

Université de Biskra

Département de Génie Civil et d'Hydraulique

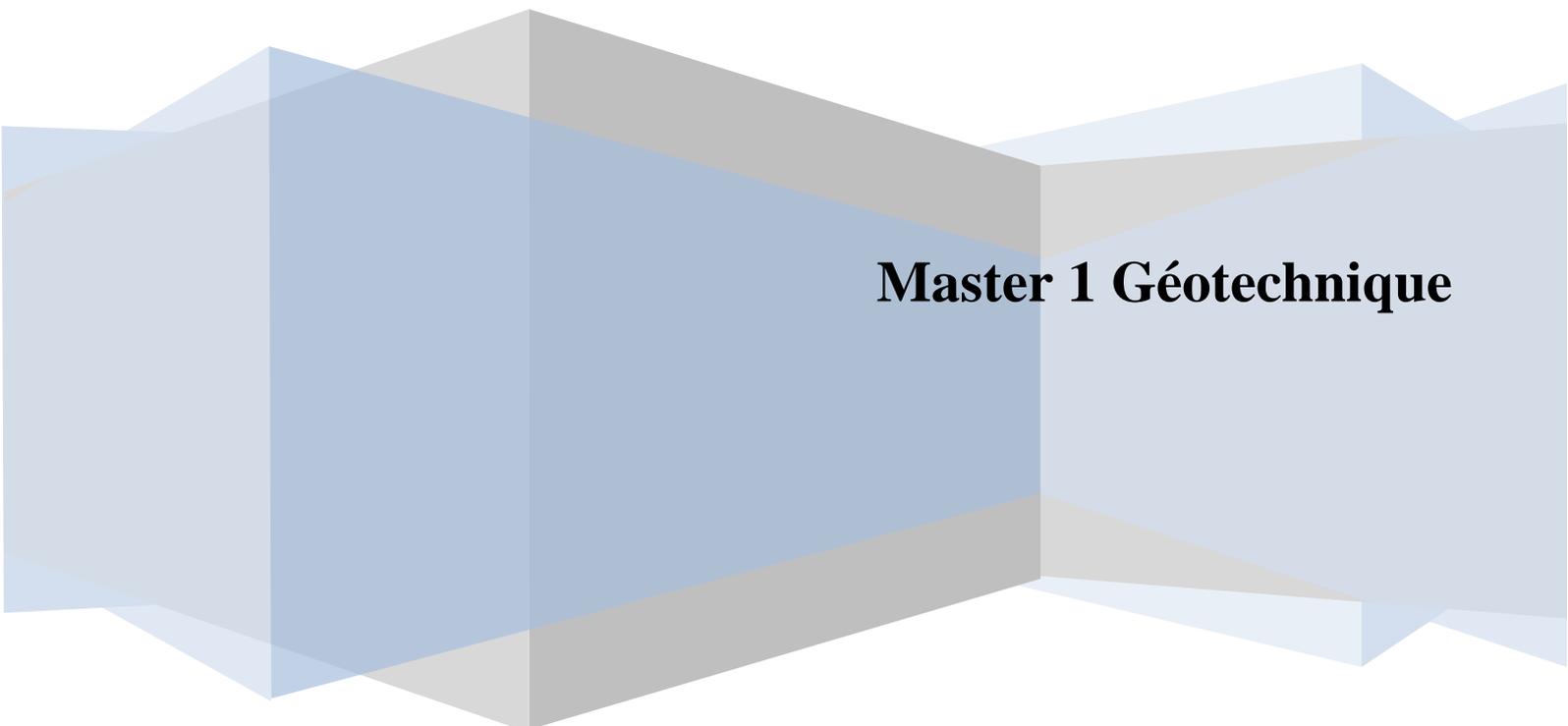
Cours de Mécanique des roches

Rock Mechanics Course

1ère partie

Roches et massifs rocheux

Master 1 Géotechnique



Objectifs du cours

(a) Comprendre le comportement mécanique des roches, des discontinuités et des massifs rocheux;

(b) Être capable d'analyser et de déterminer les propriétés mécaniques des roches pour des applications de génie civil.

Introduction

Qu'est-ce que la mécanique des roches?

La mécanique des roches est une discipline qui utilise les principes de *mécanique* pour décrire le comportement des *roches*.

En quoi la mécanique des roches est-elle spécifique?

La roche à l'échelle d'ingénierie est Discontinue, Inhomogène, Anisotrope, et Non-linéairement Elastique.

Introduction

1. Mécanique des roches et mécanique des sols

Voici une définition d'origine mécanique:

- **Roches** : Géomatériaux possédant une cohésion ($C = 0$) et une résistance à la compression simple supérieure à 10 MPa.
- **Sols** : Géomatériaux pulvérulents ou cohésifs mais ne présentant pratiquement pas de résistance à la compression simple.

La règle plus générale veut que l'on désigne par roches les terrains profonds et par sols les terrains de surface (Terrains issus de l'érosion des roches).

