

Chapitre IV : Application de la MEF en MDR et en RDM

Objectifs visés par ce chapitre

A la fin de ce chapitre l'apprenant sera capable de :

- Déterminer la solution classique d'un problème en MDR ou en RDM ;
- Appliquer la MEF en MDR et en RDM.

1. Introduction

La masse rocheuse est constituée de blocs **rocheux intacts**, séparés par diverses discontinuités formées par les intempéries et d'autres processus géologiques. La **roche intacte** est un morceau de roche **non jointif**. Les fragments de roche et les **carottes utilisés dans les tests de laboratoire** sont généralement des **roches intacts**. La roche intacte elle-même est un matériau non homogène, anisotrope et inélastique. La présence de discontinuités à grande échelle rend la situation encore plus complexe. Les performances techniques d'une masse rocheuse sous des charges externes sont très souvent régies par **la contrainte** et **l'orientation des discontinuités** plutôt que par **les propriétés** de la roche intacte. La présence **d'eau** et les **contraintes initiales** dans la masse rocheuse sont d'autres facteurs qui influencent le **comportement** de la roche. Les **discontinuités** rendent la masse rocheuse **plus faible** que la roche intacte. De plus, les discontinuités permettent **l'accès à l'eau**, aggravant ainsi le problème.

2. géomécaniques des roches et béton (roches artificielles)

2.2 Propriétés géomécaniques des roches naturelles ou artificielles (Bétons)

2.2.1 Résistance à la compression simple

Elle est déterminée lors de l'essai de compression simple. Dans cet essai, l'échantillon est pris sous forme d'une carotte (éprouvette cylindrique), d'élancement h/D compris entre 2 à 2.5 (h : hauteur; D : diamètre) avec deux faces planes, lisses et parallèles obtenues par une rectification soignée. L'échantillon est ensuite placé entre deux plateaux d'une presse pour l'écrasement (**Fig. II.2**). On appelle « la résistance à la compression simple, R_c ou σ_c » la contrainte maximale supportée par l'éprouvette à la rupture lors d'un essai d'écrasement (de compression). Elle est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_c = R_c = F_{max}/S \dots \dots \dots (II.12)$$

Où :

F_{max} : effort maximal appliqué sur l'éprouvette (kN) ;
 S : section sur laquelle on applique l'effort F (m^2).

Le module d'élasticité (E) (ou le module de Young) peut être calculé à partir du graphique contrainte-déformation (**Fig. II.3**). Il est déterminé par la formule suivante :

$$E = \sigma_c / \varepsilon \dots \dots \dots (II.13)$$

Sachant que : $\varepsilon = \Delta L / L$ et $\sigma_c = F / S$ Donc :

$$E = \frac{F * L}{S * \Delta L}, \text{ Donc : } \Delta L = \frac{F * L}{S * E} \dots \dots \dots (II.14)$$

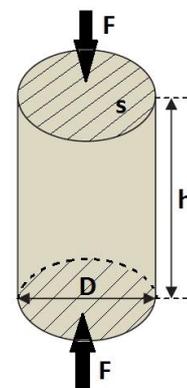


Fig. II.2 – Essai de compression simple.

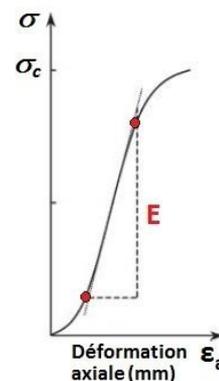


Fig. II.3 – Module de Young.

