

Chapitre I : Généralités sur les roches et massifs rocheux

Objectifs visés par ce chapitre

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

- Appréhender le comportement mécanique des roches, des discontinuités et des massifs rocheux ;
- Analyser et de déterminer les propriétés mécaniques des roches pour des applications de génie civil.

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 intactes. La roche intacte elle-même est un matériau non homogène, anisotrope et non élastique. 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. Rappel des notions de bases géologiques

2.1. Définition

La **mécanique des roches** est une discipline qui utilise les principes de mécanique pour décrire le comportement des roches. Elle traite du comportement des roches lorsque les conditions limites sont modifiées par l'ingénierie.

2.2. Formation des roches

La **roche** est une substance solide composée de minéraux, principalement des silicates. Les silicates importants constituant les roches sont les feldspaths, le quartz, l'olivine, le pyroxène, l'amphibole, le grenat et le mica. Ces minéraux ont différentes propriétés; leur structure cristalline, leur dureté et leur clivage, qui influencent les propriétés de la roche. Dans les roches, les cristaux minéraux sont souvent massifs, granulaires ou compacts, et uniquement visibles au microscope.

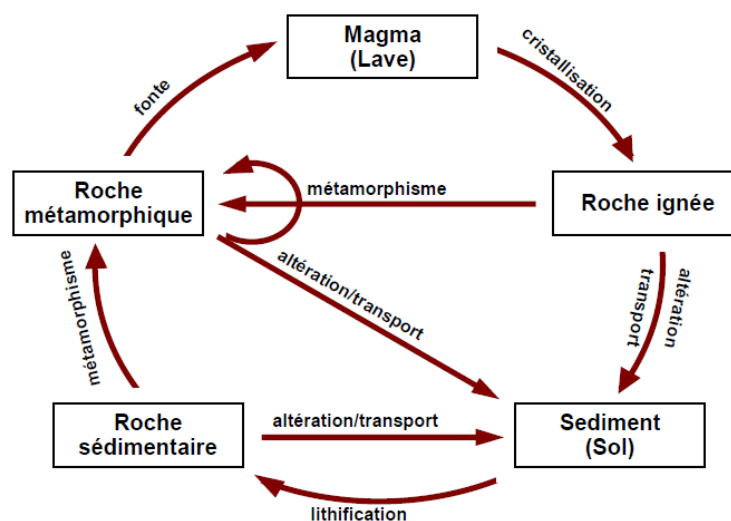


Fig. I.1 – Mécanismes de formation des roches

La formation des roches dépend de 3 origines : les roches **ignées** du magma, les roches **sédimentaires** de la lithification des sédiments et les roches **métamorphiques** par métamorphisme, comme illustré par le cycle de la roche (**Fig. 1.1**). Trois familles de roches peuvent être distinguées à savoir :

- Les **roches ignées** sont formées lorsque la roche fondue (magma) se refroidit et se solidifie, avec ou sans cristallisation. Elles peuvent être formées (i) en profondeur comme des roches **intrusives** ou **plutoniques** (ex : **Granite, Diorite, Gabbro, Péridotite...**etc.), ou (ii) à la surface comme des roches **extrusives** ou **volcaniques** (ex : **Rhyolite, Andésite, Basalte...**etc.). Les roches intrusives ont généralement un **grain grossier** et les extrusives un **grain fin**. Elles peuvent aussi avoir différentes sortes de minéraux.
- Les **roches sédimentaires** (ex : **Calcaire, Dolomie, Mudstone, Conglomérat, Brèches, Grès, Schiste...**etc.) sont formées de trois façons principales : (i) par le **dépôt de résidus** dû à l'altération d'autres roches (connues sous le nom de roches sédimentaires « clastiques »); (ii) par le **dépôt résultant d'une activité biogénique**; et (iii) par la **précipitation d'une solution**. Les roches à sédiments clastiques sont généralement classées selon leur granulométrie.
- Les **roches métamorphiques** (ex : **Ardoise, Phyllite, Micaschiste, Gneiss, Marbre, Quartzite...**etc.) sont de nouvelles roches transformées à partir des roches existantes, par métamorphisme - changements dus à la chaleur et à la pression. Les roches métamorphiques peuvent avoir une structure feuilletée ou non. La foliation est due à une réorientation des minéraux de mica, créant un plan de clivage ou un alignement visible des minéraux.

