

Géologie et géomorphologie.

Les connaissances dans ces domaines sont directement impliquées dans la pratique de l'activité. En effet, la nature des roches traversées par les différents parcours produit des conformations topographiques spécifiques qui influent sur la progression. Le franchissement des obstacles, qui nécessite des équipements fixes (amarrages naturels ou mécaniques), met directement l'équipeur en relation avec le comportement mécanique des roches constituant les parois. En association avec le climat local, la composition du relief détermine aussi le type de végétation et la conformation des abords d'un canyon.

1. La géologie.

La géologie regroupe l'ensemble des connaissances relatives aux roches. Sous une conformation dure, toute roche subit une évolution marquée depuis sa formation (genèse) jusqu'à sa disparition (érosion). La roche s'insère dans de vastes ensembles nommés massifs et qui se caractérisent par une déformation et des dégradations dues aux déplacements des plaques qui constituent la croûte terrestre.

1.1. *Notions élémentaires de géologie.*

La géologie s'occupe de la science des roches.

Une roche est en général un assemblage de minéraux, le plus souvent dur et cohérent (pierre, caillou), mais qui peut présenter aussi un comportement plastique (argile), meuble (sable) ou liquide (hydrocarbure). Les roches se répartissent en deux groupes distinguant leur frontière de formation : les roches exogènes formées à la surface de l'écorce terrestre et les roches endogènes formées au moins en partie à l'intérieur du globe, dans des conditions de températures et de pression largement supérieures à celles de la surface.

L'ensemble des roches constituant l'écorce terrestre ne sont pas statiques mais subissent l'effet de deux agents d'évolution : la tectonique qui modifie l'état des roches sous la contrainte induite par le mouvement des plaques continentales formant la croûte (dérive des continents) et l'érosion qui regroupe les phénomènes de destruction des massifs rocheux par les effets conjugués des agents météoriques. Cette évolution par érosion sera abordée sous l'œil de la création des parcours propices à l'activité.

1.2. *Les roches.*

1.2.1. *Les roches exogènes.*

Deux types de roches exogènes sont classifiées : les roches sédimentaires et les roches résiduelles.

- Les roches sédimentaires se forment par accumulation de débris et fragments (coquilles, grains) et/ou par précipitation à partir de solution (calcaire). Elles regroupent les roches détritiques (fragments de minéraux), biogéniques (fragment d'organismes vivants) et physico-chimiques (solutions). Le passage d'accumulation à celui de roche se fait par un mécanisme d'orogénèse qui va construire par effet physico-chimique la cimentation, plus ou moins dure, de la matière en présence. En fonction de la nature des débris, le mode de dépôt et le lieu de dépôt vont induire des

roches différentes. Galets et sables vont se déposer rapidement de par leur densité, au long de fleuves, des lacs et dans les cônes d'estuaire. Ce sont des sédiments de haute énergie et faible profondeur d'eau. En bordure de cote, le dépôt des organismes coquilliers ou les constructions coralliennes constituent l'apport pour la formation de roches calcaires. Au-delà, ce sont les argiles, fines et peu dense, qui vont sédimenter plus profondément.

- Les roches résiduelles résultent de la disparition dans un massif rocheux d'éléments arrachés par les agents d'érosion, essentiellement par solution (argiles résiduelles dans les calcaires, bauxite, paléosols).

1.2.2. Les roches endogènes.

Les roches endogènes sont assez nombreuses. On y trouve :

- les roches magmatiques, résultant de la solidification de roches fondues au moins en partie (le magma). Cette famille se divise en trois parties selon le mode de mise en place de la roche :
 - o les roches plutoniques : lorsque le magma se trouve bloqué dans les profondeurs de la croûte terrestre et y refroidit lentement en permettant une cristallisation régulière et lente, avec création de cristaux bien différenciés (visibles séparément).
 - o Les roches volcaniques ou éruptives : lorsque le magma poussé vers la surface vient s'épancher par coulées de lave à la surface de la terre ou dans les océans. Le refroidissement rapide, ou très rapide, provoque une cristallisation en petits cristaux indifférenciables.
 - o Les roches hydrothermales : lorsque le refroidissement du magma s'accompagne de circulations de solutions et gaz à très haute température qui interagissent avec la composition magmatique.
- Les roches métamorphiques, qui proviennent de roches préexistantes, sans nouvelle fusion, mais avec une interaction physico-chimiques aux conditions de pression et de température différentes de celle de la surface et des contenus de solution différents de celui de la roche. La classification de ce type de roches est très complexe car il dépend de la roche originelle (sédimentaire, magmatique ou métamorphique), des agents du métamorphisme (pression, température, les deux), des circulations fluides ou gazeuses ainsi que du temps d'évolution.