En mesurant les déformations **longitudinales et axiales** pendant le chargement, on peut mesurer le coefficient de Poisson (ν) (Fig. II.4). Le coefficient de Poisson est défini comme suit :

$$\nu = -\frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_a} \dots\dots\dots (II.15)$$

Selon la loi de Hooke, le module de Young et le coefficient de Poisson sont liés au module de compressibilité **K** et au module de cisaillement **G** par :

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \dots\dots\dots (II.16)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \dots\dots\dots (II.17)$$

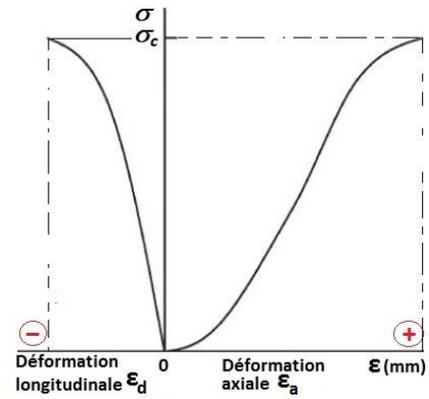


Fig. II.4 – Coefficient de Poisson.

2.2.2 Résistance à la traction simple

En soumettant une éprouvette cylindrique à une traction uniaxiale, la résistance à la traction simple (R_t) est égale à la contrainte limite de traction qui produit la décohésion des particules de l'éprouvette (Fig. II.5).

Elle est donnée par la formule suivante :

$$R_t = F_{max}/S \dots\dots\dots (II.18)$$

Où :

F_{max} : effort maximal appliqué sur l'éprouvette (kN) ;

S : section sur laquelle on applique l'effort F (m²).

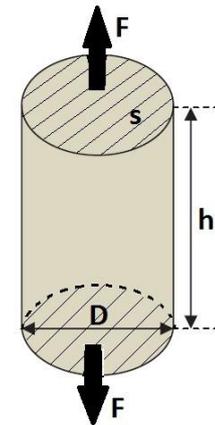


Fig. II.5 – Essai de traction simple.

2.2.3 Résistance à la traction indirecte (Essai brésilien)

L'essai à la traction indirecte (ou l'essai brésilien, R_{tb}) est le plus commun pour les roches. On utilise une éprouvette de longueur à peu près égale au diamètre. L'éprouvette est placée entre deux plateaux d'une presse puis elle est chargée progressivement (Fig. II.6). La résistance à la traction indirecte est donnée par la formule suivante :

$$R_{tb} = \frac{2F_{max}}{\pi DL} \dots\dots\dots (II.19)$$

Où :

F_{max} : effort maximal appliqué sur l'éprouvette (kN) ;

D : diamètre de l'éprouvette (m) ;

L : longueur de l'éprouvette (m).

Remarque : la résistance en traction est fonction de la résistance en compression :

$$R_c = k * R_t \dots\dots\dots (II.20)$$

Avec : $3 < k < 10$ (dans la pratique, on prend $k = 10$).

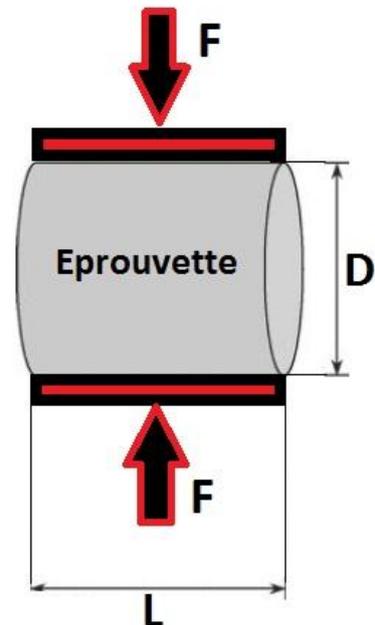


Fig. II.6 – Essai de traction indirect (Essai brésilien).

2.2.4 Résistance au cisaillement

La résistance au cisaillement représente la contrainte tangentielle limite à la rupture dans un essai de cisaillement. Trois essais de cisaillement peuvent être distingués à savoir :

2.2.4.1 Résistance au cisaillement simple

La résistance au cisaillement simple (Fig. II.7) est définie par la relation suivante :

$$R_{cis} = F_{max}/S \dots\dots\dots (II.21)$$

Où :

F_{max} : effort tangentiel entraînant la rupture (kN) ;

S : section sur laquelle on applique l'effort F (m²).

