



Les métamorphoses des roches

Qu'est-ce que le métamorphisme ?

Lorsqu'une roche est soumise à une augmentation de pression et de température, soit à la suite d'un enfouissement profond sous d'autres roches, soit qu'elle ait été exposée aux effets calorifiques de la proximité d'une intrusion magmatique, elle subit une transformation que les géologues appellent **métamorphisme**. L'aspect de la roche change et un nouvel assemblage minéralogique apparaît au détriment de celui qui existait auparavant. L'ensemble de roches qui ont subi les effets du métamorphisme constituent **les roches métamorphiques**.

On distingue deux types de métamorphisme :

- **le métamorphisme régional**, provoqué par une augmentation de pression et de température sans modification globale importante de la composition chimique,
- **le métamorphisme de contact**, limité dans l'espace à la proximité d'une intrusion magmatique, marqué principalement par une augmentation de la température sans augmentation de pression et par des apports chimiques silicatés provenant du magma.

Toutes les roches, quelle que soit leur origine, sont susceptibles de subir les effets du métamorphisme à un moment quelconque de leur évolution.

L'enfouissement des roches peut être le fait de l'accumulation d'épaisseurs considérables de sédiments dans un bassin de sédimentation ou celui de la superposition de nappes de plis lors de la formation de chaînes de montagnes.

Où commence le métamorphisme, où finit-il ?

La diagenèse, cette transformation à basse température d'un sédiment meuble en une roche consolidée, pourrait déjà être considérée comme un début de métamorphisme. Toutefois, les pétrographes ont établi une coupure arbitraire et ne considèrent comme appartenant au métamorphisme que les phénomènes qui se déroulent au-dessus de 100° C et de 1 kb (= 1'000 bars)¹. À l'opposé, la fusion partielle ou totale d'une roche sous l'effet d'une augmentation très importante de la température constitue le terme extrême du métamorphisme. Ce sont alors les processus caractérisant la genèse des roches éruptives qui entrent en jeu.

¹ Un bar est l'équivalent de 1 kilo par cm², un kb vaut mille bars.

Les causes du métamorphisme

La température s'élève avec la profondeur



Depuis des siècles déjà, les mineurs avaient constaté que la température des roches augmentait au fur et à mesure qu'on s'enfonçait plus profondément dans le sous-sol de la croûte terrestre. Les mesures effectuées montrent que la température s'élève en moyenne de 1° C chaque fois qu'on descend de 33 mètres. Au milieu du tunnel du Simplon par exemple, la température de la roche est de 52° C. Cette augmentation n'est pas uniforme sur toute la Terre : elle est plus importante dans les régions volcaniques ou le long de failles importantes, plus faible dans les régions constituées de roches très anciennes.

La pression augmente

Le poids des roches impose une augmentation de la pression d'environ 250 à 300 bars chaque fois qu'on s'enfonce de 1'000 mètres. Cette pression est de type lithostatique², c'est-à-dire qu'elle s'exerce d'une manière identique dans toutes les directions de l'espace. L'augmentation de la pression favorise la formation de minéraux denses.

Ainsi, avec l'augmentation de la pression, le disthène, Al_2SiO_5 , se développe au détriment de l'andalousite, qui a la même composition chimique mais qui est moins dense.



Disthène, minéral de haute pression

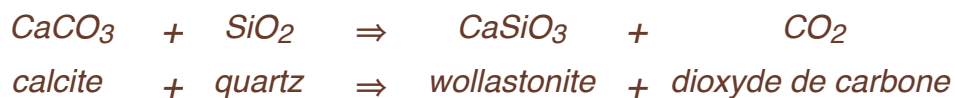
En plus de la pression lithostatique, les roches sont très souvent soumises à des pressions orientées dues aux poussées unidirectionnelles qui s'exercent sur elles lors de la formation des chaînes de montagne. Les pressions orientées

² Analogue au terme hydrostatique qui implique le poids d'une colonne d'eau, le terme lithostatique désigne la pression produite par le poids de la colonne de roche sus-jacente.

provoquent la fissuration des roches. Celle-ci favorise la circulation de fluides et facilite du même coup les transformations chimiques au sein de la roche. Les pressions orientées sont aussi responsables de l'apparition de la schistosité, cette structure en feuillets qui caractérise de nombreuses roches métamorphiques.