Tableau : les roches, origine, dureté, compétence.

1.3. Le moteur tectonique.

Le tectonique est un élément majeur influençant les massifs rocheux et donc la formation des reliefs et à terme la présence de parcours de descente de canyon. La surface du globe, la croûte terrestre et le manteau supérieur (lithosphère), n'est pas une structure homogène mais un assemblage d'éléments joints dont le mouvement est initié par les mouvements internes du manteau inférieur (asthénosphère) eux même hérités de la production de chaleur dans le noyau terrestre. Ces plaques se déplacent en un mouvement appelé dérive des continents. En fait ce mouvement concerne également des plaques dont aucune surface n'émerge : les plaques océaniques. Ces plaques délimitent plusieurs types de situation de contact :

- les zones d'accrétion, ou d'expansion : existant entre deux plaques qui s'écartent, le passage du magma est possible. Zone le plus souvent sous les océans (rides médio océaniques = rift), il existe de telles zones en surface (Djibouti, le rift Afar). Ces zones s'accompagnent d'émission régulière de laves, au fond des océans, comblant le vide

qui voudrait se créer entre les plaques. Au fil du temps, ces surfaces se recouvrent de sédiments et peuvent se trouver après une lente évolution en situation de cote marine.

- Les zones de subduction : marquent l'endroit où deux plaques convergent. De par leur nature, la plaque la plus dense va s'infléchir et plonger vers le manteau inférieur. Il en résulte cinq phénomènes associés :
 - Le creusement au contact entre les deux plaques de fosses océaniques, les plus profondes faisant 12 km (Fosse des Mariannes), qui résulte de l'effet simultanée de la flexion de la plaque subductante et de l'élévation et flexion de la plaque subductée.
 - L'apparition de séismes, plus ou moins intense, marquant la friction qui existe entre les deux plaques.
 - La création d'un prisme d'accrétion quand des sédiments existaient sur la plaques qui plonge. Le continent agit comme une gouge et décolle les sédiments de la surface en les empilant sur de grandes épaisseurs.
 - L'apparition d'un volcanisme sur la plaque subductée, au droit du point de subduction, de nature andésitique, et résultant de la fusion naissante de la plaque subductante qui trouve des cheminements faciles hérités des contraintes liées au phénomène (exemple : sommets des Andes).
 - La formation d'un relief intense, lorsque deux plaques continentales entrent en contact. Il apparaît un relief de type alpin ou himalayen, très intense qui génère les plus hautes montagnes.

Illustration avec le synoptique de la page 318.

1.4. Création des canyons.

Grâce au moteur tectonique, les reliefs apparaissent qui vont s'exposer aux éléments météoriques : pluie, neige, vent, gel. Ces agents peuvent aussi engendrer des agents mécaniques du fait de leur mouvement : vent portant le sable, eau portant sable et galet, glace qui rabote les surfaces par reptation. L'eau induit également un processus chimique majeur : la dissolution des carbonates.

La tectonique induit dans ces effets l'apparition de failles, l'éboulement de roches en altitude, l'injection de magma dans la croûte avec éruptions plus ou moins importantes.

L'érosion par l'eau, la plus importante pour l'activité, va ensuite exploiter la pente, la présence de failles ou de roches moins dures pour sur creuser et détruire les massifs de façon différentielle.

Dans les massifs calcaires, l'érosion karstique est à l'origine du mot canyon (figure). Pour ce mécanisme, la dissolution des carbonates est un point majeur, qui associé à l'action mécanique des galets et blocs déplacés quand le débit est suffisant, va sculpter profondément le massif. Cette érosion est tout d'abord souterraine, depuis les fissures de surface jusqu'au rivières souterraines. L'effet continu du surcreusement sur les fissures de surface va créer des canyons de petite profondeur mais pouvant toutefois, après suffisamment longtemps, présenter des parcours intéressants. Par circulation longtemps entretenue, les rivières souterraines peuvent voir leur toi s'effondrer et créer ainsi de profondes gorges à l'encaissement important (Verdon, Pays Basque). Figure.

