

VII. Les roches. Les roches métamorphiques

VII.1. Définitions

Le terme **métamorphisme** (du grec meta = changement et morph = forme) désigne la transformation d'une roche à l'état solide avec formation de nouveaux minéraux et/ou acquisition de nouvelles textures et structures sous l'effet de conditions de température et de pression différentes de celles où elle s'est formée.

Le métamorphisme peut affecter :

- des roches sédimentaires, on parlera dans ce cas de roches **paramétamorphiques** ;
- des roches magmatiques, on parlera de roches **orthométamorphiques** ;
- des roches métamorphiques, on parlera dans ce cas de roches **polymétamorphiques**.

La limite inférieure du métamorphisme correspond à une température de 200°C et une pression de 300 MPa (3000 atmosphères ou 3 kb). Au dessous de cette limite, c'est le domaine de la diagenèse.

La limite supérieure du métamorphisme correspond à la fusion partielle de la roche. Quand la roche entre en fusion, on entre dans le domaine du magmatisme.

VII.2. Degrés du métamorphisme (grade)

Le grade ou degré du métamorphisme est le terme utilisé pour décrire les conditions de température et de pression sous lesquelles la roche s'est formée (figure 1).

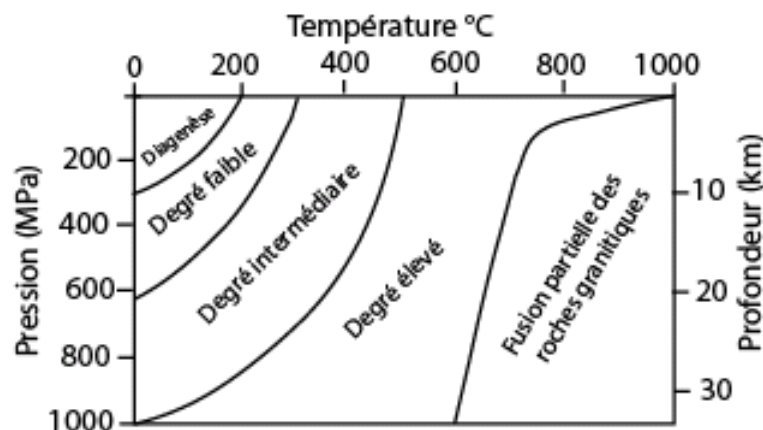


Figure 1 : degrés du métamorphisme

- Le métamorphisme de faible degré se produit à des températures situées entre 200 et 320°C, à relativement faible pression. Les roches du faible degré de métamorphisme sont caractérisées par la présence de minéraux hydratés (minéraux qui contiennent de l'eau dans leur structure cristalline) : minéraux argileux, serpentine, chlorite.
- Le métamorphisme de degré élevé se produit à des températures supérieures à 320°C à relativement forte pression. Avec l'augmentation du degré du métamorphisme, les minéraux hydratés deviennent moins hydratés en perdant H₂O, avec apparition de minéraux non hydratés quand le degré du métamorphisme devient très élevé. Exemple de minéraux faiblement hydratés et non hydratés qui caractérisent le métamorphisme de degré élevé : la muscovite, minéral hydraté qui disparaît aux degrés très élevés ; la biotite, minéral hydraté qui demeure stable à des degrés très élevés du métamorphisme ; le pyroxène, minéral non hydraté ; le grenat, minéral non hydraté.
- Lorsque les roches enregistrent une augmentation de la pression et de la température, on parle de métamorphisme **prograde**. Ce métamorphisme indique l'enfouissement de la roche.
- Lorsque les roches enregistrent une diminution de la pression et de la température, on parle de métamorphisme **rétrograde ou rétro-métamorphisme**. Ce métamorphisme indique l'exhumation de la roche.