Les fluides s'activent aussi

Sous l'effet de la chaleur, l'eau qui imprègne les roches ainsi que celle renfermée dans de nombreux minéraux, en particulier les argiles, les micas et les amphiboles, est libérée, devient active, facilitant et accélérant les échanges chimiques entre minéraux. De même, le CO₂ libéré par la dissociation des carbonates, facilite les déplacements chimiques au sein de la roche. Par exemple, la réaction entre de la calcite et le quartz aboutit à la formation de wollastonite et libère du gaz carbonique (CO₂) selon le schéma suivant :



Ce sont de nombreuses réactions de ce type qui modifient les assemblages minéralogiques au sein d'une même roche. Les constituants fluides jouent donc un rôle prépondérant dans ces transformations. Sans eux, le métamorphisme serait presque inexistant.

Les effets du métamorphisme

Des minéraux nouveaux apparaissent

Au cours du métamorphisme, des minéraux nouveaux se développent au détriment des anciens assemblages minéralogiques. Certains d'entre eux sont spécifiques d'une origine métamorphique, comme le talc, l'actinote, la serpentine, les grenats, le disthène, l'andalousite, la sillimanite, la wollastonite, la cordiérite, ou encore le corindon. D'autres au contraire, bien qu'apparaissant au cours du métamorphisme, ne sont pas spécifiques du phénomène car on les trouve en abondance dans les roches éruptives. C'est le cas des feldspaths, de la muscovite, de la biotite, de la hornblende ou du quartz.

Ce sont les témoins de l'intensité du métamorphisme

L'apparition de nouveaux minéraux dépend de la composition minéralogique originelle de la roche et de l'intensité du phénomène. Un métamorphisme faible

voit se former le talc, la chlorite, l'épidote. Puis, lorsque le phénomène s'intensifie, on voit apparaître les grenats, le disthène, les micas, alors que la staurotide, la sillimanite, ou le corindon caractérisent des conditions d'un métamorphisme intense.

Les conditions de formation de ces minéraux sont bien connues et leur assemblage est le témoin des conditions de température et de pression auxquelles la roche a été soumise. Pour les géologues, ces minéraux jouent les rôles de thermomètre et de baromètre.

Principaux minéraux indicateurs du métamorphisme			
Roche originelle	Intensité du métamorphisme		
	faible	moyen	intense
sédiments argileux (séquences pélitique et quartzo-feldspathique)	quartz chlorite muscovite albite	quartz muscovite biotite feldspath almandin disthène staurotide sillimanite andalousite	quartz orthose biotite pyrope sillimanite disthène corindon
roches calcaro-argileuses (séquence carbonatée)	calcite dolomie magnésite épidote trémolite serpentine talc	calcite épidote trémolite diopside vésuvianite forstérite grossulaire	plagioclases calcite diopside quartz
roches basiques (séquences basique et magnésienne)	albite épidote chlorite calcite actinote prehnite zéolites	albite épidote hornblende plagioclase grenat	plagioclase diopside hypersthène grenat olivine

La schistosité, conséquence du métamorphisme

La plupart des roches métamorphiques ont un aspect feuilleté que les géologues nomment **schistosité**. La texture est alors caractérisée par une orientation préférentielle des minéraux, dont l'aplatissement ou l'allongement se

développent dans une même direction, faisant apparaître ainsi l'aspect schisteux propre à de nombreuses roches métamorphiques. Ce sont les pressions orientées qui provoquent la schistosité, en particulier celles qui prédominent au sein des chaînes de montagne en formation.



Schistosité dans un schiste cristallin due à une pression orientée

Développement des minéraux dans les roches métamorphiques

Lorsque les contraintes mécaniques qui s'exercent sur un minéral ne sont pas uniformes, l'énergie de formation des cristaux est plus élevée sur les faces exposées à la plus forte pression, plus faible sur les faces soumises à une pression moindre. Par raison d'économie d'énergie, la matière aura tendance à migrer des zones de pression élevée vers celles qui sont moins sollicitées. Ce phénomène est beaucoup plus marqué pour les minéraux dont le réseau cristallin est orienté favorablement. Ceux-ci se développent au détriment de ceux dont le réseau n'a pas la bonne orientation. Cela explique pourquoi certains minéraux croissent alors que d'autres disparaissent.

La diversité du métamorphisme

Le métamorphisme régional

Ce métamorphisme affecte des volumes de roches considérables, et les parties qui affleurent en surface s'étendent souvent sur des milliers de kilomètres carrés. Il est dû à l'enfouissement que subissent inéluctablement les roches qui sont entraînées dans les lents bouleversements qu'implique la formation des chaînes de montagnes. Des millions d'années après avoir subi les mécanismes qui les ont métamorphosées à divers degrés, ces roches réapparaissent en surface après que l'érosion ait fait disparaître les couches qui les recouvraient.