Dans les massifs gréseux et conglomératiques, les failles ou la présence de lentilles argileuses font servir de zone préférentielle à l'érosion par l'eau, avec une composante mécanique principalement, chimiques sur l'interaction avec les argiles. Si l'érosion provoque un parcours intéressant, il sera le plus souvent tortueux et étroit (exemple : Sierra de Guara).

Dans les massifs argileux consolidés, citons les pélites (Provence) qui cèdent facilement au creusement intense et piloté soit par les failles, soit par l'hétérogénéité de la formation. Le

veinage qui provoque des indurations localisées permet la création de ressauts plus ou moins marqués.

Les roches métamorphiques, de par leur grande variété, seront diversement érodées. Les schistes durs, mais toutefois assez tendres, pourront présenter des profils exploitables, même si ces roches se délitent souvent en plaquettes. Les roches métamorphiques plus dures se comportent comme les roches plutoniques.

Les roches plutoniques sont très difficilement érodée par les agents chimiques, sauf si la présence de feldspath est importante (réaction avec l'eau, formation d'argile). Pour ces roches, les agents mécaniques seront les plus significatifs, à la faveur de grandes failles.

Les roches volcaniques quand à elles donnent lieu à une réaction chimique plus marquée, de par le grain fin qui met au contact de l'eau des minéraux très variés. Mais l'agent mécanique reste prépondérant, qui exploite les faiblesses associées aux différentes phases de dépôts. Les coulées peuvent en effet être massive et se figer en bancs épais. Elles peuvent également provoquer des dépôts hétérogènes entre blocs refroidis et projections de lave incandescente.

Tableau : roche – agent érosif et intensité.

2. La géomorphologie au quotidien.

La géomorphologie est la relation entre la nature de la géologie et l'aspect du relief à toutes les échelles. Chaque roche réagit différemment aux agents météoriques, mécaniques et aux sollicitations tectoniques. Les roches tendres (calcaires, grès, flysch, schistes, tufs) sont profondément entaillées par l'érosion mécanique et chimique en présence d'eau. Ces effets sont amplifiés si le cours d'eau a choisi une faille pour frayer son passage. Calcaires, schistes et flysch sont relativement compétents c'est-à-dire qu'ils pourront être déformés amplement par les forces tectoniques sans nécessairement casser. Ils constituent la matière de plis importants, soit à grande échelle impliquant un massif entier (clues du Sud-est de la France ou des Pyrénées centrales espagnoles, nord de la Sierra de Guara) soit à petite échelle impliquant localement des couches (Jura, Vercors, Drome, Pays-Basque, Haut Aragon). Dans les roches plus dures (granites, gneiss, quartzites, dolomies, volcanisme de coulée ou ignimbritique) la roche devient cassante et les cours d'eau seront localisés à la faveur de failles majeures. Ces reliefs ne présentent plus de plis mais des systèmes de rampes et plateaux à entailles plus ou moins profondes (Pyrénées Centrales et Orientales, Ecrins, Chamonix, Réunion).

2.1. Relation avec la topographie en canyon.

En fonction de la roche, certains types de canyon se distinguent, par leur environnement mais surtout par la nature des obstacles susceptibles d'être rencontrés.

La conformation la plus connue est celle des canyons calcaires, issus d'une évolution karstique, pour laquelle les effets chimiques et mécaniques de l'eau sont très efficaces. A la faveur de plis ou de plateaux massifs, les parois de ces canyons sont vertigineuses (Verdon, Vercors). De grandes vasques se développent, parfois profondes. Les verticales se trouvent à la faveur de flancs de plis, failles recoupant l'axe du canyon ou cavité karstique au toit effondré. Les abords directs des canyons sont vertigineux, avec des parois souvent surplombantes. Au dessus toutefois, le relief est souvent plus arrondi à la faveur de l'accumulation du contenu argileux des calcaires (figures).

Localement, sous les climats particulièrement humides, des roches plus dures pourront être creusées en vasques importantes par action mécanique (Réunion).

Dans les grès et conglomérats, le creusement, principalement mécanique (eau et galets, vent, ruissellement), provoque des entailles tortueuses mais relativement étroites. L'action de l'eau emprunte le passage le moins résistant dans ces roches hétérogènes (présence de galets, de

passées argileuses). Les abords de ces canyons sont souvent instables par accumulations de galets déchaussés et terrils sableux.