La mécanique des roches et la mécanique des sols étudient les propriétés mécaniques et le comportement des matériaux incluant l'interaction avec les fluides. Ces deux disciplines sont parfois regroupées sous le terme Géomécanique.

La géotechnique s'intéresse aux ouvrages et se base sur la Géomécanique.

Introduction

2. Naissance de la mécanique des roches

Les premiers à avoir étudié la mécanique des roches, de façon empirique certes, mais efficace, furent les ingénieurs des mines confrontés à la stabilité des épontes rocheuses de leur exploitation. La chute de blocs, les glissements de talus rocheux et l'importance de l'eau dans les fractures (catastrophe du barrage de Malpasset en 1959) ont poussé les ingénieurs à étudier plus en détail le comportement du massif rocheux dans sa globalité.

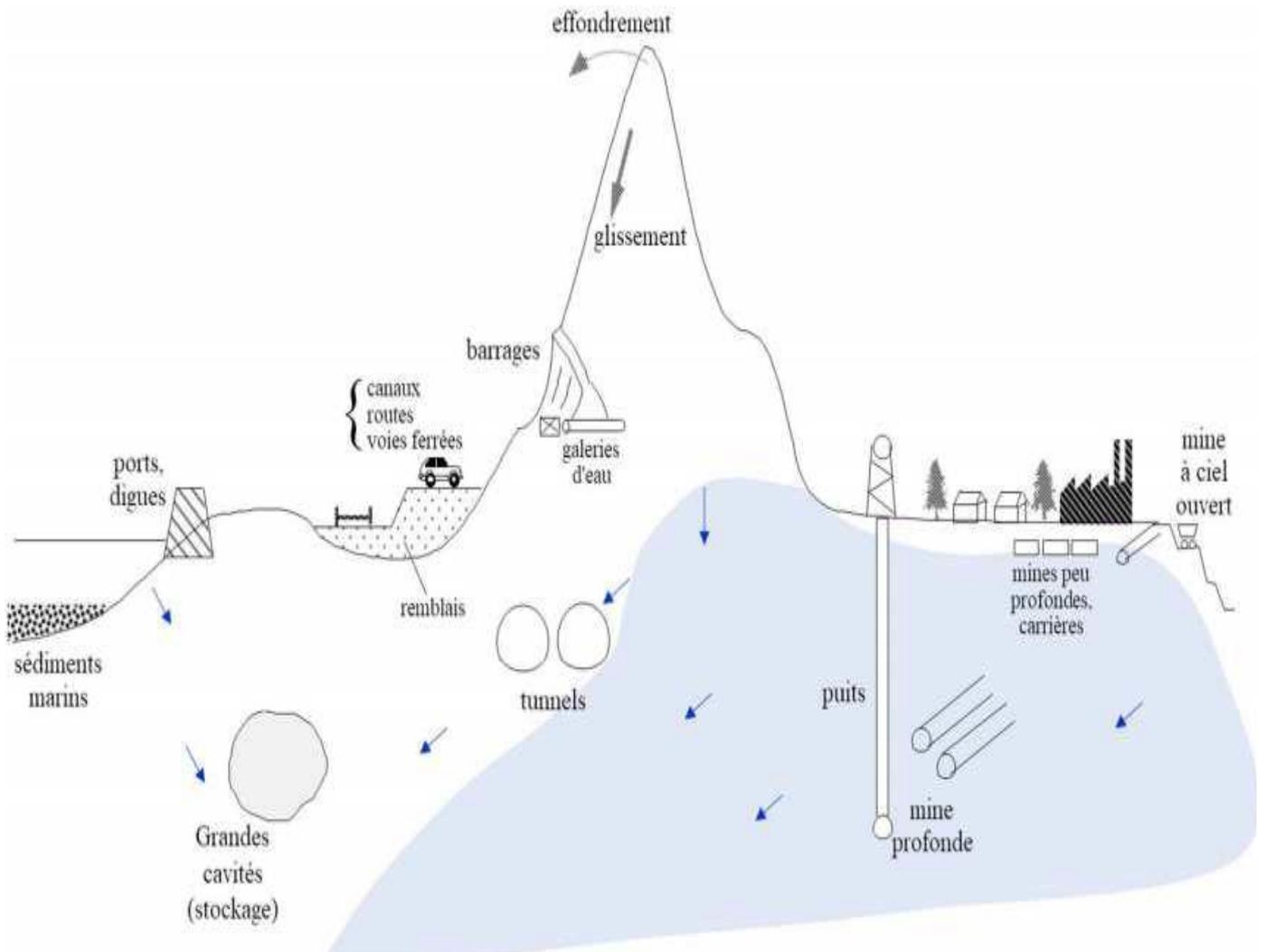
Le Comité International des Grands Barrages, créé en 1927, fut le premier à réfléchir sur le problème, et son congrès de 1964 marque le début de ce que l'on appelle la mécanique des roches. L'International Society of Rock Mechanics (ISRM) fut créée en 1962. Les français font parti des recherches, comme en témoigne l'actuel Comité Français de Mécanique des Roches (CFMR) créé en 1967. La discipline est donc récente et laisse encore prévoir des découvertes majeures ces prochaines années.