Lors du métamorphisme régional (que certains géologues appellent aussi métamorphisme général) la pression et la température augmentent parallèlement. Les roches présentent pratiquement toujours une forte schistosité, témoin des pressions orientées qu'elles ont subies au cours des mouvements orogéniques.

Le métamorphisme de contact

Lorsqu'une masse magmatique se met en place en profondeur, elle apporte avec elle une quantité considérable de chaleur qui va réchauffer les roches avoisinantes. En plus, les parties les plus volatiles du magma ont tendance à migrer vers les roches voisines. L'importance du réchauffement des roches et la quantité des apports silicatés dépendent de la masse de roches intrusives. Plus elle est importante, plus son influence dans le temps sera longue. L'épaisseur de la zone affectée par le métamorphisme varie d'une situation à l'autre : au contact d'un mince filon, la roche encaissante ne sera affectée que sur quelques centimètres alors qu'au contact d'un massif important elle pourra être transformée sur plus d'un kilomètre d'épaisseur.

Par ailleurs, l'influence du métamorphisme diminuant au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la roche magmatique, on va observer une zonation, témoin d'un métamorphisme décroissant. On parle alors d'**auréole de métamorphisme**.

Ce sont les roches calcaire-argileuses qui sont les plus sensibles au métamorphisme de contact. L'apport de solutions silicatées favorise l'apparition de silicates d'aluminium (andalousite, wollastonite), de silicates d'aluminium et de calcium (grossulaire) ou encore de minéraux renfermant du fer ou du magnésium (andradite, forstérite etc...).

Le faciès, expression de l'intensité du métamorphisme

Les roches métamorphiques sont tellement variées dans leur aspect qu'il est difficile d'établir une classification cohérente.

Aussi les pétrographes ont-ils introduit la notion de **faciès métamorphique**, qu'on pourrait définir comme étant l'ensemble des conditions de pression et de température qui ont prévalu lors du métamorphisme d'une roche.

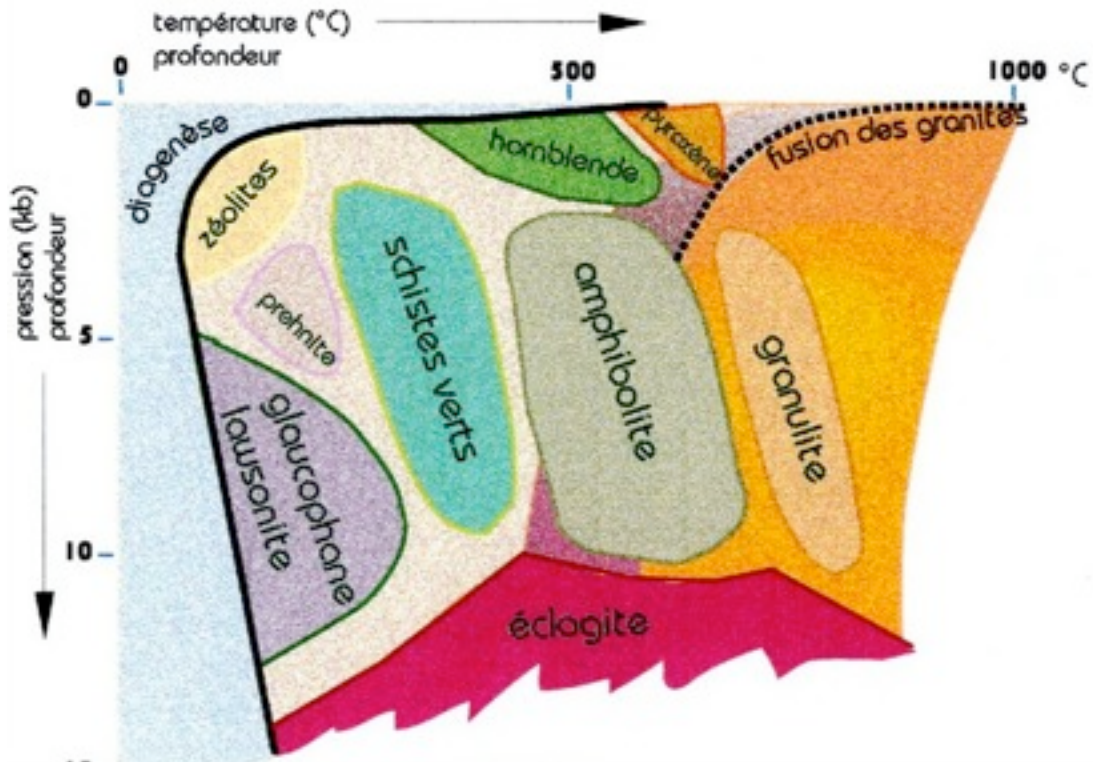


Tableau montrant l'évolution d'une roche de la séquence basique en fonction de l'augmentation de la pression et de la température.