2.3. Résistance de la roche

La **résistance de la roche** est une résistance structurelle de la composition des minéraux. Cela est régi par la **résistance des minéraux**, et la **liaison entre les minéraux**. Les deux formes principales de texture d'une roche sont clastiques et imbriquées.

3. Discontinuités de la roche

Les joints des roches : ils sont les principales discontinuités des roches. Ils sont normalement disposés en systèmes parallèles. Ils sont généralement considérés comme éléments du massif rocheux. L'espacement des joints est généralement de l'ordre de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres. Pour l'ingénierie, les joints sont des éléments constants du massif rocheux.

Les failles : elles sont des fractures planes de la roche qui mettent en évidence un mouvement relatif. Les failles ont différentes échelles, les plus grandes sont à la frontière des plaques tectoniques. Les failles ne consistent généralement pas en une fracture simple et nette, elles forment souvent des zones de failles. Les failles de grande échelle, zone de failles et de cisaillement, sont grandes et avec une influence localisée. Elles sont souvent traitées séparément du massif rocheux.

Les plis : ils sont le résultat de la flexion d'une strate rocheuse sous l'effet d'une force tectonique ou d'un mouvement. Les plis ne sont généralement pas considérés comme éléments du massif rocheux. Ils sont souvent associés à un haut degré de fracturation et à des roches relativement faibles et tendres.

Les plans de stratification : par définition, la stratification est l'interface entre les couches de roche sédimentaire. Elles sont une influence géologique isolée des activités mécaniques et créent une interface de deux matériaux rocheux. Cependant, certains plans de stratification peuvent aussi devenir des zones potentielles d'altération et de poches d'eau souterraines.

4. Roches et les massifs rocheux

La roche à l'échelle de l'ingénieur : pour les travaux de génie civil, (ex. fondations, glissements de terrain et tunnels...etc.), l'échelle des projets se situe généralement entre quelques dizaines de mètres et quelques centaines de mètres. La **roche à l'échelle de l'ingénierie** est généralement une masse en place. Cette masse, que l'on nomme souvent **massif rocheux** constitue tout le **rocher in-situ**. Ce **massif rocheux** est formé de la **roche intacte** et des **discontinuités** (joints, failles, plans de stratification...etc.).

Composition des massifs rocheux : un massif rocheux contient (i) du matériau rocheux sous forme de blocs de roche intacte de tailles variées, et (ii) des discontinuités qui coupe le massif sous forme de fractures, joints, failles, plans de stratification et dykes (**Massif rocheux = Matrice rocheuse + Discontinuités**).

Rôle des joints rocheux dans le comportement d'un massif rocheux : Le comportement d'un massif rocheux est largement régi par la présence de joints qui :

- Coupent la roche en plaques, blocs et coins, libres de tomber et de bouger ;
- Agissent comme plan de faiblesse pour le glissement ;
- Facilitent l'écoulement d'eau et crée des réseaux d'écoulement ;
- Entraînent de grandes déformations ;
- Changent la distribution et l'orientation des contraintes;

5. Contraintes in-situ

Contrainte verticale de couverture : en profondeur, la contrainte dans la roche est la contrainte de couverture de générée par le poids des matériaux. Le poids spécifique moyen des roches est de 2.7 (ou 2.7 t/m³ ou encore 27 kN/m³). La valeur de la contrainte en profondeur peut donc être estimée par (Fig. I.2) :

$$\sigma_v(\text{MPa}) = 0.027 * z(\text{m}) \dots\dots\dots (1)$$

Où :

σ_v : est la contrainte verticale (MPa) ;

z : est la profondeur de l'échantillon prélevé (m).

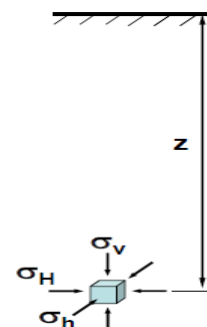


Fig. I.2 – Principe de calcul d'une contrainte verticale dans un massif rocheux.