Introduction

3. Domaines d'application de la mécanique des roches

La mécanique des roches trouve ses applications dans divers domaines de l'ingénierie et de la recherche :

- **Géologie** : déformations tectoniques entraînant plissements, diaclases et failles ;
- **Physique du globe** : comportement sous haute pression et température, séismes ;
- **Mine** : stabilité des excavations, galeries et puits ;
- **Pétrole** : extraction des fluides en milieu poreux, stabilité des forages profonds ;
- **Stockages souterrains** : stabilité, perméabilité, couplages thermomécaniques ;
- **Génie Civil** : fondations des grands ouvrages (barrages, viaducs), terrassements routiers, stabilité des talus, travaux souterrains, concassage et travaux de carrière, utilisation comme matériau (enrochements, pierre de construction, granulats).

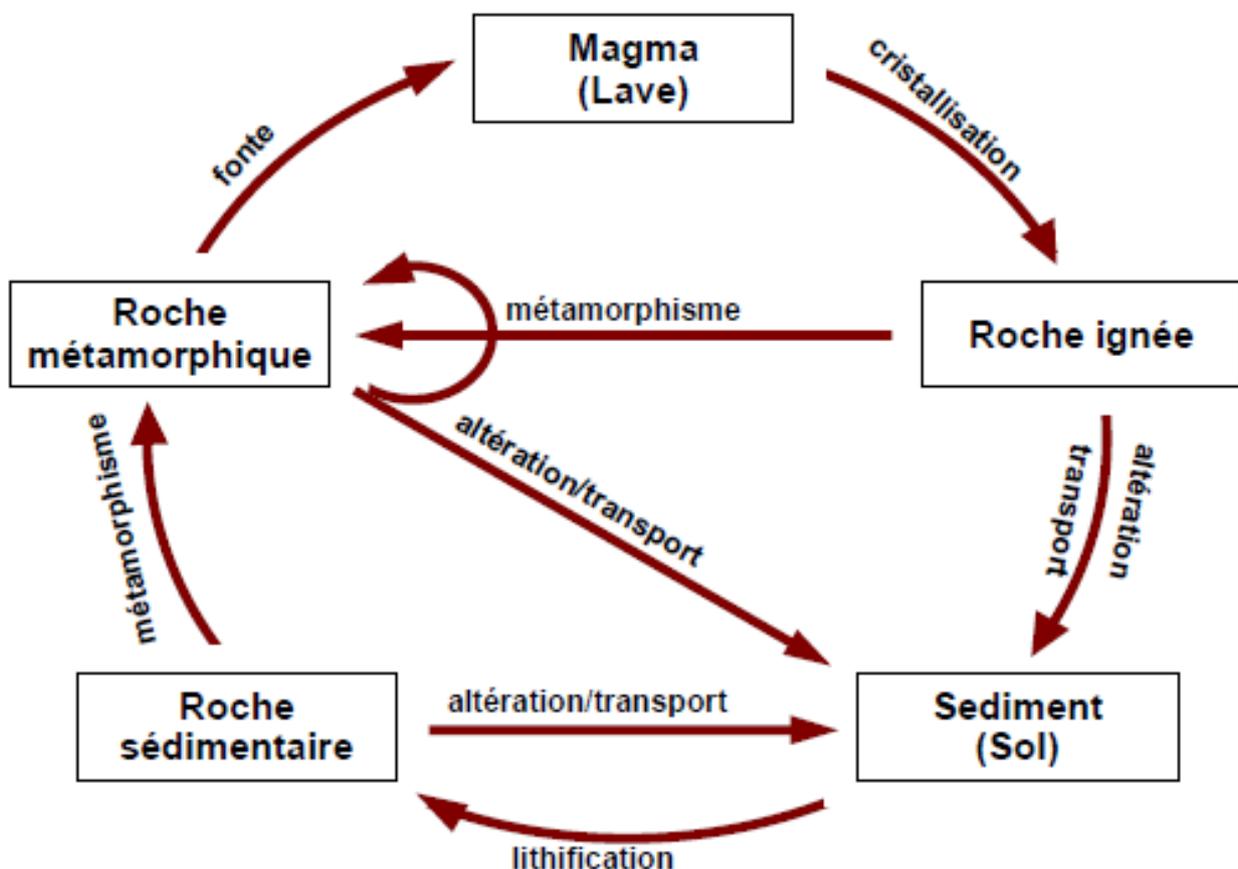


Formation de la roche

1. Origine des roches

La roche est une substance solide composée de minéraux.

La formation des roches dépend de 3 origines : les roches ignées du magma, les roches sédimentaires et les roches métamorphiques, comme illustré par le cycle de la roche.