VII.3. Les facteurs du métamorphisme

Les principaux facteurs du métamorphisme sont :

- **La température** : elle augmente avec la profondeur (le gradient géothermique est de 30°C/km) et/ou avec la mise en place de roches plutoniques ou volcaniques.
- **La pression** : elle augmente également avec la profondeur. Elle est due au poids des couches et les roches soumises à cette pression ne présentent pas d'orientation préférentielle : c'est la **pression lithostatique** (1 kbar à une profondeur de 4 km, 5 kb à 15 km et 10 kb à 30 km pour une densité moyenne de la croûte de 2,5). La pression peut également augmenter du fait de contraintes (dans les régions à forte activité tectonique, les chaînes de montagnes par exemple). On parle alors de **pressions ou contraintes orientées**. Lorsqu'une roche est soumise à des pressions orientées, les minéraux s'orientent selon des plans définis (figure 2), et la roche présentera un aspect feuilleté : **schistosité ou foliation**.

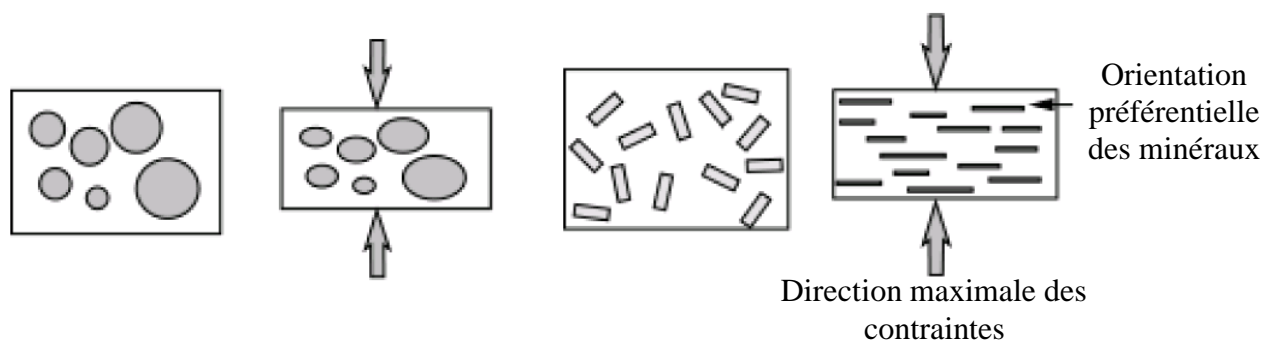


Figure 2 : roches soumises à des contraintes orientées

- **Les fluides** : les vides entre les grains dans une roche sont toujours remplis d'un fluide, en général du H₂O avec des minéraux dissous. Ce fluide est très important pour les processus métamorphiques parce qu'il peut transporter des composants dissous (en solution) et de la chaleur et il augmente radicalement la vitesse des réactions entre minéraux. Le métamorphisme d'une roche qui ne contient pas de fluide produit très peu de réactions.
- **Le temps** : la plupart des réactions métamorphiques exigent des millions d'années afin d'être complètes. Les expériences de laboratoire ont montré que les hautes températures et pressions et les temps de réaction importants produisent de gros grains. Les roches métamorphiques à gros grains sont donc les produits de conditions métamorphiques durant beaucoup plus longtemps, probablement plusieurs millions d'années.

VII.4. Types de métamorphisme (tableau 1)

- **Métamorphisme de Contact (ou thermique)** (figure 3)

Le métamorphisme de contact se déroule autour des intrusions magmatiques et résulte de l'augmentation de la température au contact des magmas. Ce type de métamorphisme entraîne la recristallisation chimique de roches encaissantes (beaucoup de réactions entre minéraux) avec très peu de déformation. On appelle **auréole métamorphique**, l'enveloppe de roches métamorphosées qui entourent une intrusion. Elle est épaisse de quelques mètres à quelques centaines de mètres (la largeur de l'auréole dépend de l'importance de la masse intrusive). Le degré du métamorphisme augmente dans toutes les directions quand on s'approche de l'intrusion. Les roches métamorphiques dans ces auréoles sont typiquement à grain fin (le temps n'est pas une variable importante pendant un métamorphisme de contact): on les appelle **cornéennes**. Ce type de métamorphisme est à haute température, basse pression.