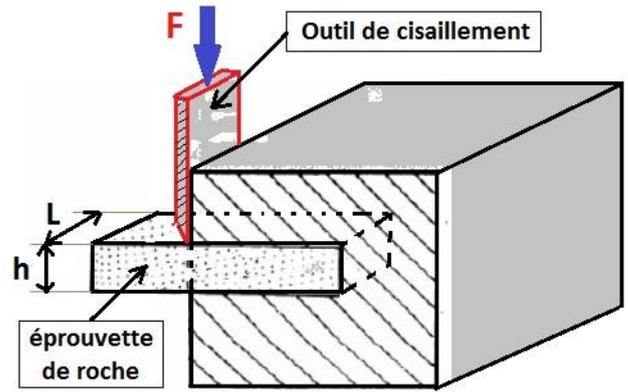


Fig. II.7 – Essai de cisaillement simple.

2.2.4.2 Résistance au cisaillement par torsion

Une éprouvette de forme cylindrique est soumise à un couple de torsion (Fig. II.8). Ce dernier va engendrer des contraintes de cisaillement sur chaque section transversale. Quand ces contraintes atteignent une valeur critique, elle nous donne la résistance au cisaillement par torsion qui est définie par la formule suivante :

$$R_t = \tau_{max} = 16M_t/\pi D^3 \dots\dots\dots (II.22)$$

Où :

M_t : moment de torsion (N.m) ;

D : diamètre de l'échantillon (m).

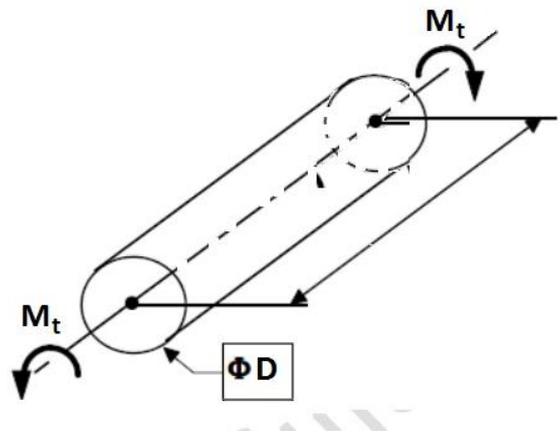


Fig. II.8 – Essai de cisaillement par torsion.

2.2.4.3 Résistance au cisaillement par compression

On applique un effort de compression incliné « F » avec un angle « α » par rapport à la surface de cisaillement (ou plan de cisaillement) (Fig. II.9). la contrainte transmise par l'éprouvette se décompose en une composante normale (σ_N) et une composante tangentielle (τ) respectivement avec l'effort normal (F_N) et l'effort tangentiel (F_T). Quand cette dernière atteint une certaine valeur, l'éprouvette se rompt. Cette valeur critique est la résistance au cisaillement par compression de la roche. Les deux contraintes sont définies par les formules suivantes :

$$\sigma_N = F_N/S = F \sin \alpha/S \dots\dots\dots (II.23)$$

$$\tau = F_T/S = F \cos \alpha/S \dots\dots\dots (II.24)$$

Où : σ_N est contrainte normale (kPa); τ est la contrainte tangentielle (kPa); S est la section de l'éprouvette (m).

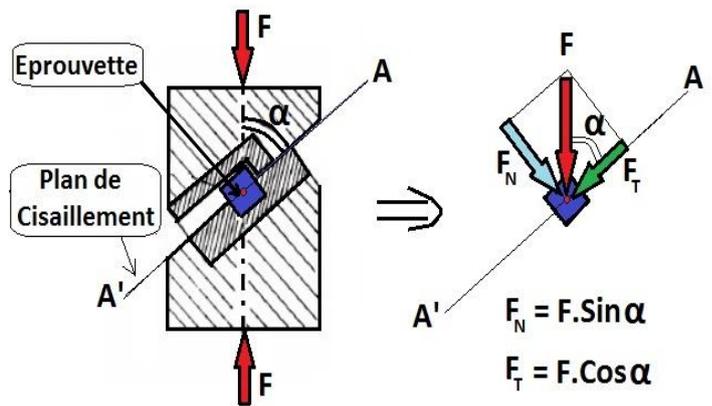


Fig. II.9 – Essai de cisaillement par compression.