Formation de la roche

2. Composition minéralogique

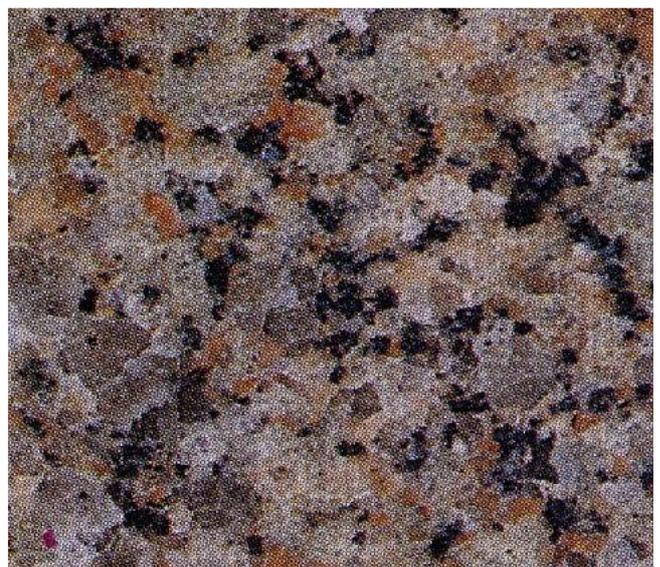
Les roches sont composées de minéraux, principalement des silicates. Les importants silicates constituant les roches sont les feldspaths, le quartz, l'olivine, le pyroxène, le grenat et le mica.

Les minéraux ont différentes propriétés ; leur structure cristalline, leur dureté et leur clivage (plans de faiblesse), qui influencent les propriétés de la roche.

Dans les roches, les cristaux minéraux sont souvent massifs, granulaires ou compacts, et uniquement visibles au microscope.



Un cristal de quartz bien développé



Quartz dans un granite

Formation de la roche

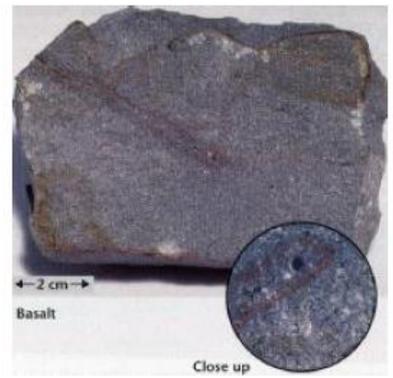
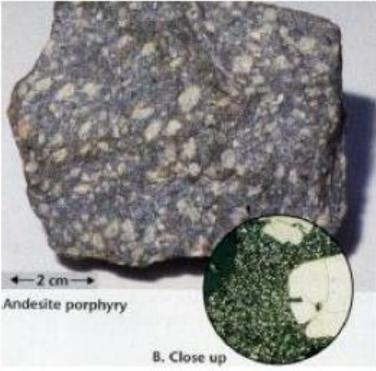
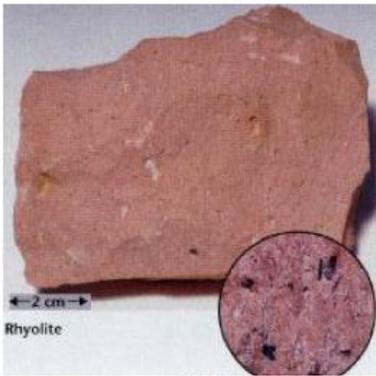
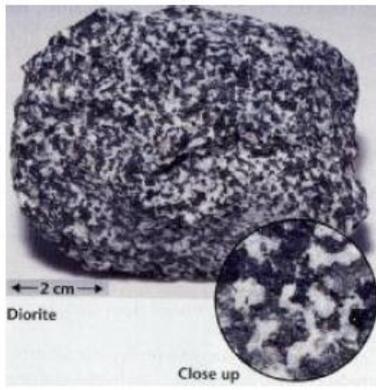
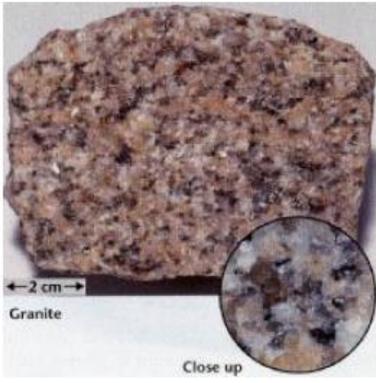
3. Roches ignées

Les roches ignées sont formées lorsque la roche fondue (magma) se refroidit et se solidifie, avec ou sans cristallisation.

Elles peuvent être formées (1) en profondeur comme des roches intrusives (plutoniques), ou (2) à la surface comme des roches extrusives (volcaniques).

Les roches intrusives ont généralement un grain grossier et les extrusives un grain fin.