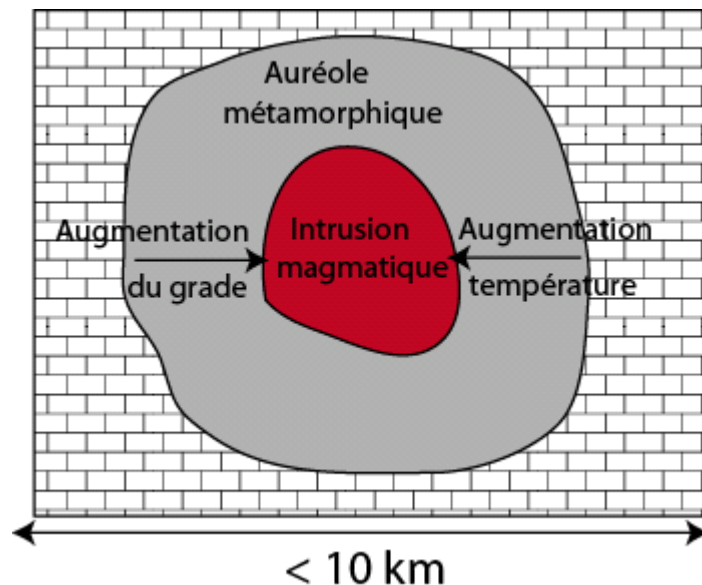


Figure 3 : métamorphisme de contact

- **Métamorphisme régional (ou général)** (figure 4)

Le métamorphisme régional affecte de grandes superficies (plusieurs dizaines de milliers de kilomètres carrés) qui sont le siège de déformations tectoniques et contraintes orientées. Il se produit au cœur des grandes chaînes de Montagnes sous des conditions de haute température-haute pression. Les roches métamorphiques formées sont toujours orientées et très déformées (schistes, micaschistes, gneiss).

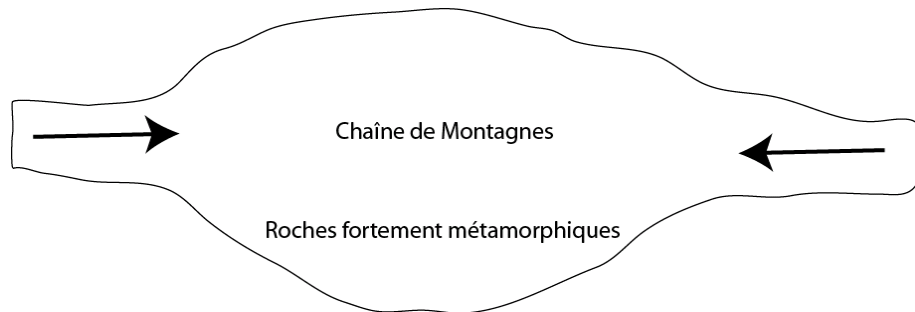


Figure 4 : le métamorphisme régional se produit au cœur des chaînes de Montagnes

- **Métamorphisme cataclastique (ou dynamique)**

Ce type de métamorphisme se produit dans les zones de failles ou des grands accidents cassants. Il est lié aux contraintes et déformations qui se développent dans ces zones de failles et à l'augmentation de la température due aux frictions. Les roches situées dans ces zones sont broyées et pulvérisées ce qui conduit à la formation de roches appelées : brèches **tectoniques** et **mylonites**. Ce type de métamorphisme est très localisé, limité dans l'espace.

- **Métamorphisme hydrothermal**

Il est lié à des circulations de fluides (eau) à température élevée. Ces fluides réchauffent les roches traversées et leur apportent des éléments chimiques (phénomène appelé métasomatose). Ce type de métamorphisme se rencontre dans les régions volcaniques.

- **Métamorphisme d'enfouissement**

Ce type de métamorphisme se produit dans des bassins sédimentaires profonds à la base des séries sédimentaires épaisses de plusieurs kilomètres lorsque la température dépasse 300°C en l'absence de contraintes orientées. Ce métamorphisme est peu marqué et se manifeste par la formation de nouveaux minéraux (essentiellement les zéolithes). Le métamorphisme d'enfouissement suit la diagenèse et précède le métamorphisme régional.

- **Métamorphisme d'impact (ou de choc)**

Il est dû à la chute de grosses météorites et se produit dans des conditions de très hautes pressions. Les roches formées au point d'impact sont des impactites et renferment des minéraux caractéristiques de très hautes pressions comme la coésite, la stishovite et le diamant. L'impact provoque aussi l'apparition de plans de déformations dans des minéraux comme le quartz (quartz choqués). Les roches peuvent acquérir des structures particulières appelées shatter-cones. Ce type de métamorphisme est très rare.

