

CHAPITRE I :

GENERALITES

1.1. INTRODUCTION

1.2. PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATION

1.3. LES MATERIAUX ROCHEUX

1.4. L'INFLUENCE DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LES ROCHES

1.5. DESCRIPTION D'UN MASSIF ROCHEUX

1.5.1. Contexte géologique et hydrogéologique d'un massif rocheux

1.5.2. Méthodes d'observation

1.5.3. Classification des massifs rocheux

1.5.4. Description de la matrice rocheuse

1.5.5. Description des discontinuités

1.1. INTRODUCTION

La mécanique des roches apporte aujourd'hui des réponses théoriques et pratiques à maints problèmes sociaux et industriels, dans tous les domaines de l'aménagement du territoire, énergie, infrastructures, environnement.

Si elle est restée longtemps l'apanage des mineurs, elle a pris corps sous l'impulsion des besoins d'autres sciences telles que les sciences de la terre et le génie civil. L'exploitation de pétrole par puits déviés profonds, les affaissements miniers et les glissements de terrain, l'enfouissement des déchets, tous ces problèmes nouveaux font appel à la mécanique des roches.

La distinction entre roche et sol repose essentiellement sur la cohésion du matériau. Un sable sec et propre ne possède pas de cohésion, une argile ou un sable argileux possède une cohésion faible qui peut être détruite par agitation dans l'eau. Une roche possède une cohésion de cimentation qui lie fortement ses éléments entre eux.

À l'échelle de l'ouvrage, les discontinuités du massif rocheux jouent un rôle fondamental, à la fois mécanique et hydraulique : ce sont les joints sédimentaires, les diaclases, les failles, ou la schistosité, dont la description constitue une partie importante de l'étude géotechnique. Ces discontinuités sont peu marquées, voire inexistantes, dans les massifs de sols meubles, en raison de la déformabilité de ceux-ci, qui les oppose aux roches rigides à comportement plutôt fragile.

1.2. PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATION

Une originalité de la mécanique des roches est d'être le point de rencontre de plusieurs professions comme les industries pétrolières, les mines, le génie civil et les sciences de la terre.

L'essentiel pour les ingénieurs des professions citées au-dessus est de devoir répondre à différentes questions :

- Stabilité : par exemple, évaluer le risque de chute de blocs à partir d'un talus ou d'une falaise, ou le facteur de sécurité vis-à-vis de la rupture d'une fondation en bordure de plateau ;
- Déformation : estimer le tassement sous une fondation, ou la convergence d'un tunnel ;
- Extraction (abattage) : définir les conditions d'une utilisation optimale de l'explosif, vis-à-vis du massif resté en place, qu'il faut endommager le moins possible, ou des vibrations causées sur les constructions voisines ;

- Concassage : choisir la technique permettant d'obtenir la granularité souhaitée, pour un coût minimal...

1.3. LES MATERIAUX ROCHEUX

Un terrain peut être une roche, un sol ou en un géo-matériau intermédiaire entre les roches et les sols. En géotechnique, une roche est un agrégat naturel massif de matière minérale. En géologie, on appelle roche tout élément constitutif de l'écorce terrestre, cela recouvre donc les roches au sens géotechnique, mais aussi le sol, le pétrole, l'eau des nappes, etc.

La limite entre roche et sol peut être définie conventionnellement par un seuil de résistance en compression uni axiale : les roches se situeraient au-dessus de 1 MPa environ, les sols en dessous. Donc les roches sont des géo-matériaux compacts et durs possédant une forte cohésion et une résistance élevée à la compression simple. Paramètres caractéristiques des roches sont la vitesse sismique, le module d'élasticité, résistances à la compression, à la traction, au cisaillement...etc. Les sols sont des géo-matériaux pulvérulents ou cohérents mais ne présentant pas en pratique de résistance à la compression simple et la cohésion disparaît par dissolution.

1.4. L'INFLUENCE DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LES ROCHESES

Sous l'action des facteurs climatiques, les roches sont soumises à une désagrégation physique et une altération chimique. Les produits issus de cette action peuvent être transportés par les eaux courantes, les glaciers ou le vent pour participer à la formation des roches sédimentaires. Il convient de connaître les mécanismes de l'érosion, du transport et de la sédimentation.