	Granitique (acide)(felsique)	Andésitique (intermédiaire)	Basaltique (basique)(mafique)	Ultramafique (ultrabasique)
Intrusive (grain grossier)	Granite	Diorite	Gabbro	Péridotite
Extrusive (grain fin)	Rhyolite	Andésite	Basalte	Aucune
Pourcentage de silice	>65% de silice	50-65% de silice	40-50% de silice	<40% de silice
Composition minérale principale	Quartz Orthose N-Plagioclase	Amphibole Plagioclase Biotite	Ca-Plagioclase Pyroxène	Olivine Pyroxène
Composition minérale mineure	Muscovite Biotite Amphibole	Pyroxène	Olivine Amphibole	Ca- Plagioclase
Couleur	Claire	—————→		Foncée



Formation de la roche

4. Roches sédimentaires

Les roches sédimentaires sont formées de trois façons principales :

(1) par le dépôt de résidus dû à l'altération d'autres roches (connues sous le nom de roches sédimentaires « clastiques ») ;

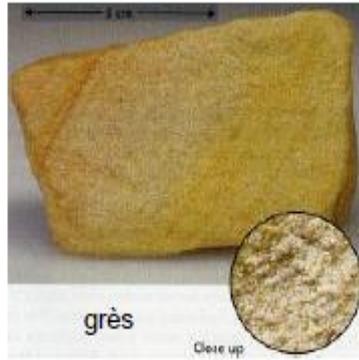
(2) par le dépôt résultant d'une activité biogénique ;
et

(3) par la précipitation d'une solution.

Taille des particules	Commentaires	Nom de la roche
> 2 mm	Fragments de roche arrondis	Conglomérat
	Fragments de roche angulaires	Brèche
1/16 – 2 mm	Quartz avec d'autres minéraux	Grès
> 1/16 mm	Se sépare en fines couches	Schiste
	Se casse en blocs	Mudstone



schiste



grès



Conglomerat



Roche avec des sels

Formation de la roche

5. Roches métamorphiques

La roche métamorphique est une nouvelle roche transformée à partir d'une roche existante, 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.

Roche	Texture	Degré métamorphique	Roche parente originale
Ardoise	Feuilletée	Degré bas	Schiste argileux (minéraux d'argile)
Phyllite	Feuilletée	Degré bas à intermédiaire	Schiste argileux
Micaschiste	Feuilletée	Degré bas à intermédiaire	Schiste argileux
Schiste de chlorite	Feuilletée	Degré bas	Basalte
Gneiss	Feuilletée	Degré élevé	Granit, schiste, andésite
Marbre	Non-feuilletée	Degré bas à élevé	Calcaire, dolomie
Quartzite	Non-feuilletée	Degré intermédiaire à élevé	Grès quartzeux



Slate



Phyllite



Schist



Gneiss

Low —————> High
État de métamorphisme



Formation de la roche

6. Texture d'une roche

Les roches sédimentaires, ignées et métamorphiques ont différentes textures dues à leur différentes origines.

Les deux formes principales de texture sont clastiques et imbriquées.

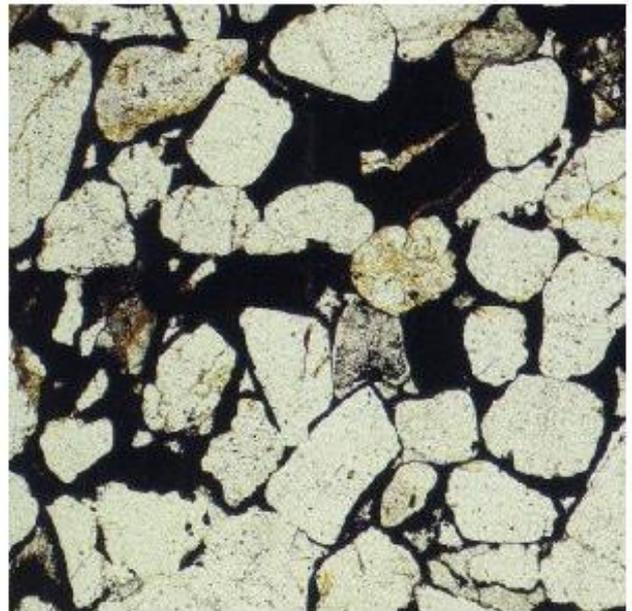
La résistance de la roche est une résistance structurelle de la composition des minéraux.

Cela est régi par :

- (1) La résistance des minéraux, et
- (2) la liaison entre les minéraux.



Structure imbriquée d'un granit



Structure clastique d'un grès

Les microstructures imbriquées des roches ignées et métamorphiques mènent généralement à un matériel rocheux à haute résistance, tandis que les microstructures des roches sédimentaires mènent souvent à un matériel rocheux à basse résistance, particulièrement lorsque la cimentation est faible.

Toute faiblesse existante dans une matrice rocheuse (microfissures, pores, grains faibles et cimentation) affaiblit aussi le matériel rocheux.

Les discontinuités de la roche

1. Les joints des roches

Les roches sont d'origine fracturées. Ils présentent ainsi des discontinuités (résultat de la tectonique). Les joints sont les principales discontinuités des roches. Ils sont des plans dont l'orientation n'est pas quelconque. Les discontinuités sont organisées en familles d'orientation similaire.

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.

