

METAMORPHISME

I : Définition et généralités

1- Définition

Métamorphisme

Ensemble des transformations qui entraînent un réarrangement à l'échelle atomique des éléments d'une roche, conduisant à une recristallisation à l'état solide (en présence ou non d'une phase fluide), sous l'effet de variations de température, de pression ou de composition.

Métasomatose

Changement de la composition chimique d'une roche résultant de phénomènes qui la laissent constamment et largement solide.

Protolite

Roche initiale ou roche mère qui, par une série de transformations géothermobarométriques, donne une roche métamorphique.

Exemple : Roches magmatiques

Roches sédimentaires

Roches métamorphiques.

Paragenèse

Association de minéraux syngénétiques et jointifs. Le métamorphisme entraîne la transformation d'une paragenèse initiale en une nouvelle paragenèse.

Une roche métamorphique
=
paragenèse du protolite
+
Paragenèse métamorphique
+
Paragenèse d'altération

Lorsque le métamorphisme affecte une roche sédimentaire, on parle de **paramétamorphisme**.

Exemple 1 : paragneiss dérivé d'un grès métamorphisé.

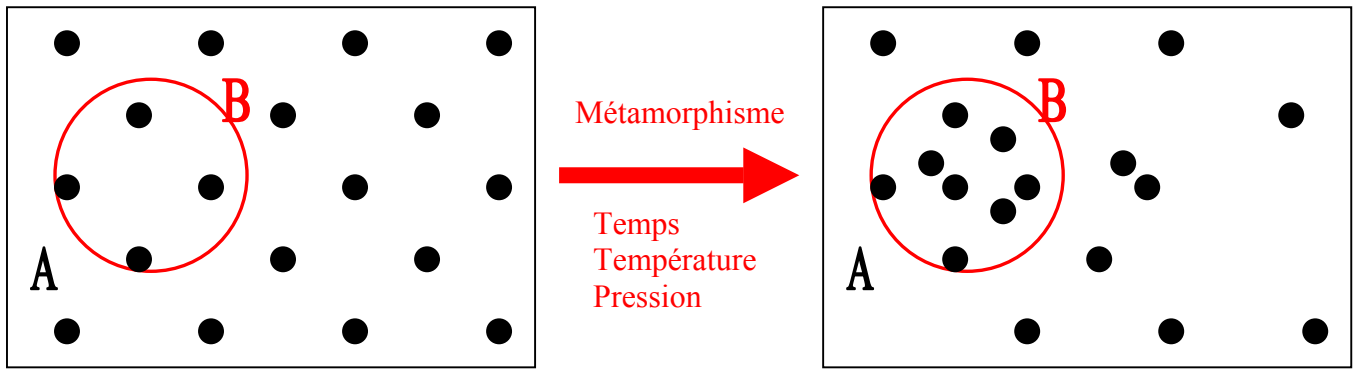
Lorsque le métamorphisme affecte une roche magmatique, on parle de **d'orthométamorphisme**.

Exemple 2 : Orthogneiss dérivé d'un granite métamorphisé.

Lorsque plusieurs phases métamorphiques affectent une roche, on parle de **polymétamorphisme**.

2- Le métamorphisme : un processus de transformation allochimique

Selon les dimensions de l'objet étudié, il est possible d'envisager un métamorphisme accompagné d'une métasomatose importante.



A = Roche (*massif montagneux par exemple*)

B = Morceau de la roche

3- Altération, diagenèse et métamorphisme

Désagrégation mécanique et altération chimique

Processus destructifs de surface

Paramètres : $< 100^{\circ}\text{C}$ $< 1 \text{ Kb}$

Agents : eaux de surface, température

Diagenèse

Processus non destructifs de surface

Paramètres : $< 100^{\circ}\text{C}$ $< 1 \text{ Kb}$

Agents : eaux de surface

Métamorphisme

Processus non destructif intérieur

Paramètres : $> 100^{\circ}\text{C}$ $> 1 \text{ Kb}$

Agents : température, pression, liquides circulants

4- Remarque

Différenciation en profondeur entre diagenèse et métamorphisme.

- Une zone transitoire entre diagenèse et métamorphisme appelée **l'anchizone** où se produit **l'anchimétamorphisme**.
- La cristallinité de l'illite depuis les phases argileuses jusqu'aux phases micacées.

II : Pression, température et eau : les variables du métamorphisme

1- La pression

La **pression** est une force par unité de surface exprimée en N/m^2 .

La **pression atmosphérique** n'a aucun effet sur les processus métamorphiques.

La **pression hydrostatique** (pression solide P_s) augmente avec l'enfouissement d'une roche avec la profondeur.

Champ de contraintes tectoniques isotropes :

- Pression lithostatique de **type hydrostatique** ou **pression de confinement**.
- **Equilibre dynamique** et **isotropie de contrainte**, sans cisaillement ou déformation.

Champ de contraintes tectoniques anisotropes :

- Champ de contraintes tectoniques (contexte géodynamique)
- **Surpression tectonique** orientée.