Les précipitations, le ruissellement et le vent sont des agents de dégradation mécanique des roches (fragmentation, ravinement, effritement). Ils sont liés au climat. Les grands écarts thermiques entraînent la désagrégation et l'effritement des roches. C'est le cas par exemple dans le désert où les écarts thermiques peuvent atteindre une amplitude de 50 °C.

L'érosion est un phénomène naturel qui se manifeste par la progressive dégradation des roches. L'érosion peut résulter de l'action, parfois conjuguée, de plusieurs effets, comme :

- Effets mécaniques : le matériau est usé par des chocs répétés avec des grains de matière charriés par les vents (érosion éolienne). Aussi, cela peut concerner l'action mécanique de

l'eau, par les vagues, les eaux de ruissellement, ou sous la forme de forces de pression et frottements avec l'avance de glaciers.

- Effets thermiques : le matériau subit de fortes variations de températures, ce qui entraîne une alternance de dilatation/compression, d'où l'apparition de fissures. D'autre part, l'action du gel conduit à faire éclater la roche, via l'augmentation de volume de l'eau infiltrée.
- Effets chimiques : des espèces chimiques, dont des acides, vont ronger le matériau.

Un premier stade de l'érosion est la fragmentation mécanique de la roche. Le processus se poursuit alors de plus en plus loin dans le matériau. La fragmentation est accompagnée par une érosion chimique. Elle peut se manifester souvent sous la forme d'une dissolution de la roche, mais aussi par une oxydation de la roche, son hydratation, etc.

L'eau a un rôle important dans les phénomènes d'érosion. Elle agit selon une action mécanique et chimique. De plus, l'eau emporte avec elle les espèces chimiques résultant de la dissolution.

Le phénomène de concrétion vient après la dissolution des matériaux rocheux ayant subi une érosion chimique. Une concrétion désigne en effet la solidification/précipitation de matériaux dissous, afin de former un dépôt solide.

Si l'eau s'évapore sous l'effet de l'augmentation de la température, les espèces chimiques dissoutes peuvent précipiter et former des structures de concrétion.

La concrétion donc est une précipitation des ions dissous, afin de former un dépôt solide. Cela peut se faire par évaporation de l'eau (roches sédimentaires) ou par retrait d'un réactif, comme pour la précipitation du calcaire dans les grottes.

1.5. DESCRIPTION D'UN MASSIF ROCHEUX

Les massifs rocheux sont des structures très complexes, ils sont assimilés à un assemblage de blocs appelés matrice rocheuse lesquels sont délimités par des discontinuités constituées de fissures, de fractures ou de failles ou encore de limites stratigraphiques. Le comportement mécanique des massifs rocheux est un facteur déterminant dans le dimensionnement des ouvrages qui y sont exécutés. Afin de comprendre, expliquer et modéliser ce comportement, il est nécessaire de connaître la structure géométrique ou plus précisément le modèle de

distribution géométrique des fractures, ainsi que les propriétés mécaniques de chacune des composantes que sont la matrice rocheuse et les discontinuités.

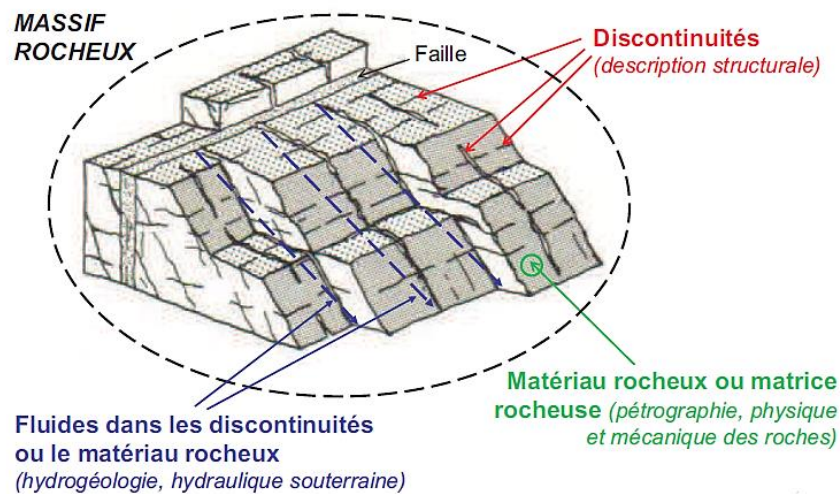


Figure. 1-1 : Description d'un massif rocheux.