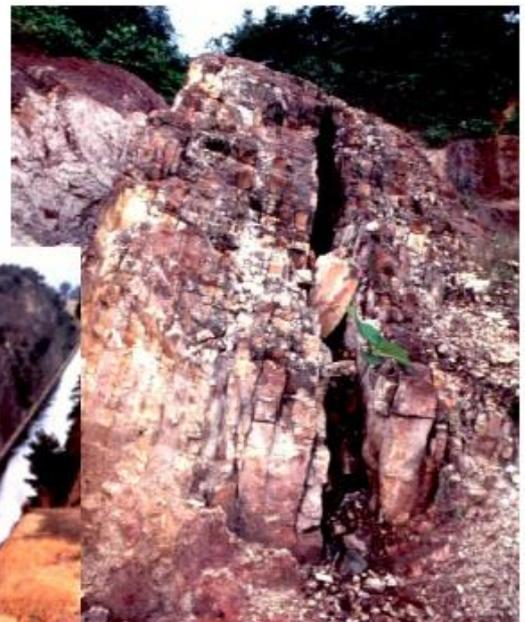
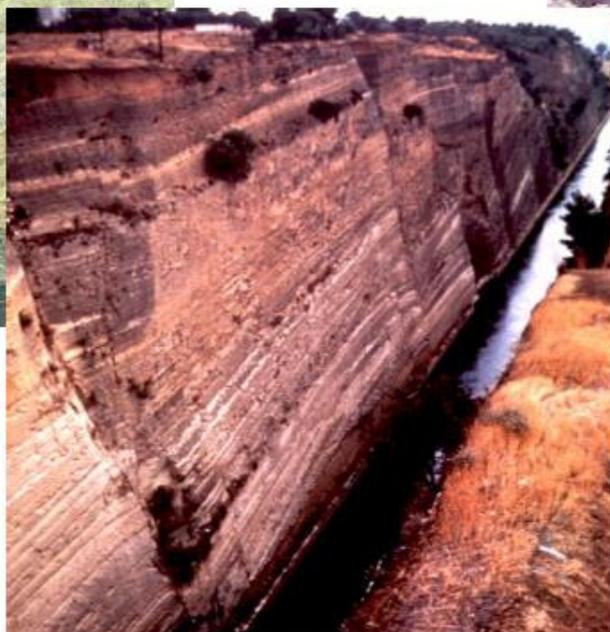
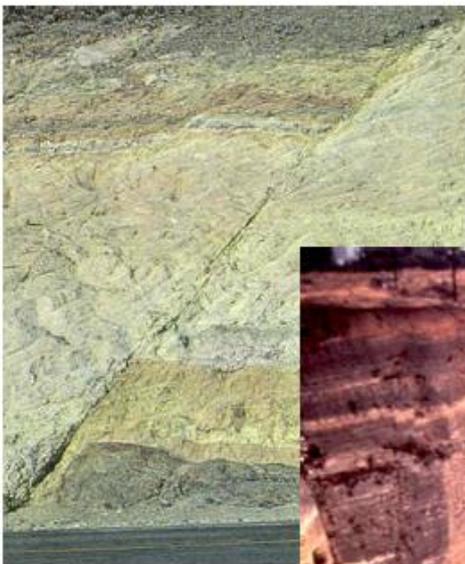


Les discontinuités de la roche

2. Les failles

Les failles 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 souvent traitées séparément du massif rocheux.



Les discontinuités de la roche

3. Les plis

Le pli est le résultat de la flexion d'une strate rocheuse sous l'effet d'une force tectonique ou d'un mouvement.

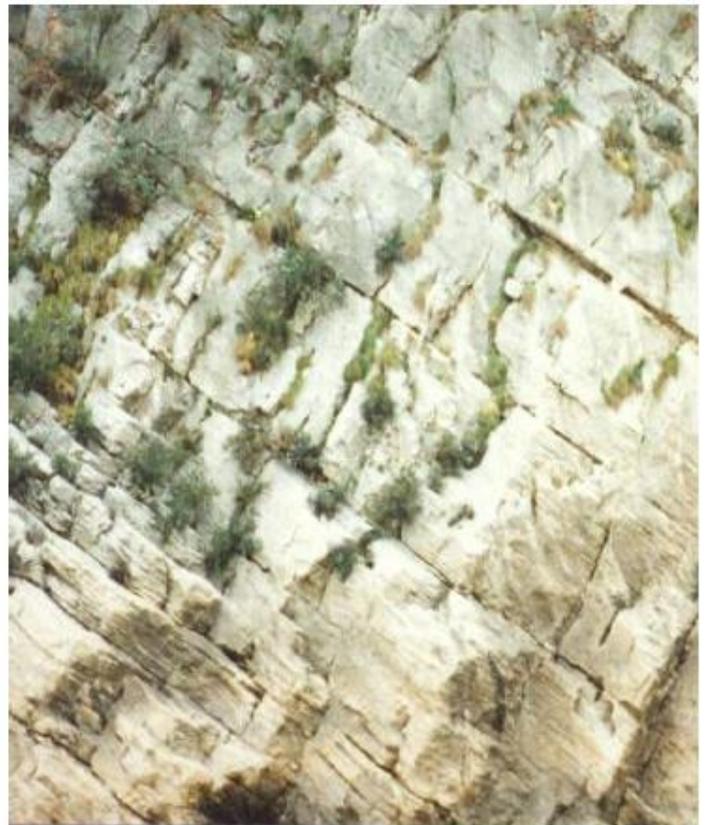
Les plis ne sont généralement pas considérés comme éléments du massif rocheux. Ils sont souvent associés à un haut degré de fracturation et à des roches relativement faibles et tendres.