2- température

a) Le gradient géothermique

Valeur moyenne 1°C/30m (1°C/10m ou 1°C/60m)

Origine de la chaleur interne : chaleur d'accrétion planétaire + chaleur latente de cristallisation du noyau + énergie radioactive.

« Une roche qui est enfouie en profondeur subit une hausse progressive de la température »

b) Les hausses ponctuelles de température : le contexte géodynamique

Ce sont des zones où les processus magmatiques plutoniques et volcaniques sont importants.

- Zones de **rifting** (rift)
- Zones d'**accrétion** (dorsale océanique)
- Zones de **subduction** (arc et cordillère volcanique)
- Zones de **collision** (racine crustale des orogènes)
- Zones de **points chauds** (volcanismes intra-plaque)

« Les roches encaissantes au contact des réservoirs magmatiques subissent une hausse de température »

3- L'eau

- Agent diffuseur d'éléments chimiques
- Agent réactif
- Agents de rupture des liaisons faibles

« L'eau accélère les échanges d'ions entre les phases minérales en transformation »

Eau interstitielle (diagenèse)

Eau secondaire (réaction métamorphique)

Eau (molécule hydromagmatophile)

Eau marine (hydrothermalisme marins)

Eau continentale (hydrothermalisme continental)

III : Les différents types de métamorphisme

1- Le métamorphisme général (= métamorphisme régional)

Structure de très grandes dimensions.

Liens avec un contexte géodynamique régional.

a) Le métamorphisme d'enfouissement

Il se trouve à la base de séries sédimentaire épaisses non plissées (plusieurs Kms) (400 – 450°C)

b) Le métamorphisme thermodynamique

- Chaînes de montagnes. Les protolites subissent de très fortes contraintes tectoniques orientées (et des augmentations thermiques plus ou moins importantes) (jusqu'à 700 – 800°C)
- **Les roches sont plissées et/ou faillées**
- **Schistosité de flux et foliation de structure**

Migmatites (fusion partielle)

2- Le métamorphisme de contact (= métamorphisme thermique ou thermométamorphisme)

Augmentation thermique (200 – 800°C) au contact des intrusions magmatiques (plutoniques, filoniennes)

Auréoles métamorphiques (cm, hm)

- **Paragenèse minérales de haute température au contact des intrusions**
- **Métasomatose importante**

Exemple : les cornéennes, les schistes tachetés et noduleux, les quartzites et les marbres de Flamenville issues de grès, de schistes et de calcaire.

3- Le métamorphisme de pression (ou dynamique)

- **Augmentation de pression**, dans des **plans de faille ou de cassure**
- Schistosité de fracture et bréchification

Mylanite

4- Le métamorphisme hydrothermal

- Zones de circulation de **fluides à haute température** (x 100°C) en relation avec les zones volcaniques et plutoniques.

Métasomatose fréquente.

Exemple : serpentinitisation des roches basiques et ultra-basiques de la croûte océanique.

5- Le métamorphisme d'impact (= métamorphisme de choc ou UHPM (ultra High pressure Metamorphisme))

- **Augmentation de pression** dans la zone d'impact d'une météorite (100m – 150 Km)
- Paragenèses minérales de haute pression dans la zone du cratère :
 - Coésite (30 Kb)
 - Stishovite (100 Kb)
 - Quartz clivé
 - Phase vitreuse de fusion
 - Carbone cristallisé en diamant

Impactite

6- En résumé

Migmatites = volume rocheux qui a subi de forte pression et de forte température. Les minéraux de quartz et de feldspaths sont les premiers à fondre. On obtient alors un mobilisat acide (gouttelettes) et un restat (reste de minéraux, parfois micas noirs, amphiboles)

Métamorphisme régional :

- Zone métamorphisée étendue (montagnes, bassin sédimentaire)
- Processus isochimiques
- Isotropie/anisotropie des structures formées
- Passage progressif vers la fusion partielle (migmatites)

Métamorphisme de contact :

- Zone métamorphisée restreinte (filons, plutons)
- Processus allochimique
- Isotropie/anisotropie des structures formées
- Gradient métamorphique dans l'auréole de contact.

Métamorphisme de pression :

- Zone métamorphisée restreinte (failles)
- Processus isochimiques
- Anisotropie des structures formées
- Bréchification-schistosité (mylonites)

Métamorphisme d'impact :

- Zone métamorphisée plus ou moins restreinte
- Anisotropie des structures formées
- Fusion partielle et clivage minéral.

IV : Structure des roches métamorphiques

1- Définitions et généralités

Schistosité : feuillage plus ou moins serré présenté par certaines roches métamorphiques, distinct de la stratification, et selon lequel elles peuvent se débiter en lames plus ou moins épaisses et régulières.

Foliation : structure de certaines roches métamorphiques où, à la schistosité, s'ajoute une différenciation pétrographique entre des lits constitués de minéraux différents.

2- Texture cristallines

Texture granoblastique

Cristaux de tailles sensiblement égales en grains indentés et fortement engrenés sans orientation préférentielle apparente.