1.5.1. Contexte géologique et hydrogéologique d'un massif rocheux

La connaissance du cadre géologique général dans lequel se situe le massif est nécessaire pour expliquer sa structure et la nature de la roche (unités géologiques concernées par le projet, relations entre elles, principaux accidents, histoire tectonique...). La description des conditions hydrogéologiques des discontinuités étant généralement associée à l'étude structurale du massif, il est également nécessaire de connaître le contexte hydrogéologique général : identification des aquifères et de leur mode de fonctionnement, type de perméabilité, conditions d'alimentation, exutoires, etc. Si la géologie générale du site est mal connue, une étude détaillée peut être nécessaire, utilisant les différents outils et méthodes de la géologie : levés de terrain, cartographie, recueil de données hydrogéologiques, interprétation de photographies, imagerie géophysique, sondages, puits et galeries de reconnaissance. Pour l'étude structurale, il est parfois nécessaire de segmenter le massif étudié en sous-ensembles homogènes.

1.5.2. Méthodes d'observation

En ingénierie des roches, on cherche à caractériser des volumes rocheux dont les dimensions sont comparables à celles des ouvrages envisagés (de quelques mètres à quelques hectomètres). Comme il est impossible d'observer directement de tels volumes dans les trois dimensions, les observations s'effectuent sur des parties visibles de la surface du massif (affleurements) ou grâce à des sondages, galeries ou puits de reconnaissance. Ces "échantillons" de massif rocheux

doivent englober un nombre suffisant de discontinuités pour en comprendre l'organisation. Les informations suivantes, décrivant les conditions d'échantillonnage que doivent être relevées.

1.5.2.1. Par affleurement :

- Nature de l'affleurement : naturel (falaise, lit d'une rivière, roche moutonnée...) ou artificiel (talus de déblai réalisé à l'explosif, sondage à pelle mécanique...).
- Représentativité : situation géographique et géologique, dimensions, pente, orientation.

1.5.2.2. Par forage, galerie ou puits :

- Forage carotté (avec orientation des carottes) ou descriptif (avec observation endoscopique).
- Méthode de creusement de la galerie ou du puits (fracturation induite). -Inclinaison et direction du forage de la galerie ou du puits.

1.5.3. Classification des massifs rocheux

Divers chercheurs ont essayé de regrouper les structures géométriques des massifs rocheux dans des catégories bien définies. Cela est illustré dans la figure (1.a) pour une série de massifs rocheux. Nous distinguons les massifs à blocs polyédriques, equidimensionnels, prismatiques, tabulaires, rhombohydriques, en colonnes, les massifs à bancs minces dont l'épaisseur est moins épaisse que la longueur et les massifs comprenant plusieurs familles de fractures. La figure suivante illustre les familles précédemment citées.

1.5.4. Description de la matrice rocheuse

La roche est un assemblage de minéraux qui ont acquis des liaisons plus ou moins fortes au cours de leur histoire géologique. L'analyse **structurale** d'un massif consiste à décrire les caractéristiques et l'organisation des discontinuités qui le découpent, et à expliquer leur genèse en relation avec l'histoire tectonique du massif.

Pour la classification, l'identification lithologique des roches est basée sur la détermination :

1.5.4.1. Du groupe original

- Roches sédimentaires : résultent de l'altération physique ou chimique des roches préexistantes on distingue des roches : clastiques, chimiques, organiques (calcite, dolomie).

- Roches métamorphiques : résultent de la transformation sous haute température et pression des roches préexistantes, soit en métamorphisme régional (les micaschistes) soit en métamorphisme de contact (le marbre).
- Roches magmatiques : résultent de refroidissement du magma soit en forte profondeur (plutoniques), soit en faible profondeur (les roches volcaniques), on distingue aussi les roches pyroclastiques.