Tableau 1 : comparaisons entre les différents types de métamorphisme

Type	Description	Effets	Exemples de roches ou minéraux	T	PO	PL	F
Contact	Forte augmentation de la température autour des intrusions magmatiques	Apparition de nouveaux minéraux sans orientation de la roche	Cornéennes	***			
Régional	Métamorphisme de fort degré caractéristique des chaînes de Montagnes.	Roches subissant une augmentation de la température et de la pression et sont toujours orientées	Ardoises Micaschistes Schistes Gneiss	***	***	***	*
Enfouissement	Métamorphisme se produisant à grandes profondeurs à la base d'épaisses couches sédimentaires	Transformations minéralogiques sans changement structurales	Zéolithes	*		***	*
Cataclastique	Intéresse de faibles volumes de roches le long des surfaces de failles	Minéraux orientés, bréchification	Mylonites Brèches tectoniques	*	**		
Hydrothermal	Dues à la circulation de fluides qui apportent des éléments chimiques	Métasomatisme (changement dans la composition, chimique des minéraux)	Skarns	*			***
Impact	Se produit dans les lieux de chutes de grosses météorites	Choc intense produisant des minéraux denses (de hautes pressions) à la surface de la Terre	Shatter cones Quartz choqués Stishovite Coésite Diamant	***	***		

T : température ; PO : pression orientée ; PL : pression lithostatique ; F : fluides.

VII.5. Classification des roches métamorphiques

Les roches métamorphiques sont soumises à des températures et/ou pressions différentes de celles où elles se sont formées. Les roches se transforment à l'état solide. Ces transformations sont d'ordre :

- **minéralogiques** avec apparition de nouveaux minéraux qui sont plus stable dans les nouvelles conditions de température et/ou pression.
- **structurale** avec recristallisation de minéraux et/ou alignement des minéraux selon des plans bien définis due à l'application de contraintes orientées.

Une classification simplifiée des roches métamorphiques est basée sur la structure de la roche : roche **orientée (ou foliée) ou non orientée**.

Les roches orientées sont classées selon le grade (degré) du métamorphisme (tableau 2) : la granulométrie des grains minéraux augmente avec le degré du métamorphisme.

On distingue les structures orientées suivantes :

- **La schistosité** : feuilletage plus ou moins serré de certaines roches acquis sous l'influence de contraintes tectoniques orientées, en particulier celles qui prédominent au sein des chaînes de montagne en formation. La texture est alors caractérisée par une orientation préférentielle des minéraux, dont l'aplatissement ou l'allongement se développent dans une même direction.
- **La foliation** : structures de roches métamorphiques, où à la schistosité s'ajoute une différenciation pétrographiques entre les feuillets. On aura une alternance de bandes claires et sombres, chaque bandes étant caractérisée par des minéraux particuliers (exemple gneiss avec alternance de bandes quartzo-feldspathiques et bandes micacées).

Tableau 2 : Classification des roches foliées (orientées) (figure 5)

Conditions du Métamorphisme	200-300°C	300-450°C	> 450°C
Degré du métamorphisme	Faible	Moyen	Elevé
Nom de la roche	Ardoise	Schiste	Gneiss
Description de la roche	Les minéraux sont invisibles à l'œil nu. La couleur de la roche est foncée et montre un clivage caractéristique. Transformation des pélites et argiles.	Les minéraux sont de tailles moyennes. Les micas sont souvent visibles. Résultent de la transformation de roches argileuses, ardoises, granites et basaltes.	Roches à grains grossiers, foliées avec alternance de bandes claires et sombres. Les bandes peuvent être plissées. Résultent de la transformation de roches argileuses, schistes et granites.

Les roches non orientées sont classées selon leur composition chimique (tableau 3). Cette composition dépend de la nature de la roche mère ou originelle appelée : **protolithe**.