- Quartzite
- Marbre
- Cornéenne

Texture lépidoblastique

Cristaux en **lamelles**, empilés les uns sur les autres, forment des **lits parallèles** entre eux, et dont la direction générale est celle des plans de schistosité ou celle de foliation.

- Schiste

Texture porphyroblastique

Cristaux de grandes tailles, porphyroblastes, dans une matrice de cristaux plus fins.

Texture granolépidoblastique

S'applique à la structure des roches métamorphiques montrant des lits de cristaux en lamelles et parallèles alternant avec des lits de minéraux engrenés et de même taille.

- Gneiss
- Micaschiste.

V : grades, paragenèse, faciès et séquences métamorphiques

1- Les grades

Une roche peut évoluer dans divers domaines de température et de pression et être exposée à divers degrés (grades) de métamorphisme.

Métamorphisme prograde

Transformations métamorphiques se produisant dans un contexte d'augmentation de la pression et de la température.

Métamorphisme rétrograde

Transformation métamorphique se produisant dans un contexte de diminution de la pression et de la température.

Selon Miyashiro (1961), le **métamorphisme prograde** peut se décliner en **trois grands types** :

- **Métamorphisme de basse pression et température variables de type RYOCKE-ABUKUMA**
(andalousite-sillimanite) chaînes récentes et zones de contact.
- **Métamorphisme de haute température et moyenne pression de type BARROWIENDALRADIEN**
(Distène-sillimanite) chaînes anciennes hercyniennes)
- **Métamorphisme de basse température et haute pression de type FRANCISCAIN**
(Glaucofane-lawsonite-distène) Ophiolites intramontagneuses.

2- Paragenèses minérales

L'immense domaine pression/température des roches métamorphiques regroupe les zones de stabilité de différents minéraux.

Ces minéraux sont constitutifs des paragenèses minérales diverses qui se forment à partir des paragenèses des protolites.

Les minéraux du métamorphisme sont très nombreux et leurs domaines de stabilités se superposent à de nombreuses reprises.

Il est possible de déterminer des associations de minéraux typiques d'un domaine pression/température, d'un grade métamorphique ou d'une lignée évolutive typique.

Remarque 1 : Le point triple des silicates d'alumine

- 3 minéraux (silicates d'alumines) dans 3 domaines de stabilité pression/température on chevauchants et limités par un point triple.
- Minéraux polymorphes et exclusivement métamorphiques.

(1) Andalousite (MT-HT, BP)

(2) Sillimanite (-HT, P variable)

(3) Disthène (Kyanite) (T variable, MP-HP)

Remarque 2 : Les isogrades des minéraux repères

Existence de **minéraux repères** caractéristiques de divers domaines métamorphiques.

- Indispensables pour préciser **l'intensité** du métamorphisme qui a permis la formation de roches métamorphiques.
- Possibilité de cartographier les roches métamorphiques associées.
- Possibilité de tracer des lignes de métamorphisme d'égale intensité ou **isogrades**.

3- Faciès

Faciès métamorphique = ensemble des roches métamorphiques des compositions chimiques variées mais formées de façon stable dans un domaine pression/température bien défini.

- 8 à 11 faciès

Un faciès donné = une série de paragenèses minérales stables caractéristiques.

Exemple : le gneiss (quartz, micas) et l'amphibolite (amphibole) appartiennent au faciès « amphibolite ».

Gneiss issu d'une roche acide.

Amphibolite issue d'une roche basique.

- Faciès à zéolites (BT, BP)
- Faciès à préhnite et pumpellyite (BT, BP)
- Faciès schistes bleus (BT, HP)
- Faciès schistes vert (MP, MT)
- Faciès amphibolites (HT, MP)
- Faciès granulites (HT, MP)
- Faciès Eclogites (HT, HP)
- Faciès cornéennes (T variable, BP)
- Faciès sanidinites (HT, BP)

4- Les séquences ou séries

Environ 8 séquences métamorphiques.

La séquence ou série d'une **roche métamorphique** dépend de la nature du protolite.

Une séquence contient l'ensemble des roches métamorphiques issues d'un même protolite.

Exemple : Argile => chloritoschiste => (para)gneiss à biotite (séquence pélitique)

Exemple : protolite => faciès schiste vert => faciès amphibolite (séquence pélitique)

Différentes séquences :

- Pélitique (roches sédimentaire argileuses)
- Siliceuse (roches sédimentaire quartzeuse)
- Calcaro-pélitique (roches sédimentaire marneuses)
- Carbonatée (roches sédimentaire carbonatées)
- Grauwackes (roches sédimentaire détritiques)
- Conglomérats (roches sédimentaire grossières)
- Ignée felsique (roches magmatiques acides)
- Ignée mafique (roches magmatiques basiques)

Exemple : La séquence pélitique de Flammanville

Pélites (protolite) => Schiste à cordiérite => schiste noduleux à andalousite => cornéenne

Cette séquence et une séquence appartenant à un processus prograde de type Albukuma.

Elle traverse différents grades de métamorphisme, mais reste dans le domaine de thermométamorphisme.

Elle transite dans un large faciès : le faciès des cornéennes.