

# Le métamorphisme

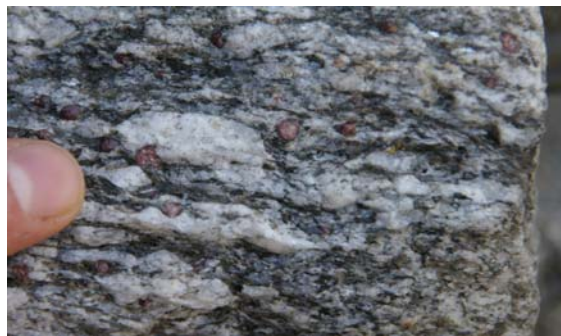
Ce complément sur le métamorphisme répond au point suivant du syllabus des IESO : « La capacité de comprendre la signification de phénomènes locaux métamorphiques, dans le contexte de la tectonique des plaques. »

## 1- Définition du métamorphisme

Le métamorphisme est la transformation à l'état solide de roches préexistantes. Ces transformations sont principalement de deux types :

- des transformations minéralogiques
- des transformations dans la structure de la roche

Exemple de ces transformations :



### Roche magmatique d'origine : un granite.

- Pas d'orientation des minéraux
- Minéraux classiques du granite : Quartz, Feldspath, Biotite



### Roche métamorphique issue des transformations de ce granite :

- Orientation des minéraux
- Apparition d'un nouveau minéral : le grenat (en rouge)

Ces transformations métamorphiques vont se faire lorsque les roches d'origine sont soumises à des variations de paramètres physiques du milieu tels que :

- la pression et la température (qui vont entraîner les transformations minéralogiques)
- et les contraintes (qui vont entraîner les changements de structure de la roche)

## 2- Apports de l'étude des minéraux des roches métamorphiques

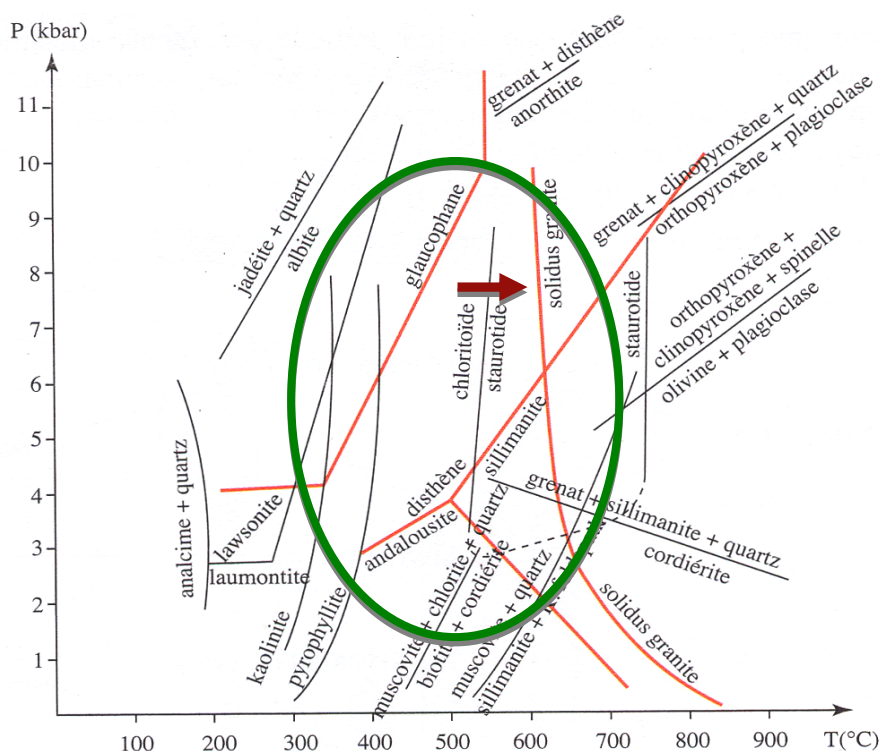
### Etape 1 : déterminer la paragenèse de la roche :

Quelle que soit la roche métamorphique étudiée, on commence par regarder son assemblage minéralogique ou paragenèse.

**Les minéraux étant stables dans une certaine gamme de pression (P) et température (T°),** ils nous donnent une idée des conditions subies par la roche.

Ces conditions d'existence des minéraux sont déterminées expérimentalement en laboratoire : on reporte les résultats dans des grilles qui font apparaître les domaines d'existence des minéraux en fonction des deux paramètres P et T°.