Tableau 3 : Classification des roches non orientées (figure 5)

Nom de la Roche	Marbre	Quartzite	Anthracite
Minéral	Calcite (CaCO_3)	Quartz	Carbone cristallin
Description de la roche	Roche dure à gros grains. Résulte de la transformation du calcaire et de la dolomie	Roche dure à gros grains. Résulte de la transformation du grès.	Roche dure, noire. Résulte de la transformation du charbon.

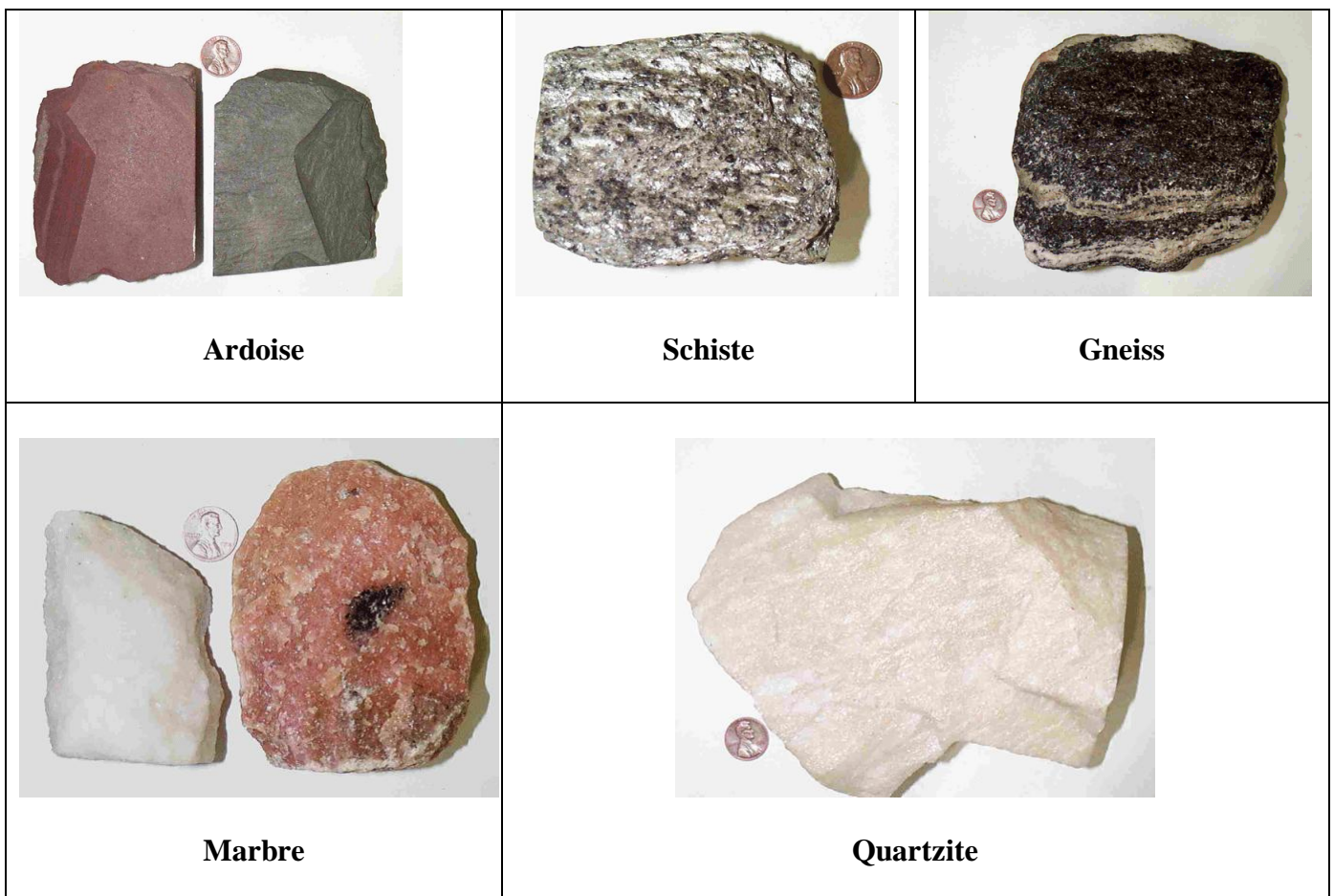


Figure 5 : Principales roches métamorphiques