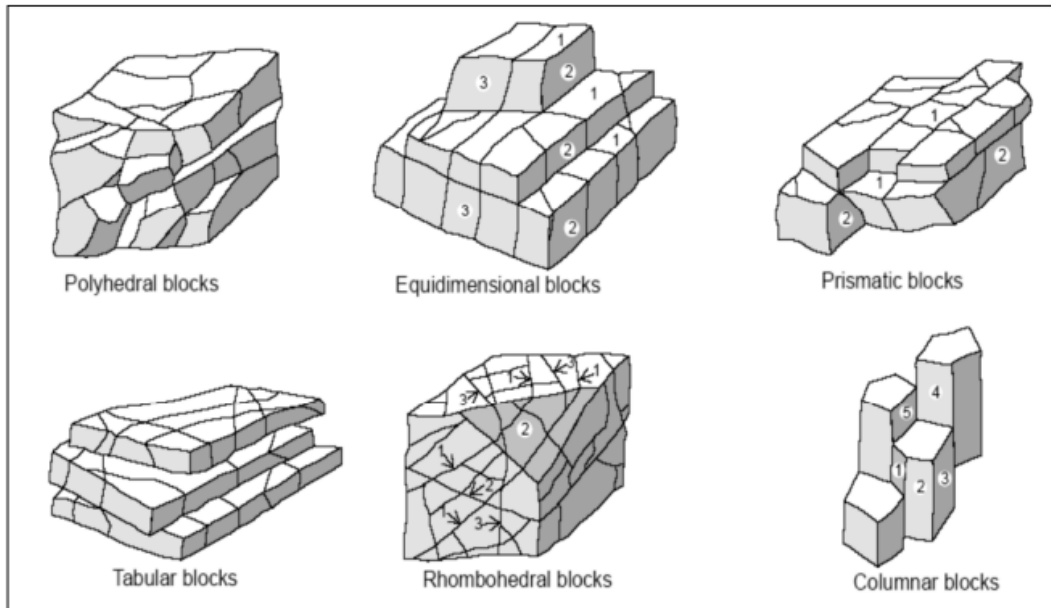


Figure. 1-1 : classification géométrique des massifs rocheux.

1.5.4.2. De la structure

- Stratifiées : avec parfois des remplissages des vides, comme les marnes.
- Feuilletées : avec des discontinuités qui sont caractérisées par une ouverture très mince.
- Massives : sans discontinuités originales précises, comme les calcaires, marbre.

1.5.4.3. De la granulométrie

Les termes descriptifs de la granulométrie (fondés sur la matrice rocheuse) par exemple amorphe : pour les roches de texture vitreuse.

1.5.4.4. De la composition minéralogique

En portant une attention particulière sur :

- Les minéraux silicatés associés (les quartz et feldspaths).
- Les minéraux de couleur noire (les micas, amphiboles, pyroxène).

- Les minéraux argileux.
- Les minéraux carbonatés (calcite, dolomite).
- Les matériaux amorphes siliceux (le verre).
- Les matériaux carbonés (la houille).
- Les sels (la halite (sel gemme), le gypse).
- Les minéraux gonflants (l'anhydrite). - Les sulfures (la pyrite).

1.5.5. Description des discontinuités

Afin d'étudier le comportement mécanique ou hydraulique d'un massif rocheux, il est essentiel de connaître son degré de fracturation ainsi que la répartition des discontinuités dans l'espace. Pour un ensemble de massifs rocheux, les discontinuités constituent une superposition de différentes familles de fractures, disposant chacune de lois de distribution et des caractères statistiques différents. Ces derniers sont souvent déterminés par le biais de la méthode de projection stéréographique. L'objectif principal d'une étude géométrique des discontinuités est de déterminer :

- Si elles sont classables en familles (orientations voisines).
- Si elles structurent le massif rocheux en blocs (continuité et connectivité importantes).

1.5.5.1. Type et classification des discontinuités

On distingue généralement quatre grandes familles de discontinuités, par exemple pour les falaises calcaires :

- Les joints de stratification : Ce sont des joints qui découpent régulièrement le massif en bancs parallèles, d'épaisseurs variables en fonction de la nature des séquences de dépôt et de leur mode de mise en place. La stratification provoque des discontinuités de forte extension ;
- Les diaclases : Ce sont des discontinuités de faible extension, généralement intra-bancs sans déplacement relatif des épontes. Dans les roches sédimentaires de couverture, les diaclases issues des différentes phases de déformation (plissement de la roche), elles sont généralement perpendiculaires aux bancs ;
- Les failles : Ce sont des discontinuités comportant un déplacement relatif des épontes, liées à des épisodes de déformation, les failles présentent généralement une extension (continuité) importante ;



Figure. 1-2 : Types de discontinuités.