### Etape 2 : chercher dans les grilles le domaine de stabilité des minéraux



Dans cette grille, on a reporté des domaines de stabilité d'un certain nombre de minéraux. Par exemple, dans le secteur entouré en vert :

- à gauche se trouve le domaine de stabilité du chloritoïde.
- à droite se trouve le domaine de stabilité de la staurotide.
- sur la ligne qui sépare les deux domaines, dite droite d'équilibre, les deux phases minérales peuvent coexister.

Si, au départ, on a du chloritoïde dans la roche, et si on augmente la T° (flèche rouge sur le diagramme), on franchit la droite d'équilibre : le chloritoïde est déstabilisé et est remplacé par la staurotide qui, elle, est stable à de plus hautes T° (et inversement).

Ainsi, à partir des minéraux présents, on peut avoir une idée des conditions (P et T°) dans lesquelles les roches ont été portées.

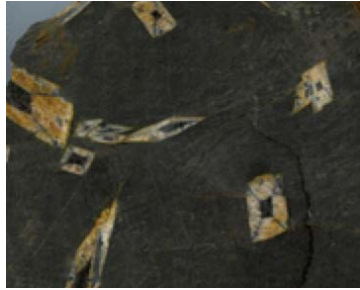
Déterminer ces conditions (P, T°) permettra de remonter à la cause du métamorphisme.

Certain minéraux du métamorphisme sont de bons indicateurs des conditions de P et T°, on parle de minéraux **géothermomètres** et **géobaromètres**. C'est le cas par exemple de trois minéraux présents dans la grille :

**Disthène**



**Andalousite**



**Sillimanite**

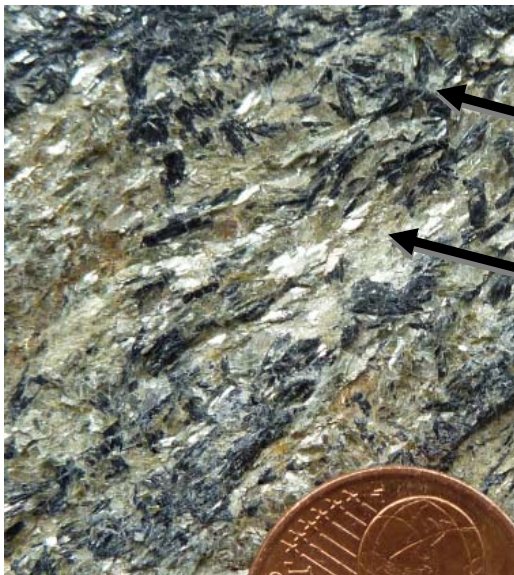


Ces trois minéraux ont un même chimisme :  $Al_2SiO_5$ , mais la forme minérale va dépendre des conditions de P et de T° du milieu. Sur la grille, on voit que :

- Le disthène (baguettes aplaties, bleutées) est un minéral plutôt de haute pression.
- L'andalousite (sections blanchâtres plus ou moins carrées) est un minéral plutôt de basse pression, avec des T° élevées.
- La sillimanite (baguettes plus ou moins fibreuses, claires) est un minéral de haute T°.

**Etape 3 : Délimitation d'un champ de P, T° pour une roche (faciès métamorphique)**

Prenons l'exemple d'une roche métamorphique :