2.2.5 Résistance à charge ponctuelle (Essai Franklin)

L'essai de résistance à charge ponctuelle (ou l'essai Franklin) est le plus commun pour la classification des roches. On utilise une éprouvette de longueur égale au diamètre (**Fig. II.15a**). L'éprouvette est diagonalement placée entre deux plateaux conique (**Fig. II.15b**) d'une presse puis elle est chargée progressivement jusqu'à la rupture. Cet essai s'applique sur les roches ayant une résistance égale à ou supérieure à 5 MPa. Le paramètre obtenu de cet essai est appelé « **indice de résistance à charge ponctuelle, I_s** » qui est calculé en fonction de la charge de rupture « F_{max} » et de le diamètre de l'éprouvette « D ». L'indice de résistance à charge ponctuelle non corrigé « I_s » est défini par la relation suivante :

$$I_s = F_{max}/D^2 \dots\dots\dots (II.31)$$

Où :

F_{max} : effort maximal appliqué sur l'éprouvette (kN) ;

D : diamètre de l'éprouvette (m) ;

I_s : L'indice de résistance à charge ponctuelle non corrigé (kN/m²).

Remarque : Il a été observé que « I_s » augmente avec « D », il est donc souhaitable de disposer d'un indice de résistance à charge ponctuelle unique de l'échantillon de roche dont il sera utilisé pour la classification de la résistance de la roche. **L'indice de résistance à charge ponctuelle** corrigé « $I_{s(50)}$ » est défini comme la valeur de « I_s » obtenue si « D » est égal à 50 mm. Il peut être calculé comme suit :

$$I_{s(50)} = I_s * \left[\frac{D}{50} \right]^{0.45} \dots\dots\dots (II.32)$$

Sources :

- **Zhao Jian (2008)** «Rock Mechanics (Mécanique des roches)», Course Lectures 2008, 1ère partie – Roches et massifs rocheux, EPFL-ENAC- Laboratoire de Mécanique des Roches (LMR).
- https://www.academia.edu/10045835/Les_propri%C3%A9t%C3%A9s_des_roches_mini%C3%A8res
- http://tice.inpl-nancy.fr/modules/sciences_techniques/Proprietes-Meca-Sols/chap3/prop-geom.html

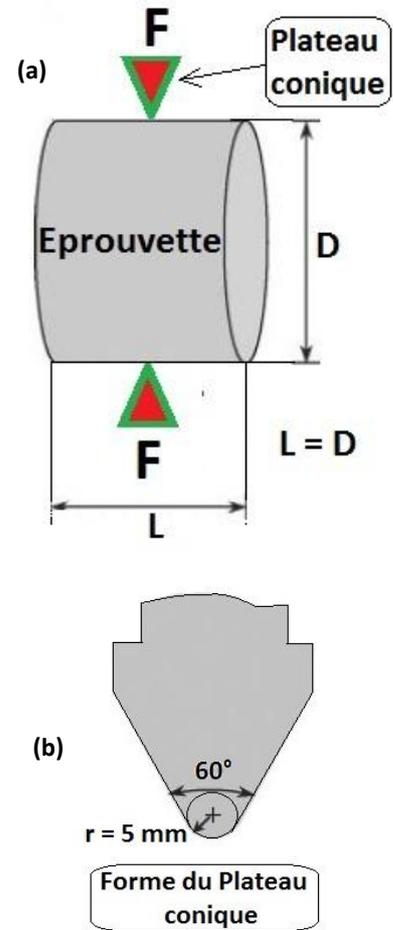


Fig. II.15 – Essai de résistance ponctuelle (Essai Franklin).