- Les fractures : Ce sont des discontinuités de forte extension, généralement intra-bancs sans déplacement relatif des épontes ;
- Fissure : discontinuité ne traversant pas complètement l'objet considéré ;
- Bande de cisaillement, couloir de fracturation : zone fracturée résultant d'un mouvement de cisaillement entre deux compartiments plus compacts (peut être considérée comme une faille à une échelle plus grande) ;
- Schistosité : feuilletage plus ou moins serré, acquis sous l'influence de contraintes tectoniques (exemple : l'ardoise) ;
- Foliation : différenciation pétrographique entre des lits formant ainsi des feuilletés généralement soudés les uns aux autres, mais pouvant engendrer des fractures.

1.5.5.2- Caractéristiques des discontinuités

- **Etendue (ou extension ou continuité ou persistance)**

Surface totale de la discontinuité, que l'on peut approcher par la longueur de son intersection avec la surface d'observation (trace), à condition que celle-ci soit suffisamment étendue. Sur le terrain, on notera, par exemple, $L > 3$ m si une discontinuité est visible sur 3 m et qu'une seule de ses extrémités est visible. Si aucune des extrémités n'est visible, on notera $L \gg 3$ m.

Une discontinuité peut être interrompue par des ponts rocheux reliant les deux lèvres (ou épontes). On définit alors un pourcentage de ponts rocheux ou, inversement, un taux de persistance.

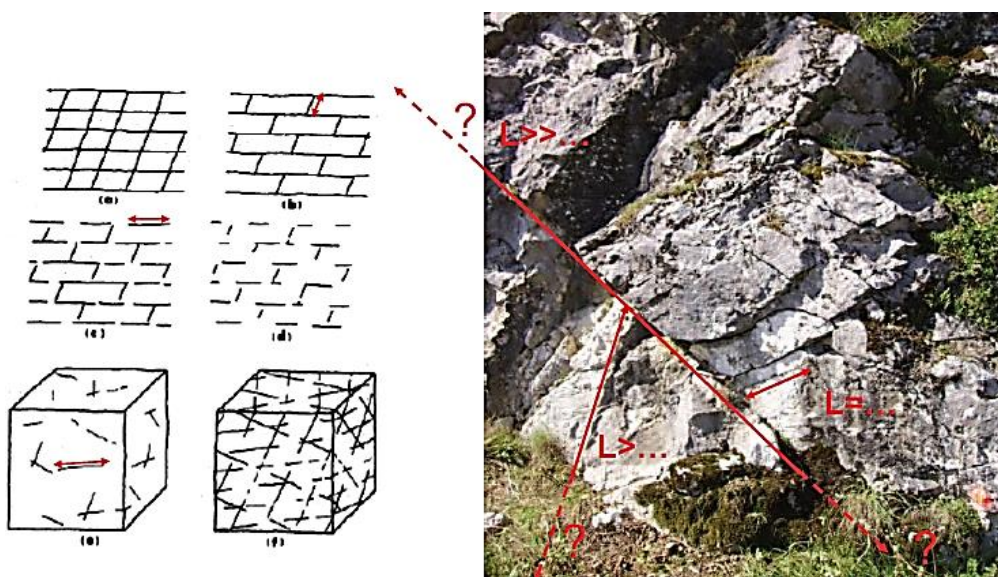


Figure. 1-3 : Extension des discontinuités.

- **L'ouverture**

C'est la distance entre les épontes (ou épaisseur de la discontinuité), ce facteur influe surtout sur la circulation des eaux (ruissellement).

- **L'espacement**

C'est la distance mesurée perpendiculairement entre deux plans appartenant à une même famille de discontinuités. L'espacement moyen nous renseigne sur le débitage en blocs et sur la déformabilité et la perméabilité du massif.

- **Le degré d'altération et le remplissage**

Matériau remplissant totalement ou partiellement la discontinuité (nature et épaisseur). L'altération chimique affaiblit les caractéristiques des discontinuités. Le matériau de remplissage s'il existe influe sur le comportement mécanique des discontinuités en fonction de ses propres caractéristiques mécaniques et de sa quantité. Par exemple, un remplissage d'argile augmente la cohésion mais diminue le frottement et donc peut favoriser un glissement sur la discontinuité.



Figure. 1-4 : Ouverture et remplissage.

- **Morphologie des épontes**

Les discontinuités pouvant avoir des extensions importantes, il est nécessaire de décrire leur morphologie à différentes échelles. A l'échelle la plus grande, elles sont assimilées à un plan ou à une surface courbe (cas des plis ou de certaines failles), qui peut être définie par plusieurs

facettes planes. A une échelle plus petite, on cherche à caractériser les écarts par rapport à cette surface moyenne.