Dans les massifs granitiques, volcaniques ou les dolomies, les cours d'eau exploitent les faiblesses induites par la tectonique pour sur-creuser les failles majeures. Ces failles étant parfois inclinées, les parcours sont ponctués de vasques à l'asymétrie marquée (Cévennes, Pyrénées Orientales, Ecrins). Les parcours sont également marqués par des passages de transition, avec chaos de blocs, qui relient les passages plus verticaux à la faveur de ruptures mécaniques majeures. C'est l'alternance rampe et palier typique de ces reliefs (figure). Les abords sont souvent complexes (rampes et paliers) avec une arrivée brutale dans l'encaissement.

Enfin, les flyschs constituent, malgré leur grande hétérogénéité, un terrain parfois propice (versant espagnol des Pyrénées, Alpes du Sud, Maurienne) à des parcours d'intérêt variable. Grandes dalles, vasques profondes, gorges étroites ou ouvertes, toutes les formes ou presque peuvent s'y rencontrer. L'alternance de conformation est de mise ce qui procure des parcours variés. Le principal souci de ce type de roche est le déchaussement de blocs, parfois importants, provoqué par la différence de comportement des différentes strates aux effets tectoniques ou d'érosion. Il en résulte des abords à pentes moyennes à fortes et instables (figures).

2.2. La progression.

Du fait de la variété géomorphologique, la progression dans ces différents types de canyon sera différente.

Le premier point sera la conformation des obstacles ponctuant une descente : cascades, vasques et toboggans. Si les canyons calcaires présentent des verticales moyennes et de larges et profondes vasques dans des gorges souvent profondes, les canyons granitiques sont souvent moins encaissés, présentent des verticales de toutes dimensions, des vasques asymétriques ou allongées rarement très profondes, et des opportunités de toboggans assez nombreuses. La nature du substrat influence également sur les variétés d'algues et de mousses qui se développent. L'influence du climat agit également sur l'importance du développement végétal, qui rend les passages plus ou moins glissants selon le cas.

Le second point concerne la progression horizontale. Il est en effet fréquent de trouver chaos et portions de transition dans des canyons granitiques ou volcaniques. Il en existe également au droit de vastes effondrements de voûtes karstiques (figures).

2.3. L'équipement fixe.

L'influence directe de la nature géologique et la géomorphologie d'un canyon devient cruciale pour les équipements fixes permettant de franchir les obstacles verticaux.

Trois types d'équipements peuvent être envisagés :

- amarrage sur arbres,
- amarrage naturel rocheux, utilisant lunules, rochers, béquets,
- amarrage mécaniques, artificiels : piton, cheville, goujon, broche, coinqueur, crochet.

2.3.1. Amarrage sur arbres.

Ce type d'amarrage, hors tronc coincé dans les passages étroits du canyon, s'adresse à des arbres de diamètre suffisamment grand ou d'un ensemble d'arbres plus fins permettant d'assurer une résistance non seulement de la partie utilisée mais aussi des racines et de leur force de résistance aux sollicitations mécaniques (figures). Sur sol de nature granitique, les abords du canyon ne sont pas propices à la tenue des sols et de ce fait, les arbres de bonne

résistance se trouveront assez en arrière des obstacles. Dans un canyon schisteux ou dans les flyschs, les abords instables provoquent également une absence d'arbre de gros diamètre à proximité directe du cours d'eau. On trouvera par contre des amas de buis qui ont l'avantage, dès la bordure des cours d'eau, d'avoir des racines étendues qui s'insinuent profondément dans les interstices rocheux. Dans les reliefs karstiques, la plupart des essences végétales trouvent un substrat favorable et des conditions d'ancrage souvent efficaces. Les racines s'enroulent sur les blocs et exploitent failles, fissures et trous pour proposer une stabilité permettant à de gros arbres de persister. Toutefois, l'encaissement souvent marqué de ces parcours peut rendre délicat l'accès aux troncs majeurs et l'astuce peut s'avérer utile pour les exploiter (passage d'une corde par lancer).

2.3.2. Amarrage naturel rocheux.

En fonction de la nature de la roche, des ancrages naturels tout à fait utilisables peuvent se présenter. Le plus connu, spécifique des parcours calcaire, est la lunule (figure). Il s'agit d'un passage perforant dans le rocher massif, résultat du travail d'érosion par l'eau, permettant de glisser une sangle ou une cordelette pour créer un amarrage. Il faut toutefois prendre ses précautions afin d'utiliser une structure solide, en veillant à l'absence de fissure ou de dégradation végétale qui provoque une faiblesse à la résistance. Souvent masquée par la colonisation végétale ou des sols, la découverte et l'utilisation des lunules supposent d'être attentif et observateur.