À l'intérieur d'un diagramme "pression température", les différents faciès occupent une surface bien délimitée correspondant à l'apparition de minéraux types de la séquence dite basique³ (choisie pour sa grande sensibilité aux effets du métamorphisme).

Nomenclature des roches métamorphiques

Les roches issues du métamorphisme sont très variées dans leur aspect et dans leur composition minéralogique. Leur nomenclature est compliquée car elle utilise des termes dont certains décrivent la texture, d'autres la composition minéralogique, d'autres encore, les conditions même du métamorphisme.

³ Voir tableau de la page 47

Influence de la roche originelle

La composition originelle des roches soumises au métamorphisme joue un rôle important dans le produit qui en résultera. Selon leur composition initiale, les pétrographes ont subdivisé les roches métamorphiques en un certain nombre de catégories qu'ils ont appelées *séquences métamorphiques*.

La *séquence pélitique*, par exemple, réunit l'ensemble des roches détritiques quartzo-argileuses, la *séquence basique* l'ensemble des roches éruptives pauvres en silice et riches en éléments ferro-magnésiens tels les basaltes, les gabbros ou les péridotites.

Evolution des roches soumises au métamorphisme		
Séquence	Roche originelle	Roche métamorphique
----- métamorphisme croissant ----->		
pélitique	sédiment argileux	⇒ ardoise, phyllade, micaschiste, gneiss
quartzo-feldspathique	grès, arkose, granite	⇒ schiste, gneiss
carbonatée	calcaire ou dolomie	⇒ marbre, skarn
basique	gabbro ou basalte	⇒ schiste vert, amphibolite, éclogite
ultra-basique	péridotite, pyroxénite	⇒ serpentinite, talcschiste, chlorito-schiste

Termes désignant la texture

Bien que désignant une texture, ces termes ont aussi une valeur génétique, car les roches qu'ils décrivent correspondent à des conditions de métamorphisme particulières. En voici quelques-uns :

- Cornéenne** Roche à grain fin d'aspect corné, sans schistosité marquée, caractérisant le métamorphisme de contact.
- Phyllade** Roche à schistosité marquée, à grain fin non visible à l'oeil nu. Ce sont des roches de faible métamorphisme. L'aspect satiné est dû à l'abondance des minéraux micacés. La fissilité, c'est à dire de la tendance de la roche à se débiter selon une même direction, provient de l'alignement des minéraux tabulaires. Le minéral type est la chlorite.
- Schiste** Roche à grain fin à moyen, à schistosité marquée, renfermant de nombreux minéraux lamellaires orientés parallèlement les uns aux

autres. Le quartz montre une tendance à se séparer des autres minéraux et à se disposer en lits fins. Ce sont des roches de métamorphisme moyen. Les minéraux types sont le quartz, la muscovite et la biotite.

Gneiss

Roche massive granulaire à schistosité marquée, dans laquelle des lits de minéraux lamellaires de teinte sombre (biotite, hornblende) alternent avec des lits constitués de minéraux de teinte claire (quartz, feldspath). Les gneiss sont l'aboutissement d'un métamorphisme très intense.



Serpentinite, Tarasp, Suisse



Talcschiste, Carpathes



Schiste à actinote et grenats



Gneiss, Suisse

Termes décrivant la composition minéralogique

*Ce sont des adjectifs dérivés de noms de roches éruptives de composition semblable : **gneiss granitique**, **gneiss dioritique**, ou dérivés de noms des minéraux qui prédominent dans la roche : **schiste micacé** (ou **micaschiste**), **schiste sériciteux**, **talcschiste**.*



Schiste à grenats, Tyrol

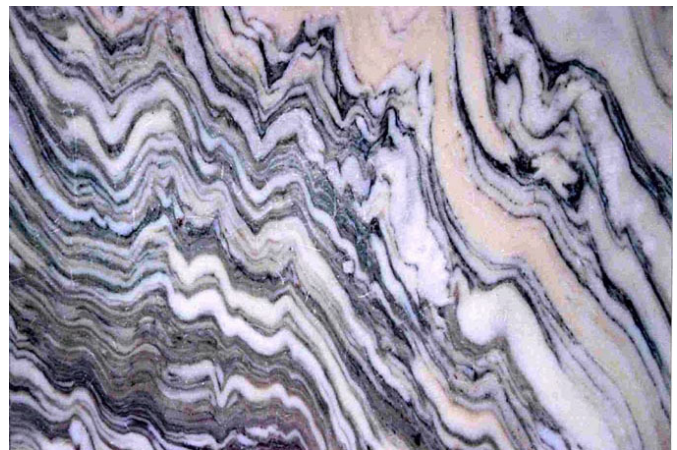
Termes particuliers

Les roches métamorphiques sont si variées, que les termes mentionnés ci-dessus sont insuffisants pour les décrire toutes. Certains termes d'usage courant décrivent simultanément la texture et la composition ou bien encore la prédominance d'une espèce minérale. D'autres encore désignent des ensembles de roches ayant en commun un même type de transformation :