Contrainte horizontale et contrainte tectonique : les contraintes horizontales dans la roche sont principalement tectoniques. Les **contraintes horizontales** dans **les roches** sont généralement **supérieures** à la **contrainte verticale**. La **contrainte horizontale maximale** a la **même direction** que le **mouvement de convergence des plaques tectoniques**. Les contraintes tectoniques, en termes d'intensité, varient fortement et peuvent être exceptionnellement fortes.

Mesure des contraintes in-situ : la mesure des contraintes in situ montre que la contrainte verticale (MPa) vaut à peu près (**0.027 * z**), poids des couches de couverture. Le rapport entre la contrainte horizontale moyenne $(\sigma_H + \sigma_h)/2$ et la contrainte verticale varie de **0.5 à 3**, qui est généralement limitée entre **(100/z + 0.3)** et **(1500/z + 0.5)**. À des profondeurs usuelles pour le génie civil (<1000m), les variations de la contrainte horizontale sont grandes.

Remarque : dans la roche, la **contrainte horizontale** est normalement la **contrainte principale**, alors que la **contrainte verticale** ou l'autre **contrainte horizontale** représentent les **contraintes principales mineures**.

$$\sigma_H > \sigma_h > \sigma_v \text{ ou bien } \sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$$

Contrainte verticale effective (σ'_v) : dans les roches poreuses (ex : le grès), la contrainte verticale effective (σ'_v) doit être calculée comme la différence entre la contrainte verticale totale (σ_v) et la pression interstitielle des pores (u).

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \dots\dots\dots (2)$$

Où :

Dans les massifs rocheux fissurés, la distribution de l'eau n'est plus la même (Fig. I.3) et les **champs de contraintes** ne sont plus uniformes. Donc, le **principe de la contrainte effective n'est plus applicable**.

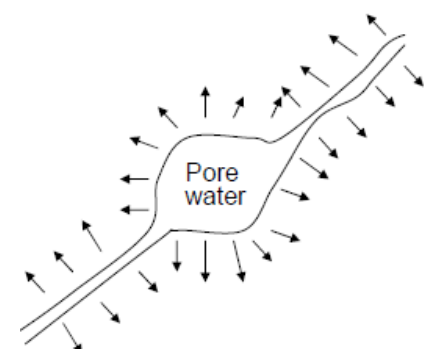


Fig. I.3 – Distribution non uniforme des champs de contraintes dans les pores d'un massif rocheux.

Re-distribution des contraintes : la construction en rocher est une activité qui perturbe le **champ de contrainte original**, qui est déjà à l'équilibre. La mécanique des roches traite de la re-distribution des contraintes et des contraintes re-distribuées, ainsi que la réponse à court terme de la roche durant la re-distribution des contraintes et le comportement à long terme dans le champ de contraintes re-distribuées.

5. Effets des eaux souterraines et des pressions sur le comportement des massifs rocheux

L'écoulement dans les roches : les plupart des roches ignées et métamorphiques sont très denses et de texture imbriquées. Les roches ont de ce fait une très faible perméabilité et porosité. Certaines roches clastiques (**roches clastiques ont des grains fin**) sédimentaires, typiquement le grès, peuvent être poreuses et perméables.

Écoulement dans un réseau de fissures : les massifs rocheux sont fissurés. Les fissures fournissent les chemins d'écoulement et celui-ci est régi par les ouvertures. L'écoulement dans une roche fissurée est influencé par la connectivité du système ou réseau de fissures. Bien qu'un massif rocheux puisse être fortement fissuré, seul un faible pourcentage des fissures sont interconnectées. Sur le terrain, on constate souvent que quelques fissures présentent un écoulement d'eau, alors que les autres sont sèches.

Les effets de l'eau souterraine et des pressions : l'eau souterraine est importante en mécanique des roches du fait que :

- l'eau souterraine contribue à la modification du **champ de contrainte** ;
- l'eau modifie les paramètres de la roche, (ex : le **frottement**) ;
- l'eau augmente la **complexité de la construction** en rocher, (ex : il est plus difficile de percer un tunnel avec des infiltrations d'eau et une forte pression d'eau).

Sources :

- **Nagaratnam Sivakugan, Sanjay Kumar Shukla and Braja M. Das (2013)** «Rock Mechanics: An Introduction», Taylor & Francis Group, LLC.
- **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).