- **Altération et résistance des épontes**

La résistance des aspérités influence la résistance au cisaillement. Si les épontes des discontinuités sont altérées, cette résistance est plus faible que celle de la matrice rocheuse. L'altération peut être d'origine météorique (infiltration d'eau superficielle) ou profonde (eau thermique).

- **Orientation (ou attitude) des discontinuités**

L'orientation du plan moyen d'une discontinuité est décrite par deux angles, un pendage et un azimut, définis respectivement par rapport à l'horizontale et au nord (Figure. 1-5).

L'**azimut** est défini par la direction d'une horizontale du plan mesuré de 0 à 180° par rapport au nord, angle de la projection horizontale du vecteur (p) avec le Nord en tournant vers l'Est. Il vaut ($\alpha + 90$), (Figure. 1-5).

Le **pendage** est l'inclinaison du plan par rapport à la verticale, mesurée de 0 à 90°, il est caractérisé aussi par un sens de plongement, c'est l'angle que fait le vecteur (p) avec le plan horizontal (β), (Figure. 1-5).

- **L'ondulation et la rugosité**

Qui influe sur la résistance au cisaillement de la discontinuité à travers l'existence ou non d'ondulation à grande échelle et la présence ou non d'aspérités à petite échelle.

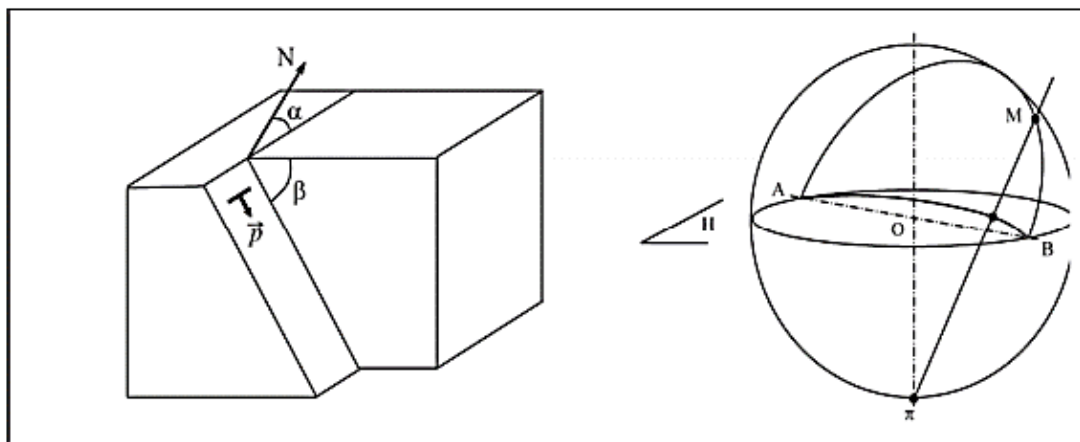


Figure. 1-5 : Illustration de pendage et de l'azimut d'une discontinuité.