En l'absence de lunule, une solution, qui implique toutefois d'avoir prévu l'opération (il faut disposer d'un perforateur), consiste à les créer. Deux trous reliés en fin de forage constituent un V à l'intérieur de la roche dans une paroi uniforme. Sur lame de rocher solide ou en bord de bloc, une géométrie en L ou en forage rectiligne est plus aisée et rapide à réaliser. Dans tous les cas, il faudra veiller à arrondir les angles ainsi créés afin d'assurer une bonne résistance de la sangle ou de la cordelette utilisée pour finaliser l'amarrage. Notamment pour les géométries en V, il faudra arrondir le fond en faisant coulisser un élément métallique et briser l'angle vif (figures).

Dans les reliefs non calcaires et sans les moyens lourds, l'absence de lunule oblige à se tourner vers d'autres amarrages. Dans les massifs granitiques, des béquets peuvent, comme en alpinisme, constituer des solutions de secours intéressantes.

Dans tous les cas, l'utilisation de gros blocs, coincés ou suffisamment gros, est également une solution d'urgence facile à mettre en œuvre. Ces amarrages, exposés pour la plupart directement au fil de l'eau, supporteront en effet les agressions aquatiques (crués, fonte des neiges) qui rendront les anneaux fongibles rapidement inutilisables. Pour cette raison, on préférera, quand cela est possible, un système largable du bas afin de ne rien laisser en place.

2.3.3. Amarrages mécaniques.

Ces amarrages sont les plus souvent utilisés, et notamment en site école. Lors de plans d'équipement, la nature de la roche fait partie des considérations afin de déterminer la nature des ancrages à placer et le choix des scellements (pour les broches scellées).

Pour l'utilisation de broches et goujons, l'utilisation du perforateur s'accommode de toutes les roches. Toutefois, la dureté de celles-ci influera sur la longévité des batteries ou l'autonomie en carburant et il faudra prévoir le nécessaire pour réaliser les travaux envisagés. La longueur des amarrages par expansion sera également adaptée en fonction du support. En roche dure, la longueur pourra être réduite (65 mm). En roche tendre, seule l'utilisation de longueurs importantes (> 80 mm) assurera un ancrage de qualité. Pour les amarrages scellés, l'absence

de contrainte forte induite (zone d'influence de l'expansion) pour le maintien de l'ancrage rend uniquement significatif le comportement élastique de la roche. (Figures)

La confrontation la plus fréquente entre le leader du groupe et la roche sera en situation d'urgence ou en équipement d'appoint, au marteau ou au coin. Si le recours à la pose d'une cheville autoforeuse est nécessaire, la dureté de la roche va influencer sur le temps nécessaire et sur l'usure de la cheville. Ainsi, il faudra deux fois plus de temps dans une roche plutonique à quartz, une quartzite ou encore une dolomie que dans un granitique à feldspath, un calcaire tendre ou un grès poreux. Une roche dure provoque également facilement des éclats par altération de la zone de surface. Ceci implique un bon choix ou une préparation de la surface avant d'attaquer le forage principal proprement dit. Il n'est pas rare en granite très dur et compact (granodiorite) de devoir utiliser deux chevilles pour réaliser un seul amarrage. Pour l'usage des pitons, il est nécessaire de connaître la nature de la roche afin de prévoir les pitons adaptés. En roche dure, les fissures sont fines et peu profondes, ce qui nécessite l'usage de piton en acier dur (couleur noire) avec des longueurs variables afin d'assurer une pose efficace. En roche tendre, les fissures sont plus larges, plus profondes et tortueuses, et l'on fera usage de pitons en acier doux (couleur argentée) et de grande longueur. (Figures)

Les crochets goutte d'eau et les coinces (figures) peuvent également servir, moyennant une roche proposant des fissures ouvertes : granite fracturé, calcaire tendre. Dans les flyschs, on se méfiera de ces moyens qui risquent de déchausser de gros blocs coincés mais pas forcément solidaires.

3. Références.

A. Foucault et J.-F. Raoult, 1984. Dictionnaire de Géologie. Edition Masson.