Les discontinuités de la roche

4. Les plans de stratification

La stratification est l'interface entre les couches de roche sédimentaire. Elles sont un effet géologique isolé des activités mécaniques. Elles 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.



La roche et les massifs rocheux

1. La roche à l'échelle de l'ingénieur

Pour les travaux de génie civil (fondations, glissements de terrain et tunnels), 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. Il est formé de la roche intacte et des discontinuités (joints, failles, etc.).



La roche et les massifs rocheux

2. Composition des massifs rocheux

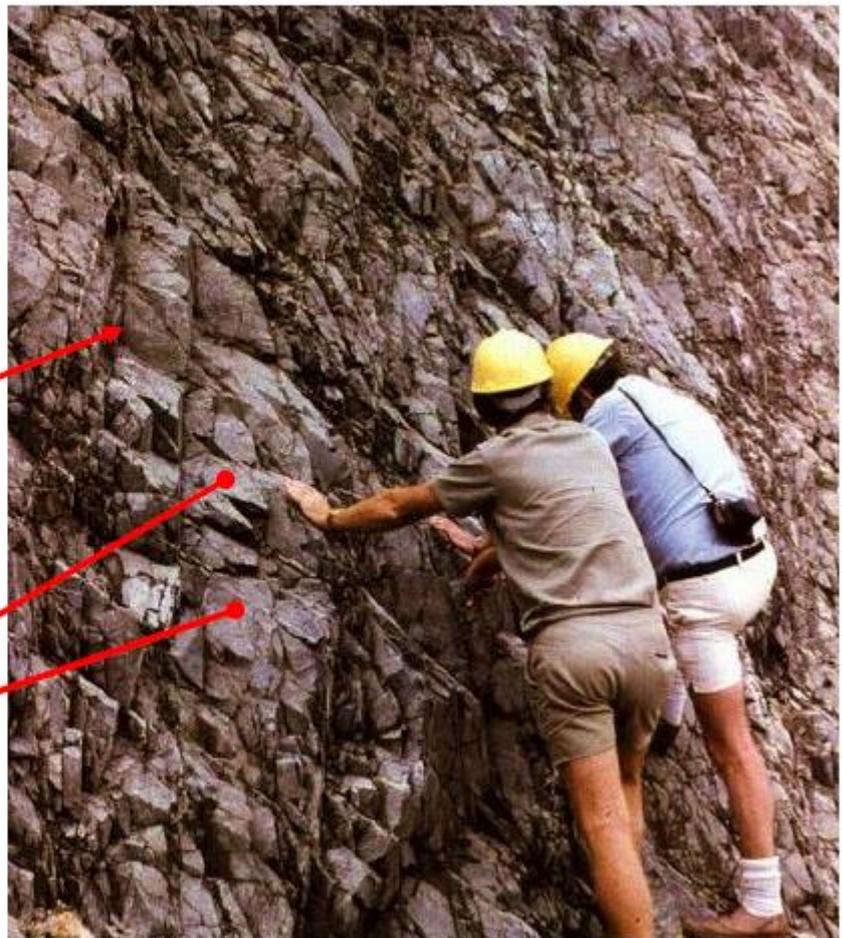
Un massif rocheux contient (1) du matériau rocheux sous forme de blocs de roche intacts de tailles variées, et (2) des discontinuités qui coupent le massif sous forme de fractures, joints, failles et plans de stratification.

Massif rocheux = Matrice rocheuse + Discontinuités



Discontinuités

Roche



La roche et les massifs rocheux

3. Rôle des joints dans le comportement d'un massif rocheux

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

Le comportement d'un massif rocheux est largement régi par la présence de joints.

Inhomogénéité et anisotropie

1. Inhomogénéité des roches

L'inhomogénéité représente une propriété variant selon les zones. Beaucoup de matériaux de construction ont des degrés d'inhomogénéité divers. Les roches sont formées par la nature et montrent de grandes inhomogénéités dues à:

- (1) Différents minéraux constituant la roche**
- (2) Différentes liaisons entre les minéraux**
- (3) L'existence de pores**
- (4) L'existence de microfissures**

L'inhomogénéité est la cause de l'initiation de la fissuration menant à la rupture de la matrice rocheuse.