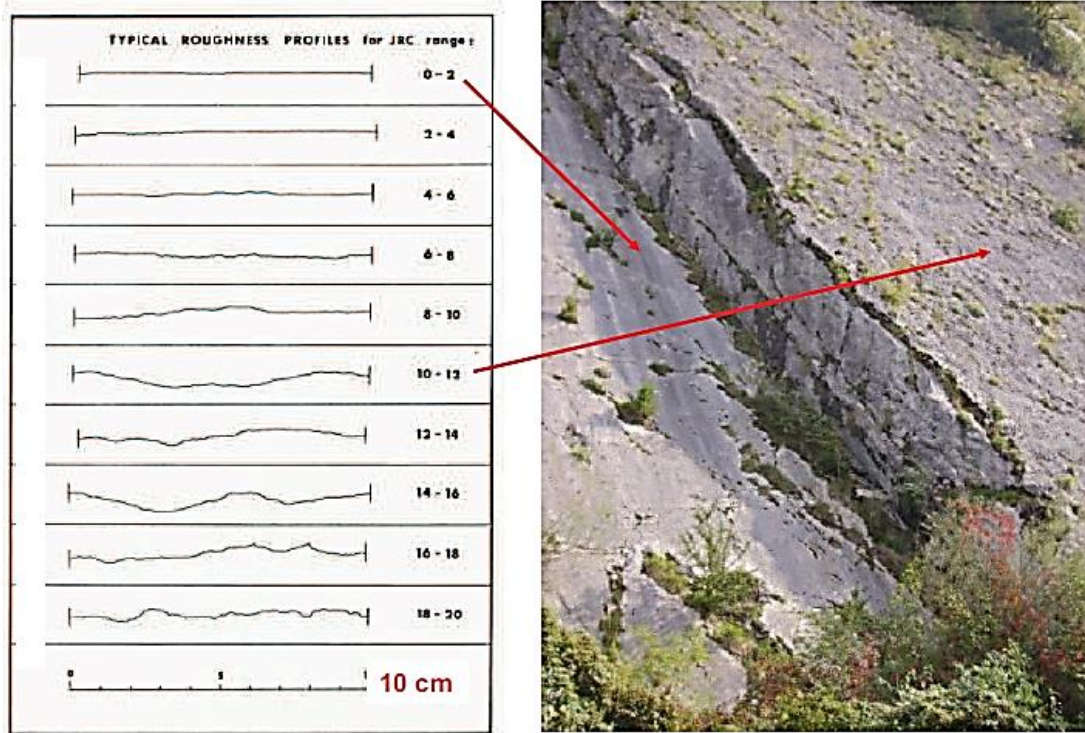


Figure. 1-6 : Profils de rugosité typiques (petite échelle).

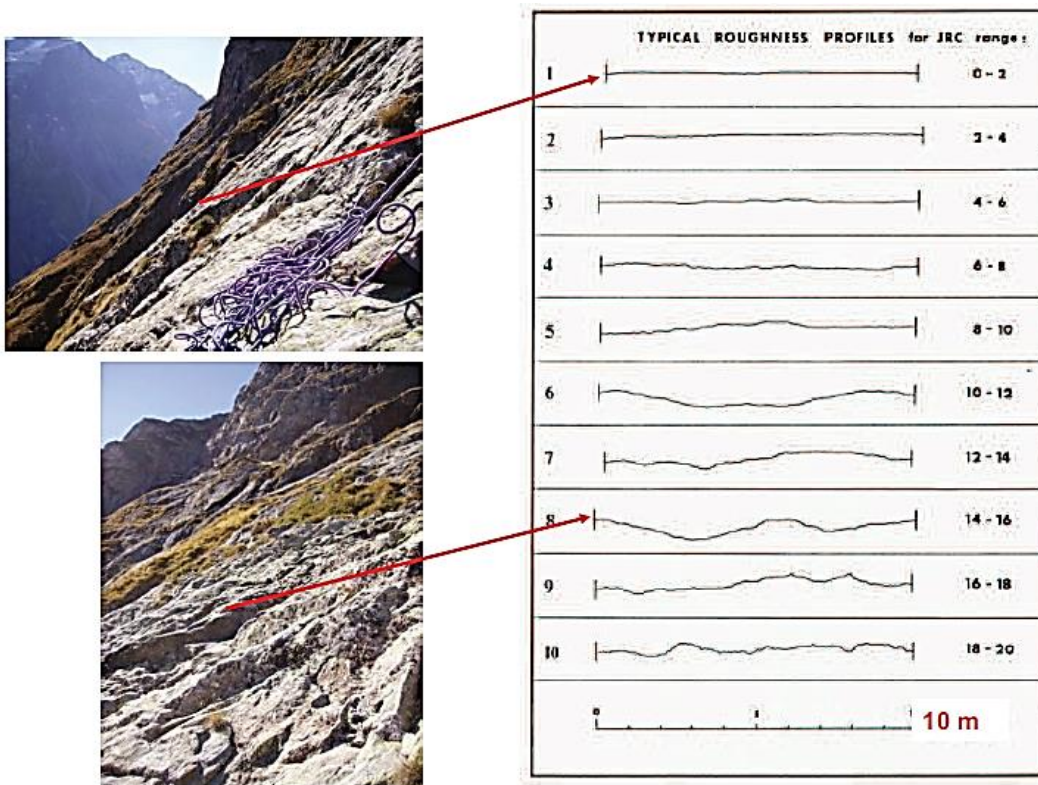


Figure. 1-7 : Profils de rugosité typiques (échelle décamétrique).