'extraire les valeurs de φ et δ correspondant aux déplacements tolérés ou calculés dans un dimensionnement. Les exemples montrent que le déplacement des épontes a tendance à atténuer la rugosité et, à l'inverse, l'arrachement de grains durs et abrasifs provoque l'augmentation du frottement. En conséquence, l'angle de frottement résiduel ne représente pas toujours une valeur minimale pouvant être pris en compte dans la justification de la sécurité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Comité européen de normalisation (1995), Document n° CEN/TC 250/SC 7/PT2 N166, 11-01, pp. 100-101.
- [2] Empfehlung Nr.13 Arbeitskreises 19 (1988), Versuchstechnic Fels - Der Deutschen Gesellschaft für Erd und Grunbau E.V., Laborscherversuch an Felstrennflächen,Bautechnik 65. H.9.
- [3] International Society for rock Mechanics (1974), *Suggested methods for determining shear strength*, part 1, 2, 3, Commission on standardization of laboratory and field tests.
- [4] PANET M., FOURMAINTRAUX D., GAUDIN B., RICARD A., ROCHE L., ROTHEVAL J.-P. (1976), *La mécanique des roches appliquée aux ouvrages de génie civil*, document de formation continue de l'École nationale des Ponts et Chaussées.

ABSTRACT

Shear test of rock discontinuities : procedure and interpretation

G. MAZZOLENI

Discontinuities have a considerable influence on the mechanical behaviour of rock masses. From the mechanical point of view a discontinuity is an interface with very low, or even non-existent, tensile strength.

This paper deals with the shear test which provides a means of determining the shear strength characteristics of natural discontinuities. The entire test procedure is described, including the taking and preparation of samples, the test apparatus, the test procedure and the expression of results.

The results of tests on different types of rock are presented to provide an example. The changes in characteristics observed during the test are related to the geometry of the surfaces of the discontinuity and the type of rock. In order to take account of these changes the results must not be reduced to a friction angle and a dilatancy value.