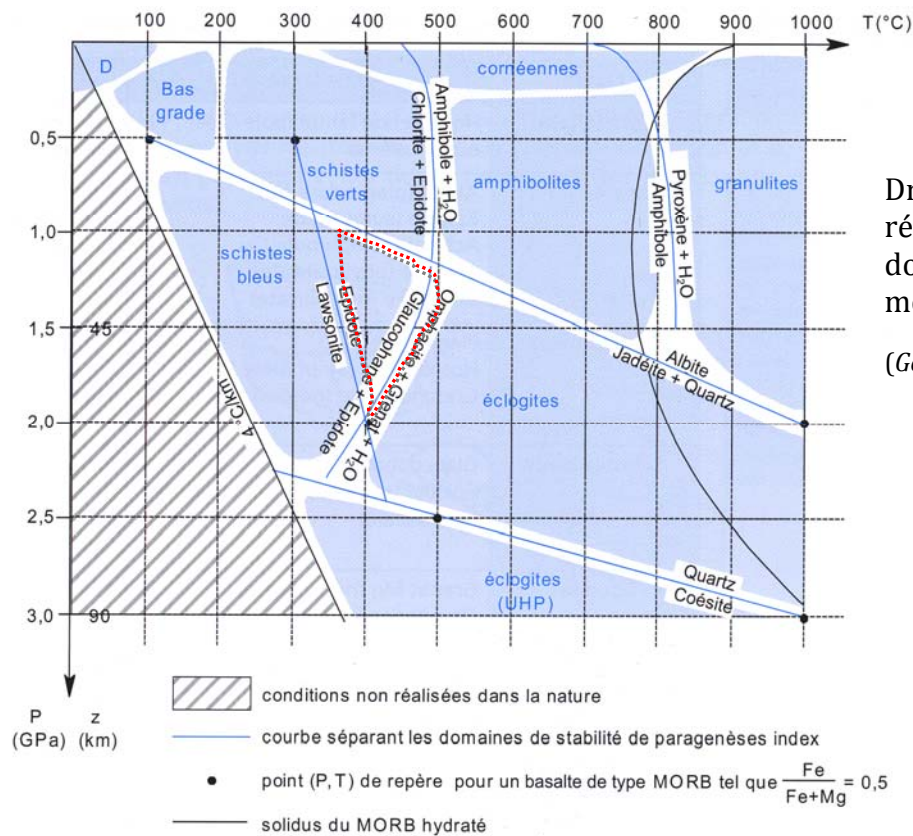


- On détermine sa **paragenèse** :

Minéral sombre, en baguettes, typique du métamorphisme : **l'amphibole bleue ou glaucophane** (on verrait bien la couleur bleue en lame mince)

Minéral en petits grains verts/jaunes : **épidote**

On a donc deux minéraux principaux dans cette roche : glaucophane et épidote, que l'on reporte dans la grille ci-dessous :



Droites d'équilibre de réactions minéralogiques et domaines (P,T°) des faciès métamorphiques.

(Géologie en BCPST, ed. Dunod)

En reportant sur le diagramme le domaine d'existence de ces deux minéraux, on trouve tout un secteur de P et T° dans lequel la roche a pu se former (en pointillés rouges).

La roche étudiée se trouve dans une enveloppe de P et T° appelé domaine ou faciès, ici le domaine des schistes bleus, qui caractérise un métamorphisme proche de l'axe des P avec des T° relativement faibles par rapport aux autres faciès.

On remarque que diagramme a été découpé en **7 domaines ou faciès** qui portent des noms et qui se caractérisent par des minéraux repères. Chaque domaine est caractérisé par une enveloppe de P et T°, par exemple :

- Une roche qui s'est formée dans le domaine ou faciès des éclogites indique un environnement de haute pression (enfouissement à 45 Km de profondeur au minimum)
- Une roche qui s'est formée dans le domaine des cornéennes indique un métamorphisme de basse pression et haute température...

Ainsi, lorsqu'on étudie le métamorphisme, on recherche le faciès métamorphique de la roche, donc ses conditions P et T° de formation. **Cela permet de remonter à l'origine du métamorphisme** (c'est ce qui sera traité dans les « fiches études de cas »).

### **Remarque importante :**

Chaque domaine de P, T°, va être caractérisé par des minéraux types : par exemple, on vient de voir que le domaine schiste bleu est caractérisé par le glaucophane et l'épidote.

Cependant, la nature de ces minéraux types va varier en fonction du **chimisme des roches initiales**. Ainsi, pour un même domaine de (P, T°), on trouvera différents assemblages types dont voici des exemples :

Domaine ou Faciès	Roche initiale basique (basaltes, gabbros...)	Roche initiale pélitique (roche argileuse)
Schiste bleu	Glaucophane Epidote ou Lawsonite	Carpholite Phengite (mica blanc) Disthène
Eclogite	Grenat Omphacite (pyroxène de haute pression)	Disthène Grenat Phengite Coésite (forme de haute pression du quartz)
Amphibolite	Plagioclase Hornblende (amphibole verte)	Biotite Grenat Staurotide Disthène

### **3- Indices des variations des assemblages minéralogiques au cours du temps dans les roches métamorphiques.**

Quand on travaille dans un secteur avec des roches métamorphiques, on essaye de découvrir la cause du métamorphisme. Pour cela, il faut tirer un maximum d'informations des roches échantillonnées.

Par exemple, à partir de l'échantillon ci dessous :



On a une paragenèse avec :

- Grenat (plus ou moins rouge)
- Omphacite (pyroxène de haute pression, vert émeraude)

Cette paragenèse, d'après les diagrammes précédents, indique que la roche d'origine qui a été métamorphisée est **une roche basique, que le métamorphisme est un métamorphisme de haute pression**, puisque cet assemblage est stable dans le domaine des éclogites.