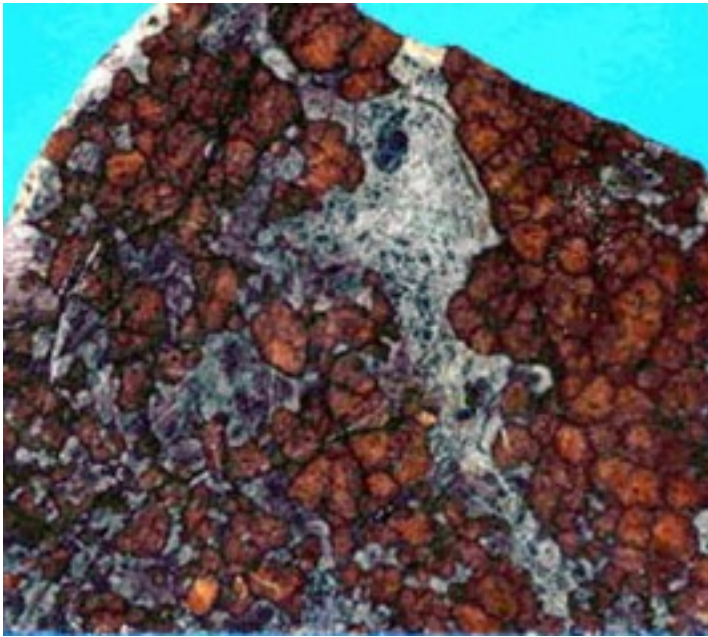
- Marbre** *Roche granulaire à aspect saccharoïde, constituée de grains de calcite ou de dolomite, produite par métamorphisme de contact des calcaires ou des dolomies.*
- Skarn** *Calcaire impur, métamorphisé au contact d'une intrusion magmatique avec apport silicaté important, renfermant de nombreux silicates de calcium : diopside, wollastonite, grenats calciques etc...*
- Quartzite** *Roche compacte presque entièrement constituée de grains de quartz soudés les uns aux autres.*
- Roches vertes** *Terme général désignant les produits métamorphiques des roches basiques profondes ou volcaniques, dont la couleur verte est due aux minéraux ferro-magnésiens (pyroxène, amphibole, olivine, chlorite et serpentine).*
- Amphibolite** *Roche constituée d'amphibole et de plagioclase, témoin d'un métamorphisme moyen à intense d'anciens gabbros ou basaltes.*
- Eclogite** *Roche massive constituée de pyroxène vert et de grenat rouge, provenant d'anciens basaltes ou gabbros, caractérisant un métamorphisme de haute pression.*



Marbre, Carrare



Marbre veiné fortement plissé



Eclogite, Afrique du Sud

C'est le terme le plus intense du métamorphisme régional. La roche originelle est un gabbro,

La vie des roches

La Terre est une planète géologiquement vivante. Aujourd'hui encore, en profondeur, des magmas élaborent les roches éruptives qui apparaîtront à la surface de notre globe dans quelques dizaines de millions d'années. Les volcans crachent les laves qui forment de nouvelles roches volcaniques.

Sur les continents, l'érosion poursuit la destruction des reliefs, fournissant le matériel nécessaire à la formation de nouvelles roches sédimentaires.

Dans les profondeurs des continents, la chaleur, la pression et les infiltrations hydrothermales modifient continuellement les roches en les métamorphisant.

Inlassablement, depuis 4 milliards et demi d'années, la matière minérale est modelée, transformée, détruite puis utilisée à nouveau pour élaborer de nouvelles roches.

*Le mécanisme qui anime cette activité géologique est **la chaleur**. C'est celle qui est encore stockée dans les profondeurs de notre planète et à laquelle s'ajoute celle dégagée par la **radioactivité naturelle** des roches granitiques. Cette chaleur interne est le moteur qui déplace les continents, construit les chaînes de montagne, génère les magmas et produit le métamorphisme.*

*Il ne faut pas oublier non plus **l'énergie solaire** qui est responsable de la destruction des reliefs, de la formation des roches sédimentaires et rend possible l'existence de la vie, elle-même génératrice des roches organogènes.*