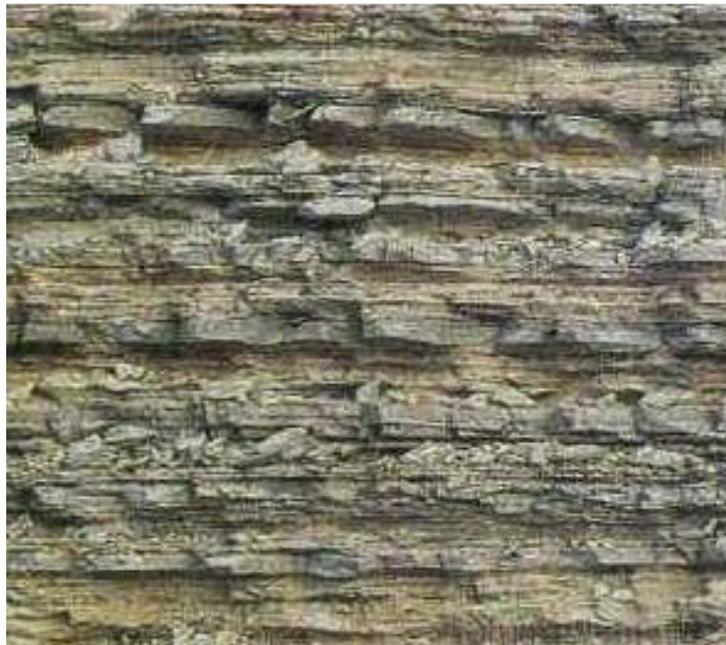
Si certains éléments de la matrice rocheuse sont très faibles, ils commencent à se rompre plus tôt et entraînent souvent une baisse de la résistance totale de la roche.

Inhomogénéité et anisotropie

2. Inhomogénéité des massifs rocheux

L'inhomogénéité des massifs rocheux est principalement due à l'existence des discontinuités.

Les massifs rocheux peuvent aussi être inhomogènes en raison d'un mélange de plusieurs types de roches, d'interstratification et d'intrusions.



Inhomogénéité et anisotropie

3. Anisotropie

L'anisotropie est définie comme une propriété différente selon la direction. L'anisotropie s'observe aussi bien dans les roches que les massifs rocheux.

L'ardoise est une roche fortement anisotrope. Les phyllithes et les schistes métamorphiques et les argilites sédimentaires montrent aussi de l'anisotropie.

L'anisotropie des massifs rocheux est contrôlée par (1) les joints, et (2) les couches sédimentaires.



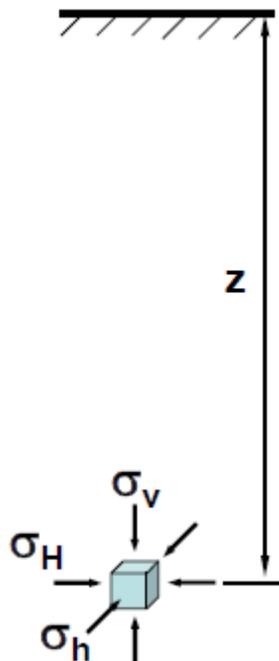
Contraintes In Situ

1. Contrainte verticale et 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. La valeur de la contrainte en profondeur peut donc être estimée par :

$$\sigma_v \text{ (MPa)} \approx 0.027 z \text{ (m)}$$



Contraintes In Situ

2. **Contrainte horizontale et contrainte tectonique**

Les contraintes horizontales dans la roche sont principalement tectoniques.

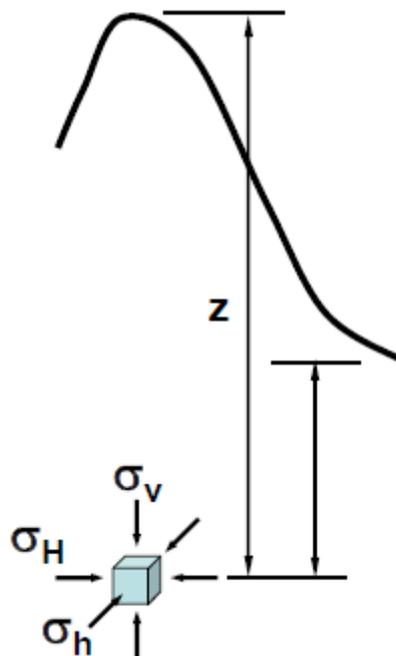
Les contraintes horizontales dans les roches sont généralement supérieures à la contrainte verticale.

La contrainte horizontale maximale a la même direction que le mouvement de convergence des plaques tectoniques. Les contraintes tectoniques varient fortement en termes d'intensité, et peuvent être exceptionnellement fortes.

Contraintes In Situ

Le champ des contraintes in situ peut aussi être modifié par des facteurs et processus géologiques :

- La surface topographique
- L'érosion
- Les intrusions
- Les failles et la création de failles.



Contraintes In Situ

3. Mesure des contraintes In Situ

La mesure des contraintes in situ montre que la contrainte verticale vaut à peu près $0.027z$, 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 3.0, généralement limitée entre $(100/z + 0.3)$ et $(1500/z + 0.5)$.

À des profondeurs usuelles pour le génie civil (<1000 m), les variations de la contrainte horizontale sont grandes.