Pour essayer d'avoir plus d'informations sur l'histoire métamorphique du secteur étudié, on va rechercher au sein des roches qu'on échantillonne, des structures particulières qui permettront de donner plus d'informations que la simple paragenèse :



Echantillon Pierre Thomas, ENS Lyon

Au niveau de cet échantillon, on retrouve la même paragenèse que précédemment :

**Grenat**  
**Omphacite**

La roche s'est donc formée à haute pression, dans le domaine des éclogites.

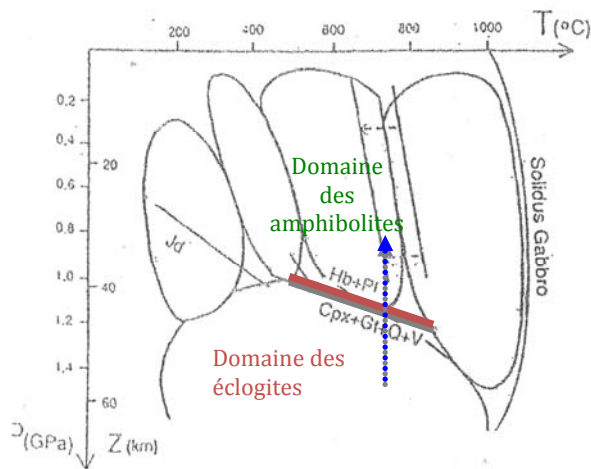
Mais si on regarde bien, on voit une auréole sombre autour du grenat. Au microscope, on voit qu'il s'agit d'un nouveau minéral : l'amphibole verte ou hornblende.

Ce minéral qui apparaît en couronne autour d'un autre, est ce qu'on appelle une **réaction coronitique**.

Elle signifie que l'assemblage minéralogique de la roche est en train de se déstabiliser, suite à des **variations de T° et /ou P du milieu**, et de donner un ou plusieurs nouveaux minéraux qui seront stables dans les nouvelles conditions de P et T°.

Pour interpréter cette réaction coronitique, on va lui appliquer un des principes de la chronologie relative, **le principe d'inclusion** : le grenat étant inclus dans la couronne, il était là en premier. Il a réagi avec les minéraux voisins pour donner deux nouveaux minéraux dans la couronne : l'amphibole verte et le plagioclase :

**Grenat + Pyroxène de haute pression ⇒ amphibole verte + plagioclase**



Cpx : pyroxène  
Gt : grenat  
Q : quartz  
V : eau  
Hb : amphibole verte  
Pl : plagioclase

### Interprétation de la réaction coronitique :

Dans la grille expérimentale, on localise cette réaction (droite d'équilibre en rouge), et on constate qu'elle traduit une diminution de pression dans l'échantillon (flèche bleue, des hautes vers les basses pressions)

L'étude de cette réaction donne une information plus complète sur l'histoire de la roche par rapport au premier échantillon. Ici, la réaction coronitique nous renseigne sur l'histoire postérieure à la formation de la paragenèse des éclogites. La baisse de P enregistrée dans la réaction coronitique témoigne de la remontée de la roche vers la surface, ou **exhumation**.

Ces réactions entre les minéraux se font par **diffusion** d'éléments chimiques. Elles sont donc très lentes, et prennent plusieurs millions d'années. Parfois, elles ne peuvent être complètes du fait de l'absence d'un facteur comme l'eau. C'est ce qui explique l'existence des roches métamorphiques en surface : les minéraux de haute pression ou de haute température qu'elles montrent ne sont pas stables dans les conditions de la surface, mais les réactions qui les auraient pu les faire disparaître n'ont pas eu le temps de se dérouler (remontée rapide), ou bien nécessitaient la présence d'eau, perdue par la roche lors de son enfouissement. En surface, nous ne devrions plus observer que des minéraux argileux, seuls stables dans ces conditions, mais ces transformations sont infiniment lentes à 20°C... on parle de minéraux **métastables**.

Dans les fiches « Etudes de cas », nous verrons comment l'étude des paragenèses, des réactions coronitiques, des faciès... permet, à partir de ces **observations à l'échelle locale**, de donner une **interprétation, une cause du métamorphisme à une échelle beaucoup plus globale** (échelle de la tectonique des plaques et de ses différents contextes géodynamique).